

# 실시간 유입 홍수량 예측을 통한 홍수 피해 저감



강 민 구 |

한국수자원공사 수자원연구원 물정보화연구소 선임연구원  
kmg90@kowaco.or.kr



고 덕 구 |

한국수자원공사 수자원연구원 물정보화연구소 소장  
dkkoh@kowaco.or.kr

## 1. 서론

상류 유역으로 부터 홍수시 유출되는 유량을 실시간으로 예측하는 것은 하천의 홍수조절이나 수자원시설물의 관리를 위한 중요한 요소 중의 하나이다. 최근에는 세계적으로 도시화와 온실효과나 엘니뇨와 같은 기후변화에 의해서 홍수의 발생 횟수와 크기가 증가하고 있다(이재웅 등, 2001). 우리나라는 강우의 2/3 이상이 여름철에 집중하고, 하천경사가 급하여 빈번한 홍수가 발생하며 많은 피해가 발생하고 있다. 최근에는 이상기후에 의해 돌발적인 홍수 발생하고 있으며, 이로 인하여 국지적 홍수 피해가 발생하고 있다. 2002년에 발생한 태풍 루사(Rusa), 2003년에 발생한 매미(Maemi)에 의한 피해가 그 예라고 할 수 있다(Chun, 2004). 이러한 홍수를 사전에 예방하기 위해서는 홍수를 미리 예보하고 경보하는 시스템이 필요하며, 이 시스템의 정확도는 몇 시간 후의 홍수량을 얼마나 정확하게 예측하느냐에 달려 있다.

하천의 홍수량은 예측 지점의 상·하류에 위치한 수

자원 시설물의 영향을 받는다. 하천의 상류에 댐이나 저수지가 위치하고 있으면, 홍수시 상류에 위치한 시설물의 방류에 영향을 받는다. 또한 하천의 홍수량은 하류에 위치한 담수호나 댐의 영향을 받으므로 이들 시설물의 방류가 없는 경우에는 배수영향을 받게 된다. 댐, 담수호, 저수지의 홍수관리는 홍수시 유역에 발생한 유출량을 예측하여 사전에 얼마나 많은 저류공간을 확보하느냐에 좌우된다. 다목적댐은 설계시 홍수 조절량을 고려하기 때문에 대규모 폭우시를 제외하고 홍수시 운영에 큰 어려움이 없다. 그러나 저수지, 저류지와 같은 소규모 수자원 시설물은 이수 목적으로 설계되어 홍수에 대한 설계빈도가 크지 않다. 이들 시설물은 큰 홍수가 발생했을 때 배제 능력이 떨어져 월류나 붕괴 가능성이 있다.

우리나라의 국토면적 중에서 산지와 농경지의 비율은 1970년에 비해 2000년에 6.8%가 감소하였으며, 이들은 주거지, 도로와 공장부지 등으로 이용되고 있다. 이러한 도시개발로 인하여 유역의 불투수면적이 증가하여 우수의 침투가 감소함에 따라 폭우시 홍수 발생 위험이 높아지고 있다. 최근에는 이상기후에 의해 홍수가 빈번하게 발생하고 하천주변의 고도 이용에 따라 홍수 피해액이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 홍수 피해를 경감시키기 위해서 기존의 하천에 의존하는 선(Line)적인 개념의 홍수 방어는 하천 통수능력의 부족으로 인해 면(Area)적인 홍수 방어개념으로 전환되고 있다(건설교통부, 2004). 이는 수계에서 방어할 수 있는 홍수량을 유역별로 할당하여 상류에 위치한 다목적댐, 산지, 농경지와 중류에 위치한 유수지, 저류지, 우수침투시설, 하류에 위치한 습지, 농경지 및 유희지를 통합하여 홍수량을 저감시키는 방법이다. 이를 위해서는 홍수

시 유역 및 수계에 수자원 시설물의 연계운영을 고려해 보아야 하며, 최근 한강과 낙동강 수계에서는 수계 내 댐들의 연계운영을 통해서 하류 하천의 홍수위를 저하시키는 효과를 얻은바 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2005). 이러한 효과를 더욱 향상시키기 위해서는 수계에 위치한 수자원 시설물의 유입 홍수량을 사전에 정확하게 예측할 필요가 있다.

수자원 시설물 중 수계의 하류에 위치한 담수호는 하천의 하류부에서 해수침입에 따른 경작지의 염해방지와 유역에 필요한 담수를 확보하기 위하여 건설되어 운영된다. 또한, 홍수시에는 배수갑문의 인위적인 조작을 통해서 과다한 유입량을 외해로 배제하여 상류유역의 홍수피해를 방지하고 있다. 담수호는 하천수의 흐름을 차단하여 저류하므로 배수갑문이 폐쇄된 경우에는 하천상류 수십 km까지 배수현상이 나타난다. 또한, 배수갑문 조작은 내수위가 외수위보다 높은 경우에 실시하게 되므로 하천 주요 지점의 수위는 조석의 영향을 받는다. 담수호의 홍수관리는 유입된 홍수를 잠시 저류시켰다가 간조시 외해로 방류하는 것이다. 따라서 수계에서 홍수 피해를 저감시키기 위

해서는 수계의 말단에 위치한 담수호의 영향을 고려해야 한다.

본 고에서는 수자원시설물을 홍수시 안전하게 운영하기 위해서 홍수량을 정확하게 예측할 수 있는 방법들을 소개하고자 한다. 이를 위해서 최근에 발생한 홍수 피해에 대해서 고찰하고 이들의 원인을 분석하였다. 또한, 홍수피해를 비구조적인 방법으로 절감시키기 위한 홍수에·경보 시스템을 소개하고 이 시스템의 가장 중요한 구성요소 중의 하나인 실시간 홍수량 예측 방법의 최근 연구동향과 실제 적용 예를 소개하였다.

## 2. 홍수피해

### 2.1 주요 홍수 피해 원인

우리나라의 홍수 피해는 7월부터 9월 사이 폭우를 동반한 태풍에 의해서 주로 발생된다. 그 중에서 가장 큰 인명 및 재산 피해를 발생시킨 것으로는 2002년과 2003년의 태풍 매미와 루사가 있다. 그리고 가

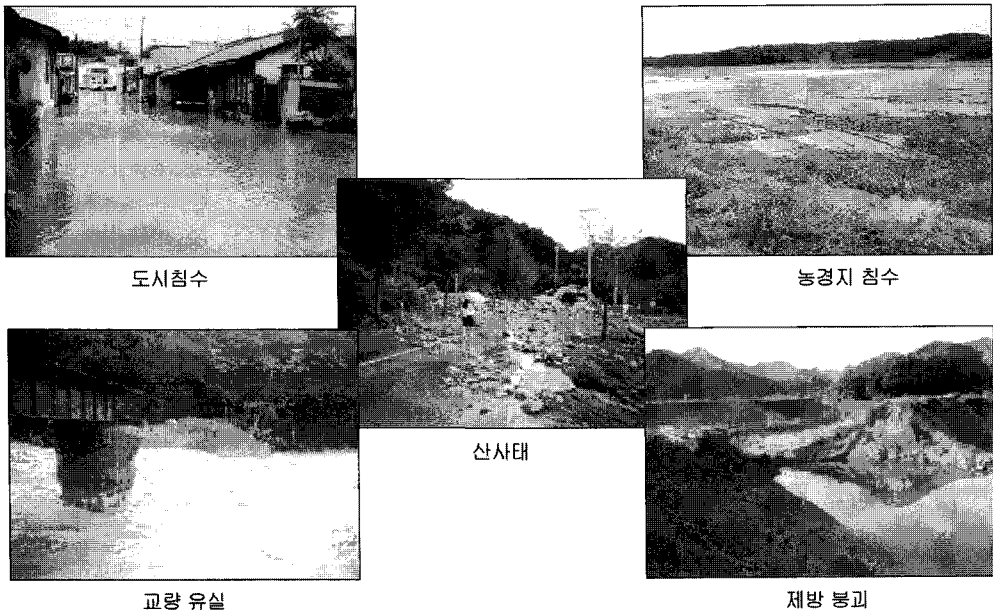


그림 1. 홍수에 의한 피해

장 최근에 홍수피해를 발생시킨 것으로는 2005년의 태풍 메기가 있다. 홍수에 의한 주요 피해는 인명피해 뿐만 아니라 그림 1과 같이 도시침수, 농경지 침수, 하천제방 붕괴 및 범람, 교량 유실, 산사태 등이 있다. 도시침수는 집중 호우로 인해서 우수관의 배제 능력 부족 때문에 주로 발생한다. 농경지 침수도 배수로와 연결된 하천의 통수능력 부족에 의해서 주로 발생한다. 하천제방 붕괴와 교량 유실의 원인은 하천이 직선화됨에 따라 홍수의 유속이 빨라져 제방과 교량의 기초를 세굴시킨다는 것에서 찾을 수 있다.

## 2.2 최근 홍수 피해

최근 2003년 까지 10년간의 홍수 피해를 살펴보면 태풍에 의한 피해는 10조 원에 이르며, 호우에 의한 피해는 4조 원에 이른다. 특히 태풍 루사에 의한 재산피해는 5조 1,500억 원, 인명피해는 사망 209명으로 가장 큰 피해를 일으켰다. 또한, 2004년에 발생한 매미에 의한 홍수로 인해서 인명피해는 사망 119명, 재산피해는 4조 7,810억 원이었으며, 주택 26,799 동, 농경지 37,986ha가 침수 피해를 입었다. 가장 최근인 2005년 8월에 발생한 태풍 메기에 의해서는 앞서 발생했던 두 태풍보다는 작지만 2,500억 원의 재산피해와 7명이 사망하는 피해가 발생했다. 이들 피해들의 주원인 태풍이 동반한 강한 집중 호우에 의한 홍수이다.

## 3. 홍수 예·경보 시스템

### 3.1 홍수 예·경보 시스템의 구성

홍수에 의한 피해를 저감시키기 위해선 홍수조절댐이나 저류지 건설, 기존 수자원 시설물의 퇴사 제거, 하천 통수능력 확보와 같은 구조적인 방법이 있다. 또한, 홍수 예·경보 시스템과 같이 사전에 홍수를 예측하고 전파하여 피해를 저감시키는 비구조적인 방법이 있다. 홍수 예·경보 시스템은 유역에서 발생하

는 강우, 유량과 같은 주요 수문자료를 수집하고 축적하여 홍수량을 예측하고 사전에 홍수발생을 전파하는 것이다. 이 시스템은 데이터베이스 시스템, 모형 시스템, 사용자 편의 시스템으로 구성된다. 홍수 예·경보 시스템은 홍수시 수자원 시설물을 운영하는 운영자의 의사결정을 지원하는 의사결정 지원시스템(Decision Support System; DSS)의 일종이다. 데이터베이스 시스템은 유역에서 측정된 기상 및 수문 자료를 수집·정리하여 사용자의 요청에 대한 정보를 제공한다. 모형 시스템은 수집된 자료를 이용하여 미래에 발생할 수문사상을 예측하고 이에 따른 시설물의 다양한 운영 방법과 결과를 제공한다. 사용자 편의 시스템은 데이터베이스시스템과 모형 시스템의 결과를 사용자에게 그래프와 표를 이용하여 제공하고 모형의 입력자료를 제공하여 두 시스템을 상호 연결하는 역할을 한다.

### 3.2 홍수 예·경보 시스템의 발전 방향

최근의 홍수 예·경보 시스템은 과거 자료만을 이용해서 홍수량을 예측하는 수준에서 미래의 기상 및 수문 사상을 예측하여 홍수량을 예측하는 방향으로 발전하고 있다. 그림 2는 인공위성과 기상레이더를 이용하여 장래의 홍수량을 예측하는 홍수 예·경보 시스템을 나타낸 것이다. 과거에는 수자원시설물의 상류에 위치한 기준 지점의 수위나 유량 자료를 이용하여 운영자의 경험에 의존하여 시설물을 운영하였다. 그러나 최근에는 유출량을 수학적인 모형을 이용하여 정확하게 예측하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 수자원 시설물의 운영에 적용이 되고 있다. 이러한 기술의 발달로 유입 홍수량뿐만 아니라 수자원 시설물에 의한 상·하류의 영향을 예측할 수 있으며, 이들을 고려하여 수자원 시설물을 운영하고 있다. 최근에는 IT 분야 기술이 발달하여 인공위성과 기상레이더를 이용하여 미래의 기상을 예측할 수 있는 능력을 확보하고 있다. 따라서 이들 기술을 활용하면 보다 정확하게 홍수량을 예측할 수 있으며, 홍수 피해의 저감

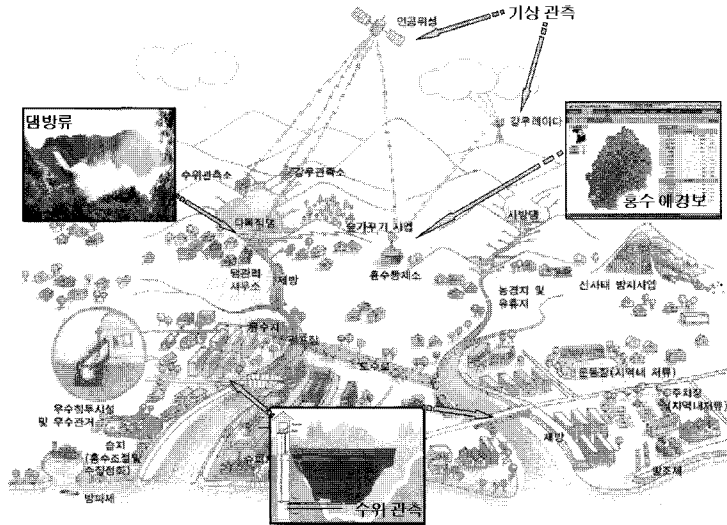


그림 2. 실시간 홍수 예·경보 시스템

이 가능하다. 또한, 하천 범람이나 파제로 인한 홍수 피해 위험지역에 대하여 GIS를 이용하여 공간적인 정보를 제공하는 홍수지도가 주요 하천에 대하여 제작이 되고 있다. 이 지도는 홍수위험 지역을 주민에게 열려 줄 뿐만 아니라 대피경로와 장소에 대한 정보를 제공한다. 사전에 이러한 정보를 인지하고 있거나 이들 정보를 바탕으로 재난관리에 대한 훈련이 되어 있으면 홍수피해를 저감시킬 수 있다. 따라서 홍수 예·경보 시스템에 홍수지도를 결합하면 보다 합리적이고 효율적인 홍수 예·경보가 가능하다(김우구, 2005)

발생하는 조석에 의해서 수문 운영이 좌우되기 때문에 홍수량과 도달시간을 정확하게 예측해야 홍수피해를 저감시킬 수 있다. 하천의 홍수량 예측은 상류에 위치한 댐의 홍수시 수문방류와 유역 말단에 위치한 방조제에 의한 배수의 영향이 있으므로 이들 영향을 사전에 고려해야 한다. 이러한 영향들을 전부 고려하여 사전에 하천 각 지점의 홍수량을 예측해서 하천 인접 지역과 침수가능지역에 대한 홍수 경보를 실시하여 피해를 사전에 예방할 수 있다.

#### 4.2 실시간 홍수량 예측 기법 기술 동향

### 4. 하천 홍수량 및 수자원 시설물 유입량 실시간 예측

#### 4.1 홍수량 예측의 필요성

홍수 예·경보 시스템의 정확성은 하천, 댐, 담수호의 유입량을 얼마나 정확하게 예측할 수 있는가에 좌우된다. 댐이나 담수호의 홍수조절은 홍수가 발생하기 전에 예비 방류를 실시하여 홍수에 대비한 저류량을 확보하는 것이다. 특히 담수호는 방조제 외에서

홍수량을 예측하는 방법에는 경험적인 방법과 모형에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 경험적인 방법은 과거 발생한 폭우사상과 홍수량과의 관계를 이용해서 회귀식이나 순간단위도를 만들어 강우에 대한 홍수량을 예측하는 방법이다. 모형에 의한 방법은 강우와 유역간의 비선형적인 관계를 수학적 방법으로 해석하여 홍수량을 예측하는 방법이다. 최근에는 이들 간의 관계를 보다 자세히 고려한 복잡하고 세련된 모형들이 개발되고 있다.

담수호, 저수지, 댐의 상류 유입량 예측과 하천 홍수량 예측 방법은 현재 까지 많은 연구가 진행이 되고 있다. 과거에는 실시간 홍수량 예측을 위해서 총괄형 강우-유출모형, 분포형 모형, 추계학적 모형 등이 적용되어 왔다(Yapo 등, 1993; 심순보과 김만식, 1999; 김성원과 호세, 2000). 그러나 유역의 물리적 특성과 기상요소들이 비선형적으로 유출에 영향을 미치기 때문에 이들 모형으로 홍수량을 정확히 예측하는 데는 많은 어려움이 있다. 최근에는 이러한 비선형성을 고려한 신경망이론을 이용한 홍수량 예측모형이 많이 개발되고 있으며, 다른 방법과 예측능력을 비교하는 연구가 많이 진행되고 있다(Imrie 등, 2000; Kang과 Park, 2003; Laio 등, 2003). 신경망 모형은 단순하면서 예측 정확성이 다른 모형들 보다 뛰어나다는 평가를 받고 있으나, 학습을 위한 과거 자료가 많이 필요하다는 단점이 있다.

홍수량 예측 모형의 매개변수는 많은 강우사상을 이용하여 추정된다. 예측 모형의 실시간 매개변수 추정에는 이전 강우사상이나 현재 강우사상 자료를 이용하여 추정된다. 이 때, 예측의 정확성을 확보하기 위해서는 많은 자료가 필요하다. 최근까지 많은 연구가 진행되어 왔던 신경망 기법은 학습을 위한 자료가 많

이 필요하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에는 예측에 필요한 자료가 많이 필요로 하지 않는 Grey 시스템 이론을 이용한 홍수량 예측 기법에 대한 연구가 진행되고 있다(강민구 등, 2004; Yu 등, 2002). Grey 시스템 이론은 시스템에 관련된 정보가 모호하며, 예측을 위해 필요한 과거자료의 수가 적은 시스템의 미래 상황을 예측하기 위하여 제안되었다. 홍수량을 실시간으로 예측하기 위한 모형의 매개변수는 과거 강우사상이나 현재 강우사상 자료를 이용하여 추정된다. 따라서 매개변수 추정의 필요한 과거 자료가 많지 않을 경우 Grey 수문모형을 이용하면 적은 수의 과거 자료를 이용하여 모형의 매개변수를 추정하여 홍수량을 예측할 수 있다. Grey 수문 모형은 이러한 장점에도 불구하고 많은 연구가 진행되지는 않았다. Yu 등(2001)은 Grey 모형을 이용하여 강우량 예측과 홍수량 예측에 적용하여 예측결과를 실측자료와 비교하여 평가한 적이 있다.

그림 3은 Grey 모형을 이용하여 6시간 후의 하천 홍수량을 예측한 것이다. 모형의 매개변수를 최적화 기법을 이용하여 추정하고 실측자료와 비교하여 모형의 예측능력을 평가한 것이다. 그림 3과 같이 모형의 예측능력은 상당히 뛰어난 결과를 보이고 있다. 이

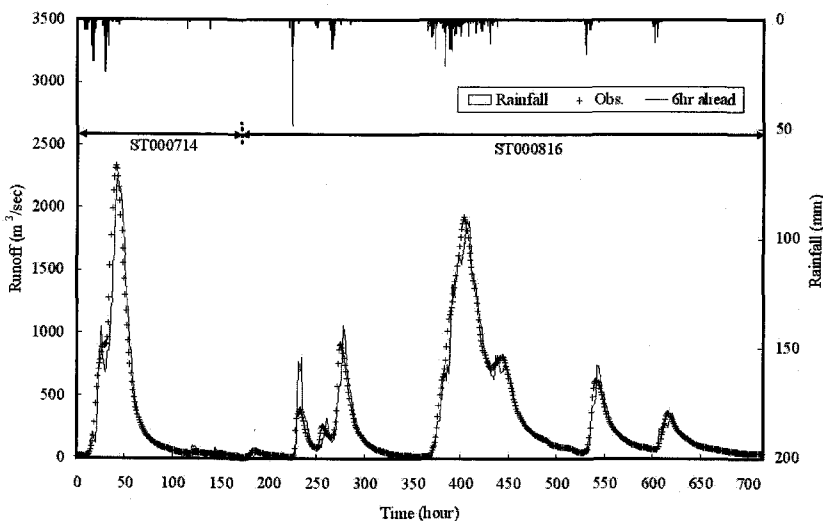


그림 3. 홍수량 예측 모형 평가(6시간 후 예측)

모형도 다른 모형과 같이 예측시간이 길어질수록 모형의 정확도는 떨어지는 현상을 나타낸다. 이를 보완하기 위해서는 홍수량 예측과 동시에 정확한 미래 강우예측이 필요하다.

### 4.3 실시간 유입 홍수량 예측 예

홍수시 댐이나 담수호의 미래 저류량을 예측하기 위해서는 유입량을 실시간으로 예측해야 한다. 이를 위해서는 예측 정확도가 높은 모형을 이용하여 사전에 미래의 유입량을 정확하게 예측해야 한다. 다음은 담수호의 홍수관리를 위해 상류 유입량을 실시간으로 예측한 예이다.

유입 홍수량을 실시간으로 예측하기 위해서는 대상 유역의 강우자료와 하천의 수위자료를 실시간으로 수집해야 한다. 대상지점의 수문자료는 실시간으로 측정되어 전기적 신호를 통하여 홍수 예·경보 시스템에 전송되며, 자료는 실시간으로 보완 및 보충된다. 이들 자료를 이용하여 상류유역의 홍수량을 실시간으로 예측한다. 그림 4는 2000년 9월 12일에 발생한 강우에 대하여 실시간으로 홍수량을 예측한 결과를 실측자료와 비교한 것이다. 예측단계는 유출이 발생하여 수위

가 상승하는 시기, 침투유량 발생시기, 수위가 하강하는 시기로 구분하였다. 그림 4와 같이 각 시기별로 실측자료와 예측결과는 차이를 나타내고 있으며, 예측시간이 증가할수록 예측결과의 정확도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 하천수위가 계속 상승하는 시기의 예측결과는 예측시간이 증가할수록 실측값보다 작아지는 경향을 나타냈으며, 상대오차는 -23.4~1.0 %를 나타냈다. 하천수위가 계속 하강하는 시기의 예측결과는 예측시간이 증가할수록 실측값 보다 커지는 경향을 나타냈으며, 상대오차는 0.7~14.3 %를 나타냈다. 이와 다르게 유출이 침투에 도달한 시기의 예측결과는 실측자료와 큰 상대오차를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 유입 홍수량을 실시간으로 보다 정확하게 예측하기 위해서는 미래 강우예측이 필요함을 나타낸다.

### 5. 요약 및 결론

본 고에서는 홍수 피해를 절감시키기 위한 비구조적인 방법인 홍수 예·경보 시스템의 주요 구성요소인 홍수량 예측 기법에 대하여 소개하였다. 우리나라의

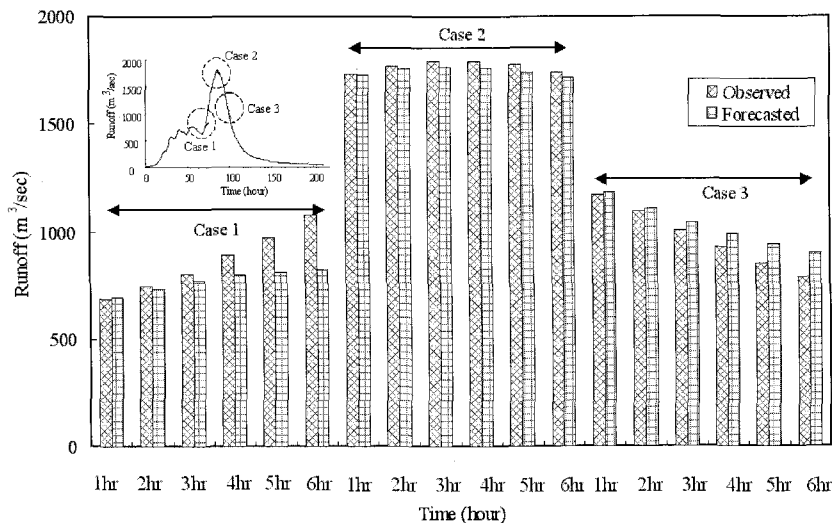


그림 4. 실시간 유입 홍수량 예측(1~6 시간 후)

주요 홍수피해는 7월과 9월 사이에 발생하는 태풍에 의해서 발생하고 있다. 이들 피해강도는 최근들에 커지고 있으며 이들을 저감시키기 위한 노력들이 여러 분야에서 진행되고 있다. 특히 홍수 예·경보 시스템을 이용하는 방법은 사전에 홍수량의 크기를 예측할 수 있으며, 사전에 운영자에게 정보를 제공하여 조치를 취할 수 있게 하며, 인접한 주민들에게 경보하여 피해를 저감시킬 수 있는 유일한 방법 중의 하나이다. 이 시스템의 정확도는 수집된 자료의 신뢰성, 다양성뿐만 아니라 이 자료를 이용하여 미래 상상을 예측할 수 있는 모형의 성능에 좌우된다. 이러한 홍수 예·경보 시스템을 최근 많은 연구가 진행되고 있는 홍수지도와 결합하여 적용하면 재난피해를 경감시킬 수 있다. 또한, 이 시스템을 사용하는 운영자의 경험도 예측의 정확성을 향상시키는 주요 요소 중의 하나이다. 따라서 유역의 특성, 수문 및 수리, 시스템 운영 방법에 대한 주기적인 교육이 필요하다. 그러나 미래를 예측하는 것에는 많은 불확실성이 있으며, 이를 극복하기 위해서는 많은 자료를 바탕으로 한 미래 예측이 필요하다. 또한, 동일한 수계에서 홍수시 다른 수자원시설물들의 상황을 고려하면서 수자원시설물을 운영하면 홍수에 의한 피해를 저감시킬 수 있으며, 무효방류를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 강민구, 박승우, 고익환, 나유진, 2004. Grey 시스템 이론과 전역최적화기법을 이용한 실시간 홍수량 예측, 대한토목학회 정기 학술발표회 논문집.
- 강민구, 박승우, 임상준, 김현준, 2002. 전역최적화 기법을 이용한 강우-유출모형의 매개변수 자동보정, 한국수자원학회, 35(5), pp. 541-552.
- 건설교통부, 한국수자원공사, 2005. 물과 미래, pp. 60-61.
- 건설교통부, 2004. 치수사업개선방안.
- 심순보, 김만식, 1999. 유입량 예측을 위한 신경망 모형과 저류함수 모형의 비교연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제 19권 제 II-1호, pp. 79-90.
- 김성원, 호세 살라스, 2000. 하천수위표 지점에서 신경망 기법을 이용한 홍수위의 예측, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 33권, 제 2호, pp. 247-262.
- 김우구, 2005. 홍수에 강한 국토관리를 위한 홍수지도의 역할, 대한토목학회지, 제 35권, 제 5호, pp. 101-106.
- 이재웅, 정재욱, 윤세의, 2001. 영산강 유역의 홍수피해 분석, 대한토목학회 정기 학술발표회 논문집.
- Chun B. H., 2004. Evaluation of disaster risk of storms and measures to present them, International symposium on living with risk: Dealing with typhoon-related disaster as part of integrated water resources management, pp. 10-23.
- Imrie, C. E., Durucan S., and Korre A., 2000. River flow using artificial neural networks: Generalization beyond the calibration range, J. Hydrol., Vol. 233, pp. 138-153.
- Kang, M. S. and Park S. W., 2003. Short-term flood forecasting using artificial neural networks, Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers, No. 45, Vol. 2, pp. 45-57. (In Korean)
- Laio F., Porporato A., Revelli R., and Ridolfi L., 2003. A comparison of nonlinear flood forecasting methods, Water Resour. Res., Vol. 39, No. 5, pp. 21-24.
- Yapo, P., S. Sorooshian, and V. Gupta, 1993. A Markov-chain flow model for forecasting, Water Resour. Res., Vol. 29, No. 7, pp. 2427-2436.
- Yu, P. S., C. J. Chen, and S. J. Chen, Lin S. C., 2001. Application of grey model toward runoff forecasting, Journal of The American Water Resources Association, Vol. 37, No. 1, pp. 151-166.