

태풍 '나리(NARI)' 에 의한 제주도 홍수피해 원인분석 및 대책



이윤영 |
현대엔지니어링 수자원부 상무
yylee@hec.co.kr

1. 태풍 '나리' 및 피해현황

2007년 9월 13일 일본 오키나와 남동쪽 660km 부근 해상에서 발생한 제14호 태풍 '나리(NARI)'는 9월 15일~17일에 걸쳐 우리나라 전라남도과 제주도 강풍을 동반한 많은 비를 뿌리며 큰 피해를 입혔다. 특히 제주도에 지역적으로 1일 최대 420mm~542mm의 집중호우와 최대 초속 50m가 넘는 강풍이 발생하여 사망 13명을 비롯해 도로 및 교량, 항만 시설 유실 등 공공시설 피해액 약 970억원, 주택 침수 2천 565채와 상가 침수 952채, 농경지 유실 525ha, 농작물 침수 1만3천 510ha 등 사유시설 피해액 약 230억원 등 1천 300여억원의 재산피해를 낸 것으로 집계됐다(제주도 재난안전대책본부 9월22일 집계 현황 기준).

이번 제주도의 호우피해는 주로 제주도 북쪽에 위치하며 제주시 지방2급 하천인 한천 인근의 용담동, 산지천 인근의 동문재래시장, 병문천 인근의 서문로 터터 등 제주시를 통과하는 도심지 하천 주변에서 집중적으로 발생했다.

14호 태풍 '나리' 진로

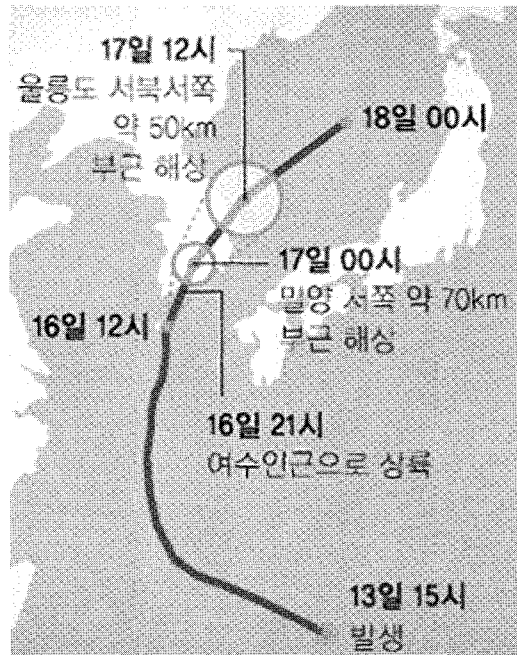


그림 1. 태풍 '나리' 진로

2. 태풍 '나리' 호우 분석

2.1 집중호우 현황

제주도에서는 태풍 '나리'의 영향으로 2007년 9월 15일~16일 양일간에 걸쳐 집중호우가 발생하였다. 이 기간에 발생한 호우의 규모와 공간적 분포를 분석하기 위해 제주관측소를 비롯한 4개 기상청 관할 관측소와 관음사관측소를 비롯해 48개 소방방재청 관할 관측소의 시강우 및 일강우 자료를 조사하였다 (그림 3, 표 1 참조).

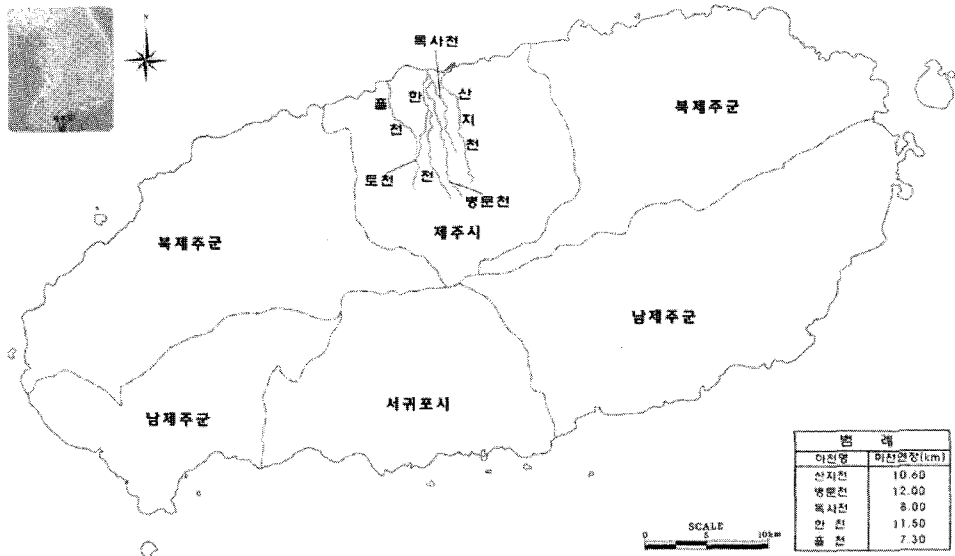


그림 2. 제주시 주요 지방2급 하천 위치도

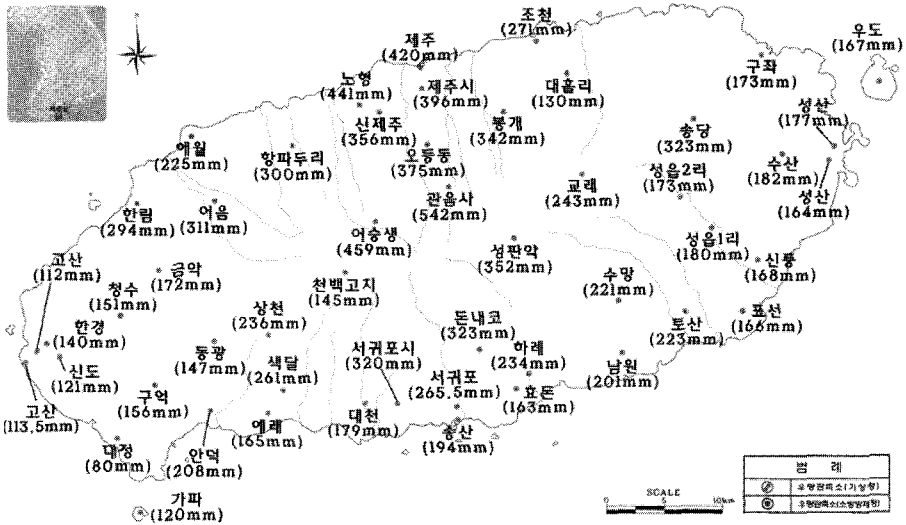


그림 3. 태풍 '나리' 내습시 일최대 강우량(2007년 9월 16일)

시간단위로 강우량이 조사된 기상청 관할 4개 관측소의 지속시간별 최대강우량 자료를 토대로 호우중심의 이동경로를 분석해보면, 1시간 최대 강우량의 경우 제주도 서쪽에 위치한 고산관측소(9.15 06:00)를 거쳐 제주도 북쪽의 제주관측소(9.16 09:00)로 호

우의 핵(核)이 이동하고 있으며 이는 그림 1에 도시되어 있는 기상청에서 관측된 태풍 '나리'의 이동경로와도 일치하고 있다. 그러나 제주도 남쪽의 서귀포관측소와 동쪽의 성산관측소 1시간 최대 강우기록은 태풍의 이동경로보다는 제주도의 지형적인 특성에 의한

표 1. 태풍 '나리' 내습시 기상청관항 우량관측소의 지속시간별 강우량

단위 : mm

관측소	1시간 최대	2시간 최대	3시간 최대	6시간 최대	12시간 최대	24시간 최대
제주	70.5 (9.16, 09시)	115.0 (9.16, 09~11시)	153.0 (9.16, 09~11시)	288.0 (9.16, 09~15시)	410.5 (9.16, 04~16시)	421.0 (9.15, 17시 ~ 9.16, 16시)
고산	43.5 (9.15, 06시)	74.0 (9.15, 05~06시)	86.5 (9.15, 05~07시)	103.5 (9.16, 04~10시)	113.5 (9.16, 03~15시)	121.0 (9.15, 10시 ~ 9.16, 09시)
서귀포	43.5 (9.16, 12시)	85.5 (9.16, 11~13시)	113.5 (9.16, 11~13시)	164.0 (9.16, 08~14시)	264.5 (9.16, 03~15시)	266.0 (9.15, 22시 ~ 9.16, 21시)
성산	34.0 (9.15, 11시)	62.0 (9.15, 08~09시)	83.0 (9.15, 09~11시)	129.5 (9.15, 08~14시)	168.5 (9.16, 04~16시)	218.5 (9.15, 08시 ~ 9.16, 07시)

주) 자료출처 : 기상청

국지적영향으로 발생한 것으로 보인다. 한편, 강우지속시간이 증가하여 12시간 지속시간에 대한 최대강우기록을 살펴보면, 전체적으로 2007년 9월 16일 제주도 전역에서 고르게 집중호우가 발생하여 이번 호우는 9월 16일에 집중되어 발생된 것으로 나타났고, 이들 자료를 토대로 각 우량관측소의 일 최대강우량을 도시하면 그림 3과 같다.

2. 호우 분석

2007년 9월 16일 제주도 전역에서 발생한 집중호우의 지역적·공간적 분포를 알아보기 위해 4개 기상청 관측소를 비롯하여 48개 소방방재청 관측소의 지속시간 24시간 또는 1일 강우량 자료를 바탕으로 등우선도(isohyetal map)를 작성하여 그림 4에 나타내었다. 한라산 북부 산악지역인 관음사와 어승생 관측소에 450mm 이상의 집중호우가 발생하였고 제주도 북부해안에 위치한 제주지역에 약 420mm의 집중호우가 발생한 것을 볼 수 있다.

현재 제주시를 관통하여 제주해협으로 흘러드는 지방2급 하천은 한천, 병문천 등 총 5개 하천이 있다. 금번 호우발생의 공간적 분포양상을 보았을 때 하천유역 상·하류에 일시에 호우가 발생함으로써 하천하류의 홍수피해가 더욱 가중된 것으로 판단된다.

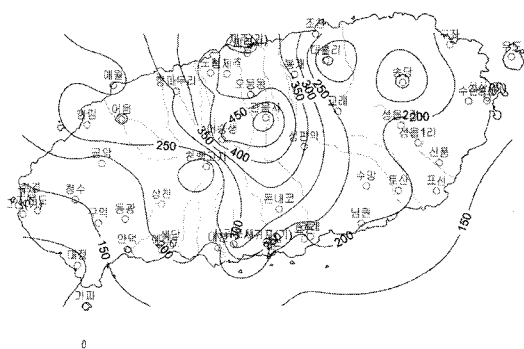


그림 4. 2007년 9월 16일 태풍 '나리' 발생시 등우선도

태풍 '나리'에 의한 피해가 컸던 2007년 9월 15일~16일간 제주시에 발생한 집중호우의 규모를 분석하기 위해 기상청 관할 제주관측소의 1933년부터 2000년까지 68개년 시강우 자료를 토대로 빈도분석을 수행하였다. 2007년 9월 16일 제주관측소에서 관측된 지속시간 3시간 이내의 단기간 지속시간 강우량은 호우규모가 80년 빈도 이내로 분석되었으나, 지속시간이 길어질수록 호우의 규모가 커져 지속시간 6시간 최대강우량 272.8mm는 500년 빈도를, 지속시간 12시간 최대강우량 410.5mm는 1,000년 빈도를 상회하는 것으로 분석되었다.

표 2. 태풍 '나리' 내습시 지속시간별 호우규모 분석

체험기간 (년)	지속시간별 확률강우량(mm)					
	1시간	2시간	3시간	6시간	12시간	24시간
20	76.7	103.5	124.6	172.0	233.8	298.2
30	82.2	111.0	133.8	184.9	252.1	321.9
50	89.1	120.4	145.2	201.0	274.8	351.6
80	95.5	129.1	155.8	215.7	295.7	378.8
100	98.4	133.2	160.7	222.7	305.6	391.7
150	103.9	140.5	169.8	235.3	323.5	415.1
200	107.7	145.8	176.2	244.3	336.2	431.6
500	120.0	162.5	196.6	272.8	376.6	484.3
1000	129.3	175.1	212.0	294.4	407.2	524.1
제주관측소 실측강우량	70.5	115.0	153.0	288.0	410.5	421.0

주) 지속시간별 확률강우량 : 급회분석

3. 홍수피해 원인분석

3.1 계획규모 이상의 호우발생

조사결과 제주시를 관통하는 주요 도심지 하천의 치수계획 규모는 모두 50년~80년 빈도인 것으로 나타났다. 태풍 '나리' 에 의해 제주시에 발생한 지속시간별 호우규모를 보면 앞서 표 2에서 언급한 바와 같이 단기간인 지속시간 3시간까지는 제주도 주요 하천의 설계빈도인 80년 빈도에 준하는 호우가 발생했으나, 강우가 지속됨에 따라 지속시간 6시간~12시간에서는 하천의 설계빈도를 훨씬 초과하는 500년~1,000년 빈도 규모의 호우가 발생하였다. 이와 같이 태풍 '나리' 시 발생한 호우는 지속시간에 따라 호우규모가 큰 차이를 보이고 있으므로 해당 하천의 지형적 특성에 따라 홍수과가 도달하는 도달시간이나

임계지속시간을 고려해 해당 하천의 설계빈도 초과여부를 판단해야 할 것이다.

표 3은 제주시를 관류하는 대표적 지방2급 하천인 한천과 병문천의 도달시간과 임계지속시간을 분석한 결과로 주요 경험공식으로 계산한 도달시간은 약 2~4시간 분포를 보이고 있으며, 임계지속시간은 약 8시간인 것으로 나타났다.

최근 하천설계시 설계홍수량을 계산할 때, 해당 하천에서 하도구간의 침투홍수량이 가장 크게 발생하는 임계지속시간 개념을 적용하는 것을 감안하면 위의 표 3에서 분석된 임계지속시간은 매우 중요한 의미를 가지며 태풍 '나리' 시 한천과 병문천의 임계지속시간인 8시간 동안 발생한 호우규모는 500년~1,000년 빈도로 해당 하천의 설계빈도인 80년 빈도를 훨씬 초과하는 호우가 발생했음을 알 수 있다.

표 3. 한천과 병문천의유역반응 시간 분석

하천	유로연장 (km)	평균경사	도달시간(hr)				임계지속시간 (hr)
			Kirpich	Rziha	Kraven I	Kraven II	
한 천	19.82	1/18	3.89	1.56	0.64	1.57	8
병문천	19.90	1/18	3.90	1.57	0.64	1.58	8

주) 임계지속시간 : Kraven II 공식에 의한 도달시간을 기준으로 산정

3.2 무분별한 하천복개(河川覆蓋) 정책

제주시 지역의 하천은 한천, 병문천, 산지천 등 대부분의 하천의 도심지 구간이 복개되어 도로나 주차장 등으로 이용되고 있는 실정이며, 그 현황은 그림5 및 표 4와 같다. 제주시의 하천은 대부분 건천(乾川)이나 홍수발생시에는 복개구간의 교각 등 하도내 시설물과 복개구간 내부에 퇴적된 토사 및 상류로부터 떠내려온 유송잡물 등이 하도 통수능을 축소시켜 수위상승에 의한 홍수피해를 가중시킬 위험이 있다.

실제로 태풍 '나리' 내습시 하천범람에 의해 큰 피해를 입은 한천의 용담로터리~용연 구간과 병문천 일대의 서문로터리 일대, 산지천 인근의 동문재래시장 등은 하천 복개 구간이었던 것으로 조사되었다.

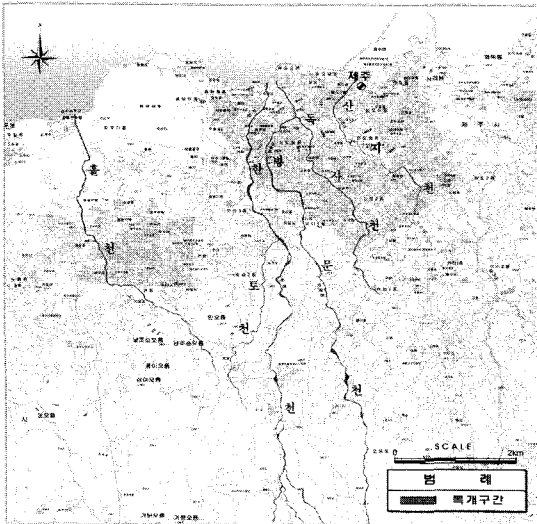


그림 5. 제주시 복개하천 현황

표 4. 제주시 주요하천 복개 현황

하천	하천연장(km)	복개연장(km)	복개구간(No.)	비고
산지천	10.6	0.20	39+8~49+12	동문재래시장
병문천	12.0	2.31	12~127+11	서문로터리
독사천	8.0	2.72	0~136	삼도동~도남동
한천	11.5	0.40	27~47	용연~용문로터리
흘천	7.3	0.80	0~40	연동 시가지

주) 측점 No. : 해당하천 하천정비기본계획 기준

3.3 제주의 지역특성을 무시한 난개발

제주도는 화산활동으로 형성된 섬으로 식생, 지반 등 전반적인 지역특성이 타지방과는 많은 차이를 보이는 지역으로 대표적인 차이를 보이는 지역은 제주 지방에서 “꽃자왈”과 “숨골”이라 지칭하는 곳이다.

꽃자왈이란 화산폭발 때 용암이 크고 작은 암괴로 쪼개지면서 요철지형을 이룬 곳에 나무와 덩굴 등이 마구 엉켜져 자연림을 이룬 지역으로 한대식물과 열대식물이 공존하는 등 환경적으로도 대단히 보존가치가 높으며 제주도의 동부와 서부, 북부 지역에 넓게 분포하고 있다. 꽃자왈 지대는 토양의 발달이 빈약하고 크고 작은 암괴들이 매우 두껍게 쌓여 있어 호우가 발생해도 빗물이 그대로 지하로 유입되는 등 수문지형학적으로 대단히 낮은 유출율을 보이는 지역이다.

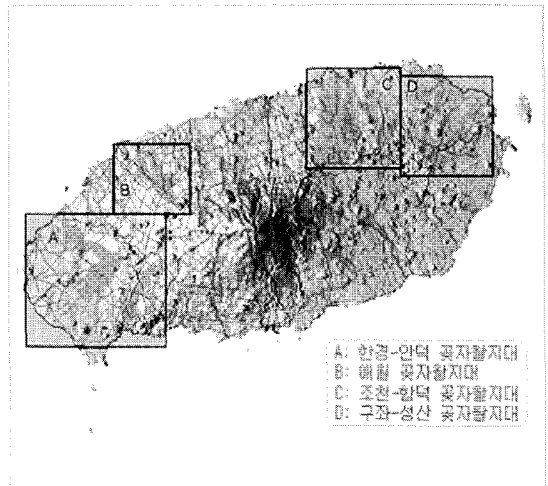


그림 6. 제주도 꽃자왈 분포도

주) 자료출처 : (사)꽃자왈 사람들 홈페이지(www.gotzawal.com)



그림 7. 제주도 꽃자왈 모습

또한 습골은 꽃자왈 지대에 존재하는 화산굴을 일컫는 것으로 다양한 규모를 가지고 있으나 평균적으로 직경이 약 70cm인 원형이며 복잡한 유로를 가지고 바다 또는 지하수 층과 연결되어 있어 호우가 발생해도 상당량의 홍수를 지체시키고 저류하는 역할을 한다.

따라서 제주도에 큰 규모의 호우가 발생해도 한라산 중턱에 넓게 발달한 꽃자왈 및 습골 등의 홍수 저류 및 지체 등의 효과와 한라산 중턱에서 해안까지의 비교적 완만한 경사로 인해 하류부 하천이 범람하는 일이 거의 없었다.

그러나 최근 한라산 중산간에 20여개의 골프장이 들어서고 무분별하게 도로가 개발되면서 꽃자왈이 파괴되고 습골이 파문힘에 따라 기상이변에 대한 대처 능력이 떨어지고 있는 실정이다.

4. 대책

4.1 유출량 저감시설(저류지) 설치

제주시에 위치한 하천의 수문지형학적 특성을 보면, 그림 8과 같이 하구로부터 상류 약 7~8km 구간은 하도경사가 약 1/40 으로 상대적으로 완만하나, 그 이후부터 한라산까지는 하도경사가 약 1/7 이하로 매우 급경사이다. 따라서 호우 발생시 하천 중류부에 전체 유출총량 규모는 작으나 첨두유량(peak flow)이 매우 큰 홍수파가 발생하여 하천 하류의 홍수위가 급격히 상승하는 특성이 있으므로 하천 중류부 또는 도심지 직상류에 적절한 규모의 저류지를 설치할 필요가 있는 것으로 판단된다. 여기서 적절한 저류지의 규모는 하천과 유역의 특성에 따라 적용기준을 달리 해야 하나, 작게는 해당 하천 저류지 설치지점을 기

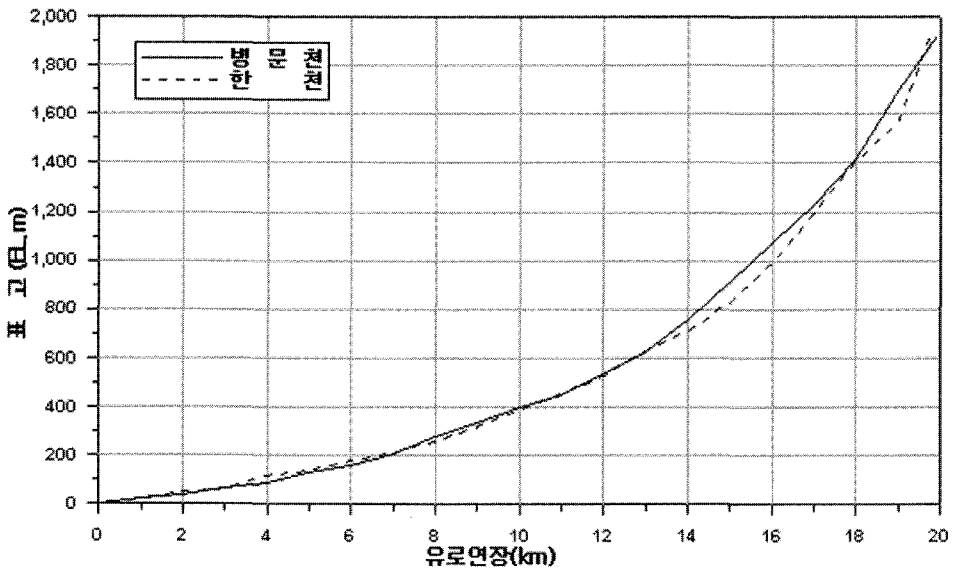


그림 8. 제주시 주요 하천 하도경사

준으로 한 임계지속기간이나, 크게는 태풍 '나리' 시 발생한 호우 특성상 지속기간 12시간 강우의 규모가 가장 컸던 것을 감안하여 지속기간 12시간을 기준으로 한 홍수유출량을 저류할 수 있는 규모로 설치하는 것이 적절하다고 판단된다.

4.2 하천의 원활한 흐름 확보와 유역의 특수성을 고려한 개발

제주시를 관류하는 하천은 제주시의 교통혼잡 해소와 부족한 주차공간 확보를 위해 도심지 구간의 하천이 복개되어 있다. 복개구간의 교각 등 과도한 하천시설물과 복개구간에 쌓인 하상퇴적물 등에 의한 통수단면의 축소로 하천의 원활한 흐름이 이루어지지 못하여 환경적 악영향과 홍수피해 가중 등의 피해가 커지고 있다. 따라서 복개된 하천 구간에 대해 복개 시설물 철거와 자연하천복원을 위한 전반적인 검토가 필요할 것으로 판단되며, 부득이하게 복개시설물 철거가 어려운 지역은 복개시설물에 의한 치수적, 환경적인 영향을 검토하여 이에 대한 대책을 마련해야 할 것으로 사료된다.

또한 제주도내 도로나 골프장 건설 등의 개발사업 시 제주도의 특수성을 살려 생태·환경적 보존가치가 높을 뿐만 아니라 호우의 저류 및 홍수 지체의 효과가 뛰어난 꽃자왈, 숲골 등을 보존하기 위한 대책마련과 더 나아가 복원하는 노력을 해야 할 것이다.

4.3 수문계측망(水文計測網)과 연계를 통한 홍수예·경보 시스템 확립

행정당국에서는 태풍 '나리' 내습시 제주시내 하

천이 모두 범람한 뒤에야 주민들에게 대피를 알리는 등 홍수예측시스템의 부재로 더욱 피해를 가중시킨 것으로 조사되었다. 따라서 이를 보완하기 위한 수문계측망의 확충과 이를 활용한 홍수예·경보 모형의 개발이 시급하다.

제주도내 우량관측소의 경우, 기상청 관할의 4개 관측소를 비롯하여 19개 자동기상관측시스템(AWS)과 제주도 소방방재본부의 48개 우량관측소가 T/M 방식으로 계측되고 있으나, 계측된 자료를 통합·연계 운영하지 못하고 있다. 또한 수위관측소의 경우 서귀포시의 일부 하천에만 수문모니터링 시설이 운영되고 있을 뿐 제주시의 도심지를 관류하는 주요 하천에서는 수위관측소가 전무한 실정이다. 따라서 제주도내 기상청 관할 23개 우량관측소와 소방방재청 관할 48개 우량관측소의 관측된 우량자료를 통합·연계 운영하여 강우의 공간적 분포와 고도별 영향을 고려하는 한편, 제주도 주요 하천 주요 지점에 수위관측소를 설치·계측함과 동시에 제주도 해안의 4면에 위치한 조위관측소와 연계한 홍수예·경보 모형을 조속히 개발해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 제주시 (2001). 지방2급 하천정비기본계획보고서(산지천, 화곡천, 병문천, 한천, 방천, 부록천, 독사천).
 제주시 (1992). 하천정비기본계획보고서(사수천, 한천, 화북천, 독사천).
 기상청 Homepage(www.kma.go.kr)
 (사)꽃자왈 사람들
 Homepage(www.gotzawal.com) 🍌