

집중 호우에 따른 부유토사 유출 특징 및 주민 대응  
-2006년 7월 강원도 인제 지역을 중심으로-

강 상 혁\*

**Characteristics of Sediment Movement and Local Peoples'  
Countermeasure for Evacuation**

**- focused on Inje areas of Kangwon-do -**

Sang Hyeok, Kang\*

요 약

토석류를 동반한 수해 피해를 줄이기 위해서는 구조적인 대책뿐만 아니라 비구조적인 대책수립을 포함한 종합적인 수해 대응대책이 중요하다. 본 연구에서는 비구조적인 대응대책 중 인명보호의 차원에서 중요한 피난활동을 중심으로 실제 피난행동을 하기까지의 영향요인을 설문조사를 토대로 분석하였다. 토석류모의 실험을 통하여 그의 특징을 분석하여 향후 토석류 발생에 따른 피해를 줄이는데 기본 자료를 제공하고 자 한다.

주요어 : 설문조사, 피난활동, 토사유출 대응

**ABSTRACT** : In order to reduce flood damage with debris flow, it is necessary to build up comprehensive flood control, including structural and non-structural countermeasures. In this paper, the decision making factors of individual refuge activities which are major non-structural activities to save peoples, lives against flood have been estimated based on questionnaire survey. Furthermore, in order to effective debris flow countermeasures, its simulation has carried out and it will useful for minimizing their damages.

**Keywords** : questionnaire survey, evacuative activities, countermeasure for debris flow

---

\*한라건설 기술연구소

## 1. 서론

산간 지역에 있어서 사방공사는 사면의 안정성뿐만 아니라 대규모 토석류의 일시적 측면으로부터 치수사업과 밀접한 연관성을 가지고 진행되어 왔다. 이로부터 유역의 수해에 대한 안전성은 비약적으로 향상되었으며 최근에 이르기까지 사면 불안정으로 인한 상습적인 토사 피해지역은 급격히 줄어들게 되었다(강상혁, 2001; 野口正人 외, 2001). 그러나 이러한 사면 및 치수의 안정성으로 인하여 재해위기 의식의 저하, 치수 시설에의 과도한 의존성 등은 우리사회의 새로운 과제로 부각되게 되었다. 유역 관리상의 치수 시설의 대부분은 설계 강우량에 대응하도록 되어 있으나 계획 규모를 상회하는 홍수량까지 보증하지는 않는다. 따라서 과잉 홍수가 발생한 경우에 있어서 주민 의식에 생긴 과도한 안심감 및 치수시설에의 과도한 의존성은 주민 파란 행동과 대응의 지체를 초래하여 인적 피해의 확대에 이르는 한 원인이 된다(강상혁 외, 2001).

이러한 인식을 토대로 본 연구에서는

2006년 7월 강원도 인제군 가리산 일대에서 발생한 대규모 인명 피해를 유발한 토석류 피해 규모와 피해에 대한 주민 의식의 구조 등을 현지조사를 통하여 알아보고자 한다. 또한 피해가 남긴 과제와 교훈을 명확히 함으로써 강우사상에 따른 주민, 행정의 대응, 지역특성을 고려한 지역방재 대책에 대하여 검토하기로 한다.

## 2. 피해상황

본 연구대상지에 대한 피해범위 및 피해내용은 강원도의 피해보고서와 현지 주민에 대한 방문조사를 토대로 행하였다. 본 2006년 7월 인제지역 토석류 피해는 기존의 2002년 삼척 오십천 유역의 홍수 피해, 동년 강릉 장현동 일대의 중소규모 제방붕괴에 따른 인명피해와는 다른 특징을 가지고 있다. 2006년 8월 현재 잠정적인 인명피해는 총 39명으로 피해원인의 유형은 지금까지 피해 유형과는 다른 지속적인 집중호우에 따른 대규모 토석류의 유출에 의해 발생한 피해였다([그림 1-2]). 본 유역 스캔에 사용된 항공사진은 2007년



[그림 1] 피해전 가리산리 일대



[그림 2] 피해후 가옥이 유실된 가리산리 일대

8월에 촬영된 1/15000 축척의 적외선 필름 (카메라 RC20, 초점거리 153.57mm)을 사용하여 촬영된 항공사진으로서 Erdas Imagine 8.5 Ortho-base module를 활용하였다.

### 3. 토사 유출의 재현

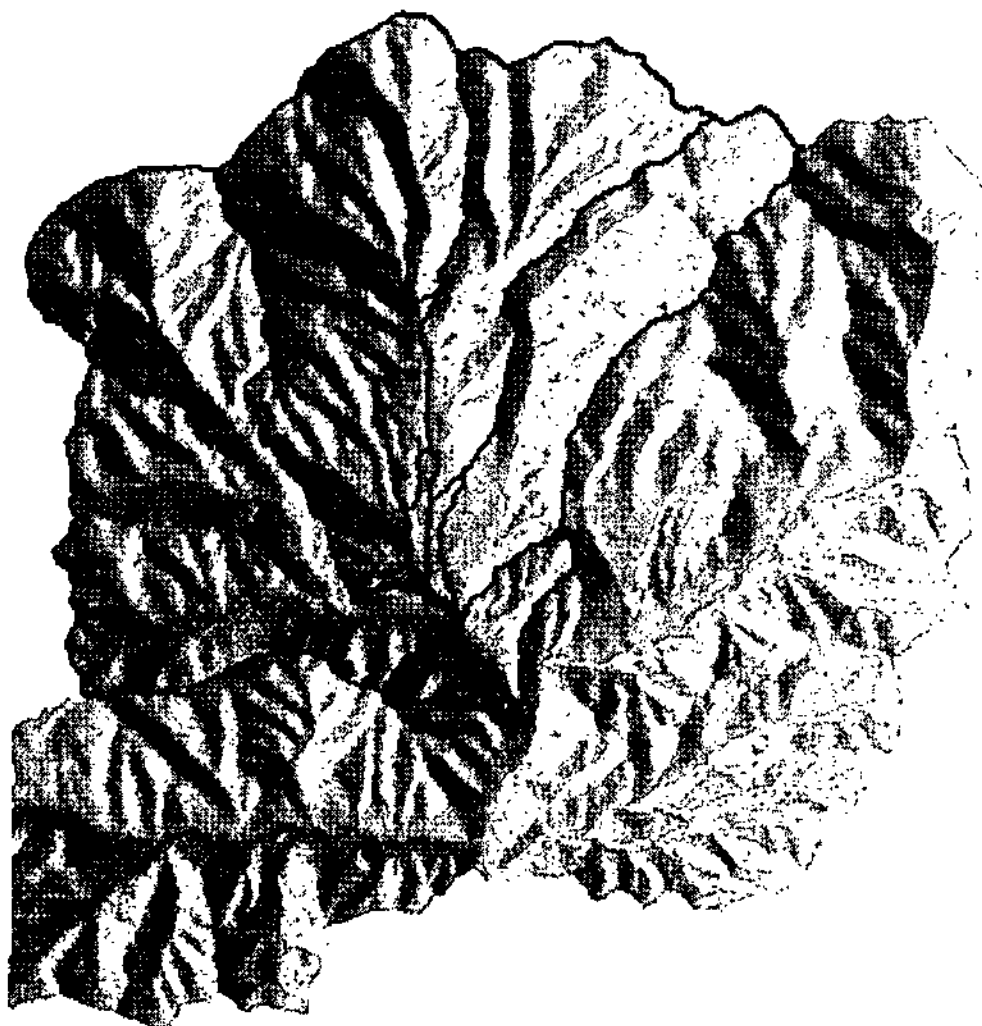
#### 3.1 유역 정보의 추출

강우에 따른 유출 해석을 위해서는 수문 모형의 입력 자료에 필요한 각종 유역 인자의 도출이 필요하다. 수문모형을 이용하여 강우-유출을 모의하기 위해 필요한 매개변수들은 소유역에서의 유역면적, 하천의 길이, 최장수로의 경사, 하상경사 등이 있다(박종영, 2007). 이와 같은 지형 인자를 도출하기 위해 본 연구에서는 HEC-geoHMS를 이용하였으며 얻어진 지형인자들은 강우 유출 모형인 kinematic

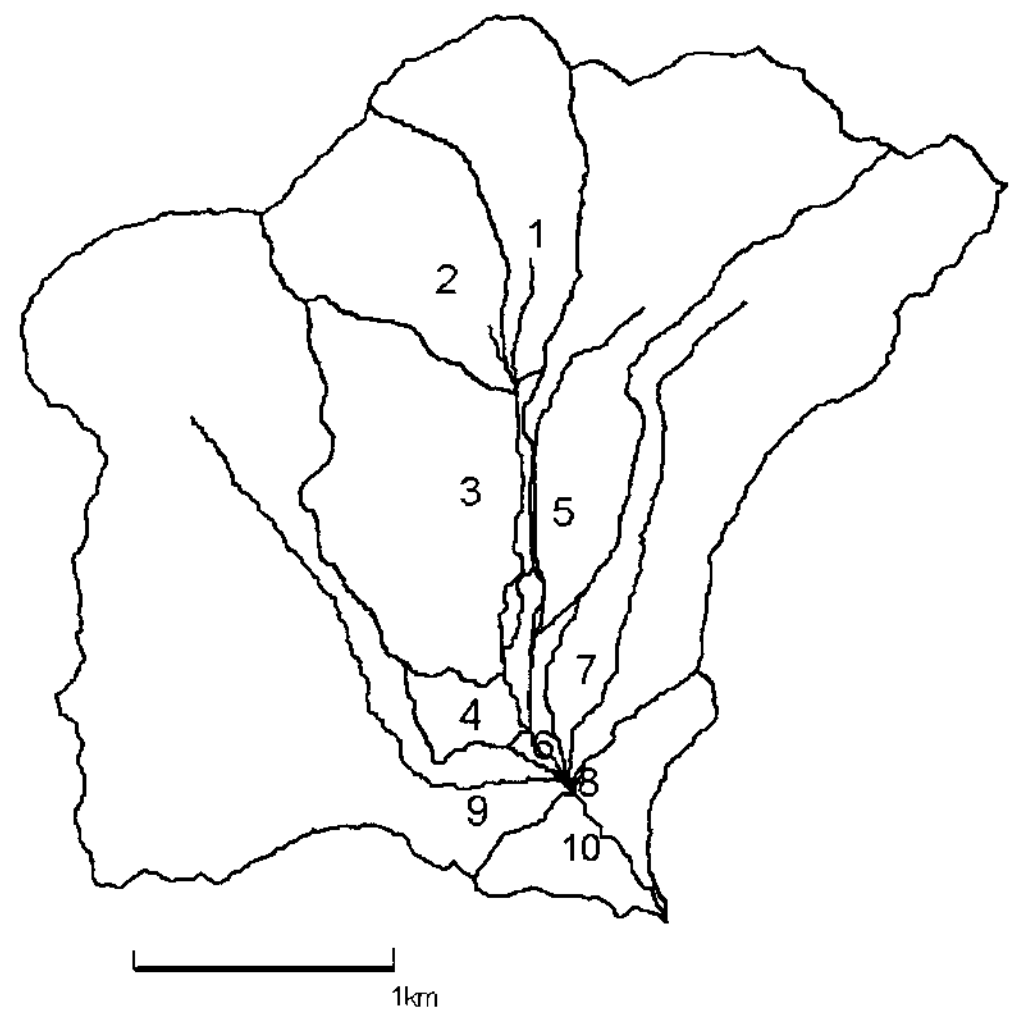
wave의 입력자료를 구성하는데 활용되었다. [그림 3]은 유역 지형인자의 추출과정 중에서 하천 네트워크망에 기초하여 하천이 모이는 합류점을 찾는 한 과정을 나타내며 [그림 4]는 강우 유출모형의 적용에 있어서 최 하류단(10번 소유역)에서 유출량을 구하기 위한 유출계산 순서를 나타내고 있다.

#### 3.2 토사 유출모형의 구성

집중호우에 따른 유출에는 대부분 토석류를 동반하게 되는데 유출 토사량을 구하기 위해서는 먼저 강우에 의한 유출량을 구할 필요가 있다. 강우에 따른 유출 토사량을 계산하기 위해 입자의 유동에 관한 연속식과 물체를 움직이는 운동식을 만족하여야 한다. 먼저, 시간  $t$ 의 변화에 따른 수심  $h$ ,  $M=uh$ ,  $u$ : 흐름의 단면 평균 유량,  $E$ : 침식 또는 퇴적 속도. 유동층 농



[그림 3] 소유역별 흐름도 작성



[그림 4] 유출 모형적용을 위한 소유역 계산 수순

도:C, 퇴적층 농도:C\*로 하면 다음과 같이 입자의 연속식과 흐름의 운동식을 표현할 수 있다(淺田純作 외, 2001; 田村隆雄 외, 2006).

<입자의 연속식>

$$\frac{\partial(Ch)}{\partial t} + \frac{\partial(CM)}{\partial x} = EC^*$$

<흐름의 운동식>

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} \\ = gh\sin\theta_b - gh\cos\theta_b \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_b}{\rho T} \end{aligned}$$

여기서, g : 중력 가속도,  $\theta_b$ :하상의 경사 각도로 x축의 수평 경사각 :  $\theta_0$ , x축에 대해 수직 상향을 취한 y축으로부터 계측한 퇴적층의 깊이 : z로 하면,

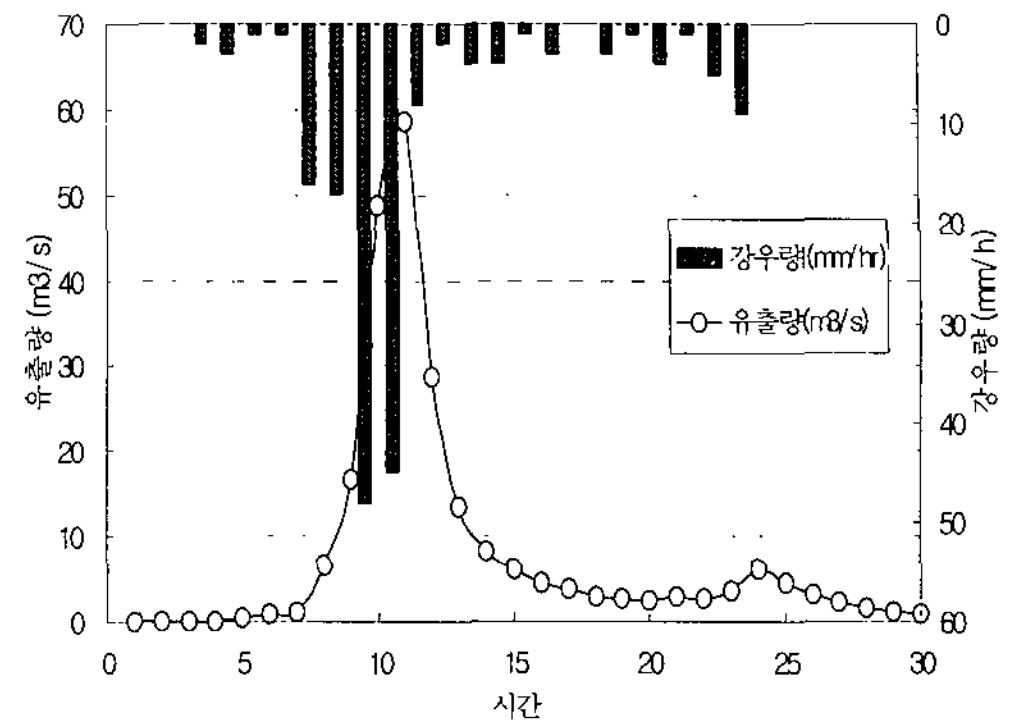
$$\theta_b = \theta_0 + \tan^{-1} - \frac{\partial z}{\partial x}$$

결국 하상위의 변화는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + E = 0$$

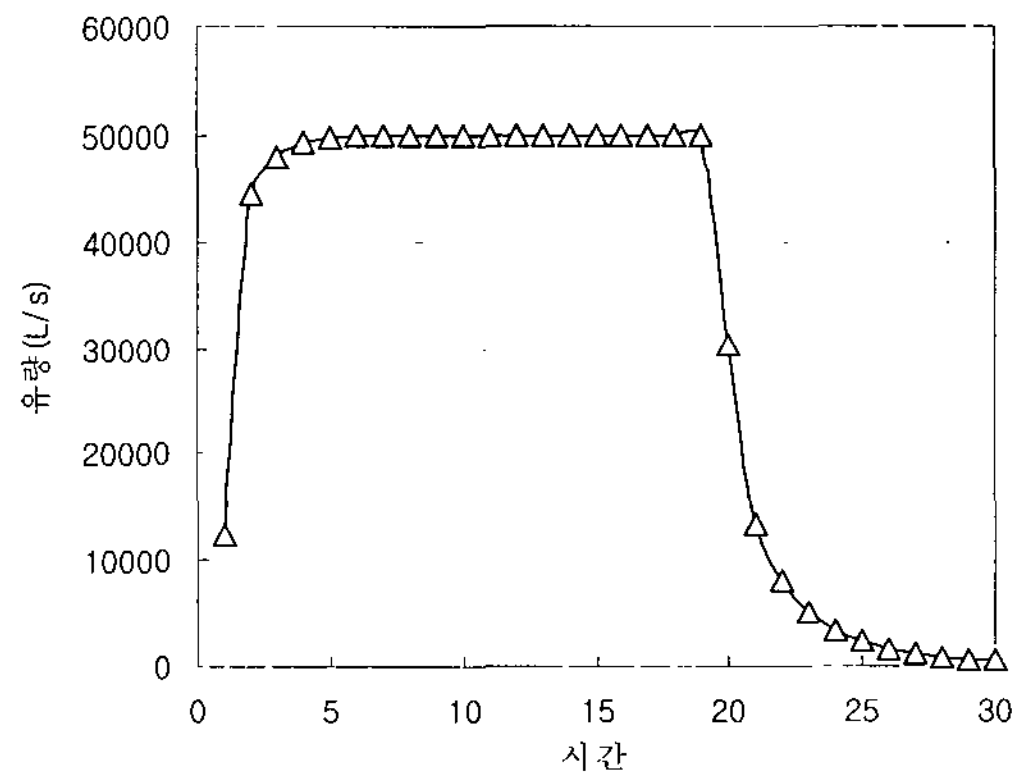
### 3.3 적용결과

[그림 5]는 2006년 7월 인제 지역 피해당시 강우량을 입력하여 특성유출 곡선(kinematic wave)방법으로 구한 시간당 유출량으로 이로부터 구한 침투 홍수유량(58m<sup>3</sup>/s)을 하도의 상류 경계단에 입력함으로써

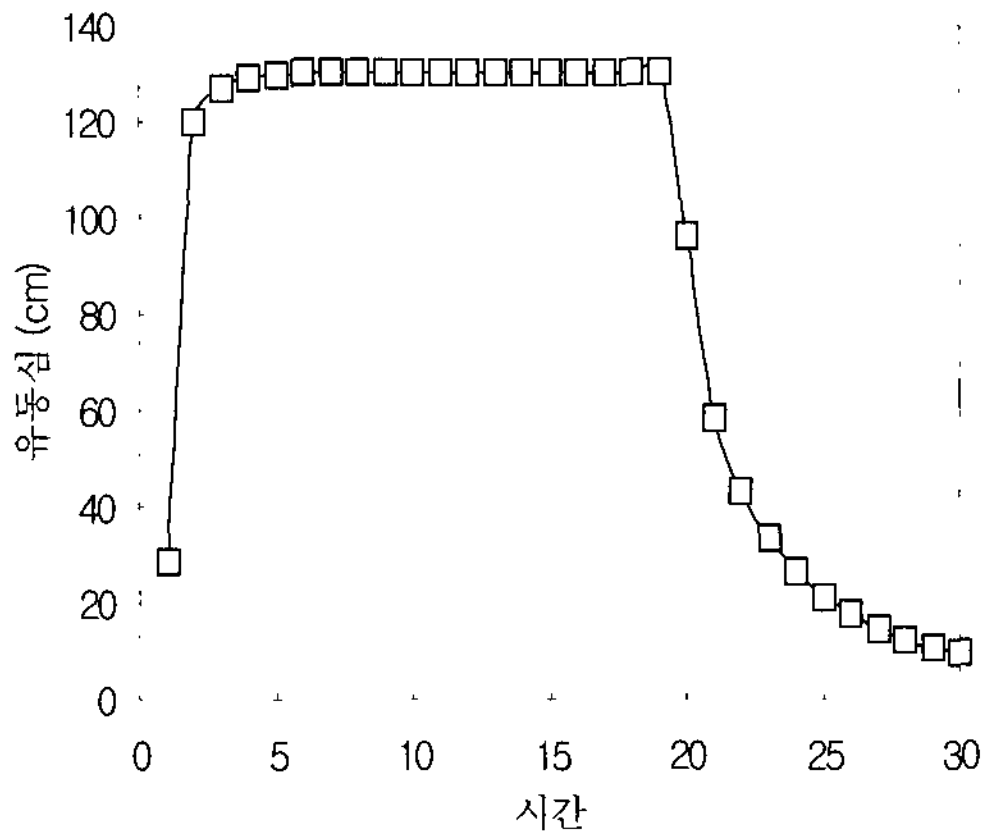


[그림 5] 유출량 계산 결과

토석류의 유량과 유동수심을 구하였다. 토석류의 평균 입경은 3mm로 가정하였고 상류 경계단의 입력 유량은 침투유량 중에서 30초간을 계산하기로 하였으며 그 결과는 [그림 6, 7]과 같다. 계산된 최대 유량은 5만 L/s였으며 토사유출에 따른 유동 수심은 최대 1.2m인 것으로 나타났는데 이는 실제 흔적 유동 수심과 유사한 것으로 조사되었다. [그림 6]과 [그림 7]에 나타난 바와 같이 토석류의 발생은 지속적인 강우에 따라 토양 수분함량이 포화 상태에 이르러 토양이 더 이상 지지력을



[그림 6] 토석류의 유출 유량



[그림 7] 토석류의 유동 수심

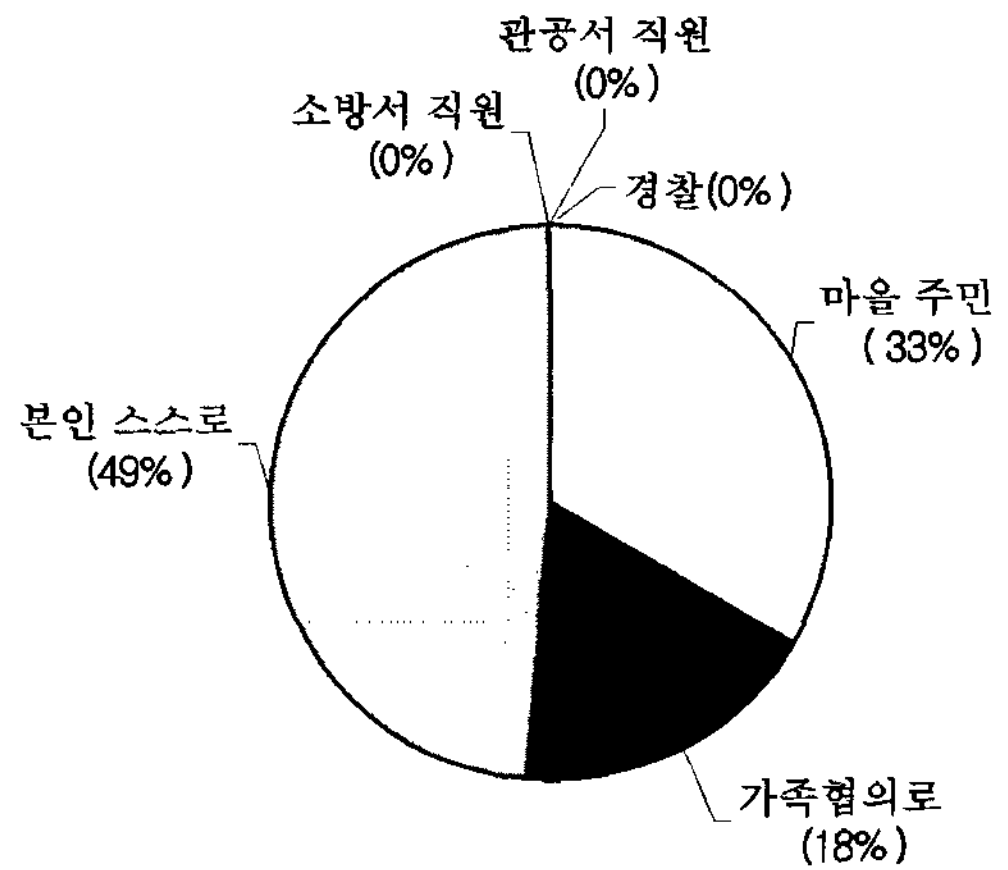
상실함으로써 일시에 유출되는 것으로 이러한 현상은 수 초에 걸쳐 진행된다. 집중호우 당시 대피한 주민들에 의하면 땅을 흔드는 소음과 함께 일시에 가옥이 토석류에 휩쓸려 갔다고 말하고 있고 이는 실제 토석류 유출의 계산결과에 유사하다.

#### 4. 토사 유출에 따른 피난 행동

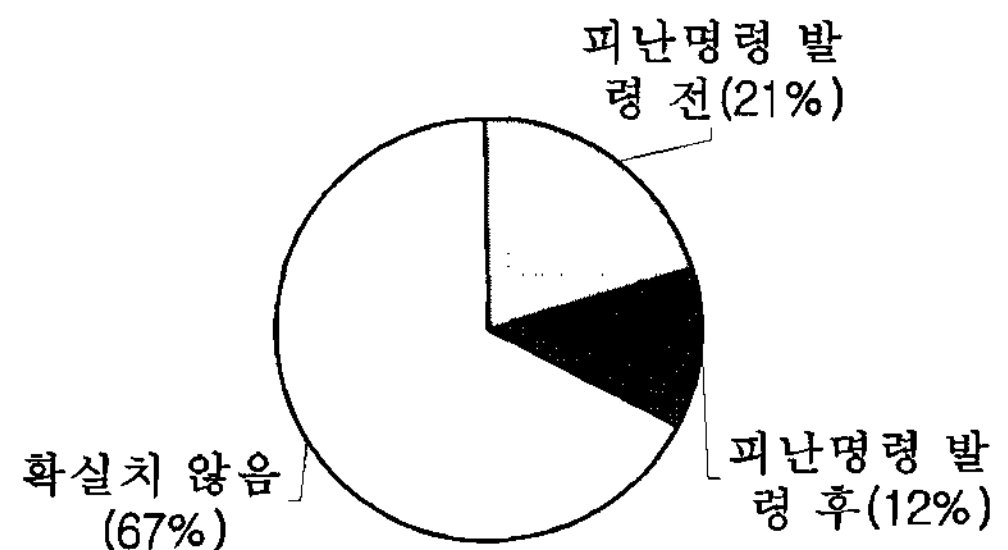
실제 토사발생은 [그림 6]과 [그림 7]에서 재현한 바와 같이 순간적으로 일어나게 되므로 충분한 대피기회를 주지 않는다. 이 경우 인명피해를 줄이기 위해서는 사전적 대피가 중요한데 본 연구에서는 산사태 당시의 피난활동에 대한 실태조사를 파악하기 위해 2006년 9월 인제군 가리산 일대에 대해 설문조사를 실시, 분석함으로써 토사유출에 따른 피해를 줄이기 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

#### 4.1 피난행동

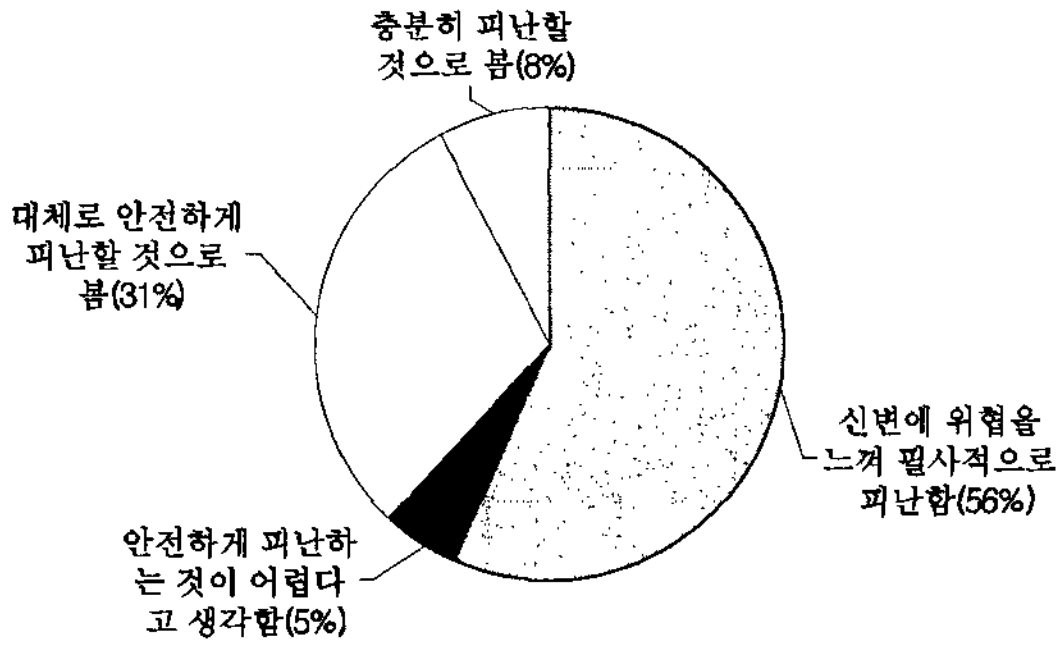
실제 피난에 이르기까지의 직접적인 동기에 대한 설문조사에 있어서는 [그림 8]과 같이 본인 스스로가 19명(49%), 마을 주민과의 권유가 13명(33%), 가족 협의로가 7명(18%)으로 대체로 행정차원의 유도에 의한 원만한 피난이 이루어지지 않았음을 시사하고 있다. 실제 피난에 이르기까지의 심리적인 결정 요인을 시사하는 피난의 시점을 보면, [그림 9]와 같이 피난 명령 발령 전에 피난한 피난율은 21%, 피난 발령 후가 12%에 비해 언제 피난했는지 확실치 않다는 응답율이 67%를 점하



[그림 8] 피난 동기에 대해



[그림 9] 피난 시점에 대해

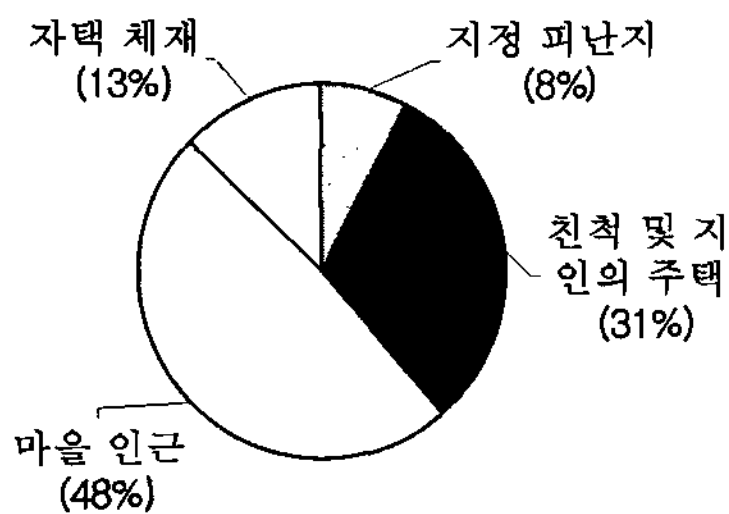


[그림 10] 피난 장소에 도달하기까지의 상황에 대해

고 있고 피난장소까지 안전하게 도착할 것으로 판단했는지에 대한 설문에는 [그림 10]과 같이 신변에 위협을 느껴 필사적으로 피난한 세대가 22세대(56%), 안전하게 피난하기가 어렵다고 생각한 응답이 2세대(5%), 대체로 안전하다고 본 응답이 12세대(31%), 충분히 피난할 것으로 본 세대가 3(8%)로 나타나 실제 피난한 주민은 호우의 상황이 신변에 직접적인 위협이 된 시기가 되어 필사적으로 피난했음을 알 수 있다.

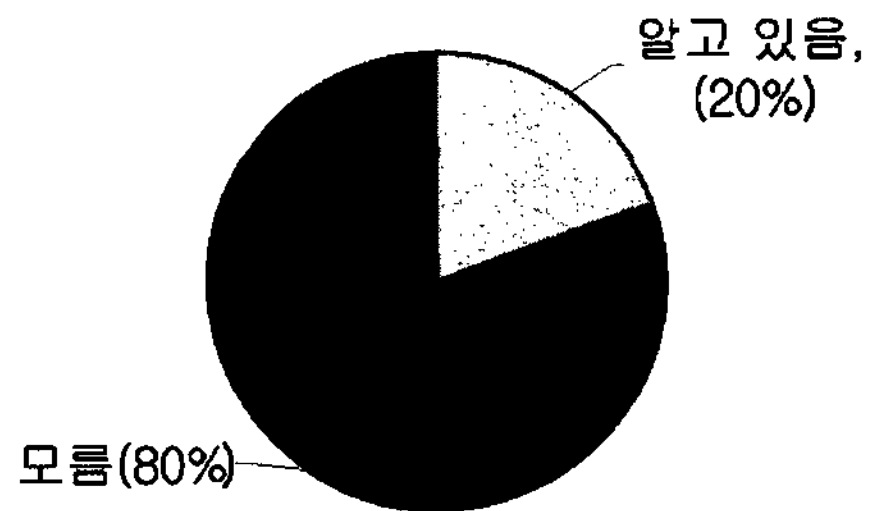
#### 4.2 피난지의 인지 유무

피난장소의 숙지에 대한 설문결과를 보면, [그림 11]과 같이 지정 피난지의 피



[그림 11] 피난 장소에 대해

난은 8%, 친척 및 지인의 주택 31%, 마을 인근 48%, 자택체재 13%로 조사되어 대부분 지정 피난지보다는 마을 인근에서 피난상황을 주시하면서 대응방안을 강구한 것으로 나타났다. 지정 피난지의 인지 유무에서는 [그림 12]와 같이 알고 있는 응답율이 20%에 비해 모르고 있다는 응답율이 80%로 이는 평상시 대규모 재해가 발생하여 피난해야 되는 상황에 직면해도 사전에 충분한 대응 시나리오가 준비되어 있지 않음을 보여주고 있다.



[그림 12] 피난 장소의 인지 유무

### 5. 결 론

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 작

용할 여지없이 피난이 이루어지는 경우가 많다. 그러나 집중호우라든가, 태풍에 따른 토석류 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. 본 연구는 2006년 7월 발생한 토석류 피해를 각종 지형정보를 취득, 모형화함으로써 향후 인명피해를 줄이기 위한 방안에 대해 모색하고자 하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 교훈 및 과제를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구지역의 지정피난지는 인제군 마을회관으로 되어 있으나 대다수 주민들이 초기 침수시 피난지를 정하지 못하였으며 피난대상자의 약 90%는 인근의 비지정 피난지로 대피하여 사전에 적정한 피난지를 확보하는 것이 중요한 과제로 대두되었다.

(2) 실제 피난에 이르기까지의 직접적인 동기에 대한 설문조사에 있어서는 대부분의 응답자가 인근 주민의 권유, 가족간의 협의 등에 의해 피난을 하였고 매스컴의 보도로 인하여 사전에 피난준비를 하여 피난을 해한 응답자는 21%에 불과하여 행정차원의 유도에 의한 원만한 피난이 이루어지지 않았음을 시사하고 있다.

(3) 현재 지형 정보를 이용한 토석류 모형을 1차원으로 구성하였으나 향후 2차원으로 확장하여 집중호우에 따른 토석류의

중, 횡적인 유동을 모형화하여 인명피해를 줄이기 위한 방안에 대해 대책을 수립하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구의 일부는 Eco-STAR의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

강상혁, 2001, “GIS를 활용한 도시화의 평가 및 수해피해 경감을 위한 정보제공의 필요성에 관한 연구”, 한국GIS학회, 제 9권 (3), 413-423.

강상혁, 권재혁, 전병덕, 2001. GIS를 이용한 도시화 진행 상황의 평가 및 유출에 미치는 영향, 한국도시방재학회, 제1권 제2호, 85-92.

박종영, 2007, “집중강우와 설계강우의 유출특성에 관한 비교연구”, 강원대학교 산업대학원, 석사학위 논문.

野口正人, 姜相赫, 川正司郎, 2001, “洪水危機管理에 있어서 住民에의 情報傳達의 役割-2000년의 東海豪雨災害에 대한 事例의 檢證”, 京都大學 防災研究所 研究發表會 (종합II).

淺田純作 외, 2001, “홍수피해에 관한 정보제공과 그의 주민이해에 관한 연구”, 일본토목학회 수공학논문집, 제 45권, 37-48.

田村隆雄 외, 2006, “일반 중소하천에도 적용 가능한 우량, 수위 데이터를 이용한 유출해석 모형 인자의 동정수법”, 일본토목학회 수공학논문집, 제 50권, 355-360.