

유럽의 홍수 예·경보 시스템 개발 사례



이범희 ▶▶

배재대학교 건설환경·철도공학과 부교수
bhlee@pcu.ac.kr

자연에 순응하고 자연을 개척하면서 생활을 영위 해온 발자취가 인류문명의 역사이다. 자연현상의 이상은 태풍, 수해, 지진, 우박, 이상고온/저온 등의 수많은 자연재해를 일으킨다. 이중 홍수에 의한 수해는 우리나라의 기상학적 지역여건과 지형적 요소의 결과로서 거의 매년 막대한 인명피해 및 재산피해를 야기하고 있다. 이러한 홍수의 규모와 발생시각을 사전에 예지할 수 있다면 같은 규모의 홍수가 발생했다 할지라도 사전준비와 예방활동, 재해취약지구의 보강, 나아가 다목적 댐과 하구언 등의 적절한 조작에 의하여 홍수규모를 줄이는, 즉 홍수피해의 최소화를 기하게 될 것이다.

우리나라는 기상학적인 강우특성, 지형구조와 지질구성 등의 측면에서 이 치수 상으로 극히 불리한 자연적인 조건을 갖추고 있고 인문 상으로도 좁은 국토에 많은 인구를 수용해야하는 결과 토지이용의 고도화와 그간의 경제발전과 산업구조의 다양화로 인하여 피해의 대형화, 다원화를 가져올 수밖에 없는 취약점을 가지고 있고, 이러한 여건에 맞는 이 치수사업의 부진은 해마다 많은 홍수피해를 일으켜 과거 10년간(1986~1995) 막대한 인명손실과 재산피해를 야기했다. 이 피해로 인한 생활의 불편, 제반업무의 지장을 가져오는 간접 피해까지 포함한다면 실질적인 국가의 경제적 손실은 이보다 훨씬 많을 것이다. 치

수사업은 국가의 경제상황과 국민의식 등을 기본으로 이루어지는 사업으로서 하천제방의 높이, 내/배수처리시설, 댐 규모 등을 결정할 때 타당한 재현기간을 설정하여 이루어지므로 절대적인 안전성은 기대할 수 없는 현실적 문제 때문에 홍수피해는 일어나기 마련인 것이다. 이러한 홍수의 피해를 소프트웨어적으로 피해를 경감시키는 방법의 하나로서 등장하는 것이 홍수예보이다.

홍수예보의 효과는 직접적으로 귀중한 인명과 재산의 피해감소를 들 수 있고 간접적으로는 홍수발생시 홍수예측 기능에 의한 민심의 안정을 도모하는 효과를 볼 수 있다. 홍수피해의 경감은 우리나라에서는 측정된 바 없으나 미국의 예를 들면 단순한 홍수예보에 의해 피해액의 약 10%를 줄일 수 있고 댐 군의 적절한 운용을 겸하면 피해액의 약 30%를 줄일 수 있다고 한다.

전설적인 Noah의 홍수를 제외한다면 근대의 홍수예보는 1854년 France의 Seine강의 예보를 그 효시로 들 수 있고, 우리나라에서는 1920년의 한강 홍수로 인한 경각심에서 1925년부터 한강홍수예보를 실시하여 왔고 1965년에는 상류 댐건설에 따라 일부 수정하여 실시하여 왔는데 이는 대응수위법이라는 근본 이론에 하류의 강우상황을 약간 고려한 방법이다. 그러나 각종 하천의 조건 또는 강우의 시간적 분포상황에 따라서는 대응 수위법에 의한 홍수예측의 규모와 시각에 커다란 오차를 가져올 수 있고, 여유시간의 부족으로 홍수예보의 효율을 최대한으로 올릴 수 없는 결점을 가지고 있었다. 강우로부터 유출을 직접 계산하면 보다 많은 여유시간을 가질 수 있고, 강우와 유출간의 관계가 정의되면 정확도도 높일 수 있게 된다. 이는 근대 수리·수문학의 발전성과와 필요한

Data를 즉시 입수할 수 있는 통신의 발달 및 입수된 Data를 고속 처리할 수 있는 전산기의 출현으로 우량법에 의한 홍수 예·경보 방법이 실용 가능하게 된 것이다.

세계에서 홍수예보를 가장 먼저 실시한 사례는 프랑스의 M.Belgrand가 세느(Seine)강에 1876에 Pari Austerlitz 수위표의 수위를 3일전에 예보하여 1cm 의 오차를 가져왔던 것이 홍수예보의 효시라고 이야기하는데 우리나라에서의 홍수 예·경보 시스템의 수립을 위하여 유럽에서 연구 및 시험 운영되고 있는 각종 홍수예경보들을 알아보도록 하였다.

1. ANFAS (Data Fusion For Flood Analysis And Decision Support)

큰 규모의 홍수는 전 세계적으로 매우 중대한 일로서 아시아의 중국, 방글라데시뿐만 아니라 유럽의 각국들로서도 이로 인하여 정기적으로 괴로움을 겪고 있다. 따라서 이러한 어려움으로부터 벗어나기 위하여 유럽공동체와 중국이 협조관계를 통하여 ANFAS 계획을 수행하게 되었다.

ANFAS (Data Fusion For Flood Analysis And Decision Support)계획은 최근에 들어와 가장 발달된 자료 처리 및 관리 기술을 결합하여, 홍수의 예방 및 보호를 위한 의사결정시스템을 개발하려는 것으로 2000년 1월 1일부터 2002년 12월 31일까지 진행되었다. 자금 지원은 유럽공동체, 중국 과학 기술부 및 세계은행에서 지원하였으며, ERCIM (European Research Consortium for Informatics and Mathematics)를 구성하여 시행하였다. 이에 따라 본 시스템은 홍수재해의 발생 시 주민의 대피, 제방의 보완 등 이에 대한 가장 적절한 조치를 취할 수 있도록 의사결정자를 도울 수 있도록 하였다. 본 시스템은 3개의 시험 유역(슬로바키아의 Vah 강 상류, 중국 양쯔강의 Dongtin 호수를 따라 접한 JingJiang 유역에서 시스템을 수립하고, 프랑스의

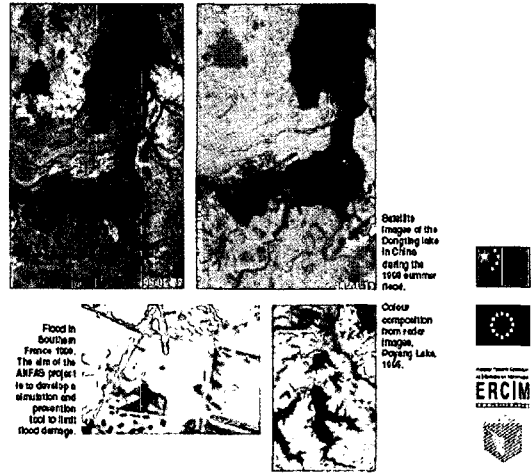


그림 1. 1998년 여름 홍수기의 중국 Dongting 호에 대한 위성 영상(우상)과 1995년 Poyang 호에 대한 레이더 영상 (우하)

Loire 계곡 중부에서 검증, 보완)을 통하여 적용, 검증되었다(그림 1).

유럽공동체와 중국 등의 연구 협조체계 하에서 이들은 상호간에 인공위성 기술이나 과학계산, 인터넷 기술, GIS 기술 및 기식기반 시스템, 지반공학 등 다양한 영역의 기술들을 교환할 수 있도록 하였다.

실제로 홍수에 직면한 경우, 의사 결정자들은 주민들을 피난시키거나 제방의 보강 혹은 의도적인 제방의 파괴 등 상황에 가장 적합한 대응 방안을 신속히 결정하여야 하는데, ANFAS 계획의 목적이 바로 홍수의 피해를 제한하기 위한 의사결정자들의 의사결정을 돕기 위하여 모의하고 피해를 방지할 수 있는 도구를 개발하고자 하는 것이다.

따라서, ANFAS 사업은 가장 발전된 데이터 수집 기술을 이용하여 얻어진 자료들을 사용하게 되며, 특히 광학 레이더 및 간섭 레이더 등의 원격탐사 영상을 전통적인 지리정보체계 DB에 통합하여 운용할 수 있게 하였다. 이에 더하여 영상자료의 처리도구 및 홍수 모의모형 등이 개발됨으로 인하여 본 시스템은 최종사용자가 사용하는데 있어 시스템의 결과 모의 및 평가, 시스템의 설계, 사용 목적의 정의 등에 매우 편리하여 실제적으로 활용할 수 있다는 장점을 갖게

하였다.

본 시스템의 가장 중요한 특성중의 하나로는 본 시스템이 갖고 있는 모듈화 특성으로 이는 필요에 따라 쉽게 모듈들을 교환하여 적용할 수 있다는 점이다. 즉, ANFAS 시스템은 다음과 같은 여러 분야에 대하여 적용할 수 있다.

- ① 각각의 시나리오를 따라 유량 흐름의 전파과정을 모의하거나 홍수의 모의를 실행할 수 있다.
- ② 홍수 피해의 정도를 모의할 수 있으며, 홍수의 평가는 모의 결과에 의하여 평가하거나 실제 홍수 사상에 의한 원격탐사 영상을 사용하여 평가할 수 있다.
- ③ 예측되는 수위에 대하여, 주어진 대상 구역에서의 연속적인 홍수에 따른 하상의 변화 및 수면 하단의 성질변화 영향을 모두 포함하는 지형학적 홍수면을 해석해 낼 수 있다.

최종적으로 이러한 결과 값들을 다음과 같이 제시



그림 2. 홍수는 1999년 프랑스에서와 같이 정기적으로 인명의 손실 혹은 재난을 일으킨다. ANFAS 계획의 목표는 홍수의 피해를 모의하고 방지할 수 있는 도구를 개발하려는 것이다.

할 수 있다.

- ① 홍수범위를 2차원 지도로 가시화(visualization)할 수 있으며, 모의 모형을 수행하면, 시간의 진행에 따른 홍수모의의 전파과정을 제시할 수 있다.
- ② 직접적인 영향의 평가를 총 영향 면적에 대하여 시행할 수 있다. 영향을 받는 면적 전체에 대하여 국부적 해석 혹은 통계적 해석을 수행할 수

있다.

- ③ 홍수에 의한 직접적인 피해에 대하여 단순한 사회-경제학적 평가를 수행할 수 있다.

결국 본 시스템의 개발로 인하여 얻을 수 있는 최종적인 결과물로서는 최종 사용자가 사업의 수행을 위하여 요구하는 3개의 부 시스템 (GIS, 영상처리모형, 홍수모의모형)이 상호 결합하여 이루어지는 통합형 정보시스템을 구성할 수 있을 것이다.

2. 독일 쾰른시의 재해 비상 관리 시스템 (FLOod MAnagement SYstem, FLOMASY)

강력한 위험 경보 및 관리시스템에 대한 필요에 의하여 홍수방지 센터를 중심으로 FLOMASY(FLOod MAnagement SYstem)을 구성하게 되었으며, 따라서 본 시스템의 목적은 홍수 예측과 재해의 관리를 동시에 만족하려는 것이다. 이는 홍수 예측시스템과 비상관리 시스템을 결합한 시스템으로 1999년부터 개발이 시작되어 현재까지 시험 적용되고 있다. FLOMASY는 분포형 정보체계를 기반으로 설계된 컴퓨터로서 각 터미널들이 중앙 데이터베이스에 온라인으로 연결된 유기적 연결체계로 구성되었다. 현재 GIS와의 결합을 진행 중이며, 이를 통한 범람지도 제작이 그림 3과 같이 제시되었다.

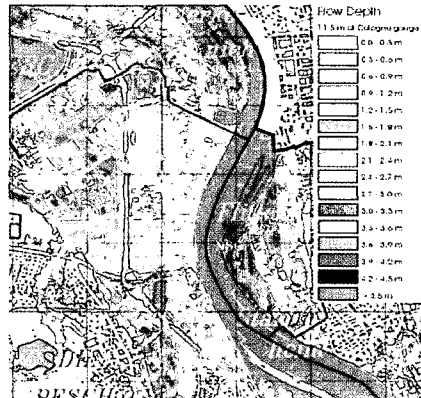


Figure 4. Flood map for a catastrophe scenario

그림 3. 재해 상황에 대한 홍수지도 예

2.1 홍수 예측

일반적으로 홍수의 예측을 위해서는 신속한 자료의 업데이트가 필요한데, 이러한 자료의 업데이트 간격은 홍수의 피해규모에 종속적이다. 즉, 이전의 방식에 의해서는 작은 홍수파가 예상되는 경우에 있어서는 3시간 정도의 간격으로 각 측정 점으로부터 측정되나, 큰 홍수파의 경우에 있어서는 1시간 간격을 기본으로 관측되어야 하며, 이렇게 취합된 자료들을 전화로 전달받고 수동으로 입력하여 통계 처리하는 방식을 사용해 왔었다. 그러나 본 시스템(FLOMASY)의 경우, 전화선 대신 전자 통신망을 사용하여 홍수 방지센터에서 신속하게 자료를 취합할 수 있게 되었고 컴퓨터에 의한 예측의 실행으로 필요한 인력의 감소와 신속한 결과를 얻을 수 있게 되었다.

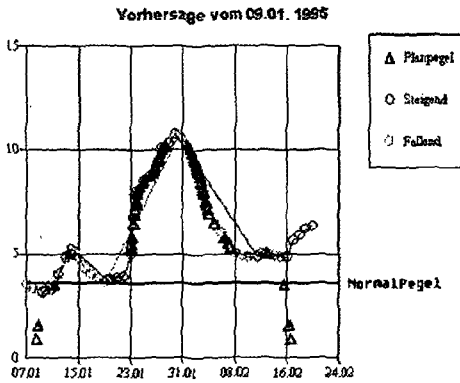


그림 4. 컴퓨터 예측의 시행

2.2 관측 Data-Base

켈른의 특정 지점에서 관측된 자료들은 일반적으로 홍수통제소의 특정 직원만이 유일하게 관리·사용할 수 있었다. 따라서 이 직원이 은퇴를 하게 되는 경우에는 어떻게 도시를 효과적으로 관리할 수 있었는가에 대한 지식을 잃게 되는 사례가 발생할 수 있으므로 큰 위험에 도달할 수도 있다.

이에 따라 FLOMASY는 이러한 경우를 방지할 수 있는 지식관리시스템으로서의 역할도 수행할 수 있도록

구성되었으며, 관리인의 행동지침 및 재해에 대한 반응 등의 정보를 제공할 수 있도록 구성하였다.

2.3 비상 대처 계획 (The Emergency Plan)

비상사태에 대하여 대처할 수 있는 계획이 미리 정의되어 있으며, 아래의 (그림 5)와 같이 논의될 수 있다. 즉, 이러한 비상 대처 계획에 따라 시행하게 되면, 위험 관리인은 신속한 반응이 가능해 짐으로 인하여 인력자원의 적절한 배치를 위한 충분한 시간적 여유를 확보할 수 있게 된다.

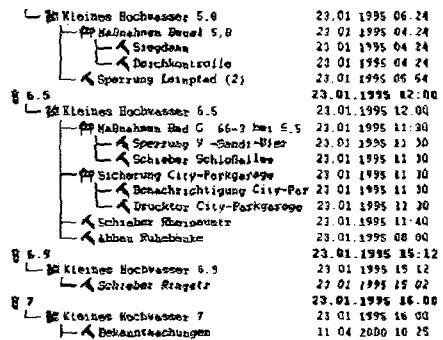


그림 5. 비상 대처 계획 (The Emergency Plan)

▶ 이렇게 구성된 본 시스템의 장점으로서는,

- ① 관측의 시행의 가속화
- ② 관측치들 간의 상호 관련 정보 제시
- ③ 비상관리체계 관리 감독기능 강화 및 발전
- ④ 결과의 시각적 제시기능 강화
- ⑤ 효과적인 보고체계의 제시
- ⑥ 책임 범위에 대한 부여 및 유지
- ⑦ 책임 공무원에 대한 효과적인 평가 기회
- ⑧ 자료의 중앙관리
- ⑨ 예측 기법의 표준화
- ⑩ 연속적인 단계의 재해 관리인들 사이의 효과적인 지식 이전이 가능하다는 것 등을 들 수 있다.

3. 유럽 홍수 조기 경보 시스템 (European Flood Early Warning System)

좋은 예측 및 경보시스템을 갖추게 되고 정보가 정시에 공개될 수 있다면 많은 재난들을 방지할 수 있을 것이며, 특히 적절한 공간적 방재 계획을 통하여 홍수 피해를 감소시킬 수 있다. 이에 따라 구성된 유럽 공동체 홍수 조기 경보시스템의 장점으로는,

- ① 먼 장래에 대한 예측이 가능하고,
- ② 국가 조기 경보 시스템으로의 활용이 가능하여 시스템 자체적으로 이중 검토가 가능하며, 예측 빈도를 24시간에서 12시간 혹은 6시간으로 변경해 줌으로써 자주 예측이 가능하다.
- ③ 적십자 등 국제구호기구 등의 조기 경보
- ④ 다른 유럽공동체 국가들에 대한 조기 경보
- ⑤ 국가적 예측시스템에 대한 지원시설로의 활용이 가능하다는 점 등을 들 수 있다.

3.1 유럽 공동체 조기 홍수 경보 시스템의 특성

유럽 공동체 조기 홍수 경보 시스템의 특성으로는 0브뤼셀에 위치하고 있는 공동연구센터가 유럽 공동체 조기 홍수 경보 시스템의 본체이며, 각 회원국들의 연구를 뒷받침하고 있고, 행정상의 경계(국가 및 주)를 통과하거나 공유하는 강들에 대해서는 유역 전체에 대하여 통합적인 접근이 유효하며, 본 공동체를 통해서 각 국가의 이익과 독립적인 조언을 제공할 수 있다. 또, 공동체에서는 각 회원국들에게 후원금(농업, 공간계획, 지역 기금 등)을 제공하고 홍수 피해에 대한 정책적 영향을 평가하고자 하였다는 점 등을 들 수 있다.

이러한 특성을 통하여 유럽 공동체 조기 홍수 경보 시스템이 구성되었으며, 분포형 강우-유출모형으로서의 LISFLOOD 구성과 모의 개념 및 구조는 그림 7~그림 9와 같다.

TOWARDS A EUROPEAN EARLY FLOOD ALERT SYSTEM (EFAS)

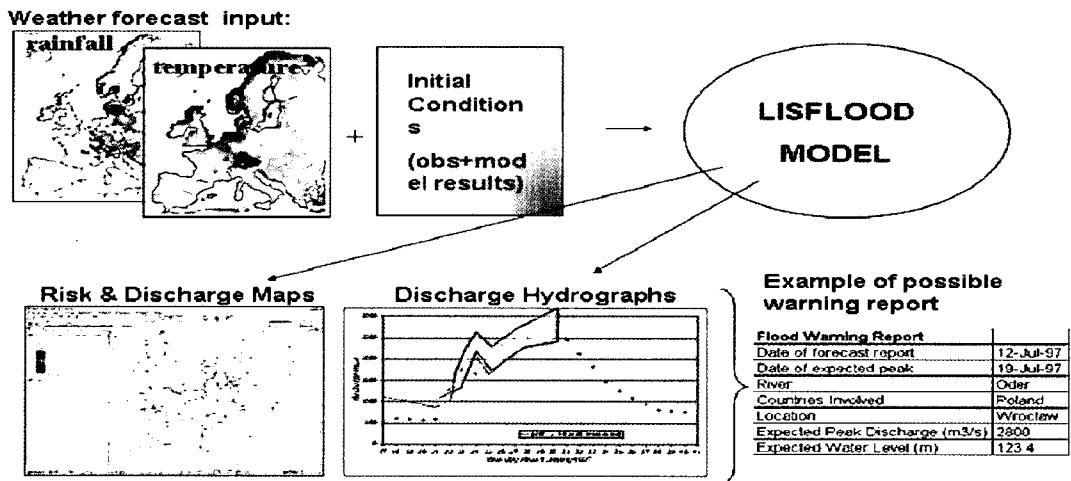


그림 6. 유럽 조기 홍수 경보 시스템

LISFLOOD : a physically based rainfall-runoff model programmed in a dynamic GIS-language

- Division Rainfall/Snow
- Interception
- Evapotranspiration
- Leaf drainage
- Vertical soil moisture redistribution
- Sub-surface lateral flow
- Groundwater recharge
- Groundwater flow
- Reservoir operations
- Retention storage
- Snow melt
- Glacier melt
- Soil freezing
- Infiltration
- Infiltration excess overland flow
- Saturation excess overland flow
- River channel flow (kinematic and dynamic wave)

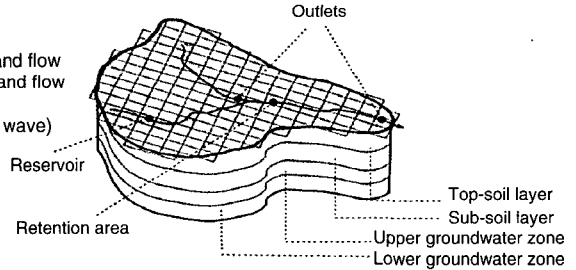


그림 7. 분포형 강우-유출모형으로서의 LISFLOOD 구성

THE LISFLOOD FLOOD SIMULATION CONCEPT

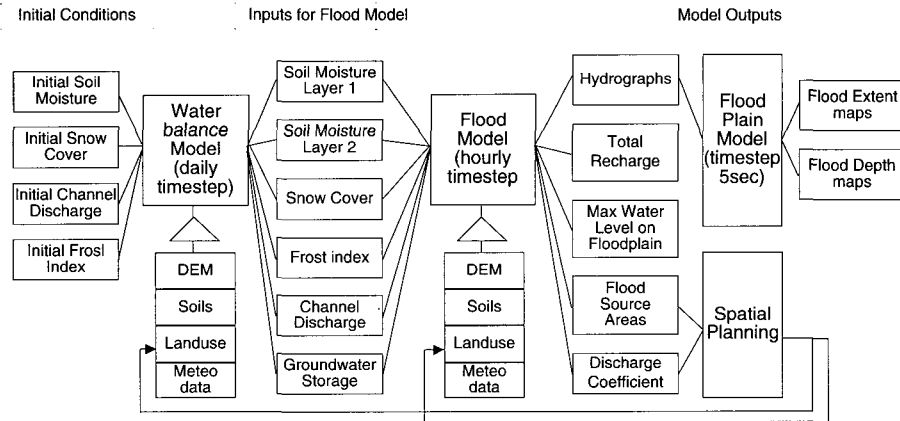


그림 8. LISFLOOD의 모의 개념

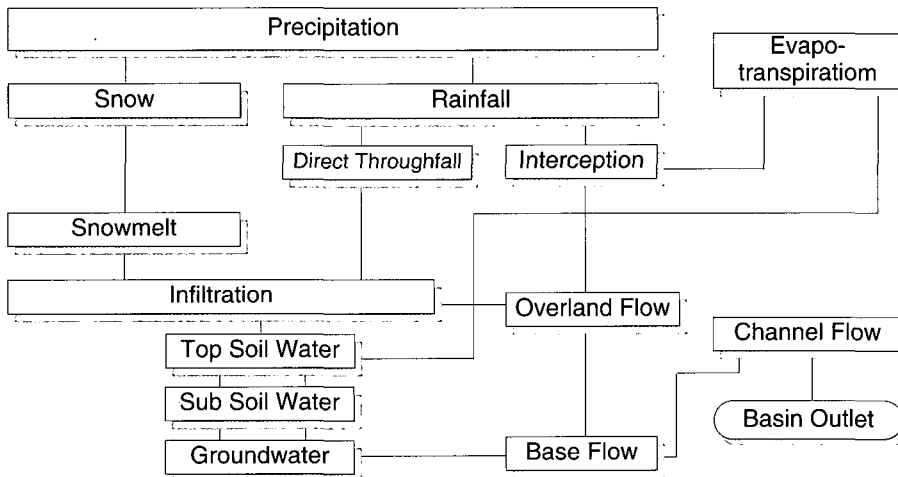


그림 9. LISFLOOD 모형의 구조

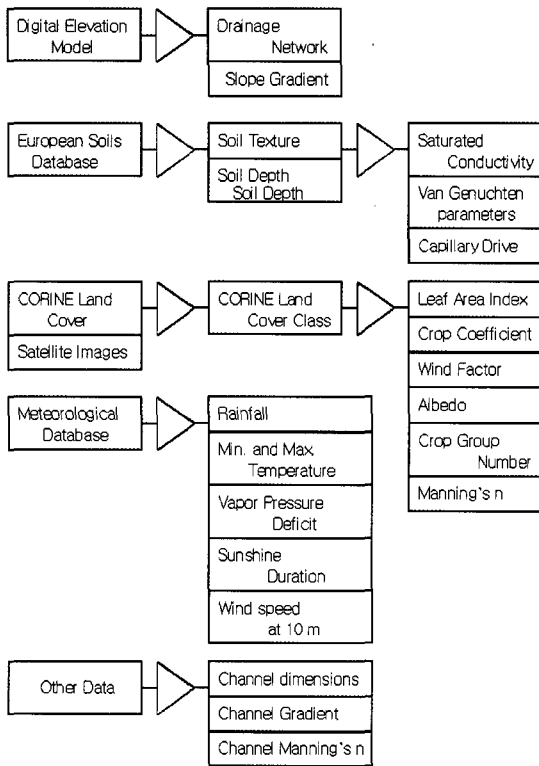


그림 10. LISFLOOD 모형의 입력자료 (Roo, et al., 1999)

LISFLOOD 모형은 홍수모의 모형으로 강우-유출-홍수모형(Rainfall-Runoff-Flood model)의 형태를 지니고 있으며, 특히 토지의 용도 (land use) 변화에 의한 영향 평가를 위하여 특별히 만들어진 모형이다.

홍수모의에서는 1시간 간격(time step 1 hour)으로 홍수기간 중 1~2달을 모의할 수 있으며, 토지 이용도의 변화, 기후의 변화 등에 의한 영향 등을 고려하여 홍수의 예측 및 모의를 수행할 수 있다.

▶ LISFLOOD 모형의 입력 자료로서는

- 시간 강우
- 일 최저/최고 온도
- 풍속, 햇빛, 증기압
- DEM, 지표경사, 물의 흐름방향

- 토지 이용도
- 식물 매개지표, Manning 계수 n
- 토양 깊이
- 토양의 특성
- parent material
- 초기 토양 함수도
- 하천 체계도
- 하도 단면, 하도 Manning 계수 n, 하도 경사 등을 포함하고 있다.

3.2 LISFLOOD 모형의 장점 및 적용의 어려움

▶ LISFLOOD 모형의 장점으로는

- ① 단일 및 통합 하천 유역에 대한 모의가 가능하다.
- ② 모의 실행에 있어서 공간적, 실제적 정밀도가 높다.
- ③ 예측을 하기 위하여 많은 유출량의 관측이 필요 없으며, 이로 인하여 더욱 먼 미래에 대한 예측이 가능하고 조기 경보에 더욱 적합하다.
- ④ 전체 유럽지역에 대하여 5 km 그리드 크기로 구성되어 있어 7~10일 홍수 예측이 가능하며, 2003년 말에 이르러 1 km 그리드 크기로 재구성되었다는 점 등을 들 수 있다.

▶ 이에 반하여 적용의 어려움으로는

- ① 토지 용도변화의 영향이 토양에 대한 침투능 및 수리학적 전도도에 미치는 영향을 매개 변수화 하는데 어려움
- ② 토양 깊이가 매우 민감한 입력 자료인데 비하여 유럽 토양도의 정밀도가 이를 뒷받침하지 못한 사례가 있음
- ③ Van Genuchten 매개변수의 불확실성
- ④ Leaf Area Index 및 crop 계수의 불확실성
- ⑤ 하도 단면 자료의 필요성
- ⑥ 제방의 파괴 등에 대한 모의의 어려움 등을 들 수 있다.

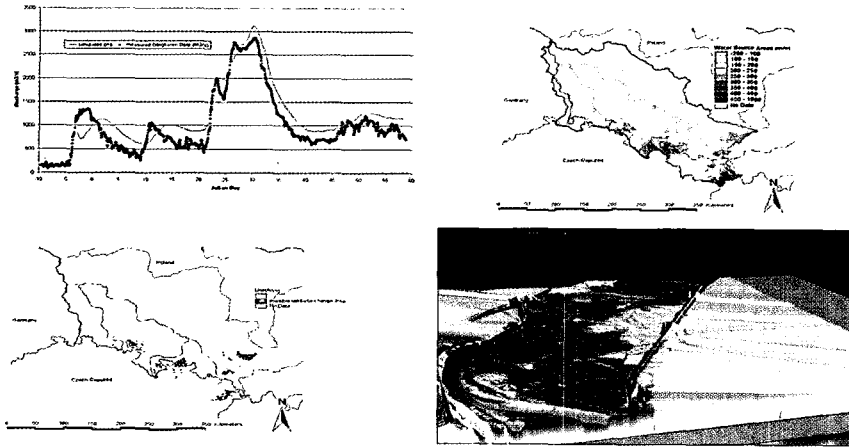


그림 11. LISFLOOD 모형의 적용

이상의 유럽사례 등을 통하여 최근 유럽에서 이루어지고 있는 홍수 예·경보 연구 및 운영 사례들을 살펴보았다. 우리나라에서도 최근 도시홍수 예·경보시스템에 대한 관심이 높아지고 이에 대한 연구가 본격적으로 이루어지고 있는 현황을 볼 때 선진 유럽의 홍수 예보 사례는 그 개념 및 시스템의 장점을 적극적으로 수용할 필요성이 있어 보이나 앞서도 제시하였던 바와 같이 각국의 시스템들이 그 나라의 특성을 반영하고 있어 나름대로의 장점에도 불구하고 그대로 도입하기에 어려운 단점들도 동시에 지니고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 우리나라 도시홍수 예·경보 시스템의 개발을 위하여 유럽시스템들 뿐만 아니라 미국, 호주, 일본 등의 홍수 예보 시스템들에 대한 검토가 충실히 이루어지고 각 시스템들의 장점들을 수용할 수 있다면 후발 연구자인 우리나라의 입장에서 많은 도움이 될 것이라고 생각된다.

감사의 글

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

참고문헌

- Roo, A.D., G. Schmuck, F. Somma, and D. Price (1999). "Simulating Flood Events in Transnational European Catchments", <http://natural-hazards.jrc.it/documents/floods/1999-docs/1999-presentations/pres99iiasa.pdf>
- Schmuck, G., A.D. Roo, J. Thielen, G. Franchello, and B. Gouweleeuw (2002). "Natural Hazards: Activities on Flood", http://natural-hazards.jrc.it/documents/floods/2002-docs/2002-presentations/FW6_launch_NHFloods.pdf
- Singh, V.P. (1995). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publication.
- South Australian Flood Warning Centre (2003). Weather and Warnings Information, <http://www.bom.gov.au/weather/>