

도심지역 지하철 침수 위험도 평가에 관한 연구

전근학 · 서종철 · 최현구 · 김지민[†]

부산대학교 건설융합학부 토목공학전공

A Study on the Risk Evaluation of Subway Flood Inundation in Urban Area

Kun-Hak Chun · Jong-Cheol Seo · Hyeon-Gu Choi · Ji-Min Kim[†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea

(Received : 3 March 2023, Revised : 13 March 2023, Accepted : 13 March 2023)

요약

기후변화로 이상강우 발생이 증가하고 있으며, 매년 폭우로 인한 피해 강도와 규모가 커지고 있는 실정이다. 또한, 폭우의 발생 빈도가 잦아지면서 폭우가 연속적으로 발생하는 경우도 많아지고, 이로 인해 도심지역에서는 전에는 없던 큰 침수 피해가 발생하고 있다. 하천과 해안 인근 지역이 불투수 지역일 경우에 강우강도가 높아질수록 최대 흐름이 급격히 높아지기 때문에 유역특성을 고려한 종합적인 침수위험도 평가가 필요하다. 본 연구에서는 지하철 역사의 침수방지 대책으로 평가요소에 대한 점수를 부여하여 침수위험도 평가를 분석하였다. 종합적인 평가 지수를 고려한 침수 위험도 평가 과정을 거쳐 과거 침수가 발생한 유동인구 및 교통량이 많은 5개의 도시철도역에 대한 침수 위험도 평가를 실시하였다. 이를 종합적으로 분석하여 침수위험 등급(1~4등급)을 설정함으로써 위험등급에 맞는 침수대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 내수침수, 위험도 평가, 지하철, 침수위험등급

Abstract

Due to climate change, the occurrence of abnormal rainfall is increasing, and the intensity and scale of damage caused by heavy rain are increasing every year. In addition, as the frequency of heavy rains becomes more frequent, heavy rains often occur continuously, resulting in large flooding damage that has never been seen before in urban area. When near rivers and coastal areas are impermeable areas, the maximum flow increases rapidly as the rainfall intensity increases, so a comprehensive flood risk evaluation is needed considering the characteristics of the basin. In this study, the flood inundation risk evaluation was analyzed by giving scores on evaluation factors as a measure to prevent inundation in subway stations. Through the flood inundation risk evaluation process considering the comprehensive evaluation index, the flood risk evaluation was conducted on five urban railway stations with a large amount of traffic and floating population that had been inundated in the past. It is judged that by comprehensively analyzing this and establishing a inundation risk grade (grade 1 to 4) to establish a flood measure suitable for the risk grade.

Key words : inundation, risk evaluation, subway station, inundation risk grade

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Korea
E-mail: ckh20003000@hanmail.net

- **Kun-Hak Chun** Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Korea/Ph,D Candidate(ckh20003000@hanmail.net)
- **Jong-Cheol Seo** Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Korea/Ph,D Candidate(ss5828984@naver.com)
- **Hyeon-Gu Choi** Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Korea/Ph,D Candidate(wolfgeng9@naver.com)
- **Ji-Min Kim** Department of Civil & Environmental Engineering, Pusan National University, Korea/Ph,D Candidate(giveme2077@korea.kr)

1. 서 론

기후변화로 인한 산업구조의 변화로 인해 다양한 사회적/자연적 재난이 발생하고 있다. 기술의 발전으로 인해 교통이 편리해지고 다양한 여가생활 추구로 인하여 도시 인구 과밀 현상이 일어나고 있으며, 이에 따라서 지하 공간 활용성이 중요해지며 복합 지하 공간에 대한 개발과 수요를 증가시키고 있다. 하지만, 지하 공간이 가지는 폐쇄적인 특징으로 인해 다양한 재난에 취약하며, 특히, 지상 구조물보다 침수에 더 위험하며 이에 대한 대책이 많이 미흡하다.

제11호 태풍 ‘힌남노’가 몰고 온 기록적 폭우로 지난 9월 6일 침수된 경북 포항의 한 아파트 지하주차장에서 차를 빼내려던 주민 9명 중 7명이 목숨을 잃는 참으로 안타까운 참사가 발생했다. 한달전, 수도권 집중호우로 서울 서초구의 빌딩 지하주차장에서 남성 1명이 급류에 휩쓸려 숨지고, 관악구 반지하 주택에 살던 일가족 3명은 침수를 미처 피하지 못하고 사망했다. 잇단 지하 공간 참사는 지하 공간이 수해에 얼마나 취약한지를 일깨운다. 지하 공간은 침수가 시작되면 유속이 빨라져 순식간에 물이 찬다. 지하 건물은 지상 구조물에 비해 지반고가 낮으며, 공간의 폐쇄성으로 지상구조물보다 침수에 더 취약하기 쉽다.

2022년 포항 아파트 지하가 물에 잠기기까지 불과 10분도 걸리지 않았다. 과거 2003년 태풍 ‘매미’로 인해 지하주차장과 지하상가 등에서 무려 12명이 숨졌고, 2006년 태풍 ‘차바’ 때는 울산의 한 지하주차장에서 1명이 익사했으며, 2020년 집중호우로 당시에는 부산 요양병원과 호텔 지하주차장에서도 6명이 고립됐다가 극적으로 구조됐다. 이렇게 최근 태풍이나 국지적 집중호우로 인해 자산과 더불어 인명피해가 지하 공간에서 집중적으로 발생하고 있다. 하지만 이러한 집중호우 발생시 지하 시설에 대한 침수가 끊임없이 발생하고 있음에도 불구하고 아직까지 고쳐지지 않고 있다. 이러한 사고를 계기로 지하시설의 침수방지 대책을 조속히 강구해야만 한다.

국지적 집중호우로 인한 침수는 지하주차장뿐만 아니라 반지하하는 물론 지하철역이 물에 잠기는 사고도 일어난다. 최근 집중적으로 인명피해 발생지는 지하철, 아파트나 건물의 지하주차장이 많다. 이곳은 면적이 넓어도 강우의 침수 속도가 매우 빨라 순식간에 잠겨버린다. 이번 인명피해가 난 포항 아파트 지하주차장도 소형 축구장 크기이지만, 불과 8분 만에 사람 키 2배쯤의 물이 들어왔다고 한다. 빗물 유입을 차단하거나 지연시키는 시설을 설치하는 것은 물론 배수 용량을 늘릴 필요성이 있다. 따라서 반복되는 지하시설 침수를 사전에 막고 대비할 근본적인 종합대책을 서둘러 마련해야만 한다.

1988년 5월 2일 발생한 서울 태능입구역 침수 사고는 과거 사회 전반에 엄청난 파장을 일으킨 하나의 대형사고로 기록되었다. 이러한 대형사고들의 원인을 살펴보면 사소한 부주의와 방심과 더불어 임시 가설구조물에 대한 계획부재 및 소홀한 관리와 관심부족에 기인된 것으로 판단된다. 또

한, 2001년 고속터미널 침수와 같이 지속적으로 지하철 역사에 대한 침수피해가 발생하고 있다.

국외의 경우, 일본 동경 메트로(동경 지하철(주)의 약칭)는 동경도와 구를 중심으로 9개의 노선을 운영하고 있으며 7개 노선에 대해서는 다른 철도회사와 상호 직통 운행을 실시하는 등 수도권 철도 네트워크의 핵심을 담당하고 있다. 특히 도심 3구 및 그 주변 지역에 대해서는 중요한 코어 네트워크를 형성하고 있으며, 2009년도 기준으로 연간 20억 957만 명, 하루 평균 633만 명의 고객이 이용하였다. 동경 메트로에서는 제방 붕괴에 의한 범람, 홍수로부터의 보호를 전제로, 집중호우에 의한 침수로부터 지하철 구내를 지키는 것을 목적으로 침수방지 설비를 설치하고 있다. 지하철은 다른 지중 구조물을 피하기 위해서 횡단 방향으로 상하의 경사를 형성하며 건설되어 있다. 이러한 이유로 터널 내에서 솟아나는 물이나 개구부에서 유입되는 우수를 집수하여 배수하기 위한 펌프실을 경사의 최하점 부근에 설치하고 있다. 집수의 범위에 대응하여 펌프실의 용량을 정하고, 일정의 용량에 도달하면 펌프에서 배수되지만, 높은 수위나 홍수 등 이상 침수로 터널 내에 물이 차는 경우, 별도의 배수 펌프를 준비하여 대응하고 있다.

기후 위기로 극한 폭우나 태풍은 갈수록 매서워지고 빈발할 것이라고 하니 대비책을 서둘러 강구해야 한다. 미국 국립해양·대기관리국(NOAA)은 지구 온도가 2도 올라가면 태풍의 풍속은 5% 더 강해지고 강수량은 14% 늘어날 것이라고 했다. 실제로 서울에는 2022년 8월 8일과 9일 115년 만의 폭우가 쏟아졌다. ‘30년 빈도’의 폭우에 대비한 기존 방재시설은 한계를 드러냈고 서울·경기에서 무려 14명이 사망했다. 포항에서도 시간당 110mm를 웃도는 기록적인 폭우가 쏟아졌다. 게다가 주차 공간 확보를 위해 지하를 더 깊게 파 주차장을 만드는 경우가 많아지고, 상·지하철 등 지하 공간 이용이 갈수록 늘어나고 있다.

지하 공간에서의 침수피해를 최소화하기 위한 다양한 침수방지 대책이 필요하다. 이에 따라 지하 공간의 침수피해 대책 마련 및 원인을 규명하기 위해 다양한 연구가 진행되어 왔다. 조재용 등(2011)은 우리나라 지하 공간 내수침수 피해 원인 및 대책을 연구하였으며, 이창희 등(2007)은 지하공간 침수해석 모형과 연계하여 침수해석을 통합모형으로 나타내었으며, 안상진 등(2004)은 지하공간의 침수방지 대책에 관한 연구를 진행한 바 있다.

도시 내수침수에 대한 연구는 2000년대부터 활발하게 진행되고 있으며, Schreider et al. (2000)은 홍수 피해를 받기 쉬운 도시 지역의 취약성 변화를 평가하기 위한 온실홍수 데이터를 사용하여 물리적 특성이 다른 유역의 홍수 빈도 변화를 추정하기 위해 빗물 유출 모델링을 사용하는 것의 중요성을 설명하였다. Mark et al. (2004)은 도시 홍수는 전 세계의 많은 도시들에게 피할 수 없는 문제이고 도시 홍수의 분석을 위한 모델링 접근법과 원칙을 개략적으로 설명한 바 있다. Barroca et al. (2006)은 상습 침수 지역의 약점과 저항에 대한 많은 접근법이 다양한 규모로

개발되었으며 이러한 접근법은 부분적이고 맥락적이라고 밝혔다. Hunter et al. (2008)은 6개의 2차원 유압 모델에 대한 벤치마크 테스트를 도시화된 지역에서 표면 흐름을 시뮬레이션하는 측면에서 설명하였다. Chen et al. (2014)은 급속한 도시화의 결과로 도시 홍수의 위험이 증가하고 있고 시뮬레이션 결과를 통해 불침투성 지표면이 유출에 가장 큰 기여를 한다는 것을 보여주었다. Li et al. (2020)은 지반 위, 지표, 지하에 설치된 유량 감소 시설에 대해 검토하였으며, He et al. (2021)은 홍수의 영향을 완화하기 위해서는 컴퓨터 기반 방법의 도움을 받아 효과적인 대피 계획을 확인하였다. 최근에 D'Ambrosio et al. (2022)은 시나리오 분석의 접근법을 사용하여 강우 강도, 면적 및 토지 사용의 전형적인 특징이 도시 지역의 지속 가능한 재개발의 효과에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 연구를 수행한 바 있다.

최적의 침수방지 대책 수립을 위해서는 다양한 흐름특성의 수리 실험 등을 통해 케이스별 대책이 필요하나 국내에서는 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지하 시설물 중에서, 유동인구 및 피해가 가장 많이

발생할 수 있는 주요 지하철 역사의 침수 문제점 및 대책에 대한 연구를 수행하고자 한다. 또한 본 연구에서는 지하철에서의 침수 위험도를 제시하였다. 이를 바탕으로 현재 많이 부족한 지하철 침수 대책 매뉴얼을 정립하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

본 연구에서는 도시철도역 침수위험도평가를 위하여 Fig. 1과 같이 지형 위험, 배수 위험, 내수 위험, 과거 위험, 외수 위험 총 5가지의 평가항목을 선정하였다. 각 평가항목에 대해 정성적 평가 기준을 마련하여 1점 ~ 3점의 점수를 부여한 후, 최종적으로 각 도시철도역에 대한 침수위험 등급을 설정하고자 한다 (Table 1).

2.1 과거 위험도

도시철도역의 과거 침수이력 여부를 결정하는 위험도 평가항목으로, 과거 침수 피해가 없으면 1점(평가 '상'), 1회 있으면 2점(평가 '중'), 2회 이상이면 3점(평가 '하')로 평가

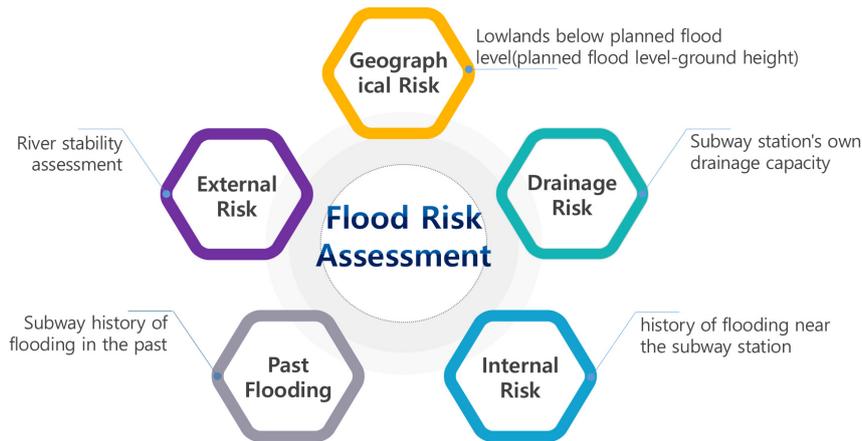


Fig. 1. Flood Risk Assessment Category

Table 1. Subway Flood Risk Evaluation

Evaluation	Detail	Evaluation Criteria	Evaluation	Point
Past Risk	Whether the subway was flooded in the past	no flood damage	Good	1
		1 flood damage	Fair	2
		2 or more flood damage	Poor	3
Geographical Risk	Differences between design flood level and ground height (design flood level - subway ground height)	lower than 0m	Good	1
		between 0 and 3 meters	Fair	2
		3m or higher	Poor	3
External Risk	River Stability Evaluation (Relationship between design flood level, freeboard, and levee height)	river safety A	Good	1
		river safety B	Fair	2
		river safety C	Poor	3
Internal Risk	Subway entrance inundation status	no inundation	Good	1
		less than half inundated	Fair	2
		more than half inundated	Poor	3
Drainage Risk	Subway's own drainage ability (Self-drainage facilities, small pumps, etc.)	more than 10 self drainage structure	Good	1
		6-9 self drainage structure	Fair	2
		less than 6 self drainage structure	Poor	3

하였다. 단, 과거 침수 이력으로 인해 도시철도역에 침수 보강/보충/증설 공사를 실시한 경우 재평가를 실시하여야 한다.

2.2 지형 위험도

지형 위험은 도시철도역의 지형적 요소를 고려한 위험도 평가 항목으로, 계획홍수위와 지반고의 높이 차를 계산하여 0m 이하면 1점(평가 '상'), 0 ~ 3m 사이면 2점(평가 '중'), 3m 이상이면 3점(평가 '하')으로 평가하였다. 단, 계획홍수위가 변경될 시 재평가를 실시하여야 한다.

2.3 외수 위험도

외수 위험은 외수위 요소를 고려한 위험도 평가 항목이다. 계획홍수위, 여유고, 제방고 3가지를 고려하여 안전 단면(1점, 평가 '상'), 관리 단면(2점, 평가 '중'), 위험 단면(3점, 평가 '하')으로 하천 치수 안전도 평가를 실시하였다. 단, 계획홍수위, 여유고, 제방고 변경 시 재평가를 실시하여야 한다 (Fig. 2).

하천설계기준의 제방설계에서 제방고는 계획홍수위에 여유고를 더한 높이 이상으로 설계한다. 단, 계획홍수위가 제내지반고 보다 낮고 지형상황으로 보아 치수상 지장 없다고 판단되는 구간에는 예외이다. 여유고의 경우, 계획홍수량을 안전히 소통하기 위해 여러 가지 불확실한 요소들에 대한 안전 값으로 주는 여분의 제방 높이이다.

2.4 내수 위험도

내수 위험은 도시철도 내수침수 요소를 고려한 위험도 평가 항목이다. 내수침수해석결과 도시철도역 입구에 침수가 발생하지 않으면 1점(평가 '상'), 총 입구 수의 절반 미만으로 침수된 경우 2점 (평가 '중'), 총 입구 수위 절반 이상 침수되는 경우 3점(평가 '하')로 평가하였다.

단, 과거 인근(지상 포함) 침수 이력으로 인해 도시철도역사에 침수 보강/보충/증설 공사를 실시한 경우에는 재평가를 실시하여야 한다.

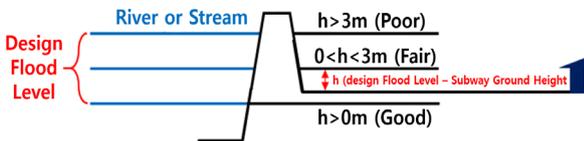


Fig. 2. External Risk Figure

Table 2. Freeboard According to Design Flood Discharge

Design Flood Discharge (m ³ /sec)	Freeboard (m)
below 200	over 0.6
200 - 500	over 0.8
500 - 2,000	over 1.0
2,000 - 5,000	over 1.2
5,000 - 10,000	over 1.5
over 10,000	over 2.0

2.5 배수 위험도

배수 위험은 도시철도역 자체의 배수 능력을 고려하는 위험도 평가 항목이다. 도시철도역사 자체 배수 능력(배수시설, 소형 펌프, 배수로 등)이 10건 이상 있으면 1점(평가 '상'), 6건 이상 있으면 2점(평가 '중'), 없거나 6건 미만이면 3점(평가 '상')으로 평가하였다.

단, 도시철도역사에 배수시설물 등을 신규로 설치할 시에는 재평가를 실시하여야 한다.

3. 연구결과 및 고찰

본 연구에서는 침수위험 등급을 침수위험 1등급부터 4등급으로 총 4단계로 구분하였다(Table 3). 침수위험 등급은 각 평가 항목별 점수를 합산하여 최종적으로 부산 일부 구간의 침수위험 등급을 설정하였다.

3.1 침수위험 1등급

과거 도시철도역의 침수이력이 있거나 하천의 위험지점에 인접해 있어서 범람 및 붕괴로 인한 외수침수 우려가 큰 곳으로 계획홍수위 보다 낮은 저지대에 있고, 하수관거 통수능 부족으로 인하여 내수침수에 취약하고 자체 배수능력이 없는 지하철로 침수위험이 가장 높은 곳이다.

3.2 침수 위험 2등급

하천에 인접해 있을 수 있거나 계획홍수위 보다 낮은 저지대여서 호우 시 하천관리가 필요하며, 내수침수의 가능성이 높고 역사 출입구가 계획홍수위 보다 낮은 저지대에 위치하고 있으며, 자체 배수능력이 거의 없는 침수위험이 높은 지역이다.

3.3 침수 위험 3등급

하천에 인접해 있으며 계획홍수위와 비슷한 지대지만 호우 시 주의사항이 필요하며, 내수침수의 가능성이 있을 수 있으며 역사 출입구가 계획홍수위와 비슷하며 자체 배수능력이 작고 침수위험 가능성이 있는 지역이다.

3.4 침수 위험 4등급

도시철도역이 계획홍수위 보다 높은 곳에 있으며 외수 및 내수에 대한 침수 위험성이 적은 지역이며 자체 배수능력이 있는 곳으로 침수에 대하여 안전지역이다.

Table 3. Flood Risk Grade

Flood Risk Grade	Total Range	Evaluation
Flood risk 1 st grade	14-15	High risk of flooding
Flood risk 2 nd grade	11-13	Risk of flooding
Flood risk 3 rd grade	8-10	Low risk of flooding
Flood risk 4 th grade	5-7	Safe to flooding

3.5 침수 위험도 평가

본 연구 대상유역은 동천으로 부산광역시의 중앙남단부에 위치하고 있다. 유역의 남쪽은 부산항과 접하고 있고, 전포천 합류점의 하류부 구간은 조위의 영향을 직접 받고 있다.

동천유역은 동천 본류 및 4개의 지천(부전천, 가야천, 전포천, 호계천)을 포함하는데, 부산진구의 대부분 지역과 동구의 범일동, 좌천동, 남구의 문현동, 대연동과 우암동 일부를 유역에 포함하고 있다. 그리고 본 동천 상류의 유입수로 중 일반 지명을 붙인 당감천이 동천 상류에서 유입되어 흐른다. 동천은 부산항북항으로 합류되는 하천이며, 동천으로 합류하는 지방하천은 부전천, 가야천, 전포천, 호계천이 있다.

지하 도시철도역은 공간대비 인구밀집도가 높고, 유동인구가 많다. 따라서 침수 발생 시 인명피해가 집중되기 쉽지만 기존의 재해정보지도는 도시철도역에 대한 침수 여부가 제대로 반영되고 있지 않다.

그 이유는 보통 도시철도역의 지표고는 주변보다는 높기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 도시철도역에 대한 침수를 더욱 정확하게 반영하기 위해 도시철도역을 중심으로 연구를 진행하였다.

연구대상지로 선정한 지점 5개소 현황은 Table 4와 같다. 각 지점은 지표 고도에 따라 1유형과 2유형으로 구분하였으며, 1유형은 5~10 El.m에 해당하는 지점들로 구성하고, 2유형은 0~5 El.m에 해당하는 지점들로 구성하였다 (Fig. 3).



Fig. 3. Study Basin Location

Table 4. Study Basin Point Status

Type	Point	Status
Type 1	A	Oncheon Stream
	B	Dong Stream
Type 2	C	Dong Stream
	D	Near Pusan North Port
	E	Near Pusan North Port

3.5.1 A 지점 (연산역)

A지점에서 침수위험도 평가를 실시한 결과, 50년 빈도에서 총점 8점, 침수위험 등급 3등급으로 나타났으며, 100년 빈도에서 총점 9점, 침수위험 등급도 마찬가지로 3등급으로 나타났다. 하지만 200년 빈도에서 총점 11점, 침수위험 등급 2등급으로 나타났다 (Fig. 4, Table 5-6).

A지점은 연안의 저지대보다 조금 높은 중간지대에 위치하고 있기 때문에 지형 및 외수위험에서 상대적으로 안전하지만, 실제로 침수가 발생했던 적이 있고 분석한 결과 내수 위험이 존재하기 때문으로 판단된다.

3.5.2 B 지점 (서면역)

B지점에서 침수위험도 평가를 실시한 결과, 50년 빈도에서 총점 7점, 침수위험 등급 4등급으로 나타났다. 하지만 100년 빈도에서 총점 8점, 침수위험 등급 3등급, 200년 빈도에서 총점 8점, 침수위험 등급도 마찬가지로 3등급으로 나타났다 (Fig. 4, Table 5-6).

B지점 또한 A지점과 같이 연안의 저지대보다 조금 높은 중간지대에 위치하고 있기 때문에 지형 및 외수위험에서 상대적으로 안전하지만, 실제로 침수가 발생했던 적이 있고 분석한 결과 내수 위험이 100년, 200년 빈도에서 존재하기 때문으로 판단된다.

3.5.3 C 지점 (범내골역)

C지점에서 침수위험도 평가를 실시한 결과, 50년 빈도에서 총점 13점, 침수위험 등급 2등급으로 나타났다. 하지만 100년 빈도에서 총점 14점, 침수위험 등급 1등급, 200년 빈도에서 총점 15점, 침수위험 등급도 마찬가지로 1등급으로 나타났다 (Fig. 4, Table 5-6).

C지점은 연안의 저지대에 위치하고 있어 지형 및 외수위험에서 상대적으로 위험하다. 또한, 실제로 폭우 시 침수가 자주 발생하는 편이고 분석한 결과 또한 C지점의 범내골역 출입구로 우수가 밀려들어올 가능성이 충분하다고 분석되었기 때문에 전체적으로 위험한 2등급과 1등급으로 나타났다.

3.5.4 D 지점 (부산진역)

D지점에서 침수위험도 평가를 실시한 결과, 50년 빈도, 100년 빈도, 200년 빈도에서 모두 총점 15점, 침수위험 등급 1등급으로 나타났다 (Fig. 4, Table 5-6).

D지점도 C지점과 같이 연안의 저지대에 위치하고 있어 지형 및 외수위험에서 상대적으로 위험하다. 또한, 실제로 폭우 시 침수가 자주 발생하는 편이고 분석한 결과 또한 D지점의 부산진역 출입구로 우수가 밀려들어올 가능성이 충분하다고 분석되었기 때문에 D지점은 모든 빈도에서 1등급으로 나타났고, 이는 D지점의 침수 방어 대책이 절실하다는 것을 의미한다.

3.5.5 E 지점 (부산역)

E지점에서 침수위험도 평가를 실시한 결과, 50년 빈도에

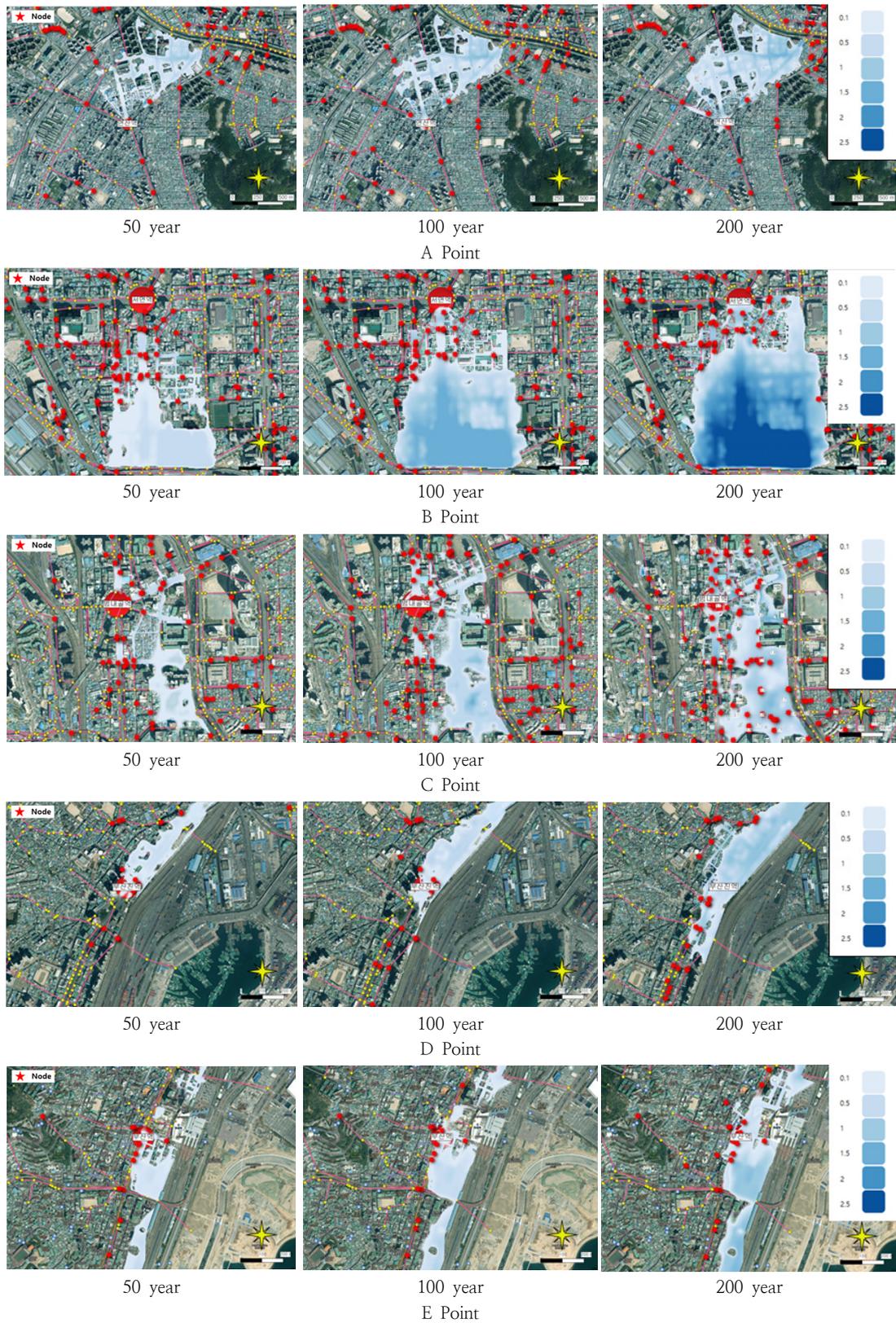


Fig. 4. Flood Prediction for A~E Point by Return Period

서 총점 12점, 침수위험 등급 2등급으로 나타났다. 하지만 100년 빈도, 200년 빈도에서 모두 총점 14점, 침수위험 등급 1등급으로 나타났다 (Fig. 4, Table 5-6).

E지점은 C지점이나 D지점과 같이 연안의 저지대에 위치하고 있어 지형 및 외수위험에서 상대적으로 위험하다. 또한 실제로 침수가 발생한 적이 있고, 분석한 결과 또한 E지

Table 5. Flood Risk Evaluation by Return Period for Point A~E

Point	Return Period (year)	Past Risk	Geographical Risk	External Risk	Internal Risk	Drainage Risk	Total	Flood Risk Grade
A	50	Grade 2	Grade 2	Grade 1	Grade 2	Grade 1	8	3
	100	Grade 2	Grade 2	Grade 2	Grade 2	Grade 1	9	3
	200	Grade 2	Grade 2	Grade 3	Grade 3	Grade 1	11	2
B	50	Grade 3	Grade 1	Grade 1	Grade 1	Grade 1	7	4
	100	Grade 3	Grade 1	Grade 1	Grade 2	Grade 1	8	3
	200	Grade 3	Grade 1	Grade 1	Grade 2	Grade 1	8	3
C	50	Grade 3	Grade 3	Grade 2	Grade 2	Grade 3	13	2
	100	Grade 3	Grade 3	Grade 2	Grade 3	Grade 3	14	1
	200	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	15	1
D	50	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	15	1
	100	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	15	1
	200	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	15	1
E	50	Grade 2	Grade 3	Grade 3	Grade 2	Grade 2	12	2
	100	Grade 2	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	14	1
	200	Grade 2	Grade 3	Grade 3	Grade 3	Grade 3	14	1

Table 6. Flood Risk Evaluation Result by Return Period for Point A~E

Point	Return Period (year)	Flood Amount (m3)	Maximum Flood Depth (m)	Damaged Entrance No.
A	50	61,669.54	0.61	7, 16
	100	113,248.51	1.15	3, 5, 7, 16
	200	187,996.52	1.51	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 16, 17
B	50	68,407.15	0.54	-
	100	143,655.02	1.18	1, 2, 3, 4
	200	330,406.55	2.03	1, 2, 6, 4, 5, 6
C	50	34,298.34	0.87	7, 8
	100	57,163.91	1.53	5, 6, 7, 8
	200	63,515.45	1.61	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
D	50	9,354.83	0.47	3, 4, 5, 6, 7, 8
	100	18,072.94	0.67	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8
	200	33,067.97	1.17	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
E	50	4,293.06	0.43	2, 3, 4
	100	9,356.94	0.62	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
	200	26,162.35	0.73	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Table 7. Summary of Flood Risk Evaluation Result

Point	Return Period (year)	Total	Flood Risk Evaluation Grade
A	50	8	3
	100	9	3
	200	11	2
B	50	7	4
	100	8	3
	200	8	3
C	50	13	2
	100	14	1
	200	15	1
D	50	12	2
	100	14	1
	200	14	1
E	50	15	1
	100	15	1
	200	15	1

점의 부산역 출입구로 우수가 밀려들어올 가능성이 충분하다고 분석되었기 때문에 부산역은 100년, 200년 빈도에서 침수위험 등급 1등급으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 도시지역의 지하철 침수방지 대책으로 침수 위험도 평가요소에 대한 점수를 부여하여 침수위험도 평가를 실시하였다. 종합적인 평가 지수를 고려한 침수 위험도 평가 과정을 거쳐 과거 침수가 발생한 유동인구 및 교통량이 많은 5개 지점의 도시철도역에 대한 침수 위험도 평가를 실시하였으며 비교한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 각 지점이 위치한 유역 특성에 따라 결과가 상이하었다. 각 유역의 불투수면적 비율은 온천천 유역 48.73%, 동

천 유역 63.09%, 부산북항 유역 75.19%이며 대부분을 불투수 지역이 둘러싸고 있어서 내수배제에 어려움이 있다.

2. 하천과 해안 인근 지역이 불투수 지역일 경우에 강우 강도가 높아질수록 최대 흐름이 급격히 높아지기 때문에 유역특성을 고려한 종합적인 침수위험도 평가가 필요한 것으로 판단된다.

3. A, B 지점은 유동인구와 교통량이 많은 연산, 서면역 임에도 불구하고 침수발생 가능성이 낮거나 보통으로 나왔다. 이는 정부에서 침수 고위험 지역으로 판단되어 최근에 다양한 자체적인 배수시설물 보강 등을 통해 개선되었기 때문이다.

4. 반면에 C, D 지점은 자체적인 배수시설물, 소형 펌프 등을 통해 내수배제에 신경을 쓸 필요가 있다고 판단된다. 특히, E 지점은 부산역으로 재해 발생시 많은 인명피해가 우려되므로 외수와 내수 모두 고려하여 보강할 필요가 있다고 판단된다.

이를 종합적으로 분석하여 침수위험 등급(1~4등급)을 설정함으로써 위험등급에 맞는 침수대책을 수립해야 할 것으로 판단된다. 동시에 기후재난에 따른 사회 불평등을 보완할 대책도 서둘러 강구해야 한다. 후속 연구를 통해 부산시 전체를 대표할 수 있는 등급을 선하고 나아가 국내 역사를 대표할 수 있는 침수 위험 등급을 산정하고자 한다.

References

- Ahn, S. J., Seo, B. H., Choi, G. E., Park, G. H. (2004). The research on scheme to prevent inundation at the underground space, *In Proceedings of the Korea Water Resource Association*, pp. 883-887.
- Barroca, B., Bernardara, P., Mouchel, J. M., Hubert, G. (2006). Indicators for identification of urban flooding vulnerability, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(4), pp. 553-561.
- Chen, W. B., Liu, W. C. (2014). Modeling flood inundation induced by river flow and storm surges over a river basin, *Water*, 6(10), pp. 3182-3199.
- D'Ambrosio, R., Balbo, A., Longobardi, A., Rizzo, A. (2022). *Re-think urban drainage following a SuDS retrofitting approach against urban flooding: A modelling investigation for an Italian case study*, *Urban Forestry & Urban Greening*, pp. 127518.
- He, M., Chen, C., Zheng, F., Chen, Q., Zhang, J., Yan, H., Lin, Y. (2021). An efficient dynamic route optimization for urban flooding evacuation based on Cellular Automata, Computers, *Environment and Urban Systems*, 87, pp. 101622.
- Hunter, N. M., Bates, P. D., Horritt, M. S., Wilson, M. D. (2006). Improved simulation of flood flows using storage cell models, *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, Thomas Telford Ltd., 159(1), pp. 9-18.
- Inundation, U. S. (2015). An experimental study on evacuation ability during underground space inundation, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 15(2), pp. 1-8.
- Jeong, G. T. (1998). Suggestions for the Analysis and Prevention of the Causes of Watering Accidents on Subway Line 7., *Journal of the Korea Construction Safety Engineering Association*, pp. 35-39.
- Jo, J. W., Choi, W. J. (2011). Cause and countermeasure of inundation damage in underground space, *In Proceedings of the Korea Water Resource Association*, pp. 420-420.
- Kim, Y. J., Lee, C. H., Yeo, C. G. (2008). Evaluation and countermeasures of underground space in urban area - aiming at subway station, *Water for Future*, 41(3), pp. 49-53.
- Lee, C. H., Han, K. Y. (2007). Integration model for urban flood inundation linked with underground space flood analysis model, *Journal of the Korea Water Resource Association*, 40(4), pp. 313-324.
- Li, S., Qin, Y., Liu, Y., Song, X., Liu, Q., Li, Z. (2020). Estimating the design flood under the influence of check dams by removing nonstationarity from the flood peak discharge series, *Hydrology Research*, 51(6), pp. 1261-1273.
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S. B., Djordjević, S. (2004). Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding, *Journal of Hydrology*, 299(3-4), pp. 284-299.
- Schreider, S. Y., Smith, D. I., Jakeman, A. J. (2000). Climate change impacts on urban flooding, *Climatic Change*, 47, pp. 91-115.
- Seo, J. W. (2012). Measures for underground space flooding - example of subway, *The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, 41(11), pp. 76-80.
- Shin, D. S., Park, J. B., Shon, T. S., Jo, D. J. (2012). Preventive measures assessment to prevent flooding complex underground space through hydraulic model experiment, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12, pp. 59-66.