

홍수특성과 지하공간침수의 관계 검토

Relationship between Flood Characteristics and Underground Inundation

이대영· 이건행**· 경민수***· 김형수****

Lee Dae Young · Lee Keon Haeng · Kyoung Min Soo · Kim Hung Soo

Abstract

In recent, the utilization of underground in urban area is increased as subway, store, and others but we have done a few studies for the inundation of underground due to flooding. So, we investigate the examples of underground inundation and the causes of inundation for flood events. And the relationship between flood characteristics and underground inundation is analyzed through the frequency of rainfall which is made by annual multi maximum series. As a result, most of underground is inundated by high frequency of rainfall. And there are some cases that the underground is inundated by low frequency of rainfall because of poor drainage system and characteristics of location.

Keywords : underground's inundation, frequency of rainfall, flood characteristic

1. 서론

인구의 도시집중화로 인한 도시지역의 공간부족은 지하공간개발의 원동력이 되었으며, 도시는 점차적으로 지하공간의 활용성을 높이고 있는 추세이다. 그러나, 지하공간 건설시 관련법규 및 지하공간에 대한 연구의 미흡으로 위험에 대한 노출성이 증가하고 있다. 그럼에도 불구하고, 특히, 홍수와 같은 자연재해의 잠재적 위험성과 지하공간에 대한 연구는 전 세계적으로도 잘 이루어지지 않고 있다. 일본의 경우만 최근 홍수와 지하공간침수에 대해 관심을 가지고 연구를 하고 있을 뿐이며, 특히 우리나라의 경우는 관련 연구가 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도시지하공간 침수사례와 침수원인을 조사하여 강우분석을 통한 홍수와 도시지하공간 침수와의 관계를 분석하였다.

2. 연구대상 지역

지하공간의 분류는 분류 기준에 따라 다르게 분류될 수 있으며, 그 범위도 광범위하다. 도시지역의 지하공간은 일반적으로 크게 교통시설(지하도로, 지하철 등), 공급시설(상·하수도, 전화선 및 가스관등), 에너지 시설(발전소 설비, 에너지 냉난방등), 환경시설(폐기물처리시설, 하수배관 등), 저장시설(유류저장시설 등), 방어 시설(군사시설 등), 주거시설 등으로 나눌 수 있다(김현주, 2003). 본 연구에서는 이중에서 도시지역에서의 침수 빈도가 높은 지하철, 지하상가, 지하차도를 대상으로 선정하였다.

3. 도시지하공간 침수사례 및 침수원인

도시지하공간침수시의 홍수특성을 알아보기 위해서 서울지역을 중심으로 도시지하공간의 침수사례 및 침

· 비회원 · 인하대학교 환경토목공학부 석사과정 · E-mail · ldyldy30@naver.com
** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정 · E-mail · ggun@inha.ac.kr
*** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정 · E-mail · gjgatg@inha.ac.kr
**** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 교수 · E-mail · sookim@inha.ac.kr

수원인을 조사하였다. 도시지하공간의 침수사례는 과거 홍수피해가 많이 발생하였던 1984년, 1987년, 1996년, 1998년, 1999년, 2000년, 2001년, 2002년을 조사하였다. 표 1은 연도별 지하공간침수 지역과 침수원인을, 그림 1은 서울지역의 침수지역을 나타낸 것이다.

표 1. 서울지역의 홍수사상별 지하공간침수 사례 및 침수원인

연도(년)	침수지역	침수원인
1984	영등포구청역, 당산역	폭우로 인한 통신구(공동구)로 노면수유입
1987	신당역, 홍대입구역, 교대역~강남역, 을지로4가역~동대문운동장역	저지대 노면수 유입, 지하상가 출입구로 노면수 유입
1996	신당역, 동대문운동장역	지상도로 노면수 유입
1998	청량리역(1호선), 7호선 마들~사가정역(11개역), 용답역~신당역, 선릉역, 대치역, 도봉산역, 월계지하차도, 상암지하차도, 마장동 지하차도	집중호우 및 중랑천의 범람
1999	도봉산역, 영등포 상류방향 지하차도	집중호우
2000	상암동 상암지하차도, 석계역 지하차도	불광천의 범람 및 집중호우
2001	청량리역(1호선), 종로5가역, 신당역, 고속터미널역, 강남구청역, 서대문구중앙일보빌딩, 강남구논현동미주빌딩지하, 동아미디어센터지하	기습적인 집중호우 및 집중호우에 의한 하수관거 용량 초과
2002	서울강서구경인유통상가, 상암지하차도, 사평로지하차도	집중호우
2003	종로3가역, 상암지하차도, 통일로지하도, 오류동지하도, 상봉지하차도	서울지역의 집중호우

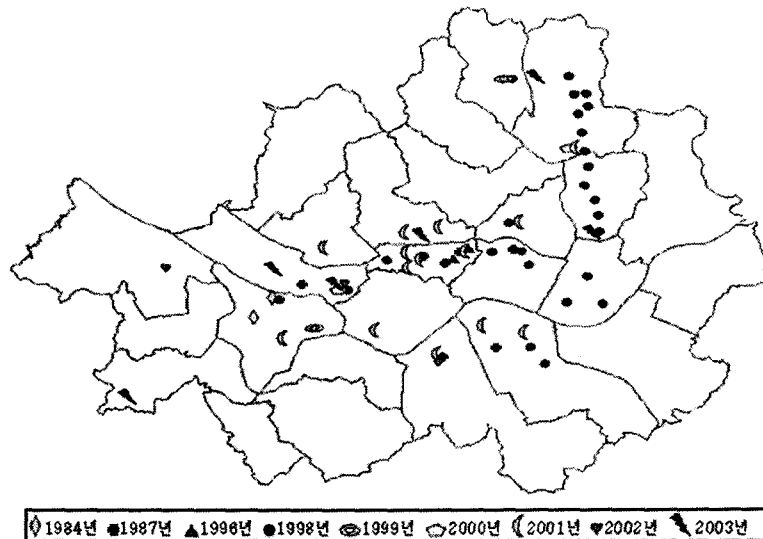


그림 1. 서울지역의 홍수사상별 지하공간침수 지역

4. 도시지하공간 침수시 강우량 및 빈도해석

4.1 순위별 최대치계열 강우자료

수자원 분야의 강우빈도 해석은 보편적으로 연 최대치 강우계열을 확률분포에 적용하여 실시된다. 이 과정에서 적정확률분포 추정시, 많은 강우자료가 필요하다는 점과 돌발홍수를 포함하는 몇 개의 극치 값이 빈도 해석에 많은 영향을 준다는 단점이 있다. 충분한 강우자료를 가지고 있다면 빈도해석 시 높은 신뢰도를 기대

할 수 있지만, 서울 지역 강우관측소의 경우 30~40년 정도의 강우자료로 과거의 강우 빈도를 판단하는 것에는 무리가 있다고 판단되었다. 실제로 서울지역의 강우자료를 살펴보면, 1시간 지속기간의 강우량이 42mm일 때, 강우자료 40개 강우 사상 중 24번째로 크에도 불구하고, 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하고 Gumbel분포를 이용한 경우 확률빈도가 1년밖에 되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 순위별 강우자료를 도입하여 강우빈도의 신뢰성을 높이고자 한다. 순위별 최대계열 강우자료는 AMS(Annual Maximum Series), 2MAMS(2 Multi Annual Maximum Series), 3MAMS(3 Multi Annual Maximum Series)로 구성된다.(이영민, 2004) AMS 강우계열은 각 지속시간에 따른 최대치계열이고, 2MAMS 강우계열은 AMS 강우계열과, 각 지속시간 중 2번째로 큰 강우계열로 구성되며, 3MAMS 강우계열은 AMS, 2MAMS 강우계열을 포함하고, 각 지속시간 중 3번째로 큰 강우계열을 포함하는 강우계열이다. 따라서 AMS 강우계열이 40개라면, 2MAMS 강우계열은 80개, 3MAMS는 120개의 강우계열이 된다. 이렇게 구성된 순위별 강우계열은 강우의 경향을 보다 잘 보여줄 수 있으며, 몇 개의 큰 홍수사상에 의해 확률강우량이 전체적으로 높아지는 오류를 막을 수 있다.

표 2. 서울지역의 순위별 최대치강우계열 예(지속시간 1시간)

	AMS	2MAMS		3MAMS		
1961	37.4	37.4	30.5	37.4	30.5	23.9
1962	12.5	12.5	12	12.5	12	11.7
1963	34.6	34.6	33.8	34.6	33.8	31.5
1964	116	116	31.7	116	31.7	26.6
1965	44	44	36	44	36	33.9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4.2 지하공간침수시 강우량과 빈도해석

서울지역의 지하공간침수시의 강우량은 침수된 지하공간의 정확한 지점 강우량 산정을 위해 서울 종로구 강우관측소와 구로구 강우관측소, 경기도 의정부 강우관측소, 수원 강우관측소의 자료를 Kriging 기법을 이용하였으며, 지속시간 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간으로 나누어서 침수된 지역의 지점강우량을 산정하였다. 그리고, 강우사상의 빈도해석은 4.1절에서 제시된 순위별 최대계열 강우자료에서 Grubbs-Beck에 의한 검정법을 이용하여 특이값의 유무를 검토하고 이를 추출하였다. 특이값이란, 일정한 유의수준에서 발생할 확률이 극히 적은 값을 말한다. 표 3은 서울지역의 1961년부터 2001년까지의 순위별 강우계열중 특이값을 나타낸 것이며, 강우지속시간 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간의 경우는 특이값이 존재하지 않았다.

표 3. 서울지역의 1시간 지속시간의 특이값

Extreme Series	\bar{X}	S	K_N	X_H (mm)	X_L (mm)	Outlier value
AMS	3.717705	0.395366	2.681671	118.8601	14.26007	12.5
2MAMS	3.578802	0.387538	2.93983	111.9552	11.46738	116
3MAMS	3.486795	0.386876	3.078366	107.5267	9.932875	116

강우빈도 해석시 사용한 확률분포형은 현재 가장 많이 사용되고 있으며, 건설교통부(수자원관리기법개발 연구조사, 1999)에서 추천하는 Gumbel 분포를 사용하였고, 매개변수추정 방법은 비교적 안정적인 값을 나타내는 것으로 판단되는 PWM(Probability Weighted Moment)을 선택하여 분석하였다. 본 연구에서는 강우지속시간 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간일 때의 서울지역 지하공간침수시의 강우량 및 강우빈도를 침수연도 별로 분석하였으며, 표 4는 강우지속시간별 강우량과 순위별 강우의 강우빈도를 나타낸 것이다.

표 4. 2001년의 순위별 강우계열에 따른 강우빈도

		1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
강우량		55	98	135	210	240	305
강우빈도	AMS	4	8	14	39	21	17
	2MAMS	10	12	20	46	23	17
	3MAMS	4	4	6	22	14	12

5. 홍수특성과 지하공간의 침수관계

지하공간 침수사례별로 강우빈도를 분석한 결과 지하공간침수 형태는 높은 강우빈도에 의해 침수된 경우와 낮은 강우빈도에 의해서 침수된 경우로 분류할 수 있다.

높은 강우빈도에 의해 지하공간이 침수된 경우는 강우지속 시간동안 많은 강우가 발생한 경우이다. 1984년과 1987년, 1998년, 1999년, 2001년의 지하공간침수사례가 이에 속하며, 특히 1998년의 침수사례는 최대 362년의 강우빈도(강우지속시간:2시간, 2MAMS)시 발생하였고, 이 강우로 인해서 중랑천이 범람하였으며, 하수관거의 용량초과, 노면수 유입등의 원인으로 여러 지하공간지역이 침수되었다. 또한, 높은 강우빈도가 강우지속시간동안 계속 유지한 경우 외에도 강우의 초기나 중반에 강우가 집중되는 게릴라성 호우의 성격을 갖는 강우에 의해 침수사례가 발생한 경우도 있었는데, 이러한 경우는 낮은 강우빈도에 의해서 배수불량 등의 원인으로 쉽게 침수될 수 있는 지하도 및 지하차도의 경우가 대부분이었다.

낮은 강우빈도에 의해 지하공간이 침수된 경우의 대표적인 예가 1996년의 지하공간침수사례이다. 1996년의 강우빈도를 분석해보면 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 강우지속시간 동안 1~2년의 강우 빈도의 강우가 발생했음에도 신당역과 동대문운동장역이 침수 되었다. 이는 강우량과 지하공간침수와의 관계가 반드시 비례관계에 있지 않다는 것을 보여주고 있다. 침수원인은 신당역과 동대문 운동장이 지하공간침수사례가 가장 많은 서울 중구에 위치해 있으며, 다른 지역보다 낮은 위치적 특성(저지대)을 갖고 있기 때문인 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 국내에서 연구가 미흡한 도시지역 지하공간과 홍수특성과의 관계를 검토해 보았다. 연구 대상 지역은 서울지역으로 지하철이나 지하상가 지하도등 여러 지하공간 중 공공의 성격을 가지는 지하공간에 대해서 침수사례를 조사하였다. 침수 지점의 강우량은 정확한 강우량 값을 얻기 위해서 서울 종로구 강우관측소와 구로구 강우관측소, 수원관측소, 의정부 관측소의 강우자료를 Kriging기법을 이용하여 강우량을 산정하였으며(결측시 나머지 3개의 강우관측소를 활용) 강우의 빈도해석은 좀 더 신뢰성 있는 강우빈도해석을 위해 순위별 강우자료를 도입하였다. 또한, 각 서울지역지하공간 침수시의 홍수특성을 분석해본 결과 대부분의 지하공간침수는 많은 양의 강우, 즉, 집중호우로 인하여 발생하였으며, 지하도나 지하차도의 경우 기습적인 게릴라성 폭우에 침수가 되는 경향을 나타내었다. 그리고 1996년의 침수사례와 같이 1~2년 빈도의 강우에도 지하공간이 침수된 사례가 있었는데, 이는 지하공간이 지하에 위치해 있는 위치적·공간적 특성으로 해석될 수 있다. 향후의 연구에서 침수형태(저지대 지하층주택 침수, 지하차도 침수, 지하철 또는 지하상가의 침수, 내수배제에 의한 침수)에 따른 모형을 통해 지하공간의 침수해석을 한다면 지하공간 침수를 이해하는데 도움이 될것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

- 건설교통부(1999), 수자원관리기법개발연구조사
- 김현주(2003), 지하도시공간의 방재대책
- 이영민(2004), 극치수문사상의 추계학적연구