

9.21 국지성 집중호우에 의한 도심 홍수 피해 원인분석과 대응방안

-서울특별시를 중심으로-



문영일 ▶▶

서울시립대학교 토목공학과 교수
ymoon@uos.ac.kr



윤선권 ▶▶

서울시립대학교 토목공학과 박사수로
skyoon@uos.ac.kr

1. 서론

지난 2010년 9월 21일경 우리나라 중부지방에 보기 드문 비구름대가 정체되면서 국지성 집중호우가 서울, 경기도, 강원도 등에 집중적으로 내렸다. 특히 서울시의 경우 21일 오후 12:00~18:00 사이 서울서남부 지역을 중심으로 강우지속시간에 따라 기록적인 집중호우가 내렸으며, 이번 호우기간 추석연휴(9월21일~23일)를 포함하고 있어 시민들의 불편과 피해 체감도는 더욱 클 수밖에 없었다. 당시 호우사상은 서울을 비롯한 수도권을 중심으로 9월 강우사상으로는 유례없는 집중호우가 내렸으며 서울지역 27개 관측소 중 17개 관측소에서 일 누적강우량이 250mm를 초과하였고, 특히 강서구의 경우 293mm가 관측되었다. 일 누적강우량으로 보면 발생빈도가 매우 큰 경우는 아니나 지속시간 2~4시간 호우사상 중심으로

보면 재현기간이 100년 이상인 극한 강우사상으로 나타났다. 이번과 같은 100년 이상의 극한 강우사상은 우리나라 도심지역의 기존 수방대책의 한계점을 절실히 드러낸 호우사상으로, 이로 인해 인구와 재산이 밀집해 있는 서울시의 경우 저지대 지역 및 지하공간 곳곳에서 침수피해가 발생하였다.

따라서 본고에서는 9.21 국지성 호우의 특성을 분석하기 위해 당시 한반도 상공의 위성영상 및 기상현황과 서울시 지역별 누가강우량 및 지방하천의 지속시간별 강우빈도분석을 살펴보았다. 또한, 서울지역 침수피해 현황조사와 홍수피해원인 및 문제점을 분석하고, 이를 바탕으로 앞으로 극한 강우사상의 발생빈도가 커지는 상황에서 기후변화 대비 설계기준 강화에 대한 수해방재 대응전략 및 구조적인 저류조 설치방안 검토를 통한 단기 또는 장기대책을 고찰하고자 한다.

2. 9.21 서울 국지성 집중호우의 특성분석

지난 2010년 9월 21일에 발생했던 집중호우시 시간대별 한반도 위성영상 및 기상현황은 다음 <그림 1>과 같다.

<그림 1>과 같이 중부지방에 비구름대가 정체되면서 가장 많은 강수량이 발생했던 강서구의 일강수 현황을 살펴보면 13시부터 14시 사이에 98.5mm의 강수가 발생하였다. 이는 약 50년 빈도에 해당하는 1시간 강우량이며, 13시부터 16시 사이에 발생된

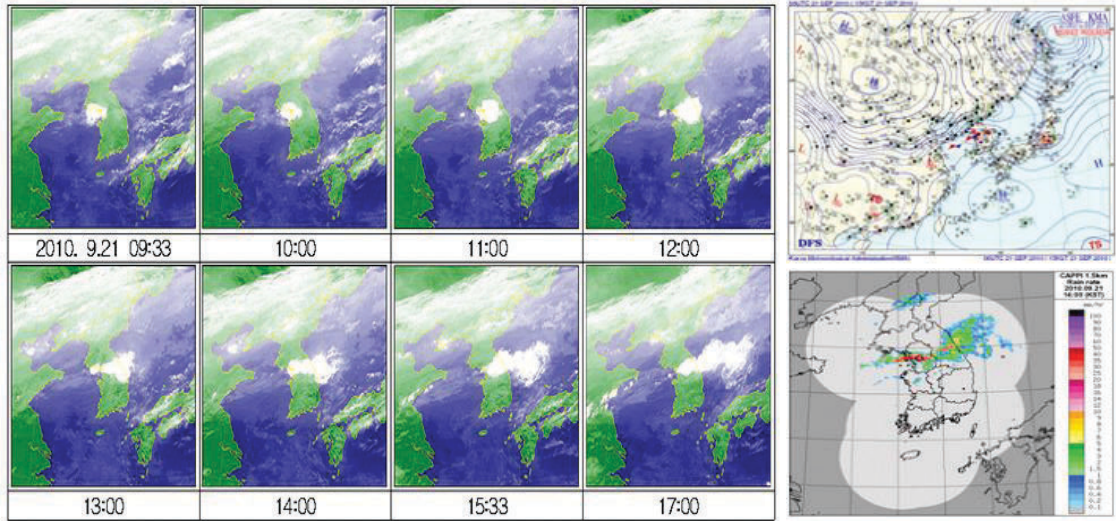


그림 1. 9.21 집중호우시 한반도 위성영상 및 기상 현황(자료: www.kma.go.kr)

224.0mm의 강수는 약 500년 빈도에 해당하는 지속 시간 3시간 강우량이다. 일강수량 또한 1984년에 268.2mm의 일강수량이 내렸던 기록을 넘어서는 강서구의 9월 기상관측 이래 최대강우량이 발생하였으며, 강서구와 인접한 양천구에서도 269.0mm의 일강수량이 발생하였다.

지역별로 누가강우량을 산정해본 결과, 평균 일강우량이 서북부지역 253.8mm, 서남부지역 238.6mm, 동북부지역 196.6mm, 그리고 동남부지

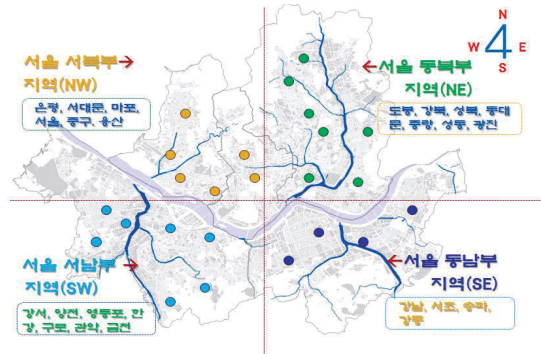


그림 2. 서울지점의 지역별 강우관측소 현황

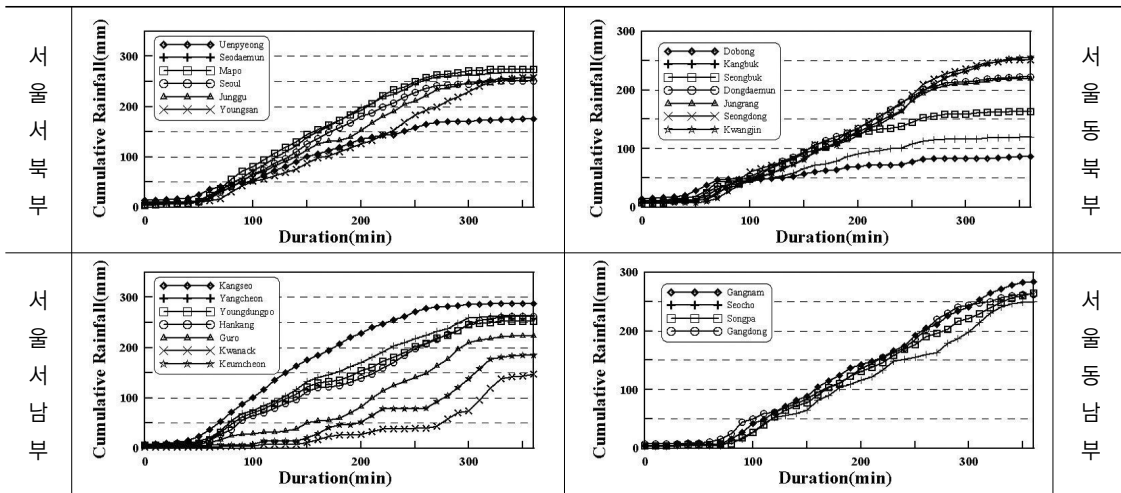


그림 3. 9.21 집중호우에 따른 서울지역 AWS관측소별 누가강우 분석

표 1. 9.21 집중호우에 의한 서울지역 AWS 시간강우량

(단위 : mm)

지역	시간 지점	시간																								합계	
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
서울	강서	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	4.0	29.5	98.5	71.5	54.0	24.0	2.0	0.0	2.0	1.0	2.5	0.0	0.0	293.0	
	양천	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.5	1.5	1.5	16.0	71.0	60.5	57.5	49.0	4.5	0.5	1.5	1.0	2.0	0.0	0.0	269.0	
	영등포	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	2.0	1.5	1.0	11.5	72.0	46.5	54.5	55.5	7.0	0.0	1.0	1.0	2.5	0.0	0.0	257.5	
	한강	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.5	4.0	0.5	1.0	8.0	64.0	46.0	60.0	61.5	5.5	0.0	1.5	0.5	3.0	0.0	0.0	267.5	
	구로	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	1.5	1.0	1.5	7.0	20.5	27.5	73.5	76.5	3.0	0.0	1.0	0.5	5.0	0.0	0.0	229.5	
서남부	관악	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.0	0.0	5.5	18.5	11.5	36.0	73.5	0.5	0.0	0.0	10.5	0.5	0.0	0.0	159.5	
	금천	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	3.5	0.5	0.0	1.0	8.0	32.0	32.0	60.5	47.0	0.0	0.5	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	194.0	
	은평	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	5.5	4.5	22.5	36.0	47.0	32.0	19.0	4.5	0.5	4.0	0.5	0.5	0.0	0.0	180.5	
	서대문	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	1.5	1.0	2.5	17.5	74.0	75.0	61.5	27.0	6.5	0.0	4.0	1.5	2.0	0.0	0.0	275.5	
	마포	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	1.5	1.5	19.0	84.0	66.0	66.5	31.0	3.5	0.5	2.0	1.5	2.0	0.0	0.0	280.5	
서북부	서울	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	1.0	1.0	2.5	15.0	67.0	71.0	60.5	26.0	7.0	0.0	4.0	1.5	2.0	0.0	0.0	0.0	259.5	
	중구	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.0	5.0	1.5	1.5	8.0	64.0	51.5	71.5	43.5	8.0	0.5	4.0	0.5	2.5	0.0	0.0	0.0	264.0	
	용산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.5	1.5	4.0	0.0	1.0	5.0	49.0	47.5	59.0	60.5	28.0	0.0	0.5	0.5	4.5	0.0	0.0	0.0	263.0	
	도봉	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	3.5	7.5	23.0	11.0	15.5	9.5	9.5	3.5	0.0	8.0	0.5	0.5	0.0	0.0	95.5	
	강북	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	2.0	3.0	4.0	18.5	21.0	28.5	22.5	15.0	4.0	2.5	7.5	0.0	0.5	0.0	0.0	130.5	
동북부	성북	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	2.5	4.0	17.0	42.0	43.5	27.5	20.0	5.5	1.0	4.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	170.0	
	동대문	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	6.5	1.0	2.5	8.5	48.5	53.0	57.5	36.0	7.5	0.5	3.0	0.5	2.5	1.0	0.0	0.0	229.5	
	종로	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.0	4.5	0.5	2.5	5.0	43.0	50.0	55.5	48.5	7.5	0.5	3.0	0.5	2.5	2.0	0.0	0.0	227.5	
	성동	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0	0.5	3.0	3.5	0.5	1.5	3.5	57.5	42.5	63.0	59.5	14.5	0.0	3.5	0.5	4.0	0.5	0.0	259.5	
	광진	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.5	3.5	0.5	0.5	3.5	47.5	48.5	57.5	67.5	23.5	0.0	2.5	1.0	4.0	1.0	0.0	263.5	
서남부	강남	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	0.5	0.0	2.0	5.5	4.5	63.0	50.0	65.5	43.5	0.0	0.5	0.5	8.0	0.5	0.0	293.0
	서초	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.0	1.5	48.0	51.0	48.5	46.0	51.5	0.5	0.0	0.5	10.0	0.5	0.0	0.0	261.0	
	송파	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	2.5	0.5	0.0	2.0	46.5	57.5	57.5	52.5	43.0	0.5	0.5	0.0	9.5	1.0	0.0	0.0	275.5	
	강동	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0	0.5	3.5	0.5	1.0	2.5	51.0	50.0	59.0	72.5	19.0	0.5	5.5	0.0	3.5	2.5	0.0	274.5	

역 276.0mm으로 산정되어 동북부지역을 제외한 지역에서 모두 일강수량이 200mm를 상회하는 값이 관측되었다. 방위를 기준으로 하여 서울을 서북부, 서남부, 동북부, 그리고 동남부로 4개의 지역으로 나누었으며, 각 지역에 해당하는 지역별 관측소는 다음 <그림 2>와 같고, 지역별 누가강우량을 <그림 3>과 같이 산정하였다. 또한 <표 1>은 9.21 집중호우에 의

한 서울지역 AWS(automatic weather system)관측소별 시간강우량을 나타내었다.

서울의 경우 1961년부터 시간강우가 관측이 되고 있으며 금회검토시 1961년~2009년까지의 강우자료를 바탕으로 빈도해석을 실시(매개변수추정은 PWM, Gumbel 분포형 적용) 하였으며 재현기간 100년의 강우지속 1시간 강우량은 106.9mm로 산정되었다.

표 2. 서울시 주요하천의 지속시간별 강우빈도분석

하천	1시간		2시간		3시간		4시간		지배 관측소
	강우량	재현기간	강우량	재현기간	강우량	재현기간	강우량	재현기간	
우이천	32.5	10년 미만	54.5	10년 미만	81.0	10년 미만	101.0	10년 미만	강북
안양천	71.0	10년 미만	131.5	30년 미만	189.0	50년 초과	238.0	100년 초과	양천
종로천	55.5	10년 미만	105.5	10년 미만	154.0	20년 미만	197.0	50년 미만	종로
청계천	62.5	10년 미만	123.0	30년 미만	187.0	50년 초과	230.5	100년 초과	중구
정릉천	65.5	10년 미만	114.5	20년 미만	162.5	30년 미만	199.0	30년 미만	동대문
불광천	84.0	20년 빈도	150.0	50년 초과	216.5	100년 초과	247.5	200년 초과	마포
성내천	72.5	10년 미만	131.5	30년 미만	181.5	50년 초과	232.5	100년 초과	강동
홍제천	75.0	20년 미만	149.0	50년 초과	210.5	100년 초과	237.5	100년 초과	서대문
탄천	57.5	10년 미만	115.0	20년 미만	167.5	50년 미만	214.0	50년 초과	송파
강서구AWS	98.5	50년 초과	171.0	200년 초과	232.5	200년 초과	269.0	100년 초과	

※ 50년 초과 (노란색), 100년 초과 (빨간색), 200년 초과 (파란색)

그러나 이번 집중호우로 인한 강서구 지속시간 1시간 강우량은 98.5mm로 약 50년 빈도에 해당하는 초과강우가 발생하였다. 또한 서울시 주요 하천 유역의 지속시간별 평균 강우량을 산정해본 결과 강우지속 2, 3, 4시간에서 50년~200년 빈도를 초과하는 강우가 발생하였음을 확인할 수 있었다. 다음 <표 2>는 서울시 주요하천의 지속시간별 강우빈도를 분석한 결과이다.

3. 서울지역 9.21 홍수피해 현황 및 사례 분석

가. 홍수피해 현황

2010년 9월 27일 이후 서울특별시의 수해조사결과에 의하면 주택 침수는 총 11,744건 발생한 것으로 알려지고 있다. 주택침수 1,000건 이상 발생한 구를 살펴보면 광진구 1,083건, 양천구 1,831건, 강서구 2,996건, 구로구 1,373건, 영등포구 1,000건, 관악구 2,810건, 강동구 1,361건이며, 주택 침수에 따른 서울특별시의 재난지원금의 지급은 총 15,900백만원이 지급된 것으로 나타났다. 또한, 도로침수 현황과 지하철 통계내용을 살펴보면 도로침수의 경우 광화문광장, 외발산사거리, 강서구청앞, 한강로, 천호대로 등을 포함한 총 36개소가 침수 되었으며, 지하철 통계는 총 7개소에서 발생하였고, 무정차 통과 구간은 4개소(지하철 2호선 홍대입구역, 지하철4호선 신용

산역, 지하철2호선 사당역, 지하철3호선 대치역), 운행이 중단된 구간은 3개소(지하철1호선 구로~인천구간, 지하철4호선 서울역~사당역구간, 지하철2호선 지선인 양천구청역~사당역구간)이다. 청계천에서는 9.21(화) 12:50 ~ 9.22(수) 12:00까지 시민들의 청계천 출입을 통제하였다. <그림 4>는 9월 21일 집중호우로 인한 서울시역의 침수실적도 및 하수관거 통수능 부족구간을 나타내었다.

나. 홍수피해 원인과 사례

지난 9월 21일 홍수피해의 주된 원인은 하수관거 설계기준을 초과하는 집중호우라고 할 수 있다. 앞의 <표 1>에서 밝힌 바와 같이 50년 빈도 이상의 강수량이 곳곳에서 발생하였고, 기존의 배수시설만으로는 이를 처리할 수 없었다. 서울 시내 전체 하수관로 1만 287km 중 30년 빈도의 강우에 대처하지 못하는 구간은 618km로 파악된다. 빗물펌프장이나 저류조 등의 시설용량 또한 극한강우에 대해서는 사실상 대처에 한계가 있는 상태이다. 또한, 도시화로 인해 불투수면적이 증가함에 따라 노면수의 발생과 침투시간이 짧아짐에 따라 저지대의 피해는 불가피한 상황이었다. 다음 <표 3>은 9.21 집중호우시 서울시내 주요 홍수 피해사례를 나타내었다.

4. 기후변화를 고려한 설계기준 강화

18세기 산업혁명 이후 화석연료의 급속한 사용량 증가로 인한 전 지구적 CO₂ 발생량 증가로 지구온난화가 진행되고 있음은 명확한 사실로 알려지고 있으며 이로 인한 홍수나 가뭄과 같은 극한사상의 발생 빈도 증가는 수자원의 장기계획을 세우는데 있어 어려움으로 대두되고 있다. 따라서 기후변화에 공동으로 대비하기 위해 국제사회는 1992년 “기후변화에 관한 유엔 기본협약(United Nation Framework Conservation on Climate Change, UNFCCC)”을

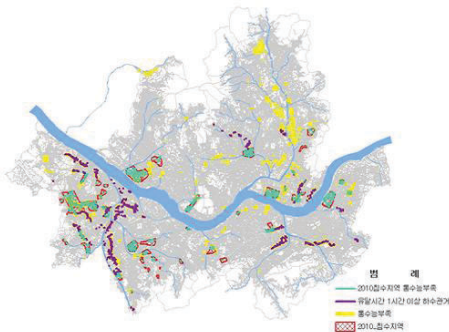


그림 4. 9.21 집중호우로 인한 서울지역 침수실적 및 통수능 부족 구간

표 3. 9.21 집중호우시 서울지역 주요 홍수피해 사례

피해지역	홍수피해 사진	원인 및 문제점
강서구 화곡동		<ul style="list-style-type: none"> 강서구 배수펌프장 6개소는 정상 운영되었으나, 극한강우로 인해 유출량은 설계용량(10~30년 빈도)을 초과함. 호우로 인한 유출수가 저지대 및 반지하 및 지하거주지역에 급속히 유입되어 침수됨.
관악구 사당 4거리		<ul style="list-style-type: none"> 남태령 고개의 최저점에 위치하여 우수가 빗물받이로 유입되지 못함. 서초구의 복개된 사당천 종점으로 유입이 이루어져야 하는데 지하철 등 지하구조물로 인해 동작구배수관망으로 유입된 후 사당천으로 유입되는 병목문제를 안고 있음.
종로구 광화문 사거리		<ul style="list-style-type: none"> 관측 강우(일강우량:259.5mm)가 지속시간별 설계빈도를 초과하는 강우가 발생함. 노면수 집중유입 및 하수역류로 인해 노면이 침수되고 도로 및 인도 통행 모두 어려움.
종로구 청계천 방류구		<ul style="list-style-type: none"> 관측강우(3시간: 198.5mm)가 일반적 설계기준(하수관거 5~10년, 우수저류 시설 30~50년)을 초과하는 강우가 발생함. 도시화에 따른 불투수면적의 증가와 노면수의 원활한 유입이 불가했음.

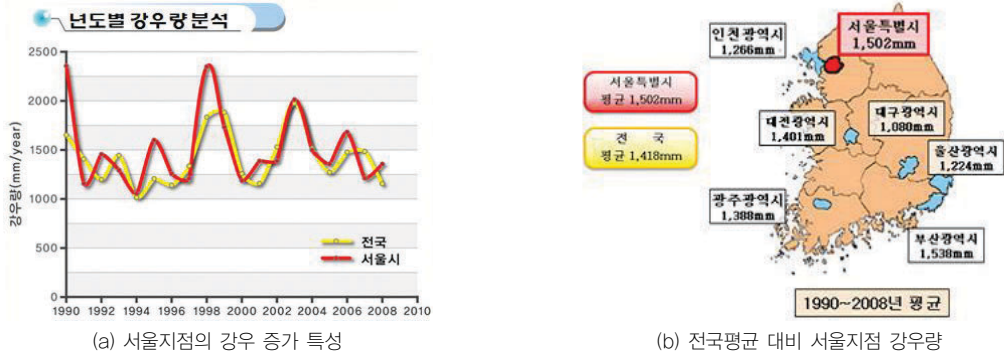
채택하였고 다양한 협약과 위원회 등을 포함하여 현재에 이르고 있다. 또한 1988년 유엔환경계획(United Nation Environment Program, UNEP)과 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)가 기후변화의 영향 분석을 위해서 유엔 산하 정부 간 협의체 형태로 공동 설립한 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화와 관련한 과학적·기술적 연구에 대한 평가를 제공하고 국제적인 대책을 마련하고자 하고 있다. 2007년에 발간된 IPCC 4차보고서(AR4)에 따르면, 2100년까지 기온이 1.4℃~5.8℃안팎으로 상승하고 해수면이 지금보다 18~59cm까지 상승할 것이라는 예측을 하고 있다. 한반도 역시 이러한 기후변화에 영향을 받고 있으며, 지구 평균을 상회하여 기온이 상승하고 있는 점을 감안할 때 기후변화에 대한 대응책 마련이 시급하다고 할 수 있다. 특히, 도시유역의 여름철 홍수의 경우 기후변화에 대

비한 홍수방어 적응대책이나 설계기준강화 방안 등에 대한 연구는 절실히 필요하다하겠다.

가. 기후변화로 인한 강우특성 및 수문환경 변화

우리나라의 경우 1920년대 이후 연평균 강수량을 분석한 결과 약 7%의 강수가 증가하였으며, 강우강도 또한 약 18%가 증가하였다. 이에 반하여 강수일수는 약 14%가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 1일 100mm 이상의 호우 발생빈도의 증가추세는 70년대 대비 현재 1.7배 정도가 증가하였고 이에 따른 최근 집중호우와 홍수발생 빈도가 증하고 있는 추세이다. 우리나라의 기후변화 징후는 객관적 자료로부터 확인할 수 있으며 점차 짧아지고 있는 강우 지속시간과 점차 증가 추세인 강우강도에 대비한 적절한 수방대책 마련이 필요할 것이라 분석된다.

금회 검토시 서울지점을 비롯한 전국 7개 광역시의



(a) 서울지점의 강우 증가 특성

(b) 전국평균 대비 서울지점 강우량

그림 5. 서울지점 최근 강우특성 분석

표 4. 서울지점의 강수량 증가추세 분석결과

강우지속 시간(hr)	강수량 추세(mm)				확률강우량(50년빈도, mm)		
	2009년	2020년	증가량	증가(%)	2009년	2020년	2030년
1	51.8	53.0	1.2	2.3	99.1	101.4	103.5
2	78.9	82.5	3.6	4.6	144.9	151.6	157.7
3	99.5	105.8	6.3	6.4	183.0	194.7	205.2
4	108.6	114.3	5.7	5.3	202.5	213.2	222.9
6	125.9	131.2	5.2	4.2	234.4	244.1	253.0
9	149.1	157.5	8.4	5.6	262.2	276.9	290.3
12	161.7	169.8	8.1	5.0	289.8	304.3	317.5
18	183.1	194.5	11.4	6.2	339.0	360.0	379.1
24	201.3	216.0	14.7	7.3	383.8	411.8	437.3

표 5. 서울시의 주요 연도별 홍수피해 현황

년 도	인명(명)	이재민(명)	침수피해		피해액(억원)	복구액(억원)	비고
			세대	면적(ha)			
1990	71	93,133	26242	2469	184.2	334.2	대홍수
1995	5	0	0	0	63.2	90.3	
1998	61	2,287	573	159	625.6	1078.9	대홍수
1999	3	1,823	456	0	130.7	257.5	
2001	139	465	94	50	714.5	1666.5	대홍수
2002	0	120	46	25	92.3	185.0	
2003	1	0	0	0	22.7	55.0	
2006	0	73	22	0	63.0	70.2	

기상관측소 자료를 대상으로 최근(1990~2008년) 연평균 강우의 변화 특성을 분석한 결과 서울특별시의 경우 평균 1,502mm로 나타났으며 전국 평균은 1,418mm로 나타나 서울지점의 연평균 강우량이 전국 평균에 비하여 약 5.9% 많은 것으로 분석되었다. 또한 최근 강우증가경향을 고려한 강수량 증가 추세 분석 결과 2020년의 확률강우량이 지속시간별 2.3%~7.3% 증가하는 것으로 분석되었으며, 50년 빈도 확률강우량의 경우 강우강도는 2009년 99.1mm/hr, 2010년 101.4mm/hr, 2030년

103.5mm/hr로 분석되어 서울지점의 경우 최근 기후 변화로 인한 강우강도와 확률강우량 모두 증가경향을 보이는 등의 강우특성을 확인하였다. 다음 <그림 5>는 전국 대비 서울지점의 최근 강우 증가특성을 분석한 결과이며, <표 4>는 서울지점 강수량 증가 추세에 따른 향후 지속시간별 강우증가와 50년빈도 확률강우량의 증가량을 분석한 결과이다.

우리나라의 재해발생 빈도를 분석한 결과 연평균 5.3회(1940~1970년)에서 8.8회(1980~1990년)로 증가하였으며 강수량뿐만 아니라 이로 인한 최근 재해

표 6. 서울지점의 일정강우량을 초과하는 호우발생 횟수 분석결과

구 분	1hr			3hr			6hr		
	40(mm)	70(mm)	100(mm)	60(mm)	100(mm)	130(mm)	90(mm)	140(mm)	180(mm)
1970~1989년	13.4	0.7	0.0	14.2	2.7	0.6	10.1	2.6	0.8
1990~2009년	17.4	1.8	0.2	18.3	3.3	1.0	12.7	3.1	1.0
증 감	29.9%	157.1%	-	28.9%	24.5%	72.7%	25.2%	19.6%	18.8%

현황을 살펴보면 치수대책의 강화로 인해 이전에 비해 인명피해나 이재민 피해, 재산피해가 점차 줄어들고 있는 실정이긴 하나, 극한 강우사상의 경우만을 고려했을 때는 오히려 증가하는 추세이다. 다음 <표 5>에서 확인 할 수 있듯이 서울지역의 경우 이전에 비해 전반적으로 그 피해가 줄어들고 있는 있으나 대홍수와 같은 도심의 집중호우 발생시 오히려 인적·물적 피해가 증가하였음을 확인할 수 있다.

나. 기후변화에 따른 호우대책 전망 및 설계기준 강화

기후변화에 대응하기 위해서 기존의 연최대치계열 위주의 분석보다 시간당 초과강우 사상의 발생에 대한 빈도해석을 실시한다면 극치강우분석에 기후변화를 반영할 수 있을 것이다. 지난 9월 21일 집중호우에서 볼 수 있듯이 하수관거 및 빗물펌프장 시설능력이 기존 5~10년 빈도(75mm/hr) 규모로 설계되어 극한 강우 발생 시 원활한 우수배제를 기대할 수 없었으며 향후 극한강우 및 기후변화 대비 하수관거 및 빗물펌프장 시설능력을 최소 20~30년 빈도(95mm/hr) 강우에 대처하도록 시설능력을 강화해야 하며, 또한 빈번한 홍수피해가 발생하는 지역의 경우 지방자치단체별 설계기준을 수립하여 이에 대한 대비를 더욱 철저히 해야 할 것이다. 서울지점 기상청 강우관측소를 대상으로 1970년대 이후 지속시간별 일정 강우량을 초과하는 호우발생 횟수를 분석한 결과 기준강우량을 초과해서 발생한 호우사상의 발생빈도는 과거 1970~1989년에 비하여 근래 1990~2009년 사이에 발생횟수가 지속시간별 약 1.5~3배 정도 증가한 것으로 분석되었다. 이는 최근에 올수록 기후변화에 따른 극한강우의 발생 가능성이 높아지고 있음을 간접적으

로 나타내는 결과라 하겠다. 다음 <표 6>은 서울지점의 지속시간과 강우강도별 일정강우량을 초과하는 호우발생 횟수의 비교분석 결과이다.

기후변화에 따른 서울지역의 호우대책 전망 및 설계기준강화를 위하여 하수도 정비와 하천정비 등에 의한 유로대책 침투유량 분담과 펌프시설 및 우수지, 저류지 등에 의한 저류시설의 침투유량 분담, 침투시설과 제도적 방안 등에 의한 유역대책 침투유량 분담으로 구분하여 향후 종합적인 단기 및 중·장기 수해방재대응전략 및 치수정책을 수립하여 궁극적으로 기후변화 대비 호우대책 전망을 통한 수준목표별 치수계획을 수립하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

5. 저류조 설치에 따른 효과 분석

가. 저류조 설치 사례

저류조는 빗물을 일시적으로 모아두었다가 방류수역의 수위가 낮아진 후 방류되는 시설물로서 저지대의 침수방지 및 내수배제를 위해 설치되는 빗물펌프장의 우수지와 펌프시설로 조합된다. 일정수위(저수위) 이상이 되면 펌프를 가동하여 강제배수하며, 자연방류가 불가능한 경우 침투유량 발생 홍수가 지나간 후 방류하천으로 배수시킨다. 저류시설은 구조형식에 따라 댐식, 굴착식, 지하식이 있으며, 저류방식에 따라 on-line저류방식, off-line저류방식으로 나눌 수 있다. on-line저류방식의 경우 넓은 빈도에 대해 유출저감이 가능한 반면, off-line저류방식은 저빈도의 홍수에 대해서는 저감효과가 미흡하다.

저류조 설치를 통한 유역 홍수분담노력을 위한 국외 사례를 검토한 결과 가까운 일본의 경우 초대형 지



(a) 일본의 지하방수로



(b) 일본의 지하저류조

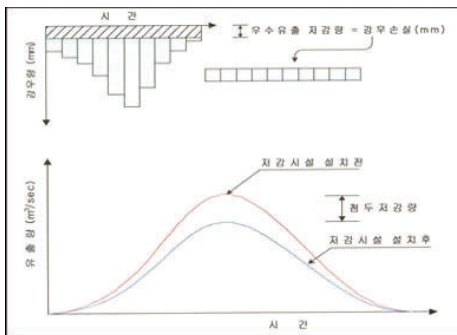
그림 6. 일본 사이타마현의 초대형 지하방수로와 저류조

하방수로와 물탱크를 설치하여 호우시 도심의 저지대 홍수피해를 방지하고자 하였다. 다음 <그림 6>에서 보는바와 같이 일본 사이타마현의 경우 지하 50m에 지름 10m, 길이 6.4km의 초대형 지하방수로를 건설하여 호우시 인근 저지대의 물을 보관하여 두었다가 지상에서 홍수가 발생하는 것을 막고자 하였으며 또한 길이 177m, 폭 78m, 높이 18m의 축구장 2개 정도 크기의 콘크리드 구조물인 지하저류조를 설치하여 탱크수위가 10m를 넘을 경우 초대형 펌프 4개가 초당 200m³의 물을 에도(江戸) 강으로 퍼냄으로 도심의 홍수피해를 방지하고 있다.

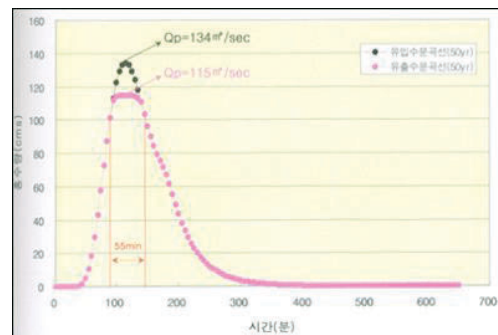
나. 저류조 설치에 따른 홍수저감 효과

도시화 및 이상강우의 발생은 침투유량을 증가시켜 도시화 이전에 비해 하류부의 천변 및 도심내 저지대의 침수위험을 증가시킨다. 우수유출 저감시설의 일

환인 저류조는 홍수 방어 및 조절대책 중 구조적 대책 중 하나이다. 이미 포화상태에 이른 하도개수나 펌프장 신설 등의 대안으로서 저류조의 중요성은 꾸준히 제기되어 왔다. 저류조의 계획 수립시 적절한 홍수조절로 인한 하류부의 침수방지 및 방류 하천의 홍수량 저감효과 등을 분석하여 주변환경과 조화로운 계획수립이 이루어질 수 있도록 하며 경제적인 부분을 고려한 저류조의 다목적 활용방안 또한 검토하여야 한다. 저류조의 시설계획시에는 수문개폐 등 인위적인 조작을 최소화 하고 연속되는 호우에 대처하기 위한 신속한 저류수의 배제와 상시 우·오수의 처리, 설계빈도 이상의 홍수에 대한 대처 등의 노력이 필요하다. 다음 <그림 7>은 서울시 우이천 상류지역에 저류지 설치에 따른 홍수저감 효과를 분석한 결과를 예로 제시하였으며 그림에서 보는 바와 같이 저감시설로 유입되는 시간별 유출은 저감시설의 저류효과로 인해 그 침투량과 침투시간이 지체되므로 홍수방류지점인 방류구



(a) 홍수저감효과 모식도



(b) 홍수저감효과(50년빈도)

그림 7. 저류조 설치에 따른 홍수저감 효과검토

를 통과할 때의 수문곡선은 유입설계홍수의 수문곡선과 달라지게 된다. 기후변화에 따라 총 유출량의 증가를 고려하더라도 저류조를 설치할 경우 하도내 홍수저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

또한 저류조의 상부는 입체적 공간활용이 가능하도록 다양한 활동이 이루어질 수 있는 공원공간으로 조성할 수 있도록 하며, 관할구청 및 지역주민의 의견을 충실히 수용하여 녹지공간조성 및 여가활동이 가능한 곳으로 조경계획을 수립하는 등 시민의 다문화시설로 이용할 수 있다.

6. 결론

지난 추석연휴 첫날인 9월 21일에 서울지방에 내린 국지성 호우는 지속시간 2~4시간 강우사상으로 살펴보면 재현기간이 100년 이상인 극한 강우사상으로, 도심지역의 기존 수방대책의 한계점을 드러내며 서울시 저지대 및 지하공간 지역 등 많은 곳에서 (주택침수 총 11,744건, 도로침수 총 36개소, 지하철통제구간 7개소 등) 침수피해가 발생하였다.

침수피해원인으로 먼저 도로 및 주택가에 하수관거 설계기준을 초과하는 집중호우가 내림으로 인하여 하수시설의 용량을 초과하여 관거 월류현상이 발생하였으며, 또한 지역적으로는 하수관거의 구조적인 문제로 인하여 일시적으로 정체현상, 도시화에 따른 불투수면적의 증가와 노면수의 원활한 유입이 불가하여 저지대 및 지하거주지역이 침수되는 등 피해사태가 조사되었다.

우리나라의 연평균 강수량, 강우강도와 1일 100mm 이상의 호우 발생빈도는 증가하는 경향성을 가지고 있는 것으로 알려지고 있으며 이에 따라 최근 집중호우

와 홍수발생 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 최근 강우 증가경향을 고려한 서울시 강우량 증가추세 분석결과 2020년의 확률강우량이 지속시간별 2.3%~7.3% 증가하는 것으로 분석되었고, 50년빈도 확률강우량의 경우 강우강도는 2009년은 99.1mm/hr, 2030년은 103.5mm/hr로 분석되어 서울지점의 경우 최근 기후변화로 인한 강우강도와 확률강우량 모두 증가경향을 보이는 강우특성을 나타내었다.

이와같은 기후변화에 따른 서울지역의 호우대책 전망 및 설계기준강화를 위하여 하수도 정비와 하천정비 등에 의한 유로대책 유량분담과 펌프시설 및 우수지, 저류지 등에 의한 저류시설의 유량분담, 침투시설과 제도적 방안 등에 의한 유역대책의 유량분담 등 종합적인 수방대응을 실시하고 향후 단기 및 중·장기 수해방재대응전략 및 치수정책을 수립하여 궁극적으로 기후변화 대비 호우대책 전망을 통한 수준목표별 치수계획을 수립하는 것이 바람직할 것이다.

마지막으로 금번 9.21 집중호우와 같은 도심지역의 국지성 극한강우에 대한 대책으로는 상습침수지역의 해소 및 하수관거 통수능 확대를 기본방향으로 하되, 하천과 가까운 곳은 빗물펌프장의 배수 용량을 증설하여 대비하고 하천과 먼 곳은 하수관거 통수능의 부족구간을 해소하여 저지대 하수관거 설계빈도를 상향조정(10년 빈도→30년 빈도)하여야 할 것이다. 기존의 하수관거의 설계빈도를 향상하더라도 유로연장이 길어 빗물펌프장에 유수가 도달하기 전 만관이 되어 내수침수 피해가 발생할 우려가 있는 지역은 빗물저류조 설치가 필요하다. 또한 도로 노면배수 처리를 위한 빗물받이 측구시설개념을 도입하고 폭우 시 저지대 빗물쏟림 현상을 고려하여 대상지역을 집중 조사 분석하여 배수시설을 설치할 필요성이 있으며 필요시 관련 법·규제화 방안을 마련하여야 할 것이다. 🌊

참고문헌

1. 국토해양부 (2010). 하천설계기준.
2. 권현한, 문영일 (2008). “기후변동성과 기후변화”, 한국수자원학회지, v.41, no.6, pp.68-74.
3. 김영주, 한건연, 조완희 (2010). “지하저류조 설치에 따른 침수피해 저감효과 분석”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 30권, 제1호, pp. 41-51.
4. 심재현 (2005). “2005년 일본의 수해피해와 향후 개선계획”, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 38권, 제 6호, pp. 22-28.
5. 서울특별시 (2010). “대학과 연계한 하천관리에 대한 연구용역(2단계 5차년) 보고서”
6. 한국상하수도협회 (2005). 하수도설계기준
7. IPCC (2008). “Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.”
8. Ganguly, A.R. (2007). “Climate extremes hydro-meteorological extremes and impacts”, Geographia Polonica, Volume 80, Issue 2, pp. 9-23.