

# HyGIS-GRM을 이용한 토석류 유발 강우 특성 분석

## Analysis of Rainfall Triggering Debris Flow Using HyGIS-GRM

박정술\* , 김경탁\*\* , 최윤석\*\*\*

Jung Sool Park, Kyung Tak Kim, Yun Seok Choi

### 요 지

기후변화의 영향으로 국지성 집중호우가 증가함에 따라 토석류 발생면적과 피해규모는 지속적으로 증가추세에 있다. 강우는 토석류의 유발 뿐 만 아니라 토석류 발생규모에 직접적인 영향을 미치므로 유발강우에 대한 분석은 향후 토석류 대응을 위한 경보기준이나 대책의 설계목표를 설정하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공하며(김경석, 2008) 누가강우량, 강우강도, 강우지속시간 및 선행 강우량 등의 강우 특성과 토석류 발생과의 관계를 제시하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 토석류를 유발하는 강우 특성을 레이다 강우와 분포형 수문모형을 이용하여 분석하였다. 특정 격자안에 토석류 발생부가 많이 포함될수록 강우에 의한 영향이 컸을 것이라는 가정을 바탕으로 항공사진을 이용해 취득한 발달 단계별 토석류 맵핑 결과를 활용하였으며 지점강우를 이용하여 조건부 합성방법으로 보정된 1 km 해상도의 레이다 보정강우와 GIS와 연계된 분포형 강우-유출 모형인 HyGIS-GRM을 이용하여 격자별 강우량을 산정하고 강우특성을 비교하였다. 연구결과 토석류는 흐름누적수가 0인 능선부위에서 대부분 발생하였으며 발생부 포인트가 많이 포함될수록 2~3시간 동안의 강우강도가 매우 크게 제시되었다.

**핵심용어** : 토석류, HyGIS-GRM, 레이다 강우, 분포형 모형, 가리산천

### 1. 서 론

최근 국내에서는 집중호우나 태풍으로 인한 재해가 전체 자연재해의 75% 이상을 차지고 있으며 강우를 동반한 이들 재해는 산악지형을 중심으로 빈번한 산사태를 야기하고 있다. 특히, 계곡부와 소하천을 따라 다량의 토사가 유출되는 토석류는 강우에 기인한 산사태 피해의 대부분을 차지하고 있으며(박덕근, 2001) 기후변화의 영향으로 국지성 집중호우가 증가함에 따라 토석류 발생면적과 피해규모는 지속적으로 증가추세에 있다.

강우는 토석류의 유발 및 토석류 발생규모에 직접적인 영향을 미치므로 유발강우에 대한 분석은 향후 토석류 대응을 위한 경보기준이나 대책의 설계목표를 설정하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공하며(김경석, 2008) 누가강우량, 강우강도, 강우지속시간 및 선행 강우량 등의 강우 특성과 토석류 발생과의 관계를 제시하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다(홍원표 등, 1990; 김원영 등, 1998; 김경석, 2008). 또한, 산림청에서는 1998년부터 산사태 예·경보 기준을 마련하여 기상청 일기예보에 따라 연속강우량 200mm, 최대시우량 30mm, 1일 강우량 150mm 이상일 경우 산사태 경보를 시장 군수가 발령하기로 되어 있으나 이는 현재 거의 실시되지 않고 있는 실정이다.

국내에 발생하는 토석류는 강우에 가장 큰 영향을 받는 것으로 제시되고 있으며 소규모 지역에 집중적으로 발생되고 있는 강우량의 정량적인 산정을 위해 레이다 자료의 활용성이 대두되는 시점에서 본 연구는 기상레이더를 이용하여 2006년 토석류 산사태 발생지역의 정량적인 강우량을 산정하였으며 분

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · 공학석사 · E-mail : [parkjs@kict.re.kr](mailto:parkjs@kict.re.kr)  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 · 공학박사 · E-mail : [ktkim1@kict.re.kr](mailto:ktkim1@kict.re.kr)  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원 · 공학박사 · E-mail : [yschoi51@kict.re.kr](mailto:yschoi51@kict.re.kr)

포형 수문모형의 격자단위분석기능을 적용하여 토석류를 유발하는 강우의 특성을 분석하였다.

## 2. 연구대상 지역 및 연구방법

본 연구의 대상지역은 강원도 인제의 내린천 수위표 상류유역과 이에 포함된 가리산천 소유역이다. 가리산천 유역은 인제군 가리산리 지역에 위치하며 가리산리는 덕산리, 덕적리와 함께 2006년 7월 발생한 집중호우에 의한 토석류 피해가 가장 크게 발생한 지역이다. 내린천 유역과 가리산천 유역은 그림 1과 같이 기상청 광덕산 레이더 관측망에 포함되며 본 연구에서는 비 강수에코를 제거한 품질관리된 레이더 UF를 수집하여 조건부 합성(김병식 등, 2007) 방법을 적용하여 지상강우량과의 보정을 수행하고 분포형 수문모형의 입력자료로 활용하였다.

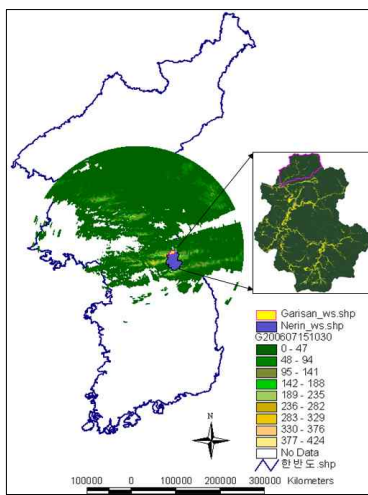


그림 1. 연구대상지역

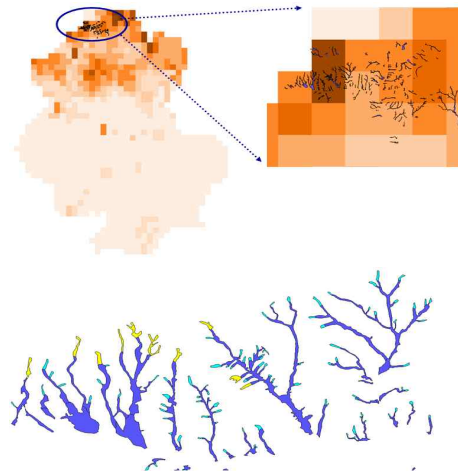


그림 2. 레이더 강우량과 토석류 발생현황도

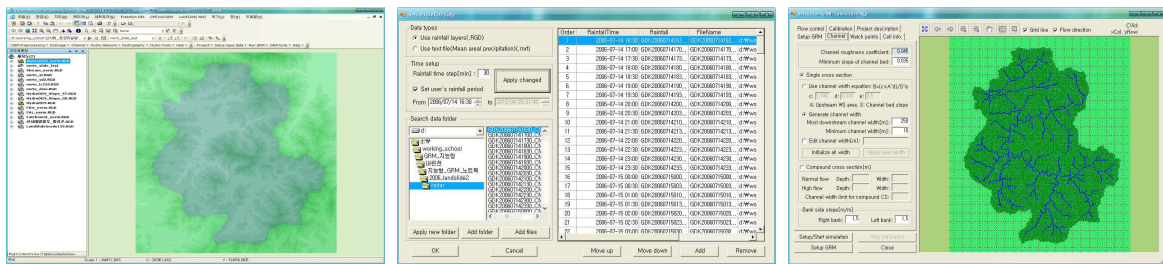
토석류를 유발하는 강우 특성을 분석하기 위해 그림 2와 같이 가리산리 지역의 2006년 토석류 재해발생 결과를 활용하였다. 토석류 재해발생 결과는 2006년 강원도 평창과 인제지역의 산사태 발생시 PKNU 4호를 이용하여 항공사진을 촬영하고 이를 정사보정하여 제작되었으며 육안판독에 의하여 토석류 발생지역을 발단부, 유하부, 퇴적부로 구분하였다(손정우 등, 2009). 토석류 발달 단계 중 집중호우에 의한 최초 피해발생은 발단부에서 시작되므로 본 연구에서는 그림 2의 산사태 지역 중 500m<sup>2</sup> 이상의 발단부 22개소를 이용하였다. 22개소의 토석류 발생부는 그림 2와 같이 1km 해상도를 갖는 기상레이더의 10개의 픽셀에 분포하며 본 연구에서는 발단부가 포함된 10개의 픽셀을 분포형 강우-유출 모의시 관심격자(watch point)로 선정하여 격자별 강우량을 산정하고 강우의 재현기간 및 각 격자의 강우강도와 누가강우량을 비교하였다.

본 연구의 수행에는 다음과 같은 조건이 전제되었다. 첫째, 1 Km 해상도의 레이더 강우그리드에 토석류 발생부가 많이 포함될수록 해당 격자는 강우에 의한 영향을 크게 받는다. 다음으로 토석류 발생에 기여하는 지형·공간적 특성은 동일한 것으로 가정하였다. 산사태는 강우뿐만 아니라 지형학적 특성 및 지질, 임상, 토양 등에 따라 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 강우를 제외한 지형·공간적 특성을 고려하기 위하여 GEOMania Landslide 모듈을 적용한 내린천 산사태 위험등급도 중 산사태 발생가능성이 높은 1,2 등급 지역의 비율을 비교하였다. 총 10개 픽셀의 위험지역 비율을 비교했을

때 격자별 표준편차는 5.12%이며 1,2 등급의 비율이 가장 큰 격자는 22.9%, 가장 낮은 격자는 8.6%로 위험지역의 차이가 크지 않은 것으로 판단되어 본 연구에서는 지형·공간적 영향을 배제하였다.

### 3. HyGIS-GRM(Grid-based Rainfall Runoff Model)을 이용한 격자별 강우량 산정

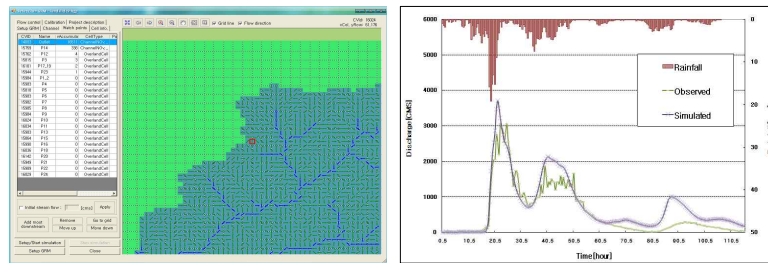
GRM 모형은 격자형 자료를 이용하여 단기간의 강우유출 사상을 모의하기 위한 물리적 기반의 분포형 강우유출 모형으로 HyGIS를 기반으로 운용되며 홍수 유출의 주요 수문인자인 강우, 침투, 지표유출, 지표하 유출을 주요 모의대상으로 하고 있다(최윤석, 2010).



(a) HyGIS-GRM

(b) 레이더 강우입력

(c) 매개변수 보정



(d) watch point 선정

(e) 유출모의 결과

그림 3. HyGIS-GRM 모의

HyGIS-GRM은 지형자료 입력, 토양도 및 토지피복도 입력, 레이더 강우 셋업, 매개변수 보정 및 모의 순으로 이루어진다. 그림 3의 (d)와 같이 관심격자(watch point)를 선정하여 유출구와 함께 모의할 수 있는 특성을 갖고 있으며 모의된 각각의 격자는 격자별 유출량 및 시간간격별 강우량을 mdb와 텍스트 형태의 결과물로 제공한다. 본 연구에서는 그림 3의 (d)와 같이 관심격자를 선정하고 매개변수를 보정하여 그림 3의 (e)와 같이 내린천 수위관측소 관측값을 기준으로 30분 간격의 유출모의를 수행하였으며 유출모의의 결과로 산정된 관심격자의 레이더 강우량을 비교하였다.

### 4. 격자별 강우 재현기간 및 강우강도 분석

토석류가 발생한 격자의 발생부 특성은 표 1과 같으며 발생부 폴리곤은 4개에서 1개까지 레이더 강우 격자에 분포하는 것으로 나타났다. 표 2는 토석류가 발생한 시기인 2006년 7월 15일의 지속기간 별 최대강우량 및 해당빈도를 나타낸 것으로 강우의 재현기간은 ‘한국확률강우량도 작성’(건교부, 2000)을 참고하였다. 기상레이더를 이용하여 산정한 가리산천 유역의 2006년 7월 15일 격자별 강우량은 2시간~4시간의 강우강도가 가장 크게 나타났으며 격자별로 재현기간은 차이를 보였다. 토석류 발

생을 유발하는 강우특성을 분석하기 위해 그림 3과 같이 각각의 격자에 대한 강우강도 및 누가강우량을 비교하였다. 비교결과 발생부 폴리곤이 많이 포함된 격자일수록 강우강도에 의한 영향이 크게 작용하였음을 확인할 수 있었다. 그림 4의 (f), (g), (i)의 경우 누가강우량은 많았으나 실제 토석류는 강우강도가 가장 컸던 1,2번 격자에서 가장 많이 발생된 것으로 제시되었다. 또한, 각 격자별 유출-모의 결과 대부분의 토석류가 흐름누적수가 0인 능선부위에서 발생된 것으로 나타났다.

표 1 토석류 발생격자의 발생부 특성

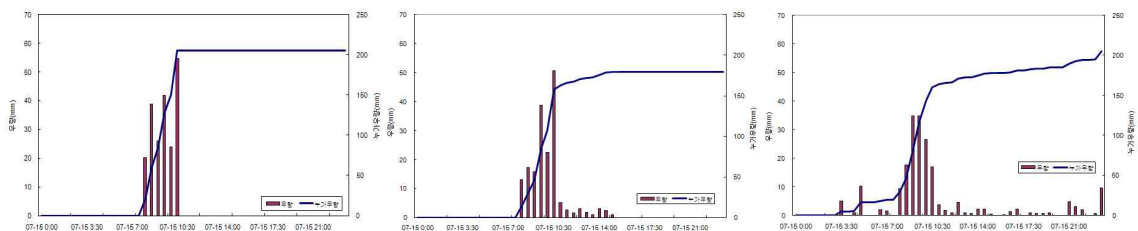
격자번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
발생부 개수	4	4	4	3	2	1	1	1	1	1
발생부 총 면적 (㎡)	4540.2	3442.5	2142.7	1824.9	1575.7	1117.54	713.0	703.3	617.6	606.8
발생부 평균 면적(㎡)	1135.1	860.6	535.7	608.3	787.8	1117.54	713.0	703.3	617.6	606.8

표 2. 토석류 발생 격자의 지속기간별 최대강우량 및 해당빈도 (2006/07/15)

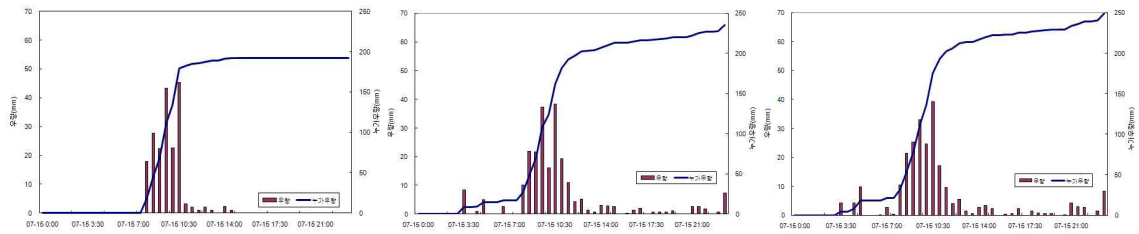
격자번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
지속기간별 최대 강우량 및 해당빈도										
30분	54.5	50.7	34.8	45.2	38.3	39.3	40.5	39.3	40.2	44.4
재현기간(년)	80	50	10	20	10	10	10	10	10	20
1시간	78.4	73.2	69.6	67.7	58.9	63.9	61.7	59.3	64.3	64.8
재현기간(년)	100	80	50	50	20	30	30	10	30	30
2시간	146.0	127.70	113.7	133.30	113.2	122.3	126.3	107.4	125.8	124.8
재현기간(년)	500년	500	300	500	500	500	500	200	500	500
3시간	205.0	157.90	140.3	179.10	154.5	160.9	167.4	146.7	167.8	168.4
재현기간(년)	500년	500	300	500	500	500	300	500	300	500
4시간	205.0	165.70	145.9	184.40	175.6	180.9	189.7	170.7	190.6	193.3
재현기간(년)	500년	300	100	500	500	500	500	500	500	500
6시간	205.0	173.00	153.0	188.40	187.2	193.6	201.8	181.0	202.7	205.9
재현기간(년)	300년	100	30	200	200	200	300	100	300	300
12시간	205.0	179.4	177.6	191.8	202.9	222.3	229.6	198.5	227.3	227.4
재현기간(년)	20	10	10	10	20	30	30	10	30	30
24시간	205.0	179.4	204.7	191.8	235.0	248.8	248.6	220.6	249.5	252.7
재현기간(년)	5	3	5	3	5	10	5	10	5	10

## 5. 요약 및 결론

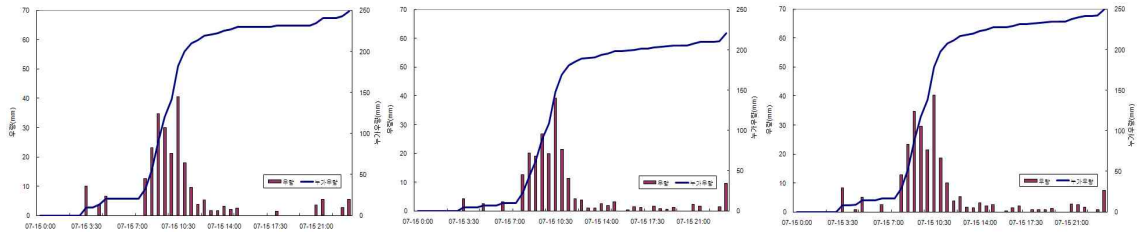
본 연구에서는 토석류를 유발하는 강우특성을 분석하기 위해 항공사진을 이용해 취득한 발달 단계별 토석류 맵핑 결과와 기상레이더, 분포형 수문모형을 이용하였다.



(a) 1번 격자 (토석류 발생부: 4개소) (b) 2번 격자 (토석류 발생부: 4개소) (c) 3번 격자 (토석류 발생부: 4개소)



(d) 4번 격자 (토석류 발생부: 3개소) (e) 5번 격자 (토석류 발생부: 2개소) (f) 6번 격자 (토석류 발생부: 1개소)



(g) 7번 격자 (토석류 발생부: 1개소) (h) 8번 격자 (토석류 발생부: 1개소) (i) 9번 격자 (토석류 발생부: 1개소)

#### 그림 4. 토석류 발생격자의 강우강도 및 누가강우량의 비교

연구결과 토석류가 많이 발생된 셀은 흐름누적수가 0인 능선부위에서 대부분 발생하였으며 다른 격자에 비해 누가강우량이 크지 않았음에도 2~3시간 동안의 강우강도가 매우 크게 나타났다. 이를 기초로 토석류는 강우강도에 지배적인 영향을 받는 것으로 판단되었다. 향후 격자별 선행강우량에 대한 비교와 지형·공간적 특성에 대한 고려를 추가한다면 강우특성과 토석류 발생과의 관계를 보다 구체적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 위성정보 활용 지원 운영사업(과제명: 위성영상을 이용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구)과 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 건교부, 2000. 한국 확률강우량도 작성.
2. 김경석, 2008. 토석류 발생 지형과 유발 강우 특성 분석, 대한토목학회지논문집, 제28권 5C호, pp.263-271.
3. 김병식, 홍준범, 김형수, 최규현, 2007. 조건부 합성방법을 이용한 레이더 강우와 지상 강우자료의 조합, 대한토목학회논문집 제27권 3B호, pp.255-265.
4. 김원영, 이사로, 김경수, 채병곤, 1998. 지형특성에 따른 산사태 유형 및 취약성, 대한지질 공학 회지 제8권 2호, pp.115-130.
5. 박덕근, 2001. 우리나라 산사태 재해의 현황과 저감방향. 방재연구 제3권 4호, pp.38-41.
6. 손정우, 김경택, 이창현, 최철웅, 2009. 항공사진과 GIS를 이용한 인제지역 산사태 분석, 한국지형공간정보 학회지, 제17권 2호 pp.61-70
7. 최윤석, 2010. 지리정보시스템 기반의 물리적 강우-유출 모형 개발 및 평가, 인하대학교 박사학위 논문
8. 홍원표, 김윤일, 김상규, 한중근, 김마리아, 1990. 강우로 기인되는 우리나라 사면 활동의 예측, 대한토질공학회지, 제6권, 제 2호, pp. 55-63.