

기후변화에 대응한 제주의 수해방지 방안

제주발전연구원 선임연구위원 **박원배**

토지이용변화와 지역개발로 인해 아파트단지, 중·대형 건축물, 관공서, 비닐하우스 등에 내린 빗물에 대한 대책이 매우 소극적으로 대처하고 있는 실정이기 때문에 향후 이러한 시설물에 대해 빗물이용시설 또는 인공함양(트렌치), 저류조 등을 갖출 수 있도록 체계적인 연구를 통해 제도개선이 필요하다

I. 서언

근래 들어 전 세계적으로 홍수와 태풍 그리고 가뭄 등의 극한 기상현상으로 인한 피해가 날로 증가되고 있다. IPCC(2007)에 의하면 기후변화로 인해 극한 기상재해의 증가가 예상되며 생태계뿐만 아니라 사회 및 경제 분야에도 부정적인 영향을 미치게 될 것이라고 경고하고 있다. 기후변화는 강우량을 증가시키는 동시에 무강우 일수 또한 증가시켜 홍수와 가뭄의 위험도를 증가시킬 수 있으며, 제주도 또한 기후변화로 인한 영향에서 예외가 될 수 없다. 제주도의 경우 기후변화에 의해 강수량은 지속적으로 증가하는 반면, 강우일수가 줄어들면서 오히려 집중호우가 증가하는 추세이다. 실제로 기상청에 따르면 1일 80mm이상 집중호우가 발생하는 날이 갈수록 빈번해지고 있다. 또한, 물 순환계에서 가장 큰 영향을 미치는 도시화요인으로 불투수 면적이 증가이다. 도시화되기 전에는 우수가 침투되었던 장소가 아스팔트·콘크리트 등으로 피복되어 불투수면으로 되면서 지하로 침투되는 양이 감소하는 반면 표면유출량이 크게 증가되면서 제주에서도 침수·재해의 가능성(potential)이 증가하고 있다. 또한, 중산간지역과 많은 지역에서 도

로개설로 인한 유역개념이 상실되면서 집중호우시 대부분의 유출수가 특정 하천과 저지대로 집중되고 있어, 이로 인한 침수·재해가 증가할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 기후변화에 따른 제주지역 특성에 적합한 수해방지 방안 등을 모색하고자 한다.

II. 제주지역의 환경변화

1. 도시 및 토지개발에 따른 물 순환의 변화

토지이용 변화가 진행되지 않은 토지에서 강우 시 증발산 비율이 65%로 가장 높고 토양 침투가 22%, 표면유출은 13%로 가장 낮은 비율을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 토지가 개발될 경우 지표면은 건물, 도로 및 포장면 등의 불투수층으로 변해 토지개발이 진행된 지역에서는 표면 유출의 비율이 65%로 가장 높고 토양 침투는 이루어지지 않는다. 이러한 도시 지표면 구성은 강우 시 빗물 침투 저해, 침투유출량 증가, 도달시간 단축 등의 원인이 된다. 또한, 침투 유출량 증가는 하류에 홍수를 유발하여 하류지역 주민들의 안전을 위협하며, 빗물 침투량 감소는 도시 지역 하천을 건천으로 만드는 원인이 되기도 한다.

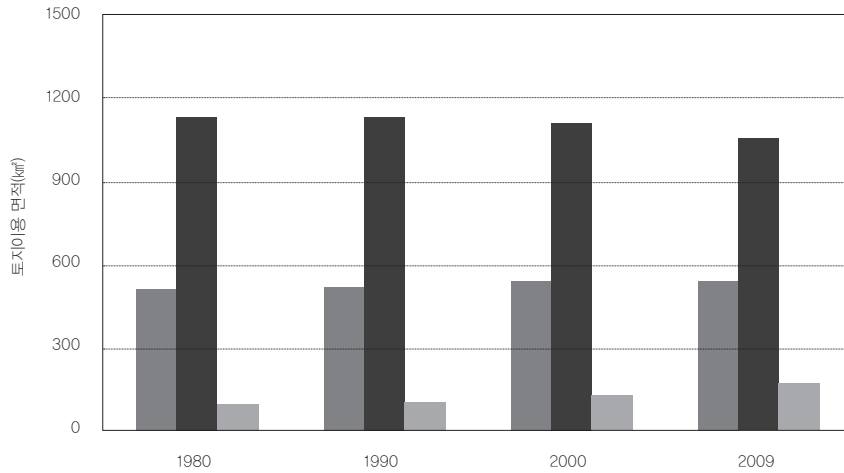
〈표 1〉와 〈그림 1〉는 1980년부터 2009년까지 통계연보의 토지 지목별 현황 자료를 근거로 연도별로 토지이용 면적을 재산정하여 나타내었다. 토지이용 변화 중 가장 큰 변화를 보이고 있는 것은 산림(초지)지역 면적으로 1980년 1,136km²에서 2009년 1,055km²로 감소한 반면, 시가지(도로) 지역은 1980년 97km²에서 175km², 농경지 면적은 520km²에서 542km²으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

제주도 전역에 대하여 가장 변화가 심한 시가지와 산림지역의 연도별 변화 추세를 〈그림 2〉에 나타내었다. 산림지역의 연간 감소속도는 2.67km²/yr이고, 시가지 지역의 증가속도는 2.53km²/yr으로 추세선을 그을 수 있는데, 산림지역이 줄어든 면적은 시가지로 대부분 차지하면서 물 순환의 변화가 예상된다.

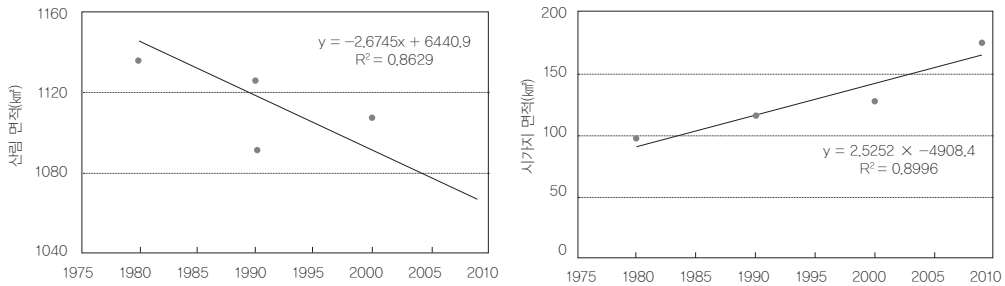
〈표 1〉 연도별 토지이용 변화

구분	농경지(km ²)	산림(km ²)	시가지(km ²)	수계(km ²)	기타(km ²)
1980년	520	1,136	97	28	43
1990년	520	1,126	115	28	36
2000년	541	1,107	128	30	40
2009년	542	1,055	175	33	44

자료: 통계연보(제주도, 1980~2010년) 재편집



〈그림 1〉 연도별 주요 토지이용 변화



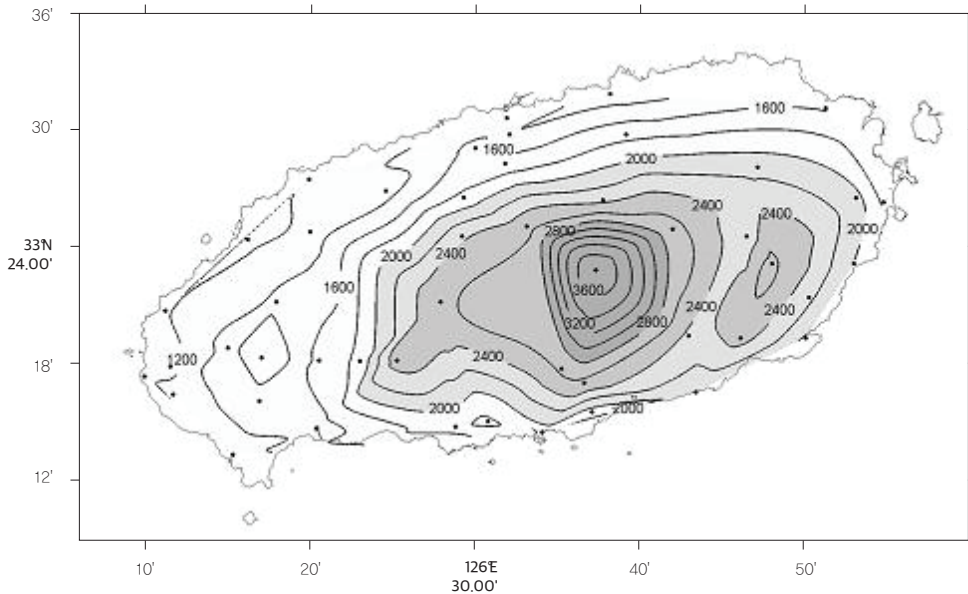
〈그림 2〉 산림과 시가지의 연도별 변화 추세

2. 기후변화에 따른 강수특성 변화

제주도의 강수량분포를 알아보기 위해 1992년부터 2008년 동안 관측지점 48개소의 연평균강수량에 대해 공간분석을 실시하였다. 강수량을 살펴보면, 성판악 지역이 3,727mm로 가장 많았고 고산지역이 1,120mm로 가장 적었으며 이 두지역간의 차이는 약 2,600mm로 큰 편차를 보였다. 제주도의 연평균 강수량이 1,973mm인 것을 감안하면 이러한 두지역간의 편차는 상당히 큰 양임을 알 수 있다. 성판악 지역의 연강수량이 많은 것은 고도가 높기 때문인데, 성판악보다 고도가 높은 천백고지보다도 연강수량이 많은 것은 강수량이 집중되는 여름철의 주 바람방향인 남동풍이기 때문이다. 바람방향인 남

동풍일 때 성판악은 풍상 지역에 해당하는데 비해 천백고지는 풍하 지역에 해당한다. 이에 따른 편현상으로 인해 풍하 지역인 천백고지보다 풍상 지역인 성판악에 강수량이 많아진 것이다.

제주지역의 연평균 강수량 분포는 <그림 3>과 같다. 북쪽과 서쪽 해안지역의 강수량은 1,200~1,600mm로 작는데 비해 남쪽과 동쪽의 해안 지방은 2,000mm 정도로 높다. 해안지역에서는 강수량이 적고 고도가 높아질수록 강수량이 많아지는데 한라산 부근에는 약 3,600mm 이상인 것으로 나타났다. 한라산을 중심으로 남동쪽 지역이 다른 지역에 비해 강수량이 많은 것은 역시 비가 많이 오는 여름철에 바람의 방향이 남동풍이고 단열팽창에 따른 편현상 때문으로 추정하고 있다(박 등, 2011).

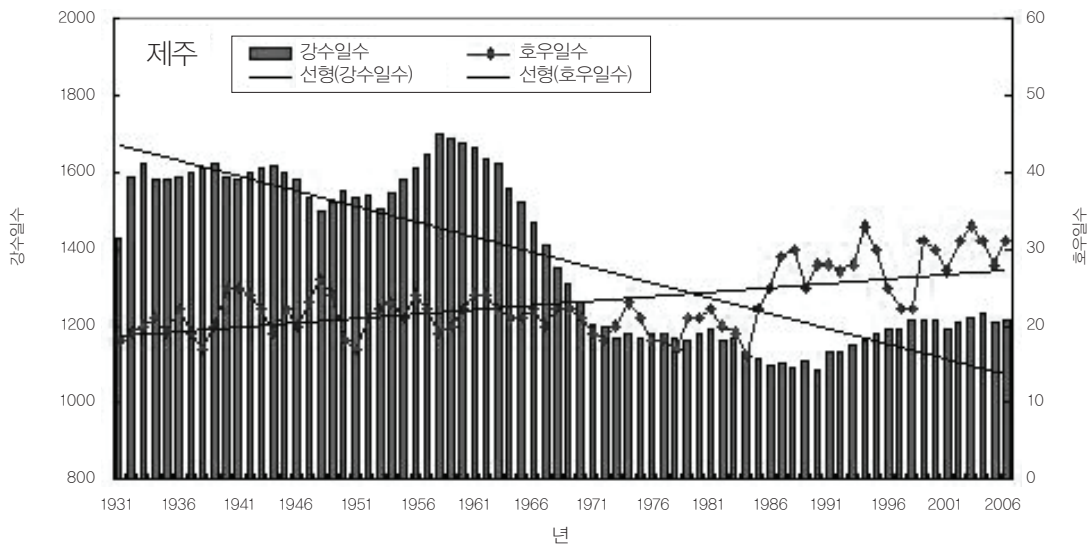


<그림 3> 1992~2008년 평균 강수량(검은색 영역은 2,000mm 이상)

제주도의 강수일수와 호우일수의 변화를 보면(제주특별자치도, 2010), 제주와 서귀포는 강수일수는 감소하고 일강수량이 80mm 이상인 호우일수는 증가하고 있다. 호우일수 발생빈도는 제주가 2000년대(2001~2006) 2.6일/년으로 1930년대(1931~1940) 2.0일/년보다 +0.6일 증가하였고, 서귀포는 2000년대 3.3일/년으로 1970년대 2.9일/년보다 +0.4일 증가하였다. 제주와 서귀포지역 강수 및 호우일수가 전국적인 변화 추세를 따르고 있다면, 성산과 고산은 강수일수와 호우일수 모두 증가하는 다른 경향을 보인다. 2000년대(2001~2006) 들어 80mm 이

상인 호우일수는 성산이 4.5일/년으로 제주도내 기상관측소 중 제일 많고, 고산지역이 1.0일/년으로 제일 적게 나타났다. 2000년대 들어 강수일수는 서귀포 127.6일/년, 고산 127.1일/년, 제주 119.3일/년, 성산 116.2일/년 순으로, 주목할 만한 사항은 고산지역 강수일수 증가가 두드러지고, 성산은 강수일수가 제일 적음에도 호우일수와 강수량은 제일 높게 나타나고 있다.

태풍진로와 강수량과의 관계에 대해 박창용 등(2008)이 1950년부터 2007년까지 분석한 결과를 보면, 한반도는 꾸준히 강수가 증가하고 있으며, 최근 10년이 가장 증가폭이 크고, 최근 태풍이 한반도의 남동쪽으로 주로 이동함에 따라 동해안과 남해안지역에 강수량이 증가하는 것으로 나타났다.



출처: 제주특별자치도, 2010

〈그림 4〉 제주 강수일수와 호우일수(≥80mm)의 변화

III. 수해방지를 위한 제주의 대응방안

1. 풍수해저감종합계획 수립

재해의 예방 및 피해를 최소화하기 위해서 구조적 대책과 비구조적 대책을 종합적으로 적용할 필요가 있으며, 이를 위해 분산하여 운영되고 있는 부서간의 협력과 통합적인 재난관리체계가 이루어져야 한다. 특히, 최근 태풍·호우 등 자연재난이 기후변화의 영향으로 대형화 집중화 되고, 상습침수지역 등 재해발생 피해 위험도가 가중되고 있는 실정이다. 또한, 각종 풍수해로부터 피해를 최소화하

기 위해서는 체계적인 방재시설의 시공·관리뿐만 아니라 지역의 재해특성을 고려한 장기적인 계획 하에 종합적인 지역 방재 정책을 수립 시행할 필요가 있다. 따라서 이를 강화하여 보다 확실한 안전의 확보를 위해서 체계적이고 중장기적인 대책을 마련하는 것이 “풍수해저감종합계획”이라고 할 수 있다. 이는 지역별 풍수해 위험요인을 조사·분석하여 피해예방 및 저감을 위한 각종 구조적·비구조적 대책을 종합적으로 제시하는 방재분야의 최상위 종합계획이며, 하천재해, 내수재해, 사면재해, 토사재해, 해안재해, 바람재해 등 5개 분야에 대하여 지역별 특성을 파악하여 투자계획 등 다양한 대책을 제시하게 된다. 또한, 풍수해 특성·피해발생 원인·재해위험도·재해저감대책과 관련된 사항을 종합적으로 조사·분석하여 장기적인 계획 하에 지역 방재정책을 수립 시행하여 지역주민들의 풍수해로부터의 위협을 극소화하고 안전한 지역사회를 구축하는 계획이다.

2. 의무빗물저류시설 확대

제주특별자치도에서는 2000년 지하수 인공함양정 설치제도를 법제화한 것을 시작으로 2004년 빗물이용시설 설치 및 빗물이용 제도화, 2006년 골프장 등에 대한 의무 월간 빗물이용 기준수량 상향조정 및 지하수 인공함양정설치 허가제 도입 등 빗물이용을 활성화하기 위한 제도적 개선을 꾸준히 추진해 오고 있다. 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법(이하 특별법, 2009) 제316조 및 지하수관리 기본조례 제37조제1항에 근거한 빗물이용시설 의무적 설치대상은 골프장 부지면적 6만㎡ 이상, 온천개발 사업계획 면적 10만㎡ 이상인 사업장으로 하고 있다. 또한 관광사업 및 관광지구·단지에 대해서는 1일평균 지하수 이용량 500톤 이상을 기준으로 하고 있다. 권장대상으로는 농·축·임·수산산업용 비닐하우스 또는 온실, 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장·공동주택·공공기관 청사 등으로 하고 있다<표 2>.

최근 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률 시행령인 제10조에 의거 빗물이용시설 설치 의무대상시설인 지붕면적 1,000㎡ 이상인 종합운동장, 실내체육관, 공공청사에 해당한다.

<표 2> 빗물 이용시설 설치대상

(제37조제1항 관련)

구분	시설의 종류	설치대상
의무적 설치대상	빗물이용시설 또는 지하수인공함양 저류지	가. 「체육시설의설치·이용에관한법률 시행령」 별표 1에 따른 골프장 중 부지면적이 6만제곱미터 이상인 골프장 나. 「온천법」 제10조제1항에 따른 온천개발사업 중 사업계획면적이 10만제곱미터 이상인 사업

구분	시설의 종류	설치대상
의무적 설치대상	빗물이용시설 또는 지하수인공함양 저류지	다. 「관광진흥법」 제2조제1호에 따른 관광사업 중 1일 평균 지하수 이용량이 500 톤 이상인 시설 라. 「관광진흥법」 제2조제6호 및 제7호에 따른 관광지 및 관광단지 조성사업 중 1일 평균 지하수 이용량이 500톤 이상인 시설
권장 대상	빗물이용시설 또는 지하수 인공함 양정	가. 농·축·임·수산업업용 비닐하우스 또는 온실 나. 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장·공동주택·공공기관 청사 등

비고: 1. "의무적 설치대상"이라 함은 사업시행자가 부지여건·시설물 배치계획 등을 감안하여 빗물이용시설이나 지하수 인공함양저류지 중 1개 종류 이상의 시설을 의무적으로 설치·운영하여야 하는 대상을 말한다. 2. "권장대상"이라 함은 법 제316조제2항의 규정에 의하여 시설비의 일부를 보조할 수 있는 대상을 말한다.

특별법 제316조 제2항의 규정에 의한 보조금 지급대상은 제37조제1항 별표 7의 규정에 의한 권장대상 빗물이용시설 중 10m³ 이상의 빗물이용시설을 설치한 경우 3,300m² 이상 집수면적(지붕면적)의 빗물을 인공함양 시키는 경우 시설비 보조금액을 총공사비의 100분의 80을 지원하고 있다.

2010년 12월말 현재 빗물이용시설 설치대상인 권장대상에서 빗물시설의 종류에 해당하는 지하수 인공함양정과 빗물이용 시설이 있는데, 시설비 보조금을 받아 설치된 현황을 보면, 인공함양정이 85개공, 집수면적 397,758m²이며, 연간 함양계획량은 716,452m³이다. 빗물이용시설을 보면, 집수면적이 675,143m², 시설규모는 평균 128.7m³ (32~500m³), 연간 1,106,842m³을 이용할 수 있는 것으로 조사되었다.

그러나 최근 기후변화에 의한 게릴라성 폭우와 지역개발로 인한 불투수면적 증가로 유출량이 지속적으로 증가하여 침수 피해가 예상된다. 따라서, 이에 대한 침수피해 예방과 저류된 물의 재이용 등 다기능 수행을 목적으로 권장대상 빗물 이용시설 설치대상인 공장 및 상가, 아파트, 학교시설, 유리온실(비닐하우스) 등에 대해 적극적인 빗물이용 또는 저류지, 인공함양(트렌치) 등에 확대 방안이 필요하다.

이들 시설들과 연계하여 빗물이용시설, 저류지, 인공함양(트렌치) 등을 조성할 경우 효과를 파악하기 위해 빗물이용 시설 가능 규모를 산정하기 위해 수도법에서 정의된 "지붕면적×0.05"를 적용하거나 통계자료가 대지면적 자료로 집계된 경우에는 서울시 조례 기준인 "대지면적(m²)×0.02" 적용하였다. 또한, 지붕의 유출계수는 일반적으로 지붕의 유출계수가 0.85~0.95인 점을 고려하여 0.90을 채택하였다(제주발전연구원, 2006). 연간 빗물 집수 가능량은 연평균 강우량(mm)에 지붕면적(m²)과 유출계수(0.9)를 곱하여 산정하였다.

물 재이용 기본계획 수립을 위한 연구(환경부, 2011) 보고서의 자료를 인용하여 제주

지역의 공공청사, 체육시설, 공장 및 상가시설, 아파트, 학교 시설에 대한 빗물이용시설 가능 규모와 연간 빗물 집수 가능량을 산출하면 다음과 같다.

- 지붕면적 1,000㎡이상 공공청사는 9개소로 총 지붕면적 19,769㎡으로 빗물이용 시설 가능규모는 988㎡이고, 연간 빗물 집수 가능량은 35,104㎡이다.
- 체육시설을 보면, 1,029개소로 대지면적은 27,886,610㎡으로 빗물이용시설 가능 규모는 557,732㎡이다.
- 공장 및 상가시설은 868개소로 대지면적 2,725,649㎡으로 현재 빗물이용시설 설치규모 8,271㎡을 제외한 46,242㎡이다.
- 아파트는 180,592호로 대지면적 15,061,373㎡으로 빗물이용시설 가능 규모는 301,227㎡이다.
- 학교는 1,778개소로 대지면적 11,643,127㎡으로 빗물이용시설 가능 규모는 232,863㎡이다.

빗물이용시설 가능 규모가 약 1,139,052㎡이며, 제주도 연평균 강수량이 1973mm로 계산할 경우 연간 2,247,350㎡을 빗물을 재이용할 수 있는 것으로 분석되었다.

최근 제주지역에서 증가하고 있는 비닐하우스 시설에 따른 빗물이용 가능면적과 빗물 집수 가능량을 산출하기 위해 제주지역 비닐하우스의 면적은 제주워터 지속이용 가능량 평가 및 기능성 지하수 발굴(2011) 연구에서 산출한 결과를 인용하였다. 제주도 내 비닐하우스의 면적은 총 32,577,907㎡으로 제주도 면적의 1.77%를 차지하고 있다. 지역별 비닐하우스 분포 현황을 보면, 남부지역에 가장 많은 52.8%를 차지하고 있으며, 북부지역이 가장 적은 12.8%가 분포하고 있다(표 3). 2010년도 기준 보조금을 받아 설치된 빗물이용과 인공함양 시설의 집수면적이 1,072,901㎡으로 이는 제주도 전체 비닐하우스 면적에 3.3%를 차지하고 있어 향후 빗물이용시설과 인공함양 시설 설치를 위해 지속적으로 홍보할 필요가 있다.

〈표 3〉 지역별 비닐하우스 분포

구분	유역면적(㎡)	비닐하우스 면적(㎡)	비율(%)
합계	1,838,855,410	32,577,907(1.77%)	100
남부지역	495,586,643	17,198,032(3.47%)	52.8
동부지역	496,638,158	5,297,067(1.07%)	16.3
북부지역	469,370,668	4,169,453(0.89%)	12.8
서부지역	377,259,941	5,913,355(1.57%)	18.2

출처: 제주워터 지속이용 가능량 평가 및 기능성 지하수 발굴(제주광역경제권 선도산업지원단, 2011)

또한, 제주도 연평균 강수량을 제주지역 비닐하우스를 통해 연간 빗물 집수 가능량은 57,848,589m³이며, 강우량이 50mm일 경우, 비닐하우스를 통해 집수 가능량은 1,466,000m³이지만, 비닐하우스에 내린 빗물이 도로 또는 배수로 통해 유출될 경우 주변 저지대와 하류지역에 피해가 발생할 수 있는 원인을 제공할 것으로 사료된다.


일본의 경우 도시형 홍수 예방을 위해서 '특정도시하천침수피해대책법'을 제정하여 운영하고 있다. 이 법률은 도시의 하천유역에 있어서 종합적인 침수피해대책을 수립한 것으로 특정도시하천 및 특정도시하천유역을 지정, 우수침투저해 행위에 대한 허가제도 등을 제정하였다. 개발행위에 있어 일정규모(1000m²) 이상의 우수침투저해 행위는 지사의 허가를 필요로 하며, 우수저류침투시설 설치를 의무로 하고 있다. 일본의 사례를 통해 제주도 또한 택지개발, 아파트단지, 중·대형 건축물, 관공서, 비닐하우스 등 반드시 빗물이용시설 또는 인공함양정, 저류조 등을 갖추도록 하는 제도를 마련할 필요가 있다. 모든 빗물이 하천으로 집중되어 하천에서 받아들일 수 있는 한계를 초과하고 있기 때문에 아무리 하천정비를 잘 하더라도 일시적인 재해의 예방일 뿐 근본적인 침수·재해 방지대책이 아니기 때문이다.

따라서, 지붕면적이 넓은 공장·창고·학교·관람장·공동주택·공공기관 청사 등은 반드시 빗물이용시설 또는 인공함양정, 저류조 등을 갖추도록 하는 제도를 마련할 필요가 있다. 와 특히, 비닐하우스 면적은 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있는 비닐하우스에 대해서는 빗물이용시설과 인공함양(트렌치) 시설을 함께 설치하는 것이 물재이용뿐만 아니라 재해저감에도 기여할 것으로 판단된다.

IV. 마치면서

제주도의 수해방지를 위해서 하천변 저류지 조성, 하천정비, 배수개선 사업 등을 꾸준히 추진하고 있으며, 최근 태풍나리로 인해 도심 하천 등은 저류지의 수문 개방 등을 통해 유출수를 저류지로 유입됨으로써 하류지역에 위치한 한천교의 수위를 조절함으로써 하천범람과 침수피해를 예방하고 있다. 그러나, 토지이용변화와 지역개발로 인해 아파트단지, 중·대형 건축물, 관공서, 비닐하우스 등에 내린 빗물에 대한 대책이 매우 소극적으로 대처하고 있는 실정이기 때문에 향후 이러한 시설물에 대해 빗물이용시설 또는 인공함양(트렌치), 저류조 등을 갖추 수 있도록 체계적인 연구를 통해 제도개선이 필요하다.

모든 빗물이 하천으로 집중되어 하천에서 받아들일 수 있는 한계를 초과하고 있기 때문에 아무리 하천정비를 잘 하더라도 일시적인 재해의 예방일 뿐 근본적

인 침수·재해 방지대책이 아니기 때문이다. 침수·재해 예방과 연계하기 위해 침수지역별 풍수해 위험요인을 조사·분석하여 피해예방 및 저감을 위한 각종 구조적·비구조적 대책을 종합적으로 제시하는 방재분야의 최상위 종합계획인 “풍수해저감종합계획 수립”이 조속히 요구된다. 

** 참고문헌 _____

- 박원배, 김기표, 이준호, 문덕철, 김수정, 고기원, 방성준, 방익찬, 2011, 제주도 지하수위의 변화와 지하수 함양부피, 한국환경과학회지, 20(7), 857-872
- 박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은, 2008, 최근 한반도, 여름철 강수 특성의 변화, 대한지리학회, 43(3), 324-336
- 제주광역경제권 선도산업지원단, 2011, 제주워터 지속이용 가능량 평가 및 기능성 지하수 발굴
- 제주발전연구원, 2006, 제주도 빗물 이용시설 설치 및 제도 개선방안 연구
- 제주특별자치도, 2009, 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법령집
- 제주특별자치도, 2010, 기후변화 영향평가 및 적응모델 개발
- 환경부, 2011, 물 재이용 기본계획 수립을 위한 연구