

도림천에서 발생한 고립 및 실족사고의 원인분석을 통한 개선방안 도출에 관한 연구

이경수¹, 전종형², 김태훈^{1*}, 김현주¹

¹행정안전부 국립재난안전연구원, ²행정안전부 재난협력실

Cause Analysis and Improvement Suggestion for Flood Accident in Dorimcheon – Focused on the Tripping and Isolation Accidents

Kyung-Su Lee¹, Jong-Hyeong Jeon², Tai-Hoon Kim^{1*}, Hyunju Kim¹

¹Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute

²Disaster Management Cooperation Office, Ministry of the Interior and Safety

요약 본 연구는 도림천에서 발생한 고립 및 실족과 같은 수난사고의 근본적인 원인을 분석하고, 법·제도적인 개선방안을 제시하였다. 원인분석을 위하여 현장확인, 관계자 인터뷰, 관련자료 검토, 강우량과 하천 횡단면의 수위와의 관계, 자동경보 발령 기준수위의 적정성 및 진·출입 통제에 따른 대피시간 확보 가능여부 등을 평가 하였다. 도림천은 전형적인 도시하천의 특성을 띠고 있어 치수적으로 불리하며, 사망사고가 발생한 구간은 급만곡부를 형성하고 있는 등 고립사고 발생 위험이 높다. 고립 및 실족사고는 홍수주의·경보 발령 전 단계인 둔치주의·대피 단계에서 발생하고 둔치대피 발령은 둔치턱까지 수위가 상승해서야 발령되기 때문에 있기 때문에 강우예보에 따른 수위상승에 대한 즉각적인 대응이 중요하다. 또한, 수위 상승속도가 신림3교와 관악도림교에서 최대 2.62 cm/min임을 고려하였을 때 둔치경보 발령 후 충분한 대피시간을 확보하고 있지 못하다. 사망사고는 둔치주의 발령 기준수위보다 0.46 m이하에서 발생한 점을 보았을 때, 하천의 진·출입 등 통제가 사고 예방을 위해서는 매우 중요하다. 이러한 분석결과를 바탕으로 4건의 개선방안을 제시하였으며, 고립 및 실족과 같은 수난사고를 예방하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract This study analyzed the causes of flood accidents, such as isolation and lost footing accidents in Dorimcheon, to provide legal and institutional improvements. For cause analysis, Field Investigation, Stakeholder Interview, Report, manual, Law et al. Review, Analysis of water level change characteristics, automatic alarm issuance standard level analysis, and evacuation time according to river control were evaluated. Dorimcheon has the characteristics of a typical urban river, which is disadvantageous in terms of water control. In addition, the risk of flood accidents is high because the section where fatal accidents occur forms sharply curved channels. Tripping and isolation accidents occur in the floodplain watch and evacuation stage, which is the stage before the flood watch and warning is issued. Because floodplain evacuation is issued only when the water level rises to the floodplain, an immediate response according to the rainfall forecast is essential. Furthermore, considering that the rate of water level rise is up to 2.62 cm/min in Sillimgyo 3 and Gwanakdorimgyo, sufficient evacuation time is not secured after the floodplain watch is issued. Considering that fatal accidents occurred 0.46 m below the standard water level for the flood watch, complete control is very important, such as blocking the entry of rivers to prevent accidents. Based on these results, four improvement measures were suggested, and it is expected to contribute to the prevention of Tripping and Isolation Accidents occurring in rivers.

Keywords : Dorimcheon, Flood Accident, HEC-RAS model, Isolation Accident, Tripping Accident

본 논문은 행정안전부 국립재난안전연구원의 연구과제(NDMI-주요-2020-06-01/NDMI-주요-2021-06-02)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Tai-Hoon Kim(National Disaster Management Research Institute)

email: ddahoon@korea.kr

Received January 18, 2021

Revised February 19, 2021

Accepted April 2, 2021

Published April 30, 2021

1. 서론

지난 2019년 9월 5일 14시 15분경 서울시 관악구·구로구에 위치한 도림천 둔치 인근에서 호우로 물이 불어 나면서 70·80대 남성 2명이 고립되는 사고가 발생하였다. 같은 날 16시 13분경에는 80대 여성 1명이 실족하여 신고를 받고 출동한 소방대원에 의해 구조되어 응급처치 후 병원으로 이송하였으나 사망하는 사고가 발생하였다. 도림천에서는 최근 2010년부터 2019년까지 10년 동안 27회의 고립사고가 발생하여 총 106명이 고립되었던 가운데 첫 사망사고가 발생한 것이다.

일반적으로 비나 홍수 등 물로 인하여 생기는 익사, 침몰, 표류와 같은 재난을 수난(水難)사고라고 하지만, 법적으로 정의하고 있지는 않다. 「수상에서의 수색·구조 등에 관한 법률」에서는 해수면과 내수면과 같은 수상에서 사람의 익사·추락·고립·표류 등의 사고, 선박 등의 침몰·좌초·전복·충돌·화재·기관고장 또는 추락 등의 사고를 조난사고로 정의하고 있다[1]. 한편, 행정안전부(구 소방방재청, 국민안전처)에서는 재난관리주관기관에서 관리하는 중점관리 26개 유형의 사회재난통계를 정리하여 매년 재난연감을 발간하고 있다. 여기에서는 물놀이 사고와 익사 등의 사고를 수난사고로 분류하고 있다. 수난사고는 ①자살 사고, ②추락사고, 안전부주의·수영미숙·음주수영·레저기구 전복·높은파도·급류·이안류와 같은 ③물놀이사고, 다슬기채취·어로작업·실족·낙수 등과 같은 ④익사사고, ⑤시설물 붕괴사고, ⑥동력·무동력 레저사고와 ⑦기타로 구분된다[2-12].

이러한 수난사고는 다양한 요인에 의해서 발생하고 있으며, 물놀이·익사 사고와 같은 의도치 않은 수난사고의 경우 화재나 교통사고보다 사고발생 건수 대비 사망자 발생률이 훨씬 높아 특별한 관리가 필요하다[13]. 수난사고를 효과적으로 관리하기 위해서는 예방에서부터 사고 발생시 신속한 초기대응, 구조 및 구급까지 체계를 갖추어 관리해야 한다[14]. 도심하천의 수변공간 이용의 만족도를 높이기 위해서는 하천공간의 녹지생태계 등을 강화해야 할 뿐 아니라, 하천 수변공간에서의 안전사고 예방 또는 하천 수변공간으로의 접근성 향상 등이 중요하다[15].

하천에서 고립 및 실족과 같은 수난사고의 원인분석에 대한 연구는 거의 없었다. 북한의 황강댐 무단 방류로 인하여 임진강 하류에서 야영객 6명이 사망한 사고의 발생 원인을 분석한 연구[16]에서는 과거 북측의 무단방류 사례 분석 및 기초자료 등 검토를 통해 주요원인을 분석하였다. 분석결과 사고의 원인은 북한의 무단방류도 있지

만, 수위경보 미작동 등 체계적이지 못한 대응도 있다는 점을 지적하였다. 또한, 유관기관의 위기관리 대응 및 협조체계 개선방안과 남북 공유하천의 공동 관리 방안을 제시하였다. 홍수로 인해 조난사고가 발생한 후 조난자의 위치 예측을 위해 하천의 유속과 조난 속도와의 상관관계를 도출한 연구[17]에서는 조난자의 몸무게, 유입유량 및 하천의 지형특성인 만곡도가 증가 할수록 유속보정계수는 감소함을 확인하였다. 이를 통해 실제 급류하천에서 조난사고가 발생하면 하천의 지형 및 흐름특성, 조난자의 특성값을 이용하여 조난자가 떠내려가는 속도를 파악할 수 있을 것이다. 한국의 수난사고 발생 특성을 분석한 연구[14]에서는 사고의 원인으로 관리 인력의 부족, 위험지역에 대한 지속적인 모니터링의 어려움 등이 있다는 점을 지적하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 지자체의 역할이 중요하며 ICT기술을 활용하여 원격으로 위험지역을 감시·통제할 수 있는 기술개발이 효과적일 것이라 하였다. 그러나, 현재까지 하천에서 발생한 수난사고의 원인은 유관기관의 대응체계를 집중적으로 다루어져 왔으며, 하천의 물리적 특성, 수리·수문학적 영향 등을 고려하여 체계적으로 분석한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 집중호우 등에 따른 하천변 고립 및 실족사고가 반복적으로 발생하고 있는 도림천을 대상으로 사고의 원인을 분석하였다. 원인분석 관점은 ① 왜 고립 및 실족사고가 반복적으로 발생할까? ② 과연 유관기관 대응이 미흡하거나 이용객들이 통제에 잘 따르지 않아서일까? ③ 뭔가 물리적·시스템적인 원인이 있어서는 아닐까? 라는 데서 시작하여 하천의 물리적인 특성과 자동정보 발령 기준수위의 적정성, 강우와 수위의 관계 등을 분석하였다. 또한, 하천에서 발생하고 있는 고립 및 실족과 같은 수난사고의 재발을 방지하기 위한 법·제도적인 개선방안을 제시하였다.

2. 수난사고의 특징

우리나라에서 발생하고 있는 수난사고의 특징을 분석하기 위하여 행정안전부에서 발간하고 있는 최근 10년간(2009~2018) 재난연감 자료를 활용하였다[2-12]. 분석결과, 최근 10년간 우리나라에서 발생하고 있는 수난사고는 증감을 반복하고 있으나, 10년 평균 4,483건으로 매우 많다. 2013년도에 6,005건으로 가장 많았으며, 2018년에는 5,788건을 기록하였다. 수난사고로 인한 사망자 수도 10년 평균 455명으로 매우 많은 수준이다(Fig. 1).

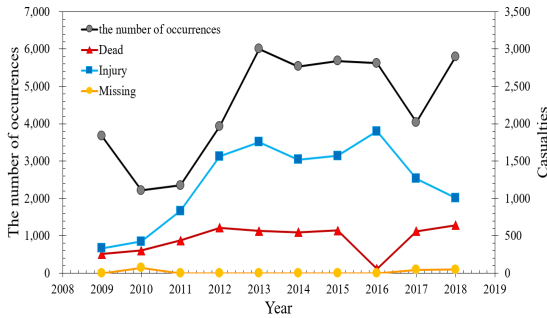


Fig. 1. Current status of flood accidents in the last 10 years(2009~2018)

수난사건의 발생 특징을 파악하기 위하여 발생원인(2014~2018)과 장소별(2010~2018)로 발생현황을 분석하였다[2-10]. 원인별 수난사건은 기타를 제외하고 자살이 27.3 %로 가장 많았으며 물놀이사건이 20.8 %, 익수사건이 8.6 %, 선박·동력·수상레저·무동력 레저사건이 6.0 %, 추락사건이 2.7 % 순으로 나타났다. 고립 및 실족사건은 1,351건으로 수난사건 전체 중에서 5.1 %이며, 익수사건 중에서는 59.3 %로 가장 큰 것으로 나타났다. 여기서, 원인별 수난사건을 2014년부터 2018년까지 분석한 이유는 수난사건의 발생건수 및 인명피해 현황은 이전부터 집계되고 있었지만, 재난분류체계 개편에 따라 자료의 일관성과 신뢰성 확보가 어려웠기 때문이다.

수난사건이 발생하는 장소는 하천·호수가 25,105건으로 전체 수난사건 중에서 61.0 %로 가장 많았으며, 바다

가 30.5 %로 두 번째 많은 것으로 나타났다. 그 밖에 기타를 제외하고 1% 미만으로 나타났다.

3. 분석절차 및 방법

도림천에서 발생하고 있는 고립 및 실족과 같은 수난사건의 원인분석을 위하여 2019년 9월 5일 사고사례를 대상으로 현장확인, 관계자 인터뷰, 매뉴얼 등 관련자료 검토를 수행하였다(Fig. 2). 현장확인 절차에서는 하천의 물리적 특성 및 현장관찰, 하천 진·출입 통제시설 확인, 주요지점 사진촬영 등이 있으며, 관계자 인터뷰 단계에서는 사고 당시 현장상황, 유관기관 대응 및 애로사항 청취 등이 있다. 그리고 하천정비기본계획, 하천예·경보시설 매뉴얼, 하천치수계획보고서 등 관련자료를 검토를 통해 안전과 관련된 기준에 대한 준수 여부, 관련 매뉴얼 등의 적정성 및 실효성 여부에 대해 분석하였다. 그 다음 단계에서는 수위관측 지점별 수위변화 특성 분석, 1차원 수치모의를 통해 자동경보 발령기준 수위 분석을 실시하고, 자동경보 발령 기준수위의 적정성 및 진·출입 통제에 따른 대피시간 확보 가능여부 등을 평가하였다. 이렇게 정리된 문제점 및 사고의 원인을 전문가 자문을 통해 검증하고, 관련자료 등을 검토한 결과와 비교하여 유사 사고의 재발을 방지하기 위한 법·제도적인 개선방안을 제시하였다(Fig. 2).

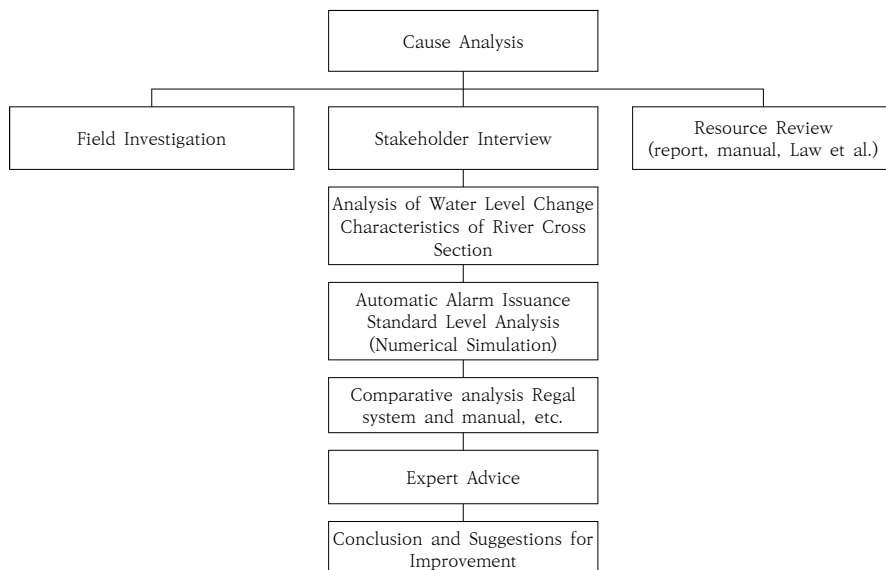


Fig. 2. Analysis Procedure

4. 분석결과

4.1 유역특성 및 관리시설 운영현황

도림천은 투수성이 낮은 0.5 cm/h 미만의 배수불량 지역이 전체 유역의 49.5 %로 투수가 불량한 토양이 많으며 유역의 65.8 %가 시가화된 전형적인 도시하천이다 (Fig. 3)[18]. 도시하천의 특징은 집중호우 발생시 수위가 급상승하며, 비가 그치면 급하강하는 경향이 있어 하천범람의 위험성이 높다. 도림천은 상류 일부 구간이 복개되어

있는 상태이고, 하천별 복개구조물 구간은 556 m이다(Fig. 4)[18]. 하천변으로 주거지와 상업지가 밀집되어 있고, 하천 양안은 대부분 도로이다. 하도 내 신도림역, 대방역, 디지털단지역, 신대방역 등 4개의 지하철역사와 26개의 교량이 설치되어 있어 홍수 소통에 장애를 받기 때문에 치수적으로 불리한 구조이다. 또한 홍수위 이하인 교량이 12개소, 여유고가 부족한 교량이 14개소 인 것으로 나타났다[18,19]. 이렇게 치수적으로 불안정한 구간이 약 44 %($L = 9,680$ m)로 치수대책 마련이 필요하다. 하

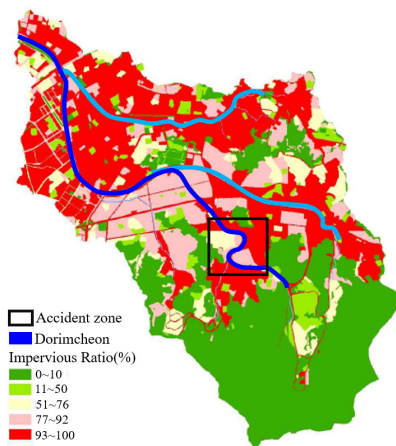


Fig. 3. Impervious ratio distribution[19]

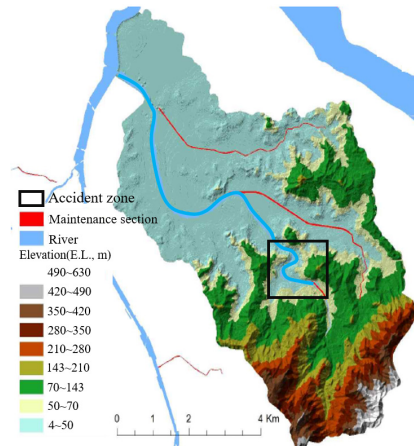


Fig. 4. Maintenance section status[19]

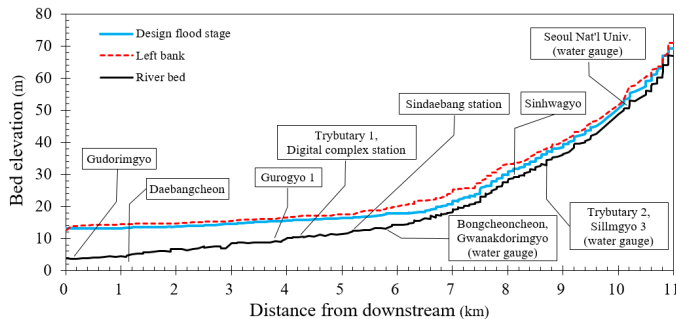


Fig. 5. Longitudinal section of Dorimcheon

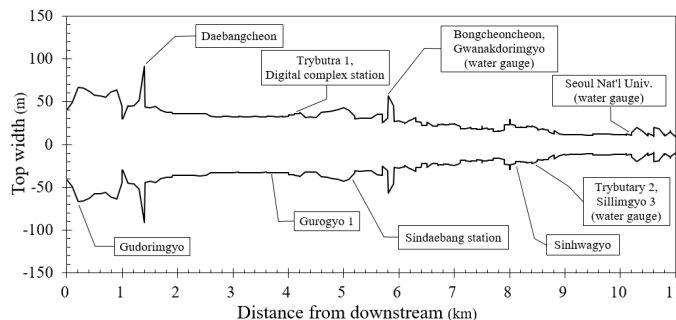


Fig. 6. Top width of Dorimcheon

류지역은 본류인 안양천의 배수(backwater)의 영향을 받아 수위가 상승하는 구간이 하류로부터 약 1.4 km이다[18].

전반적으로 도립천은 도시하천으로 하천변을 도로 및 지하철 등으로 이용되고 있고 현대도 옹벽(파라펫)설치를 통한 보강이 이루어진 상태로 추가적인 제방보강에 대한 어려움이 있다. 하천변 제내지의 개발로 확폭을 통한 통수단면적 확보는 불가능한 상태이다. 하천주변 개발 및 도시화로 인하여 하폭 확대 등 단면확장이 어려워 유역분담계획이 병행되어야 하며, 안양천 배수영향 구간에 대한 제방보강 및 교량 재가설 등의 대책 마련이 필요하다[18].

도립천의 하상경사는 0.0057(1/174)이다. 우리나라 총적하천의 하상경사를 분석한 연구[20]에 의하면 중소하천의 가장 많은 비중을 차지하고 있는 범위인 1/1000~1/500인 점을 고려하였을 때 하상경사가 급한 편인 것을 알 수 있다(Fig. 5). 하폭은 평균 47.2 m이며, 하류로 갈수록 38.1 m에서 78.8 m로 2.1배 넓어지는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이때, 사망사고가 발생한 지점은 하류로부터 8.2 km지점에 위치한 신화교 인근으로 도립천에서 상류구간에 해당된다. 일반적으로 상류구간의 경우 하폭이 좁아 유속이 비교적 빠르며, 사망사고가 발생한 지점은 급만곡부 구간으로 우안에서 수층부가 형성되어 편수위가 발생하는 등 월류의 위험성이 높은 구간이다(Fig. 7). 따라서, 도립천 상류구간은 고립 및 실족 사고 발생 위험이 높은 구간이 상존하고 있다.

도립천은 서울 관악구, 구로구, 동작구를 관통는 하천으로 각 자치구 별로 하천에·경보시설매뉴얼[21]을 수립·운영하고 있다. 고립 및 실족사고가 다발하는 지역은 하천 중·상류 구간으로 관악구에 위치하고 있다. 하천 위기 상황 관리시설은 하천경사 급변부로 집중호우시 수위가 급상승하여 하천범람 등이 우려되는 지역에 설치되어 있으며 그 종류는 강우량계, 경보기, 수위계 등이 있다. 그 중에서 수위계는 관악도림교, 신림3교, 서울대학교입구 등 3개 지점에 설치되어 있으며(Table 1), 하천 수위를 실시간 관측하여 집중호우시 수위에 따라 자동경보 방송으로 이용객을 위해 위기상황을 전파하고 있다. 또한 강우예보에 따라 약 2시간 전부터 30분 간격으로 이용자제 사전 안내 방송 및 문자 표출을 실시하며, 방송은 3회까지 실시한다. 예·경보 단계는 각 지점별로 미리 설정된 수위에 따라 둔치주의, 둔치대피, 홍수주의보, 홍수경보, 하천범람 등 5단계로 구분된다. 강우예보가 3 mm/15분 이상일 경우 하천 이용 자제를 하며, 둔치주의 단계에서



Fig. 7. Section of mortality accident

는 하천 밖으로 이동, 둔치대피 단계에서는 하천 밖으로 대피하도록 하고 있다. 또한 홍수주의보 단계에서는 경계수위에 도달, 홍수경보 단계에서는 위험수위에 도달하였기 때문에 진입을 차단하며, 하천범람 단계에서는 주민 대피를 해야 한다[21].

4.2 수위변화 특성 분석

사고 당일 하천횡단면에서의 수위 변화 특성 분석을 위하여 기상청에서 제공하고 있는 지역별상세관측자료에서 관악 강우 관측소의 강우자료[22]와 사고 당일인 2019년 9월 5일의 관악구 소관 수위관측 지점(서울대입구, 신림3교, 관악도림교)별 수위자료[23]를 비교 분석하였다. 이때, 하천 횡단자료는 2015년도에 수립된 안양천 권역 하천기본계획보고서[18]에서 도립천의 개수후 단면을 이용하였다. 도립천 유역내 기상청에서 운영하고 있는 강우관측소는 기상청관측소와 관악관측소 2개소가 있지만, 기상청 관측소는 사고발생 지점보다 하류인 도립천 중류지역에 위치하고 있어서 상류지역에 위치한 관악관측소를 선정하였다. 사고발생 당일 일강우량은 58.5 mm이며, 일강우의 82%(48 mm)가 고립 및 실족사고 발생 시간대인 13:00~15:10에 집중되는 것으로 나타났다(Fig. 8(a)). 최대강우강도는 28 mm/hr, 빈도해석결과 2년 빈도의 강우량이 발생한 것으로 분석 되었다. 강우발생 전 관측소별 수위는 평균 0.11 m로 동일 하지만, 13:00~15:10 사이 강우가 집중(48 mm)되면서 수위가 급상승 하였다(Fig. 8(a)). 강우 발생시작(13:00) 이후 수위 변화는 하류로 갈수록 낮고 높으며 수위변화 폭이 큰 것을 알 수 있다(Fig. 8(b)). 각 지점별로 강우가 시작된 시점부터 서울대입구는 20분(0.12 m→0.19 m), 신림3교 30분(0.09 m→0.70 m), 도림교 50분(0.09 m→1.31 m)에 수위변화가 시작되는 것으로 나타났다(Fig. 8(b) and Table 2). 이때, 상류에서는 하상경사가 급하고 하

폭이 좁아 유속이 빠르기 때문에 수위변화 폭이 크지 않은 것을 알 수 있다. 따라서, 하류지점은 상류에 비해 둔치 침수까지 시간적 여유가 있으며, 강우예보에 따른 수위상승에 대한 즉각적인 대응이 중요하다는 것을 알 수 있다.

추가로, 지난 2019년 9월 5일 사고를 포함하여 최근

3년간 발생한 고립사고 4건을 대상으로 강우량[22]과 수위자료[23]를 수집하여 강우량과 하천횡단면 별 수위 변화 관계를 분석하였다(Table 3). 강우발생 시작 평균 22.5분 뒤에 하천 상류인 서울대입구에서 수위변화가 시작되며, 하류로 갈수록 도달시간이 신림3교에서는 25분, 관악도림교에서는 40분으로 지연되는 것으로 나타났다.

Table 1. Operation status and standards for Dorimcheon's entry·exit blocking facility[21]

Point	Facility status	Criteria for issuing automatic-alam				
		floodplain watch	floodplain evacuation	flood watch	flood warning	stream flooding
Sillim-pump station	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-
Sillim 2-pump station	alam	-	-	-	-	-
Saebit children's park	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-
Gwanakdorimyoo (bridge)	rainfall meter+water gauge +alam	1.00 m	1.50 m	3.30 m	4.50 m	5.00 m
Bongringyo(bridge)	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-
Seowon-dong community service center	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-
Sillingyo 2(bridge)	alam	-	-	-	-	-
Chungmugyo(bridge)	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-
Sillingyo 3(bridge)	rainfall meter+water gauge +alam	1.00 m	1.50 m	2.30 m	3.00 m	3.50 m
Seoul Nat'l Univ.	rainfall meter+water gauge +alam	1.00 m	1.50 m	2.00 m	2.50 m	3.30 m
Rose garden	rainfall meter+alam	-	-	-	-	-

Table 2. Analysis of water level rise speed and arrival time by water level observation station

Branch	the distance of from downstream	Water level (time)	Water level change (water level/time)	Rainfall arrival time	Highest water level	
					Water level(time)	Speed (13:50)
Gwanakdorimyoo	5.803 km	0.09 m (13:00)	1.31m / 13:50	50 min	1.89 m (14:10)	2.44 cm/min
Sillingyo 3	8.679 km	0.09 m (13:00)	0.70m / 13:30	30 min	1.40 m (13:50)	2.62 cm/min
Seoul Nat'l Univ.	10.163 km	0.12 m (13:00)	0.19m / 13:20	20 min	0.76 m (13:50)	1.28 cm/min

Table 3. Rainfall arrival time and water level change by water level observation station

start of rainfall (date&time)	Accident time (daily rainfall)	Rainfall arrival time (Water level variable breadth)			alam(time)		
		Gwanakdorimyoo	Sillingyo 3	Seoul Nat'l Univ.	Gwanakdorimyoo	Sillingyo 3	Seoul Nat'l Univ.
2017.7.10. 19:20	20:15 (108.5 mm)	30 min (2.91 m)	20 min (1.87 m)	20 min (1.24 m)	F.E.(20:00)	F.E.(19:50)	F.E.(20:40)
2017.8.15. 10:00	11:00 (77.0 mm)	40 min (1.73 m)	30 min (1.00 m)	30 min (0.78 m)	F.E.(10:50)	-	-
2018.7.02. 09:20	11:00 (81.5 mm)	40 min (1.61 m)	20 min (1.17 m)	20 min (0.42 m)	F.E.(10:20)	F.E.(10:00)	-
2019.9.05. 13:00	14:15 (58.5 mm)	50 min (1.80 m)	30 min (1.32 m)	20 min (0.65 m)	F.E.(14:00)	-	-
Average	-	40 min (2.01 m)	25 min (1.34 m)	22.5 min (0.77 m)	-	-	-

상류지역인 서울대입구 지점이 수위변동 폭이 가장 작으며, 하류로갈수록 수위변동 폭이 크다(Table 3). 또한 모든 고립사고는 홍수주의·경보 발령 전 단계인 둔치주의·대피 단계에서 고립사고가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지난 2019년 9월 5일 사고발생 당시 수위 변화 양상과 일치한다. 이때, 사고발생 지점은 정확한 기록을 찾을 수 없어 고려하지 못했다.

4.3 자동경보 발령기준 수위 분석

수위관측소 지점별 자동경보 발령 기준수위의 적정성 및 타당성을 평가하기 위하여 자동경보 발령기준 수위를 분석하였다. 분석결과, 둔치경보의 경우 수위계가 설치된 지점에 따라 수위가 둔치를 초과하여, 산책로가 침수된 이후에 둔치경보가 발령될 가능성이 있는 것으로 나타났다. 둔치주의 발령은 신림3교의 경우 둔치턱 0.4 m 이하에서 발령되고, 관악도림교의 경우에는 둔치턱 0.5 m 이하에서 발령되는 것으로 분석되었다. 둔치대피 발령은 신

림3교와 관악도림교 모두 둔치턱까지 수위가 상승해서야 발령되는 것으로 나타났다(Fig. 9). 즉, 하천단면별 수위 기준을 과대평가 하고 있는 것이다. 이것은 둔치경보 발령 후 충분한 대피시간을 확보하고 있지 못한 기준인 것을 의미한다. 이때, 수위기준은 하천 횡단면에서의 최심 하상고와 자치구 자체 경보 발령기준을 더해서 계산하였고, 현장에 설치된 수위계의 0점 표고를 기준으로 계산 시 약간의 오차가 있을 수 있다.

실제로, 사고발생 당일인 9월 5일 사고가 발생한 실림3교에서는 13시40분에 둔치주의 경보를 발령하고, 25분 후인 14시15분경 고립사고가 발생하였다(Table 4 and Fig. 9(b)). 실족·사망사고는 둔치주위 기준수위보다 0.46m 낮은 수위에서 발생하였다. 이때, 수심은 0.64m로 추정된다. 수위관측 지점별 수위는 10분 단위로 기록되기 때문에 각각 14시10분, 16시10분으로 그림에 표시하였다(Fig. 9).

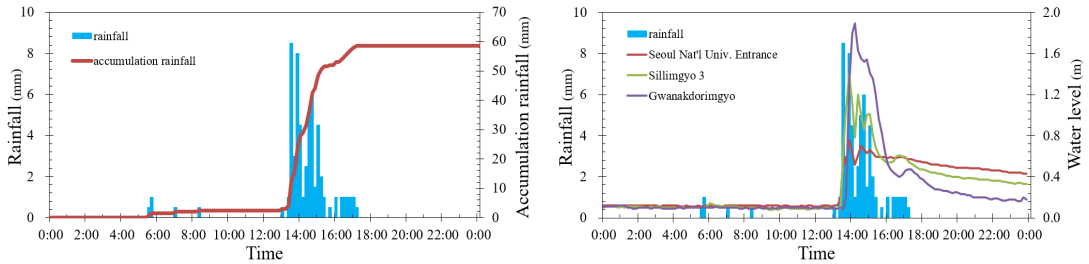


Fig. 8. Changes in water level by water level observation station according to rainfall (a) Rainfall (b) Water level

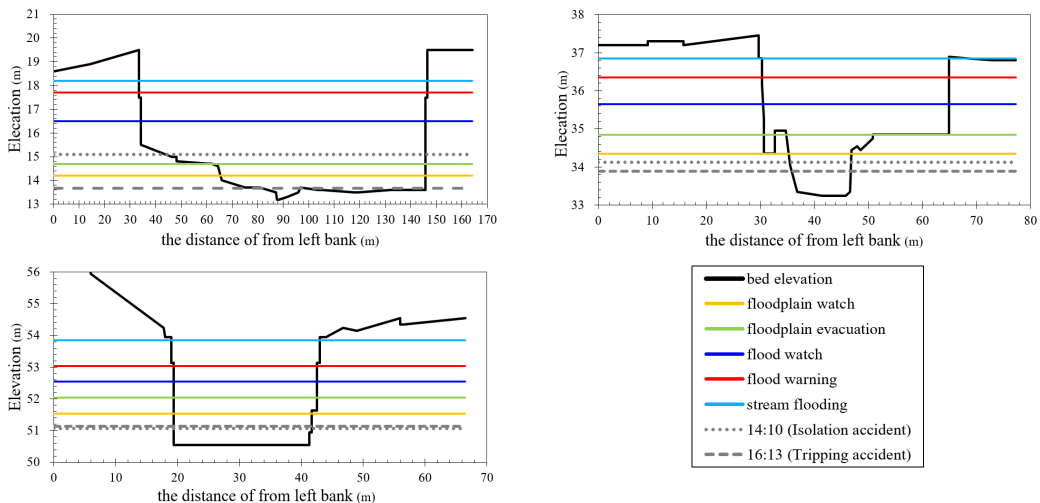


Fig. 9. Water level of automatic alarm issuance for each cross section (a) Gwanakdongimgyo branch (b) Sillimgyo 3 branch (c) Seoul Nat'l Univ. branch

Table 4. Water level and time of automatic alarm issuance for each cross section

branch	the distance of from downstream	Obsevation water level(time)				
		floodplain watch	floodplain evacuation	flood watch	flood warning	stream flooding
Gwanakdorimgyo	5.803km	1.31m(13:50)	1.80m(14:00)	Not reached	Not reached	Not reached
Sillingyo 3	8.679km	1.08m(13:40)	Not reached	Not reached	Not reached	Not reached
Seoul Nat'l Univ.	10.163km	Not reached	Not reached	Not reached	Not reached	Not reached

홍수경보는 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」 제8조(홍수·갈수 예보의 실시)[24] 및 동법 시행규칙 제2조(홍수예보)[25]에 의해 홍수통계소장이 하천구역 및 그 배후지역에서 홍수로 인명과 재산에 대한 중대한 피해가 예상될 때에는 홍수주의보 또는 홍수경보를 발령해야 한다. 홍수주의보 발령 기준은 계획홍수량의 50/100에 해당하는 유량이 흐르거나, 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 60/100에 해당하는 수위이다. 홍수경보 발령기준은 계획홍수량의 70/100에 해당하는 유량이 흐르거나, 최근 5년의 평균 저수위로부터 계획홍수위까지 80/100에 해당하는 수위이다. 그러나, 이러한 기준의 적용은 「하천법」 제1조(정의) 제1항에 의한 국가하천 또는 지방하천으로 지정된 하천에 한정된다[26]. 국가하천을 제외한 중·소하천에서의 홍수예보는 아직까지 시행되고 있지 않고 있으며, 하천의 규모에 따른 홍수 예보를 위한 기준 수위 산정 방법도 정해진 것이 없다. 그러나 중·소하천은 국민의 생활과 가장 밀접하게 접해있기 때문에 홍수예보를 위한 단계별 기준 수위를 산정하는 방법 및 가이드라인 마련이 반드시 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 홍수주의·경보 발령 기준수위에 대한 적정성 및 타당성을 평가하기 위한 기준은 없지만, 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」에서 제시하고 있는 기준[24]으로 비교를 해 보았다. 분석을 위하여 구간별로 제시[18] 되어 있는 계획홍수량을 반영한 1차원 시뮬레이션 HEC-RAS 모형을 이용하였다. HEC-RAS모형은 미공병단(U.S. Army Corps of Engineers) HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 개발되었다. HEC-RAS모형은 1차원 정상류와 비정상류의 하천수리계산을 수행할 수 있으며, 유사이송의 계산도 할 수 있는 종합하천해석 소프트웨어 이다[27]. 우리나라에서는 하천의 홍수 및 수리해석 등에 적용성이 검증되어 가장 범용적으로 사용되고 있는 1차원 모형이다[28-31]. 하도 단면자료는 2015년도에 수립된 안양천권역 하천기본계획보고서[18]에서 도림천의 개수후 단면(No.0+000~No.11+002)을 이용하였다. 홍수주의보 발령 기준수위와 홍수경보 발령기준 수위를 판단하기 위해 안양천권역 하천기본계획보고서[18]에서 제시된 도림천의 계획홍수량의 각각 50%, 70%에 해당하는 유량을 산정하여

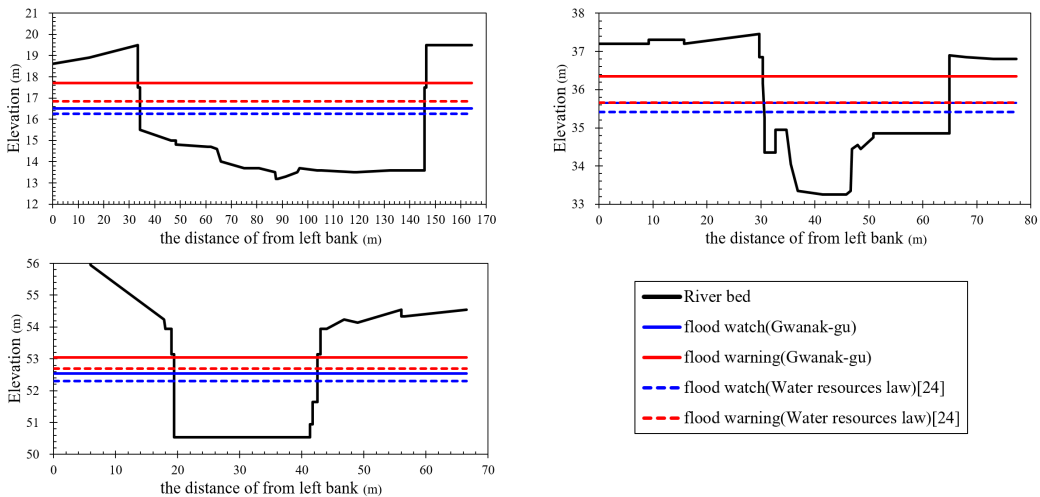


Fig. 10. Flood watch and warning comparison (a) Gwanakdorimgyo branch (b) Sillingyo 3 branch (c) Seoul Nat'l Univ. branch

Table 5. Specifications and hydraulic conditions of major points[18]

Branch	No.	Distance (km)	n	Top width (m)	Bank(E.L.m)		Flood discharge(m ³ /s)			Design flood level(E.L.m)
					Left	Right	Design	70%	50%	
River mouth	0+000	0	0.03	82	13.86	13.26	716	501.2	358.0	13.95
Daebangcheon	1+308	1.308	0.03	94	15.31	15.11	534	373.8	267.0	13.95
Daerim Station	3+042	3.042	0.03	65	16.02	15.82	484	338.8	242.0	14.61
Trybutray1	4+118	4.118	0.03	72	16.62	16.12	360	252.0	180.0	15.79
Bongcheoncheon	5+803	5.803	0.03	62	19.50	19.50	248	173.6	124.0	17.79
Trybutray2	8+679	8.679	0.03	35	37.45	37.05	165	115.5	82.5	36.22
Seoul Nat'l Univ.	11+002	11.002	0.03	19	74.47	70.17	160	112.0	80.0	69.42

구간별 경계조건으로 입력하여 계산된 수위를 관악구에서 설정한 홍수주의경보 발령기준 수위와 비교하였다. 이때, 조도계수(n)는 하천설계기준-해설[32]에서 제시된 조도계수 선정표를 적용하여 선정된 값을 이용하였다(Table 5). 하류경계조건은 본류인 안양천으로 합류되는 지점(No.4+768)의 빈도별 홍수위 자료를 이용하였다[18].

분석결과, 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」에서 제시하고 있는 홍수특보 기준[24]에 비해 관악구에서 설정한 기준이 홍수주의보 시 0.24 m, 홍수경보 시 0.3~0.9 m가 높아, 관악구에서 하천의 횡단면을 과대평가하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 10). 즉, 「수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률」에 따른 홍수특보 기준에 비해 자치구의 경보 발령 기준이 다소 부족하다. 따라서 중·소하천에 대한 홍수 예·경보 체계는 국가하천과의 연계뿐만 아니라 유역 및 하천의 치수안전도를 고려한 홍수 예·경보 시스템의 개발이 필요하다. 이를 위하여 정확도 높은 홍수 예·경보에 대한 기술의 확보가 중요하다.

4.4 현장 출입통제

도림천 내 설치되어 있는 진입 차단시설의 운영 및 관리 실태는 현장확인과 관계자 인터뷰를 통해 조사하였다. 진입 차단시설의 경우에는 문틈으로 통과하거나 강제 개방하기가 쉬운 구조로 되어 있어(Fig. 11), 이를 무시하고 진입하는 이용객이 다수인 것으로 확인되었다. 특히, 자치구 공무원 또는 지역시설관리공단 직원 위주로 현장 통제가 이루어지기 때문에, 현실적으로 도림천 전구간의 출입통제에 한계가 있는 실정이다. 그러다 보니 대피명령 발령 등이 아닌 자발적인 대피하도록 유도하고 있을 수밖에 없는 시스템이다. 또한, 여름철 햇볕을 피하기 위해 교량 밑에서 휴식을 취하는 경우에는 갑작스럽게 상승하는 수위에서도 스스로 탈출하기 어려운 구조이며, 구조대가 현장에 도착하더라도 통행이 어려워 구조가 어려운 경우가 많다(Fig. 12). 따라서, 수위가 급상승하는 상황에



Fig. 11. River entrance blocking facility



Fig. 12. Gurogyo at the time of flood accident (2019.9.5., by Gwanak fire station)

서도 산책로와 둔치에 이용객이 지속적으로 체류하고 있는 실정이다.

5. 개선방안

도림천 고립 및 실족사고에 대한 원인분석 결과를 바탕으로 재발방지를 위한 개선안을 제안하면 다음과 같다. 먼저, 강우 발생 시 하천의 진·출입 통제를 위한 수위 기준을 합리적으로 재설정 해야한다. 수위 관측지점별 수위 변화 특성 및 자동경보 발령기준 수위를 분석한 결과 강우가 시작되고 최소 20분 내에 하천 내 수위변화가 시작되지만, 둔치턱까지 수위가 상승하거나 제방까지 수위가 상승하였을 때 둔치대피 및 하천범람 경보가 발령되는 것으로 나타나 충분한 대피시간을 확보하지 못하고 있다. 현재, 유역 내 예·경보시설과 출입통제 시설 등은 자치구별 수위계를 기준으로 운영 중이며 자치구별 현장조치 행동매뉴얼에 따라 둔치·홍수경보 기준을 설정하도록 되

어 있다. 그러나, 대피시간 확보를 위한 정밀한 관측지점 및 운영기준 설정에 대한 재검토가 필요하다.

둘째, 도립천 유역 맞춤형 행동매뉴얼을 개선해야 한다. 도립천에는 미림여고, 신림동우편물취급소, 구로디지털단지 등 침수취약지역을 대상으로 맞춤형 행동매뉴얼 수립·운영 중에 있으나, 고립사고가 발생한 도립천 관할 전체 자치구 중 관악구, 구로구 등 일부 자치구 내용만 반영이 되어 있다. 따라서, 시설 운영기준, 대피유도 활동 등 전체 유역을 포괄할 수 있는 매뉴얼 수립이 중요하며, 주기적인 보완을 해야 할 것이다.

셋째, 비상시 하천 이용객의 대피를 유도할 수 있는 수단이 필요하다. 현재는 자치구 공무원 또는 지역시설관리공단 직원 위주로 현장통제를 실시하고, 이용객의 자발적 대피 유도 위주로 통제 중이지만 통제에 필요한 인력이 부족하여, 이용객이 고의적으로 진입하거나 대피하지 않는 경우를 모두 모니터링하기에는 어려움이 있다. 또한 각 자치구에서 홍수 피해 우려 시 「재난 및 안전관리 기본법」 제40조(대피명령)[33]에 따른 대피명령 발령과 위반에 따른 과태료 부과가 가능하지만 실제 과태료 징구가 어려워, 대피 권고 준수에 대한 이용객의 인식 미흡한 실정이다. 따라서 하천 둔치에 대한 대피명령 발령 및 과태료 부과 기준을 검토하여 대피명령 위반 시 과태료 부과 가능함을 홍보에 활용해야 할 것이다. 예를 들면, 과태료 부과와 관련된 내용이 적힌 안내표지판을 설치하거나, 대피 안내방송 문안에 반영하는 방법도 있을 수 있을 것이다. 특히, 지역자율방재단, 해병전우회 등과 같은 민간단체를 활용하여 이용객 대피유도 활동 지원하는 방안도 검토할 필요가 있다. 아울러 재난관리기금을 통해 활동비를 요청하거나, 연간 지역자율방재단 교육 내용에 반영, 수방대책기간 중 전담 인원 편성 등도 대안이 될 수 있을 것이다.

넷째, 고립사고 예방시설 확충 및 홍보를 강화해야 한다. 수위 급상승 시에도 탈출이 어려운 교각 아래로 통행하거나 진·출입 차단 알람을 무시하고 둔치에 지속 체류하는 이용객 발생하고 있기 때문에, 진입 차단시설 기능 개선, 교각 조명·탈출사다리 등 시설 확충, 수방대책기간 중 도립천 이용객 대상 대피안내 홍보물 배부, 반상회 등 주민회의 활용한 고립사고 예방 집중 홍보가 필요할 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구는 도립천에서 발생한 수난사고의 근본적인 원

인을 분석하기 위하여 유역특성 및 관리시설 운영현황, 수위관측 지점별 수위변화 특성 분석과 자동경보 발령기준 수위 분석, 현장 출입통제 실태 등을 분석하였다. 또한, 유사사고의 재발을 방지하기 위한 법·제도적인 개선 방안을 제시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 도립천 유역은 65.8%가 시가화된 전형적인 도시하천이며, 하천 내 4개의 지하철역사와 26개의 교량이 설치되어 있기 때문에 치수적으로 불리한 구조이다. 도립천은 우리나라 중·소하천 중에서 하천경사가 급하기 때문에 유속이 비교적 빠른 구간이 있다. 사망사고가 발생한 구간은 하폭이 40 m로 좁으며, 급만곡부 구간으로 우안에서 수층부가 형성되면서 편수위가 발생하는 등 월류의 위험성이 높은 구간이다. 따라서, 고립 및 실족과 같은 수난사고의 발생 위험이 높다.

2) 수위관측 지점별 수위변화 특성을 분석한 결과, 강우발생시 하류지점은 상류에 비해 둔치 침수까지 시간적 여유가 있지만, 모든 수난사고는 홍수주의·경보 발령 전 단계인 둔치주의·대피 단계에서 발생하고 있기 때문에 강우예보에 따른 수위상승에 대한 즉각적인 대응이 중요하다. 특히, 둔치대피 발령은 신림3교와 관악도림교 모두 둔치턱까지 수위가 상승해서야 발령되는 것으로 나타났다. 수위 상승속도가 신림3교와 관악도림교에서 최대 2.62 cm/min임을 고려하였을 때 둔치경보 발령 후 충분한 대피시간을 확보하고 있지 못한 기준인 것을 알 수 있다.

3) 사망사고가 발생한 시간에 신림3교의 수위는 둔치주의 발령 기준수위보다 0.46 m 이하에서 발생한 점을 보았을 때, 일정규모 이상의 강우예보시에는 하천의 진출입을 철저히 차단하는 것이 사고 예방을 위해서는 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

4) 이러한 분석결과를 바탕으로 제시한 법·제도적인 개선사항은 첫째, 강우 발생 시 하천의 진·출입 통제를 위한 수위 기준을 합리적으로 재설정해야 하고, 도립천 유역 맞춤형 행동매뉴얼에 반영하고, 지속적인 보완이 필요할 것이다. 둘째, 비상시 하천 이용객의 대피를 유도할 수 있는 수단이 필요하다. 셋째, 고립사고 예방시설 확충 및 홍보를 강화해야 할 것이다.

본 연구에서는 도립천에서 반복적으로 발생하고 있는 수난사고를 대상으로 근본원인을 파악해야 하며, 체계적이고 과학적인 접근방법에 대한 필요성을 인식하고 실증적인 대책이 마련되어야 하는데서 비롯되었다. 본 연구에서 접근한 분석기법과 제시된 개선책들이 현장에 반영된다면 고립 및 실족과 같은 수난사고를 예방하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Korea Coast Guard(KCG), Act on The Search and Rescue, etc. in Waters, National Law Information center, p.29, Korea Ministry of Government Legislation, 2019, p.1.
- [2] Ministry of the Interior and Safety(MOIS), Disaster Yearbook 2018, National Statistics Report, MOIS, Korea, pp.229-313.
- [3] Ministry of the Interior and Safety(MOIS), Disaster Yearbook 2017, National Statistics Report, MOIS, Korea, pp.211-301.
- [4] Ministry of the Interior and Safety(MOIS), Disaster Yearbook 2016, National Statistics Report, MOIS, Korea, pp.291-386.
- [5] Ministry of Public Safety and Security(MPSS), Disaster Yearbook 2015, National Statistics Report, MPSS, Korea, pp.273-365.
- [6] Ministry of Public Safety and Security(MPSS), Disaster Yearbook 2014, National Statistics Report, Ministry of Public Safety and Security, Korea, pp.342-431.
- [7] Ministry of Public Safety and Security(MPSS), Disaster Yearbook 2013, National Statistics Report, MPSS, Korea, pp.47-386.
- [8] Ministry of Public Safety and Security(MPSS), Disaster Yearbook 2012, National Statistics Report, MPSS, Korea, pp.47-379.
- [9] National Emergency Management Agency(NEMA), Disaster Yearbook 2011, National Statistics Report, NEMA, Korea, pp.309-576.
- [10] National Emergency Management Agency(NEMA), Disaster Yearbook 2010, National Statistics Report, NEMA, Korea, pp.4-1-4-224.
- [11] National Emergency Management Agency(NEMA), Disaster Yearbook 2009, National Statistics Report, National Emergency Management Agency, Korea, pp.285-583.
- [12] National Emergency Management Agency(NEMA), Disaster Yearbook 2008, National Statistics Report, NEMA, Korea, pp.325-424.
- [13] J. G. Kim, D. S. Lee, J. Y. Cho, S. Han, T. H. Kim, "Introduction of perception on ICT to respond social disasters", *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol.12, No.3, pp.249-260, Aug. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15683/kosdi.2016.9.30.249>
- [14] J. G. Kim, D. S. Lee, J. H. Lee, S. Han, J. B. Ho, "Review of Features and Response system for Unintentional Drowning in Korea", *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol.13, No.1, pp.118-129, March 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.15683/kosdi.2017.03.31.118>
- [15] B. H. Lim, C. H. Lee, N. S. Ji, "A Study on the User Satisfaction and Satisfaction Factors for Waterfront in Urban Area: Focused on Three Major Rivers in Daejeon Metropolitan Area.", *The Geographical Journal of Korea*, Vol.50, No.2, pp.175-183, May 2016.
- [16] K. O. Baek, A Plan for Preventing a Disaster by Water at Imjin River, Policy Research, Gyeonggi Research Institute, Korea, pp.1-3.
- [17] H. J. Yoo, S. I. Jeong, D. H. Kim, S. O. Lee, "Evaluation of Velocity Correction Factor in Image Process for Estimating the Distressed Location in Flood Event", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.5, pp.311-316, Oct. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.5.311>
- [18] Seoul Regional Construction and Management Administration(SROCM), Anyangcheon Area River Master Plan Report, Official Publication, Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), Korea, pp.3-1-3-2, 4-232-4-237.
- [19] Y. I. Moon, A Study on the Construction of Flood Prediction System in Dorimcheon, Policy Research, Seoul Special City, Korea, pp.3-11, 3-13.
- [20] H. S. Woo, K. K. Yu, J. K. Park, "A Preliminary Study of the Hydraulic-Geometrical Relations of Bed Slope in Some Selected Alluvial Rivers", *Journal of Korean Geographical Society*, Vol.29, No.3, pp.253-265. 1994.
- [21] GwanakGu, River Forecasting and Warning System Operation Manual, GwanakGu, Korea, pp.1-3
- [22] Korea Meteorological Administration(KMA). Daily Rainfall data in Automatic Weather System [Internet]. KMA, 2017-2019 [Cited 2019 Sep. 5, 2018 July 2, 2017 Aug. 15, 2017 July. 10]. Available From : https://www.weather.go.kr/weather/observation/available_popup.jsp (accessed Jan. 6, 2020)
- [23] GwanakGu, Water level data[Internet]. GwanakGu, 2017-2019 [Cited 2017 July 10, 2017 Aug. 15, 2018 July 2, 2019 Sep. 5], Available From : <http://smart.gwanak.go.kr> (accessed Jan. 6, 2020)
- [24] Ministry of Environment(ME), Act on The Investigation, Planning, and Management of Water Resources, p.10, ME, 2020, p.1.
- [25] Ministry of Environment(ME), Enforcement Regulations of The Act on The Investigation, Planning, and Management of Water Resources, p.4, ME, 2020, p.2.
- [26] Ministry of Environment(ME), Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), River Act, p.32, ME, 2020, p.1.
- [27] Hydrologic Engineering Center(HEC), HEC-RAS, River Analysis System, User's manual, ver. 3.1.2, U.S. Army Corps of Engineers, America, pp.1-1-1-5.
- [28] S. Han, H. S. Shin, S. Kim, Improvement in Stream Hydraulic Characteristics Estimation Method for Modeling Water Quality: Focusing on QualKo, *Journal of Wetlands Research*, Vol.10, No.1, pp.11-20. Apr. 2008.
- [29] S. J. Kim, G. T. Kim, J. H. Jeong, S. O. Han, Flood Inundation Scenario Development and Analysis Using

HEC-HMS/RAS and HEC-GeoRAS Models, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.13, No.4, pp.199-205. Aug. 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.199>

- [30] K. W. Jun, Analysis of Flood Level Variation in Oship Stream Using HEC-RAS : Focuses on the Impact of the Typhoon Sanba, *Journal of The Korea Contents Society*, Vol.13, No.2, pp.498-504. Feb. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.02.498>
- [31] S. Kim, S. Hong, B. Yoon, U. J, Feasibility Analysis of HEC-RAS for Unsteady Flow Simulation in the Stream Channel with a Side-Weir Detention Basin, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol.45, No.5, pp.495-503. May 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2012.45.5.495>
- [32] Korea Water Resources Association(KWRA), River Design Standards and Explantion, p.590, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009, p.93-100.
- [33] Ministry of the Interior and Safety(MOIS), Framework Act on the Management of Disasters and Safety, p.42, MOIS, 2020, p.23.

이 경 수(Kyung-Su Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국교통대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 한국교통대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2015년 4월 : (재) 국제도시물정보과학연구원 연구원
- 2015년 4월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>

수리학, 하천공학, 재난원인조사

전 종 형(Jong-Hyeong Jeon)

[정회원]



- 2016년 2월 : 서울대학교 전기정보공학부 (공학사)
- 2016년 8월 ~ 현재 : 행정안전부 공업사무관

<관심분야>

재난관리, 재난원인조사

김 태 훈(Tai-Hoon Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한양대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2012년 6월 : 알버타 주립대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2005년 8월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구관

<관심분야>

산사태, 사면안정, 지형학

김 현 주(Hyunju Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 홍익대학교 공과대학 도시계획과 (공학석사)
- 2000년 12월 : 일본 츠쿠바대학교 대학원 사회공학연구과 도시방재 전공 (공학박사)
- 2002년 1월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 연구관

<관심분야>

도시 방재 및 안전, 재난관리, 재난원인조사