

# 태풍 나리에 의한 제주지역의 수해 피해원인 및 대책

강상혁\*, 박원배\*\*

## 목 차

- I. 서론
- II. 홍수에 대한 기록
- III. 홍수의 원인
- IV. 최근 강우이벤트의 특징
- V. 종합적인 방재대책

## I. 서론

최근 지구 규모의 기후변동이라든가 급격한 사회·경제여건의 변화에 의해 우리는 거대한 자연재해의 시대로 향하고 있다. 현재 우리는 자연의 영향을 무시하고 생활을 영위하는 것이 불가능하게 되었다.

제주도는 지형적·사회적인 요인으로 인하여 3차적 산업 구조를 지니고 있으나 대규모 위락시설의 조성에 따른 도시의 난개발 등 오히려 자연 자원을 이용한 1차적 산업의 성격이 강한 산업구조를 가지고 있다. 유역 상류의 급격한 개발행위 및 생활기반의 변화가 심한 사회구조는 오히려 사회의 방재력을 저하시키는 유인이 되고 있으며 또한 관광산업을 주로 하는 이 지역의 생활경제에 직접적인 영향을 미치는 요인이 된다.

\* 한라건설 기술연구소 수석연구원

\*\* 제주발전연구원 연구위원

집중호우로 인해 발생하는 인명 및 재산 피해는 대부분 유역 상류지역이 개발됨으로써 발생되고 있다. 이러한 지역에 대하여 하류부의 홍수피해 절감을 위해 각종 하천 시설물과 홍수예·경보 시스템 등의 홍수방어시설 및 체계는 집중호우 및 홍수로부터 인명과 재산 피해를 줄이는데 크게 기여하여 왔으나 홍수가 가지는 잠재적인 피해능을 고려해 볼 때 이로 인한 피해는 더욱 커질 것으로 예상된다.

인간은 지진이라든가 호우와 같은 자연의 외력으로부터 자신을 지키기 위해 여러 가지 대책을 모색하여 왔다. 이에 방재시설 및 방재설계 등에 의한 직접적인 것에서부터 예측, 예·경보 시스템에 의한 피난, 재해를 회피하기 위한 토지의 선택 등의 간접적인 것에 이르기까지 여러 가지가 있다. 이들을 자연재해에 대한 우리들의 사회가 가지고 있는 저항력으로 총칭한다면 자연의 외력이 저항력을 상회할 때 재해가 발생한다. 이 경우 재해의 양상은 외력의 종류, 크기 및 사회의 특성에 크게 의존한다. 사회가 가지고 있는 저항력이 작은 곳에서는 외력이 그다지 크지 않아도 재해가 발생하며 또한 인구가 밀집해 있는 지역에서는 큰 재해가 일어날 위험성이 있다. 따라서 재해의 문제는 가해 요인으로서의 외력, 피해요인으로서의 사회의 양면성으로부터 고찰할 필요가 있다.

## II. 홍수에 대한 기록

### 1. 세계 각지의 홍수기록

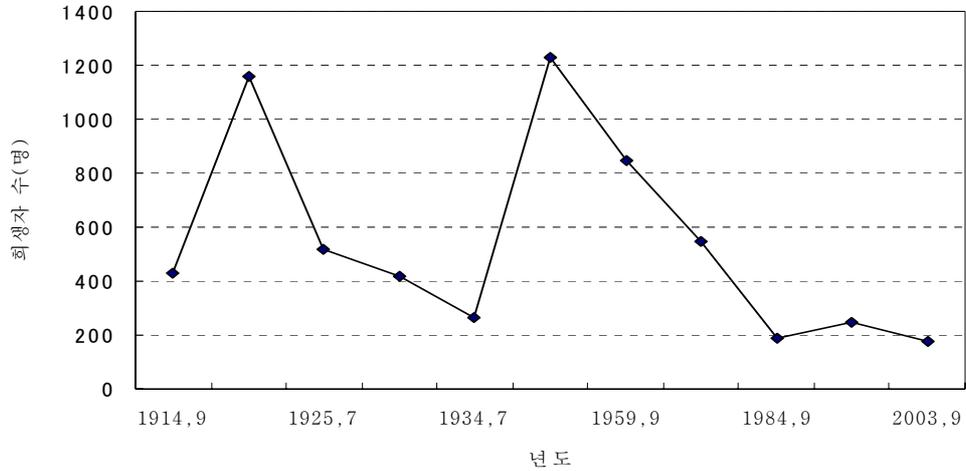
과거의 경험으로부터 우리는 큰 재해를 일으키는 천재지변이 어느 정도의 빈도로 발생되어 왔음을 알고 있다. 그 빈도는 우리들의 의식에 있어서 시간 스케일을 초과하고 있으므로 ‘천재지변은 잊을 만하면 다시 온다’라는 명언을 만들게 된 것이다. 구약성서에 노아의 홍수이야기가 있다. ‘큰 연못의 수원지는 파괴되고 하늘의 창이 열려 비는 40일간 내렸다. 모든 사람은 물에 잠겼고 지상의 모든 생물체는 사멸했다. 단 신의 예언대로 방주에 피난한 노아들만 남았다’ 이 홍수 이야기는 단순한 신화가 아니라 구약성서가 쓰인 시대보다 훨씬 이전인 시대에 인류가 실제 경험한 큰 홍수의 전승(傳承)임을 메소포타미아 발굴조사에서 분명해지고

있다. 이와 같은 홍수 이야기는 이뿐만이 아니라 세계 각지에 있다. 이는 인류에 큰 재해를 불러오는 천재지변이 장소를 가리지 않고 어디에도 일어날 수 있음을 주지하고 있다.

## 2. 우리 나라의 수해의 변천

<그림 1>은 1914년에서 최근 2003년까지 약 100여 년간 수해에 의한 인명피해자의 추이를 나타낸 것이다. 연대별로 피해자에 대해 보면 하천법이 수립되지 않은 1960년대까지는 1,000여 명에 이르는 인명 피해자를 내고 있다. 이 시기는 일제 강점기 및 한국전쟁의 전, 후로 황폐한 국토를 대형 태풍이 이어서 급습하였다. 1960년대 이후는 근대 하천법에 의한 하천정비, 기상예보에 의한 사전적 준비, 그리고 초대형 태풍이 급습하지 않은 행운도 더해져 태풍에 의한 대규모 인명피해는 줄어들고 있다.

그러나 2000년대에 이르러 도시형 수해가 눈에 띄게 증가하고 있다. 이는 급격한 도시화에 의해 종전은 실질적으로 우수지로써의 역할을 해 온 지역이라든가 산기슭 주변의 위험한 지역에 신항 주택이 확산된 결과이다. 그 결과 지금까지 주택지로써 그다지 이용되지 않았던 하천의 범람원이라든가 구 하도 등의 농경지 저평야에도 도시화의 영향이 미치게 되었다. 또한 주택개발은 구릉지에도 급격히 진행되어 경사가 심한 사면에도 택지가 조성되기에 이르렀다. 이런 급격한 도시화는 새로운 형태의 홍수를 초래하여 사회적 주목을 받게 되었다. 그 대표적인 것이 내수 재해이다. 홍수 또는 고조(高潮)대책으로 하천이라든가 연안에 연이어 대규모 제방이 설치되면 주거지 내측에 있는 중소하천의 물은 물길을 잃어 제방의 내측에서 범람한다. 이와 같이 제방의 내측 즉 주거지 측에서 범람하는 물을 내수(內水)라고 하고 이로 인하여 생기는 재해를 내수 재해라 한다. 이에 대하여 하천이라든가 해안의 주거지로부터 외측의 물을 외수(外水)라 한다.



<그림 1> 인명피해자의 추이(1914-2003)

### Ⅲ. 홍수의 원인

#### 1. 자연적인 요인

##### 가. 지형적인 요인

한반도 전체의 지형을 살펴보면 전국토의 70% 이상이 산지로 형성되어 있으며 남한의 경우를 고려하여도 66%가 산지로 구성되어 있다. 또한 동해안을 따라 남북으로 뻗어 있는 태백산맥의 영향으로 북쪽과 동쪽이 높고 남쪽과 서쪽이 낮은 지형적인 특징을 가지고 있다. 이러한 지형학적인 영향으로 우리나라의 하천은 대부분 유로연장이 짧고 급경사로 각종 재해에 대한 잠재적인 발생 위험이 높은 지역이 많으며, 산지는 대부분 화강암과 편마암으로 구성되어 표토층이 얇고 수분의 함유능력이 작아서 수목의 성장에 부적당하므로 풍화, 침식 등으로 산사태를 유발하거나, 하천 유사량을 증가시켜 하천의 통수능력을 저하시키거나 급격한 유출을 초래하여 홍수피해를 유발시키는 요인이 되고 있다.

## 나. 기상학적 요인

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm이고 연평균 강수총량인 수자원 총량은 1,267억 m<sup>3</sup>이다. 연평균 강수량은 세계 연평균 970mm인 1.3배가 된다. 그러나 우리나라의 인구 1인당 강수총량인 3,000m<sup>3</sup>는 세계 인구 1인당 강수총량 34,000m<sup>3</sup>의 1/11정도에 불과하다.

더욱이 6~8월에 전체 강우량의 2/3가 집중되는 기상적인 특성으로 인하여 여름에는 홍수재해에, 나머지 기간에는 갈수재해에 의해 피해를 입을 가능성이 높은 지역에 위치하고 있다.

## 2. 인위적인 요인 (사회환경의 변화)

최근 지구상의 사회환경이 크게 변하여 세계적 규모로 빈발하고 있는 대재해의 원인이 되고 있다. 대재해가 빈발하고 있는 배경에는 지구상에 있어서 폭발적인 인구 증가와 그에 따른 환경파괴가 주지의 사실이다. 400만년 이전에 출현한 인류가 최초로 10억명이 된 것은 19세기 초로 되어 있다. 이것이 1920년 경에 30억명, 1987년에는 50억 명을 돌파, 21세기 초에는 60억명을 초과하는 것이 사실로 되어 있다. 이와 같은 폭발적인 인구증가는 인류의 긴 역사 중에서도 과거 30년간이 가장 폭발적인 증가 현상이다. 그 대부분은 개발도상국의 인구증가이지만 농산촌의 과잉 인구는 농경지의 확대, 휴경지의 단축, 화전에 의한 산림의 소실을 야기하고 세계적인 사막화를 촉진하기도 한다. 선진국에 의한 목재수입이라든가 각종 개발 행위도 이에 박차를 가하고 있다. 또한 도시의 인구 집중에 의해 재해를 받기 쉬운 여건이 되기도 한다. 최근의 재해가 개발도상국에 집중해 있는 것도 이러한 연유에 기인한다.

우리나라는 지진, 화산과 같이 대규모 인명피해를 유발하는 재해 기록은 없었으나 홍수, 태풍, 토석류와 같은 재해는 매년 반복적으로 일어나고 있다. 최근 여러 가지 방재 시책이 수행됨으로써 어느 정도의 재해에 대응하도록 되었으나 여전히 매년 200명 정도의 인명피해가 발생하고 있다. 특히 1970년대부터 1990년대에 이르기까지 경제의 고도성장기에 걸쳐서 도시의 인구유입이 격화되어 저평

야라든가 하천변 혹은 연안습지를 매립하면서 주택 및 각종 건물이 조성되었다. 또한 주변의 구릉이라든가 산지는 개발되어 택지로 전환되었다. 이와 같은 환경 변화에 의해 강우시의 유출량이라든가 유출 토사량은 증대한다. 그러나 방재대책이 개발속도에 부응하지 못하는 경우가 많고 오히려 재해 위험 지대에 있어서 인구·자산의 증대를 방치하는 결과가 되었다.

도시화와 재해에 관한 다른 하나의 중요한 문제로서 현대사회는 재해에 대하여 극히 취약한 구조임을 들 수 있다. 현대사회는 유기적으로 조합된 라이프 라인이라든가 정보망의 은혜를 입고 쾌적한 생활을 향유하고 있다. 그러나 라이프 라인이라든가 정보망은 네트워크를 형성하고 있어 어딘가 손상을 입기 쉽다. 한 번 이들이 손상을 입게 되면 그 영향은 넓은 범위로 확대되고 시민생활은 파괴된다. 이는 편리한 생활에 익숙한 우리들로서는 큰 고통이 되고 경우에 따라서는 혼란을 야기한다. 또한 경제적인 손실도 크다. 우리들의 생활을 지지해 주는 자동차 및 컴퓨터도 재해에 대해 취약하고 이들이 재해를 격화시키는 원인이 되기도 한다. 이와 같이 현대사회에 있어서 재해에는 이전에 볼 수 없었던 새로운 측면이 나타나기도 한다.

### 3. 도시화와 유출

최근의 도시지역에서의 수해의 증가는 도시화에 따르는 토지이용의 변화에 기인된 것으로, 호우 시에 있어서 우수의 단기간의 유출 및 침투유량의 증가에 의한 영향이 크다. 이러한 재해 잠재력을 증가시키는 요인이 수해를 유발시키기 쉬운 저지대에서의 시가화의 진전이다. 도시지역의 토지이용의 고도화가 진행됨에 따라 본래의 지형, 지질 등의 자연적 평가보다도 교통의 이용성, 지가 등의 사회적 조건의 평가에 중점을 둔 경향이 있으며 시가지로서는 주요 역할의 토지에 있어서도 시가화가 진행된다고 볼 수 있다. 따라서 시가화의 진전에 의해 유역이 가지는 우수의 보수, 유수기능의 감소에 의해 초래된 홍수유출량의 증대는 수해의 잠재력을 높임과 아울러, 홍수도달시간의 단축화는 그에 따르는 홍수예측 및 긴급시의 피난 등 수방 활동을 곤란하게 한다.

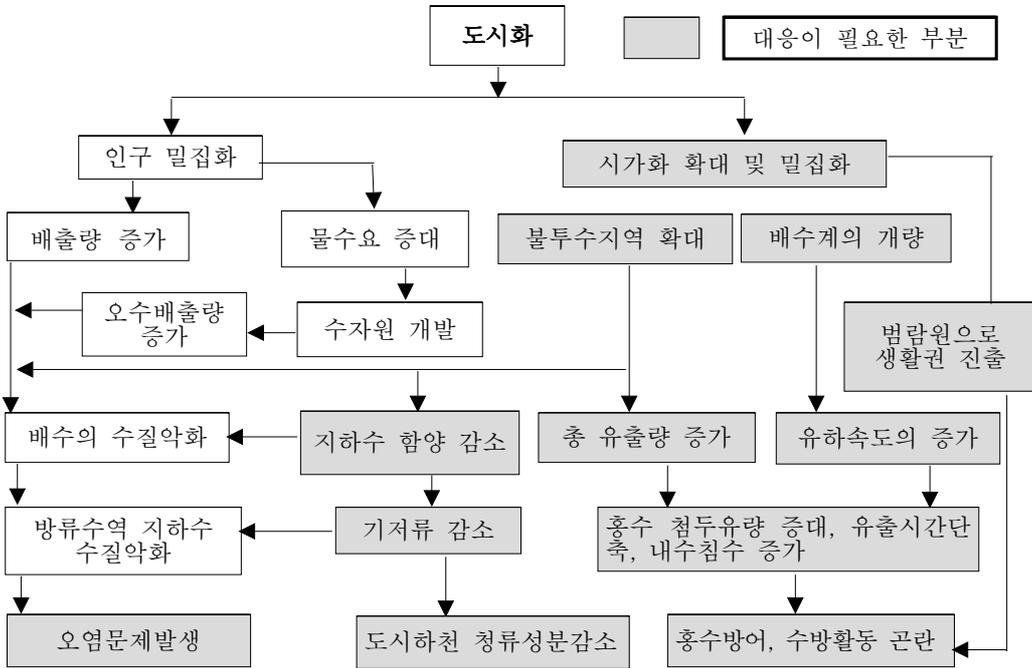
도시면적의 증대는 우수의 저류, 침투능력이 큰 농림지역의 토지이용으로부터

주택지, 공업지역으로서의 도시적인 토지이용으로 전환됨을 의미한다. 또한 시가지 외곽지역의 확대도 2차적인 도시화의 요인으로 간주할 수 있다. 새로운 주택지 및 산업용지가, 철도 등의 기간시설이 전개됨과 아울러 지가의 상승에 편승하여 기존시가지로부터 떨어진 농지라든가 구릉지까지 개발이 이어진다. 이러한 요인으로 인하여 하천 하류부의 기존시가지의 홍수피해를 확대시킨다. 또한 범람원의 시가화로부터 피해 대상이 증가한 것도 하나의 요인으로 간주될 수 있다. 호우발생의 잠재적 위험은 결국 자연적 요인에 인위적으로 조성된 환경 요인과 결부되어 발생하는 것이다. 또한 개발에 따라 상류 유역의 보수, 우수기능이 저하하여 최대강우에서 최대유출(홍수도달시간)까지의 시간이 단축됨과 함께 그의 침투 유량도 증가되는 경향이 두드러지게 된다. 다음은 도시화에 따른 수해증가 원인에 대해 정리하였다.

### 가. 지표조건의 변화

최근의 도시지역의 수해 증가는 도시화에 의한 토지이용의 변화에 기인된 것으로, 호우시에 있어서 우수의 단기간의 유출 및 침투 유량의 증가에 의한 영향이 크다. 이러한 재해 잠재력을 증가시키는 요인이 수해를 유발시키기 쉬운 저지대에서의 시가화의 진전이다. 도시지역의 토지이용의 고도화가 진행됨에 따라 본래의 지형, 지질 등의 자연적 평가보다도 시가화의 진전에 의해 유역이 가지는 우수의 보수, 우수기능의 감소에 의해 초래된 홍수유출량의 증대는 수해의 잠재력을 높임과 아울러, 홍수도달시간의 단축화는 그에 따르는 홍수예측 및 긴급시의 피난 등 수방 활동을 곤란하게 한다.

도시면적의 증대는 우수의 저류, 침투능력이 큰 농림지역의 토지이용으로부터 주택지, 공업지역으로서의 도시적인 토지이용으로 전환됨을 의미한다. 또한 시가지 외곽지역의 확대도 2차적인 도시화의 요인으로 간주할 수 있다. 새로운 주택지 및 산업용지가, 철도 등의 기간시설이 전개됨과 아울러 지가의 상승에 편승하여 기존시가지로부터 떨어진 농지라든가 구릉지까지 개발이 이어진다. 자연유역에서의 침투능은 40~70mm/h 정도 되지만 택지로 조성되면 10mm/h로 감소한다. 이러한 시가지에 따른 제 문제를 도식화하면 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 도시화에 따른 제 문제

### 나. 도시화에 따른 유출속도의 증대 (홍수도달시간의 단축)

자연사면은 요철(凹凸)이 심한 것에 더하여 목초뿌리(木草根)가 존재하므로 우수는 굴절하여 흘러 하도에 도달하기까지의 소요시간이 길다. 이와 같은 사면이 파여 포장되면 우수저항은 현저히 작아져 유속은 100배 정도 빠르게 된다. 또한 구릉지의 개발에는 절·성토에 의해 사면을 완경사로 형성하는 것이 보통으로 이로 인해 유속을 지체시키는 방향으로 작용한다. 이를 종합적으로 표현하는 것으로써 홍수침투 유량의 추정에 불가피한 다음과 같은 홍수도달시간 추정식이 있다.

$$t_p = C \frac{A^{0.22}}{r_E^{0.35}}$$

여기서  $t_p$ 는 홍수도달시간(분), A는 유역 면적(km<sup>2</sup>),  $r_E$ 는 유효 강우강도(mm/h)이고 C는 토이용별 유출계수이다. 유출계수는 자연산지인 경우 250~350, 방목

지 190~210, 골프장 130~150, 각종 조성지 90~120, 시가지 60~90 이다.

강우에 따른 유출량에 있어서도 자연유역의 경우 유출계수는 <표 1>에 나타내는 바와 같이 2할 정도이지만 도시화에 의해 6할 정도가 된다. 홍수도달시간은 1시간으로부터 20분으로 단축된다. 5년에 1회 발생할 정도의 비, 100년에 1번 발생할 비에 대한 최대유량의 변화는 자연상태에서 100년에 1회의 확률에 내리는 비에 대한 홍수유량은 6.1m<sup>3</sup>/s로 계산되었으나 도시화가 진행되면 5배인 30.8m<sup>3</sup>/s이 된다.

또한 범람원이 시가화되면서 피해 대상이 증가한 것도 하나의 요인으로 간주될 수 있다. 호우발생의 잠재적 위험은 결국 자연적 요인에 인위적으로 조성된 환경요인과 결부되어 발생하는 것으로 수해를 유발하는 이러한 잠재적 요인을 분석, 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 1> 도시화에 따른 유출량의 변화

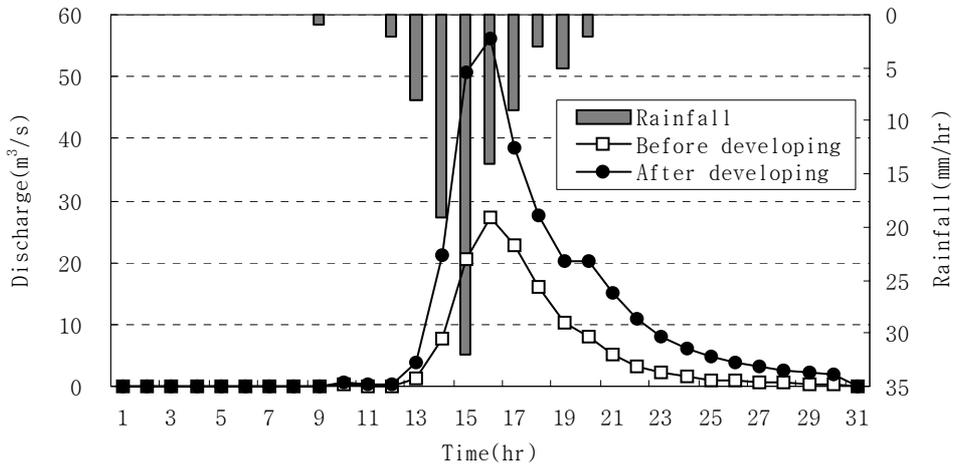
유역의 상태	유출계수 (fp)	홍수도달 시간(분, Tc)	5년 확률		100년 확률	
			강우강도 r(mm/h)	첨두유량 Qp(c.m/s)	r(mm/h)	Qp(c.m/s)
자연 상태	0.2	60	59	3.3	110	6.1
도시화	0.6	20	97	16.2	185	30.8

<표 2> 수해 피해의 잠재적 증가요인

구 분	제 반 요 인
자연적 요인	지형, 기상조건(강우형태)
사회적 요인	인구의 도시집중, 유역의 개발, 토지이용의 변화, 상하수도의 정비, 주민의 수해인식부족, 재해문화의 미 정착
행정적 요인	홍수경보체계의 불확실, 재해관련정보의 미 정비, 수해 피난체제의 미흡

유역의 상류지역이 개발되면 유역면적, 하상경사, 하도길이, 토지피복 정도 등 수문 유출에 영향을 미치는 유출인자가 변하게 된다. 한 예로 개발전 유역 면적이 0.66km<sup>2</sup>, 석회석 채석 후 1.20km<sup>2</sup>으로 유역면적이 0.53km<sup>2</sup>증가한 광산 개발 지역을 분

석해 보기로 한다. 석회석 개발전 수문곡선은 <그림 3>에 나타낸 바와 같이 완만한 증감현상을 나타내지만 석회석 채석에 따른 개발 후는 토지피복 상태의 변화에 의해 비교적 가파른 수문곡선을 나타내고 있다. 결국 자연지형, 토지피복은 강우시 급격한 유출을 막고 무강우시에도 서서히 유출되도록 유출 상황을 조절한다. 석회석 채석전의 계곡은 유출 조절 능력을 가지고 있지만 이 기능이 개발에 의해 악화되어 유출량 변화를 초래한다고 볼 수 있다. 상류의 자연 유역이 개발되면 전 유출량은 증가하지만 기저유출량은 감소한다. 이지역의 경우 전 유출량은 43%, 침투유량은 48%증가한 것으로 조사되었는데 이러한 증가량은 그대로 방치하면 하천을 유하하여 바다로 유입되므로 무효한 유량이 된다.



<그림 3> 유출계수의 증대에 따른 직접유출의 증가

#### 다. 유량과형 · 침투유량의 변화

사면상의 우수의 흐름은 시시각각으로 강도가 변하는 강우로부터 물의 공급을 받으면서 유하하지만 사면 하류단의 수심은 유하시간 내의 평균 강우강도에 좌우된다. 어떠한 강우에도 강우강도가 큰 시간대를 중심으로 평균 강우강도를 조사해 보면 시간을 짧게 취할수록 평균 강우강도가 크게 되는 성질이 있다. 개발에 의해 홍수도달 시간이 격감한다고 하는 것은 유역의 보수능의 감소에 기인된 것

으로 하천유량은 단기간 강우강도에 좌우되어 시간적으로 크게 변하게 되는 것이다.

### 3. 산림지의 유출변화

#### 가. 농경지의 우수기능의 변화

농경지는 자연 구릉지에서 볼 수 있는 큰 간극은 적지만 토양은 우수를 침투시키는 능력(浸透能)은 크다. 또한 밭 이랑사이로 우수가 저류되므로 우수 유출 속도는 그다지 크지 않다. 특히 논은 일정한 수심을 유지하기 위해 배수로를 설치하므로 우수는 수 cm의 논을 채운 후 배수로를 통하여 천천히 유하한다. 단시간의 담수(湛水)는 수확에 큰 영향을 미치지 않는다. 이 때문에 호우시에 수십 cm의 담수를 허용할 수 있다. 논은 우수를 담수함과 아울러 하류 측에 급격히 유출시키지 않으므로 수해를 방지하는 얇고 넓은 홍수 조절용의 저수지·유수지의 역할을 가지고 있다. 농경지의 도시화는 성토라는 형태로 진행되고 있지만 당연히 우수기능을 소실함으로써 하류부에 우수의 집중을 초래하여 수해의 위험도를 높이게 되는 것이다. 논은 또한 지하수 함양의 기능도 가지고 있다. 논은 이와 같이 재해 방지라든가 환경보전을 위해 중요한 역할을 하고 있는 것이다.

#### 나. 농경지의 우수기능의 변화

도시화와 내수재해발생과의 관계를 정리하면 다음과 같다.

- ① 상류지역의 불침투 지역의 증대·침투지역의 침투량의 감소 및 배수로의 콘크리트화에 따른 홍수유출량의 증가 및 집중이 내수재해의 직접적인 원인이 된다.
- ② 인구 증가에 따른 저 평야 지대의 농경지의 주택화는 성토(盛土)경쟁의 형태로 진행되지만 이는 저지대의 저류·유수 기능을 감소시켜 내수 재해를 다발시키는 요인이 된다.

- ③ 도시지역에서 하천개수라든가 배수장 설치에 따른 용지난(用地難), 이에 따른 건설비용의 증가, 하천개수·배수장 설치의 지체 등이 궁극적으로 내수재해를 증가시키게 된다.
- ④ 인구·자산이 밀집한 곳에서는 한 번 침수되면 피해가 확대되는 경향이 있다. 더욱이 최근 도시구조라든가 사회구조·생활양식 등의 변화에 따라 지하가 수해 및 라이프 라인의 단절 등에 따른 간접적인 피해가 대두되고 있어 수해 잠재력을 높이는 경향이 있다.

## IV. 최근 강우이벤트의 특징

### 1. 최근 강우이벤트

<표 3>은 각 관측소별 최대 강우 이벤트를 나타낸 것으로 전국적으로 분포되어 있음을 알 수 있으며 강우량이 점차적으로 증가되는 경향을 나타내고 있다. 강우 기록에 의한 강릉 지역 일 강우량 870mm, 동해 319mm를 제외한 나머지 지역은 대부분 200mm 전 후의 강우이벤트로 나타났고 과거 피해액 기준의 상위실적을 보면 80년대 후반 들어 대규모 피해를 입힌 재해가 발생하였음을 알 수 있다. 또한 일 강우량 200mm내외의 작은 규모의 호우에도 대규모 인명 및 재산피해가 발생한 것은 급속한 도시화의 진행과 우리 사회의 재해취약성에 기인한 피해의 가능성이 높음을 시사한다.

특히 제주지역의 큰 집중 강우 발생에도 불구하고 타 지역에 비해 인적, 물적 피해가 적게 나타난 것은 이 지역이 다공질 화산암층으로 이루어진 화산섬이라는 지질학적 특성 때문인 것으로 사료된다.

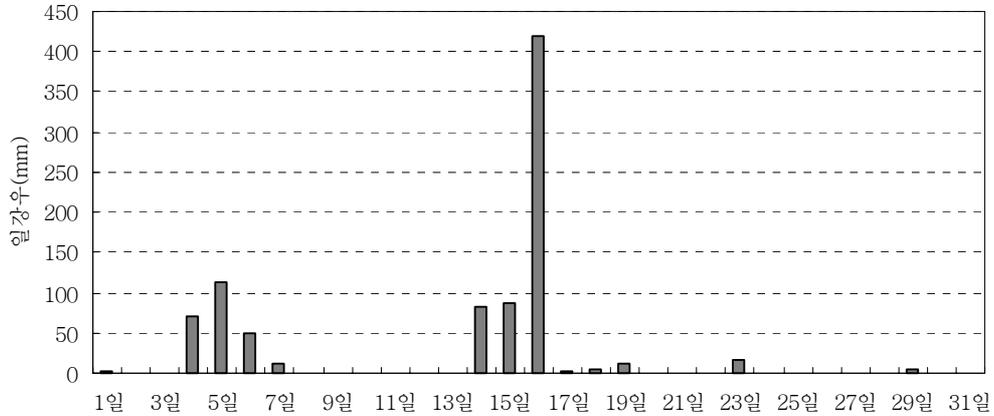
&lt;표 3&gt; 상위 최대 일강우이벤트 및 피해현황

피해액 순위	강우 지역	집중호우 누적강우량 및 피해현황			
		강우량 (mm)	일시	인명피해(인)	피해액 (원, 당해년도)
1	강릉, 동해 김천, 무안	870-182	2002,8,31-9,1	234 (강원남부,178)	5조7천억 (강원남부, 조5천억)
2	제주, 남부	400-800	2007,9,15-9.16	20(제주 14)	집계 중
3	강화, 보은 양평	481-346	1998,7,31-8,18	324	1조2천억
4	철원, 춘천	280-237	1999,7,23-8,4	67	1조
5	강릉, 원주 수원, 서울	297-245	1990,9,9-9,12	179	7천억
6	제주, 완도 강릉, 부산	163-135	1987,7,15-7,16	345	5천억

## 2. 피해 당시의 강우 특징

<그림 4>는 태풍 나리에 따른 제주지역의 강우상황을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 이 지역은 2007년 9월 14일부터 태풍에 따른 강우가 시작되었으며 9월 16일에는 집중 강우가 발생했음을 알 수 있다. 이와 같은 형태의 전일 강우는 토양이 포화상태에 도달하게 하며 지속적인 강우에 의한 초과 강우 및 시간최대 강우강도의 규모는 연이어 표면류 및 측방 유입량을 순간적으로 증가시킴으로써 산사태 및 지반 붕괴를 초래하였다.

태풍으로 인한 강우발생 특성을 살펴보면, 제주도지역은 2007년 9월초부터 시작된 선행강우의 규모가 417mm로 조사되었으며, 태풍나리가 제주도를 통과하기 이틀전부터 제주지방에는 100~300mm의 많은 비가 내렸다. 특히 나리가 통과한 16일에 다시 400~600mm에 달하는 강우가 내린 것으로 나타났다.



<그림 4> 태풍 나리 당시 일강우 현황(제주기상청)

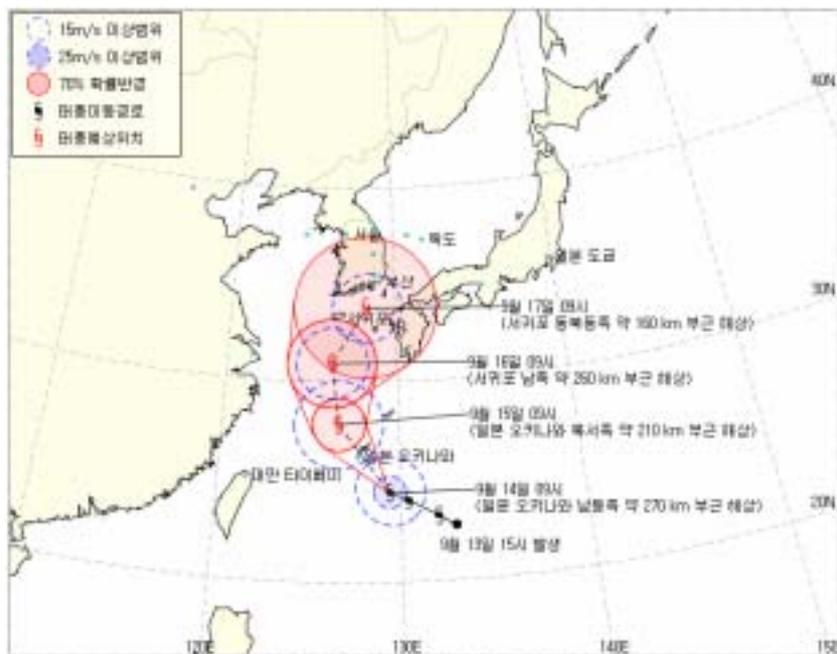
## 2. 피해 당시의 경계경보의 발령 상황

수해발생시 주민의 피난대책은 자연재해 대책법에 의거 지역방재계획에 태풍의 규모, 집중강우의 발생가능성에 따라 구체적으로 설정되어 있다. 지금까지 태풍이라든가 집중호우에 따른 홍수재해에서는 태풍경보 또는 호우주의보, 경보와 같이 수해의 잠재적 가능성에 대한 시간적 강우의 크기가 설정되어 있을 뿐 실제 피난행동을 유도할 수 있는 법적 강제력 없이 진행되어 왔다. 또한 지역방재계획에는 과거 침수실적이 있는 지역 혹은 주요 침수예상지에 대해서도 아직 정보가 공개되어 있지 않고 그 외 피난지까지의 이동시간, 피난지의 내수성 등에 대해서도 정비되어 있지 않다.

토석류 발생에 따른 피난상황은 지진, 쓰나미, 고조(high wave)파랑에 의한 피난 행동과 비교해 볼 때 실제 피난에 이르게 까지 과정이 다르다. 지진, 쓰나미, 파랑 등에 대한 피해는 순간적이고 대규모로 발생하므로 각종 주의보, 경보 및 피난 지시가 내려지면 주민의 행동은 비교적 원만하게 이루어질 수 있다. 이러한 경우는 대부분 전조 현상없이 순간적으로 피해를 유발하므로 <돌발재해>라고 부른다. 물적 피해뿐만 아니라 심리적 충격도 크므로 재해의 위험을 완화하는 심리가 작용할 여지없이 피난이 이루어지는 경우가 많다. 그러나 집중호우라든가, 태풍에

따른 재해는 사정이 다르다. 집중호우뿐만 아니라 태풍도 초기에는 작은 강우가 시간이 지남에 따라 강우, 강풍이 점점 강하게 되어 점차적으로 호우, 폭풍이 되어 피해를 일으키게 된다. 이른바 위험이 누적되어 진행됨으로써 어느 한계에 도달하면 재해가 발생하는 <진행재해>가 되는 것이다

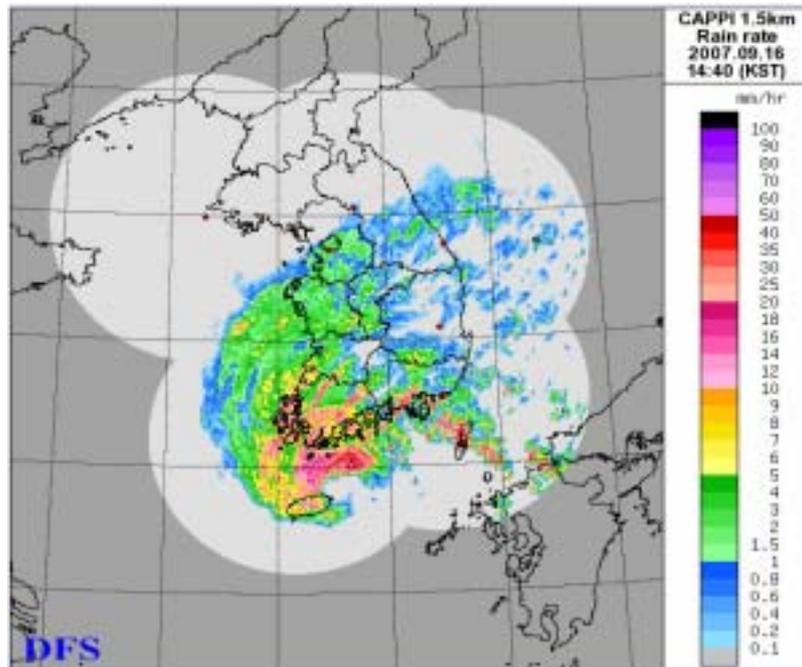
인간심리와 피난행동의 관점으로 볼 때 이러한 진행재해는 재해 대책수립 시 어려움을 야기한다. 대다수 주민은 최초는 바람과 비의 강함에 다소 불안을 감지하여도 점차로 심리적인 타성이 생기고 그것이 그다지 신경쓰이지 않게 되고 말기 때문이다. 이것은 일종의 <순응현상>이고 주택의 밖에서 도로공사를 하고 있을 때 최초는 그 소음이 신경쓰이지만 점점 길들여져 평온하게 되어버리고 마는 심리라고 말하면 이해하기 쉬울지도 모른다. 2007년 9월 15~16일 제주 지역으로의 태풍 급습은 이미 기상청 및 각종 방재관련 기관의 정보 수집에 의해 예견되었다(그림 5, 6). 그러나 관공서에서는 집중호우에 의한 피해가 발생한 당일까지는 대부분 예비 단계에 머물러 피난활동을 행하지 않고 상황을 주시하는 이른바 순응현상이 이어졌다.



<그림 5> 태풍 나리의 이동 경로

이러한 강우와 강풍의 강도가 점점 강해지고 객관적인 위험이 증가하여도 어느 정도 위험 상황에 순응되어진 주민이 갑자기 위기의식이 높아진다고는 기대하기 어려울 것이다. 따라서 호우에 대한 위험이 증가하는 상황에 피난의 권고, 지시가 나와도 많은 사람은 자택에 머무르게 되어 피난의 적절한 시기를 놓치게 되어 겨우 자신의 위험을 감지하여 피난을 개시하는 경우가 지극히 많다. 그러나 그 때에는 상황이 단순하지 않다. 물보라로 눈앞이 보이지 않을 정도의 호우와 허리까지 침수될 것 같은 홍수 속을, 혹은 각종 유목 등이 난무하는 상황에서 피난해야 되는 것이다. 이러한 상황은 건장한 어른조차 쉬운 일이 아니고, 더구나 고령자와 아이들로서는 목숨을 거는 피난이 된다. 결국 기상재해는 (피난이 지체되는 경향이 되기 때문에) 피난과정에서 많은 곤란을 동반한다고 하는 의미로도 대단히 어렵다고 말할 수 있다.

따라서 기상재해의 경우는 위험지역에 대한 조기피난이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 주민에게 사전에 위험을 경고하고 미리 피난하는 등의 재해 대응조치를 강구해야만 한다. 이러한 의미로써 각종 기상경보와 피난권고 지시 등의 재해정보를 주민에게 적절하게 전하는 것이 중요하게 된다.



<그림 6> 태풍 나리 당시 강우 분포

## V. 종합적인 방재대책

### 1. 사전적 대응

#### 가. 유역 치수대책

구릉지의 개발에 따른 유출량의 증가는 개발지 내에서 하천개수를 시행함에 따라 그에 맞는 통수능을 확보한다면 적어도 그 유역의 홍수피해는 피할 수 있다. 한편 저 평지에서의 근본적인 내수 침수대책으로 하천 개수, 방수로의 굴삭, 그리고 대규모 저류지의 건설 등이 고려될 수 있다. 그러나 밀집 시가지에 있어서 내수·홍수 대책은 용지확보가 쉽지 않고 더욱이 제방 상단이 도로가 있거나 제방을 횡단하는 교량이 있을 경우는 막대한 건설비와 함께 장기간의 시간을 필요로 한다.

따라서 대책은 지체되어 사회문제가 되는 경우가 생기게 된다. 이러한 현실을 감안하여 최근에는 하천대책, 유역대책 및 피난 경보시스템의 정비 등을 포함한 비구조적 대책에 의해 종합적으로 대응하게 되었다. 여기서 유역대책이란 종래 하류의 하천 공간만을 대상으로 한 홍수대응의 일부를 유역 전체에서 부담하는 것으로부터 수해대책을 보다 적극적으로 대처하는 것이며 유역 내에서 우수유출을 억제하여 하천의 부담을 경감하고자 하는 구조적인 대책과 범람 지역을 원활하게 관리하여 홍수피해를 최소화하고자 하는 비구조적 대응으로 구성되었다.

유출억제 시설 중에서 우수저류법(雨水貯留法)은 우수가 하천에 유입하기 전에 유역 내에 일시적으로 저류하여 유출하는 시간적 시차를 늦춤으로 하천에 우수의 집중을 완화시키고자 하는 방법이다. 이에선 건물의 옥상에 저류하는 옥상저류, 각 가정에 저류하는 가옥저류, 지하에 저류하는 지하저류, 그리고 교정, 공원 및 주차장 등에 저류하는 공공시설 저류 등이 있다. 그러나 특히 유효한 방법은 대규모의 다목적 저류지의 건설이다.

이는 유역 내의 저류지를 설치하여 호우시 우수를 저류하여 하류 측의 홍수를 방지·경감하고자 하는 것이다. 이러한 저류지는 농업용수 또는 인공함양 등으로 써 활용한다.

최근 수해피해의 특징은 ‘산림의 황폐 또는 과도한 개발(경포천의 상습침수)⇒

토사·유목의 유출(2002년 오십천의 범람)⇒저류지의 파괴(2002년 장현저수지 붕괴)⇒하천에의 유입⇒수해발생(2007년 제주피해)’ 이라고 하는 구도가 일반적이 되고 있다. 장래의 수해대책을 상정할 경우 이와 같은 형태의 재해는 단순히 홍수의 소통시설인 하천에 의한 수해대응으로는 불충분하므로 유역 전체를 대상으로 고려할 필요가 있음을 교훈으로 남기고 있다. 즉 유역의 보수력을 높여 토사유출을 억제하기 위한 산림의 보전, 토사채취지의 녹화, 농지에 있어서 우수효과의 확보, 저류시설의 보강과 개축, 하천개수와 내수대책의 일원화, 더욱이 수해에 강한 도시계획 등 복수의 대책을 종합화하여 복수의 사업주체와 주민이 연휴, 협력하면서 유역전체의 수해대응을 진행하여야 한다.

## 나. 주민의 방재의식의 향상

2007년 9월 제주도 지역에서 발생한 집중호우 피해에서 명확히 나타난 바와 같이 강우예측에 기초한 피난권고라든가 피난 지시 등 행정의 대응이 전혀 이루어지지 않은 방재상의 문제점이 있었다. 또한 비상시에 있어서 개개의 주민 요구에 부응하는 권고라든가 지시를 행정에 바라는 것은 현실적으로 한계가 있음을 주지시켜 주었다. 따라서 주민이 평상시 피난 훈련이라든가 방재학습을 통하여 자신이 방재의식을 함양하도록 하여 행정에만 방재를 의존하지 않는 자신의 생명은 자신이 지킨다는 자세를 가질 필요가 있다. 또한 한 번 발생한 재해경험은 재발하지 않고 방재계획에 반영하기 위해 재해가 남긴 교훈과 극복 기술을 후대에 남기는 재해문화의 정착에 많은 노력을 하여야 한다.

## 2. 사후적 대응

### 가. 재해 대응상 한국, 일본, 미국의 비교분석

현재 한국 및 일본은 재해대응을 주로 응급대책과 복구대책의 2단계로 나누어져 시행하고 있으며 지자체의 장이 대응의 주체가 되고 있는 반면 미국은 <표 4>

에서 보는 바와 같이 재해구조(Disaster response), 재해구원(Disaster relief), 재해복구(Disaster recovery)의 3단계로 구분하고 있으며 재해구조는 지방행정기관, 재해복구는 미국 적십자사를 중심으로 하는 NPO(Non Political Organization, 비정치조직)단체, 재해구원은 연방정부의 FEMA(Federal Emergency Management Agency, 연방위기관리청)에서 관리하는 등 대응별로 주무기관이 다르다. 재해가 발생했을 때, 먼저 시간적으로 절박한 재해구조는 지자체에서 대응하는 것은 3국의 기본적인 인식으로 되어 있다. 피해자를 위한 피난소의 운영을 중심으로 하는 재해 구원활동에 있어서는 한국과 일본은 지자체의 주요 책임으로 대응하고 있으나 미국의 경우는 적십자사를 주무기관으로 하여 원칙으로써 피해 후 초기 3일간의 재해복구에 요하는 비용의 전액과 그 후 복구비용의 75%를 연방정부가 부담하며 그 실무는 FEMA에서 담당하고 있다. 피해자의 지원에 있어서는 궁극적으로

<표 4> 한·일, 미 재해단계별 대응기관의 비교

단계별 복구 및 지원내용		한국	일본	미국
재해 대응	재해구조	지방자치단체, 소방방재청, 각종의료기관 등	시정촌(市町村), 소방도도부현(都道府縣), 경찰, 각종 의료기관 등	지방자치단체(市町, 郡, 州政府)
	재해구원	지방자치단체, 재해대책본부	시정촌(市町村), 재해대책본부	적십자사 등의 NPO단체
	재해복구	지방자치단체, 국가	시정촌(市町村), 도도부현(都道府縣), 국가 등	연방정부(FEMA)
피해자의 지원 대책	수용시설	컨테이너 하우스	응급주택의 공급	일시적 주택공급
	재해에 따른실업	-	-	알선(斡旋)
	피해자의 법률상담	-	-	무료상담
	피해자의 심적치료여부	-	장기적인 치료	장기적인 치료
	파손주택의 수리	정부 및 각종위로금에 의한 지원	응급수리	수리, 복구, 교환을 위한 자금대여
	농업구조(救助)	-	-	정부에 의한 농업구조

로 중요한 점은 지역 주민이 재난 후 정신적·물질적으로 자립하는 것이다. 3국이 피해자의 세제(稅制)감면, 기초 생필품의 공급 등은 공통으로 지원하고 있지만, 피해 주민의 정신적인 치유, 농업에 대한 구원, 구조신청에 대하여 행정의 회신이라든가 조처에 만족하지 않은 경우 법률상의 지원 등은 일치하지 않는 대응을 행하고 있으며 이와 같은 대응상의 차이는 결국 피해자의 일상 생활에의 복귀기간과 연관이 있다고 보여진다.

## 나. 지역특성을 고려한 활성화 계획

본 피해가 남긴 교훈과 과제를 기초로 지역 활성화의 기본 방침은 생활재건, 방재도시구축 및 지역 활성화의 3개축을 상정하였다. 피해지역의 지역 활성화 계획의 책정은 국가 및 제주도의 재해 복원사업을 지역의 자치단체로써 상호 조정함과 아울러 생활재건, 방재도시구축, 지역 활성화 등의 관점으로부터 체계적으로 조정하여 공백영역을 보완하고 지역으로서는 장기적인 안목에서 조정함을 기본으로 책정하였다. 이와 같은 기본방침에 의해 토지 이용 계획의 작성, 재해실적도의 공표, 재해시를 상정한 피난계획, 자주방재조직의 육성 등을 수립하여 재해의 취약성에 따른 개인의 토지이용의 재편을 유도하는 것이 가능하게 된다. 피해자 대책이 끝나고 재해 지역에 대한 관심이 떨어지는 단계에서는 지역 활성화에 대

한 투자가 이루어지기 어려우므로 지역 활성화 대책은 피해복구대책과 동시에 수립되어야 하며 피해자의 조속한 사회복귀를 위해서는 물적 피해 보상뿐만 아니라 지속적인 심리적, 정신적인 치유 등을 통하여 재해 이전의 생활에 근접할 수 있도록 제도적으로 보완하여야 한다.

■ 참고문헌 ■

1. 강 상혁, 2002년 태풍루사 및 2003년 태풍 매미에 따른 지역 수해대응의 개선대책에 관한 연구, 한국방재학회논문집, 제3권(4), pp.111-118, 2003.
2. 김 영택, 태풍루사로 인한 피해실태와 복구방향, 강원발전연구원, 2002.
3. 소방방재청 홈페이지(<http://www.nema.go.kr>)
4. Ericson K., "Loss of communality at buffalo creek", Journal of Psychiatry, Vol. 133, pp. 302-205, 1976.
5. 高橋和雄, "安中地區の復興・振興に關する アンケート調査", 日本 土木學會西部支部發表論文集, pp.55-62, 2001.
6. 太田保之. "長期避難生活と地域精神保健對策", 日本 自然災害科學會誌, pp.18-20, 2001.
7. 河田惠昭 ら, 社會の 防災力の 評價に 關する 考察, 京都大學防災研究所報, 第41卷(B-2), pp. 77-87, 1998.
8. 河田惠昭 ら, 社會の 防災力の 評價に 關する 考察(Ⅱ), 京都大學防災研究所報, 第42卷(B-2), pp. 1-12, 1999.
9. 일본 내각부, 방재백서, 2003.
10. FEMA, <http://www.fema.gov/>. 2003

