

■ 대학원생부문 우수상

기후변화에 따른 홍수피해 저감을 위한 댐 건설과 홍수터 복원의 비용효과분석

이미연 서울대학교 환경대학원 환경계획학과

목 차

- | | |
|---------------------|-----------|
| I 서론 | M. 비용효과분석 |
| II 이론적 배경 및 분석틀 설정 | V. 결론 |
| III 연구대상지역 - 임진강 유역 | |



요 약

기후변화라는 잠재적인 요인에 의한 국지성 집중호우는 좁은 지역에 단시간 동안 엄청난 강우가 이루어지는 강수현상으로 1990년대 후반부터 우리나라의 홍수피해를 가중시키고 수자원 관리를 원천적으로 힘들게 만들고 있다. 그 결과 기존의 댐건설과 같은 인간의 예측능력과 대응능력에 의존한 방법의 홍수조절효과가 기대에 못 미치고 있다. 한편 홍수터 복원은 인간의 편의를 위해 하천부지에서 제외된 홍수터를 하천부지로 재편입시킴으로써 하천의 자체 홍수조절능력을 되살리고 동시에 생태적·환경적편익도 제공하는 것으로 선진국에서 새롭게 시도되고 있다. 이에 본 연구는 임진강유역을 사례로 하여 댐 건설과 홍수터복원 중 어느 대안이 더 적은 비용으로 더 많은 효과를 내는지를 분석하였다. 비용효과분석 결과, 기후변화에 따른 국지성 호우에 대한 예측과 이를 조절하기 위한 댐 건설보다는 홍수터 복원을 통해 하천 스스로 자연에 순응할 수 있도록 하는 것이 비용효과적인 것으로 나타났다.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

2003년 여름, 우리는 “매미”라는 태풍으로 큰 물난리를 겪었다. 1990년대 후반부터 매년 집중호우와 태풍으로 홍수를 겪고 매년 홍수피해액이 갱신되고 있다. 매년 홍수가 발생할 것을 알면서도 우리는 제대로 준비하지도 못하여 전혀 예상치 못한 상황을 맞이하고 있다. 즉, 1990년대 후반부터 계속되고 있는 기록적인 집중호우와 태풍에 따른 홍수원인 파악은 물론이고 그에 대한 대책을 세우기도 전에 새로운 홍수를 맞이하고 있는 악순환이 계속되고 있는 것이다.

이러한 악순환의 원인은 무엇일까? 100년 빈도의 홍수가 하필이면 1990년 후반부터 지금까지 단순한 우연으로 발생하는 것일까? 그러나 우연이라고 하기에는 한반도 및 지구에서 일어나고 있는 홍수와 가뭄의 강도가 심상치 않은 것이 사실이다. 즉, 홍수는 단순한 우연의 일치가 아닌 필연의 결과인 것이다. 이러한 필연의 결과를 일으키는 원인으로서는 무엇보다도 지구온난화에 따른 기후변화를 빼놓을 수 없을 것이다.

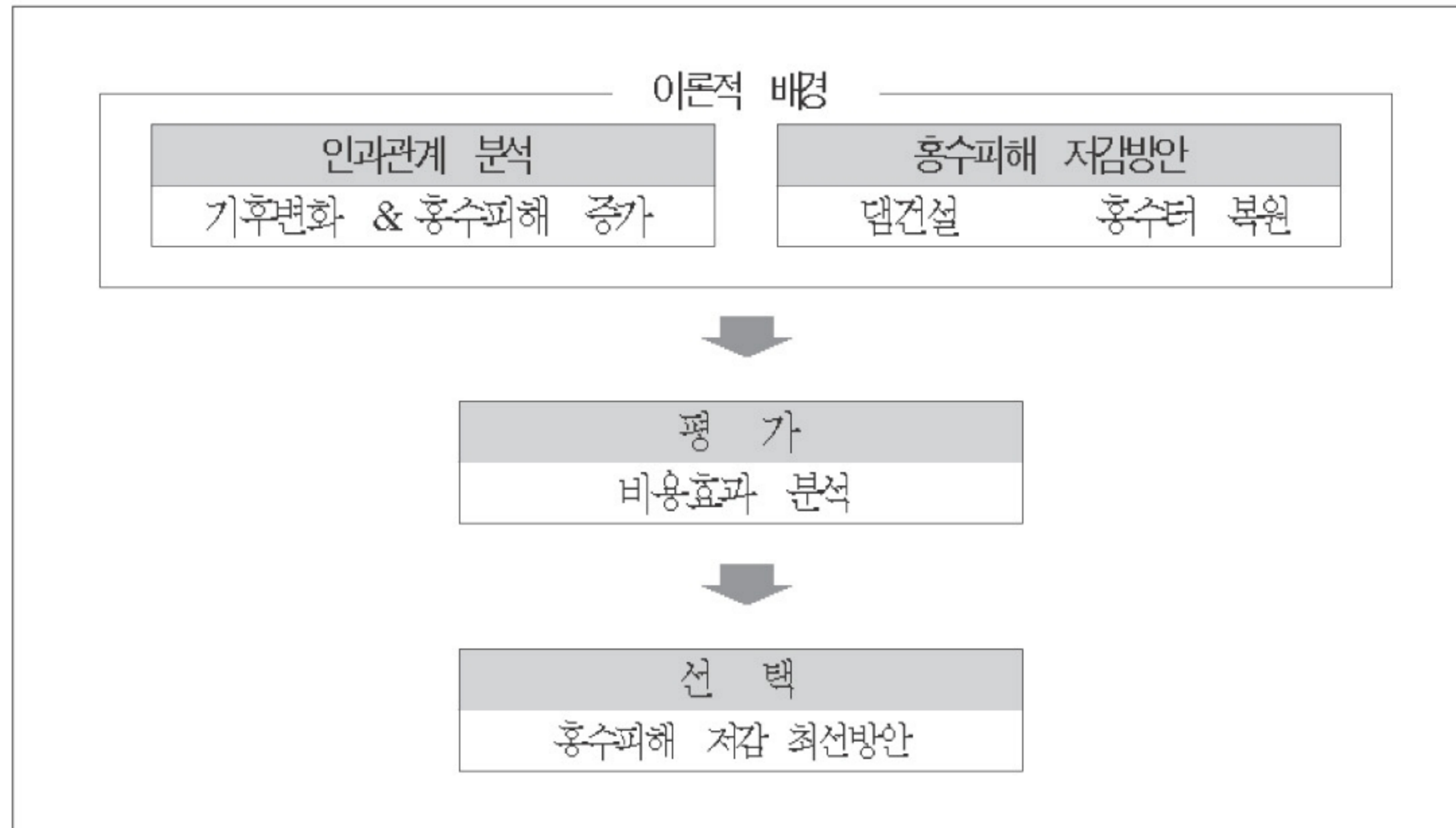
해마다 심각해지고 있는 홍수피해에 대하여 우리가 가지고 있는 대안은 무엇인가? 건설교통부와 한국수자원공사를 중심으로 ‘댐건설’이 주장되고 있으며, 구체적으로 매년 큰 홍수피해를 입는 임진강 유역의 홍수를 조절하고자 한탄강댐 건설을 추진하고 있다. 그러나 일부에서는 ‘댐건설’이 홍수를 조절할 수 있는 대안이 될 수 있는지에 대하여 의문을 품고 있으며, 특히 기후변화에 따른 이상기후로 강수시기, 강도와 양을 예측하기가 점점 어려워지는 상황에서 인위적으로 조절하는 댐 기능에 대한 의문이 든다.

따라서 본 연구에서는 기후변화로 인해 최근 큰 홍수를 겪은 임진강 유역을 사례로 하여 전통적인 치수대책으로 사용되어 온 댐건설과 새로운 대안으로 선진국에서 진행되고 있는 홍수터 복원의 비용효과분석을 통해 최적안을 선택하고자 한다.

2 연구범위 및 방법

본 연구는 먼저 최근 발생하고 있는 일련의 홍수가 단순한 우연이 아니라 지구온난화에 따른 기후변화와 밀접한 관계가 있음을 확인하기 위해 기후변화와 홍수피해의 관계를 고찰하였다. 그리고 ‘홍수터 복원’이라는 새로운 대안에 대하여 선행연구 및 해외사례를 통하여 자세하게 살펴보고 전통적인 홍수조절 방법, 댐건설에 대해서도 그 현황을 파악하였다. 또한 두 대안의 비용효과분석을 위해 그 분석틀을 설정하며 비용항목과 효과항목은 본 연구의 주제와 두 대안의 성격에 맞는 가장 합리적인 방법으로 선정하였다. 연구대상지역은 한탄강댐 건설이 추

진되고 있는 임진강 유역이며, 아래와 같은 연구흐름을 가진다.



〈그림 1〉 연구흐름도

3. 선행연구 검토

본격적인 연구에 앞서 본 연구의 주제와 관련한 선행연구를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 기후변화와 홍수와의 관계를 파악하기 위한 선행연구로는 홍성길 (1995) 의 ‘대기온실기체의 증가와 기후변화의 가능성’이 있으며 이 연구에서는 지구온난화의 주범인 대기온실기체의 농도가 증가하였을 때 기후에는 어떠한 변화가 있는 지를 실험을 하였으며, 특히, 강수의 변화에 대해서도 다루고 있다. 또한 우리나라의 지구온난화 현상을 파악하기 위해 국립환경연구원 (200) 의 ‘지구온난화에 따른 한반도 영향평가 및 적응전략 기술개발’을 활용하였다.

홍수터 복원에 대한 선행연구로는 한국건설기술연구원 (200) 의 ‘홍수터 복원의 인문사회경제 적평가기법 연구’가 있으며, 이 연구에서는 홍수터 복원에 대한 필요성과 배경에 대한 내용이 있다. 또한 해외사례에 대해서는 WWF (200) 의 ‘Wise Use of Floodplains Policy and Economic Analysis of Floodplain Restoration in Europe’를 검토하여 사례를 선정하였다. 그리고 건설교통부 (200b) 의 ‘임진강 유역 홍수피해 원인조사 및 항구대책 수립’에는 본 연구에서 홍수터 복원의 비용과 효과를 추정하는 데 활용될 수 있는 임진강 유역의 홍수터에 대한 분석 결과가 제시되어 있다. 한탄강댐에 대해서는 한국수자원공사 (200) 의 ‘한탄강댐 환경영향평가보고서’를 참고하였다.

비용효과분석을 위해서는 한국개발연구원 (200) 의 ‘수자원 (댐) 부문사업의 예비타당성조사

표준지침 연구'를 검토하여 비용항목을 설정하는 데 활용하였고, 효과항목은 여러 수문 모델링 관련 문헌들을 통해 설정하였다.

II. 이론적 배경 및 분석틀 설정

1. 기후변화와 홍수피해

기후변화란 인간활동에 직접 또는 간접으로 기인하여 지구대기의 구성을 변화시키는 상당한 기간동안 관측된 자연적 기후기변성에 추가하여 일어나는 기후의 변화를 말한다(환경부, 1997). 기후변화의 원인은 크게 인위적 요인과 자연적 요인으로 구분되며, 인위적 요인으로는 산업화 이후 화석연료의 사용급증 등에 의한 지구온난화가 대표적이다. 자연적 요인으로는 태양에너지의 변화, 지구공전궤도와 자전축의 변화 등이 있다. 현재 가장 문제가 되고 있는 요인은 인위적 요인에 의한 지구온난화이며, 지구온난화가 기후를 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 시스템에 다양한 영향을 미칠 것으로 예상되며, 그 영향은 대부분 악영향인 것으로 평가되고 있다(조광우 등, 2002)

기후변화의 주요인으로 인식되고 있는 지구온난화의 징후는 우리나라에서도 이미 관측되고 있다. 대표적인 온실가스중의 하나인 이산화탄소 농도 관측은 비교적 최근에 이루어지고 있는데 태안반도에서 관측된 연평균 이산화탄소 농도는 1991년 309ppm 이었으나 매년 14~15ppm 씩 증가하여 1997년에는 367ppm 으로 나타났다. 이 상승 수치는 미국해양기상청(NOAA)의 세계 49개 공식관측 지점 중 가장 높은 상승치를 기록한 것으로 나타났다(조광우 등, 2002 재인용)

지구온난화로 인해 대기 중 이산화탄소가 증가함에 따라 수문환경에 많은 변화를 주고 있다는 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 우선 이산화탄소의 증가로 기온이 상승하여 강수 및 증발산이 과거와는 다른 양상으로 바뀌어 가고 있고 이에 따라서 지금보다 홍수와 가뭄이 극심해질 것이라는 연구결과도 나오고 있다(김용태 등, 2000 재인용) 또한 홍성길(1995)의 '대기온실기체의 증가와 기후변화가능성'의 연구에 의하면, 대기·해양 혼합층모델¹⁾에 의한 평형실험의 결과 다음과 같은 강수량의 변화가 예측되었다.

1) '대기·해양혼합층모델'은 기후모델의 한 종류이며, 대기와 해양이 서로 영향을 미칠 때 해양 중 대기와 강하게 상호작용을 가지는 해수면으로부터 50~70m 정도 두께까지의 혼합층을 고려한 후 이산화탄소가 현재 농도의 2배로 순식간에 증가된 후 대기와 해양 혼합층이 새로운 평형상태에 도달했을 때 어떻게 변화될 것인가를 조사한다. 이러한 실험을 '평형실험'이라한다(홍성길 1995)

- ① 고위도와 열대는 연중 강수량이 증가하며, 중위도는 겨울 강수량이 증가하는 데 지구 전체 평균으로 보면 강수증가율은 3~15%가 된다.
- ② 아열대 건조대는 강수량 증가지역과 감소지역이 모두 분포하며 전체적으로 기후변화가 적다.
- ③ 전체적으로 강수량은 증가하지만 강수지역은 감소하는 변화가 나타났으며, 저위도와 중위도의 경우 적운대류²⁾에 의한 강수가 증가하여 강수의 집중화가 발생하고, 고위도의 경우 층상운에 의해 강수가 증가한다.

우리나라는 중위도 국가에 해당하여, 홍성길(1995)의 연구결과에 의하면 온실가스 농도 증가로 인해 예상되는 강수변화는 강수량의 증가와 적운대류에 의한 집중화라는 강수패턴이다. 특히, 강수의 집중화라는 강수패턴의 변화는 적운대류에 의해 발생하는 것으로 실험결과 나타났다. 적운대류는 조건부불안정 대기 상태에서 발생하는 대류로 키가 큰 적란운(센비구름)을 발달시키며 이러한 적란운은 강한 스콜(Squall)을 동반하고 좁은 지역에 발달하게 되어 강수의 집중화를 유발한다.

그렇다면 1995 년도에 이루어진 홍성길의 연구에서 예상된 온실가스농도 증가로 인해 강수량이 증가하고 적운대류로 인한 강수의 집중화현상이 과연 실제 우리나라에서 발생하고 있는지를 살펴보기로 하자.

먼저, 온실가스농도의 증가에 대해서는 위에서도 잠깐 언급하였지만 더욱 구체적으로 다음과 같은 자료를 찾을 수 있었다. <그림 2>와 <그림 3>은 우리나라 제주도 고산지역의 이산화탄소와 CO₂ 온실기체의 농도 분석결과를 보여주고 있으며 대체로 증가하는 경향을 보여주고 있다.

아래와 같이 온실기체의 농도가 증가함에 따라 강수량 및 강수패턴의 변화가 일어나고 있으며, 가장 대표적인 것이 바로 국지성 집중호우이다. 따라서 우리나라의 국지성 집중호우에 대하여 알아보고 그 원인을 조사하여 기후변화와 홍수의 인과관계를 고찰해보자.

2) 어떤 높이에 있는 공기덩어리가 상승하면, 기압은 상공으로 갈수록 낮아지기 때문에, 단열냉각이 생겨서, 공기덩어리의 온도는 100m 상승할 때마다 약 10 썩 감소하여 안정한 대기상태를 가지게 된다(건조단열감률) 그러나 만일 공기 덩어리가 수증기로 포화되어 있다면, 기온의 저하와 함께 수증기의 일부가 응결하고, 잠열이 해방되어 공기 덩어리를 따뜻하게 하여 공기 덩어리의 온도는 100m에 대해 0.5 정도로 감소하여 불안정한 대기상태를 가지게 된다(습윤단열감률) 이와 같은 습윤공기의 상승에 대해서는 불안정한 상태를 조건부불안정이라 하며 조건부불안정 대기 중에 생기는 대류를 적운대류라 한다.



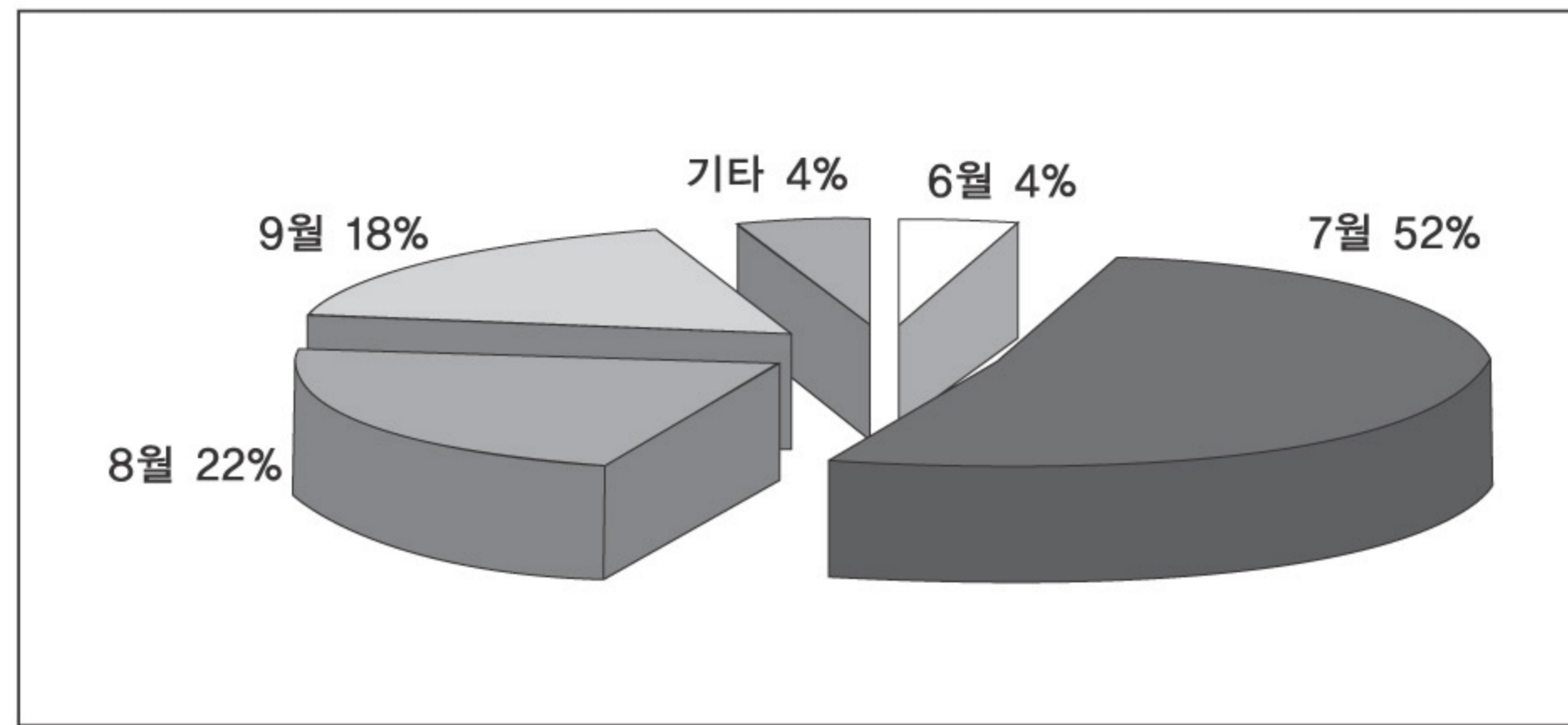
〈그림 2〉 1990 ~ 1999년까지 제주도 고산에서의 CO₂ 농도 추세 (국립환경연구원, 2000)



〈그림 3〉 제주도 고산에서의 CFC-12 농도 추세 (국립환경연구원, 2000)

가. 국지성 집중호우

우리나라의 여름철 강우는 대체로 6월말에 시작하여 7월말에 끝나는 1개월간의 장마기간에 집중되며 특히 연 강수량의 약 20% 가 7월에 내린다. 최근 10년간(1990년~1999년)의 기상 재해 현황을 볼 때 〈그림 4〉에서처럼 대부분의 기상재해는 7, 8, 9월의 여름철에 집중되어 나타난다.



〈그림 4〉 최근 10년(1990 ~ 1999) 간 월별 홍수피해 비중 (www.riskinfo.co.kr 동부화재 사고통계)

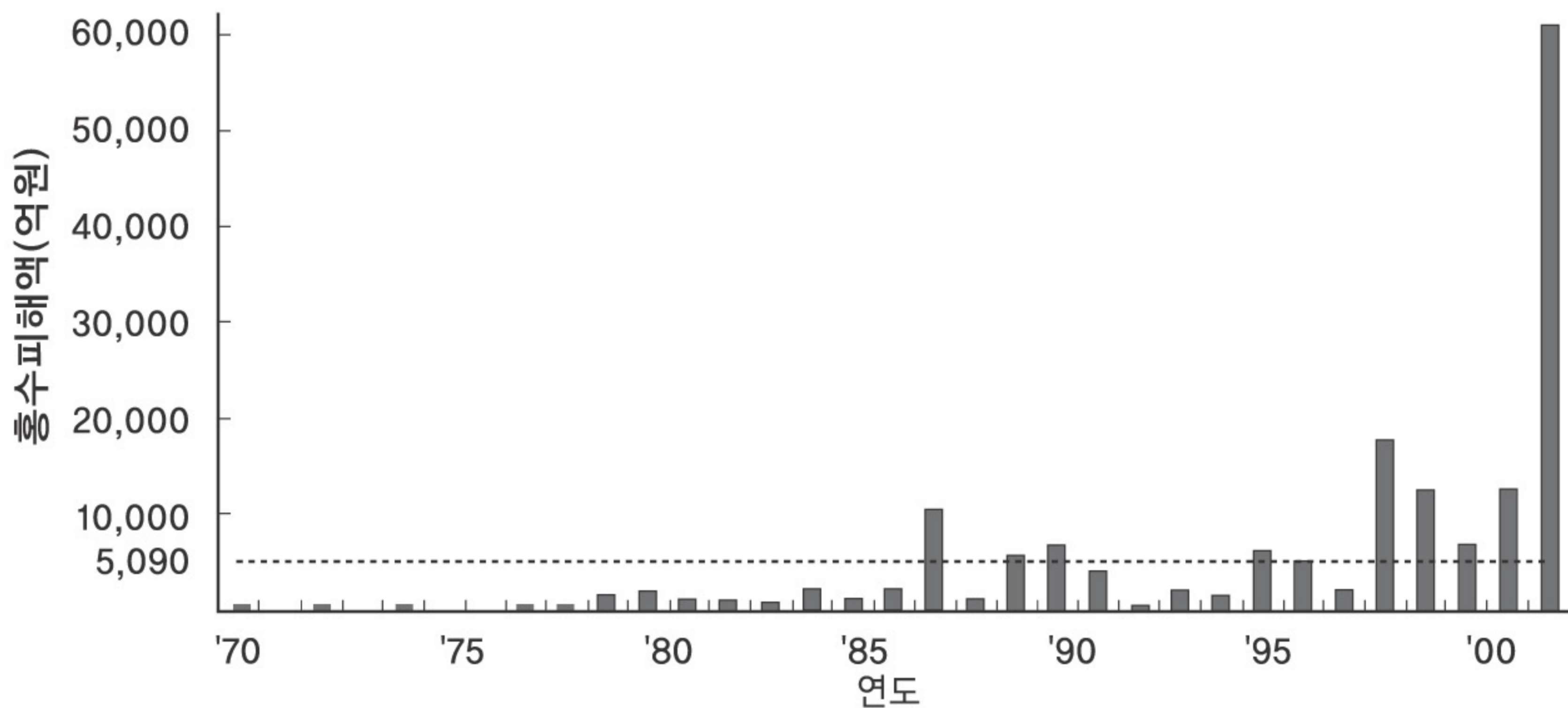
여름철(7~9월) 최대 발생빈도를 보이는 기상재해는 비로 국지성 집중호우이다. 이러한 집중호우의 발생빈도는 최근 들어 증가하는 추세에 있다. 그 예로 경기도와 강원도 북부지역에 발생한 1996년 7월의 집중호우, 1998년 8월에 전국적으로 발생한 게릴라성 집중호우 그리고 경기도 북부 및 임진강 전 유역에 발생한 1999년 8월의 집중호우가 있으며, 2002년에는 태풍 루사로 인해 역대 최대 규모의 홍수 재해가 강릉 지역에 발생하였는데, 불과 7시간 만에 805mm의 폭우가 내렸다(한국건설기술연구원, 2003). 〈표 1〉은 지난해까지 공식적으로 집계된 최근 10년(1993년~2002년)간의 홍수 피해 통계를 나타내는 것이다.

〈표 1〉 최근 10년간 홍수피해 (심재현, 2003)

부 문	사망 (인)	이재민 (인)	침수면적 (ha)	건물 (동)	농경지 (ha)	공공시설 (백만원)	총피해액 (백만원)
10년 합계	128	2709	5080	4068	15067	187940	254835
10년간 평균	12.8	270.9	508	406.8	1506.7	18794	25483.5
1993	6.9	137.9	508	158	1365	25944	2866
1994	7.2	115.2	626	726	1451	11283	1979
1995	15.8	318	724	69	726	5020	7483
1996	7.7	186	497	194	698	4820	5281
1997	3.8	62.6	473	282	1291	16787	2156
1998	38.4	388	924	328	1089	129197	16674
1999	8.9	266	798	480	251	9800	12809
2000	4.9	36.6	588	176	661	5887	6804
2001	4.2	41.6	202	198	152	3852	12561
2002	27.0	724	659	1173	482	42026	61522

2002년의 경우, 8월 초의 집중 호우와 9월 1일 태풍 루사에 의한 피해는 우리나라 역사상 최대 피해로 기록되고 있는데 총 피해규모는 6조 100 억원, 복구비용은 9조 400 억원에 이르고 있다. 이러한 최대 피해를 기록하게 된 원인은 강수량의 증가보다는 강수의 집중화 현상에 의한 것으로 해석할 수 있다. 왜냐하면 2002년의 연평균 강수량은 1401mm로 평년 강수량을 기록했음에도 홍수에 의한 피해액은 사상최대를 기록했기 때문이다.

물론, 도시화와 산업의 발달, 그리고 인구밀집으로 인해 피해액의 규모가 커진 것으로 해석할 수 있으나, 영동지역의 경우 2002년 8월 31일 일 강수량이 연평균 강수량의 62%인 805mm(종전 최대치는 1954년 9월 14일 ~ 355mm), 1시간 최대강수량이 105mm(2002년 8월 31일 21:41 ~ 24) 를 기록하여 강수의 집중화 현상이 뚜렷하였다 (정병석 등, 2002)

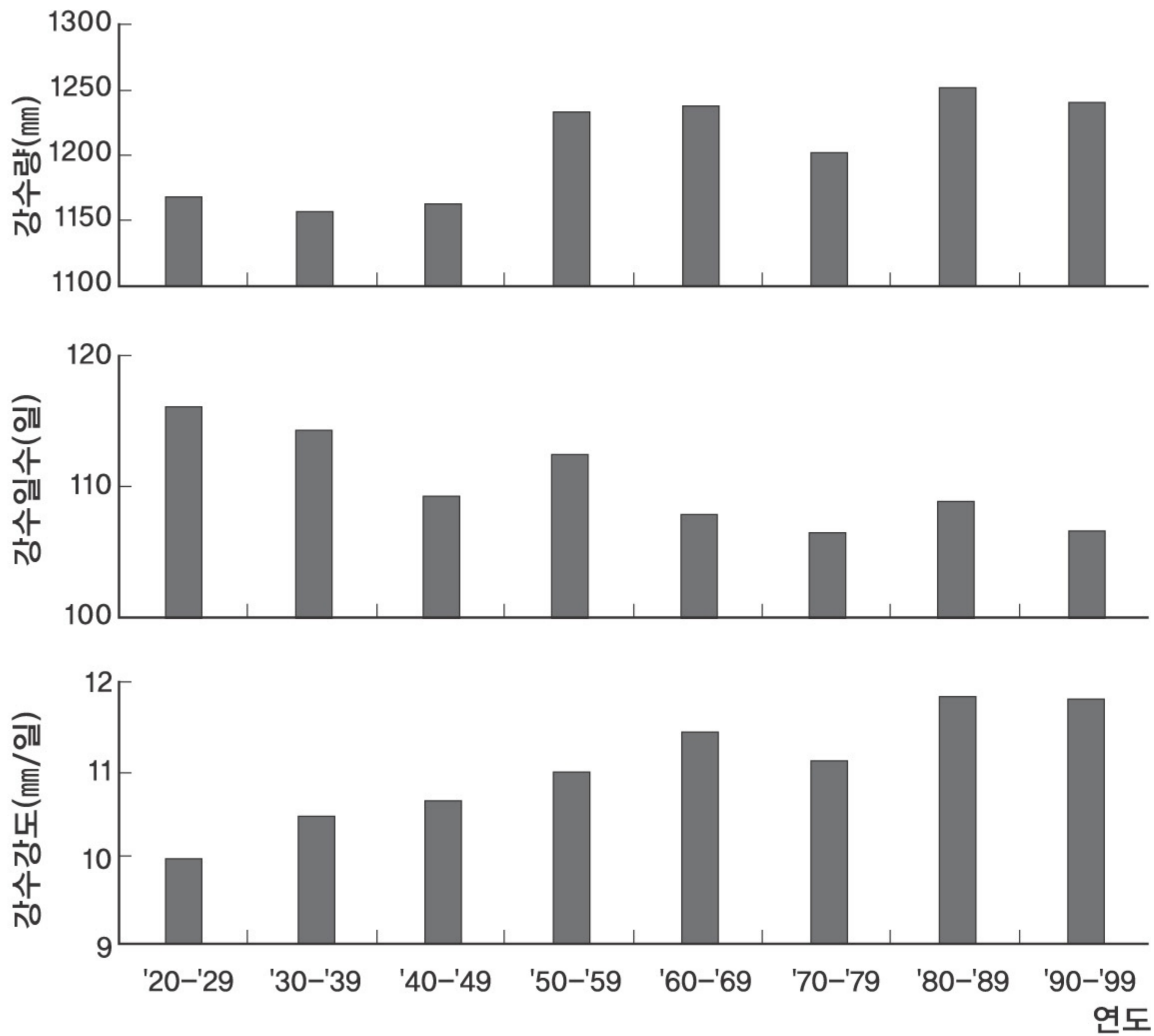


〈그림 5〉 연도별 홍수피해액 추세 (김규호, 2008)

〈그림 5〉와 같이 매년홍수피해액은 증가하고 있고, 정부의 홍수예방을 위한 여러 노력에도 불구하고 집중호우의 정확한 예측은 매우 어려운 실정이다.

나. 집중호우에 대한 향후 전망

‘물과 기후변화 : 한국의 강수량 추이와 전망’(신경섭, 2008) 자료에 따르면, 1911년 이후 우리나라 7개 지점의 평균 강수량의 변화는 경년변화가 심하게 나타나지만 평균적으로 약하게 강수량의 증가 추세를 보이고 있다.

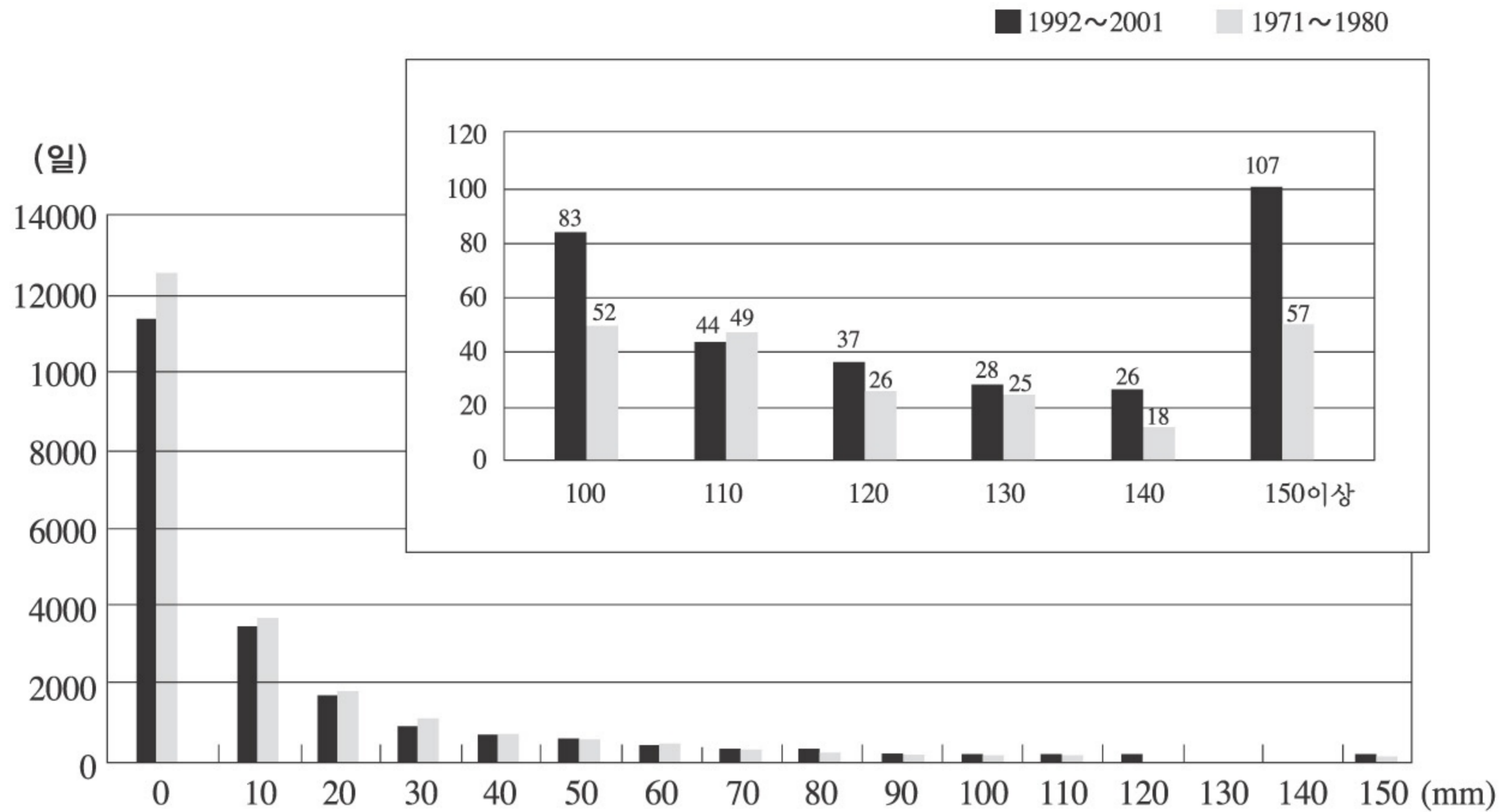


〈그림 6〉 우리나라의 강수량, 강수일수, 강수강도의 변화(신경섭, 2008)

장기간에 걸친 변화를 살펴보기 위하여 10년 단위로 평균 강수량을 구하여 그 경향을 분석하였다. 〈그림 6〉은 1920년대 이후 10년씩 강수량, 강수일수, 강수강도를 표시하였다. 1920년 이후 한반도에서 강수량은 증가하는 반면 강수일수는 감소하고 있어 결과적으로 일 강수량의 강도가 증가했음을 확인할 수 있다. 수치적으로 1920년대에 비하여 1990년대의 강수량은 약 7% 증가했으나 강수일수는 14% 감소하여, 결과적으로 일 강수강도는 약 18% 강해진 것으로 분석된다(신경섭, 2008)

〈그림 7〉은 일 강수량의 출현 빈도를 1971~1980년과 1992~2001년의 두 기간에 대하여 비교한 것이다. 최근 들어 과거보다 50mm 이하의 일 강수량 출현빈도는 상대적으로 작게 나타나는 반면, 100mm 이상의 집중호우는 더 자주 발생하고 있다. 특히 일강수량 150mm 이상의 집중호우는 30년 전에 비해 2배 이상의 증가를 보이고 있다(신경섭, 2008 재인용)

최근 우리나라의 강수량 변화 추이는 북반구의 기온변화 경향과 통계적으로 유의한 수준에



〈그림 7〉 1971 ~ 1980 년과 1992 ~ 2001 년의 10년간 일강수량의 출현 빈도 비교 (신경섭, 2008)

서 양의 상관관계를 갖고 변화하는 경향으로 분석된다 (신경섭, 2008 재인용) 즉 북반구의 기온이 상대적으로 높은 해에는 우리나라 강수량이 증가하는 추세이고, 반대의 경우 감소하는 추세로 나타나고 있다. 따라서 앞으로 지구의 기온이 계속적으로 상승할 경우 우리나라의 강수량도 증가할 가능성이 높다 (신경섭, 2008)

다른 한 가지 중요한 경향으로 집중호우의 증가를 꼽을 수 있다. 강수량이 증가되며, 여름철 집중호우의 증가로 나타날 개연성이 크다는 점이다. 지금까지의 관측에서도 뚜렷이 감지되고 있고, Zwiers and Kohn(1998) 의 온실가스 증가에 따른 강수 특이현상에 대하여 연구에서도 극단적인 강수의 반복주기가 거의 모든 지역에서 짧아지는 경향이 모의되었고, 온실가스 증가에 따른 강수량 증가분이 모두 집중호우 타입의 강수강도 증가에 기인함을 보였다. 또한 국립환경연구원 (200) 이 GCM과 대기 대순환 모델 등을 가지고 우리나라 강수량변화를 예측한 결과, 기후변화에 따라 강수량이 증가할 것으로 예상되나, 대기 대순환모델의 예상치가 여름철의 경우 -25%~ +30% 까지로 그 변화폭이 커 가뭄과 홍수가 계속될 것으로 예측하였다.

결론적으로 기후변화는 1990년대 후반부터 극심해진 가뭄과 홍수, 특히 국지성 집중호우로 인한 홍수피해를 증가시킨 잠재적인 원인으로 볼 수 있으며, 향후에도 우리나라에 더 큰 홍수 피해를 유발할 것으로 예측된다.

2 댐 건설

가. 댐 현황

기후변화에 의해 1990년대 후반부터 극심해지고 있는 홍수 및 가뭄피해는 수자원 관리를 어렵게 만들고 있으며, 수자원 관리 정책 담당자들은 대책 마련에 고심하고 있다. 현재까지 우리나라의 수자원 관리 정책은 강우량의 특성이나 하천의 특성상 우기에 바다로 유출되는 하천수를 저류함으로써 용수를 확보하고 홍수조절을 목적으로 하며, 이러한 정책의 핵심은 대규모 댐 건설이다 (이정전, 2001)

댐은 산간계곡이나 하천을 횡단하여 저수·토사유출방지·취수·수위상승 또는 붕괴방지를 위하여 만들어진 구조물을 말한다³⁾. 댐 건설 목적에는 홍수조절, 관개용수, 생활·공업용수, 발전 등을 포함하며 두가지 이상의 목적을 가진 댐을 다목적 댐이라고 한다.

현재 우리나라에 건설되어 있는 다목적 댐의 수는 14개이며, 그 밖에 발전전용댐이 10개, 생활·공업용수댐이 99개에 달하며 농업용댐(저수지)이 1793 개에 이른다 (국무총리실 수질개선기획단, 2002)

〈표 2〉 우리나라의 댐 현황(국무총리실 수질개선기획단, 2002)

다목적댐	발전전용댐	생활·공업수댐	농업용댐(저수지)
14개	10개	99개	1793 개

위의 표와 같이 홍수조절, 관개용수, 수력발전 등의 목적에 따라 그동안 많은 댐이 건설되어 왔으나, 댐 건설은 댐 개발 적지가 점차 감소하고 있고, 아울러 토지자원 효율과의 상충 및 댐 경제성에 대한 비판, 그리고 댐 건설에 따른 수몰지역 주민에 대한 이주대책 등 많은 경제적, 사회적 비용을 소모하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 전통적인 이·치수 수단으로 사용되어온 댐은 현재까지도 한국수자원공사 및 건설교통부가 선호하고 있는 수단이다.

건설교통부 (2002) 가 발표한 댐건설장기종합계획에 따르면, 2011년까지 한탄강댐을 비롯한 21개의 댐을 추가로 건설되며 6개의 댐이 재개발될 예정이다.

3) www.damnet 백과사전 검색

〈표 3〉 댐 건설장기종합계획 (건설교통부, 2002)

구분	댐명	수계명	위치	총저수량 (백만 ^m)		연간용수 공급량 (백만 ^m)		홍수조절 용량 (백만 ^m)
				현재	재개발시	현재	현재	
계	12개소			1113	991	372		
다목적댐	한강	임진강 - 한탄강	경기 포천	311	128	305		
		밤성골	북한강 - 수입천	강원 양구	124	128	14	
	낙동강	화북	낙동강 - 위천	경북 군위	48	38	3	
		감천	낙동강 - 감천	경북 김천	44	37	5	
		송리원	낙동강 - 내성천	경북 영주	180	232	12	
		옥계	영덕 오십천	경북 영덕	35	42	6	
		이안천	낙동강 - 이안천	경북 상주	42	42	3	
		속사	왕피천	경북 울진	51	65	7	
		안의	낙동강 - 남강	경남 함양	21	26	3	
	금강	지천	금강 - 지천	충남 청양	94	105	5	
	영산강	평림	영산강 황룡강	전남 장성	85	118	-	
	섬진강	적성	섬진강	전북 순창	156	136	10	
구분	댐명	위치	총저수량 (백만 ^m)		연간용수 공급량 (백만 ^m)			
			현재	재개발시	현재	현재		
계	6개소		502	347	181	484		
재개발댐	생·공용수댐	안계댐	경북 경주시 강동면 (낙동강)	17.7	64	1168	131	
	농업용수댐	오봉댐	강원 강릉시 성신면 (한강)	14.5	61	28.7	69	
		신평댐	경북 청송군 현동면 (낙동강)	0.7	21	0.2	15	
		성덕댐	경북 청송군 현서면 (낙동강)	0.8	23	0.2	19	
		매회댐	경북 울진군 원남면 (낙동강)	1.2	38	2.2	30	
수력발전댐	피산댐	충북 괴산군 칠성면 (한강)	15.3	140	-	219		
댐명	위치	총저수량 (천 ^m)	용수공급량 (만 ^m 선)		용수공급지역			
			생활용수	농업용수				
계	9개소	2511	198	953				
가마소댐	강원	315	310	-	속초, 양양			
학사평댐	속초	140	262	112	"			
명파댐	강원 고성	445	7	36	"			
유목정댐	강원 홍천	242	7	19	홍천, 양평			
두평댐	충북 보은	600	350	182	보은, 옥천			
학명댐	경북 칠곡	109	80	3	칠곡, 구미			
장좌댐	경남 고성	320	7	54	고성, 마산			
와읍댐	경북	1070	584	547	포항, 경주			
감포댐	경주	230	164	-	"			

나. 한탄강댐 개요⁴⁾

수도권에 인접한 임진강유역을 중심으로 한 경기북부지역에 최근 4년간 크고 작은 홍수피해를 입었다. 홍수피해의 주요원인은 국지성 집중호우에 의한 하천의 소통능력 부족이며, 이 때문에 임진강 중·하류지역에 홍수가 반복되고 많은 인명 및 재산피해가 발생하였으며, 또한 유역내 도시의 생활수준 향상과 도시화에 따른 용수수요 증가로 장래 물부족이 발생할 것으로 예상된다. 이에 건교부는 임진강유역의 홍수조절 및 용수공급을 위한 한탄강댐 건설안을 제시하였다.

한탄강댐의 위치는 경기도 포천군 창수면 신흥리 (좌안)와 경기도 연천군 연천읍 고문리 (우안)이며 지도에서는 <그림 8>과 같으며 한탄강댐의 시설개요는 <표 4>와 같다.



<그림 8> 한탄강댐 위치도 (www.hantankowaco.or.kr)

<표 4> 한탄강댐의 개요 (www.hantankowaco.or.kr)

구분	제원	구분	제원
유역	○유역면적 :129 km ²	저수지	○총저수용량 :313 백만m ³
	○연평균강우량 :1364 mm		○유효저수량 :208 백만m ³
○연평균유입량 :84 백만m ³	○홍수조절용량 :350 백만m ³		
댐	○형식 : 콘크리트 중력식		○계획홍수위 :EL11680m
	○제원 :5m(H175mD)		○상시만수위 :EL7300m
	○댐마루표고 :1210m		○저수위 :EL4700m

4) 한국수자원공사 한탄강댐건설단 홈페이지 (www.hantankowaco.or.kr)

의 내용 정리

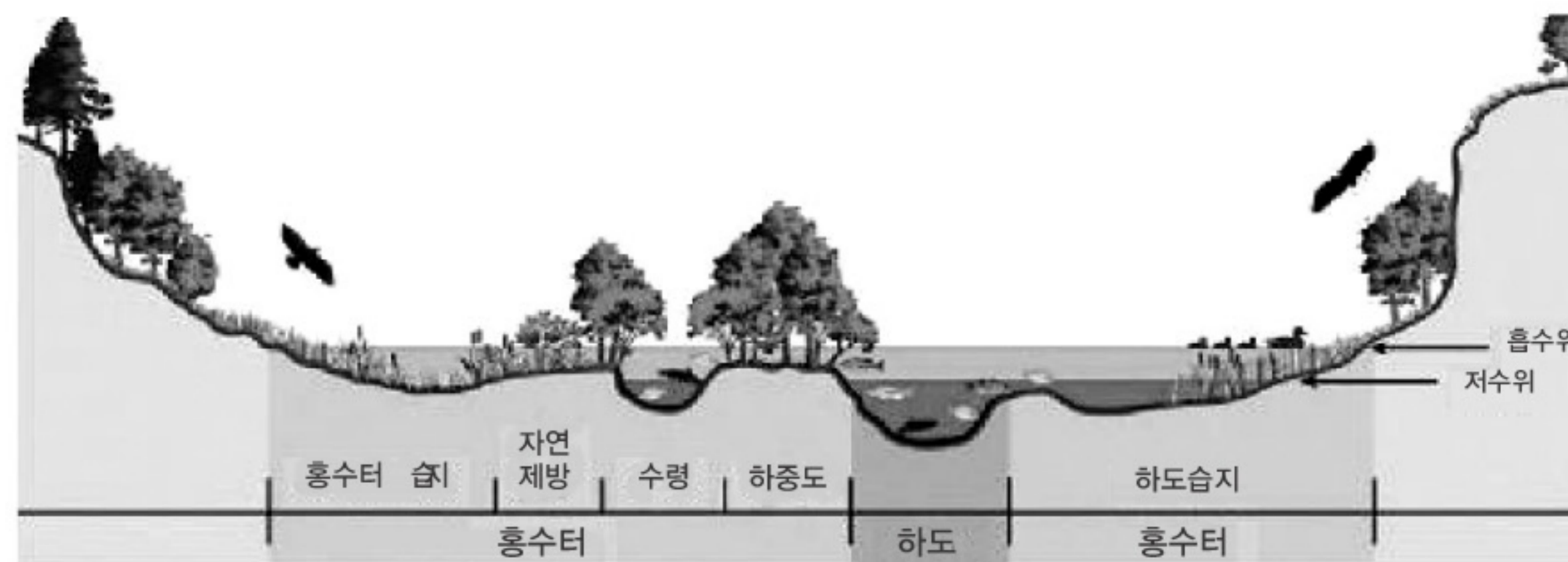
3. 홍수터 복원

홍수터 복원은 최근에 유럽 및 미국에서 시도되고 있는 습지복원사업의 하나이며 국내에서는 기초연구 단계에 있으나, 기존 문헌과 해외사례들을 통하여 홍수터 및 홍수터 복원에 대하여 살펴보고자 하겠다.

가. 홍수터

1) 홍수터

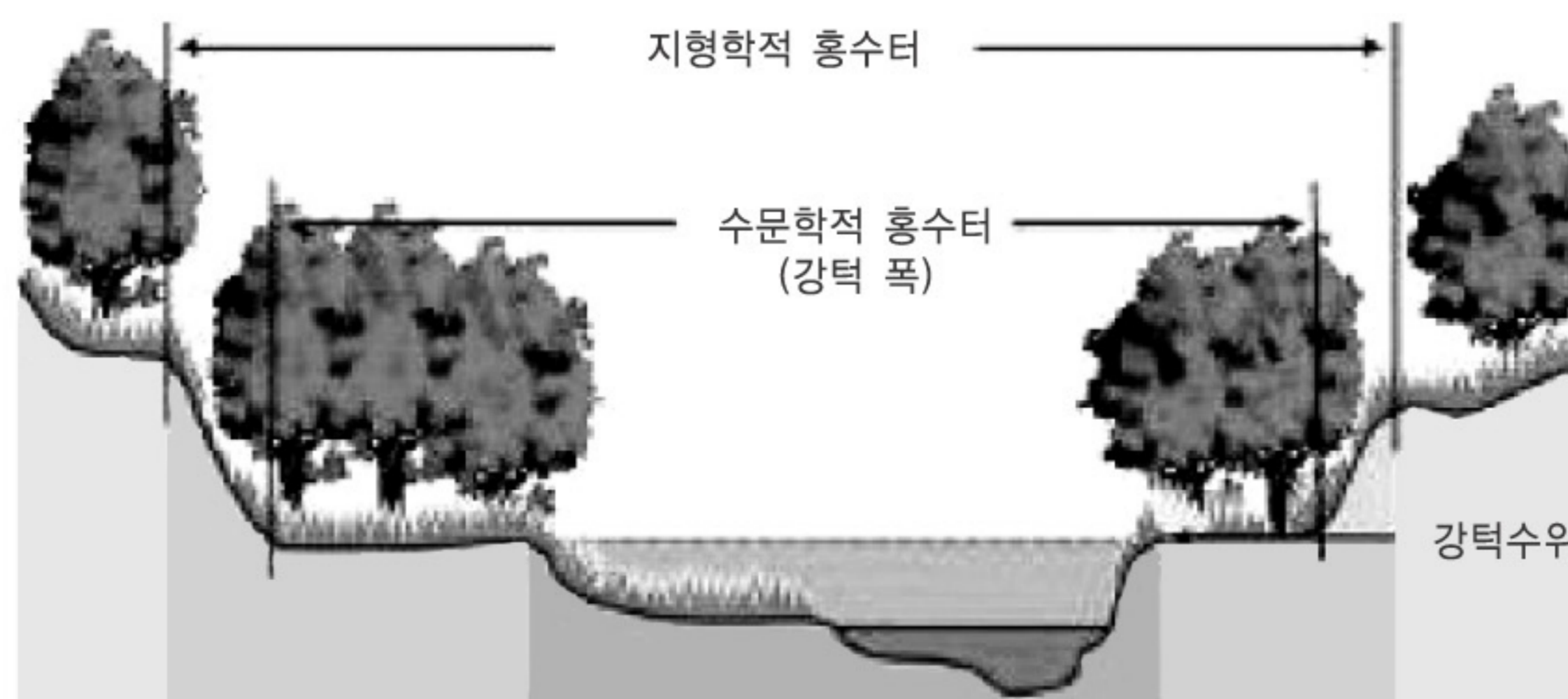
홍수터 (floodplain)란 지형학적으로 강이나 하천, 호수나 저습지 또는 바다 해안선의 수체와 접한 공간으로 상대적으로 지형이 낮아 홍수 발생 시 침수되었거나 침수될 수도 있는 지역을 말한다 (건설교통부, 2001)



〈그림 9〉 하천경관의 횡단구조와 홍수터 (환경부, 2008 재인용)

2) 홍수터의 종류

홍수터에는 크게 수문학적 홍수터와 지형학적 홍수터가 있다.



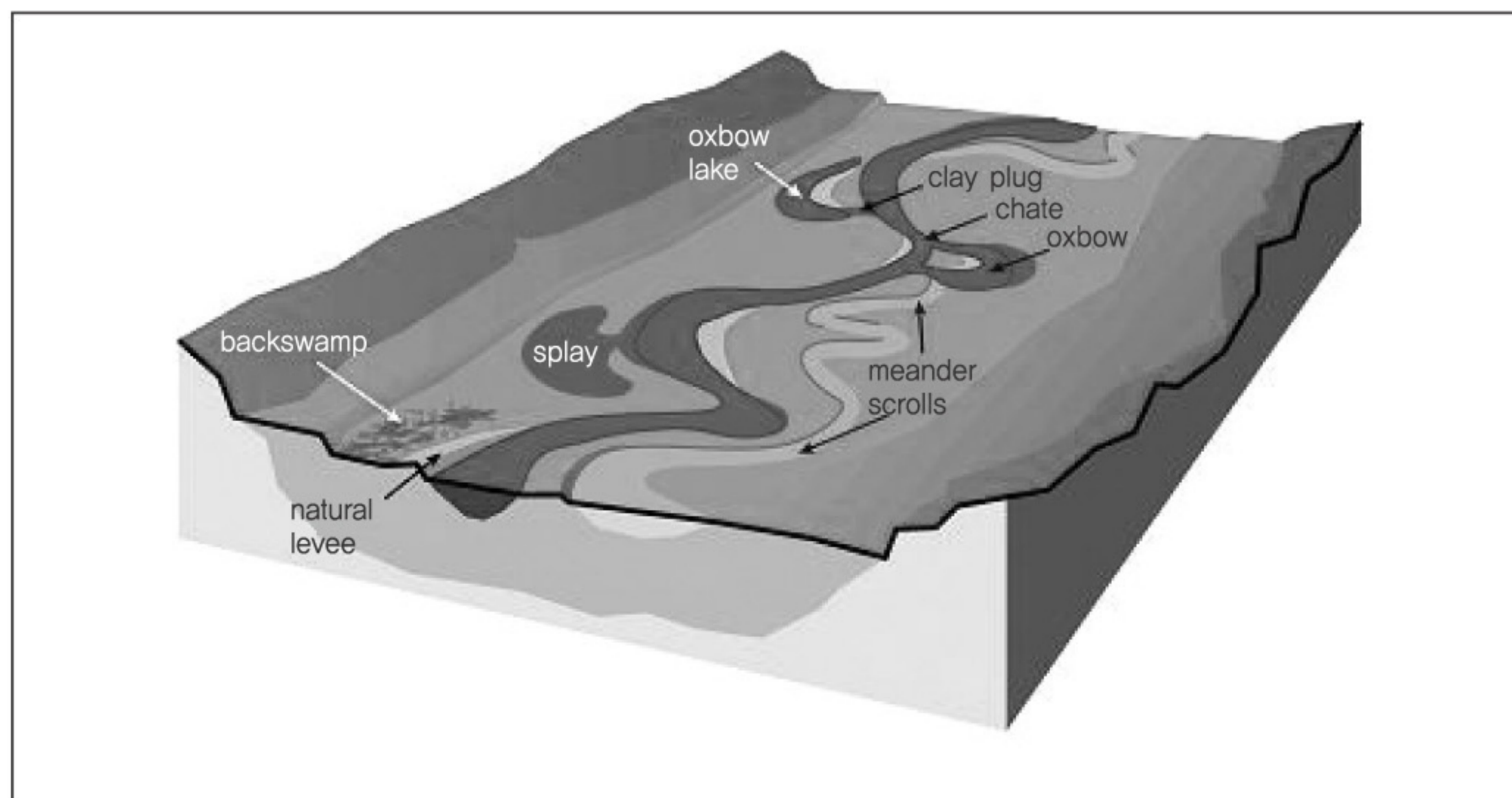
〈그림 10〉 수문학적 홍수터와 지형학적 홍수터 (환경부, 2008)

수문학적 홍수터는 기저유량이 통수되는 수로에 인접하여 강택 수위보다 낮은 지역을 말하며, 지형학적 홍수터는 수문학적 홍수터를 포함하는 인근 지역과 주어진 재현 빈도(예: 10년 빈도)의 첨두홍수량에 의해 도달되는 수위보다 낮은 지역을 포함한다 (환경부, 2008)

3) 홍수터의 지형 및 퇴적물

홍수터의 지형은 하천의 횡방향 이동에 의하여 형성된다. 이러한 지형특성은 토양 및 그 습윤조건을 변화시켜 다양한 서식처를 제공하고, 다양한 동식물의 서식을 가능하게 한다. 홍수터의 지형 및 퇴적물은 다음과 같다.

- 사행흔적 (Meander scroll) 이전의 하도 위치를 표시하는 지국
- 슈트 (Cut) 사행의 기저 부분을 가로질러 형성된 하도
- 우각 만곡부 (Oxbow) 슈트가 형성된 후 분리된 만곡부
- 점토 플러그 (Clay plug) 주하도와 U자형 만곡부 사이에 발달된 토양 퇴적물
- 우각 만곡호 (Oxbow lake) 점토가 U자형 만곡부를 주하도로부터 막아서 형성된 수체
- 자연 제방 (Natural levees) 범람이 발생하는 하천구간의 제방을 따라 형성된 지형
- 스플레이 (Splay) 자연제방의 붕괴로 조립질 유사나 델타 모양으로 퇴적된 것
- 배후습지 (Backswamps) 자연제방에 의하여 형성되는 홍수터 습지



〈그림 11〉 홍수터의 지형 및 퇴적물 (환경부, 2008)

4) 홍수터의 역할

도시화와 기술의 진보에 의해 지속적으로 이용가능한 상태의 홍수터를 인간 정착을 위해 제방공사, 직강화, 댐건설, 하상 준설 등 치수사업에 의해 광범위한 지역 홍수터가 하천의 자연적인 흐름에서 제외되어 현재는 그 모습을 찾기가 힘들지만 훼손되지 않은 홍수터는 다음과

같은 역할을 가진다 (WWF,2000)

홍수터는 최대치 홍수량을 저장하고 유속을 감소시키는 공간을 제공하며, 습지식물을 통한 유기물 흡수 및 침전 작용을 하여 수질을 유지시키고 개선시킨다. 또한 동식물의 이동과 분포를 위한 이동경로를 제공하고 특정습지에만 서식하는 종의 군집을 유지하는 좋은 서식처가 된다. 그리고 하천과 홍수터 사이의 자연적인 접촉에 의해 대수층에 물을 채워 지하수량을 일정하게 유지한다. 지속가능한 농업을 지원하며, 홍수터는 낚시, 사냥, boating 하이킹, 자연 조망의 기회와 같이 사람들을 이끄는 문화적·심미적으로 가치 있는 경관을 제공하여 인간에게 지속가능한 여행 및 휴양의 기회를 제공한다.

나. 홍수터 복원

홍수터 복원은 자연하천이나 농경지, 그리고 상업용지 등으로 다양하게 이용되고 있는 하천 공간의 홍수소통능력을 되살리고 자연적 여건과 토지이용의 필요성에 맞도록 홍수터를 보전하거나 복원하여 홍수피해를 줄이는 제반활동이라 할 수 있다. 즉 홍수터 복원의 목적은 치수 기능과 하천의 환경기능을 동시에 고려하여 홍수 저류 및 지체와 생태공간을 확보하기 위한 것이다 (건설교통부, 2001)

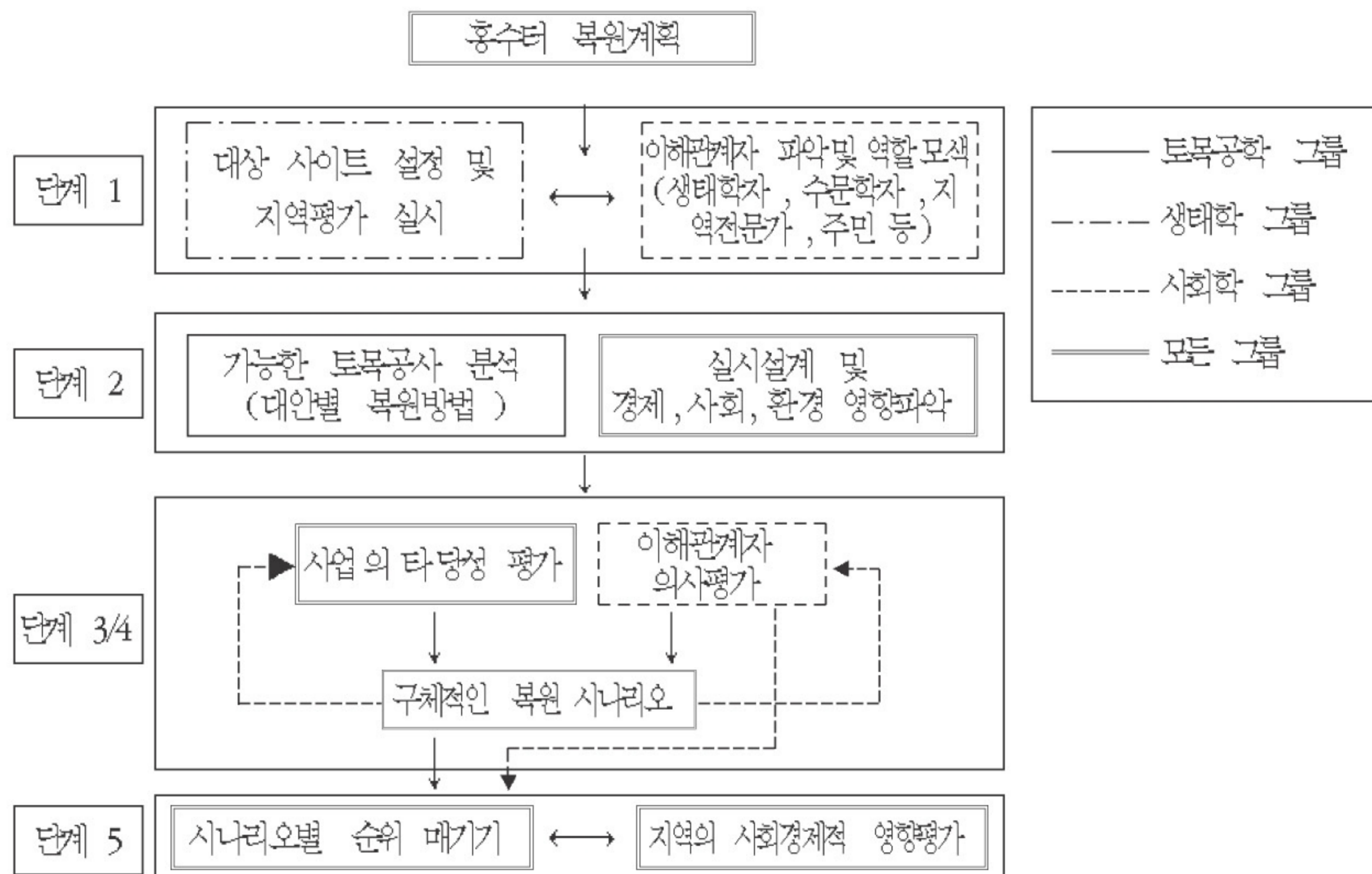
이러한 목적을 가지고 이루어지는 홍수터 복원의 구체적인 활동은 일반적인 공사 시에 사용되는 특정 공법과 같이 규격화되지 않았다. 다만 거시적으로 무엇을 어떻게 해야 한다는 정도로 복원활동이 이루어지고 있는데 홍수터 복원에 대한 기존의 연구 및 복원 결과보고서 등을 통해서 개략적으로 홍수터 복원활동을 파악할 수 있을 것이다.

먼저 2003년 환경부에서 제작·배포한 ‘하천복원가이드라인’에서 홍수터에 대한 설명과 그 복원에 관해서도 언급이 되어 있는데, 홍수관리라는 목적을 위한 복원 지침이기보다는 자연형 하천복원의 일부분으로 보는 면이 강하다. 그리고 제48호 강원광장에 실린 김영택 (2002)의 ‘도시지역 피해사례와 복구방향’이라는 글에서는 홍수터 복원에 대한 가능성을 짧게 언급하고 있다. 또한 2000년에 작성된 WWF의 ‘Wise Use of Floodplains A Review of 12 WWF River Restoration Projects across Europe’ 보고서에 있는 홍수터 복원 사례연구에서 홍수터 복원활동이 간단하게 설명되어 있다.

이 세 문헌을 통해서 홍수터 복원의 활동을 다음과 같이 정리해 보았다. 홍수 시침투홍수량을 분산하기 위해 통수단면에 여유 공간을 제공하고 수제부(물가)도 넓게 만드는 등 홍수터 면을 낮추어 홍수터의 면적을 넓힌다. 주 수로를 내륙쪽으로 이동하는 것도 홍수를 저류할 수 있는 공간을 확대하는 방법 중의 하나이다. 인위적으로 하천변에 저류지를 설치하여 홍수를 조절할 수 있는 용량을 늘린다. 유사한 방법으로 습지를 조성하여 홍수터의 역할을 부여하고, 식

재를 조성하여 홍수시 유속을 조절하여 하류부에 미치는 부하를 감소시킬 수 있다. 하도 및 제방을 직강화하는 공사를 피하고 하천 본래의 물길을 따라 하도 및 제방을 정비한다. 하폭이 협소한 지점은 홍수위의 급상승을 예방하기 위해 인근의 토지를 매입하여 충분한 하폭을 유지할 수 있도록 한다. 하천합류부의 경우도 홍수위가 급상승할 위험이 있으므로 교량이나 기타 구조물의 설치를 자제한다. 개발된 홍수터의 경우 콘크리트 바닥면을 제거하여 물이 투수할 수 있도록 하고 향후 하천의 복개 또는 콘크리트 제방 설치에 지양하고 자연형 하천정비공법을 도입하는 것이 바람직하다. 위의 홍수터 복원활동은 아직 구체적이고 전문적인 공법은 아니다. 하지만 홍수터 복원이라는 것이 다양한 지역에서 이루어지는 만큼 일정한 공법으로 정의되어 획일적으로 진행되기 보다는 지역의 특징에 맞게 다양한 활동을 통해서 이루어지는 것이 바람직 할 것이다.

이와 같은 홍수터 복원활동은 다양한 분야의 전문지식을 필요로 하므로 그 계획에서부터 실행에 이르는 전 과정을 수행하기 위해서는 학제간 통합을 요한다. 이 과정을 간단히 모형화하면 다음 그림과 같이 정리할 수 있다(한국건설기술연구원, 2008)



〈그림 12〉 홍수터 복원을 위한 학제별 역할 (한국건설기술연구원, 2008)

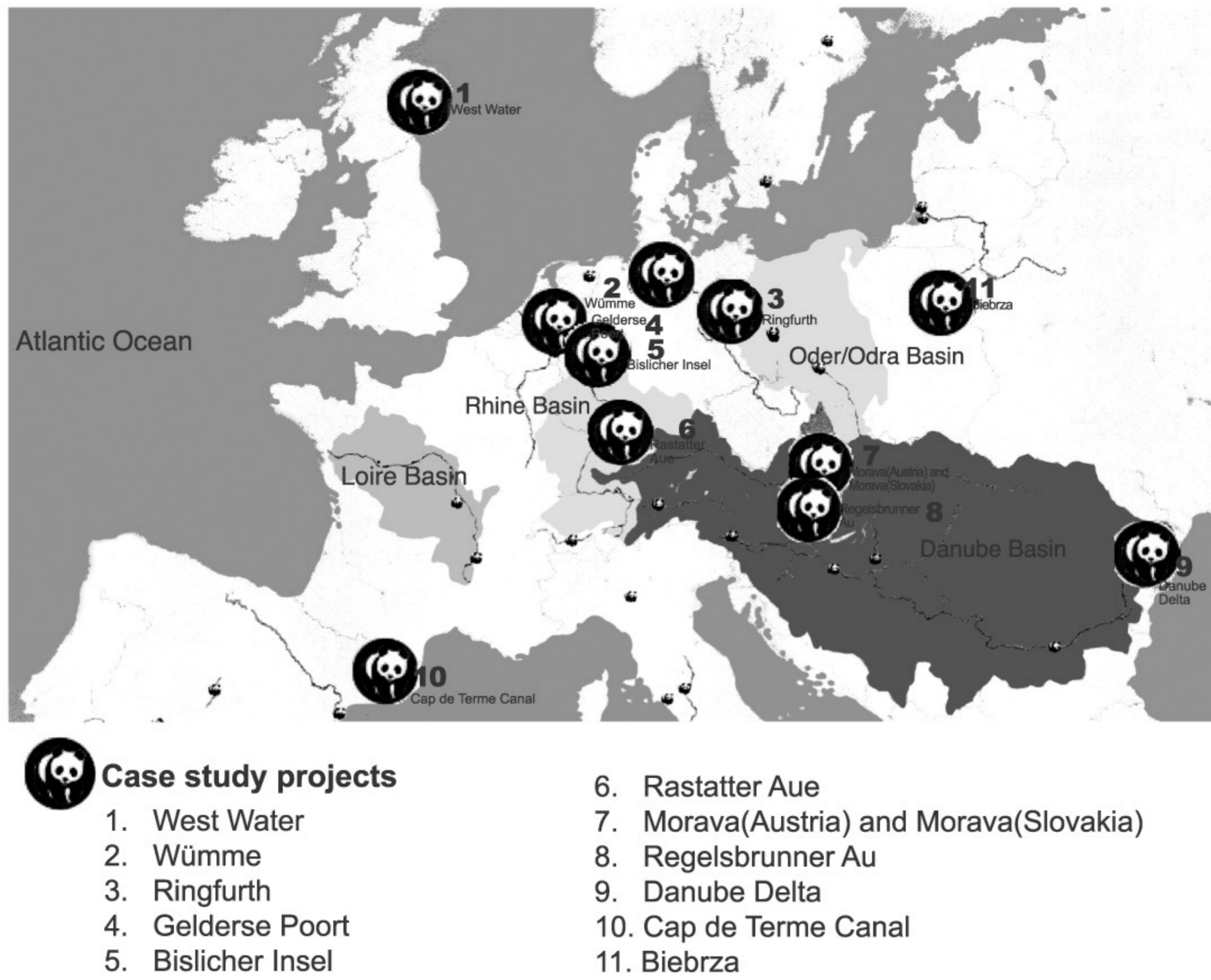
1단계에서 우선 홍수터관리계획을 수립한 다음, 이를 지역에 어떻게 적용할 것인지 모색하기 위해 대상사이트를 설정하여 지역평가를 한다. 이 때 생태학, 수문학, 지역사회·경제전문가 및 지역단체와 이해당사자 등에 대한 조사와 역할을 모색한다. 이 단계에서는 다양한 학제

별 역할을 계획하기 위한 계획수행자의 역할 및 필요한 학제 전문가 참여를 요한다. 이를 통해 지역의 홍수터를 둘러싼 재산권 문제가 어떠한지 그리고 이해관계자의 기대가 무엇인지 파악한다. 이 단계에서는 인문·사회과학자의 의견 및 지문을 필요로 한다(한국건설기술연구원, 2008). 2 단계에서 대략적으로 홍수터를 어떻게 얼마나 복원할 것인지에 대한 몇 가지 대안을 결정하면 이를 어떠한 기술과 방식으로 수행가능한지에 대한 대안별 복원방법을 모색한다. 이때는 기술평가를 위해 기술자들의 참여를 필요로 한다. 3, 4 단계에서는 대략적인 실시설계가 잡히고 이에 따른 환경과 사회경제영향에 대한 파악을 한 다음, 사업의 타당성평가와 이해관계 확인이 뒤따른다. 이 단계에서는 사업의 타당성 평가와 이해관계 설정, 인문사회적 영향 파악, 정책결정의 민주성을 확보하기 위해 자연과학자와 인문·사회과학자의 참여를 필요로 한다. 5 단계에서 충분한 검토를 마치면 구체적인 시나리오를 설정하여 가장 적절한 시나리오 채택단계로 이어진다. 이때 지역의 사회경제적 영향에 대한 평가를 함께 한다.

다. 해외사례

1) WWF(Wild Wide Fund for Nature) (세계자연보호기금)

WWF는 1961년 설립되어 세계 각국에 24개의 지부와 전 세계 470만 이상의 지원자로 구성



<그림 13> WWF 의 홍수터 및 습지복원프로젝트 지역 (WWF,2006)

된 세계에서 가장 큰 환경보호기구중의 하나이며, 지난 10년간 유럽 지역을 중심으로 7개의 홍수터 및 습지 복원을 수행하였다.

또한 현재 *Wise Use of Floodplains* 프로그램을 수행하고 있는 데 이 프로그램의 목적은 홍수의 경제·사회·환경적 영향과 지금까지 수행해온 홍수터 및 습지 복원을 평가하여 향후 수행될 홍수터 복원을 위한 가이드라인을 제공하고 최종 결론을 통해 유럽의 홍수터 및 습지 복원을 더욱 활성화하고 전 세계로 확장시키는 데에 있다.

2) 네덜란드

네덜란드는 Rhine 강과 Meuse 강 합류부에 위치한 저지대로서 홍수를 막는 것과 배가 다니게 하는 것이 하천관리의 제일 중요한 목표를 가진 나라이다. 그러나 1993~1995년에 겪은 홍수를 계기로 단순히 제방을 쌓아 홍수를 막는 데에 한계가 있음을 인지하게 되었고 주민들 또한 더 이상 제방을 지속적으로 높이는 것에 대하여 반대하기 시작했다. 이러한 배경으로 제방을 쌓는 대신 습지, 우각호, 홍수터 등의 하천의 지형물을 개선하여 홍수를 관리하는 홍수터 복원을 추진하였다.

이를 위해서 홍수터를 낮추고, 인공제방을 제거하며, 샛강을 복원하고 주수로의 폭을 넓히는 작업을 수행하였고, 이러한 작업에 의해 홍수량이 조절되는 결과를 확인하였다 (한국건설기술연구원, 2008)

3) 오스트리아

동경 16도 54분, 북위 48도 17분의 오스트리아와 슬로바키아 경계에 위치한 Morava 강은 늦겨울과 초봄에 매년 정기적으로 5km에 이르는 넓은 홍수터에서 홍수가 발생한다. 그러나 60·70년대 치수사업이후 이 홍수는, 자연적으로 또는 인위적으로 제어가 되는 하천 또는 훨씬 더 좁은 계곡을 끼고 흐르는 강에서의 홍수와는 대조적으로, 점차 오래 지속되고 증가하고 있다.

이러한 상황에서 오래 지속되고 증가하고 있는 홍수에 대한 해결책으로 WWF가 홍수터 복원이라는 대안을 제시하였고 오스트리아 정부는 이를 승낙하였다. 이렇게 시작된 Morava 강의 홍수터 복원프로젝트의 가장 큰 목표는 홍수에 의한 영향을 최소화하는 것이며, 부수적으로 홍수터 지역의 하천 수로에서 진행되고 있는 침식작용을 감소시키고, 하천수로에서 퇴

5) Morava 는 추운 겨울, 무더운 여름과 적은 강수량을 가진 Pannonic 스텝지역의 서부경계를 따라 흐르는 중간규모의 저지대 하천이다. 이 강은 프로젝트 지역에서 오스트리아와 슬로바키아 사이의 경계와 합쳐지는 Canal Dante 의 지류이다

적작용이 더 이상 진행되지 않도록 예방하여 하천의 수문체계를 개선하고, 유용한 생물다양성을 가진 지역을 보호하고, 중요한 새로운 종을 성장·증식시키는 것도 그 목표로 하였다.

홍수터 복원을 위해서 가장 먼저 이루어진 것은 필요한 땅을 구매하는 것이었으며, 이러한 구매는 어떤 복원작업이 실행되기 전에 필수적으로 중요하게 거치는 단계이다. 또한 WWF는 수리체계를 개선시키기 위한 수로에 행해질 작업들을 실행하는 최선의 방법이 무엇인지를 연구하는 작업에도 투자를 했다. 그리고 연구결과에 의해 홍수터 복원 후보지 8곳에 더 오랜 기간 동안 물을 저류할 수 있도록 하고 수로사이의 내부유속을 개선시켰다. 이것은 두개의 주요한 지류를 재 연결시키기 위한 준비작업이기도 하다. 또한 현재의 수로를 더 내륙 쪽으로 이동하는 복원활동이 이루어졌다 (WWF, 2006).

4 분석틀 설정

가. 비용효과분석

정부가 공기업이 수행하는 사업의 타당성은 시장을 통해서 검증하기 곤란하기 때문에 다른 방법으로 검증해야 한다. 그런 방법들 중에서 현재 가장 보편적으로 이용되는 방법은 전문가들이 사업의 경제적 타당성을 사전에 정밀 타진하는 방법으로 이 방법에 흔히 동원되는 분석 기법이 소위 비용-편익분석 (cost-benefit analysis) 이다. 비용-편익분석이란 정부가 공기업이 수행하는 사업의 사회적 이익과 사회적 손실을 비교해서 경제적 타당성을 타진하는 기법이다 (이정전, 2000)

그러나 치수, 환경정책과 같은 사회정책사업에 의해 발생하는 효과, 즉 편익은 양적 개념이라기보다 질적 개념(예: 홍수조절, 환경개선 등)이어서 화폐단위로 나타내기가 거의 불가능한 경우가 있으며, 이런 경우 경제적 편익 대신 사회적·환경적 효과를 계량화하여 방안을 평가하는 것이 바로 비용-효과분석 (cost-effectiveness) 이다 (김동건, 1997). 비용효과 분석은 주어진 목표를 달성하는 데 가장 적은 비용이 들어가는 대안을 선택하거나, 주어진 예산(비용)으로 목표를 최대한 달성하게 하는 대안을 선택하는 방법으로 이루어진다. 이때 각 대안들이 동일하거나 유사한 성격의 목표(효과)를 가지고 있으며 공통적으로 적용되는 측정방법에 의해 이를 비교·평가해야한다 (김동건, 1997)

본 연구에서는 기후변화에 따른 홍수피해 증가를 저감시키기 위한 댐 건설과 홍수터 복원이 라는 두 대안을 입진강 유역을 사례로 하여 비용효과분석을 할 것이다.