

위성화상자료를 통한 북한 홍수피해 미복구 상황 및 원인 분석

김 천 (국민대학교 산림과학대학 학장)

1. 들어가는 말

북한에서 큰물재해 기상현상이라고 부르는 '95년 7월 30일부터 8월 18일까지 내린 평균 300mm의 집중호우와 '96년 7월 24일부터 28일까지 내린 평균 800mm의 폭우는 각각 35만 9천 9백 정보(ha)와 29만 7천 7백 정보에 달하는 경지면적을 침수·유실·퇴적시켰다(UNDP, 1998).

이러한 대규모 홍수피해가 발생한 원인은 최근 기후 변화에 따른 이상기상현상 때문으로 볼 수 있지만, 지난 60년간의 강우관측 기록자료를 검토해 보면 오히려장주기적으로 발생하는 소나기성 호우의 일종임을 알 수 있고 그 피해 강도가 자연환경파괴로 인하여 커진데서 찾을 수 있다.

앞으로 북한의 수해 방재를 위해서는 상기호우에 의해 집중강타 당한 피해 지역에 대하여 자연환경파괴 정도와 피해규모와의 연관성을 조사해 볼 필요가 있다. 북한 사회의 폐쇄성으로 말미암아 현지답사에 의한 정보 획득이 제한되어 있을뿐만 아니라 광범위한 홍수피해지역의 정량화 공간정보를 획득하는데에는 위성원격탐사자료 사용 밖에 없다.

2. 연구지역 선정과 사용 위성화상자료

'95년과 '96년 연이은 집중호우에 의한 수해지역

중룡천평야와 재령평야를 포함하는 북한의 곡창지대를 본 논문의 연구대상지역으로 선정하였다(그림 1 참조). 그리고 '95년 집중호우로 심각한 수해를 겪은 자강도의 회천분지를 중심으로한 청천강수계의 중간산간지대¹⁾를 아울러 선정하였다.

이 두 연구지역에 사용된 위성 원격탐사자료는 수동주사(走射)방식의 JERS-1 OPS(Optical Scanner) 화상(畫像)자료²⁾이다.

JERS-1 OPS의 감지기는 종방향(cross track) 18.3m와 횡방향(along track) 24.2m의 높은 상분해능력을 갖고 있을 뿐만 아니라 다중분광(multispectral) 밴드로 구성되어 있어 Lansat TM(Thematic Mapper)과 같이 정보수집 능력이 다양하다. 그러나 '93년부터 전자회로부의 전력공급장애로 인하여 단파장 적외선(중적외선) 방사계(SWIR : Short Wavelength Infrared Radiometer)의 4개 밴드는 불용이며 '98년 10월 19일 JERS-1 위성의 수명이 종료되는 바람에 현재로서는 가시근적외선 방사계(VNIR : Visible and Near Infrared Radiometer)의 4개 밴드마저 사용 불가능하다. 그리고 이 두 지역의 원인분석을 위해 경위도 3초 크기의 격자점으로 구성된 수치표고모형(DEM : Digital Elevation Model)자료를 상기 위성화상자료와 중첩 사용하였다. 화상처리(image processing)에 대해서는 본 논문의 원(原)보고서 "위성원격탐사 자료를 이용한 북한 홍수 피해 지

1) 북한 서북지방은 지형상 동부의 표고 700-800m의 산간지대, 서부의 표고 100m 미만의 벌방(평야)지대 그리고 그들 사이의 중간지대로 나누어진다. (학우서방, 1983)
2) 위성에 탑재된 감지기(sensor)를 통해 획득된 지표면 탐사자료들은 사진 필름과 같은 아날로그(analog) 기록 출력 방식의 영상(映像)과 화소(畫素, pixel)의 휘도값을 정수화하는 디지털(digital) 기록·출력방식의 화상(畫像)으로 구분 정의된다.

역의 환경계측연구”(김 천 외, 1998)를 참조하기 바라며, 아울러 본 논문은 상기 보고서의 내용을 발췌 축소한 것임을 밝히는 바입니다.

연구지역별 지표면적과 사용된 위성화상자료의 주사일은 표 1과 같다.

표 1. 연구지역별 면적과 위성 JERS-1 OPS 자료의 주사일

연구지역	면적(ha)	자료주사일
재령평야	136,436	'99년 5월 5일
희천분지	235,734	'97년 5월 5일

* 소수점 이하는 버림

3. 재령평야 연구지역의 피복분류 결과

녹색대역, 적색대역 그리고근적외선 대역의 JERS-1 OPS 다중분광밴드(B1, B2, B3) 자료를 최대우도추정분류기(maximum likelihood classifier)

표 2. 재령평야 연구지역의 표고간격·분류계급별 면적

분류계급	표고간격				계
	0-100m	101-150m	151-200m	201-300m	
나지	7285.583	128.400	28.292	4.742	
침엽수	306.789	739.867	867.975	1593.615	
수체	2900.774	15.624	0.103	0	
논(모판지)	3976.827	23.906	0.780	0.292	
논(휴경지)	31085.107	179.851	28.746	7.990	
작물	25089.123	902.373	98.062	42.161	
활엽수	2543.736	743.245	506.616	840.300	
산림불량지	38834.061	8700.796	3347.982	2588.820	
계	112021.954	11434.062	4878.582	5077.922	
	301-400	401-500	501-600	601m이상	계
0	0	0	0	0	7446.972
809.410	291.036	69.121	1.559		4679.372
0	0	0	0		2916.528
0	0	0	0		4001.805
0.097	0	0	0		31301.792
6.344	0.942	0	0		26138.995
445.323	220.031	122.878	69.903		5483.033
657.429	237.441	90.331	11.239		54468.099
1918.594	749.449	282.331	73.701		136436.596

3) 산림파괴(deforestation)는 산림지가 타용도로 전환하여 산림면적이 감소 또는 산림지가 없어진 상태를 말하며 산림훼손 또는 산림불량화(forest degradation)는 산림면적은 변하지 않고 남벌로 손상을 입은 경우를 뜻한다(산림청, 1996).

를 통해 감독분류한 토지피복 분류의 총 8개 분류항목(계급)은 나지(bare soil), 침엽수(softwoods), 수체(waterbody), 논(비모판지 : fallow), 작물(crop), 활엽수(hardwoods), 산림훼손(forestdegradation)이다.

표 2의 분류계급별 면적비를 살펴보면 산림훼손지가 39.92%로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 논(휴경지), 작물(밭) 등의 순으로 나타났다. 대상 식생지(인공림 제외)로 볼 수 있는 논(모판지), 논(휴경지), 작물의 면적이 전체의 45.03%이고, 산림훼손지는 산림파괴(deforestation)지라기 보다는 땃감채취 같은 인위적인 영향을 받은 지역이라고 볼 수 있다.³⁾



각 분류계급(항목)이 표고간격별로 차지하고 있는 면적을 표 3을 통해 분석하면 해발고 0-100m사이 범위에서는 분류계급중 산림훼손지가 36.4%로 가장 많은 면적을 차지하고 있음을 알 수 있다. 표고가 높아짐에 따라 표고 간격내 산림훼손지의 면적 점유비율이 감소하지만, 해발고 601m이상의 범위에서도 표고 간격내 산림훼손지의 면적비율이 15.25%를 차지하고 있어 산정상부근까지 땃감 채취가 이루어 지고 있는 실정이다.

침엽수와 활엽수의 경우 표고 간격내 침엽수의 면적점유 비율은 표고 301-400m 간격까지 증가하다가 그 후 표고 간격부터는 감소하며, 이와는 다르게 표고 간격내 활엽수의 면적점유 비율은 산지고도가 높아짐에 따라 계속 증가하며, 601m이상에서는 표고간격내 82.64%의 높은 수치를 보이고 있다. 상기 수치의 변화 양상은 이 지역의 고유 삼림식생이 “신갈나무-생강나무군단”임을 증명하는 단서가 된다(김종원, 1993).

휴경지의 논인 경우 표고 0-100m 사이 범위에서 휴경의 논이 차지하는 면적비율은 27.75%로 모판지의 논보다 무려 7.8배이다.

이러한 논피복 특징은 북한의 논농사 방

북한홍수피해지역

1995 홍수 
1996 홍수 

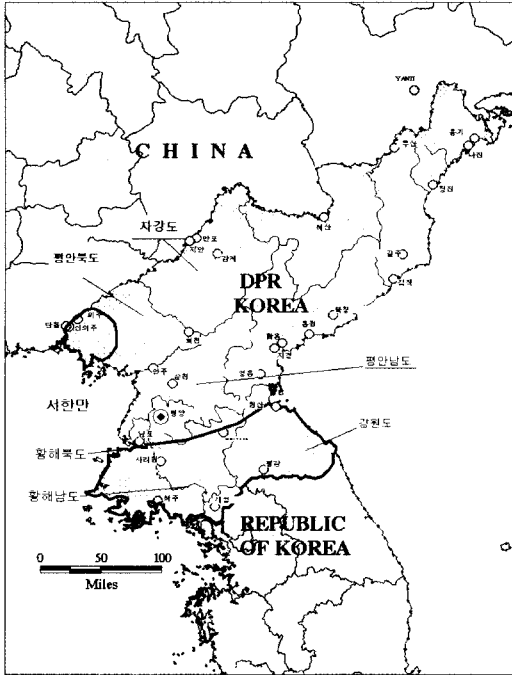


그림 1. '95년과 '96년 북한 홍수피해지역 (WFP, 1998.)

식이 남한의 못자리 방식과 사뭇 다름을 말해준다. 왜냐하면 북한의 논농사 방식은 냉상묘 못자리 방식으로서 논에 물을 채우는 면적이 적기 때문이다(김운근, 1997).

표 3. 재령평야 연구지역의 표고 간격내 분류계급(항목)의 면적비

분류계급 (단위 : %)	해발고 간격 (단위 : m)							
	0-100	101-150	151-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601이상
나지	6.50	1.12	0.58	0.09	0	0	0	0
침엽수	0.27	6.47	17.79	31.38	42.19	38.83	24.48	2.12
수체	2.59	0.14	0	0	0	0	0	0
논 (모판지)	3.55	0.21	0.02	0.01	0	0	0	0
논 (휴경지)	27.75	1.57	0.59	0.16	0	0	0	0
작물								
활엽수	22.40	7.89	2.01	0.83	0.33	0.13	0	0
산림	2.27	6.50	10.38	16.55	23.21	29.36	43.52	82.64
불량지	34.67	76.10	68.63	50.98	34.27	31.68	31.99	15.25
계	100	100	100	100	100	100	100	100

4. 희천분지 연구지역의 피복분류 결과 및 고찰

상기 연구지역의 JERS-1 OPS 자료를 최대 우도 추정분류에 의해 8개, 즉 분류계급 나지(수해미복구지), 도시, 고산지 삼림, 저산지삼림, 수체, 논, 작물, 그림자로 분류하였다. 수치표고모형(DEM)자료와 중첩된 분류화소를 표고 100m간격 단위로 피복분석의에 경사각 10° 간격 단위로 경사별 피복분석을 추가 실시하였다. 표 4에서 나지로 분류된 6,687ha의 면적은 '95년 홍수피해로 인한 미복구지로 간주할 수 있다. 그러나 모래사장이나 운동장 같은 피복체도 최대 우도추정분류기에 의해 나지로 분류되기 때문에 수해 미복구지의 면적은 상기보다 다소 적다.

수해 미복구지를 표고별로 분석해 보면 첫째로 표고 0-100m 사이 범위에 있는 면적은 약 2,612 ha로 총 나지(수해 미복구지)면적의 39%, 그리고 표고 101-200m 사이 범위에 있는 면적은 3,577ha로 총 나지면적의 53%를 차지한다. 따라서 수해미복구지의 면적중 92%가 표고 200m미만의 벌방·중산지대에 집중되어 있음을 알 수 있다. 둘째로 표고 간격내 나지의 면적점유 비율은 표고간격 0-100m 범위에서 15.47%, 그리고 표고 간격 101-200m 범위에서 6.46%를 차지한다. 전술한 면적수치와 역전되는 표고 간격내 면적점유 비율의 수치는 해발고 100m미만의 벌방지대의 홍수피해의 심각성을 암시해 준다.

표 5를 통해보면 논외의 경우 경사각 0-10° 사이의 범위에서 총 논면적중 약 81%, 그리고 경사각 간격 10-20° 범위에서 총 논면적중 16%를 점유하고 있어 그만큼 산지형의 논비율이 상당하다고 추정할 수 있다.

밭(분류계급 작물)은 경사각 0-10° 사이 범위에서 총 밭면적중 약 64%, 그리고 경사각 간격 10-20° 범위에서 총 밭면적 중 약 29%를 차지하고 있어 경사각 간격 10-20° 범위의 경사지에서 밭개간이 활발히 진행되었음을 추정할 수 있다. 경

표 4. 나지의 표고간격별 면적·면적비와 각 표고간격 면적점유비율

표고간격	나머지(ha)	나지(%)	계(%)
0-100m	2611.873	1.11	7.16
101-200m	3577.754	1.52	23.51
201-300m	467.433	0.20	21.36
301-400m	27.832	0.01	15.30
401-500m	2.166	0.00	9.98
501-600m	0.000	0.00	6.78
601-700m	0.033	0.00	4.73
701-800m	0.394	0.00	3.04
801-900m	0.000	0.00	2.27
901-100m	0.000	0.00	1.61
1101-1100m	0.000	0.00	1.23
1101-1200m	0.000	0.00	1.00
1201-1300m	0.000	0.00	0.81
1301m	0.131	0.00	1.23
계	6687.616	2.84	100.000

표 5. 경사별 분류계급의 면적비 (단위 : %)

경사각 간격	0-10°	10-20°	20-30°	30° <	계
나지	2.56	0.26	0.02	0.00	2.84
도시	1.19	0.21	0.04	0.01	1.46
고산지 삼림	6.25	7.94	4.57	1.57	20.32
저산지 삼림	13.61	23.99	9.84	1.85	49.29
수체	0.18	0.08	0.05	0.02	0.33
논	5.00	1.04	0.11	0.01	6.16
작물	11.95	5.51	1.01	0.29	18.77
그림자	0.05	0.25	0.38	0.15	0.83
계	40.80	39.27	16.02	3.91	100.00

표 6. 각 경사각 간격별 분류계급의 면적비(단위 : %)

경사각 간격	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
나지	6.27	0.66	0.11	0.02
도시	2.93	0.53	0.27	0.22
고산지 삼림	15.31	20.21	28.51	40.28
저산지 삼림	33.35	61.10	51.40	47.38
수체	0.45	0.19	0.30	0.57
논	12.26	2.64	0.71	0.27
작물	29.30	14.04	6.33	7.38
그림자	0.12	0.63	2.37	3.89
계	100.00	100.00	100.00	100.000

사지의 개간 상태를 좀더 상세히 파악하기 위해서 경사각 간격내 분류계급의 면적비를 표 6에 수록하였다.

자연개조한 토지로 분류되는 항목은 나지, 도시, 논, 작물로서 이들 분류계급의 면적비는 경사각 0-10° 사이 범위에서 50.57%, 경사각 10-20° 사이 범위에서는 17.87%, 경사각 20-30° 사이 범위에서는 9.79%, 그리고 경사각 30° 이상의 범위에서는 7.89%를 나타내고 있다. 그 반면 자연식생지(인공림 포함)로 분류되는 항목은 저산지 삼림과 고산지 삼림으로 구성되며, 이들 분류계급의 면적비는 경사각 간격 0-10° 범위에서는 48.66%, 경사각 간격 10-20° 범위에서는 81.13%, 경사각 간격 20-30° 범위에서는 90.91%, 그리고 경사각 30° 이상의 범위에서는 87.66%를 나타내고 있다. 경사각이 높아질(급할)수록 상기 대분류의 항목간에는 가역관계가 성립됨을 알 수 있어 자연개조로 인한 자연식생지 변화량 만큼 역상(feedback)되는 자연재해량은 추가 된다고 예측할 수 있다.

수해 미복구지의 경사별 분포를 해석해보면 경사각 0-10° 사이 범위에 있는 면적은 약 6,030ha로 총 나지(수해 미복구지)면적의 90%를 차지한다(표 4와 5 참조). 그리고 경사각 간격 0-10° 범위내에서 수해 미복구지의 면적 점유비율은 다른 경사각 간격보다 훨씬 높다. 따라서 수해 미복구지의 대부분이 가파른 경사지보다 경사각 0-10°의 완만경 상기 연구지역의 수해미복구지에서는 '95년 집중호우에 의한 토사유실뿐 아니라 토사침적의 재해도 발생했음을 알려준다.

5. 맺는 말

본 연구를 통해 재령평야·희천분지 연구지역의 홍수피해 미복구 상황과 원인분석 그리고 긴급수해 방재대책은 다음과 같다.

1. '97년 현재 홍수피해 미복구 농경지는 각 연구(수해)지역 전체농경지 면적의 약 10-11%정도에 달한다. 수해미복구 농경지

의 총 면적은 약 28,129ha로 재령평야와 그 주변지역의 경우 약 7,447ha, 희천분지와 청천강 수계유역의 경우 약 6,687ha이다.

2. 미복구농경지를 홍수피해량의 기준으로 하여 홍수피해의 원인을 분석하면 아래와 같은 결론으로 요약된다.

첫째, 산림지 면적점유 비율이 낮을수록 수해지 면적점유 비율은 높아진다. 재령평야 연구지역의 경우 산림지(훼손지 포함)비율이 47.37%일 때 수해지 비율은 5.46%, 그리고 희천분지 연구지역의 경우 산림지 비율이 69.61%일 때 수해지 비율은 2.84%이다.

둘째, 각 연구지역 전체면적 가운데 수해지 면적비율이 높을수록 수해지 전체면적 중 차지하는 해발고 0-100m 간격의 수해지 면적점유 비율은 증가한다. 재령평야 연구지역의 경우 97.0%, 그리고 희천분지 연구지역의 경우 39.0%이다.

셋째, 해발고 간격 0-100m 사이 범위와 해발고 간격 101-200m 사이 범위에 있는 각 수해지 면적을 각 연구지역내 수해지의 전체면적(이하 전체면적)대비와 각 해발고 간격내 면적대비로 서로 비교해 보면, 경사별 분석 없이도 토사유출·침적에 의한 홍수피해를 밝힐 수 있다. 부연하면, 각 해발고 간격범위에 있는 수해지 면적이 있어서 전체면적 중 차지하는 비율이 동(同)해발고 간격 중 차지하는 비율보다 지나치게 클 때(3배이상) 수해지는 토사 침적형이고, 3배 이하 일 때는 토사유출형이다.

3. 향후 근본적 수해방재를 요하는 처방으로는 첫째, 강우시 유출량 감소 및 유출속도 감속 그리고 토사(양) 유실방지를 위해 산림회복이 절대 필요한 산림훼손지의 면적은 재령평야 연구지역에만 54,458.0ha에 달한다. 이 산림훼손지의 경우 식생이 황폐(devastation)된 산림파괴(deforestation)지에 시행해야될 사방사업과는 다른 조림사업이 요구된다. 아울러 댐감 확보와 단순 녹화사업을 위한 속성수위주 전통적 조림과 동반효과이론에 기초한 산림의 공익적 기능강조뿐 아니라 자생지 고유의 삼림식생 회복을 위한 근자연적 조림에 대해서는 신중한 검토가 요망된다.

둘째, 희천연구지역의 결과에 근거하면 수해지 전체 면적 중 경사각 0-10° 사이 범위에 차지하는 수해지 면적점유 비율은 88%, 그리고 경사각 10-20° 사이 범위에 9%, 경사각 20-30° 사이 범위에 1.5%이고 경사각 30° 이상 범위에 차지하는 수해지 점유비율의 경우 0.28%에 달해(표 6 참조) 새땅찾기사업에 의해 추진된 경사각 16° 이상의 경사지 30만 정보(추산, 김운근, 1997)만 산림 복구된다면 자연개조로 인한 추가재해 역상량은 피할 수 있으리라 본다.

결론적으로 북한의 홍수피해는 이상기상에 의해 발생한 것이 아니고 드물게 발생하는 자연현상의 하나인 소나기성 호우에 의한 것이기 때문에(김 천 외, 1998), 과거에 비해 소위 자연재해량이 커진 원인은 자연개조로 인한 자연식생지 변화량 만큼 돌아오는 재해 역상량에서 찾을 수 있다. ●

〈참고 문헌〉

- 김운근. (1997). 북한의 농·림업. 공보처, 181p.
- 김종원. (1993). 우리나라의 자연환경 현황분석연구, 한국환경기술개발원, 83p.
- 김 천, 최준수, 정강호. (1998). 위성원격탐사 자료를 이용한 북한 홍수피해 지역의 환경계측연구, 한국과학기술단체총연합회, 252p.
- 산림청. (1996). 임업 및 임학용어 표준화 연구 보고서(Ⅱ), 산림청.
- 학우서방. (1983). 조선지리증급, 학우서방, pp.90-93.
- UNDP. (1998). Thematic Roundtable Meeting on Agricultural Recovery and Environmental Protection in the Democratic People's Republic of Korea(DPRK), List of Annexes, <http://undp-dprk.apdip.net/data/countries.htm>
- WFP. (1998). Democratic Peoples Republic of Korea 1995 and 1996 Flood Affected Areas, <http://www.wfp.it/vam/dpkorea/mapgifs/dprkflood.gif>