

# 미국의 홍수예보 시스템



박무중 ▶▶  
한서대학교 토목공학과 부교수  
mjpark@hanseo.ac.kr

## 1. 도입

미국 홍수예보 시스템의 기본적인 형태는 우리나라의 홍수예보 시스템과 매우 유사하다. 이는 홍수예보 시스템이 홍수의 위험성을 관측자료를 이용하여 홍수에 대한 위험성을 사전에 파악하고자 하는 목적으로 운영되기 때문이다. 이러한 면에서 본다면 우리나라뿐만 아니라 여러나라의 홍수예보 시스템은 대동소이하나 실제 시스템을 운영하는 방법은 서로 상이하게 된다. 예보 시스템은 관측자료의 수집방법, 예보 시스템에 이용되는 수문/수리 프로그램의 적용구조, 수문/수리 프로그램의 매개변수 산정, 관측자료와 예보프로그램과의 통신방법, 예보 시스템의 운영시간, 그리고 홍수예보의 주민에 대한 전달과정등으로 구분할 수 있다. 미국의 경우는 우리나라에 비교하여 매우 큰 면적이므로 홍수예보 시스템의 적용범위가 우리와는 상당히 다른 형태로 구성되었음을 예상할 수 있다.

홍수예보 시스템의 운영은 국민의 생명과 재산피해를 최소화하기 위하여 실시간으로 변화하는 강우의 특성을 고려하여 자연재해의 영향을 저감하기 위한 것이다. 즉, 관측된 강우자료의 특성을 고려하여 홍수량의 규모를 산정하고 이에 따른 하천의 수위와 침수 위험성을 최소화할 수 있는 방안을 제시하는 것이

홍수예보 시스템의 운영목적이다. 본 고에서는 미국의 홍수예보 시스템의 특징과 현황을 비교하고, 우리나라 홍수예보 시스템을 개선할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 미국의 홍수예보 담당기관

미국의 홍수관련 업무는 관리주체에 따라서 연방정부와 지방정부로 구분할 수 있다. 연방정부 차원의 업무는 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 산하 NWS(National Weather Service)이 주관하고 있다(표1 참고). NWS에서는 전국단위의 기상 및 수문자료의 수집, 홍수예측모형의 운영, 그리고 돌발홍수 예측 및 경보발령업무를 수행한다. 지방정부는 미국의 광활한 지역적 특성을 고려하여 별도의 홍수예보 업무를 수행한다.

지방정부에서 운영하는 LFWS(Local Flood Warning System)는 군소지역단위(county, city등)로 수행되고 있으며 주요업무 내용으로는 각 군소단위별 홍수예보 및 주민대피가 있다. 그러나, LFWS의 기본적인 형식은 NWS에서 지원한다.

한편, NOAA 산하 EMWIN(Emergency Managers Weather Information Network)은 홍수예보 상황을 신속하게 매스컴 및 인터넷을 통해 국민에서 전달하여 시민들이 홍수에 대한 위험성을 인식하여 재해 발생에 충분히 대처할 수 있도록 예보하는 것을 기본 임무로 하고 있다. NWS는 홍수예보와 관련된 업무를 2개의 기관으로 분류하여 운영하고 있다.

- 가) 기상예보국 (WFO, Weather Forecast Office)
- 나) 하천예보센터 (RFC, River Forecast Center)

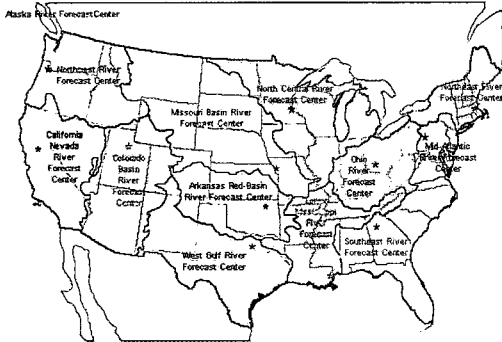


그림 1. 13개 하천예보센터(RFC)

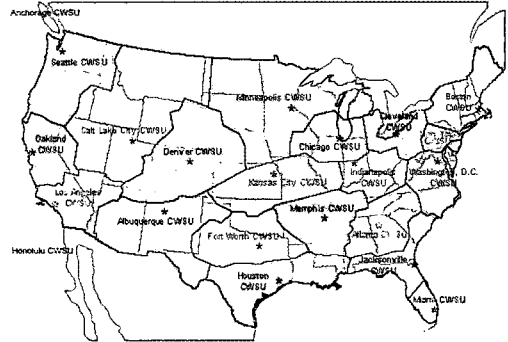


그림 2. 21개의 기상정보센터(CWSU)

### 2.1 기상예보국(WFO)

기상예보국은 지역홍수관리를 위하여 돌발홍수 예보를 주업무로 하고 있으며, 전국적으로 104개가 설치되어 지역별 돌발홍수 예경보(FFG, Flash Flood Guidance)를 구축하여 운영한다.

NOAA/NWS에서는 104개의 S-band Doppler Radar를 설치하여 기상관측을 수행하고 있으며 레이더에 의한 기상관측은 지상에 설치된 우량계와 함께 강우를 관측함으로써 실측치와의 검증을 시행하고 있다.

### 2.2 하천예보센터(RFC)

하천예보센터는 미국 전역 모든 하천 주요지점에서의 하천수위를 예측하고 범람에 의한 하천홍수 관리 및 하천 홍수예보 업무를 담당하며, NWS에서 개발한 NWSRFS(National Weather Service River Forecast System)을 이용하여 홍수예보를 수행한다. 하천예보센터는 전국을 13개의 대유역으로 구분하여 설치되어 있다. 또한, 홍수예보를 위해 필요한 기상자료는 전국을 21개의 지역으로 구분하여 설치되어 있다. 그림 1은 미국 전역에 설치된 하천예보센터, 그림 2는 기상정보센터(CWSU, Center Weather Service Unit)의 위치를 나타낸다.

### 3. 미국 홍수예보 모형의 구조

#### 3.1 도입

NWSRFS는 하천수문예측모형으로 시스템내에는 자료처리와 후처리기능뿐만 아니라 수문모형과 하도 추적 모형이 포함되어 있다. 또한, 수십년간 적용되어 오면서 지속적으로 개선되어 왔으며 미국뿐만 아니라 중국, 파나마, 남아프리카공화국, 니카라과와 엘살바도르등에서도 이용되고 있다.

유역에 따라 설치된 13개의 하천예보센터는 각각의 수문예보 시스템을 개발하였다. 하천예보센터는 하천홍수에 대한 단기적인 예보(하루에서 일주일 선형)와 물공급관리와 홍수저감을 위한 장기적인 예보

표 1. 미국의 홍수예보 담당기관

기 관	업 무	비 고
연방정부(NOAA/NWS)	기상 및 수문자료의 수집	
	홍수예측모형의 운영	
	돌발홍수 예측 및 경보업무 수행	
지방정부	주(state)별 홍수경보 발령 및 주민대피업무	
EMWIN/NOAA	홍수예보 상황을 언론/인터넷 홍보	

(일주일에서 1달 선행)를 위해 NWSRFS 를 이용한다. 하천예보센터는 약 150명의 수자원 전문가가 다양한 업무를 담당하고 있으며, 구체적인 업무는 가) 홍수예보, 나) 주운과 여가등의 목적을 위한 일반적인 하천예보, 다) 저수지 유입량 예보, 라) 물공급량 예보, 리) 용설에 의한 홍수예보, 마) 다양한 종류의 돌발홍수 기준 등이 있다.

하천예보센터는 예보 시스템의 구축, 새로운 수문예보 기술개발, 전산시스템의 개선, 자료처리기술 개발, 수문관측망의 구성과 같은 다양한 기능을 수행한다. 하천예보센터의 예보는 공공 목적을 위한 것이나 각 정부부처, 관개배수관리, 수력발전소 운영, 여가를 위한 하천정보, 어류와 야생동물의 영향분석, 그

리고 상업적인 목적을 위해 사용될 수 있다.

### 3.2 NWSRFS의 구조

NWSRFS는 다양한 수문/수리학적인 처리와 자료 처리 기능을 하는 다양한 소프트웨어로 구성되어 있다. NWSRFS는 용설, 토양수분, 하도추적과 같은 과학적인 계산원리에 의해 운영된다. 일반적으로 NWSRFS는 일련의 시간단위를 기준으로 운영된다.

NWSRFS 의 수문과정은 각 소유역의 물의 거동에 대한 물리적인 특성을 운영표(operations table)로 구성된다. 이러한 과정은 모형화된 소유역의 수문기상학적인 조건에 따라서 계산된다. 수문기상학적으로

표 2. NWSRFS에 포함된 각각의 수문과정

Types of Operations	Operations Included
Snowmelt Models	HYDRO-17 Snow Model
Rainfall/Runoff Models	Sacramento Soil Moisture Accounting NWS RFC Antecedent Precipitation Index Models (Ohio, Middle Atlantic, Central, Colorado Basin) Xinanjiang Soil Moisture Accounting
Temporal distribution of runoff	Unit Hydrograph
Channel losses or gains	Simplified Loss/Gain Method Consumptive use
Routing models	Routing models Lag and K Muskingum Layered Coefficient Tatum Dynamic wave routine models (DWOPER/ FLDWAV)
Baseflow simulation	Baseflow simulation model
Reservoir regulation	Single, independently controlled reservoir under various modes of operation Multiple reservoirs operated jointly
Adjustment procedures	Simplified flow adjustment and blend
Stage/discharge conversion	Single valued rating curves with log or hydraulic extensions and loop ratings
Time series manipulations	Computation of mean discharge Weight time series
Time series manipulations	Computation of mean discharge Weight time series Look-up tables
Plot displays	Instantaneous discharge plot Operational plot Water year daily flow plot
Statistical functions	Calibration statistics package
Water balance	Water balance analysis

로 상이한 특성을 나타내는 각각의 소유역에 대해서 필요한 일련의 수학적 과정을 전문적인 지식을 이용하여 적용함으로써 NWSRFS는 일반화된 예보 시스템을 구성한다. NWSRFS에 포함되는 각각의 수문과정의 형식은 표 2와 같다.

각각의 수문과정에 대한 내용은 모듈로 구성되며 전체 NWSRFS를 완성한다. 이때 각각의 모듈은 별개로 수정되고 개선되어 전체 시스템을 구성할 수 있도록 되어있다.

### 3.3 NWSRFS의 구성

NWSRFS는 다양한 수문/수리 과정을 수행할 수 있는 각 모듈별로 구성된 소프트웨어로 각각의 모듈은 변경되거나 개선되어 새롭게 적용될 수 있다 (National Weather Service, 2006). NWSRFS는 수문/수리 과정을 모의할 수 있는 3개의 중요시스템으로 구성되어 있다. 즉, 서로 연관된 예보모듈이 전체의 시스템을 구성하고 있다. NWSRFS를 구성하는 중요 기능은 다음과 같다(그림 3 참고).

- 1) 예보 시스템 (OPS, Operational Forecast System)  
보정 모형을 이용한 단기 하천 혹은 홍수 예보 생성 모형의 상태변수 산정
- 2) 보정 시스템 (Calibration System)  
수문자료를 이용한 시자료 생성 모형 매개변수 결정
- 3) 종합하천예보 시스템 (ESPS, Ensemble Stream-flow Prediction System)

현모형의 상태, 보정된 모형변수, 시자료를 이용한 주 혹은 월자료로 확장한 확률적 예보 생성

NWSRFS는 다양한 모듈을 이용하여 전체시스템을 구성할 수 있어 유역의 특성에 따라서 수문전문가가 구성할 수 있다. 모든 모듈은 보정, 예보와 하천예보기능을 수행할 수 있다.

#### 3.3.1 예보 시스템

예보 시스템(Operational Forecast System)는

하천흐름의 예측을 통해 홍수발생 예측을 수행하는 지속적인 하천예측 시스템이라 할 수 있다. 시스템은 지점별 관측자료와 예측자료(강우량, 온도, 하천수위)를 이용하여 시스템에 필요한 자료(면적강우량, 평균온도, 유출량)로 변환하고 최종적으로 예보결과를 생성한다(특정지점에서의 예측자료, 모의자료와 관측자료등). 모형 변수값은 보정 시스템(다음 내용을 참고)을 사용하여 결정되고 수동적 준비를 통해 자동예보 시스템으로 전달된다. 이러한 수동적 준비는 주어진 예측(혼합 추적, 다른 도면 추가 등)을 위한 작업의 설명을 추가하기 위해 필요하다.

예보 시스템은 자동하천예측을 위해 필요한 세가지 큰 요소(자료 입력, 예비처리 장치, 그리고 예보)로 구성된다. 자료입력 요소는 다양한 관측된 기초자료로부터 수문기상 자료를 변환하는 프로그램 과정이다. 예비처리장치 요소는 관측된 원자료를 읽고, 필요한 경우 결측치를 보정한 후에 개개의 하천유역에서 강우, 온도, 잠재 증발의 평균 실시간 계열을 계산하는 과정이다. 가공된 시계열은 필요한 수리학적, 수문학적 모의를 실행하기 위해 이용된다. 예측요소는 하천과 유역의 형태를 결정하는 정보뿐만 아니라 모형의 매개변수자료를 저장한다. 예측요소는 현재모형의 상태에 대한 정보를 유지한다. 이러한 상태는 적설량, 토양 수분 그리고 하천 저류를 포함한 유역의 수문학적인 조건을 나타낼 수 있다. 이러한 유역 상태는 다음 예보 계산을 위한 초기조건으로 필요하다.

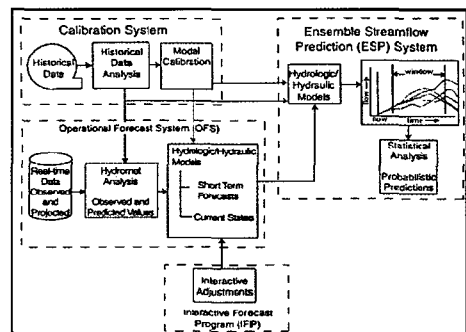


그림 3. NWSRFS의 주요 구조

### 3.3.2 보정 시스템 (Calibration System)

보정시스템은 관측자료를 이용한 다양한 수문기법의 기능을 평가하기 위해 순수연구 목적과 예보 시스템에 이용되는 수문모형의 보정(매개변수 산정) 목적에 이용된다. 관측자료 처리 프로그램은 수문기상자료를 정리하고 표준자료형식으로 변환하는데 이용된다. 보정 예비처리프로그램은 면적강우량(mean area values of precipitation, MAP) 과 평균온도(mean area values of temperature)로 변환하는데 이용될 수 있다. 그 외 프로그램은 자료를 관리하고 해석하는데 이용될 수 있다.

수문학적 모형을 보정하기 위한 프로그램은 다음과 같다.

- 가) 수동 보정 프로그램 - 모든 매개변수에 대해 사용자 지정값으로 수문모형을 적용하여 실행한다.
- 나) 상호보정 프로그램 - 모의결과와 관측결과에 대한 수문곡선을 도시하여 신속하고 가시적으로 보정프로그램을 수행할 수 있도록 하여 보정과정의 효율을 증가시킨다.
- 다) 자동 매개변수 최적화 - 상호보정 프로그램과 유사하나, 홍수량 산정결과를 개선하기 위한 매개변수 값을 자동적으로 조절하는 과정이 포함된다.

보정 프로그램은 한번에 한 개의 수계에 대해 이용될 수 있도록 되어있다. 각 하천의 유출과정은 일반적으로 여러개의 관측자료를 이용하여 보정된다. 이와는 반대로 자동예측시스템은 전체하천에 대해 적용되지만 비교적 짧은 시간에 적용된다.

보정 시스템은 수문기상자료를 처리하기 위해 필요한 절차와 모형의 매개변수를 산정하는 작업을 실행한다. 즉, 모형은 강설과 승화, 유출계산, 각 유역출구로의 유출배분, 그리고 하천흐름을 모의한다. 보정 프로그램에서는 계산된 하천유량이 그래프와 통계적으로 관측유량과 비교되어 모형 매개변수를 조절할 수 있다. 당연히 이상적인 매개변수는 계산된 하천유량이 관측유량과 근접하게 된다.

보정프로그램은 상호보정프로그램을 통하여 다양한 그래픽 결과를 수문 매개변수 보정을 할 수 있는 GUI(Graphical User Interface) 기능을 가지고 있다. 이러한 기능은 다중매개변수 최적 알고리즘을 이용하여 수문 매개변수의 효율성을 증가시킨다.

### 3.3.3 종합하천예보 시스템 (ESPS, Ensemble Streamflow Prediction System)

종합하천예보 시스템은 주 혹은 월단위의 수문변수의 확률적 예측을 수행한다. 종합하천예보 시스템은 과거의 수문기상자료가 미래에도 동일한 특성으로 발생하는 것으로 가정한다. 이는 현재 수문상태를 계산하는 예보 시스템을 이용하고, 현재조건을 기준으로 과거의 기상자료가 미래에도 동일하게 발생하는 것으로 적용한다. 발생한 하천유량 시계열은 미래시점에 대한 첨두유량, 최소유량, 유량체적, 그리고 하천수위를 해석하기 위해 분석된다.

통계학적 분석은 하천유량에 대한 통계학적 예측치를 산정하기 위해 연도별 모의결과를 이용하여 수행한다. 이러한 해석은 다른 예측기간과 필요한 추가적인 하천특성에 대해 재생성될 수 있다. 강우와 온도의 단기간 예보는 각 연도별 기후조건과 현재의 기후조건이 유사하다는 가정하에 수년간의 하천유량을 산정하는데 사용될 수 있다.

종합하천예보 시스템은 해석할수 있는 하천변수의 다양성을 가지며, 단기간 혹은 장기간 예측을 할 수 있는 기능, 그리고 예측된 기상자료(강우의 계절적 전망등)를 고려할 수 있는 능력이 있다. 종합하천예보 시스템의 유연성과 기초개념 때문에, 이는 물 공급과 가뭄 분석과 같은 장단기 수문현상을 모의할 수 있는 다양한 활용성을 가진다.

## 4. 도시홍수예경보 시스템 구축사례

미국은 전역을 13개의 대하천 유역으로 구분하여 각각 1개의 하천예보국을 운영하고 있다. 따라서 지

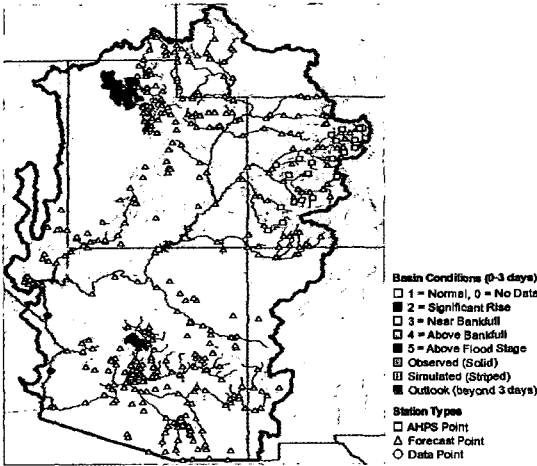


그림 4. 하천정보센터 하천예보현황(콜로라도강 유역)

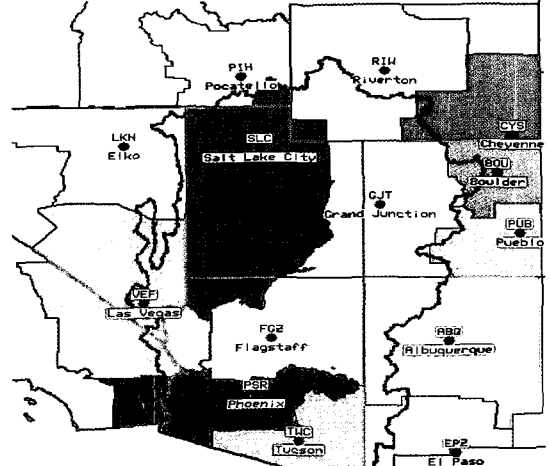


그림 5. 하천정보센터 지역별 경보발령구분(콜로라도강 유역)

역단위의 홍수예보 업무는 각 county에 소속되어 있는 공공사업국에서 담당하여 미육군 공병단 및 미국 립기상청과 협조하여 돌발홍수예보 및 주민대피등의 업무를 수행하고 있다. 13개의 하천예보국중 콜로라도강 유역을 담당하는 하천예보국의 예보내용을 정리하면 다음과 같다.

#### 4.1 하천예보와 자료

콜로라도 하천예보국의 하천예보결과는 그림 4와 같다.

콜로라도주, 유타주, 네바다주, 뉴멕시코주와 아리조나 주가 포함된 콜로라도강 유역에 적용된 NWSRFS 모형에 의한 결과로 3일 이내에 발생하게 될 강우량을 예보한다. 하천의 수위는 5단계로 구분하며 1단계는 정상수준부터 5단계 홍수위 초과수준까지를 예보한다. 이러한 예보는 0으로 표시된 지점의 자료를 이용하여 △으로 표시된 예보지점으로 나타낸다. 자료지점 0은 예보지점과 대부분 겹치므로 표시되지 않는다. AHPS(Advanced Hydrologic Prediction Service)는 상대적으로 고도화된 수문예보를 시행하는 지역으로 주로 돌발홍수와 관련된 내용을 포함한다.

#### 4.2 하천경보(River Watch and Warning)

하천정보는 콜로라도 유역에 포함된 14개의 지역별로 발령하며 그 형식은 표 3과 그림 5와 같다. 월일로 표시된 부분은 과거에 경보가 발령된 실적이며, 시간으로 표시된 부분은 당일에 발령된 주의보를 나타낸다. 즉, ABQ 지역은 Alberquerque 지역을 의미하며 주의보가 발령되었음을 의미한다. 이러한 주의보는 미 전역에 설치된 도플러레이다에 의해 수집된 정보를 이용하여 발령된다. 또한, 월일로 표시된 부분은 과거에 하천경보가 발령된 실적을 나타낸다.

#### 4.3 그 외 기능

하천예보국에서는 하천경보외에도 레크리에이션을 위한 하천유량의 규모, 저수지의 저수율과 물공급 전망등 치수와 관련된 내용뿐만 아니라 이수적인 정보도 제공하고 있다.

#### 5. 지역단위 홍수관리 및 홍수예보

하천예보센터는 전역을 13개의 유역으로 구분하였으며 지역단위의 홍수예보업무를 수행하기 위하여

표 3. 하천경보 예시

	ABQ	BOU	CYS	EPZ	FGZ	GJT	LKN	PIH	PSR	PUB	RIW	SLC	TWC	VEF
Flood Potential (ESF)	05/04	06/19	06/12	-	12/15	05/11	04/03	04/13	05/11	06/10	06/08	04:34	06/16	05/20
Flood Watch (FFA)	08/20	08/04	06/25	-	10/18	10/19	06/08	06/12	10/18	08/11	06/19	06/09	08/24	03/29
Flash Flood Statement (FFS)	09/04	08/21	06/24	-	09/03	09/29	08/01	18:38	10/18	06/26	08/10	06/09	06/21	19:06
Flash Flood Warning (FFW)	09/08	04/18	06/24	-	09/03	04/18	08/01	06/27	10/18	06/25	08/10	06/08	06/21	19:25
Flood Statement (FLS)	21:24	06/24	06/22	-	10/18	06/09	06/20	06/10	03/11	06/25	18:00	06/09	06/26	20:24
Flood Warning (FLW)	05/31	08/06	06/08	-	02/19	05/23	06/08	06/08	02/18	06/22	05/17	05/20	08/25	01/11
River Summary (RVA)	04/20	-	-	-	-	-	-	-	-	06/18	-	-	-	-
River Misc (RVM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
River Recreation (RVR)	06/27	-	-	-	06/27	06/27	-	-	-	-	06/27	06/27	-	-
River Statement (RVS)	05/31	06/06	06/04	-	02/19	05/25	23:49	06/16	08/12	06/21	05/18	01/22	06/27	04/19

NWS에서는 LFWS(Local Flood Warning System)을 개발하였다. LFWS는 미국의 군소 지역 단위를 기반으로 하고 있으며 강우관측소, 수위관측소의 자료를 이용하여 홍수예측을 위한 수문모형을 이용하며 자원봉사자와 이동통신인을 담당하는 운영자(local coordinator)한로 구성된다. 미국 전역을 대상으로 하는 경우 20,000개소의 LFWS가 필요한 것으로 조사되었으나 최근까지 미국 전역에 걸쳐서 4,000개의 LFWS가 설치되어 있다. 지역단위 수문관측 장비의 부족 및 예산상의 이유로 인하여 미국 전역에 걸친 LFWS의 운영은 불가능한 것으로 보고되고 있다. 특히 수문관측 자료의 부족과 함께 지역단위 홍수예보를 하는 경우에 국지성 집중호우 및 유역의 짧은 예보시간등과 같은 기술적인 문제로 인하여 최근에는 LFWS보다는 돌홍수 예경보(FFG, Flash Flood Guidance)를 통한 지역단위 홍수예보에 치중하고 있는 실정이다. 지역단위 홍수예보인 LFWS는 운영체제의 구조에 따라서 수동시스템과 자동시스템으로 구분할 수 있으며 최근에는 수동시스템보다는 자동시스템이 주로 이용되고 있다. 자동시스템은 ALERT(Automated Local Evaluation in Real Time) 와 IFLOWS(Integrated Flood Observing and Warning System) 및 FFG(Flash Flood Guidance)가 있으며 각각의 구조는 다음과 같다(도시홍수재해관리기술연구사업관, 2004).

### 5.1 ALERT(Automated Local Evaluation in Real Time)

지역단위의 홍수예보를 위한 대표적인 시스템인 ALERT(Automated Local Evaluation in Real Time)는 NWS 산하 California-Nevada 하천예보 센터에 의해서 개발되었으며, NWS, 미지질국, 미육군공병단, 미개척국을 비롯한 여러 주와 지역 정부에서 사용되고 있으며 이는 홍수관련 자료, 예측 및 경보시스템 및 결과물들을 서로 원활하게 공유하기 위한 지역 정부간의 온라인 연계시스템으로 전국 홍수경보 관련 행사 및 조정 국가수문경보 위원회와 연계되어 운영되고 있다.

### 5.2 IFLOWS(Integrated Flood Observing and Warning System)

미국은 지역단위의 효과적인 홍수예경보를 위하여 통합홍수관측 및 경보시스템은 1978년에 국가 돌발홍수개선계획의 일환으로 개발되었으며 지역단위 효과적인 홍수예경보를 목적으로 한다. 즉, 지역에서 돌발홍수로부터의 생명과 재산 그리고 경제적인 피해를 감소시키는데 있으며, 초창기에는 아팔라치아(Apalachia) 지역의 돌발홍수 관리를 위해 구축되었다. 1979년에는 버지니아와 켄터키 주의 경계에 있는 3개주와 12개 카운티로 시스템이 확장되었으며 1981

년에 프로토타입의 프로그램이 완성되어 운영중이다. 최근에는 알라바마, 코네티컷, 델라웨어 등의 22개 동부지역 주에 확장되어 지역홍수 예경보를 위하여 사용되고 있다. 또한, 이는 자동홍수 경보시스템(AFWS)망과도 연계되어 운영되고 있다.

### 5.3 FFG(Flash Flood Guidance)

미국에서는 산악 및 도시지역에서 강한 호우로 인한 돌발홍수의 방어를 위하여 1969년 재해조사팀의 보고를 바탕으로 NWS는 돌발홍수감시 및 경보체제를 구축하였다. 이러한 돌발홍수 시스템은 13개의 하천예보국에 의한 하천수위 예경보 시스템이 미치지 못하는 지역 및 유역에 하천홍수예경보 시스템이 있는 곳이라도 강우에 특히 민감한 지역에 대해 예경보 시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다. 유역범위는 대체로 200-2,500km<sup>2</sup>이며 돌발홍수 감시 및 경보 프로그램은 하천예보국의 하천수위 예보지역이 아닌 유역에 단기 융설홍수(short fused flood)를 경보하는 수단이다. 홍수가능사태를 전달하는 지역자체 운영에 대한 경보계획은 중소규모의 수문자료를 관측하고 지류수위를 예보하는 능력을 갖춘 행정조직체가 담당하며, 이는 정상적인 시스템 하에서 규칙적인 하천 수위경보를 하기에는 너무도 촉박한 지역의 홍수 예경보를 수행하기 위해 설계되었다. 이는 지역홍수 예경보와 연계되어 짧은 시간의 홍수피해 경감을 위하여 효율적으로 이용되고 있다.

## 6. 결론

미국의 홍수예보 시스템의 특징과 현황을 정리하였다. 미국의 홍수예보 시스템은 NOAA가 가장 상위 기관으로 하위기관을 총괄하는 형태로 구성되어 있으며, 전국을 13개의 대유역으로 구분하여 운영할 뿐만 아니라 예경보 대상지역의 규모와 목적에 따라서 ALERT, IFLOWS, 그리고 FFG로 구성되어 있다.

기본적으로는 NWSRFS를 기준으로 예보 시스템이 운영되고 있으며 예보 시스템에 포함된 수문/수리 프로그램은 실시간 기상자료를 이용하여 최적 매개변수를 계속적으로 업데이트하여 최선의 예보가 되도록 설계되어 있다. NWSRFS에 포함된 각각의 수문과정에 대한 프로그램은 모듈화되어 있어 독립적으로 수정되고 매개변수를 조정할 수 있다. 따라서, NWSRFS는 지속적으로 최적의 결과를 도출할 수 있도록 운영된다. 뿐만 아니라 홍수예보센터의 결과는 미국을 13개로 구분하여 적용되므로 돌발홍수나 도시지역에서의 예보를 위해서 다양한 목적의 예보 시스템이 적용되고 있다. 그럼에도 불구하고 전체시스템은 NOAA와 NWS가 주도적으로 운영하여 전체 시스템은 서로 유기적으로 운영되고 있다.

우리나라의 경우에는 건교부 산하의 홍수통제소가 홍수예보를 주로 담당하고 있으며 기상청, 소방방재청의 중앙재난재해대책안전본부등 다양한 기관이 홍수와 관련된 업무를 수행하고 있다. 다양한 기관이 유기적인 관계를 유지하며 홍수를 저감하기 위해 노력하고 있으나 미국의 홍수예보 시스템보다는 상대적으로 느슨한 관계를 유지하고 있다. 따라서, 각 기관에서 수행중인 홍수예보관련업무를 상호보완적으로 수행할 수 있는 방안이 필요하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참고문헌

- National Weather Service(2006). NWSRFS Overview.
- 도시홍수재해관리기술연구사업단(2004). 국내의 도시홍수예경보 기법의 조사 및 평가(FFC03-07).