

An Evaluation of Flash Flood and Debris Flow Guidance in Gangwon Province in Korea

Byung In Yu[#], Byung Sik Kim⁺, Suck Ho Lee⁺⁺

Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

Abstract

Gangwon Province in Korea is relatively vulnerable to landslides and debris flows since it is mountainous and has a climatic condition under which summer monsoon and localized heavy rain occur frequently. Scale generation of flash floods and debris flow become greater in the case of cumulative rainfall, causing a greater scale of damage. As it is critical to identify a threshold of rainfall amount triggering flash food, debris flows and landslide, this study develops a flash flood-triggering rainfall curve and a debris flow-triggering rainfall curve. Debris flows and landslides caused by rainfall were estimated as rainfall intensity, both effective average rainfall and accumulated rainfall, depending on the effective time. In order to estimate the amount of flash flood-triggering rainfall, we estimated peak discharge, overtopping discharge, and threshold runoff. As a result, by making a linkage between the flash flood-triggering rainfall and the debris flow-triggering rainfall, we presented the two rainfall regression curves, FADG (Flash flood and Debris flow Guidance) curves for flash flood and debris flow, as a tool to monitor triggering rainfall.

Key words: flash flood-triggering rainfall, debris flow, triggering rainfall, FADG

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라에서 발생하는 돌발홍수와 산사태는 여름철에 집중되어 있고 주로 짧은 시간에 높은 강우강도를 가진 집중호우와 태풍으로 인해 발생이 되고 있으며 많은 재산피해를 초래하고 있다. 돌발홍수가 발생 하였을 때 홍수의 빠른 유속으로 인해 유출량을 증가시키고,

물과 함께 많은 양의 토사, 자갈, 나무 등을 동반한 토석류를 형성하여 하천의 흐름을 변형시키거나 하상을 상승시켜 하천재해를 크게 가중시키는 요인이 된다 (Kim, *et. al.*, 2009). 또한 분석할 지역인 강원도는 산지 지형이 많고 경사도가 크기 때문에 6~9월의 집중호우로 인한 돌발홍수, 산사태 및 토석류의 발생빈도가 잦다. 본 연구에서는 돌발홍수와 토석류를 유발시키는 강우량에 대해서 분석을 실시하였다. 돌발홍수 유발강

[#] The 1st author: Byung In Yu, Tel. +82-33-570-6838, Fax. +82-33-570-6469, e-mail, ybi5956@kangwon.ac.kr

⁺ Corresponding author: Byung Sik Kim, Tel. +82-33-570-6819, Fax. +82-33-570-6469, e-mail, hydrokbs@kangwon.ac.kr

⁺⁺ Co-corresponding author: Suck Ho Lee, Tel. +82-33-570-6838, Fax. +82-33-570-6469, e-mail, esoco@kangwon.ac.kr

우량(Flash Flood Guidance, 이하 FFG)분석 부분에서는 인제군의 북천 소유역에 대해 침투홍수량, 한계유출량, 월류홍수량, 돌발홍수 기준도를 산정하였다. 토석류 유발강우량(Debris Flow Guidance 이하 DFG) 분석에서는 강원도 지역을 중심으로 예측 및 예보를 위한 기준에 발생하였던 토석류와 산사태에 대해서 분석하였고, 유효시간에 따라 강우강도, 유효평균 강우강도, 유효누적 강우량을 선정하여 강우기준을 설정하였다. 마지막으로 돌발홍수 유발강우기준과 토석류 유발강우 기준을 연계하여 분석하였다.

2. 연구동향

최근에 돌발홍수와 토석류로 인한 피해가 증가하고 있으며 이에 대한 피해의 심각성을 인식하고 돌발홍수와 토석류 재해 저감을 위한 연구가 진행되고 있다. 우리나라에서는 산림청, 한국건설기술연구원, 국립재난안전연구원, 한국도로공사, 한국지질자원연구원 등 주요 국가기관에서 연구가 진행되고 있다. Ministry Of Construction & Transportation(2005)에서는 수문자료와 GIS 자료가 고려가 된 국내유역에 적합한 돌발홍수 및 예측 모형(F2MAP)을 개발하였다. Kim, *et. al.*(2009)은 지점강우자료를 크리깅 작업을 통해 격자형 강우로 변환하여 돌발홍수로 인해 발생하는 토석류 위험도를 시·공간간적으로 비교·분석하였다. Lee(2004)는 돌발홍수를 발생시킬 수 있는 강우-유출관계를 지형학적 수문단위(GIUH)를 이용하여 산정하였다. 각 소유역 침투홍수량 결정 및 한계유출 결정 기법과 예경보 시스템의 적용 및 분석을 통해 적정 경보 우량을 산정하였다. Kim, *et. al.*(2012)은 GIS 기법을 이용한 지형기후학적 순간단위(GCIUH)를 유도하였으며, 유효우량을 산정하기 위한 NRCS-CN값을 산정하여 주요 호우사상에 대하여 분석하였다. 50년 빈도의 설계홍수량에 해당하는 수심을 한계수심으로 설정하고, 지속기간을 고려하여 돌발홍수 기준우량을 산정하였다. Oh(2013)은 권역별 강우기준과 암종별 강우기준을 제안하였고, Yu(2012)는 2006년 태풍의 영향으로 강원영

서지역에서 발생한 집중호우에 의한 산사태 발생원인과 특성(지질현황, 강우특성, 기하특성)에 대하여 분석하였다. Choi(2013)는 토석류 발생지역의 현장조사를 실시하여, 예측 및 예보를 위한 기준에 발생된 토석류와 산사태를 분석하였고 발생당시 강우의 영향, 지형 및 지질조건 등의 영향에 대해 통계적 분석을 하였다. Kim(2008)은 토석류 발생지역의 지형 및 토석류 유발강우자료를 조사, 분석하였다. 국외의 연구사례를 살펴보면 Bacchini(2003) 등은 강우강도, 기간, 연평균강수량을 이용하여 토석류 활동에 대한 임계값에 대해 퍼센트로 연구 하였다. Wiczorek(1987)은 선행강우, 강우강도와 강우지속시간 간의 관계를 분석하고 경사도의 깊이에 따라 구분하여 발생에 대한 관계를 분석하였다. Chen(2005)은 토석류 발생에 대한 강우강도와 기간의 관계에 대해서 분석하였고, 해당지역의 강우패턴 및 지형학적요소를 결합하여 토석류를 실시간으로 모니터링하고 분석하였다.

3. 연구방법

분석 방법은 돌발홍수 유발강우분석과 토석류 유발강우분석으로 나누어진다. 돌발홍수 유발강우분석에서는 소유역을 분할 후 침투홍수량, 월류홍수량, 한계유출량을 산정하고 강우-유출관계식을 산정하기 위해 개념적 분포형 유출모형 S-RAT(Spatial Runoff Assessment tool)을 이용하였다. S-RAT 모형에서 매개변수 검보정을 실시한 후에 설계강우량 200년 빈도의 강우량을 Huff 3분위법에 의해 생성하여 검보정을 실시한 S-RAT에 강우를 입력하여 총강우량을 산정한 후 소유역의 면적을 나누어 유출고를 산정한다. 그 후 강우-유출 관계식을 산정하여 1시간, 3시간, 6시간에 대한 FFG를 산정하였다. 토석류 유발강우분석에서는 I-D(Intensity-Duration) 방법을 사용하였다. I-D 방법은 강우지속시간에 따른 강우량의 변화를 판단할 수 있다. 단기강우부터 장기강우에 대한 특성을 고려할 수 있고 선행강우와 누적강우에 대한 개념이 들어가기 때문에 여러 가지 특성을 고려할 수 있다. 유효강우 (Effective rainfall)

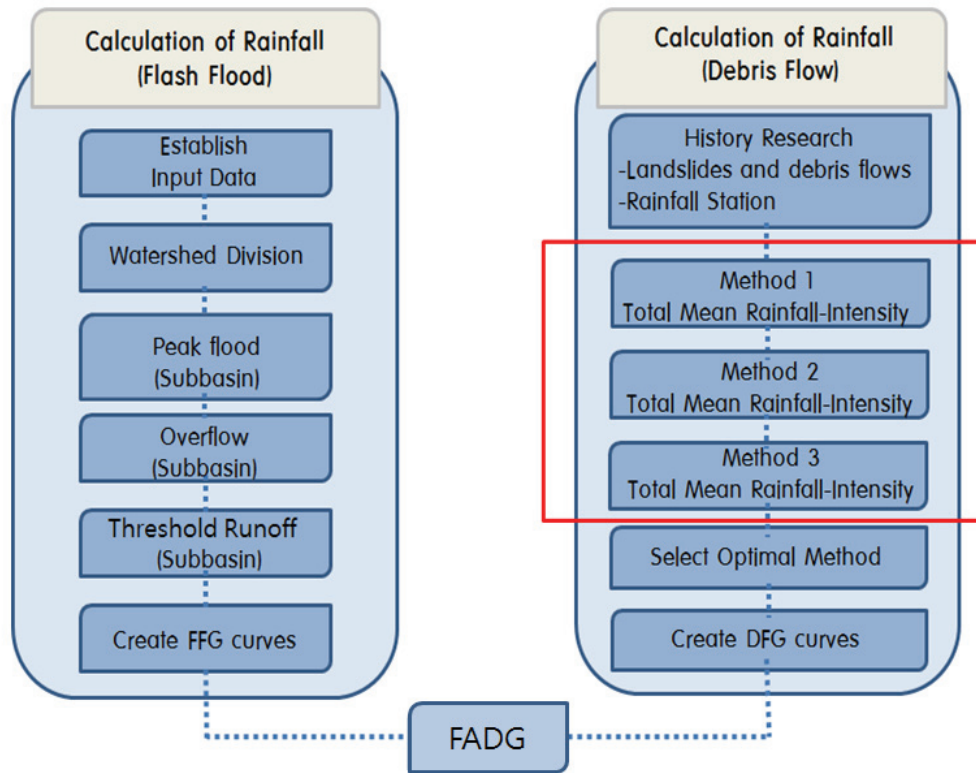


Figure 1. Flow chart

영역은 강우가 시작하여 토석류가 발생한 시점까지의 강우를 나타낸다. 분석방법은 다음의 3가지 방법을 이용하여 DFG를 산정하였다.

- 방법 I : 선행강우 고려한 토석류 사상별 지속시간에 대한 강우강도를 지속적으로 도출
- 방법 II : 유효시간 내에서의 평균 강우강도를 도출하여 강우기준을 적용
- 방법 III : 유효시간에서부터 유효누적강우량을 도출하여 강우기준을 적용

여기에서 유효시간은 산사태 및 토석류가 발생한 시점을 기준으로 10hr 이상으로 강우가 존재하지 않을 때를 기준으로 하였다. 분석한 3가지 방법 중 적용성 분석 후 최종 분석 방법을 선택하게 된다.

마지막으로 돌발홍수 유발강우량과 토석류 유발강우량의 연계 부분에서는 FFG 곡선이 누적강우량의 개념이기 때문에 DFG 곡선 산정 부분에서는 방법III을 이

용하여 연계하였고 각 등급별로 돌발홍수 및 토석류 유발능에 대한 가이드라인 (Flash Flood And Debris flow Guidance, 이하 FADG)을 산정하였다. 연구 흐름도는 <Figure 1>과 같다.

II. 대상구역 선정 및 적용

1. 돌발홍수 유발강우량 산정에 대한 시험구역 선정
 돌발홍수 유발강우기준 산정을 위한 시험구역은 인제군 인북천 유역 중, 북천 소유역으로 선정하였다. 북천 소유역은 과거 돌발홍수와 토석류 발생 이력이 있는 지점으로 모의 결과를 비교 분석하기 용이하기 때문이다. 시험구역의 위치 및 현황은 <Figure 2>와 같다.

북천 소유역에 해당하는 강우관측소는 용대, 인제군 (백담산장), 원통관측소가 있고 수위관측소는 북천관측소의 자료를 이용하였다. 북천구역의 면적은 304km²이고 유로길이는 105km이다.

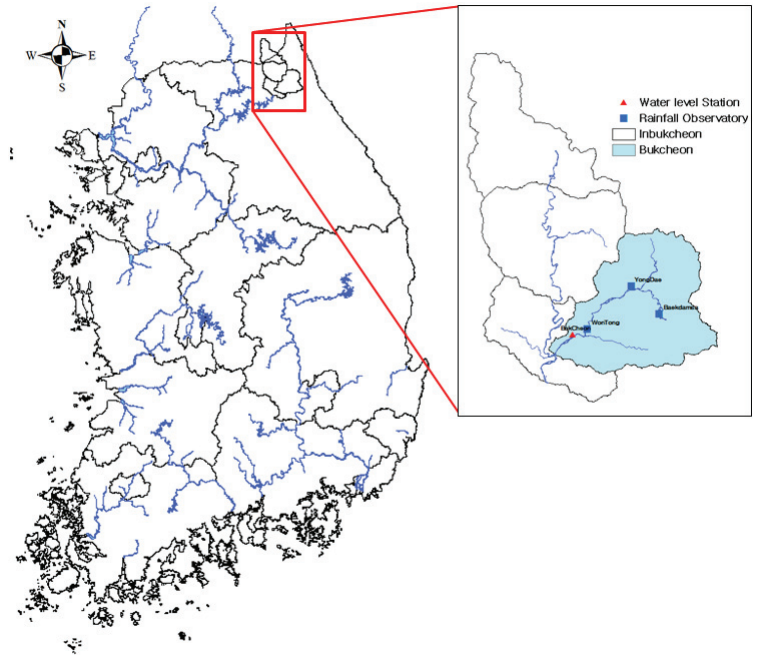
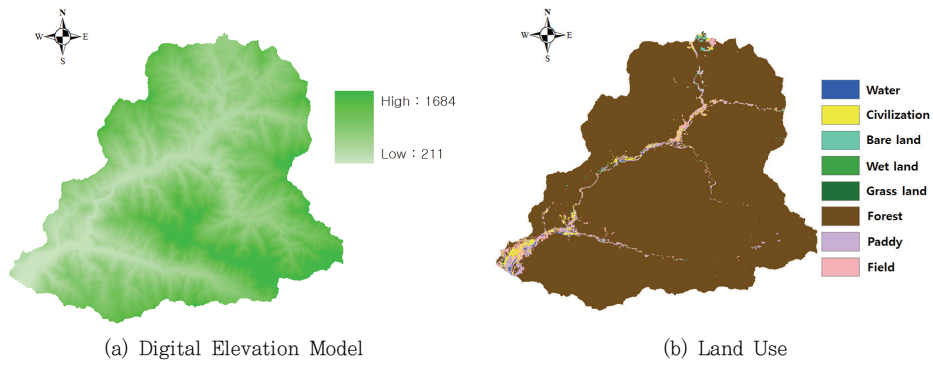
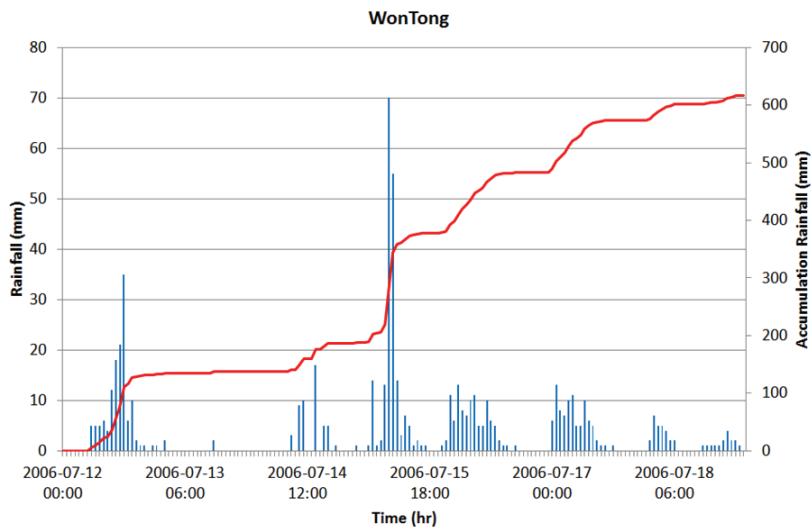


Figure 2. Basin status



(a) Digital Elevation Model

(b) Land Use



(c) Rainfall Data

Figure 3. Input data

1) 입력자료 구축

유역의 물리적 특성을 반영하는 모형의 효율성을 높이기 위해서는 GIS와 연계된 자료의 구축이 매우 중요하다. GIS 자료는 크게 수치표고모델(Digital Elevation Model)과 토지이용도(Land Use)이고 수치표고모델과 토지이용도는 30m×30m의 크기로 산정하여 이용하였다. 또한 수문기상자료는 국토교통부, 수자원공사의 자

료를 활용하였다. <Figure 3>

2) 지형분석 및 GCIUH 매개변수 산정

북천 유역의 소유역 분할 및 토지이용에 따른 각 소유역의 조도계수를 산정하기 위한 지형입력 자료로 30m×30m의 DEM과 토지이용도를 입력하였다. <Figure 4>는 지형분석 실시를 위한 유역 출구 및 임계

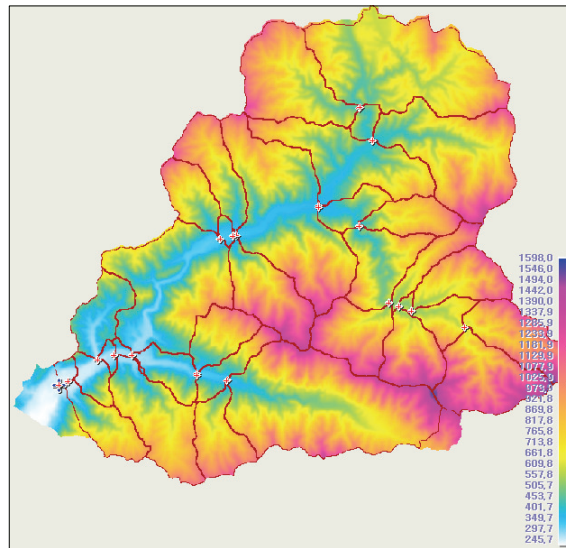


Figure 4. Watershed division

Table 1. Parameters of GIS

Basin	S_{Ω}	L_{Ω} (km)	RL	A_{Ω} (km ²)	b_{Ω} (m)	n	α_{Ω}	Π_i (1hr)	Π_i (3hr)	Π_i (6hr)
1	0.0	3.8	1.6	4.0	1043.1	0.0	0.02	19.1	57.4	114.7
2	0.0	3.3	1.5	3.1	931.1	0.1	0.01	33.8	101.3	202.6
3	0.0	2.7	5.1	3.0	1141.7	0.1	0.02	201.2	603.6	1207.3
4	0.0	1.7	1.3	1.2	705.3	0.1	0.02	3.5	10.5	21.1
5	0.0	0.9	1.2	0.5	539.3	0.1	0.01	1.9	5.7	11.3
⋮										
21	0.0	3.8	1.5	2.6	700.6	0.1	0.02	195.4	586.1	1172.3
22	0.0	2.7	2.4	2.1	785.4	0.1	0.03	163.8	491.5	983.0
23	0.0	3.0	1.5	2.3	767.4	0.1	0.02	155.1	465.3	930.6
24	0.1	1.2	1.2	1.1	872.1	0.1	0.03	34.6	103.9	207.8
25	0.1	1.7	1.3	1.1	642.5	0.1	0.03	45.7	137.2	274.3
26	0.1	2.7	2.4	1.9	688.8	0.1	0.04	74.5	223.5	447.0
27	0.1	2.7	3.1	2.9	1066.8	0.1	0.03	91.6	274.9	549.9
28	0.1	4.3	3.5	3.3	780.2	0.1	0.04	142.9	428.7	857.4
29	0.0	3.2	1.6	3.2	993.4	0.1	0.01	192.1	576.3	1152.6
30	0.1	0.3	0.5	0.1	357.7	0.1	0.05	2.4	7.3	14.6
31	0.0	9.6	2.9	11.0	1151.2	0.1	0.02	980.5	2941.4	5882.7
32	0.0	8.2	2.7	9.4	1157.9	0.1	0.02	895.0	2684.9	5369.8
33	0.1	3.2	3.0	2.2	692.0	0.1	0.04	112.5	337.5	675.0
34	0.1	5.7	5.7	4.4	773.4	0.1	0.03	203.9	611.8	1223.7
35	0.1	3.2	3.7	3.0	942.9	0.1	0.03	145.5	436.4	872.8

S_{Ω} : The slope of the highest order stream, L_{Ω} : The length of the highest order stream, RL : Length ratio, A_{Ω} : The area of the highest order stream, b_{Ω} : The average width of the highest order stream, n : Roughness

값을 지정하여 이에 따른 소유역 분할 결과이다. 소유역 분할이 된 후 각각의 소유역에 대해서 GCIUH 매개변수 산정 및 계산에 필요한 최고차 하천의 경사, 최고차 하천의 길이, 최고차 하천의 평균폭, 길이비, 조도계수를 산정하였으며 <Table 1>은 각 소유역의 특성 매개변수 산정 결과를 나타낸 것이다.

3) 월류홍수량, 한계유출량 산정

월류홍수량 산정을 위한 하천폭 계산을 위해서 식 (1), (2)와 같이 설계 지침 등의 보고서에서 사용되는 식을 사용하였다.

$$B = \alpha A^\beta \tag{1}$$

여기서 B는 계획하폭(m), A는 유역면적(km²), α 와 β 는 유역에 따른 상수이다.

$$B = 1.303 \frac{A^{0.318}}{S^{0.5}} \tag{2}$$

여기서 B는 계획하폭(m), A는 유역면적(km²), S는 유역의 하상경사이다. 식 (1)은 “소규모시설 설계지침 보고서”(Ministry Of Construction & Transportation, 1990)에서 소하천에 대해 제안하고 있는 식으로 하상경사가 극히 작거나, 실제 적용유역에서 기존의 알고 있는 하천단면의 폭과 유역면적의 회귀분석을 통한 식의 형성이 가능할 경우에 사용 할 수 있다. 식 (2)는 “하천 설계기준”(Ministry Of Construction & Transportation, 2000)에 의해 제안된 식으로 식(1)의 유역특성 상수를 지정하지 않았을 경우 지형분석을 통해 산정된 값을 사

용하여 하천 폭을 계산한다. 따라서 북천 유역에서는 단면 자료의 확보에 어려움이 있기 때문에 유역특성상수를 지정하지 않고 지형분석을 통해 산정된 값을 사용하여 하천폭을 계산하였다. 월류홍수량을 산정한 결과를 토대로 북천유역의 각 소유역에 대하여 1시간과 3시간과 6시간에 대하여 한계유출량을 산정하였다.

4) 돌발홍수 기준도 산정

돌발홍수 기준을 산정하기 위해 S-RAT 모형을 사용하였다. 강우-유출관계곡선 산정에 앞서 북천 유역의 수위관측소에는 유출량 자료가 없기 때문에 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 유량자료를 산정하였다. 강우사상은 2006년 7월 12일~2006년 7월 19일까지의 강우사상을 S-RAT 모형을 이용하여 유출분석을 실시하였고 매개변수 보정은 침투홍수량을 기준으로 보정을 실시하였다. <Figure 6>

북천 소유역의 설계홍수량 산정을 위해 사용한 강우관측소는 인근의 인제 강우관측소에 대해 확률 강우량을 따로 산정하지 않고 한국 확률강우량도(국토교통부, 2010)의 200년 빈도 확률강우량을 선택하여 Huff 4분위법에서 3분위를 이용하여 <Table 2>와 같이 지속시간 1시간, 3시간, 6시간에 대해서 강우-유출 관계를 산정하였다. <Table 2>의 강우-유출 관계를 이용하여 <Table 3>과 같이 강우-유출 관계식을 산정을 하였다. <Figure 7>은 강우유출관계식을 이용하여 각 소유역 별로 돌발홍수 기준도를 산정한 결과이다.

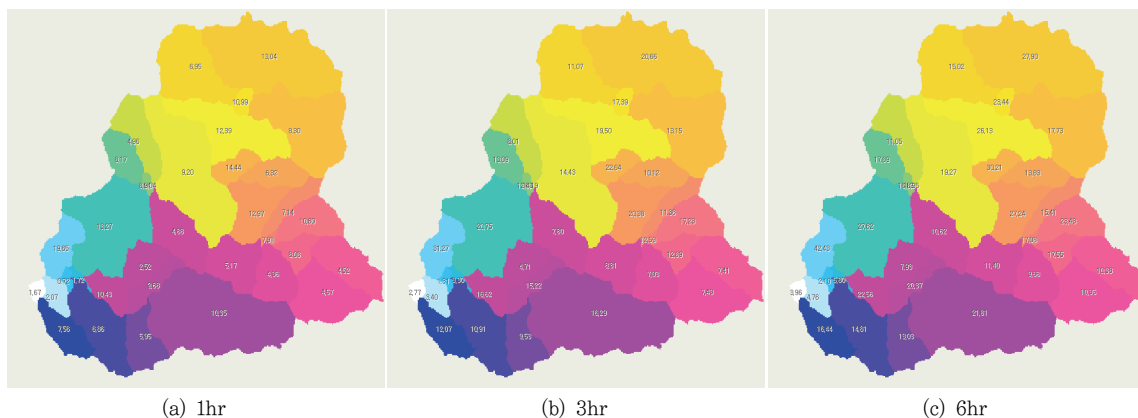


Figure 5. Threshold runoff

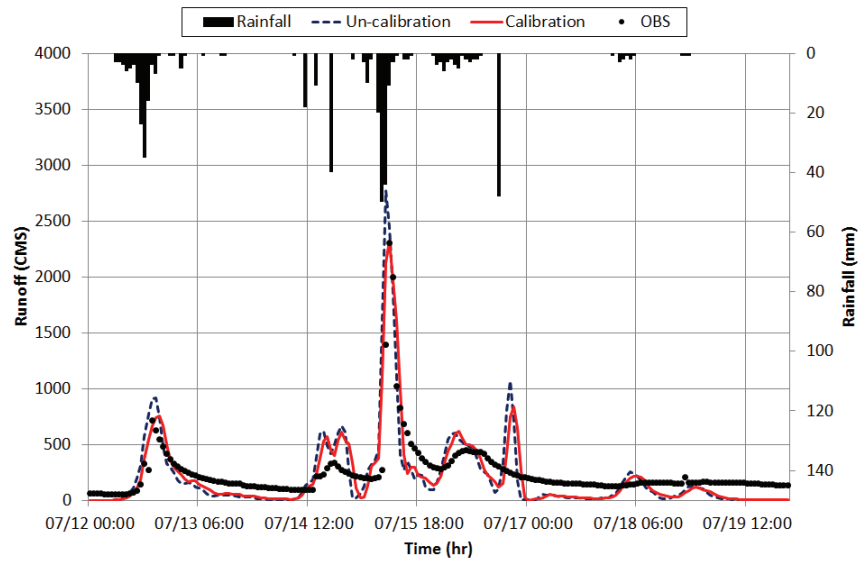


Figure 6. Hydrograph analysis

Table 2. Rainfall-runoff relationship (Bukcheon)

	1hr		3hr		6hr	
	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)
10%	7,37	5,86	12,9	9,64	18,39	13,41
20%	14,74	10,57	25,8	17,30	36,78	24,65
30%	22,11	14,58	38,69	24,16	55,17	35,16
40%	29,48	18,18	51,59	30,62	73,56	45,39
50%	36,85	21,52	64,49	36,82	91,94	55,92
60%	44,22	24,68	77,39	42,86	110,33	67,86
70%	51,59	27,70	90,28	49,32	128,72	80,80
80%	58,96	30,61	103,18	56,60	147,11	94,60
90%	66,33	33,47	116,08	64,66	165,5	109,93
100%	73,70	36,26	128,98	73,18	183,89	123,84

Table 3. Regress curve of rainfall-runoff

Duration	Equation
1hr	$y=1,2603 \times 0,7843$
3hr	$y=1,0298 \times 0,8651$
6hr	$y=0,7667 \times 0,9618$

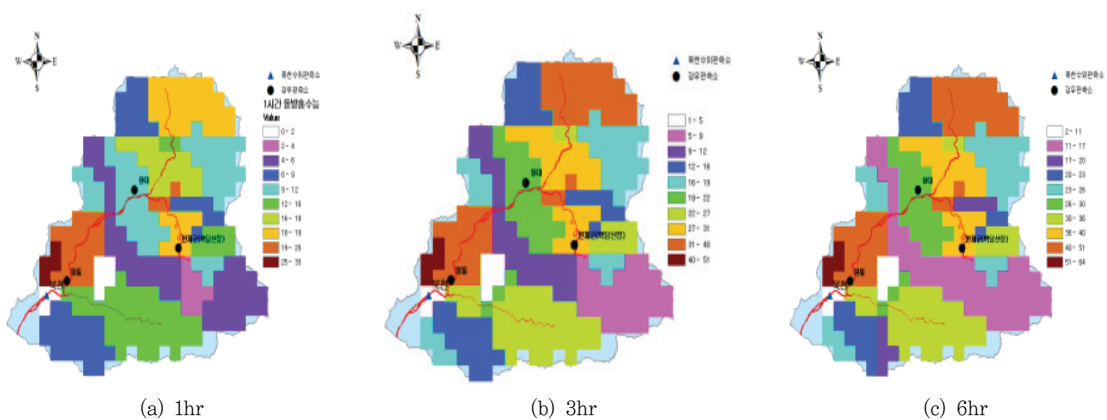


Figure 7. Flash flood guidance

2. 강원도 지역의 토석류 발생현황

산사태 및 토석류 유발강우량 산정은 <Figure 8>과 같이 강원도 전체의 토석류 발생 이력에 대해서 분석을 실시하였다. 총강우 관측소는 120개가 존재하고 분석에서 활용한 산사태 및 토석류의 발생사상은 총 130개의 사상이다. 토석류 유발강우량 산정 부분에서는 I-D 곡선을 작성하여 분석하였고 각 방법에 따라 3가지의 유발강우량의 형태로 분석을 실시하였다. 강우자료는 티센망을 산정하여 발생시점에 대한 강우관측소를 선정하였다. 방법 I 에 대해서는 선행강우를 포함하여 전체영역에 대해서 고려하였고, 방법II, III은 유효시간만

고려하였다. 또한 방법 I 에서 I는 전체 평균 강우강도, D는 기간을 의미하고, 방법II에서 I는 유효시간내의 평균 강우강도, D는 유효시간을 의미한다. 방법III에서 R은 유효누적강우량, D는 유효시간을 의미한다. <Figure 9>는 방법 I, 방법II, 방법III으로 강원도 전체에 대한 DFG 곡선 산정 결과이다.

3. 돌발홍수 유발강우량(FFG)과 토석류 유발강우량(FFG)과의 연계

FFG 곡선산정 <Table 1>의 소유역 중에서 토석류 발생 이력이 있는 32번 소유역에 대해서 1시간, 3시간,

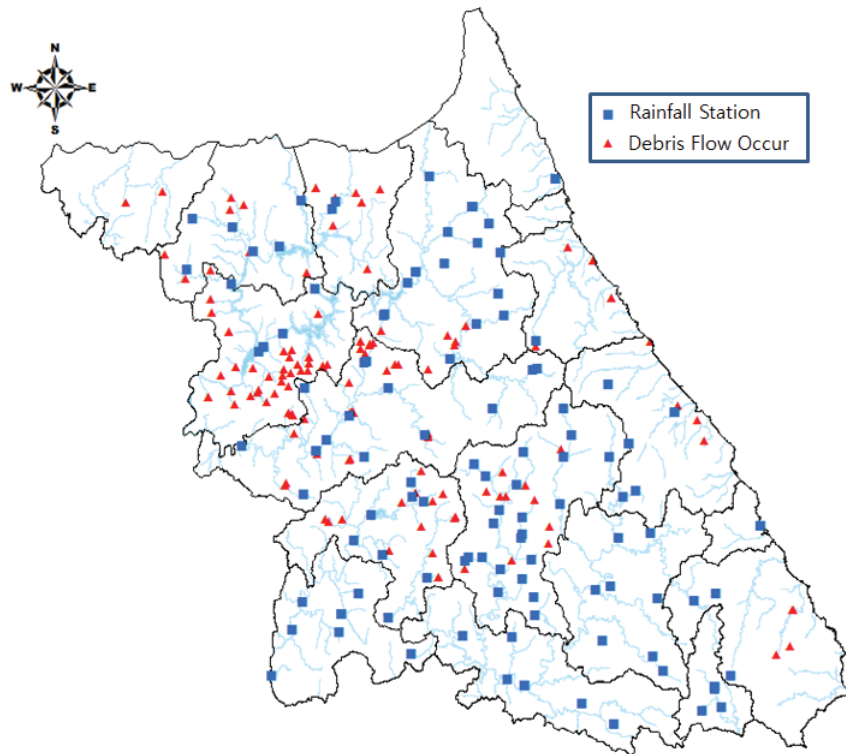


Figure 8. Landslides and debris flows occur status(Gangwon-do)

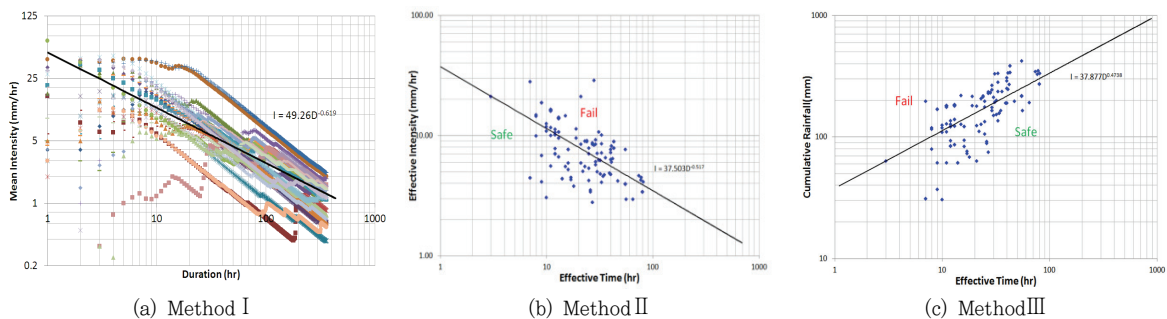


Figure 9. DFG curve

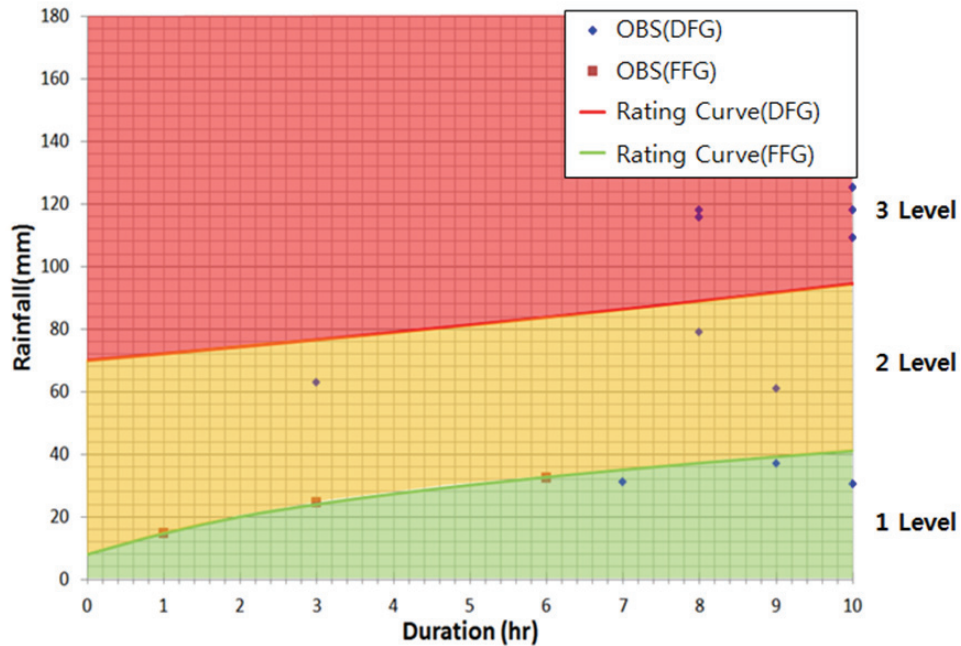


Figure 10. Flash flood and debris flow guidance(FADG)

Table 4. Risk class

Number	Risk Class	
	Level 1	Safety
Level 2	Danger 1	Flash Flood risk
Level 3	Danger 2	Flash Flood and Debris flow

6시간에 대한 누적강우량을 이용하여 산정하였다. 따라서 FFG 곡선은 누적강우량에 대한 개념이므로 DFG 곡선은 분석된 3가지 방법 중에서 누적강우량의 개념인 방법Ⅲ을 이용하여 FFG와 연계를 시켰다. 두 곡선식을 합성시키게 되면 돌발홍수와 토석류 위험 강우에 대한 복합 위험도를 제시할 수 있다. 따라서 <Figure 10>과 같이 각 등급별로 돌발홍수 유발강우량 및 토석류 유발강우량 FADG(Flash flood and Debris flow Guidance) 기준도를 작성할 수 있다. 예를 들어 지속시간 6시간에 대해 산정을 하면 돌발홍수 유발 누적강우량은 38mm 정도이고 여기서 46mm 정도의 누적강우가 발생을 하면 토석류가 유발할 가능성이 증가하게 된다는 개념이다. 그림에서 Level 1, 2, 3으로 등급을 나누면 <Table 4>와 같이 토석류와 돌발홍수 유발될 가능성을 나타낼 수 있다.

Ⅲ. 결론 및 고찰

본 연구에서는 인제군의 인북천 유역 중 북천 소유역에 대해서 돌발홍수 유발강우량 산정에 대한 연구와 강원도 지역에서 발생한 산사태 및 토석류에 대하여 유발강우량에 대한 연구를 각 유발강우량에 대해서 연계하여 연구하였다. 돌발홍수 유발강우량을 산정하는 부분에서는 인제군의 북천 소유역에 대해서 침투홍수량, 월류홍수량, 한계유출량을 산정하여 돌발홍수기준도를 산정하였다. 토석류 유발강우량을 산정하는 부분에서는 강원도 지역의 발생한 산사태 및 토석류에 대하여 지속시간에 따른 평균강우강도, 누적강우량을 산정하였다. 산정된 결과를 이용하여 돌발홍수 및 토석류 유발강우량에 대해서 Guidance를 제시하고자 하였다. 따라서 산정된 FADG는 돌발홍수위험단계, 토석류 위험단계, 그리고 돌발홍수와 토석류위험단계를 지속시간

의 강우량으로 대략적인 판단을 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 토석류 유발강우량 산정부분에서는 강원도 전체에 대해서 산정하였으나 돌발홍수 유발강우량에 대해서는 인북천 유역의 북천 소유역 그 중에서도 한계천 부분에서만 산정을 하였기 때문에 과거 강원도 전체에 대해서 발생했었던 사상을 적용하기에는 큰 무리가 있다. 그렇기 때문에 산지 하천에 대해서만 적용이 가능하다고 판단되며 추후 강원도에서 대부분을 차지하고 있는 한강전체 유역의 소유역별로 산지 소하천에 대해서 FFG 곡선을 산정을 하고 DFG와 연계하여 제시된다면 좀 더 실효성 있는 FADG 곡선에 제시될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구과제의 발표물에는 “2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-220140177)”.

References

Chen, Chien Yuan. 2005. *Rainfall Duration and Debris-Flow Initiated Studies for Real-Time Monitoring*. Environ Geol. 715-724.

Choi Jun Hyung. 2013. Study on Slope Hazard-Triggering Rainfall Characteristics in Chuncheon Area. Master's thesis. Kangwon National University.

Gerald F. Wiczorek. 1987. Effect of Rainfall Intensity and Duration on Debris Flows in Central Santa Cruz Mountains. *Recognition and Mitigation, Reviews in Engineering Geology*. 23-104.

Kim Byung Sik, Young Hye Bae, and Seung Jin Hong. 2009. A Risk Assessment of Flash Flood and Debris Flow Occurrence Using Gridded Rainfall. 2696-2699.

Kim Dong Phill, Joo Hun Kim, and Dong Ryul Lee. 2012. Estimation of Trigger Rainfall for Threshold Runoff in Mountain River Watershed. *Korea Wetland Society*. 14(4): 571-580.

Kim Kyung Suk. 2008. Characteristics of Basin Topography and

Rainfall Triggering Debris Flow. *Korean Society of Civil Engineers*. 28(5): 263-271.

M. Bacchini. 2003. Relations between Rainfall and Triggering of Debris-Flow: Case Study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 71-79.

Ministry Of Construction & Transportation. 1990. Small Facility Design Guidelines Report.

Ministry Of Construction & Transportation. 2000. Rivers Design Standard.

Ministry Of Construction & Transportation. 2005. Flash Floods Caused by Rainfall Radar Forecasts.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2010. Probability Rainfall.

Oh Jeong Rim. 2013. Analysis of Landslide Triggering Rainfall Threshold for Prediction of Landslide Occurrence. Master's thesis. Sejong University.

Yi Seung Ryeol. 2004. Study for Calculation of the Flash Flood Warning Trigger Rainfall Using GIS. Master's thesis. Inje University.

Yoo Nam Jae, Dae Hee Yoon, Jae Kyung Kim, Dong Gun Kim, and Byung Soo Park. 2012. Analysis of Rainfall Characteristics and Landslides at the West Side Area of Gangwon Province. *Korean Geotechnical Society*. 13(5): 75-82.

Korean References Translated from the English

건설교통부. 1990. 소규모시설 설계지침 보고서.

건설교통부. 2000. 하천 설계기준.

건설교통부. 2005. 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발 보고서.

국토교통부. 2010. 확률강우량도.

김경석. 2008. 토석류 발생 지형과 유발 강우 특성 분석. 대한토목학회논문집. 28(5): 263-271.

김동필, 김주훈, 이동률. 2012. 산지하천 유역의 한계유출량 분석을 위한 기준우량 산정. 한국습지학회. 14(4): 571-580.

김병식, 배영혜, 홍승진. 2009. 격자형 강우자료와 GIS자료를 이용한 돌발홍수와 토석류 발생위험도 분석. 대한토목학회 학술대회. 2696-2699.

오정림. 2013. 산사태 발생 예측을 위한 유발 강우기준 연구.

- 박사학위논문. 세종대학교. 75-82.
- 이승렬. 2004. GIS를 이용한 돌발홍수 기준 우량 산정에 관한 연구. 석사학위논문. 인제대학교 첨단산업기술대학원 토목공학 전공.
- 유남재, 윤대희, 엄재경, 김동건, 박병수. 2012. 강원 영서지역 산사태 및 강우 특성 분석. 한국지반환경공학회. 13(9):
- 최준형. 2012. 춘천지역 사면재해 유발강우특성에 관한 연구. 석사학위논문. 강원대학교 대학원.

Received: Mar. 24, 2016 / Revised: Apr. 14, 2016 / Accepted: Apr. 18, 2016

강원지역의 돌발홍수 및 토석류 유발강우기준 산정

국문초록 강원도 지역은 산지지형이 많고 여름철 장마나 국지적인 집중호우에 의한 토석류의 발생빈도가 다른 지역에 비해 많다. 토석류와 돌발홍수의 발생규모는 누적강우량이 많을수록 피해규모도 커지게 된다. 따라서 강우발생에 따른 돌발홍수와 토석류 발생기준에 대해서 정립할 필요가 있다.

본 연구에서는 토석류 유발강우곡선과 돌발홍수 유발 강우곡선을 산정하여 돌발홍수와 토석류유발 강우량에 대해서 연구하였다. 토석류 및 산사태 유발강우량은 유효시간에 따라 강우강도, 유효 평균 강우강도, 누적강우량을 산정 하였다. 그리고 돌발홍수기준도를 작성하기 위해서는 침투홍수량, 월 류홍수량, 한계유출량을 산정하여 돌발홍수곡선을 산정하였다. 마지막으로 돌발홍수 유발강우량과 토석류 유발강우량을 연계하여 산정된 두 회귀 곡선을 연계하여 각 등급별로 돌발홍수와 토석류의 유발강우량 FADG(Flash flood and Debris flow Guidance) 곡선을 제시하였다.

주제어 : 돌발홍수 유발강우량, 토석류, 유발강우량, FADG

Profiles **Byung In Yu** : He received his MA from Kangwon University, Korea in 2016. He is a research of SDM-engineering. His interesting subject of Hydrological Analysis(ybi5956@kangwon.ac.kr).

Byung Sik Kim : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Inha University, Korea in 2005. He is a Professor of the Department of Urban & Environmental Disaster Prevention Engineering at Kangwon National University, in which he has taught since 2011. His interesting subject and area of stochastic hydrology and climate change. He has published about 150 articles in journals and written 3 books(Hydrokbs@kangwon.ac.kr).

Suck Ho Lee : He received his Ph.D. from Konkuk University, Korea in 2012. He is a Research Professor of the School of Disaster Prevention at Kangwon National University. His interesting subject of research is Landslides and Hydrological Analysis(esoco@kangwon.ac.kr).