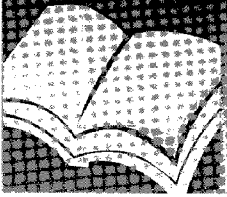


산지 돌발홍수 대응을 위한 기술개발에 대한 고찰

WATER
FOR
FUTURE



정재학
국립방재연구소 시설연구사
blueboat@korea.kr



이종설
국립방재연구소 시설연구관
jlee9609@korea.kr

1. 서론

최근의 기후변화는 집중호우의 빈도 증가추세로 나타나고 있으며, 이에 따라 돌발홍수로 인한 피해도 증가하고 있는 추세이다. 예를들면 최근, 06년 강원도 인제군 집중호우, 08년 경북 봉화군 집중호우 등을 살펴보면 이로 인한 산악지역의 돌발홍수 피해가 얼마나 심각한지 가늠할 수 있다. 이러한 돌발홍수에 대한 정의는 미 기상청(NWS, 1998)에서 제시하고 있는 내용을 바탕으로 정의를 내리고 있는 것이 일반적이다. 그 내용은 지역적으로는 좁고(약 100km² 이내) 경사가 급한 유역에서 느리게 유역을 통과하거나, 동일한 국지 지역내에서 빠르게 움직이는 집중호우(2시간동안 100mm 이상)나 태풍으로 인하여 수분에서 수시간의 짧은 시간내 하천의 급격한 수위상승을 유발하는 홍수로 정의되고 있으며 국내에서도 이와 유사한 개념을 가지고 돌발홍수에 접근하고 있다.

이러한 돌발홍수 대응에 있어 가장 기본은 예경보

발령이다. 예경보를 효과적으로 발령할 수 있느냐가 다음의 행동방침에 큰 영향을 주게 된다. 다시 말하자면 얼마나 정확한 예경보가 얼마만큼의 대피를 위한 선행시간을 확보하고 발령하는가가 중요한 요소이다.

이러한 예경보의 중요성은 다음의 일본자료를 통해서 쉽게 이해할 수 있다. 일본의 경우 1953년부터 태풍 경로를 추적하여 예보하기 시작하였으며, 1959년에는 컴퓨터를 이용한 예측이 시작되었다. 그리고 1960년경부터는 홍수로 인한 인명피해가 급격히 줄어들기 시작하는데, 이는 TV 보급률과 상관관계를 나타내고 있다. 즉, 홍수피해를 예측하고 그것을 알리는 것이 홍수피해를 줄이는데 얼마나 중요한지 보여주는 사례라 할 수 있다.

이러한 경우는 방글라데시에도 찾아 볼수 있다. 1991년 방글라데시를 덮친 사이클론은 최대 풍속 225 km/hr의 초대형 사이클론으로써 이때 사망자가 138,882명에 이르렀다. 그 이후 정확한 예측시스템을 도입하고, 국민들의 사회적 인식을 증대시킴과 동시에 적절한 예보를 전파할 수 있도록 체계를 구축한 이후 1997년에 1991년과 유사한 크기의 사이클론이 강

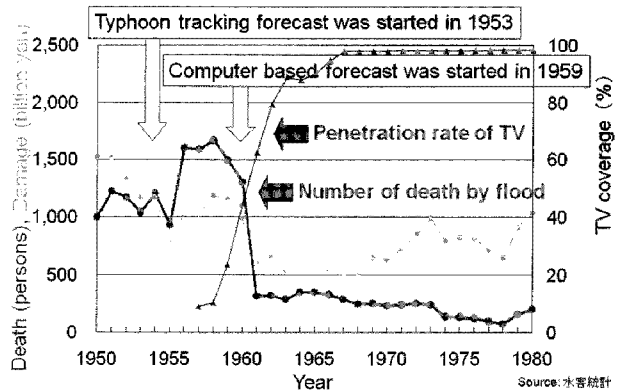


그림 1. 일본의 TV 보급률에 따른 홍수피해 사망자 관계



타하였으나 인명피해는 134명에 그쳤던 사례가 있다.

이와 같이 예경보는 인명 및 재산피해를 효과적으로 줄일 수 있으며 따라서 최근 급증하는 돌발홍수 피해에 대한 예경보 대책을 마련하는 것이 매우 시급한 과제라 할 수 있다.

2. 돌발홍수 대응관련 기술개발 현황

전 세계적으로 홍수에 의한 피해는 매우 큰 영향을 미치고 있다. 대표적인 사례가 1998년의 영국의 홍수로써, 이를 통해 영국의 수방정책 및 연구개발에 영향을 미치게 되었으며 2000년 또 한번의 홍수는 기록적인 홍수로써 기후변화가 미치는 영향에 대한 상황을 검토하게끔 만들었다(Robert 등 2005). 외국의 경우도 마찬가지이지만 대형 홍수가 발생한 이후에야 수방정책 및 연구개발 방향이 정해진다는 것은 매우 아쉬운 부분이다. 국내의 경우도 마찬가지여서 최근 갑작스러운 특히 야간에 발생하는 돌발홍수로 인해 많은 피해가 발생함에 따라 기상분야 및 수문분야에서 이러한 돌발홍수에 대응하기 위한 연구들에 관심을 가지게 되었다.

가. 기상분야

한반도 지역에 태풍의 강도 및 집중호우 빈도가 증가함에 따라 이러한 현상에 대한 원인을 밝히고자 기상분야에 대한 연구가 활발히 수행되었다.

국립기상연구소에서는 한반도 집중호우 발생·발달 메커니즘을 규명하기 위해서 기존 관측망과 연계하여 중규모 집중관측을 통한 집중호우 관련 집중관측자료의 생산이 요구됨에 따라 “한반도 악기상 집중관측사업(KEOP, Korea Enhanced Observing Program)”을 2001년부터 추진하였다. KEOP에서는 중규모 관측망을 구축하여 첨단고층 기상관측장비를 활용한 태풍 및 집중호우의 3차원 입체 기상관측과 태풍의 에너지원인 해양기상 관측자료의 생산, 위

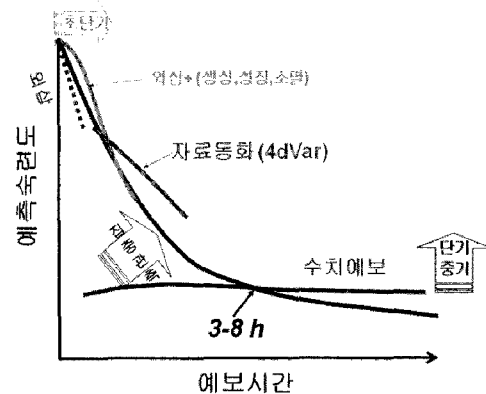


그림 2. 초단기예보 개요도

성과 레이더의 원격탐사자료를 이용하여 장마, 집중호우 그리고 태풍의 발생과 발달현상을 규명하고 예측하는 연구를 수행하였다.

돌발성 집중호우와 같은 기상현상을 예측하기 위한 초단기 예보는 1~2시간 이내에 다양한 자료의 신속한 취합에 기초한 실황으로부터 시작하여, 현재의 상태가 당분간 지속될 것이라는 외삽에 기초한 방법뿐만 아니라 여러 가지 기상학적인 도구를 이용하여 대기의 미묘한 부분까지도 감지하고 내다 볼 수 있는 기술이 필요하다.

또한, 기상연구소에서는 “단시간 강수예측능력 향상 연구”를 수행하고 있으며 돌발성 집중호우에 대한 예측성 제고를 위하여 초단시간 예측체계에 대한 연구 및 고해상도 수치모델을 통한 예측체계 구축에 관한 연구를 통해 예측 선행시간 확보를 위한 기반을 구축코자 하였다.

이밖에도 AWS 및 위성자료를 활용하여 강우예측에 활용코자 하는 연구들이 수행되었거나, 추진중에 있다. 특히 전통적인 강우계를 이용한 측정이 아닌 위성관측을 통한 강우 관측은 구름과 강수의 대기물 현상에 의해 방출 또는 반사된 복사강도에 기초를 두고 있다. 본격적인 강우관측은 1997년 미국 NASA와 일본 National Space Development Agency (NASDA)간의 공동 프로그램인 열대강우관측미션(TRMM, Tropical Rainfall Measuring Mission)은 열대 및 아열대지역의 강우를 측정하기 시작하였다. TRMM은 강우와 관련한 수문학적 지식을 획기적

으로 제고하였고 예보 목적의 강수량 자료 활용기법 등에 많은 공헌을 하였다. 최근에는 NASA를 중심으로 세계 여러나라의 국제 협력 프로그램임 Global Precipitation Measurement(GPM) 사업을 추진중이며, 이 사업이 성공적으로 이루어진다면 원격탐사 분야의 위성정보 기술 향상뿐 아니라 수문 및 수자원 분야에 실질적인 도움이 기대된다(기상청, 2006).

나. 수리·수문분야

돌발홍수는 도시지역과 도시외 지역(산지지역)에 따라 그 발생양상은 다르게 나타날 뿐만 아니라, 돌발홍수의 시공간적 분포와 강우강도는 일반적인 홍수 사상과는 매우 다른 양상을 가지고 있다. 또한 이러한 일반적인 홍수사상들은 비교적 장기간의 관측데이터를 가지고 있으며 이에 대한 분석을 통해 예측 및 예경보를 비교적 정확하게 실시하고 있다. 그러나 돌발홍수의 경우는 관측이 매우 어렵고, 돌발홍수를 모형화하거나 지배적인 프로세스를 구하는 것이 어렵다. 돌발홍수를 연구하는데 있어 가장 큰 장애물은 신뢰할만한 관측데이터가 절대 부족하다는 것이다. 돌발홍수에 관한 수많은 연구들은 대부분이 특정한 호우 또는 제한된 조건을 가지고 접근한 경우가 대부분이고 돌발홍수에 관한 강우-유출 관계를 분석한 경우는 극히 드문 실정이다.

결과적으로 돌발홍수를 연구하는데 있어 가장 필요한 것은 만족할 만큼의 빈도가 발생할 만큼 충분한 지역을 확보하고 이에 대한 신뢰할 만한 고해상도의 관측전략을 수립하는 것이 필요하다. 다시 말하자면, 돌발홍수 시범유역을 설정하는 것이 필요하다.

다행히 국내의 경우 돌발홍수 위험지역에 자동우량경보시설이 설치되어 있으며 부족하지만 일부지역의 경우 수위국이 함께 운영되고 있어 해당지역의 관측자료를 충분히 확보하고, 충분한 빈도의 돌발홍수가 발생한다면 향후 돌발홍수 발생 메카니즘 등을 연구하는데 있어 좋은 자료가 될 것이다.

수리·수문모형 분야에서 소유역에 대한 돌발홍수

연구는 상기에서 기술한 바와 같은 문제점으로 인해 어려운 실정이며, 다만 국내의 경우 자동우량경보시설 운영을 위해 지형기후학적 순간단위유량도(GCIUH) 모형을 통해 한계유출량을 산정하여 경보 발령을 위한 기준우량을 설정하여 사용하고 있으며, 국토해양부에서 개발한 “돌발홍수 예보시스템”에서도 F2MAP에서 GCIUH를 사용하고 있는 실정이다. GCIUH는 신속한 홍수분석 및 지형학적 조건을 잘 반영하는 모형으로 예경보 분야에서 이미 국내 적용 사례는 많은 것으로 나타났다. 이외에도 미국 Vieux & Associates사에서 개발한 Vflo 모형이 있다. 이 모형의 경우 레이더 강우시스템, GIS 수리수문모형 솔루션을 제공하는 물리기반의 분포형 모형이며, 모든 매개변수를 GIS를 통해 처리하여 매개변수 입력 상에서 발생가능한 주관적인 요인을 제거하는 등 홍수에경보에 훌륭한 모형이다. 다만 가격이 너무 비싸 이용하는데 제약이 있다.

이외에도 산지지역에서의 돌발홍수는 일반적으로 토석류를 동반함에 따라 토석류 모형에 대한 연구도 필요하다. 국내에서는 현재 “수충부 및 토석류 방재 기술 연구단”에서 이에 대한 연구를 수행중에 있으며 향후 연구단의 연구가 완료된다면 해당 연구내용을 기반으로 돌발홍수 예측부분에 있어 개선의 여지가 많다.

3. 향후 돌발홍수 대응체계 개발

돌발홍수 대응체계 개발에 있어 가장 큰 당면문제는 예경보 발령을 위한 의사결정시 강우예보의 불확실성을 수용할 수 있는 방법을 찾아내야 한다는 것이다. 이것은 결국 기상 및 수문분야간의 상호 협력을 통해 이루어져야 한다. 또한, 이러한 강우예보의 불확실성을 최소화 한다고 하더라도 수리학적 특성(하천횡단 구조물의 영향, 돌발 홍수파의 전파 특성, 돌 및 나무 등을 포함하는 토석류 흐름특성)에 대한 연구는 많은 과제를 부여하게 된다.

이에 현재 돌발홍수 대응을 위한 시스템 등을 개발하는데 있어 국내 여건에 대한 SWOT 분석을 실시하고, 이를 바탕으로 현재까지 개발된 돌발홍수 예측시스템 및 향후 연구개발 계획에 대하여 살펴보기로 한다.

가. SWOT 분석

국내 돌발홍수 예측 및 대응을 위한 기술개발에 대하여 SWOT 분석을 실시하였다. 강점은 매우 조밀하게 설치된 강우량계이다. 현재 기상청의 강우량계(AWS), 국토해양부의 강우량계 및 자치단체 강우량계 등 약 2400여개의 강우량계가 매우 조밀하게 설치되어 운영되고 있다. 이는 돌발홍수를 연구하는데 있어 매우 유용한 자료임에 틀림이 없다. 다만, 각 기관별 목적에 따라 설치되어 있어 공간분포 등을 고려하여 사용되어야 할 것이다. 또 하나의 강점은 국내 IT 기술수준이 매우 높다는 것이다. 이러한 IT기술은 현재까지 많은 부분 재난관리분야에서 이용되어 왔고 앞으로도 그 활용성은 증대될 것이다. 따라서 전국의 각종 방재정보들을 활용할 수 있다면 좋은 결과를 도출할 수 있게 된다. 이외에도 국립기상연구소와 국립방재연구소와의 MOU를 통해 돌발홍수 예측을 위한 기반이 구축되어 있다. 이는 기상분야 국가전문기관

과 방재분야 국가 전문기관이 서로 협력할 수 있으며 이를 통해 상호보완 협력한다면 국지적 돌발홍수 예측 및 대응에 더욱 효과적일 것이다.

이러한 장점에도 불구하고, 현재까지 돌발홍수 관련된 기초자료가 절대부족하여 돌발홍수 메카니즘 또는 물리적 모형개발이 없는 실정이다. 또한, 현재 하천에 대한 치수기능이 소방방재청과 국토해양부로 이원화되어 있어 시스템 개발과 활용에 있어 제약이 있으며 소방방재청의 소관업무상 접근이 어려운 한계가 있다. 그밖에도 강점으로 부각된 강우량계 등 자료의 조밀성은 너무 많은 개수로 인해 품질관리가 어려운 실정에 있다. 그러나, 이러한 약점에도 불구하고, 돌발홍수에 대한 국민적인 관심은 증가하고 있으며, 특히 최근 경북 봉화군 및 강원도 인제군 등 산악지역에서의 돌발홍수로 인한 피해는 이러한 돌발홍수를 예측하기 위한 필요성을 더욱 가중시키게 되었으며 이와함께 국가적인 대책을 요구하는 목소리도 커지게 되었다. 그리고 그간 산지지역에서의 돌발홍수와 관련하여 많은 연구들이 진행되었으나, 아직까지는 실용화된 기술은 없으나 이러한 연구들을 바탕으로 하여 실용화 시킬 수 있는 좋은 기회이며 또한 국가차원에서 적극적으로 추진되어야 한다.

이러한 기술개발을 위한 기회속에서도 아직까지는 선진국 대비 기상예측 및 홍수예보 등의 기술은 부족한 실정이며, 국가 주도의 재난관리는 결국 민간부분의 기술개발을 약화시켜 민간주도의 상용 시스템 개발은 선진국 대비 매우 미약한 실정이다. 또한 기후변화 및 급격한 도시화 등 토지이용변화는 돌발홍수의 잠재적 피해가능성을 예측하기 어렵게 한다.

<p>강점(Strength)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 조밀하게 설치된 강우량계 확보 • 세계 최고의 IT 기술과 재난관리 분야 기술 집목 • 기상연구소와의 협력을 통한 기술 개발 	<p>약점(Weakness)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 돌발홍수 관련 기초 자료 절대부족 및 검증 곤란 • 소방방재청 업무 Scope 한계 • 성급한 실용화 요구 • 강우 및 수위자료 품질관리 미흡
<p>기회(Opportunity)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 최근 돌발홍수에 대한 관심 증가 • 기후변화에 따른 돌발홍수 증가와 국가차원의 대책 요구 • 기 개발된 홍수분야 기술을 통한 응용개발 가능 	<p>위협(Threat)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 타부처의 대규모 홍수사업에 따른 상대적 위축 • 고도의 도시화에 따른 잠재적 피해예측 곤란 • 국가주도의 재난관리로 인한 민간부분의 기술개발 부족

그림 3. 돌발홍수 연구개발을 위한 SWOT 분석

나. 연구·개발 전략

오늘날 예경보 또는 조기경보는 재해관리에 있어서 매우 중요한 개념이다. 일반적인 홍수 경보시스템은 과거 수문·기상학적 관점에서 자료들을 취합하면서 발달하였으며, 수문·기상학적 관련 기관에서 이러한 자료들을 바탕으로 발전시켜왔다. 이러한 수문

관련 기관들의 과학적 관심은 홍수예측방법들을 개발토록 하였으며 이는 자연스럽게 홍수 경보 문제로 연결되었다.

그러나 지금까지 국내 학회나 전문기관의 관심은 주로 홍수경보 전달체계나 대응보다는 홍수를 관측하고 예측에 대한 기술적 개발에 집중하였다. 이는 하류부 하천에서 필요한 홍수예측 요소가 경보 및 대응시스템을 위한 체계보다 관심이 집중된 것을 의미한다. 결국 이러한 경보 및 대응시스템은 국가주도로 필요에 의해 개발되었으며, 이로 인해 최근에 들어서야 조금씩 관심을 두기 시작하고 있다. 이는 IT기술의 발달과도 연계되어 있으며 이러한 관심은 향후 홍수(돌발홍수)에 대한 예경보에 대한 변화의 시작이 될 것이다.

돌발홍수는 크게 발생위치에 따라 도시지역과 산지지역(도시외 지역)으로 나눌 수 있으며, 대응체계에 따라 지역단위 돌발홍수 대응 및 중앙차원의 돌발홍수 대응으로 나눌 수 있다(그림 4).

이러한 분류는 돌발홍수의 발생위치에 따라 돌발홍수의 발생 메카니즘이 다르기 때문인데, 도시지역은 불투수층이 요인이며, 산지지역은 산지 급경사가 주요인이 된다. 대응주체에 따라서는 현재 운영중인 자동우량정보시설을 중심으로 한 지역단위 돌발홍수 대응체계와 현재 방재연구소에서 추진중인 중앙차원의 돌발홍수 대응체계로 나누어 접근한다. 이는 서로 상호보완적인 관계를 가지고 구축되어야 한다.

기본적으로 돌발홍수 예경보 체계구축에 대한 목적은 국민에 대한 안전 확보와 함께 물적·인적피해

를 예방하는 것이다. 이러한 목적을 구현하기 위한 일반적인 3가지 추진지표를 설정할 수 있다.

3가지 추진지표는 돌발홍수 발생조건 완화, 돌발홍수 피해저감, 돌발홍수 취약성 해소로 구분할 수 있다. 첫째, 돌발홍수 발생조건 완화에 대한 지표는 홍수범람이 발생하기 전에 범람위험을 줄이기 위한 노력이라 할 수 있다. 이러한 지표는 돌발홍수 예측에 따라, 댐 및 저수지의 수문조작 및 배수펌프장의 효율적 운영과 함께 사전 예찰활동 등이 범람 또는 피해위험을 줄이기 위한 사전대응 노력으로 볼 수 있다. 두 번째인 돌발홍수 피해저감 지표는 범람 등에 따른 인명 및 재산피해를 줄이기 위한 노력이 될 수 있다. 이를 위해서는 대피를 시키기 위한 일련의 활동이다. 이를 위해서는 효과적인 대피경보 전달체계 구축이 필요하다. 세 번째인 돌발홍수 취약성 해소의 경우는 홍수에 대응하기 위한 지구적 노력이라 할 수 있다. 이는 돌발홍수 위험지역에 재산상의 피해가 야기되는 시설물 또는 관광지 등에 대한 구조적 대책 수립 및 국민 스스로가 피해를 대항할 수 있는 능력 재고에 있다. 이를 위해서는 구조적 및 비구조적 대책 수립이 필요하며 동시에 대국민 홍보 및 교육을 통해 취약성을 줄이는 노력이 필요하다.

상기의 추진 지표중 특히 관심을 가지고 있는 돌발홍수 피해저감을 위해서 2가지 추진 내용을 제시하고자 한다. 첫째는 돌발홍수 발생을 탐지하고 정밀하게 예측하는 능력이고 두 번째는 돌발홍수 예측지역에 대한 적절한 시간안에 홍수예측을 경보로 전환하여 신속히 연락하는 능력을 확보하는 것이다.

첫 번째 전략은 수문·기상화적인 접근을 통해 가능하다. 이는 결국 돌발홍수 발생 메카니즘과 프로세스에 대한 연구와 함께 기상학적 관점에서의 돌발홍수 발생 및 발달에 대한 예측 연구가 이루어져야 한다. 현재 기상학적 관점의 돌발홍수에 대한 연구는 기상청(또는 기상연구소)를 중심으로 이루어지고 있다. 그러나, 돌발홍수 발생 메카니즘과 프로세스에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이는 국내실정에 맞는 돌발홍수에 대한 정의를 명확히 정립하지 못하였을

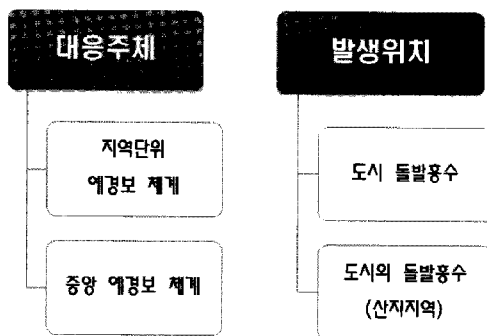


그림 4. 돌발홍수 대응주체 및 발생위치별 분류



뿐만 아니라, 관련 피해데이터 및 기초자료 등이 체계적으로 수집 관리되지 못하였기 때문이다. 현재까지는 각 이벤트마다 연구한 사례는 있으나 종합적이고 체계적인 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 돌발홍수에 대하여는 도시 돌발홍수와 산지 돌발홍수로 구분되어 향후 구체적인 기초자료 수집 및 발생 메커니즘에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

두 번째 전략의 경우 돌발홍수 예측자료를 경보로 전환하는 방식과 신속히 연락하는 능력 확보가 중심이라 할 수 있다. 예측자료를 경보로 전환하는 것은 정보발령 대상 또는 목적에 따라 다를 수 있다. 반대로 정보발령 대상 또는 목적에 따라 예측자료가 달라질 수 있다. 예를 들면 돌발홍수에 따른 하천변 관광객 또는 행락객의 대피가 목적인 경우와 돌발홍수에 따른 하천범람이 목적인 경우에 따라 다른 것이다. 따라서 정보발령 대상과 목적을 명확히 구분하는 것이 필요하다. 이와함께 경보로 전환하기 위한 의사결정 지원시스템의 구축도 필요하다. 이는 강우예측을 통해 향후 발생가능한 피해양상과 이에 대한 피해 대응체계를 갖추는 것에 연결되기 때문이다. 또한, 이러한 경보자료를 신속히 전달하기 위하여 통신 전달체계를 구축하여야 한다. 이러한 방재관련 통신 전달체계 등은 소방방재청을 중심으로 구축 운영되고 있

으나, 좀 더 체계적인 연구가 필요할 것이다.

결국 이러한 추진지표와 내용을 바탕으로 돌발홍수 예경보 체계를 구축하게 된다면, 궁극적으로 국민의 안전을 확보할 수 있는 시스템을 개발·운영할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 상기에서 설명한 바와 같이 돌발홍수 관련 연구를 구체적이고 종합적으로 수행하여야 할 것이며 이와 함께 돌발홍수 경보 전달 체계에 대해서도 많은 관심을 가지고 접근하여야 할 것이다.

4. 결론

돌발홍수 대응체계는 단순히 예경보 발령체계만을 구성하고 운영하는 것은 아니다. 앞에서 살펴본 바와 같이 돌발홍수에 의한 위험(범람)을 줄이려는 노력, 대피 노력 및 취약성을 줄이기 위한 각종 구조적 및 비구조적 대책 등이 동시에 수반되어 이러한 대응체계가 구성되어야 한다.

따라서, 예경보를 통한 대응체계 구축은 돌발홍수 예측에서 대피 및 방재정보의 전달 등을 포함하는 종합적인 대응체계 구축을 의미한다고 할 수 있다. 이러한 돌발홍수 예측 및 대응체계의 구축은 돌발홍수로 발생할 수 있는 피해를 줄이는데 최종적인 목적이 있다. 그림 6은 돌발홍수로 인해 발생하게 되는 인적·물적 피해내역을 나타내고 있다. 이는 결국 예경보를 통해 사전대응한다면 피해를 저감할 수 있는 내용이 된다.

물적 피해의 경우는 직접피해와 간접피해로 나눌 수 있으며, 이에 대해 각각 피해발생에 따라 바로 피해가 드러나는 1차 피해와 1차 피해결과에 따라 뒤따라 발생하게되는 2차 피해로 나눌 수 있다.

인적 피해는 기본적으로 사망 및 부상이 주요 피해 내용이며, 2차피해는 인명손실 및 재산상의 손실 등으로 인한 가족 및 친척들의 스트레스 증가 및 건강 악화 등이 있다. 결국 이러한 물적·인적피해들을 줄이 것이 가장 필요하며 최근의 기상이변과 예상치 못

돌발홍수 예경보 체계구축

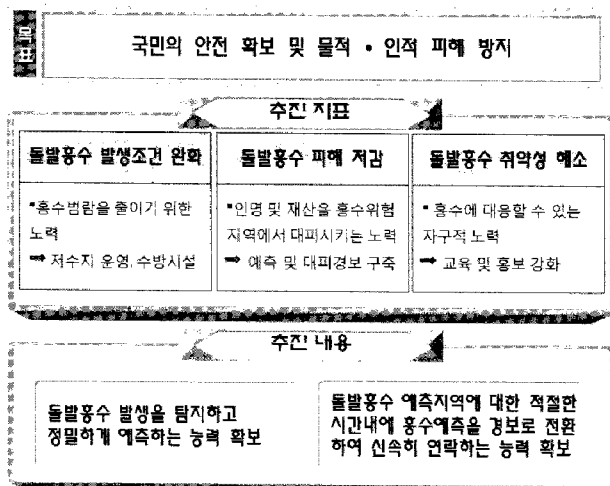


그림 5. 돌발홍수 예경보 체계구축 전략과 추진지표

한 재해발생은 예경보를 통해 최대한 대응할 수 있어야 한다.

결론적으로 돌발홍수 대응에 있어 가장 기본이 되는 것은 예경보이다. 돌발홍수에 대한 예측과 경보는

홍수위험관리에 있어서 매우 중요하다. 따라서, 대응 체계 즉, 예경보 체계를 구축한다는 것은 인명 및 재산피해를 효과적으로 줄일 수 있다는 것이다. ☞

참고문헌

1. 국립기상연구소, 단시간 강수예측능력향상 연구(Ⅱ-1), 2007
2. 김광섭, “다중센서자료를 사용한 돌발홍수예측모형개발” 한국기상학회, 제13권, 제1호, pp. 430-431, 2003.
3. 배덕효, “돌발홍수예측 모델링 기법” 한국수자원학회지, 제35권, 제4호, pp. 11-28, 2002.
4. 이범희, “유럽의 홍수 예·경보 시스템 개발 사례” 한국수자원학회지, 제39권, 제7호, pp. 61-68, 2006.
5. 전경수, 김병익, “돌발홍수 예경보 시스템” 한국수자원학회지, 제34권, 제2호, pp. 48-56, 2001 .
6. Borga, M., Gaume, E., Martina, M. and Thielen, J., "Realtime Guidance for flash flood risk management", FLOODsite Consortium, 2008.
7. Georgakakos, K. P., "Analytical results for operational flash flood guidance", Journal of Hydrology, Vol. 317, pp. 81-103, 2006.