

2000년 강원도 동해안지역 대규모 산불화재가 태풍루사 홍수피해에 미친 영향 - 삼척시 오십천을 중심으로

A Study on the Flood Damage Assessment by Typhoon RUSA in the East Coast of Kangwon Prefecture Following the 2000 Large Scale Fire Disaster -Focused on the Watershed of Oship River, Samcheok City

강 상 혁[†]

Sang-Hyeok Kang[†]

남경엔지니어링(주)

(2003. 8. 12. 접수/2003. 11. 10. 채택)

요 약

강원 동해안 지역은 산불과 홍수와 같은 재해가 빈번하게 발생되어 왔다. 2000년 4월 대규모 산불의 발생으로 산림은 소실되고 황폐화 되었다. 더욱이 2002년 8월 31일 일강우량 315 mm를 동반한 태풍 루사로 인하여 178명의 인명피해와 막대한 재산피해를 경험하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 실제 피해지역의 현장 조사를 통하여 산불재해를 고려한 홍수피해의 원인을 규명하고자 하였다.

ABSTRACT

The east coast of Kangwon province has been suffering from natural disaster like wildfire and flooding. In April 2000, there has been a great wildfire in this area. Many forest was burnt out, the mountain was bared. Furthermore, on 31st August, 2002 typhoon RUSA attacked the area with heavy rainfall of about 315 mm/day, which resulted in 178 deaths and extensive damage to the property. In this regard, our study was focused on the assessment of the factors of flooding damage considering wildfire disaster. Most of results for our study are derived from practical investigation in the east coast of Kangwon province.

Keywords : Great wildfire, Typhoon RUSA damage

1. 연구배경 및 목적

2002년 8월 31일 오전 3시에서 9월 1일 오전 2시 사이에 집중된 강원도 지역의 기록적인 폭우는 대규모 사면붕괴와 토석·토사류의 유출로 인하여 인명피해 178명 재산피해액 2조 5천 만원으로 전국의 인적·재산 피해의 절반에 해당하는 막대한 피해를 입혔다.^{1,2)} 인명 피해지는 인구가 집중되어 있는 하천 하류부보다 산간 지역, 저수지와 같은 수자원 저류시설, 교량과 같은 하천구조물의 주변지역에 피해가 많았다. 이와 같

은 피해의 직접적인 원인은 예측할 수 없었던 규모의 강우량이 되겠지만, 그 밖에 유역의 유출계수의 변화, 재해에 대한 주민의 방재의식의 정도 등과 같은 외적 요인이 홍수피해를 확대시킨 요인이라 할 수 있다.

특히 이 지역은 2000년 4월 대규모 산불이 발생한 지역으로써³⁾ 이로 인해 유출메카니즘이 변화되어 유역이 가지는 치수의 기능이 저하되었다고 고려되며 이러한 유출과정을 규명하는 것은 대규모 산불후에 예상되는 2차 재해에 대한 방재적 차원에서 큰 의미를 가진다고 하겠다. 또한 산림이 대부분 급경사 지역에 산재해 있는 지형적인 특징을 고려해 볼 때, 산불후의 홍수가 토사유출, 산사태에 미치는 영향을 규명하는 것

[†] E-mail: kang7231@hanmail.net

은 주요한 과제라고 보여진다. 집중호우 피해에 대해서는 대부분 강우사상에 따른 유역의 지형적인 특성을 고려한 단기적인 유출과정에 국한되어 연구가 진행되어 왔으며 유역의 장기적인 변화요소를 고려한 하천하류부의 피해과정에 대해서는 명확하게 규명되지 않았다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 2000년 4월 동해안 지역에서 발생한 산불이 2002년 8월 31일 발생한 태풍 루사에 따른 유출의 장기적인 변화에 대한 정량적인 평가와 피해에 미치는 영향요인을 오십천 유역을 대상으로 유출 모의실험을 통하여 정량적으로 검증하고자 하였다.

2. 수해발생의 요인

2.1 도시화의 진전에 따른 제문제의 발생과 그의 배경

최근의 도시지역에서의 수해의 증가는 도시화에 따르는 토지이용의 변화에 기인된 것으로, 호우시에 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 높이고 아울러, 홍수도달시간의 단축화는 그에 따르는 홍수예측 및 긴급시의 피난 등 수방 활동을 곤란하게 한다.

2.2 유역의 식생분포에 따른 유출계수의 변화

강수의 일부는 식생에 의해 차단, 저류되어 다시 증

발과정을 통하여 대기로 환원된다. 그러나 대규모 산불이 발생하면 식생이 가지는 저류능력이 저하되어 표면유출량이 증가하게 된다. 유역에서의 표면유출량의 증가는 하천 하류부에서의 홍수도달시간의 단축과 침투유량을 증가시키는 요인이 된다.

2.3 종합적 치수대책의 필요성

종합적인 치수대책은 수해에 의한 피해를 최소한으로 억제하는 것을 목적으로, 지금까지의 하도만을 계획대상으로 한 치수계획으로부터 유역전체를 고려한 치수계획으로의 전환을 의미하고 있다. 유역대책으로서서는 보수·유수기능의 확보, 홍수범람의 발생을 전제로 한 토지이용이라든가 건축방식의 설정 등을 들 수 있고 주민의 수방·피난 등의 대응대책도 중시되고 있다. 또한 치수계획전체가 완성되기까지는 장기간을 요하기 때문에 당면 정비수준을 명확하게 할 필요가 있다. 따라서 긴급 잠정적인 시책으로써 추진되어 온 종합적인 치수대책을 항구적인 시책으로 전환할 필요가 있다. 현재 이러한 시책이 도시화가 급격히 진전하고 있는 하천유역에 대하여 실시되어 왔으나 기존 시가지가 대부분을 점하는 하천유역에 대해서도 종합적인 치수대책을 추진할 필요가 있다.

3. 피해발생의 원인분석

3.1 기록적인 강우량

Fig. 1에 나타난 바와 같이 태풍 루사에 의한 집중호우 당일의 시간당 최대강우량은 100 mm/h로 이 지역 사상최대의 강우기록을 나타냈으며 누가 우량에 있어서도 동해기상대 319 mm/d, 삼척시 근덕면 지역 307 mm/d, 삼척시 노곡면 지역 813 mm/d, 미로면지역 737 mm/d를 기록하였다.⁵⁾ 그러나 이와 같은 강우량은 지역적으로 산간지역에 집중적으로 분포되어 홍수피해

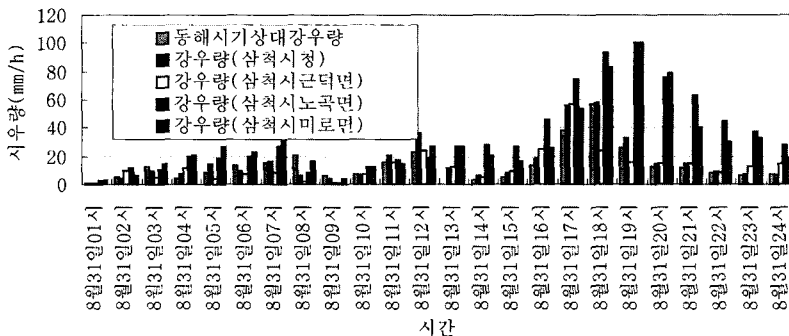


Fig. 1. Resional hourly rainfall (August 31, 2002).



Fig. 2. The watershed of Oship river.



Fig. 3. Bridge damage due to driftwood.

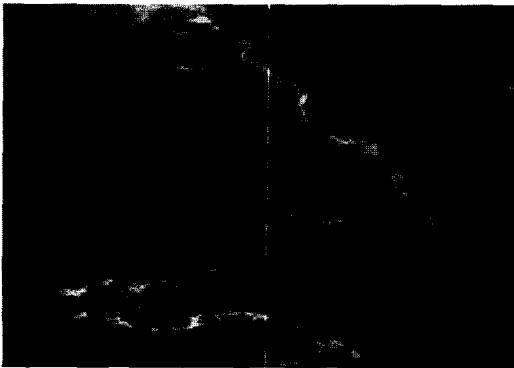


Fig. 4. The driftwood from upstream.

를 가중시키는 요인이 되었다.

3.2 산불 피해지역의 유목 및 토사유출

2000년 4월 영동지역에서 발생한 대규모산불과 전후 크고 작은 산불은 이 지역의 유출계수를 변화시킴으로 홍수피해를 더욱 가중시켰다. Fig. 2와 3에서 보는 바와 같이 산불 발생지역에서 연약한 지반과 토층의 지

지력을 상실한 표층부가 하류로 유출됨으로써 홍수피해를 가중시켰다. 또한 Fig. 4와 같이 산불지역에 산재해 있는 유목들이 교량과 같은 하천 구조물을 폐쇄함으로써 교량의 파손, 홍수피의 횡적인 전파에 의한 침수 등을 유발시켰다.

3.3 하천 하류 합류부의 통수단면 부족

삼척지역은 1995년까지 근덕면에서 관측한 기상자료를 이용하여 하천 구조물의 설계 및 홍수 통수단면적을 산정하여 왔으나 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 실제 미로면, 노곡면 지역의 시우량과는 현저한 우량차이가 있으며, 이와 같은 우량의 차이가 실제 하천의 통수단면적이 과소 설계로 이어져 하천하류부의 정체현상과 하천구조물의 유실 및 파손을 초래한 것으로 사려된다.

4. 산불에 따른 유출량의 변화

4.1 유출량의 추정방법

본 홍수량의 증가는 기록적인 강우량과 상류지역의 산불에 따른 토사·토석류의 유출로 인하여 그 피해가 확대되었다. 유역 상류지역은 산불 발생지 주변의 산사태 및 토석류의 유출로 인한 피해가 대부분이며 하류부 지역은 토사와 가중되는 유출량의 증대에 의해 막대한 침수피해를 입었다. 따라서 유출해석에 있어서는 2002년 8월 31일 태풍 루사 당시의 강우자료를 토대로 산불발생 전후의 유역 토지이용의 변화를 고려하여 수치 계산하였다. 산불발생에 따른 피해면적의 산정은 2001년 발행된 삼척시의 산불백서를 이용하여 오십천 유역내 해당 읍, 면의 산불피해 면적을 취합하여 유역 전체의 피해면적을 계산하였으며 산정결과 전체 유역의 8%가 소실된 것으로 나타났다.

4.2 유출량의 계산결과

홍수량 유출해석은 기존의 홍수기록이 없으므로 유역 특성을 고려한 중안(中安)의 종합단위도법⁶⁾을 이용하였다. 중안에 의한 유출 형태는 강우에 따른 침투유량(순간 최대유량, peak discharge)을 $Q_p(L^3/T)$, 침투유량 도달 시간을 $t_p(T)$, Q_p 에서 0.3 Q_p 로 감소하기까지 필요한 시간 $t_k(T)$ 에 의해 결정된다. 유로연장을 $L(km)$, 단위시간 $t_o(T)$ 를 가지는 강우의 침투유량의 지체현상은 0.8 t_o 의 시각으로부터 측정하여 $t_g(hr)$ 로 하면 침투유량의 지체시간 $t_g(T)$ 는,

$$L \geq 15 \text{ km일 경우 : } t_g = 0.4 + 0.058L$$

$$L < 15 \text{ km일 경우 : } t_g = 0.21L^{0.7}$$

로 나타내며 유역면적을 $A(\text{km}^2)$ 로 하면 $t_k(\text{hr})$ 는 다음 식으로 나타낸다.

$$t_k = 0.47(AL)^{0.25} \quad (1)$$

단위 강우량을 $R_o(\text{mm})$ 로 한다면 첨두유량은,

$$Q_p = AR_o / [3.6(0.3t_p + t_k)] \quad (2)$$

으로 나타낸다.

또한 유역의 유출환경이 변했을 경우 이를 고려한 유출량의 평가 $Q_c(L^3/T)$ 는,

$$Q_c = Q_c^*(1 - (C/100)) \quad (3)$$

으로 정의한다.

여기서, C는 유역의 유출환경의 변화정도를 나타낸다. Fig. 5 및 Table 1은 오십천 하류부에 있어서 산불피해의 정도에 따른 우수유출의 변화량을 증안의 방법에 의한 계산치를 비교한 것이다. Fig. 5 및 Table 1에 나

타낸 바와 같이 산불이 발생한 후의 첨두유량(peak discharge)을 발생 전과 비교해 볼 때 8%의 산림 소실 시 유출율의 변화량은 4%, 30% 소실시 17%, 50% 소실시 37%, 70% 소실시는 39%로 각각 계산되었으며 첨두유량의 발생시간에 있어서는 30%의 산림소실시에 1시간, 70%의 소실시에는 2시간이 단축되는 것으로 계산되었다.

4.3 호우피해의 종합적인 평가 대응상의 문제점

유역에서의 대규모 산불의 발생은 표토층의 지지력을 저하시켜 호우시 사면붕괴, 토석류의 유출 등으로 이어져 피해를 가중시켰다. 본 연구지의 피해상황을 태풍 루사 당일의 강우사상, 피해흔적에 따른 현장조사 내용을 종합하여 분석하면 Fig. 6과 같이 정리할 수 있다. 즉, 수해피해의 요인을 재해를 발생시키는 환경을 제공하는 소인(素因)과 그와 같은 환경에서 재해를 직접 일으키는 유인(誘因)으로 구분하여 재해발생 과정

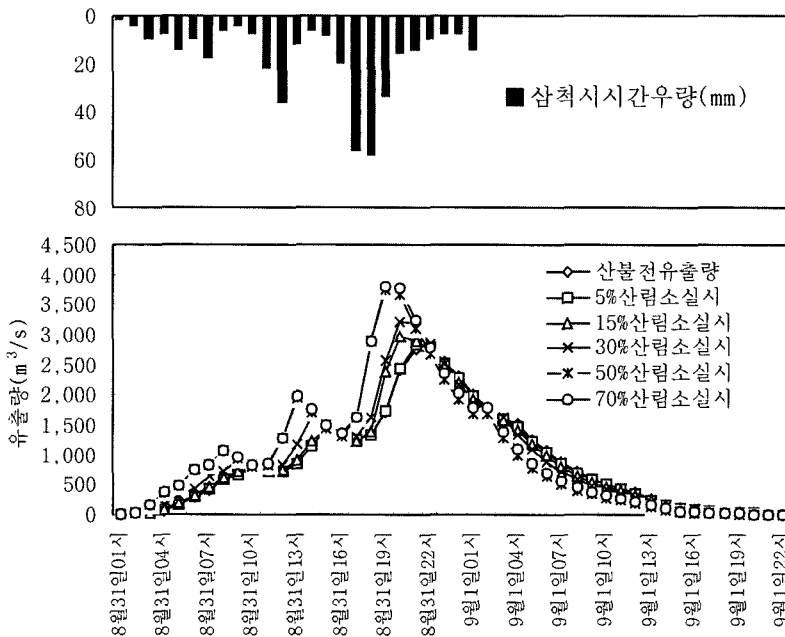


Fig. 5. The flood discharge according to the rate of burnt forest.

Table 1. Variation of peak discharge and its arrival time according to burnt forest rate

	산불전유출량 (m^3/s)	8%산림소실시 (m^3/s)	15%산림소실시 (m^3/s)	30%산림소실시 (m^3/s)	50%산림소실시 (m^3/s)	70%산림소실시 (m^3/s)
첨두유량(m^3/s)	2746	2852	2981	3216	3761	3815
유출율증가(%)	-	4	9	17	37	39
첨두유량도달시간	-	1시간단축	1시간단축	1시간단축	2시간단축	2시간단축

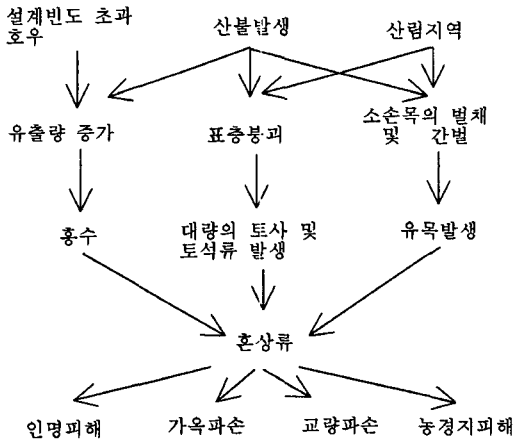


Fig. 6. Flood damage mechanism owing to large scale wildfire.

을 분석할 수 있다. 수해피해 발생의 소인으로는 하천의 만곡부의 형성, 요철(凹凸)의 형성, 급경사와 같은 지형적인 요인과 우수의 침투능과 토양의 지지력을 결정하는 지질 등이 있다. 유인으로는 집중적인 호우와 산림의 토지피복의 변화에 의한 유출현상의 변화, 그리고 인적 요소로는 수해발생의 잠재적 발생에 대한 대응미비 등이 있으며 본 연구대상지의 경우는 이와

같은 재해발생의 소인과 유인이 복합적으로 작용하여 피해를 가중시켰다고 고려된다. 또한 산불에 따른 침투유출량의 증가, 침투유출시간의 단축은 하천 하류부에 위치한 시가지에 있어서 방재상의 문제를 야기할 수 있다. Fig. 7은 삼척시의 경우, 태풍 주의보의 발표에서 강우상황에 따른 시가지의 침수, 피난상황 및 복구에 이르기까지의 과정을 나타낸 것으로 산림소실과 같은 유역의 유출과정의 변화는 홍수도달시간을 단축시킴으로써 궁극적으로 적정시기에 피난계획을 수립하는데 있어서 고려되어야 할 주요인자임을 시사하고 있다.

5. 결 론

본 연구는 2000년 동해안 지역의 대규모 산불재해에 이은 태풍 루사에 의한 집중 호우피해 발생원인을 현지 조사를 토대로 규명하고자 하였으며 또한 수문모형을 이용하여 산림소실 정도에 따라 하천 하류부에 미치는 영향에 대하여 정량적인 분석을 하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 산불에 의해 소실된 나무는 호우시 하천으로 유입되어 하천구조물을 손상시키거나 교량의 경간을 폐쇄하여 우수의 통수단면적을 감소시킴으로써 교량의

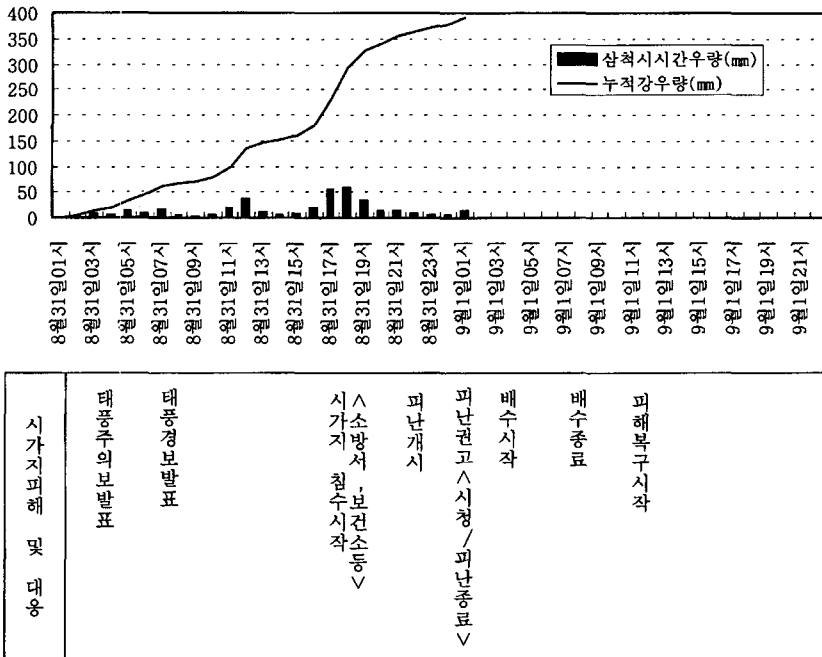


Fig. 7. Urban area damage by rainfall condition(Typhoon RUSA on August 31, 2002).

안전성 저하, 홍수피의 횡적인 전파에 의한 인근지역의 피해발생과 같은 2차 피해를 유발시키는 요인이 되었다.

(2) 대규모 산불재해에 이은 집중 호우는 하천구조물의 손상 외에 Table 1에 나타낸 바와 같이 하천 하류부에 홍수유량과 유출율이 증대되는 결과를 초래하며 상대적으로 유역 상류지역의 산림에 따른 우수 보수력을 저하시킨다.

(3) 산림소실에 따른 침투 홍수도달시간의 단축은 궁극적으로 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 행정측으로 하여금 효과적인 피난활동을 곤란하게 하거나 시가지의 침수요인으로 작용하였다. 따라서 하천하류부 지역에서 수재해의 피해를 줄이기 위해서는 유출에 대한 유역 환경변화 요인의 정량적인 분석과 함께 평상시 재해에 대한 관련정보의 공유를 통한 충분한 대비책을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김영택, "태풍루사로 인한 피해실태와 복구방향", 강원발전연구원(2002).
2. 강상혁 외, "2000년 동해안 지역 대규모 산불화재가 태풍루사 홍수피해에 미친 영향에 관한 연구", 한국화재·소방학회 춘계학술논문 발표회, pp.32-36(2003).
3. 삼척시, 2000 산불백서(2001).
4. Y. Oikawa, *et al.*, "The Characteristics of Inhabitants Cognition Involving Heavy Rainfall Hazard in Small Mountainous River Basin", Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 45, pp.43-48(2001).
5. 삼척시 홈페이지(www.samcheok.go.kr), 2003.
6. 河村三郎, 수리·수문(水文·水理) 1, 森北出版社.(1985).