

수해의 추세와 수방시설



정 창 삼
 인덕대학 토목환경설계
 csjeong@mail.induk.ac.kr

1. 최근의 재해와 강우

2000년대 이후 기후변화에 따라 재해양상이 크게 변화하고 있다. 최근 자연재해의 주류를 이루는 호우와 태풍에 의한 침수 피해의 양상이 이러한 변화를 대변하고 있다. 연 강우총량은 큰 변화가 없지만, 국지적으로 강우강도가 세지고 지역적으로 집중되는 강우가 빈번히 발생하고 있고 이런 호우양상이 도심지역을 중심으로 한 내수침수피해를 크

게 증가시키고 있는 것이 현재의 상황이다. 그림 1(a)은 최근 침수 피해 양상을 그림으로 나타낸 것으로(2002, 수해백서), 과거의 하천을 위주로 반복되던 침수피해가 도심지역의 내수침수를 중심으로 일어나고 있음을 확인할 수 있다. 그림 1(b)는 침수 피해의 원인을 모두 정리해본 결과로 내수침수를 야기하는 하수관거와 펌프장이 가장 주된 침수재해의 원인이 되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 내수침수는 다른 재해와 달리 시민들에게 큰 피해를 야기하고 여론을 악화시키는 원인을 제공하므로 이에 대한 재해경감 활동이 필요한 시점이라 할 수 있다.

내수침수에서는 강우의 총량보다는 강우강도가 주요원인이 된다. 최근 들어 증가하고 있는 강우강도도 이러한 재해발생의 주된 원인이라 할 수 있다.

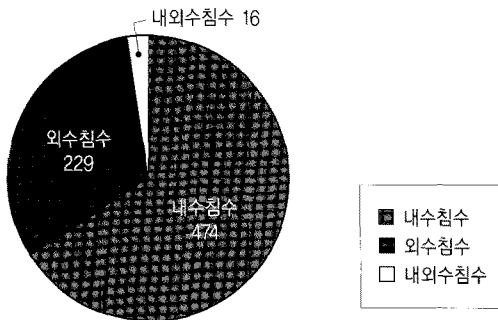


그림 1. (a) 침수재해 통계

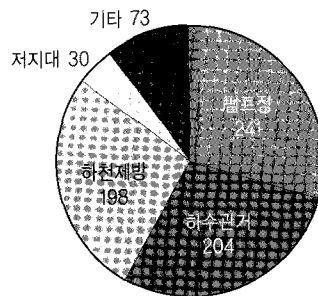


그림 1. (b) 침수재해의 원인

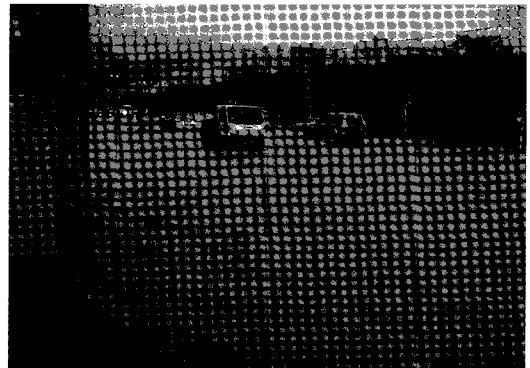
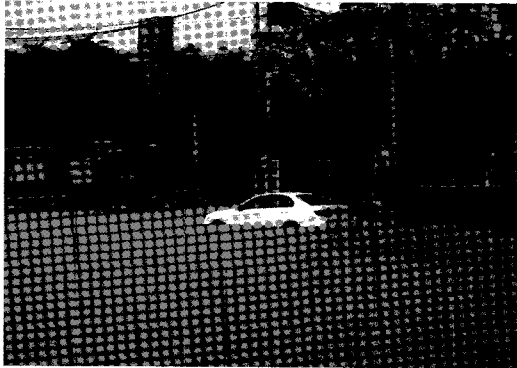


그림 2. 내수침수사례 (2009년 7월 7일 부산 센텀시티 인근 침수 사례)

2. 강우 양상의 변화

최근 강우는 지역적으로, 시간적으로 집중되는 양상을 나타내고 있다. 서울시의 예를 들어 보더라도 1942년과 1964년에 나타나던 100mm/hr 이상의 강우강도가 2000년대 들어 나타나고 있음을 확인할 수 있다(표 1). 서울시 강우관측 자료의 기록으로는 2001년 126mm/hr, 472mm/day의 호우가 관측되었고, 1998년에는 94mm/hr, 549mm/day의 사상이 관측되었다.

그림 3은 관측 이래 각 기상청 관측지점들의 1시간 최대 강우강도의 순위를 나타낸 표인데 보는 바와 같이 1990년대 후반과 2000년대 이후가 1, 2위의 주류를 이루고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

이러한 경향을 정량적으로 검토하기 위해 전국적으로 분포된 22개 기상청 관측자료를 분석하여보

표 1. 서울지역 시간당 최고 강우강도 순위 (기상청 자료 기준)

순 위	강우량 (mm/hr)	일 자
1	118	1942년 8월 5일
2	116	1964년 9월 13일
3	100	2001년 7월 15일
4	83	1966년 7월 15일
5	81	1956년 6월 22일

지점	순위	연월일	강우량	지점	순위	연월일	강우량															
090	속초	690	2004	7	4	590	2002	9	1	568	1986	8	21	505	1984	9	2	470	1992	10	12	
095	철원	695	2003	8	6	670	2007	7	29	595	2002	8	6	575	2008	7	24	556	1989	7	20	
098	동두천	698	1998	8	6	680	2001	7	14	660	2003	9	13	610	2003	8	2	603	1988	6	5	
099	문산	475	2008	7	24	435	2006	7	13	420	2006	7	12	370	2008	8	12	350	2003	9	18	
100	대관령	675	2002	8	31	600	2003	8	25	565	2003	9	13	485	2003	9	12	434	1987	7	15	
101	춘천	620	1988	7	13	600	1991	7	25	556	1970	8	15	515	2008	7	30	505	1987	7	20	
102	백령도	565	2004	8	8	477	2002	8	5	420	2005	8	8	380	2007	8	9	365	2006	7	31	
104	북강릉																					
105	강릉	1008	2002	8	31	815	2006	10	23	600	1987	7	16	534	1986	8	31	520	2003	9	13	
106	동해	624	1994	10	12	570	2002	8	31	540	2006	7	15	535	2004	8	19	465	2006	7	10	
108	서울	1186	1942	8	5	1160	1964	9	13	995	2001	7	15	830	1966	7	15	807	1956	6	22	
112	인천	1039	1953	8	13	930	1997	8	14	835	2001	7	29	760	1984	9	1	775	1963	7	17	
114	원주	795	1976	8	13	775	1977	7	4	770	1983	8	9	660	1998	8	8	635	1979	8	4	
115	울릉도	816	1942	9	13	730	1978	8	3	707	1968	7	16	630	1996	8	22	537	1999	9	5	
119	강릉	925	2000	7	22	600	1990	7	21	694	1965	7	16	670	1995	7	10	642	1966	6	11	
121	영월	760	2007	8	5	515	1996	7	28	430	1997	7	1	390	2008	7	24	375	1997	8	3	
127	충주	895	1989	7	25	610	1988	7	20	565	2000	7	22	565	1998	8	6	560	2006	7	1	
129	서산	800	2001	7	29	790	1978	7	12	625	2002	8	6	601	1995	8	20	575	1998	8	1	
130	울진	535	2007	7	29	420	1975	8	13	410	2000	9	16	405	1971	10	17	400	1977	10	1	
131	경주	640	2005	8	19	627	1981	7	3	620	1980	7	22	615	2004	6	21	600	1995	8	25	
133	대천	794	1989	7	31	694	1980	7	20	680	1999	9	10	651	1998	8	10	635	1987	7	22	
135	추풍령	570	1976	8	27	496	1957	6	17	486	1966	7	23	475	1995	8	31	475	1988	7	13	

그림 3. 기상청 관측지점의 1시간 최대 강우강도 순위

았다. 분석결과 22개 지점들의 관측기간은 각각 다르지만, 평균적으로 44.5년의 관측기간을 가지고 있다. 표 2는 22개 관측지점들에 대한 지속시간 1시간 강우량의 연최대값들을 순위를 매겨 이들 가운데 1위에서 5위까지의 사상이 발생한 연도를 표로 나타낸 것이다(기상청, www.kma.go.kr). 이러한 분석을 기초로 분석을 실시한 결과 2000년 이후 10년간의 관측기록들이 1위~5위까지로 관측된 사례가 평균적으로 지속시간 1시간과 24시간에 대해 각각 1.36회와 1.09회로 평균값인 0.22 (= 10년 / 관측자료 평균 44년)회보다 6배와 5배 가량 높게 나타났다(표 3). 이러한 결과는 2000년대 이후 최근 10년간의 지속기간별 최대값이 명확히 증가하고

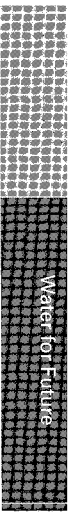


표 2. 기상청 관측지점의 지속시간 1시간 강우량의 연최대값 순위(주요 22개 지점 대상)

	1위	2위	3위	4위	5위
속 초	2004	2002	1986	1984	1992
춘 천	1988	1991	1970	2008	1967
강 릉	2002	2006	1987	1985	2003
서 울	1942	1964	2001	1966	1956
인 천	1953	1997	2001	1984	1963
원 주	1976	1977	1983	1998	1979
수 원	2000	1991	1965	1995	1986
서 산	2001	1978	2002	1995	1998
청 주	2005	1981	1980	2004	1995
대 전	1969	1980	1999	1998	1987
추풍령	1976	1957	1966	1995	1988
포 항	1998	2005	2004	1998	1989
군 산	1975	1987	2009	2006	1979
대 구	1941	1939	1931	2008	1982
전 주	1951	1955	2003	1942	1961
울 산	1993	1958	1985	1957	2008
광 주	2008	1997	1975	2009	1996
부 산	2008	2009	1970	1984	1983
통 영	1999	2000	2001	1971	2002
목 포	2004	2004	1979	2009	1981
여 수	1981	1969	1993	1969	1959
완 도	1982	1979	1984	1982	1981

표 3. 지속시간별 최대관측강수량 순위 중 2000년 이후 사상이 나타난 횟수

지속시간	1위	2위	3위	4위	5위	합계	관측소당 평균 발생 횟수
1시간	8	6	7	6	3	30	1.36
24시간	4	7	5	5	3	24	1.09

있는 경향을 나타낸 것이라 할 수 있다.

2.1 2009년 부산시 호우사상

금년 부산의 7월 강우량은 최근 들어 가장 많은 886.1 mm/month를 기록하였는데, 이를 일자별로 살펴보면 7월7일이 310mm/day, 7월16일이 266.5mm/day으로 기록적인 값을 나타내었다. 이 값은 기상청 관측 이래 부산지역의 1일 최고 강우 기록 가운데 역대 2, 3위의 기록으로 1위는 1991년 8월23일 495mm/day 이래 2위와 3위의 기록이

같은 달에 두 번이나 경신이 된 것이다. 지역적으로는 금년 7월7일 내린 강수량은 대연동 368.5mm, 해운대 343.5mm, 수영만 314.5mm로 1904년 부산관측 이래로 일강수량은 1991년 8월 23일 태풍 글래디스(439mm)에 이어 2번째이며, 강우강도는 4시간 동안 254.5mm가 내려 관측 이래 최대로 밝혀졌다. 이러한 집중호우는 부산지역의 수해로 나타났다으며, 많은 피해를 발생시킨 바 있다. 금년 집중 호우사상은 관측 이래 시간당 강우강도로는 2번째 크기의 강우사상이었다. 표 4는 기상청 관측 이

표 4. 부산지역 시간당 최고 강우강도 순위 (기상청 자료 기준)

순위	강우량 (mm/hr)	일 자
1	106	2008년 8월 13일
2	90	2009년 7월 16일
3	89	1970년 9월 10일
4	86.7	1984년 9월 3일
5	84.6	1983년 8월 24일

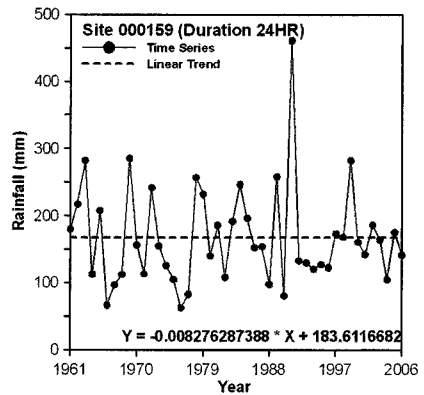
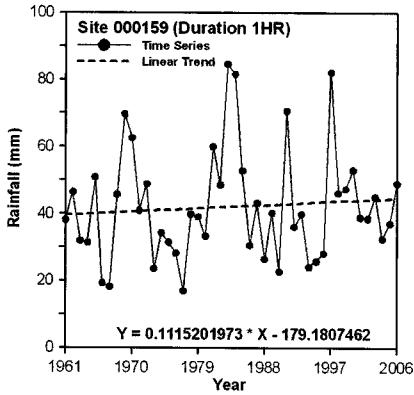


그림 4. 부산지역 지속시간 1시간, 24시간 최고 강우량에 대한 경향성 분석결과 (T-test, 기상청 강우자료 활용)

래 부산지역의 1시간 최고 강우강도 기록을 5 순위 까지 나타낸 것으로 최근 들어 비교적 큰 강우사상들을 경험하고 있다.

위와 같은 부산시는 최근 들어 기록적인 강우가 발생하였음에도 불구하고 2008년 발생한 강우 사상의 경우 지역이 국한되고 지속시간도 1시간 정도에 기록적으로는 최근 들어 집중호우에 의한 큰 수해를 경험하지는 못하였다. 하지만 최근 부산시 지역에 대한 경향성 분석(1961~2006)을 통해 지속시간 1시간 최고 강우량의 경우 거의 일정한 24시간 지속시간 최고 강우량에 비해 꾸준히 증가하여 왔음을 알 수 있다.

특히 금년 2009년 7월 7일 사상의 경우 부산시 남동부 일대에서는 오전 출근 시간에 지속시간 1시간 강우량이 90mm/hr를 오르내리는 폭우가 3시간 가량 지속되어 큰 피해를 야기하였다. 금년 호우 사상의 경우 부산시에서는 1시간 강우강도만 보더라도 빈도가 50년 이상인 집중호우가 3시간 이상 지속되

표 5. 부산지역 시간당 최고 강우강도 순위 (기상청 자료 기준)

빈도 (년)	지속시간별 설계강우량 (mm)				
	1시간	2시간	3시간	12시간	24시간
5	54	79	97	181	219
10	64	93	113	215	261
30	79	115	139	266	325
50	86	124	150	289	354
100	95	95	166	320	394

었으며, 그 외의 대부분의 지역에서는 50mm/hr의 강도가 4시간 이상 지속되었다. 이를 설계빈도로 환산하여 보면 (3시간의 경우 100년 이상의 빈도 강우량이 발생한 것이다.)

2.2 해외의 집중호우

주변 국가인 일본에서도 최근 들어 역사적인 국지 호우 사상이 발생하였는데, 그림 5에서 보는 바와 같이 열섬효과(heat island)로 인해 일본 아이치현 오카자키(愛知 岡崎)에서 시간당 146.5mm의 기록적인 강우(2008년 8월 29일)가 발생한 바 있다. 태풍이나 장마가 아닌 열섬 효과에 의해 기록적인 폭우가 8월 하순에 느닷없이 내린 사례와 수도인 도쿄인근에서 발생했다는 점이 매우 큰 재해를 유발할 수 있음을 상기시키는 사례라 할 수 있다. 우리나라의 도심지역에서도 이러한 기록적 강우가 발생할 수 있음을 주의하여야할 것으로 판단된다. 특히 부산에서는 2008년과, 2009년 연속으로 100mm/hr 이상의 강우강도가 발생하는 사례가 재현되고 있어 반드시 대비가 필요하다. 특히 일본의 사례에서 볼 수 있듯이 열섬효과는 도심에서의 강우강도를 끌어올리는 주된 원인이 될 수 있으며, 순간적으로 강우강도를 증가시켜 도달시간이 짧은 도심의 내수침수를 발생시키는 주된 원인이 되고 있음이 분명하다.



그림 5. 열섬효과에 의한 도쿄 인근 도심지역 집중호우 (일본, 2008)

또한 금년 대만과 중국에 상륙한 8호 태풍 “모라꽃”은 엄청난 양의 호우를 쏟아부어 큰 피해를 야기하였다. 특히 대만 남서부에 있는 자이(嘉義)현의 알리산 지역에서는 이번 '모라꽃'이 엄습하는 동안 무려 2천986mm의 강우량을 기록해 기존의 1천415mm 강수기록을 훌쩍 뛰어넘으면서 기상관측 100년만의 최대기록을 세웠다고 한다.

3. 도시 내수침수는 경감이 가능하다.

도심에서 발생하는 침수재해는 경감이 가능한가? 대답은 명확히 가능하다는 것이다.

내수 침수를 경감시킬 수 있는 구조적인 방법 가운데 가장 대표적인 것이 저지대 펌프장 설치, 우수

관거의 설계증대, 우수저류시설의 확대, 우수 침투시설의 확충 등을 들 수 있다 (실제 지자체에서 이루어지고 있는 침수재해경감사업은 기술된 순서로 이루어지며, 현재 대다수의 지자체는 펌프장 설치의 수준에 머무르고 있다). 최근 소방방재청의 지자체 평가에서는 이러한 사례에 대한 평가가 이루어지고 있지만, 아직 대다수의 지자체에서 이러한 사업이 여러 가지 이유로 제대로 이루어지고 있지 않는 것이 현실이다. 그나마 사업이 이루어진다면 펌프장의 신설 등이 이루어지고 있지만, 우수관거의 설계빈도상향, 합리식이 아닌 도시유출모형을 적용한 배수체계완비, 우수저류시설의 확대, 우수 침투시설의 확충 등은 차세대 재해경감 사업의 핵심이 될 것이다.

3.1 서울시 사례 (대규모)

최근 서울시의 사례를 살펴보면 알 수 있다. 서울시에서는 2000년대 들어서는 수방시설보강 2단계 사업을 계획, 실시하여 재해경감사업을 실시하였다. 1단계('01- '06)에서는 빗물 펌프장 보강에 4,452억원, 하천제방보강에 703억원, 하수관거정비에 1,645억원을 투입하였다. 2단계('07- '10)사업에서는 빗물 펌프장 보강에 4,689억원, 하천제방보강에 836억원, 하수관거정비에 4,500억원을 투입하고 있다.

이러한 사업들을 개략적으로 정리하여 보면 다음과 같다.



그림 6. 태풍 모라꽃에 의한 피해(대만, 2009)

먼저 서울시에서는 펌프장 설계에 주력하고 있다. 이를 통해 지하채 가운데 가장 많은 111개의 펌프장을 설치하여 저지대 침수재해를 경감시켰는데, 이는 지하채 가운데 단위면적당 가장 많은 펌프장을 보유한 것이다. 두 번째로는 하수관거의 설계빈도를 상향하였다. 지선의 설계빈도를 5년에서 10년으로, 간선에 대한 설계빈도를 10년에서 30년으로 상향하는 작업을 실시하여 내수침수를 상당히 개선한 것으로 평가되고 있다.

3.2 서울시 사례 (소규모)

서울시에서는 구청단위로 소규모 저류시설의 설치 등을 통해 내수침수와 도시유출의 침투 유량 경감을 위해 노력하고 있다.

3.2.1 중랑구 망우산 빗물 저류조 사례

2004년 서울시 중랑구에서는 만성적인 망우 사

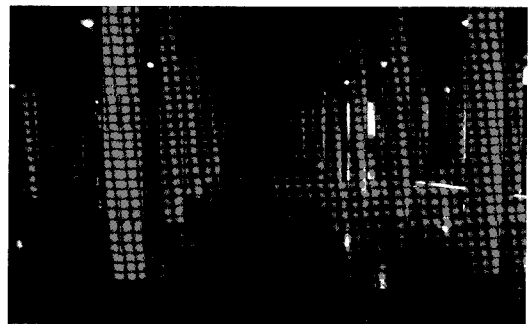
거리의 침수를 경감시키기 위해 침수의 원인이 되는 망우산 계곡물을 저류시키기 위해 87.5억원의 예산으로 망우산 빗물저류조를 설치하여 일대 내수 침수를 경감시킨 바 있으며, 설치 후 이 일대의 침수사태가 1건도 발생하지 않아 그 효과를 확인할 수 있다.

3.2.2 서울시 중구 한옥마을 빗물 저류조 사례

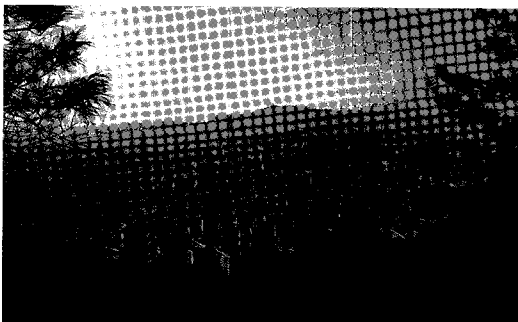
서울시 중구에서는 승의여대, 한옥마을 등에 대한 빗물 저류조 사업을 실시하였다. 특히 2008년 한옥마을 저류조 사업은 38.7억원의 예산으로 남산에서 내려오는 우수를 저류하고 이를 이수 용도로 활용하는 사업을 실시하였다. 한옥마을로 내려오는 빗물은 삼각동 BOX를 통해 청계천으로 유입된다. 청계천은 강우시작 후 5분 전후로 그림 8과 같이 수문이 열려 재해발생이 가능한 요인을 가진 하천으로 침투유출에 대한 저류가 반드시 요구되는 하천이다. 서울시 중구 한옥마을 빗물 저류조는 이



(a) 저류조 외부전경 (체육공원)



(b) 저류조 내부전경



(c) 망우산 정상에서의 도심전경



(d) 망우산 저류조의 위치

그림 7. 중랑구 망우산의 저류조 설치 사례

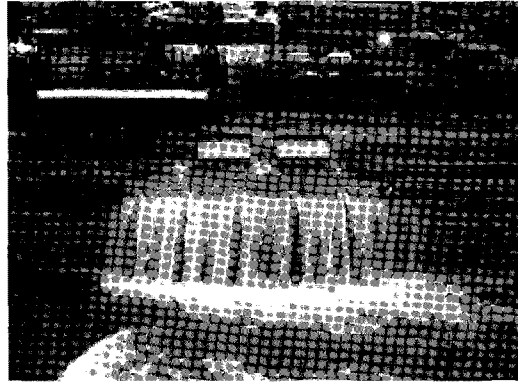
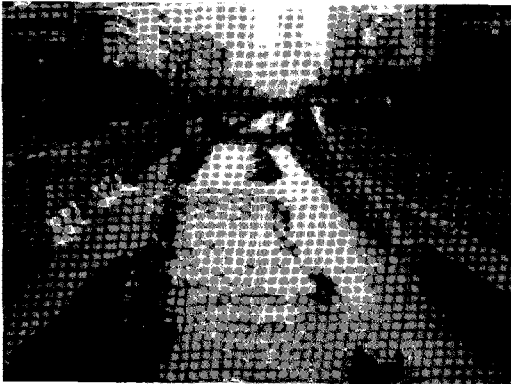
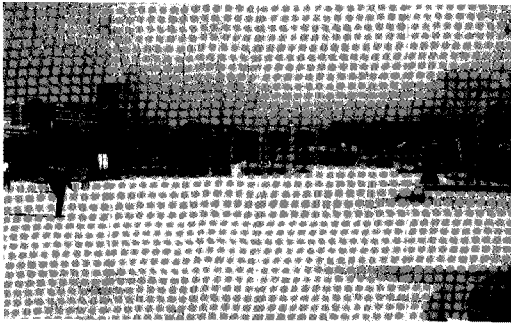
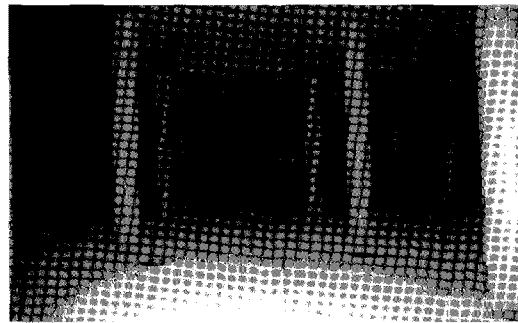


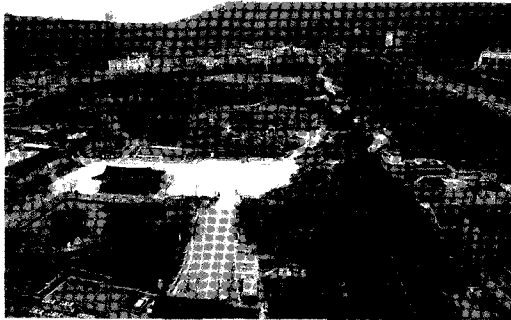
그림 8. 청계천의 수문열림 사례



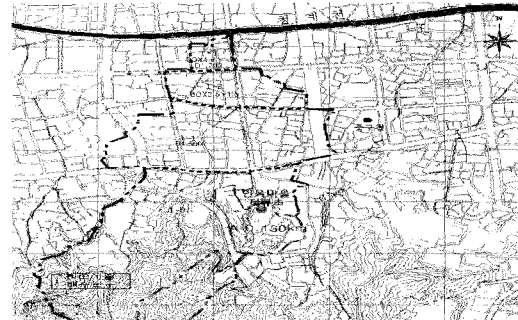
(a) 저류조 외부전경



(b) 저류조 내부전경



(c) 주변에서 바라본 저류조의 위치



(d) 한옥마을 저류조의 위치

그림 9. 중구 한옥마을 빗물 저류조 사례

러한 요구에 부합하는 시설물로 2008년 설치 이후 금년 장마에서 그 효과를 나타내었다. 한옥마을 저류조는 2009년 7월 9일(183mm/day), 7월12일(111mm/day), 7월17일(154mm/day)의 사상에서 각각 0.2-0.5CMS의 침투유량을 조절하여 청계천의 침투유량을 경감시키고 하류 인근 주택가의 침수를 방지하는 탁월한 효과를 거둔바 있다.

4. 결론

기후변화로 인한 강우의 패턴 변화는 이제 시작 단계에 있다. 수해의 양상도 과거의 외수 침수에서 내수침수가 재해의 중심이 되고 있다. 우리나라는 내수 침수재해를 경감시키기 위해 저지대 펌프장 설치 및 증설과 우수 관거의 통수능 확대에 주력하

여 왔다. 최근 들어서는 침투유출의 저감을 위해 저류시설의 확대와 침투시설 등을 설치하는 수준에 이르고 있다. 이러한 노력을 더욱 효율적으로 진행하기 위해서는 금년 부산이나 모라곶 태풍이 보여

준 것과 같은 극한 강우 시나리오를 바탕으로 도시 지역의 내수침수에 대비하는 기술적이고 정책적인 노력이 필요할 것이다. 