

침수지역 주민의 피난행동의 평가와 적정 피난수심의 유도에 관한 연구

Study on the Assessment of Refuge Behavior and the Derivation of Critical Inundation Depth

시영우[†] · 김태수 · 하태우 · 강상혁* · 이상호**

Young-Woo Lee[†] · Tae-Soo Kim · Tae-Woo Ha · Sang-Hyeok Kang* · Sang-Ho Lee**

삼척대학교 방재기술대학원, *남경엔지니어링(주), **삼척대학교 소방방재학부
(2003. 9. 18. 접수/2003. 12. 2. 채택)

요 약

침수 경험이 있는 지역에 있어서 수해에 따른 인명 피해의 발생을 방지하기 위해서는 지역주민의 피난 행동양식의 분석과 수방관련정보의 공개 등과 같은 적극적인 재해 대응대책이 중요하다. 피난행동을 규정하는 심리적인 영향요인에 대해서는 주민의 의식조사를 토대로 내·외적인 요인으로 분류하여 분석하였다. 또한 수리모형 실험을 통하여 적정 피난수심을 유도하였으며 이와 같은 노력은 금후 침수심을 고려한 피난훈련을 통하여 주민의 수해에 대한 경각심을 고취시킴으로써 효과적인 수방활동에 기여할 것이다.

ABSTRACT

It is necessary to build countermeasure for the reduction of flood damage, such as the analysis of shelter activities of local residents and the publishment of flood informations. The control factors for mental refuge activity by the questionnaire survey were classified and estimated into two categories: internal and external ones. Furthermore, the optimal time for refuge activities related to flood risk was derived by hydraulic simulation. The shelter activities considering inundation depth will serve citizen's consensus by exercise, it would aid to support the activities to minimize flood victims.

Keywords : Refuge activity, Derivation of critical inundation depth

1. 서 론

수해시의 피난행동 및 피난활동을 위한 적정 침수심에 대한 평가는 재해대응대책 중에서 인명피해 최소화의 관점에서 중요하게 인식되고 있다.¹⁾ 이와 같은 인식으로부터 최근 수해라든가 피난행동에 대한 의식조사가 이루어지는 한편, 피난행동에 영향을 미치는 홍수 범람의 상황, 침수위, 피난행동의 관계를 정량적으로 분석하고자하는 연구가 진행되고 있다.^{2,3)} 수해시에 있어서 피난대상자가 피난을 하는가 또는 하지 않는가의 판단은 피난을 개시하기까지 인식하고 있는 동기가 중요하다고 할 수 있다. 피난대상자가 실제 피난행동을 하기까지 영향을 미칠 수 있는 주요인자로서는

① 적절한 피난명령 및 전 단계로서의 경계발령, ② 과거의 수해경험 및 생활양식, ③ 인근의 재해발생 상황, ④ 위험도를 수치화한 정보(각종 강우정보), ⑤ 위험도를 영상화한 정보(유역의 각종 지리정보, 위험지구도-Hazard map-) 등이 있다. 여기서 과거의 수해경험 및 수해에 대한 인식 등을 통하여 실제 피난행동을 하기까지의 계기를 부여하는 영향요소를 내적 인자로 분류할 수 있으며 이는 유역주민이 과거의 경험에 따른 일상적으로 가지고 있는 수해의식 등 수해시 정보에 대한 반응이라든가 행동의 배경이 되는 요인을 의미한다. 내적 인자는 수해에 대한 인식 외에 과거의 수해 경험이라든가 위험에 대한 일반적인 태도, 성격, 생활태도 등도 포함된다. 이들 요인은 실제 피난행동을 제어하는 정보 즉 피난명령 등을 유역주민에 전달할 경우 그의 효과를 간접적으로 좌우할 수 있는 요소라고

[†] E-mail: ywlee-2000@hanmail.net

볼 수 있다. 피난행동을 개시하기까지의 행동양식을 결정하는 정보로는 각종대중매체로부터 제공받는 우량, 수위를 포함한 홍수 및 기상에 관한 정보 또는 행정기관으로부터 발신되는 피난권고, 피난명령 등이 있다. 이들 정보는 외부로부터 제공되어 유역주민의 피난행동에 관한 의사결정에 영향을 미치는 의미에서 수해피난행동의 외적요소라고 볼 수 있으며 피난행동을 직접적으로 유발하는 효과를 가진다. 이와 같이 수해에 대한 위협인식으로부터 피난경고에 의한 피난에 이르기까지의 경로는, 내적요인에 의한 위험도의 인식으로부터 피난명령이라든가 유역주민의 권유 등과 같은 외적요인에 의해 최종적으로 진행된다고 볼 수 있다.

그러나 이와 같은 피난행동은 대부분 비교적 넓은 영역을 대상으로 평상시 주민이 피난지를 숙지하고 피난장소에 이르기까지의 행동이 침수위에 의해 받는 영향을 받는 것에 중점이 맞추어져 있다. 따라서 피난하는 대상으로서의 주민은 동일 정보에 대해서 같은 행동을 하는 균일한 집단으로 되어 있고 수해피난행동도 획일적으로 구성되어 있다. 그러나 수해피해지에 있어서 의식조사는 주민의 평상시 수해의식이라든가 수해에 대한 관심의 정도에 의해 피해행동에 큰 차이가 있다는 사례가 종종 보고되고 있다.^{4,5)} 보다 현실적인 피난활동을 유도하기 위해서는 지역 주민의 수해에 대한 의식, 최종 피난행동을 하기까지의 경위에 대한 분석을 토대로 지역 단위의 피난 계획을 수립할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 인명피해가 발생한 침수지역을 대상으로 침수에 따른 상황별 대응경위, 주민의 홍수피해에 대한 인식, 피난을 하기까지의 경위 등에 대하여 현지조사를 토대로 분석하였고, 피난활동에 유효한 적정 침수심 및 유속에 대해서는 실제 수리모형실험을 통하여 검증함으로써 향후 효과적인 수방활동을 하는데 있어서 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 강우상황과 유역현황

2.1 강우상황

2002년 8월 31일 태풍 루사에 의한 집중호우 당일 동해기상대의 시간당 최대강우량은 55 mm/h로 누가 강우량은 319 mm/d이었으며, 인근의 삼척시 근덕면 지역 307 mm/d, 삼척시 노곡면 지역 813 mm/d, 미로면 지역 737 mm/d를 기록하여 같은 관찰지역 중에서도 지역적으로 강우량의 차이가 크게 나타난 것으로 조사되었으며^{6,7)} 이와 같은 지역적인 강우편차는 홍수유출의 도달시간을 단축함으로써 하천 하류부의 피난활동 시간에도 큰 영향을 미치는 요인이 된다.

2.2 유역현황

연구대상지인 동해시 삼화동 지역은 과거 홍수 흔적이 있는 지역에 시가지가 형성되어 있어 호우에 따른 하천 범람의 잠재적 수해피해 위험성이 상시 존재하여 왔으며 태풍 루사에 따른 집중 호우시에 인명피해가 발생한 바 있다. 또한 이 지역의 상류지역은 1970년 초부터 현재에 이르기까지 지속적인 석회석 채굴이 진행되어 왔다.⁸⁾ 석회석 채굴에 따른 절개지의 확대는 유역의 표면유출량을 증대시킴으로써 호우시 우수의 단기간 유출과 침투유량의 증가로 이어져 왔다. 따라서 시가지의 진전 및 유역상류 지역의 토지이용의 변화는 유역이 가지는 우수의 보수, 우수기능의 감소를 초래하여 수해의 잠재력을 높임과 아울러, 홍수도달시간의 단축화는 그에 따르는 홍수예측 및 긴급시의 피난 등 수방 활동을 곤란하게 한다.

3. 삼화동 일대의 범람 및 피난대응상황

3.1 침수피해

본 연구대상지에 대한 피해범위 및 피해내용은 침수지의 현지 주민에 대한 방문조사와 관공서의 기록을 토대로 행하였다. Fig. 1은 2002년 태풍 루사에 의한 동해시 삼화동 일대의 침수 상황을 나타낸 것으로 이 지역의 침수피해 원인은 신홍천 우변의 산사태로 인한 하천폐쇄와 신홍천 우안 제방의 붕괴 그리고 무릉천의 월류에 의한 것이라 할 수 있다. 8월 31일 11시경 무릉천 좌안으로부터 하천수의 월류로 인하여 침수가 시작되었으며 신홍천 인근의 산사태 및 신홍천 우안의 제방 파제로 인하여 침수심이 급격히 증가되었다.

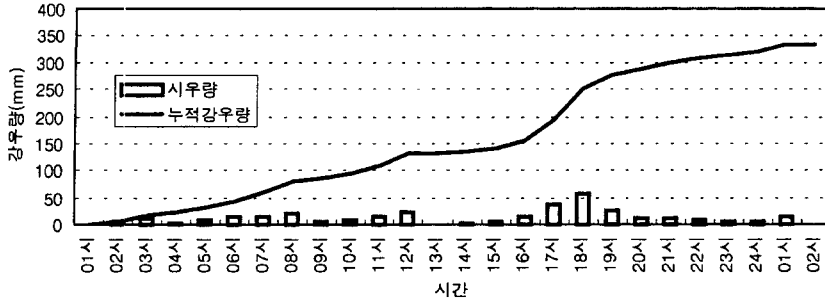
3.2 피난 대응상황

수해시 삼화동 지역의 지정피난지는 Fig. 1에 나타



Fig. 1. Inundation condition in Samwhdong area (September 1, 2002, → flow direction, ___ over 10 cm of inundation area).

Table 1. Flooding action according to rainfall event (August 31, 2002 to September 1)



<p>하천상황 및 행정대응</p> <p>03:00 강원도내 태풍주의보 발표(2002년 8월 31일)</p> <p>06:00 영동지방 태풍경보발표</p> <p>12:00 삼화동지역 정전</p> <p>14:00 산사태로 신흥천 일부 폐쇄</p> <p>16:00 신흥천 우안 일부 파제</p> <p>19:00 대피권고자막 방송(삼척MBC)</p> <p>21:00 1차대피요청 정보(동사무소)</p>
<p>피해 및 대응상황</p> <p>10:00 도로 침수시작</p> <p>12:00 중앙상가 침수시작</p> <p>13:00 중앙도로 침수심20cm</p> <p>13:00 침수지역 주민 피난개시</p> <p>16:00 피난종료</p> <p>19:00 중앙도로 침수심 70cm</p> <p>24:00 인명피해 2명발생</p> <p>01:00 외곽도로유실 및 외부와 고립(2002년 9월1일)</p>

난 바와 같이 삼화초등학교로 되어 있으나 삼화초등학교 주변지역의 침수로 인하여 대부분의 주민은 200 m 정도 떨어진 주)쌍용양회시멘트 공장의 부지내로 피난하였고 나머지는 인근의 2층 주택으로 피난하였다. Table 1은 2002년 8월 31일 태풍루사 당시 강우상황(상단)과 이에 따른 피해 및 행정조치상황(하단)을 시간상황별로 나타낸 것이다. Table 1에 나타난 바와 같이 8월 31일 19시경 지역 방송국으로부터 피난 권고를 알리는 자막방송이 있었으나 같은 날 15시경에 이미 정전이 되어 전달되지 못하였으며, 21시경에 동사무소로부터 1차 대피요청 정보가 내려졌으나 주민에 대한 조사에 의하면 침수된 시가지의 대부분의 주민은 동일 14시에서 17시 사이에 이미 피난활동이 종료된 것으로 나타나 행정에 의한 유효한 피난유도가 이루어

지지 않은 것으로 조사되었다. 또한 23시경 주택으로부터 피난을 하지 못한 남성 2명이 급류로 행방불명되었으며 9월 1일 1시경에 시가지의 외곽도로가 유실되어 약 1주일간 외부와 고립되는 상황이 되었다.

4. 침수지역 주민의 수해의식 및 피난상황

4.1 호우피해의 원인에 대한 주민의 수해의식

호우시 피해경감을 위한 주민의식의 고양 및 원만한 피난행동을 유도하기 위해서는 주민의 행동양식을 검토할 필요가 있다. 주민의 호우피해 발생에 대한 인식은 수방활동을 원활하게 시행하는데 있어서 주요 요소일 뿐만 아니라 수해시 피난활동을 취하는가 그렇지

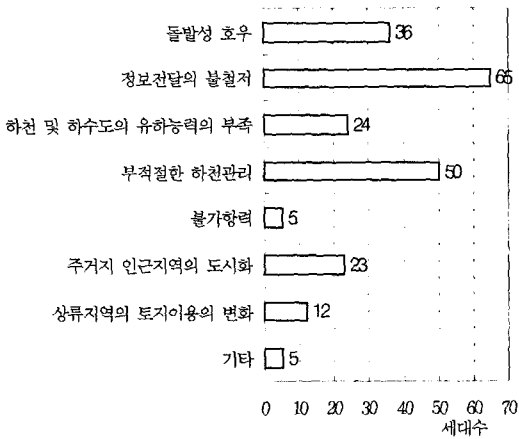


Fig. 2. The understanding of flood damage factors.

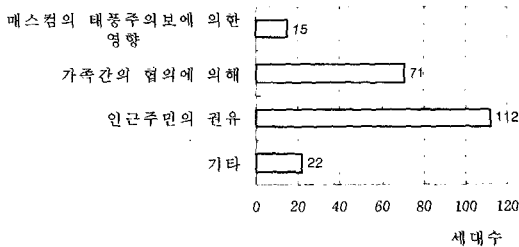


Fig. 3. The inducement of refuse activities.

않은가를 판단하는 면에 있어서도 중요한 요소이다. 이를 위하여 홍수에 따른 피해지역 주민을 대상으로 수해위기에 대한 인식조사를 실시하였다. 조사방법으로는 침수발생 전 지역에 걸쳐 설문 조사원이 설문지에 회답을 직접 얻는 방법을 이용하였으며 분석한 샘플수는 전체 설문조사 대상자 300세대중 220세대이다. 회답자의 본 호우에 대한 피해인식을 원인별로 살펴보면 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전체 응답자의 65세대(30%)가 호우주의보와 같은 기상정보의 부재, 과거 홍수에 관련한 교육의 부재 등을 비롯한 정보전달의 미흡을 지적하였으며 다음으로는 부적절한 하천관리 50세대(23%), 돌발성 호우 36세대(16%), 하천 및 하수도의 통수능력 부족 24세대(11%), 주거지 인근지역의 도시화의 진행 23세대(10%), 상류지역의 도시화에 따른 토지이용의 변화 12세대(5%) 등의 순으로 분석되었다.

4.2 피난상황

피난을 필요로 하는 피난대상자가 실제 피난 행동을 하기까지는 개개인이 위험한 상태에 있는 것을 인식, 이론적으로 납득하여 피난하는 경우와 피난할 수 밖에 없는 심리상태에 이르러 피난하는 경우로 분류하여 해

석할 수 있다. 어느 쪽이 주체가 되는가는 피난대상자의 연령구성이라든가 위험성의 인지정도 등과 같은 내적 요인과 관공서 및 대중매체로부터 전달되는 각종 정보의 유효·적절한 피난정보 숙지도와 같은 외적인 요인에 좌우된다. Fig. 3은 외적인 요인이 부재인 경우 실제 피난행동을 행하는데 있어서 피난행동을 취하는 직접적인 동기에 대한 설문 결과로 주로 인근 주민의 권유(51%)와 가족간의 협의(32%)에 의해 궁극적인 피난이 이루어진 결과를 나타내고 있다. 또한 이 지역은 피난활동이 이루어지기 약 3시간 전인 12시 경에 정전됨으로써 대중매체에 의한 피난권고의 효과를 기대할 수 없었고 관공서에 의한 피난요청정보도 피난이 마무리되는 단계에 발령됨으로써 외적인 요인에 의한 피난활동은 이루어지지 않았다. 피난명령 또는 피난권유를 전달받아도 실제 피난행동을 취하는가는 결국 주민자신이 선택하는 판단에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 따라서 이 경우, 주민자신이 피난행동에 이르기까지 판단의 적절성은 일상시 수해발생을 가정한 주변환경, 침수심의 정도 등에 의존하게 되므로 이에 대한 파악이 피난행동을 행하는데 중요한 요소가 된다.

5. 피난유속 및 수심의 분석

5.1 실험의 개요

적정 피난수심은 피난행동 과정에 있어서 인명피해를 발생시킬 수 있는 직접적인 요인이다. 특히 제방의 월류 및 파제로 인해 급격히 증가되는 유속과 침수위의 상승은 정상적인 피난활동에 방해요인이 된다. 따라서 하천 범람시 적정피난 수심과 유속과의 관계를 결정하기 위하여 수리실험을 행하였다. 수리 모형실험은 벽면부분이 유리로 되어 있는 폭 0.75 m, 깊이 0.60 m, 길이 30 m의 콘크리트 평면 직선 수로에서 실시하였다. 물은 Fig. 4와 같이 동력에 의하여 재순환되고 수로 상류단에는 Fig. 5과 같이 급수밸브와 광정 웨

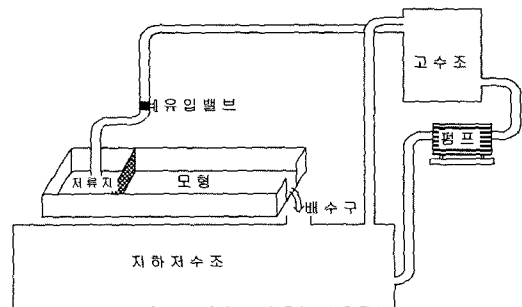


Fig. 4. The water cycle concept of fixed open channel.



Fig. 5. Water level control gate of fixed open channel.

어가 설치되어 유량을 조절할 수 있으며 하류단에는 수위 조절용 수문이 수로와 같은 높이로 설치되어 있으며 이 수문을 조절함으로써 침수위를 고려하였다.

5.2 적정 피난 수심의 분석

보행실험은 평균 신장 174 cm, 평균체중 65 kg의 20대 후반과 30대 초반의 남성 3명을 대상으로 행하였으며 이들 3인의 유속 0 m/s, 수심 0 m에서의 평균 이동거리는 약 90 m/min였으며 이들의 개인별 이동속도는 큰 차이가 없었다. 이 후에는 유속을 일정한 비율로 증가시킴으로써 보행속도와 침수심을 반복적으로 구하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 보행속도와 침수심, 보행속도와 유속과의 관계를 10 m 고정상 개수로에서 실시한 값을 100 m로 환산하여 나타낸 것이다. Fig. 6의 보행속도와 침수심과의 관계를 보면 최초 침수심이 0인 경우의 평균 이동속도는 90 m/min이었으나 침수심이 증가함에 따라 이동거리는 감소하여 침수심이 0.55 m(무릎 위부분)에 이르렀을 때는 개수로의 고정상

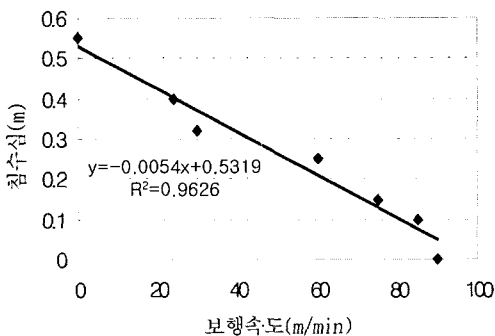


Fig. 6. Relationship between walking velocity and inundation depth.

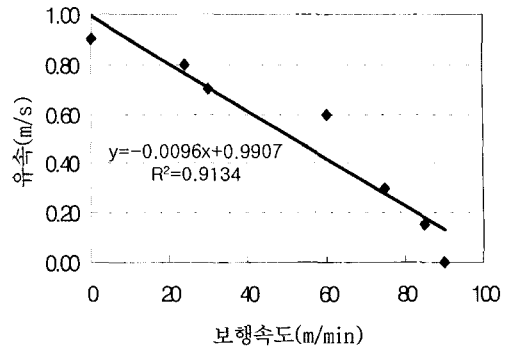


Fig. 7. Relationship between walking velocity and water velocity.

에 의지해야 보행이 가능하므로, 침수심 0.55 m가 적정 피난속도로 나타났다. 또한 Fig. 7의 보행속도와 유속과의 관계를 보면 침수심이 0인 상태에서부터 보행속도는 점차로 감소하여 유속이 0.9 m/s일 때 보행이 불가능하여 침수심 0.55 m, 유속 0.9 m/s인 경우 적정 피난 침수심 및 유속으로 나타났다. 이와 같은 사항에 대하여 보행속도(y)를 침수심(X₁)과 유속(X₂)에 대한 회귀분석을 실행한 결과 식 (1)과 같은 1차식을 유도하였으며 보행속도, v(h)를 수심이 0인 상태의 보행속도와 유속과의 관계를 고려하여 식 (2)와 같이 유도하였다.

$$y = 97.75 - 8.80X_1 - 163.79X_2 \tag{1}$$

$$v(h) = (1 - h/0.7) \cdot v_0 \tag{2}$$

여기서, v₀는 평상시 보행속도(m/min), h는 침수심(m)을 나타내며 상기 식 (2)는 20대 후반에서 30대 초반의 남성1인을 기준으로 상정한 계산식으로 다수라든가 연령별 또는 건강상태에 따라 계수가 다를 수 있다.

본 연구지역의 시가지 침수 당시 피난활동이 14시경에 개시되어 17시경에 완료된 것을 고려하면 이 지역에 있어서 범람에 따른 피난 유형은 행정에 의한 외적 요인에 의한 것이 아니라 평상시 수해에 대한 인식으로부터 주민 개개인이 위험한 상태에 있는 것을 인식, 피난할 수 밖에 없는 심리상태에 이르러 피난한 것으로 볼 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 2002년 8월 31일 태풍 루사에 의한 집중호우 당시 인적·물적인 면에서 막대한 홍수피해 경험에 있는 주민을 대상으로 현지조사를 통하여 실제 피난에 이르기까지의 의사결정 요인을 분석하였으며

강우상황별 행하여진 대응대책을 토대로 인명피해가 발생하기까지의 과정을 시간별로 분석하였다. 또한 수리모의 시험을 토대로 홍수시 적정 피난보행 속도식을 유도하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 사항 및 기대효과를 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구지역에 있어서 피난 유형은 피난자 스스로 피난을 해야 하는 긴박한 시간에 이르러서야 피난행동을 취하는 경우로 조사되어 향후 원만한 피난 및 수방활동을 위해서는 강우상황별 침수흔적도 공개, 지정피난지의 적정성 검토 등이 선행되어야 한다.

2) 하천범람 당일 피난대상주민의 피난 시간은 약 3시간이 소요되어 피난활동이 완만하게 진행되었으며 급후 피난시간을 단축시켜 효율적인 피난활동을 유도하기 위해서는 평상시 침수심을 고려한 피난훈련을 통하여 자주적인 사전준비가 가능할 수 있는 방안이 모색되어야 한다.

3) 침수심에 대한 수리 모형실험 결과 침수심 0.55 m, 유속 0.9 m/s인 경우 적정 피난 침수심 및 유속으로 나타났으며 이는 침수예상 지역에 있어서 지역별 강우상황 및 홍수도달시간을 고려하여 적정 시간에 피난권고, 피난 명령 등을 발령하여야 하는 수방활동

차원에서 중요한 요소이다.

참고문헌

1. 浅田純作, “洪水避難に關わる情報提供とその住民理解に關する研究”, 日本土木學會 水工論文集, 第45卷, pp. 37-42(2001).
2. 井上和也ら, “洪水ハザードマップの作成についての一考察”, 京都大學防災研究所報, 第39號, B-2, pp.459-481(1996).
3. 片田敏孝ら, “洪水ハザードマップの作成狀況と作成自治体による事後評價”, 日本土木學會 水工論文集, 第45卷, pp.31-36(2001).
4. 杉万俊夫, “グループダイナミックスと地域計劃”, 土木學會論文集, No.506/IV-26, pp.13-23(1995).
5. 及川康, “山地中小河川流域の豪雨被害に對する住民の危険度認識と情報理解に關する研究”, 日本土木學會 水工論文集, 第45卷, pp.43-48(2001).
6. 동해시기상대, 기상자료(2003).
7. 삼척시 홈페이지(www.samcheok.or.kr).
8. 동해시, “4.12 산불의 교훈”(2000).