

우수저류시설 설치에 의한 서울시 하수관거통수능 부족해소 효과

글 김영란 _ 서울시정개발연구원 연구위원



1. 서론

서울시는 1970년 이전의 하수도보급률이 27.9%에 불과하였던 것이 현재는 100.15km로서 거의 100%를 나타내고 있다. 그러나 도시화에 의한 개발은 빗물의 침투지역을 감소시켜 유역이 가지고 있던 보수·유수기능을 저하시킴으로서 도시의 유출형태가 변하게 되었다. 이와 함께 1970년대에서 2000년대로 오면서 연평균 강수량이 증가하고 그 증가분이 7월부터 9월에 걸친 장마태풍시기에 집중되어 나타나는 호우는 지형적 조건과 부합하여 하천의 범람이나 내수침수를 발생시키고 있다.

이러한 침수는 주로 하천을 중심으로 한 저지대와 하수관거배수가 불량한 지역에서 일어나고 있으며 과거에는 경미한 피해로 끝난 것이 시가지에 인구와 자산이 집중되면서 피해액이 상당히 커지고 있다. 대홍수는 최근 20년간 5번에 걸쳐 시가지에 주택은 물론이고 공공시설에도 막대한 피해를 입혔으며, 현재 서울시가 대규모 지하도, 지하철, 지하통신케이블 등 지하공간을 이용하고 있고 앞으로 고도로 발달할 것을 고려하면 이들 시설에 심한 피해를 입히고 도시기능을 마비시키는 심각한 사태를 발생시킬 수 있다. 이와 같이 침수피해의 규모가 커지고 심각해지면서 하수도의 우수배제 대책에도 새로운 대응이 요구되고 있다.

서울시에서 청계천유역은 대표적인 도심지역으로서 최근에 국지성 집중호우에 의하여 내수피해가 증대하고 있다. 1990년대부터 기상이변에 따른 집중호우가 빈번히 발생하고 있으며 특히 2001년 7월에는 재현기간 200년에 해당하는 강우가 발생하였다. 청계천유역이 서울의 정치·경제적인 측면에서 차지하고 있는 비중을 고려할 때 향후 발생되는 홍수에 대한 안전도를 향상시켜야 하며 시설이 고도로 집약된 지역에서 우수를 신속하게 배제하기 위하여 하수관거용량을 증대하는 것은 현실적으로 어려우므로 유역의 우수유출을 제어 할 수 있는 방안으로 유출량을 평균화시켜 첨두유출량을 감소시킬 수 있는 우수저류시설의 설치는 유효한 방안이라 할 수 있다.

그러므로 본 글에서는 서울시의 대표적인 시가지지역인 청계천유역을 대상으로 하여 홍수안전도 향상방안으로서 기존 하수관거에서 기왕 최대 강우인 2001년 7월 강우에 대응할 수 있는 우수저류시설의 설치에 대해 검토하였다. 우수저류시설의 설치로 인한 유출량저감이 하수관거통수능 부족해소와 유역의 침수방지에 미치는 영향에 대해 분석하였으며, 이와 함께 하천에서의 수위저감효과에 대해 기술하였다.

2. 연구절차 및 방법

(1) 검토 대상유역 및 적용강우 선정

청계천배수구역의 유역도는 그림 1)과 같다. 하수관거통수능 평가대상지역은 청계천 유역 좌안의 가회, 명륜, 송인 배수분구와 우안의 회현, 필동, 장충, 신당 배수분구 총 7개 배수분구를 대상으로 하였으며 효자배수분구는 지역적 특성상 자료를 획득하기 어려워 유출량 산정에서 제외하였다. 하천수위에 대한 영향평가구간은 동아일보사 앞(81+00)에서 난계로 교차로 부근(42+00)으로서 총연장은 5.837km이다.



그림 1) 청계배수구역의 하수관거통수능 검토를 위한 배수분구와 수위검토지점 현황

발생일시	지속시간별 강우량(mm)			발생일시	지속시간별 강우량(mm)		
	1시간	3시간	6시간		1시간	3시간	6시간
1985.8.5	28.9	40.3	55.6	1992.8.27	40.5	70.5	103.9
1985.8.10	18.2	38.3	75.7	1993.7.11	58.5	84.0	84.2
1985.8.16	61.4	66.0	67.0	1995.8.20	19.2	23.7	32.5
1986.7.24	44.0	78.7	139.6	1996.6.17	10.9	29.8	41.2
1986.8.11	39.6	59.2	78.7	1996.6.29	99.0	14.7	23.7
1986.8.28	19.2	43.4	58.8	1996.7.27	31.5	69.7	78.5
1987.7.27	61.4	124.5	198.3	1997.7.1	36.1	68.1	100.5
1987.8.16	12.1	33.8	56.7	1997.7.16	21.2	36.1	38.7
1987.8.30	23.6	49.1	60.0	1997.8.4	16.7	20.2	25.4
1988.7.9	24.0	38.8	73.1	1998.8.4	62.8	137.1	176.5
1988.7.14	17.6	29.3	36.5	1999.7.9	10.6	14.0	20.9
1989.8.12	36.3	61.6	63.9	1999.7.22	12.0	19.6	27.3
1989.8.21	14.3	28.2	35.1	1999.9.19	27.0	43.0	51.6
1990.9.1	97.0	15.0	25.2	2001.7.14	15.0	126.4	259.9
1992.8.7	54.7	97.1	118.8	2001.7.15	90.0	201.4	247.4

표 1) 서울시 과거 대형 강우사상에 대한 지속시간별 강우량 분석결과

지난 20년 동안 서울시는 30회의 강우에 의하여 침수피해를 입었으며 강우현황은 표 1)에 나타내었다.

강우규모가 가장 컸던 경우는 2001년 7월에 발생한 강우로서 지속시간 1시간, 3시간, 6시간별로 90.0mm, 201.4mm, 259.9mm의 강우량을 기록하였으며 지속시간 1시간을 제외하고는 200년 달하는 재현기간을 나타내고 있다. 우수저류시설의 목표강우는 2001년 7월 강우로 선정하고 이에 따른 하수관거통수능 및 하천수위 등의 결과를 당시의 자료와 비교·검토하였다. 강우자료는 서울시 '2001 수해백서'의 강우강도식에 의한 지속시간별 재현기간 10년의 강우강도와 2001년도 강우의 강우강도를 이용하였다. 2001년 7월 강우량자료는 청계천 유역의 강우관측소 중에서 가장 큰 관측값을 나타낸 종로구청의 자료를 이용하였다.

(2) 하수관거통수능 및 하천수위영향 검토

우수저류시설의 설치에 의한 하수관거통수능 부족해소의 효과분석 절차는 그림 2)와 같다.

하수관거통수능 평가는 기존의 합리식을 사용하였다. 총괄유출계수는 2001년 토지용도자료로 산출하였으며 도달시간은 Kerby식을 사용하였다.

우수저류시설이 하천수위에 미치는 영향분석은 HEC-RAS모형

을 이용하여 2001년 7월 강우의 유출량이 하천을 통해 유하되는 과정을 모의하고 우수저류시설 설치 전·후의 수위를 비교하였다. HEC-RAS 프로그램은 주어진 흐름에 대해 대상이 되는 전 지점에서의 수위를 계산하며 필요한 자료는 흐름영역, 시점표고, 유량, 손실계수, 단면형상, 구간길이 등이다.

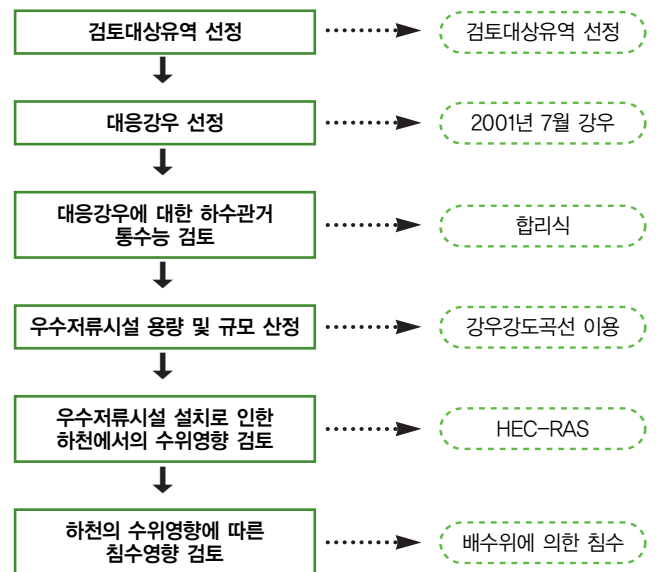


그림 2) 하수관거통수능 부족해소를 위한 우수저류시설 적용 연구절차

3. 결과 및 고찰

(1) 2001년 7월 강우에 대한 하수관거통수능 평가

청계배수구역이 2001년 7월 강우에 대하여 침수피해를 방지하기 위하여 대응해야 하는 우수저류시설 용량을 검토하였다. 2001년 7월 홍수시 청계배수분구에 발생한 침수피해지역은 그림 3)과 같다. ①, ③, ⑥, ⑦, ⑧ 지역은 인근 고지대의 노면수가 하수관거로 배수되지 못하고 저지대로 일시에 유입되어 침수가 발생한 지역이다. 이들 지역은 인근 고지대의 노면수가 저지대로 유입되지 않도록 우수저류시설과 하수관거로 적절히 배분하여 처리하면 침수피해를 줄일 수 있다. 이에 대해 ②, ⑤, ⑨ 지역은 인접한 하천의 수위상승으로 인한 배수불량에 의하여 침수된 지역이다. 이들 지역은 각 배수분구의 하류단에 위치하여 우수의 부하가 가장 큰 크고 하천의 수위상승으로 인하여 배수되지 않는 지역으로서 빗물펌프장이 필요한 지역이다. 또한 ④ 지역은 위의 두 가지 영향이 함께 발생한 지역으로 침수지역으로서 가장 취약한 조건을 가지고 있는 것으로 나타났다.

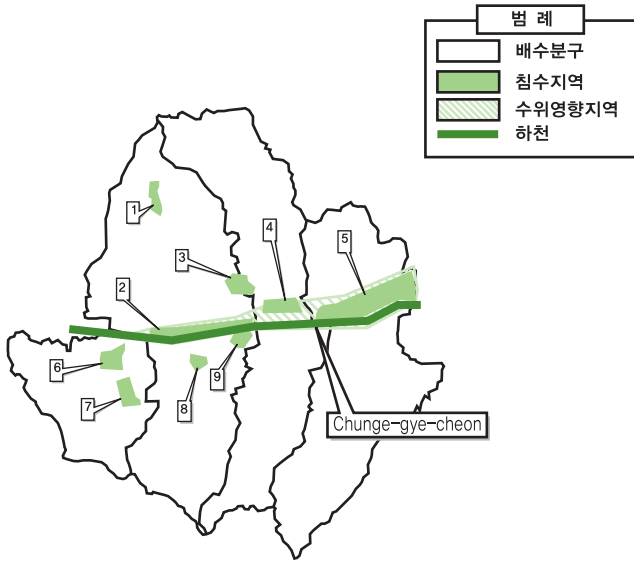


그림 3) 2001년 7월 홍수시 청계배수구역의 침수지역 현황

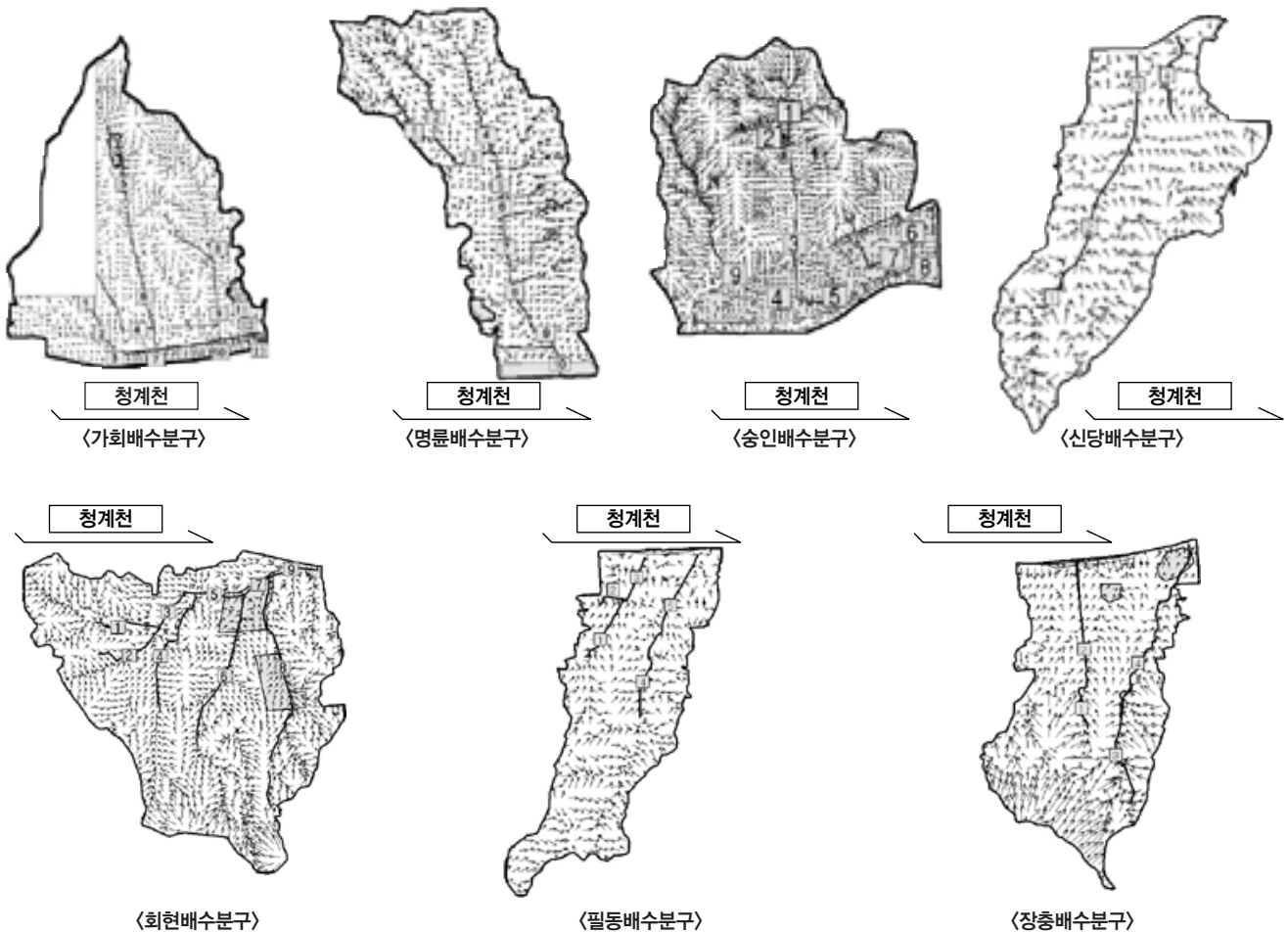


그림 4) 청계배수구역의 배수분구별 관거구성 및 노면수흐름

배수분구	구분	관거		유역	통수능부족량 (CMS)	
		지점	관거규격(m)	통수능(CMS)		최대유출량(CMS)
가회		2	□(1.5×2.0)	11.09	14.40	3.31
		4	□(1.5×1.5)	10.59	14.66	4.07
		5	□(1.5×1.5)	5.85	8.30	2.45
		6	□(2.4×1.5)	15.72	15.50	0.22
		7	□(2.5×2.5)	25.67	37.93	12.26
		9	□(1.8×1.6)	11.45	15.49	4.04
		10	□(2.5×1.8)	20.83	26.30	5.47
명륜		9	□(6.0×2.0)	34.70	57.77	23.07
		10	□(6.0×2.0)	52.03	67.28	15.25
송인		5	□(3.5×3.0)	27.67	31.11	3.44
회현		5	□(2.5×2.0)	22.1	22.23	0.13
필동		2	□(1.8×1.8)	25.6	28.79	3.19
		4	□(3.0×2.0)	32.2	33.18	15.98
장충		1	●(1.5)	12.4	14.28	1.88
신당		3	□(2.8×3.0)	49.4	50.66	1.26

표 2) 청계배수구역의 배수분구별 하수관거통수능이 부족한 관거지점 현황

청계배수구역의 7개 배수분구에 대한 노면수흐름 및 하수관거 현황은 그림 4)와 같다.

2001년 7월 강우로 발생한 우수유출량에 대하여 실시한 청계배수구역의 7개 배수분구별 하수관거통수능 분석결과 중에서 통수능이 부족한 하수관거를 지점별로 나타내면 표 2)와 같다.

분석결과에서 7개 배수분구의 하수관거통수능 총부족량은 96.02m³/sec로 나타났다. 이 중에서 명륜배수분구가 23.07m³/sec로서 가장 크며 다음으로 가회배수분구로서 21.04m³/sec이며 회현배수분구는 0.13m³/sec로서 가장 작은 것으로 분석되었다. 배수분구별로 통수능이 부족한 하수관거지점의 위치는 그림 3)과 그림 4)의 침수지역과 일치하고 있으며 이러한 결과는 통수능이 부족한 하수관거에 대해서 우수저류시설의 설치를 통하여 우수를 분담시킬 경우 침수가 해소될 수 있는 것을 나타내고 있는 것이다.

(2) 2001년 강우에 대응하는 우수저류시설 용량 산정

2001년 7월 강우에 대하여 하수관거통수능 이상의 우수량을 처리하기 위해 필요한 저류시설용량은 다음 식으로 산정하였다.

$$V_i = \frac{1}{360} \left(I_i - \frac{1}{2} I_c \right) \cdot 60 \cdot t_i \cdot C \cdot A$$

여기서, V_i: 저류용량(m³)

I_i: 강우강도곡선상의 임의지속시간에 대한 강도(mm/hr)

I_c: 관거허용방류량 Q_c에 대한 강우강도(mm/hr)

t_i: 강우지속시간(분)

C: 유출계수

A: 집수면적(ha)

여기서 2001년 7월 강우에 대한 강우강도를 산정하여 임의지속시간에 대한 강우강도 I_i를 구하고 각 하수관거지점의 관거통수능에 해당하는 허용강우강도 I_c를 합리식으로 역산하여 산정하였다. 산정결과 나타난 침수피해방지를 위해 필요한 배수분구별 우수저류시설 용량은 표 3)과 같다.

청계배수구역이 2001년 7월 강우에 대하여 기존의 하수관거통수능을 유지하면서 침수를 방지하기 위하여 필요한 총저류용량은 356,992.58m³이다. 또한 배수분구의 단위면적당으로 나타내면 235.09m³/ha인 것으로 분석되었으며 이것은 청계배수구역에서 ha당 235.09m³의 우수유출량을 저류시키면 대홍수인 2001년 7월 강우에 대해 침수가 발생하지 않는다는 것을 나타내는 것이다. 배수분구별로 저류시켜야 하는 단위면적당 하수관거통수능 부족분의 우수대책량은 표 4)와 같다.

구분 배수분구	관거 지점	면적 (ha, A)	도달시간 (분, t _p)	유출계수 (C)	허용방류량 (CMS, Q _c)	허용강우강도 (mm/h, I _c)	강우강도 (mm/h, I _p)	저류시설용량 (m ³ , V _i)
가회	2	45.80	10.00	0.82	11.09	106.26	138.02	5,315.92
	4	53.28	10.00	0.72	10.59	99.74	138.02	5,616.30
	5	35.88	30.00	0.63	5.85	93.09	132.00	9,667.12
	6	66.13	40.00	0.67	15.72	127.82	126.00	-
	7	135.22	50.00	0.83	25.67	82.24	121.50	75,271.67
	9	58.00	40.00	0.76	11.45	93.11	126.00	23,445.26
	10	90.34	40.00	0.83	20.83	99.80	126.00	38,122.74
명륜	9	200.51	40	0.82	34.7	75.68	126.00	97,014.76
	10	230.56	40	0.83	52.03	97.44	126.00	99,037.61
송인	5	105.71	20.00	0.77	27.67	122.74	138.00	20,728.95
회현	5	77.84	20	0.74	22.1	137.21	138.00	13,413.51
필동	2	20.66	20	0.75	25.6	122.69	138.00	19,192.26
	4	23.45	20	0.74	17.2	71.53	138.00	29,500.15
장충	1	22.08	20	0.76	12.4	119.87	138.00	9,690.31
신당	3	29.26	30	0.68	49.4	128.73	132.00	46,719.46

표 3) 청계배수구역의 배수분구별 침수피해방지를 위해 필요한 우수저류시설 용량

우수대책량은 유역종류에 위치한 가회, 필동, 명륜배수분구가 상대적으로 많으며 이들 지역은 청계배수구역에서 도시화율이 높고 오래된 지역으로 하수관거배수에 문제가 있는 지역이다.

배수분구	유역면적 (ha)	2001년 7월 강우 우수대책량 (m ³ /ha)
효자	520.90	-
회현	193.66	69.26
가회	310.78	381.98
필동	216.80	224.60
명륜	230.56	429.56
장충	178.30	54.35
송인	140.55	147.48
신당	247.90	188.46

표 4) 2001년 7월 강우에 대응하기 위한 배수분구별 단위면적당 우수대책량

(3) 저류시설치에 따른 수위저감 효과

청계천의 단면은 하천의 기본단면에 양안 도로 아래로 콘크리트 라멘형 구조물로서 통수능을 증가시킨 형태이고 하천의 조도계수는 하천 바닥 및 사면은 0.035를 적용하였으며 콘크리트 BOX 구간은 0.020을 적용하였다.

우수저류시설 설치 전·후의 하천수위 및 침두유출량 저감효과는 표 5)와 같다.

2001년 7월 강우에 대해 하수관거통수능 부족량에 해당하는 우수저류시설을 설치하게 되면 하천 수위검토지점에서 5~54cm의 수위가 낮아지는 것으로 나타났다. 수위저감은 전체 하천수심인 4~8m인 것에 대해 1~14%의 효과가 있으며 침두유출량으로는 3.6~22.6%의 효과를 가져 올 수 있다. 하천 전체적으로 보면 우수저류량이 큰 가회, 명륜, 필동 배수분구 이후의 중류부터 수위가 감소하였다.

(4) 우수저류시설로 인한 침수저감 효과

청계배수구역에서 우수저류시설의 설치에 의하여 나타나는 침수 해소효과는 주요 9개 침수지역을 선정하여 분석하였다. 앞에서 제시한 3가지 침수유형에서 우수저류시설을 설치하여 해소할 수 있는 침수지역은 인근고지대의 노면수가 유입되는 저지대로서 하수관거용량초과분을 저류시켜 침수를 방지하는 것이다. 분석 결과 5개 침수지역이 완전히 해소되는 효과가 있으며 총 762,396m²의 침수지역 중에서 47%에 해당하는 357,938m²의 지역이 침수가 해소되는 것으로 나타났다. [2], [5], [9] 지역은 우수저류시설 설치를 통해 감소된 하천으로의 방류량으로 인해 하천수위저감에 따른 침수저감 효과가 다소 있는 것으로 제시되었다.

지점	저류시설 설치 전		저류시설 설치 후		수위저감효과 (m)	침두유출량 저감 효과 (%)
	유출량 (CMS)	홍수위 (E.L.,m)	유출량 (CMS)	홍수위 (E.L.,m)		
81+00	119	27.27	119	27.27	0.00	0.0
77+00	173	24.51	167	24.45	0.06	3.6
74+00	192	23.42	185	23.24	0.18	3.7
68+00	280	22.16	243	21.80	0.36	13.4
60+50	331	20.46	277	19.98	0.48	16.1
56+00	395	19.86	312	19.32	0.54	20.9
52+50	418	19.41	327	18.93	0.48	21.7
48+00	492	18.81	381	18.45	0.36	22.6
42+00	492	17.90	381	17.85	0.05	22.6

표 5) 2001년 7월 강우에 대해 우수저류시설 설치 전·후의 하천수위 및 침두유출량 저감효과

침수지역	침수면적	기타	침수지역	침수면적	기타
①	38,714	침수완전해소	⑥	56,843	침수완전해소
②	95,805	빗물펌프장설치	⑦	53,538	침수완전해소
③	62,242	침수완전해소	⑧	32,608	침수완전해소
④	72,715	침수다소해소	⑨	41,278	빗물펌프장설치
⑤	308,653	빗물펌프장설치			

표 6) 청계배수구역의 배수분구별 우수저류시설 설치를 통하여 나타나는 침수해소효과

배수분구별 우수저류시설 설치를 통하여 나타나는 9개 침수지역의 침수해소효과는 표 6)과 같다.

4. 결론

서울시 하수관거는 거의 모든 지역에 보급되어 있지만 1980년대 후반부터 2000년대에 이르기까지 발생한 집중호우는 그동안 하수관거 정비목표인 재현기간을 초과하는 양상을 띠면서 상승적으로 침수피해를 발생시켜 왔다. 이것은 하수관거만으로는 우수배제기능과 치수·방재기능을 동시에 확보하기 어렵다는 것을 보여주는 것이며, 또한 국지성 집중호우양상을 띠고 있는 기상상황에 대처하여 시민의 재산과 생명을 보호하기 위해서 각 지역에서 발생한 우수는 해당지역에서 신속하게 처리하여 인근지역에 피해를 줄일 수 있도록 우수저류시설의 설치에 대해 검토가 필요한 것을 나타내고 있다.

본 글에서는 청계배수구역의 주요 침수지역을 대상으로 하여 기존의 하수관거는 그대로 유지하면서 하수관거용량을 초과하는 지표면 우수유출량을 저감시켜 침수피해를 해소시킬 수 있는 우수저류시설의 용량과 설치효과에 대해 분석하였다.

청계배수구역을 대상으로 2001년 7월 강우에 대해서 하수관거통수능을 평가한 결과에서 기존의 하수관거만으로는 우수를 충분히 배제할 수 없다. 하수관거통수능부족이 원인이 되어 발생하는 침수피해를 방지하기 위해서는 배수분구별로 0.13~23.07m³/sec 정도의 우수를 하수관거이외의 수단으로 처리해야 하며 이때 필요한 우수저류시설의 총용량은 356,992.58m³으로서 이를 배수분구의 단위면적당으로 나타내면 235.09m³/ha이다. 또한 우수저류시설 설치에 의하여 나타나는 하천수위저감은 5~4cm의 수위가 낮아지는 것으로서 전체 하천수심인 4~8m인 것에 대해 1~14%의 효과가 있으며 침두유출량으로는 3.6~22.6%의 효과를 가져 올 수 있다.

그러므로 우수저류시설은 하천으로 유입되는 우수를 제어할 수 있으며 특히 강우시 침두유출량을 낮추어 유출을 분산시키는 효과가 있으므로 서울시와 같이 거의 하수관거가 보급되어 현실적으로 우수배수시스템의 통수능을 증대시킬 수 없는 지역에서 도시 내의 항구적으로 침수피해를 저감할 수 있는 방안으로서 적절하게 적용될 수 있을 것이다. ☺