

집중호우로 인한 토양침식 우심지역 환경영향평가

현병근¹ · 송관철 · 정석재 · 손연규 · 김이열 · 김선관 · 박한강 ·
정지호¹ · 최정원¹ · 정기열² · 김춘식² · 현근수³ · 편인환⁴

농업과학기술원, ¹호농연, ²영농연, ³작과원, ⁴서산시농업기술센터

Assessment of Environmental Impact on the Severely Soil-Eroded Area by heavy Rainfall

Byung-Keun Hyun,^{*} Kwan-Cheol Song, Sug-Jae Jung, Yeon-Kyu Sonn, Lee-Yeol Kim,
Sun-Kwan Kim, Han-Kang Kwak, Ji-Ho Jung¹, Jung-Won Choi¹, Ki-Yeol Jung²,
Chun-Sig Kim², Geun-Soo Hyun³, and In-Hwan Pyeon⁴

National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, 441-707, Korea

¹Honam Agricultural Research Institute

²Yeongnam Agricultural Research Institute

³National Institute Crop Science

⁴Seosan Agricultural Technology Center

The steep-sloped agricultural land was severely damaged by rainfall events during July and August every year. The objective of this study was to investigate an effects of intensive rainfall to the soil properties of the steep-sloped agricultural land. Survey sites including the Sacheon myeon area were located in Gangneung, those were severely damaged from a forest fire in April 2000. Surveys were taken at these sites after two years of forest fire and severe rainfall events in August 2002, which included an event that poured with 870 mm of rainfall in a day. After this storm, soil erosion, burying, and flooding were observed. Severe soil loss was found at lower soil-depths, greater slopes, longer slope lengths, and concave landscapes. Soil loss and land slides were often found at areas with having a coarser textures, higher bulk densities, lower water holding capacity, and lower rates of soil aggregation. Crop growth stagnation was found at the site of crop restoration because of low soil fertility and poor drainage caused by the abrupt textural changes. In conclusion, it is necessary to manage the steep-slope agricultural land based on environmental impact assessment data of macro morphological and physical characteristics by intensive rainfall.

Key words : Typhoon Rusa, Soil Properties, Rain fall, Abrupt Textural Change, Forest Fire

서 언

우리나라는 여름철에 태풍과 집중호우로 피해가 자주 발생하는데, 특히 2002년 8월에 발생한 태풍 루사는 한반도를 관통하며 전국적으로 사상 유래가 없는 강풍과 집중호우를 동반해 많은 인명 피해와 재산 피해를 가져왔다. 이 당시 강릉지역의 경우에는 8월 31일 하루 강수량이 870.5 mm로 기상관측이 시작된 이래 가장 많은 양의 강수량을 기록했다. 이는 강릉지역 연평균 강수량인 1,402 mm의 62%에 해당된다. 또한 이 지역에서의 1시간 최다 강수량도 100.5 mm로 기상관측 이래 최대치를 경신하였다. 이러한 기록적인

집중호우로 하천이 범람하고 도심의 저지대가 침수되었으며 제방, 도로, 교량 등이 유실되는 등 5조원이 넘는 재산피해가 발생하고, 동시에 많은 인명손실도 잇따랐다.

태풍, 집중호우 등 자연 재해에 의한 농경지 유실이 매년 반복해 일어나고 있으나, 이러한 자연재해가 토양을 비롯하여 농업환경에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 적은 실정이다. 다만 수서곤충에 대한 생태계 환경영향평가 연구가 일부 보고되었으며(Han et al., 2003), 자연 재해에 대한 자료로는 재난에 대비하는 행동지침과 작물 피해를 최소화하기 위한 연구 자료가 대부분을 차지하고 있다 (HARI, 2001a, 2001b; Jincheon-gun, 2005; MAF, 2002; NEMA, 2005; NIDP, 2003; NIAE, 2005; RDA, 2000, 2002, 2004; YARI, 2003)

접수 : 2006. 10. 25 수리 : 2007. 1. 15

*연락처 : Phone: +82312900267,

E-mail: bkhyun@rda.go.kr

다량의 비에 의해 발생하는 산사태에 대한 연구는 비교적 많은 편으로 Wo and Lee (1978)은 산사태(landslides)가 중력붕괴의 주요한 형태로서 토층의 함수량이 대단히 높고 경사도가 급한 사면에서 많이 발생된다고 했으며, Zaruba와 Mencl (1969)은 중력침식이 작용하는 주요한 요인이 토양입자의 분포, 내부 마찰력의 각도, 사면의 경사각도 등이라고 보고했다. Wo and Lee (1978)은 남북 경사면과 곡밀도 등에 따른 함수량의 차이와 토질요인에 의해 산사태의 발생 양상이 달라진다고 보고했는데, 화강암, 특히 조립질 화강암을 모재로 하는 토양이 붕괴하기 쉽다고 하였다. 또한, 풍화 토층에 점토가 결핍되면 토양의 응집력이 약화되어 산사태가 발생할 수 있으나, 표면의 녹화정도에 따라서 산사태의 발생이 현저히 줄어들 수 있다고 했다 (Wo and Lee, 1978)

자연재해는 반복해 발생한다. 태풍 루사에 의해 야기된 대규모 자연재해도 그 원인을 진단하고 예방대책과 피해최소화 방안을 강구한다면 미래의 다른 자연재해에 대한 대처능력도 크게 향상이 될 것이다. 본 연구는 2002년 태풍루사에 의해 기상재해를 심하게 받은 강원도 강릉지역을 대상으로 기상특성분석과 일부 유역에 대한 특성을 분석하였다. 또한, 유실, 매몰 등 피해를 받은 농경지의 토양특성을 분석하고, 복원된 농경지의 문제점 및 피해유형별 개선대책을 제시하였다. 이 지역을 분석한 결과가 유사한 지역으로 분류되는 지역에서의 피해최소화를 위한 기초 자료로 활용 수 있기를 기대하며 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

조사지역 선정 조사지역은 강원도 강릉시의 도움을 받아 태풍 루사가 발생하기 2년전(2000년도)에 산불피해를 심하게 받았던 사천면 일부지역과 농경지의 피해가 특히 심했던 주문진읍, 연곡면 일부를 대상으로 하였다.

기상특성분석 기상자료를 통하여 기상특성분석을 실시하였다. 기상자료를 통하여 집중호우 최대확률강우량을 구하기 위하여 坪井八十二(1977)가 제안한 아래 공식을 이용하여 연최대 일 강우량을 구한 후, 회귀식을 통하여 각각 10년간, 50년간 및 100년간의 집중호우 최대확률강우량을 구하였다. 사용된 자료는 기상대가 설치된 62개 지역의 기상청에서 제공하는 기후자료중 월별일값 자료를 이용하였다. 1961년부터 2004년 까지의 44년간의 자료를 분석하였으며, 간혹 기상대가 설립년수가 짧은 곳인 제주 성산, 경북 봉화 기상대의 경우는 기상대에서 제공된 17년간의 자료를 이용하였다.

연최대 일 강우량 재현기간(년)
 $T_j = 2N / (2j - 1), (j = 1, 2, 3, \dots, N)$
 N : 년도수
 j : 년최대 일강우량 발현년도 순위

피해 유형별 분석 집중호우에 따른 피해 유형에 따라 분석을 실시하였는데, 지형, 자갈함량, 유효토심 등과 같은 토양의 형태적 특성과 토양의 단면조사는 ASI (1973)에 준하여 조사하였다. 또한, 토양의 용적 밀도, 토양입단함량 등 토양의 물리적 특성과 pH, 토양유기물함량, 양이온치환용량, 토양의 화학성은 NIAST (2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다. 매몰지역의 복원토양에 대한 비의 수량은 농민의 청취조사 결과를 이용하였다. 토양유실량 추정에는 USLE를 이용하였는데, R 값은 Jung et al. (1999)이 제안한 간편식을 이용하였고, K값은 해당 토양통의 분석치, LS값중 S값은 실측치를 이용하였고, L 값은 평균 50m를 기준하여 적용하였다. 또한, P 값은 일률적으로 1을 적용하였다. 실측치는 토양이 유실되지 않은 원래의 깊이에서 유실된 토양 깊이를 조사하여 그 값에 면적을 곱하여 유실량 실측값으로 이용하였으며, 예측치와 비교하였다.

강릉시 사천면 노동리 일대의 산불전후의 토양유실 정도를 비교하기 위하여 유실등급을 조사하였다. 토양유실등급은 토양조사시 임지의 경우를 보통 조사하는데 1등급의 의미는 유실된 표층토의 양이 25%이며, 2등급은 표층토의 25-75% 유실되어 잔류A층의 두께가 12cm이하인 경우이고, 3등급은 A층이 대부분 유실된 것으로써, 표토상의 75%이상이 유실된 경우이다. 4등급은 깊은 협곡침식이 생긴 경우를 말한다. 5등급은 토양유실등급에는 없으나 편의상 사태가 발생한 곳을 5등급으로 구분하여 조사하였다.

집중호우에 따른 유역의 재해위험성에 대한 분석기법이 없기 때문에, 잠정적으로 재해위험성 분석은 해당 유역의 하천소화물량을 이용하여 분석하였다. 이것은 태풍루사시 강우량 870.5 mm를 하천유역면적으로 나눈 값이다. 여기서 하천의 높이는 2 m로 일률적으로 적용하였으며, 재해위험성 등급은 실제 피해를 입은 하천을 고려하여 50이하를 낮음, 50-70은 중간, 70 이상은 위험성이 있는 것으로 임의 판단하였다.

태풍루사 전후의 토양화학성의 변화를 비교하고자, 강릉시 옥계면 일부지역인 낙풍리, 산계리, 남양리에 대하여 강릉시 농업기술센터에서 분석한 토양검정자료 중 토양유기물함량과 유효인산함량 자료를 이용하였다.

또한, 침수, 매몰, 침식, 산불지역에 대한 각각의 피해 유형별로 피해지역 복원시 문제점과 대책을 제시하였다.

결과 및 고찰

강릉지역 농경지 피해현황 태풍 루사시 ('02. 8.31) 농경지 피해가 컸던 강릉지역의 농경지 피해 현황이다 (Table 1). 강릉지역은 논과 밭 모두 피해가 심하여 전체 농경지의 63 %가 침수, 유실 피해를 받았으며, 특히 유실에 의한 피해는 논과 밭을 합해 4,791 ha로 큰 피해를 받았다.

강릉지역 기상특성분석 태풍 루사시 강릉 지역의 강우 특성을 Fig. 1에 나타내었다. 일일 강우량이 무려 870 mm나 되었고, 시간당 최대 강우량도 100.5 mm에 달하여 총강우량 뿐만 아니라 강우강도도 매우 높았음을 알 수 있다. 이러한 집중강우 패턴은 과거의 평년 강우량(1971~2000년 기간 중 7월 196.5mm, 8월 288.2mm)과 차이가 심하였고, 막대한 양의 집중호우에 대한 하천 정비 등 이에 대한 대처가 없었기 때문에 그 피해가 더욱 컸던 것으로 생각된다.

지역별 집중호우 확률 강우량을 분석하는데 이용되는 연최대 일강우량 재현기간은 坪井八十二 (1977) 공식을 사용하였으며, Fig. 2는 강릉지역의 집중호우 확률강우량 재현기간이다. 이를 통하여 지수함수 회귀식을 구하여, 태풍 루사시 강릉지역의 일강우량 870

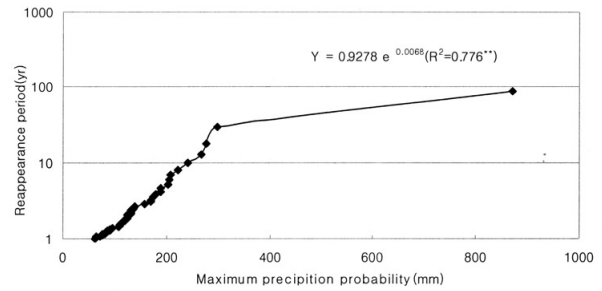


Fig. 2. Reappearance periods by maximum precipitation probability in Gangneung.

mm를 추정한 결과 우리나라에서의 기상 관측 이래 최대 일강우량으로는 집중호우 확률강우량 재현기간 345년에 해당한다. 이것은 태풍루사가 동반한 집중호우가 매우 심한 폭우였음을 알 수 있었다. 그러나, 坪井八十二의 공식을 이용하여 일반적으로 사용하는 집중호우 확률강우량 재현기간을 산출할 때 강릉시의 태풍루사시 집중호우의 경우처럼 매우 불균일한 자료가 포함될 때에는 확률강우재현기간을 산출하는데 신뢰성이 떨어지므로, 이 분야에 대한 보완연구를 통하여 새로운 공식이 만들어져야 된다고 본다.

지역별 집중호우 확률강우량 기상대가 설치되어 있는 지역을 대상으로 집중호우 확률강우량을 분석한

Table 1. Distributions of arabel land damaged at Gangneung.

Landuse	Area(ha)	Damaged area(ha)			Ratio(%)
		Flooded	Eroded	Total	
Paddy	6,030	1,324	2,581	3,905	64.8
Upland	5,910	1,406	2,210	3,616	61.2
Total	11,940	2,730	4,791	7,521	63.0

Source : Gangneung city office.

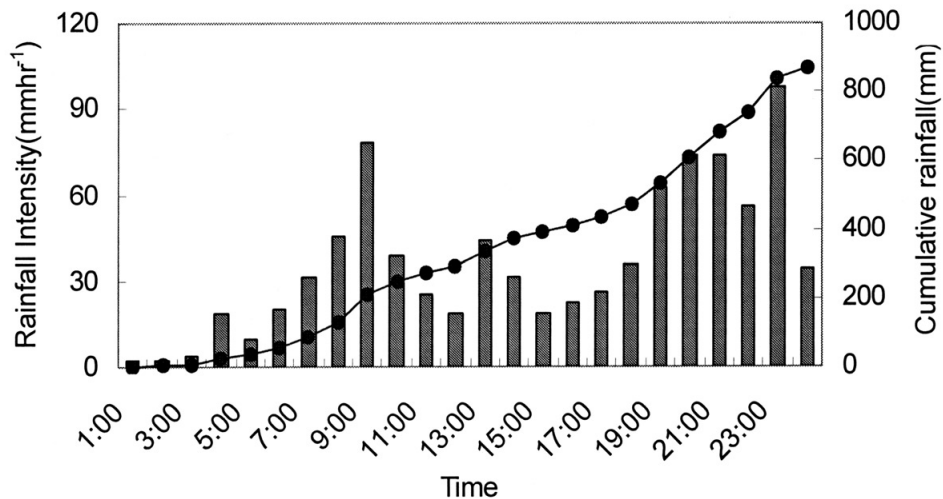


Fig. 1. Analysis of rainfall with typhoon Rusa in Gangneung('02. 8. 31). (Source : Korea Meteorological Administration)

Table 2. Maximum precipitation probability on heavy rain in the different provinces.

Province	District	10 yr	50 yr	100 yr
Kyeonggi	Seoul(44)	240	347	393
	Incheon(44)	218	322	367
	Suwon(41)	230	335	380
	Icheon(32)	214	308	349
	Yangpyeong(32)	236	349	397
	Ganghwa(32)	274	401	456
	Mean	235	344	390
Kwangwon	Gangneung(44)	305	488	567
	Songcho(37)	222	312	346
	Cheoncheon(39)	203	290	327
	Daegwalneung(32)	342	535	618
	Wonju(32)	205	296	335
	Inje(32)	196	286	324
	Hongcheon(32)	201	286	323
Mean	239	356	406	
Chungbuk	Cheungju(37)	175	252	286
	Jecheon(32)	208	303	344
	Boeun(32)	230	351	402
	Chungju(32)	190	280	318
	Chupyeongryeong(43)	171	249	283
	Mean	195	287	327
Chungnam	Seosan(37)	192	297	303
	Daejeong(36)	194	276	311
	Chungan(32)	185	259	291
	Boryeong(32)	221	330	378
	Buyeo(32)	240	362	415
	Geumsan(32)	168	226	251
Mean	200	292	325	
Jeonbuk	Cheungju(43)	165	231	259
	Gunsan(38)	187	277	316
	Buan(32)	160	217	242
	Imsil(32)	165	231	259
	Jeongeup(32)	157	219	245
	Namwon(32)	165	226	253
	Mean	167	234	262
Jeonnam	Gwangju(44)	208	304	345
	Yeosu(44)	197	268	299
	Mokpo(44)	189	277	314
	Suncheon(32)	222	303	338
	Haenam(32)	258	394	452
	Jangheung(32)	286	428	489
	Goheung(32)	285	429	490
	Wando(32)	288	432	493
Mean	242	354	403	

Table 2. Maximum precipitation probability on heavy rain in the different provinces.

Province	District	10 yr	50 yr	100 yr
Kyeongbuk	Pohang(44)	207	320	368
	Daegu(44)	161	235	267
	Wulneungdo(32)	144	207	234
	Mungyeong(32)	145	194	215
	Yeongdeok(32)	189	284	325
	Uiseong(32)	137	193	219
	Gumi(32)	148	211	237
	Yeongcheon(32)	146	197	219
	Uljin(32)	172	254	290
	Bonghwa(17)	222	321	363
	Ulsan(44)	220	331	379
	Mean	172	250	283
Kyeongnam	Jinju(35)	211	297	379
	Busan(44)	236	346	393
	Tongyeong(37)	220	319	361
	Geochang(32)	184	259	291
	Hapcheon(32)	205	300	341
	Milyeong(32)	196	283	320
	Sancheong(32)	263	381	432
	Geoje(32)	272	390	441
	Namhae(32)	295	411	464
	Mean	231	332	380
Jeju	Jeju(44)	217	305	343
	Seogwipo(44)	239	342	387
	Seongsanop(32)	231	323	363
	Gosan(17)	194	277	313
		Mean	220	312

() is periods of analysing years.

결과는 Table 2와 같다. 집중호우 확률강우량은 내륙 지방에 비해 해안지방이 높은 경향이였다. 재현기간 100년간 집중호우 확률강우량의 경우 대관령과 강릉 지역이 618 mm 및 567 mm로 가장 높았으며, 완도, 고흥, 장흥, 남해, 강화, 해남, 거제, 산청, 부여, 보은 등이 400 mm대로 높았다. 그러나, 문경, 영천, 의성 등은 210 mm로 대로 가장 낮은 값으로 분석되었다. 지역별 평균값으로 볼 때 재현기간 100년간 집중호우 확률강우량은 강원>전남>경기>경남 순이었으며, 가장 낮은 곳은 전북으로 평균 262 mm로 분석되었다. 태풍 루사시 집중호우 피해가 컸던 영동과 김천 지역(추풍령)의 집중호우 확률강우량은 재현기간 10년간의 경우에는 171 mm, 100년간의 경우에는 283 mm로 다른 지역에 비하여 비교적 낮은 편이었으나, 실제 피해는 매우 컸는데, 이는 확률강우량과 각 지형별 유역 특성의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 앞으로,

기상특성 분석자료와 병행하여 유역특성에 대한 분석을 중첩하여 해석할 필요가 있는 것으로 생각된다.

이렇게 장기간의 강우량 자료로 집중호우 확률강우량을 분석하는 것은 집중호우로 인한 재해위험성이 큰 지역을 선별해 사전에 대책을 마련하고자 하는 것이다. 따라서 100년 집중호우 확률강우량이 많은 지역으로 판단되는 강원도 강릉과 평창 지역, 남해안 일부 지역에서는 집중호우로 인한 피해대책을 마련해야 될 것으로 판단된다.

피해유형별 특징

침식지역 강릉지역의 기후는 봄에는 늦새바람에 의해 토양이 건조하고, 내륙에 비해 여름이 서늘하며, 겨울이 온난하다. 우리나라 30년 평균 강우량인 1,310 mm에 비해 1,400 mm로 90 mm가 많으며, 주로 6~9월에 집중되고 있다. 침식지역은 주로 곡각지, 선상지,

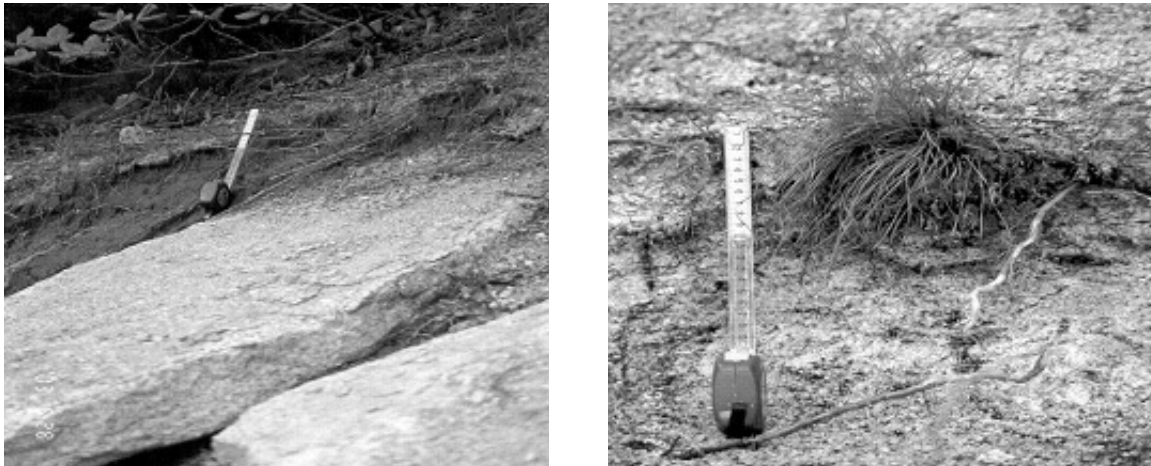


Fig. 3. Cross section of soil erosion by typhoon Rusa.

산록경사지, 산악지 등이나, 경사가 30-60% 또는 60% 이상인 산악지에서 침식이 주로 발생하였다. 암석은 주로 조립질 화강암이었으며, 토양발달은 미숙하여 층위발달이 약한 삼각통, 덕산통 등으로 유효토심이 20 cm 미만인 토양이 주로 분포하고 있었다 (Fig. 3). 이러한 곳은 경사가 심하고, 토양의 점토함량이 적으며, 유기물 함량이 낮기 때문에 토양의 분산율이 높아(Hyun et al., 2007) 토양침식의 위험성이 높은 것으로 판단되었다.

토양침식 지점 및 인근 지점일부에 대하여 토양의 형태적 특성을 조사하고 그 결과를 Table 3에 나타냈다. 토양 침식 지점과 인근 지점은 모재가 조립질 화강암이고, 삼각-상주-사촌통 등의 토양 카테나를 갖고 있었다. 토양 침식 지점은 인근 지점에 비해 유효토심이 41.2 cm로 얇고, 경사각도가 0.8° 높으며, 경사장이 3.3 m 더 길었다. 또한 표토 유기물 등의 유실에 의

해 밝은 토색을 띠고 있으며, 블록지형보다는 오목지형에서 침식이 많이 발생하였다. 특히 침식 지점에서는 인근지점에 비해 7.9%로 식생이 빈약하여 강우의 타격을 크게 받은 결과 심한 침식이 일어난 것으로 생각된다.

Table 4는 토양침식 지점 및 인근 지점에 대하여 토양물리성을 비교한 것이다. 침식지점은 인근지점에 비해 투수속도가 빠르고, 토양의 내수입단 함량이 적었으며, 분산율이 높았다. 또한 용적밀도가 높고, 공극율이 적으며, 모래함량이 많고, 유효수분함량이 적은 것으로 분석되었다. 이런 결과는 공극율이 적고 모래함량이 높아 수분보유능이 적은 토양에서 내수성 입단이 적고 분산율이 높으며 투수가 빠름에도 침식이 발생할 수 있음을 나타내므로 이런 특성을 가진 토양을 구분하여 놓으면 침식위험성에 대한 판단을 쉽게 할 수 있을 것이다.

Table 3. Soil morphological characteristics of soil eroded and vicinity sites.

Features	Soil eroded site	Vicinity site
Parents materials	Coarse granite (Samgag series : Dystrudepts)	
Soil catena	Dystrudepts - Dystric Fluventic Eutrudepts - Aeric Endoaquepts etc.	
Available soil depth(cm)	36.5	77.7
Slope(degree)	52.5	51.7
Slope length(m)	42.5	39.2
Soil color(Munsell)	Yellowish brown(10YR 5/4)	Very dark grayish brown(10YR 3/2)
Micro morphology	Concave+++ , Convex++ , Linear+	Concave+ , Convex+ , Linear+
Coverage(%)	7.9	75.2

Table 4. Soil physical properties of the soil eroded and vicinity sites.

Divisions	Permeability (cmhr ⁻¹)	Aggregates (%)	Dispersion ratio (%)	Bulk density (Mgm ⁻³)	Porosity (%)	Sand (%)	Clay (%)	Av. soil moisture contents (%)
Eroded site	129.8	15.8	63.9	1.30	50.8	83.7	3.2	8.2
Vicinity site	76.0	25.4	52.6	1.14	57.1	73.3	6.8	12.5

집중호우에 의한 토양침식은 경사가 심한 산림지역 중 산불이후 복구가 완전히 되지 않은 지역에서 심하게 일어났다(Fig. 4). 이는 식생에 의한 완충작용이 결여되어 토양에 대한 강우타격이 직접적으로 이루어졌기 때문이다. 이런 특성을 보인 강릉시 사천면 일대 산불지역에서 태풍 루사시 집중호우로 인한 토양침식 양을 실측하고, 이것을 토양유실을 추정하는 USLE 모형을 이용해 추정한 토양 침식량과 비교하였다 (Table 5). 모형에 의한 토양 침식 추정량이 실측량보다 1~2배 많았는데, 그 이유는 경사각이 매우 높았기 때문인 것으로 판단되었다. 토양유실 추정모형으로



Fig. 4. Cross section of soil eroded features after forest fire in Sacheon Myeon.

USLE를 많이 사용하나, 이것은 경사가 9 %이하의 농경지에서 시험한 결과를 근거로한 모형이므로, Fig. 5와 같은 산림지역이나 산불지역의 토양유실을 추정하기에는 적합하지 않다. 또한 산토양이 침식되어 하부에 위치한 농경지로 유입되기 때문에 이러한 것을 감안한 산토양 토양유실 추정모형 개발도 고려할 필요가 있을 것으로 생각된다.

강릉시 사천면 산불지역에서 토양침식 등급에 따른 토양의 형태적 특성을 나타내었다 (Table 6). 산불지역에서 경사가 심할수록, 그리고 지면피복도가 감소할수록 토양침식 등급이 높았다. 저구릉에서 산악지로 갈수록 토양침식 등급이 높고, 미세지형이 불룩한 형태에서 직선형으로 갈수록 토양침식 등급이 높았다. 또한 해발고도가 높아질수록 토양침식 등급이 높은 것으로 조사되었는데, 그 이유는 식생이 빈약해지고, 경사가 급해지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 5은 강릉시 사천면 노동리 상부지역 일대의 산불 전후의 토양침식 등급의 변화를 나타낸 것이다. 과거 산불이 발생하기 전에는 전체면적 312.2 ha 중에서 토양침식 2등급의 면적이 179.5 ha, 3등급의 면적은 67.3 ha를 차지하였으며, 곡간지의 면적은 65.4 ha를 차지하였다. 그러나 산불 이후에는 강우에 의한 토양 표면의 타격을 줄여줄 수 있는 식생이 빈약해졌기 때문에 집중강우에 의해 쉽게 토양유실이 일어날 수 있다. 산불후의 토양유실등급의 변화는 2등급이 17.7 ha, 3등급이 207.7 ha, 4등급이 16.1 ha로 전체면적의 77.4

Table 5. Comparisons between an estimate and measured soil losses in different soil erosion classes.

Erosion classes	USLE factors					Estimated of soil loss(ton/ha/yr)	Measured of soil loss(ton/ha/yr)
	R	K	LS	C	P		
I	1550	0.2	2.03	0.001	1	1	0
II	1550	0.2	2.03	0.2	1	126	200
III	1550	0.2	18.62	0.5	1	2886	1000
IV	1550	0.2	18.62	0.7	1	4041	1800
V	1550	0.2	37.31	1	1	11566	17500

V : landslide(tentative)

Table 6. Changes of soil morphological characteristics with different soil erosion classes in fired place.

Division	Soil erosion classes			
	II	III	IV	V
Eroded depth(cm)	2	10	18	175
Slope(%)	15-30	30-60	30-60	>60
Coverage(%)	80	50	30	0
Morphology	Low hilly	Mountain	Mountain	Mountain
Micro morphology	Convex	Convex	Convex	Linear
Kind of plants	Bush clover, mapple, oak, wild plant	Wild plant, loyal azalea, oak	Oak, bush clover, wild plant	-
Elevation(m)	128	153	152	282

V : landslide(tentative)

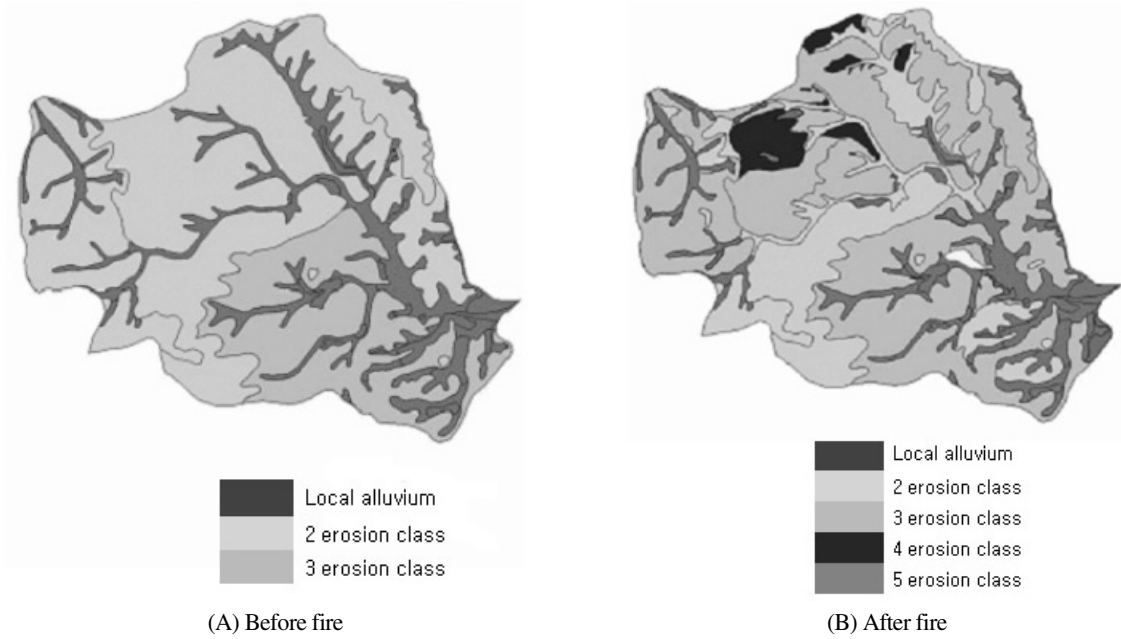


Fig. 5. Comparison of soil erosion classes before and after forest fire at Sacheon myeon in Gangneung.

%를 차지하였으며, 사태(잠정 5등급)도 5.3 ha를 차지하였다.

매몰지역 토양 매몰이 발생하는 지형은 주로 곡간저지 및 평탄지, 그리고 하천주변이었다. 산악지에서 침식된 토양이 곡간저지와 평탄지에 1차적으로 운반 퇴적되고, 하천을 따라 이동되다가 하천 범람지역 인근 농경지에 많이 운반 퇴적되었다. 하천 범람은 하천의 만곡도가 심하거나, 하천폭이 좁은 지역, 또는 물이 흡수되는 지점에서 주로 발생되었다. 따라서 이들 지역에 토양이 많이 운반 퇴적되었고, 하천주변의 사양질 내지 사질 논토양이 주로 매몰 피해를 많이 받았다. Fig. 6은 강릉시 주문진읍 신리천 일대의 토양 매몰 지역과 토양 매몰 지점의 토양단면 사진이다.

농경지의 형태를 전혀 알아볼 수 없을 정도로 심하게 매몰되었음을 알 수 있다. 토양 매몰 지점의 단면 사진을 관찰해 보면 표층으로부터 40 cm 정도가 토사로 매몰된 토양이며 토성급변층의 생성으로 인해 배수가 불량하기 때문에 하부 토양이 검은 색으로 바뀐 것을 관찰할 수 있다.

침수지역 침수피해는 하성평탄지 내지 하해혼성 평탄지에 주로 분포하는 농경지에서 피해를 심하게 받았다. 또한 저수지 제방 붕괴로 인하여 저수지 하류의 넓은 지역이 침수피해를 받기도 하였다. 이들 지역은 바다와 가까운 지역으로 수문을 빠져나가지 못한 정체수에 의해 더욱 큰 피해를 입었다. 침수지역의 토성은 해안변의 하해혼성 논토양 및 하천변의 사양질

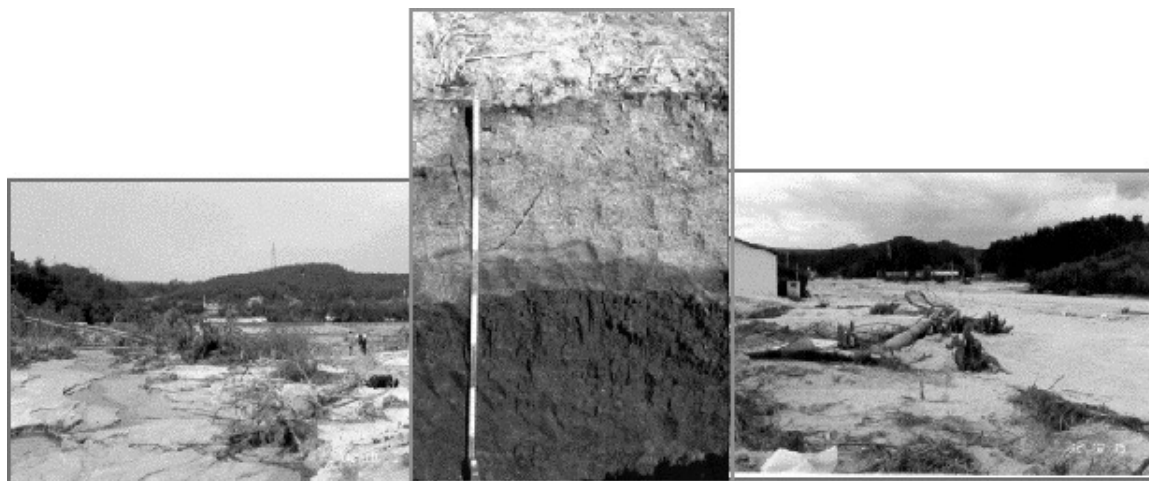


Fig. 6. Cross sections of soil profile at buried site, Jumunjinup, near Shinri stream in Gangneung.

내지 사질 토양이 주류를 이루고 있었다.

유역 특성에 따른 재해 분석 강릉시 사천면, 연곡면 및 주문진읍의 하천유역도를 Fig. 7로 나타내었다. 신리천은 1개의 하천이, 연곡천은 상부에서 2개의 하천이 한 개의 하천으로 합류해 흐르는데 반해, 사천천의 경우 2개의 하천이 개별적으로 흐르고 있다.

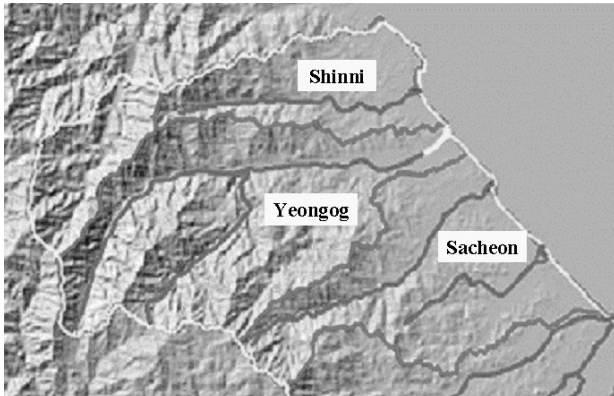


Fig 7. Basin map of Sacheon myeon, Yeongog myeon and Jumunjin eup in Gangneung.

태풍 루사시 내렸던 강우량에 대하여 해당 유역의 하천이 소화할 수 있는 물량을 분석하여 Table 7에 나타내었다. 분석 결과 신리천은 재해 위험성이 높은 것으로, 연곡천은 보통이었으며, 사천천은 낮은 것으로 분석되었다. 그러나 실제 상황은 약간 다르게 나타났다. 사천천의 경우에는 상류지역이 산불지역이어서 상류에서 토양침식이 다량으로 일어났기 때문에 산에서 쓸려 내려 온 토사가 하상을 높여 실제 많은 물량을 소화해 내지 못하였고, 따라서 하천 제방이 많이 붕괴되었고 하천 주변의 농경지가 심하게 매몰되었다. 연곡천의 경우에는 재해 위험성이 보통으로 나타났으나, 하천 제방 정비가 비교적 잘 이루어져 있었고, 하천의 길이가 길고 폭이 넓었기 때문에 피해를 일으키는 시간이 지연되어 실제 피해는 적은 것으로 조사되었다. 유역 면적에 비해 하천 면적이 좁기 때문

에 하천이 소화할 수 있는 물량이 적어 재해 위험성이 큰 하천의 경우에는 사전에 하천을 깊고 넓게 하천을 정비하여 재해 발생시 피해를 최소화할 수 있도록 하여야 할 것이다.

피해유형별 대책 태풍 루사시 피해를 받은 농경지에 막대한 예산을 투입해 복원사업을 신속하게 수행한 결과, 외형상으로는 피해 농경지의 대부분이 복구되었다. 그러나 피해 농경지의 토양단면을 조사한 결과 복구 과정에 많은 문제가 있었던 것으로 드러났다. Fig. 8은 강릉시 주문진읍 장덕리 일대에서 관찰한 매몰된 농경지를 복원한 토양과 원래토양의 단면 사진이다. 매몰된 농경지 복원시 매몰된 모래층을 전부 제거한 후에 새로운 토양으로 객토하는 것이 일반적이거나 그림에서 보는 바와 같이 매몰된 모래층을 완전하게 제거하지 않은 채 객토한 농경지들도 관찰할 수 있었다. 이 경우 매몰된 모래층과 원토양은 토성이 크게 달라져 투수속도가 많은 차이가 있는 토성급변층으로 작용하고, 하부 토층에서 배수가 불량해진다.

매몰된 모래층을 완전히 제거하지 않고 복원한 논과 정상논에서의 토양이화학적 특성을 Table 8로 나타내었다. 매몰된 농경지 복원시 제거되지 않고 남아 있는 매몰 모래층(10~19 cm)에서는 수분보유능이 현저하게 낮고, 유효인산 함량이 낮은 경향으로 토양이화학적 특성도 열악한 것으로 분석되었다.

집중호우로 인하여 매몰된 농경지를 복원할 때 원래 토양의 특성과 관계없이 주위에서 구하기 쉬운 토양을 객토원으로 사용하여, 일괄적 작업으로 원래상태의 외형 복원만 강조하는 경향이였다 (Fig. 9).

이것은 결과적으로 작물생육에 영향을 미쳐 수량을 떨어뜨리는 역할을 하는데 Table 9는 우량 객토원과 불량 객토원으로 각각 객토한 논토양의 특성을 조사해 나타낸 것이다. 벼 수량을 보면 우량 객토원을 객토한 논에서는 510 kg 10a⁻¹이었으나, 점토함량이 4.8%로 낮은 사양질 토양을 객토한 논에서는 455 kg 10a⁻¹으로 낮았다. 집중호우로 인한 매몰 농경지 복원

Table 7. Risk assessments of basin areas according to characteristics of basin and streams in Gangneung.

Basins	Area of basin (ha, A)	Area of stream (ha, B)	Ratio(A/B)	Applied on rainfall of typhoon Rusa		
				Water amount of basin (Million ton)*	Coverage of stream (Million ton)**	Grade of risk ***
Shinni	6,038	74	81.6	54	0.18	High
Yeongog	16,677	320	52.1	146	0.44	Medium
Sacheon	11,665	151	37.7	102	0.38	Low
Namdae	14,292	25,441	0.6	124	51	Low
Gunseon	7,806	185	42.3	68	0.37	Low
Jusu	14,131	197	71.6	123	0.40	Low

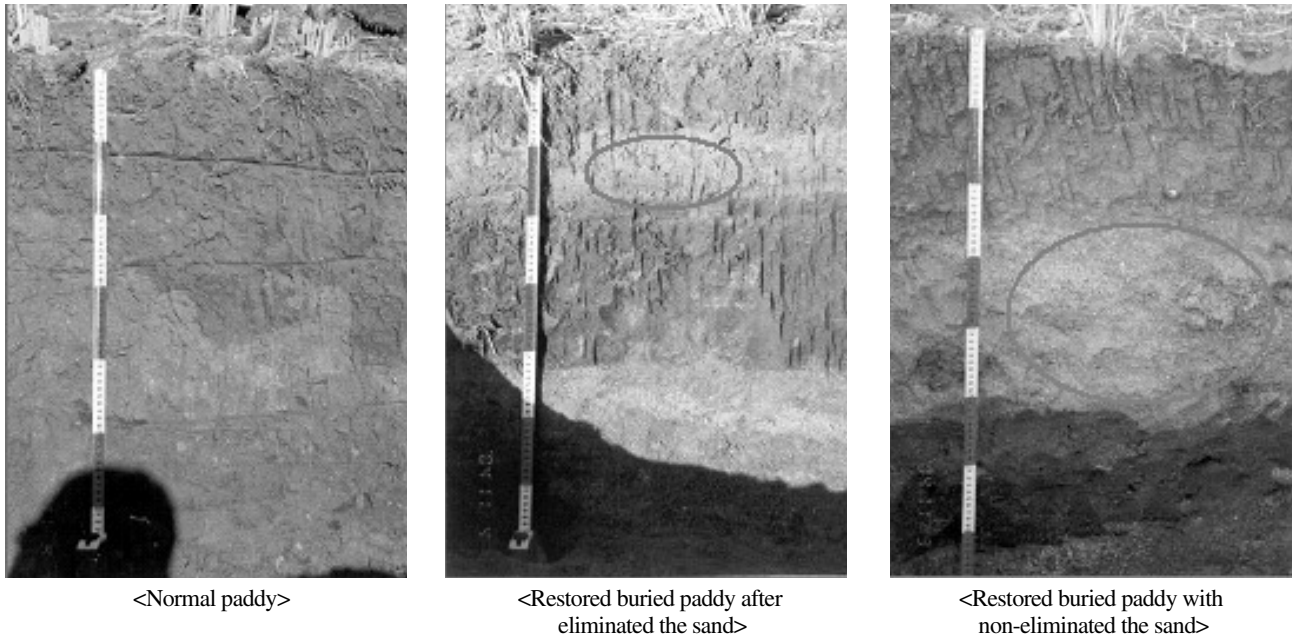


Fig. 8. Cross sections with compared soil profiles among normal and restored buried paddies with non-eliminated the sand.

Table 8. Comparison of soil characteristics between the restored paddy with non eliminated the sand and normal paddy.

Divisions	Depth (cm)	pH (1:5)	OM (gk g ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.cations(cmol kg ⁻¹)			WRD(kPa,%) [†]		PSD(%) [§]		
					K	Ca	Mg	33~1500	10~1500	Sand	Clay	TEX. [‡]
Normal paddy	0-11	6.1	14	91	0.15	2.4	0.5	7.8	15.1	63.0	7.8	SL
	11-27	6.4	13	102	0.21	2.5	0.6	8.0	13.7	68.6	7.7	SL
	27-46	6.9	13	73	0.13	3.2	0.9	9.1	13.3	61.2	11.7	SL
	46+	6.7	13	43	0.13	1.7	0.5	6.4	10.3	71.8	6.4	SL
Restored paddy [†]	0-10	7.0	13	143	0.15	3.2	0.3	5.1	10.7	78.4	4.0	LS
	10-19	6.8	13	41	0.16	2.5	0.3	2.6	8.8	83.0	2.1	LS
	19-45	6.0	15	199	0.15	3.8	0.7	13.9	24.8	48.4	9.0	L
	45+	6.1	13	23	0.09	1.3	0.2	3.7	7.3	91.2	1.2	S

[†] Restored paddy with non eliminated the sand

[‡] WRD : Water Retaining Difference

[§] PSD : Particle Size Distribution

[‡] TEX. : Texture

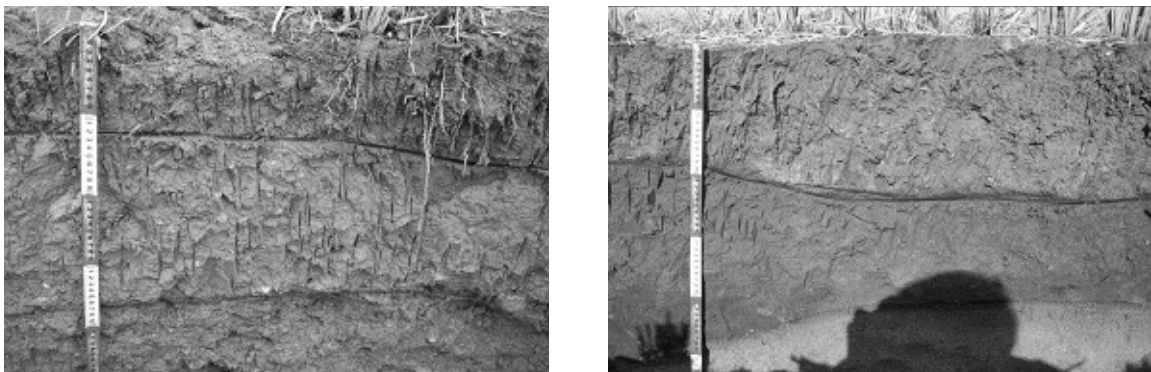


Fig. 9. Photos of paddy land restored with bad(left) and good(right) soil dressing source.

은 시간과 경관을 이유로 외형적 복원을 강조하는 경우가 많은데, 물리적 복원 후유증은 반영구적이기 때문에 농경지 복원이 지연되더라도 우량 객토원을 사용하여 복원하는 것이 농작업이나 작물생육에 바람직하다고 생각된다.

토성급변층이 생성된 매물 토양 복원 농경지에서는 심경이나 심토파쇄를 해 토성급변층을 파쇄하고 교반을 해야 한다. 토성급변층을 파쇄하기 위해서는 심토파쇄기와 같은 농기계를 이용하여 상하층이 섞이도록 강력하게 파쇄하는 것이 효과적이다. 매물지역 농경지 복원시에 매물된 모래층을 완전히 제거하지 않고 객토하거나 원래 토양의 특성과 관계없이 주위에서 구하기 쉬운 토양을 객토원으로 사용하여 객토했기 때문에 토성급변층이 생성되는 경우가 빈번하였다.

토성급변층이 층위간 투수속에 급격한 변화를 생성되면 하부층에서 배수가 매우 불량해져 작물생육에 장애를 받게 되는데 이는 생산성의 감소로 이어진다. 따라서 토성급변층에서 작물생육을 양호하게 할 수 있는 방법제시가 필요하며, Table 10은 매물지역 농경지 복원시 토성급변층 생성원인 및 대책을 요약하였다.

강릉시 옥계면 일부지역에서 태풍 루사 전후의 토양 화학성을 조사하여 Table 11로 나타내었다. 태풍 루사 후에는 태풍 루사 전과 비교하여 토양화학성 중 토양유기물과 유효인산함량이 급격히 감소하였음을 알 수 있다. 이는 원래의 비옥한 표토가 유실되고 새로운 토양으로 객토하였기 때문이라고 생각된다. 이러한 피해복원 농경지의 경우 토양검정을 반드시 수행하여 시비처방을 해야 건전한 작물생육을 기대할

Table 9. Changes of soil properties in rice paddies restored with different soil dressing sources.

Division	Texture (Clay%)	pH (1:5)	OM (gk g ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.Cations(cmol kg ⁻¹)			Tiller (No.)	Rice yield (kg 10a ⁻¹)
					Ca	K	Mg		
Paddy restored with bad one	0-11 11-36 36+	SL(4.8) L(13.8) LS(2.5)	5.4 5.4 4.9	4 7 8	84 61 11	5.2 2.4 0.3	0.20 0.09 0.02	1.6 0.7 0.1	17.4 455
Paddy restored with good one	0-14 14-36 36+	L(18.8) SL(8.0) S(0.2)	6.0 6.5 6.6	17 19 7	60 105 45	5.1 4.0 0.3	0.23 0.12 0.01	2.0 1.0 0.1	19.2 510

Table 10. Cause and countermeasure of the abrupt soil textural change according to the restoration of the buried arable land.

Division	Contents
Cause of abrupt textural change	<ul style="list-style-type: none"> ○ For un-restored soil buried by heavy rain. <ul style="list-style-type: none"> - In case of burying layer mixed sand with gravel, the buried lower part became poorly drained because of different permeability in the layer of top and lower parts. ○ For not considering the soil dressing materials. <ul style="list-style-type: none"> - With dressing source of coarse material less than 20% clay contents of sapolite, the low layer was poorly drained because top and lower parts had different permeability. ※ Abrupt textural change disrupted the water movement and did not drain well in whole soil layer, and then it made not good crop growing.
Counter-measure	<ul style="list-style-type: none"> ○ Breaking the abrupt soil textural change by plowing the deep subsoil and mixing whole soil layers. <ul style="list-style-type: none"> - Need to strongly agitate soil that can mix the layer with abruptly changing soil texture by chisel and so on. ○ Use(more than clay content 20%) of good soil dressing materials.

Table 11. Effects of soil chemical properties by the typhoon Rusa at different locations in Oggye myeon.

Year		Soil organic matter(g kg ⁻¹)			Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)		
		Nagpungri	Sangyeri	Namyangri	Nagpungri	Sangyeri	Namyangri
2001 (Before Rusa)	Mean	25±8.93	26±5.00	26±9.86	52±34.27	59±39.05	81±63.1
	Range	63-2	43-13	50-8	267-3	178-9	221-5
	No.	806	130	214	806	130	214
2005 (After Rusa)	Mean	18±7.36	10±3.78	21±7.77	21±19.36	31±16.58	75±43.96
	Range	39-5	17-4	36-6	111-1	69-14	188-30
	No.	96	17	11	96	17	11

Source : Gangneung agricultural technology center.

수 있을 것이다.

집중호우에 따른 피해지역 유형별 복원시 문제점 및 대책을 Table 12에 요약해 정리하였다. 침수지역의 경우 점토, 미사 등 세립질 토양이 2~10 cm 깊이로 광범하게 침적되어 있어 비와 같은 작물 잎 끝에 흙탕물이 붙어있는 등의 문제점이 있었다. 따라서 이에 대한 대책으로는 펌핑시설 등 배수시설을 확보하고 하천 및 배수로를 정비하며 빨리 물을 뺄 수 있도록 하는 동시에 약해진 논둑 관리를 철저히 하며 세립질 토양이 침적된 곳에서는 심경과 로터리 작업을 수행해야 할 것이다.

매몰지역의 경우 모래와 자갈 등이 20~150 cm의 깊이로 매몰되었는데, 매몰된 토양을 제거한 후에 원토양 위에 10~20 cm 깊이로 객토하여 대부분의 농경지를 복원하였다. 그러나 일부 농경지에서는 매몰된 모래층을 완전하게 제거하지 않고 객토하였기 때문에 토성급변층이 생성되어 작물생육에 문제가 되었다. 또한 일부 농경지에서는 점토함량이 적은 불량 객토원으로 객토를 한 결과 비옥도가 저하되고 토층이 불균일하게 되어 작물생육이 불량했다. 따라서, 이러한 지역에서의 대책은 농경지 복원시 매몰된 모래층을 완전히 제거하고 점토함량이 높은 양질의 토양으로 객토해야 하며, 또한 토성급변층이 발생하지 않도록 주의해야 한다. 토성급변층이 생성된 농경지에서는 심경이나 심토파쇄를 하여 토성급변층을 파쇄하고 교반을 해야 한다. 또한 농경지 복원과정에서 비옥도가 저하된 농경지에서는 토양검정에 의한 시비관리를 해야 한다. 유실지역과 산불지역의 경우 소나무, 단풍

나무 등 식목을 식재하였고, 사태지역에는 토심이 너무 얇기 때문에 벽면처리를 하였으나 식생에 의한 토양피복이 빈약하여 2차 피해 발생이 우려된다. 또한, 산불지역의 경우 산불로 불타버린 잡목 및 나무를 방치하여 집중호우시 방치된 나무가 작은 댐역할을 하여 피해가 가중되기 때문에 산불로 인한 잡목 및 나무는 집중호우전에 반드시 처리되어야 할 것이다. 토양침식이나 산불에 의하여 식생이 빈약한 곳에서는 토양침식에 매우 취약하기 때문에 근활력이 높은 초종을 우선 식재하여 토양표면을 피복한 후에 나무를 식재하는 것이 2차 피해를 줄일 수 있는 방법이라고 생각한다.

적 요

태풍 루사시 집중호우로 인하여 농경지에 대한 피해가 극심했던 강원도 강릉지역의 강우특성과 침식, 매몰, 침수, 산불지역에 대한 피해양상을 조사하였으며, 복원대책을 요약한 결과는 다음과 같다.

1. 태풍루사에 의해 870 mm가 내린 강릉지역의 집중호우 확률강우 재현기간은 345년으로 분석되었다.
2. 토양침식지점과 인근지점 토양의 형태적 특성을 비교한 결과, 토양침식지점이 유효토심이 낮고, 경사장은 길고, 경사도는 높았으며, 주로 오목지형에서 토양침식에 많이 발생하였다.
3. 산불지역에서 경사가 심할수록, 지면피복도가 감소할수록 토양침식 등급이 높았는데, 저구릉에서 산악지로 갈수록, 미세지형은 볼록한 형태에서 직선형

Table 12. The caused problems and suggested countermeasures to different damaged types by heavy rain when restoring into the arable land.

Division	Damaged conditions	Problem after rehabilitation	Management practices
Flooded area	- Inundation during 2-3 days in the rice field - Accumulated the silt particles for 2-10cm depth - Conglutination to rice leaf by soils	- Continuous overflow of rivers even if restored with using the full equipment	- Water distribution system with installed the pumping facilities - Overflow by using the full equipment - Rotary the area accumulated by silt particles by tractor - Management of bank around rice field
Buried area	- Buried soil with sand and gravels near streams(20-100cm depth)	- Soil dressed with bad materials as lower clay contents soil, saprolite. - For dressing the bad sources, soil fertility and crop growth was worse.	- Soil testing - Use of good soil dressing materials - Rearrangement of arable land - Mixed land with dressed soil - Removed the buried soil, and then dressed into 10 to 20 cm of soil
Eroded area	- Surface soil erosion, land slide etc.	- Planting tree(pinetree, mapple etc.) - Worried about soil erosion repetition of lowering pastures coverage	- Selecting a good cultivar (having good root biomass) - Wall processing on slide point - Land use change if do not use the arable land
Fired area	- Fired all or some part of forest	- Worried about 2nd damage by lower coverage	- Covering pasture on surface first, and then planting the tree

일수록 토양침식 등급이 높았다. 토양침식을 받은 지역은 혼효립 식재, Weeping love grass 등의 식재를 하고 가능한 한 단기간에 피복도를 증대시켜 2차 피해를 예방해야 할 것으로 판단된다.

4. 대부분의 농경지는 피해 후 복원이 잘 되어있으나, 일부농경지는 매몰된 모래층을 완전히 제거하지 않았기 때문에 토양의 비옥도 저하로 작물생육이 부진하였으며, 토성 급변층으로 인하여 심토에 배수 불량층이 생성되었다. 매몰된 토양을 완전히 제거하여 우량 객토원으로 객토하고 토양검정에 의한 작물별 시비처방이 필요한 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

- ASI. 1973. Guidebook of soil survey(No.1).
- Han, M. S., Y. E. Na., J. H. Kim, Y. J. Oh and S. P. Kim. 2003. Agroecosystem estimation indicator search that live in water. Annual Report of agricultural environment department, NIAST. p371-381
- Honam Agricultural Research Institute. 2001a. Meteorological disaster countermeasure technology for rice.
- Honam Agricultural Research Institute. 2001b. Meteorological disaster countermeasure technology according to crops
- Hyun, B. K., S. J. Jung., K. C. Song., Y. K. Sonn and W. K. Jung. 2007. Relationship between soil water-stable aggregates and physico-chemical soil properties. Korean. J. Soil Sci. Fert. 40(1):57-63.
- Jincheon-Gun. 2005. Guide book for nature disaster standard action.
- Jung, Y. S., Y. K. Kwon., H. S. Lim., S. K. Ha., and J. E. Yang. 1999. R and K factors for an Application of RUSLE on the Slope Soils in Kangwon-Do, Korea. KSSF 32(1) : 31-38
- MAF. 2002. Guideline for agricultural calamity and crisis management.
- National Emergency Management Agency. 2005. Seminar on prevention of disasters policy.
- National Institute of Agricultural Engineering. 2005. Occurrence of agricultural calamity like earthquake and review.
- National Institute Disaster Prevention. 2003. Study on earthquake and calamity information system.
- NIAST. 2000. Analysis of soil and plants. p202.
- RDA. 2000. An agrometeorological disaster countermeasure technology.
- RDA. 2002. Review on Climatic and agroecosystem change.
- RDA. 2004. Report of no. 15. Typhoon "Megi" confrontation.
- Wo, B. M., and H. H. Lee. 1978. Study of effect that forest fire in mountain district that is barren gets to forest vegetation and soil(IV). Journal of the Korean Forestry Society. 78(3):302-313.
- Yeongnam Agricultural Research Institute. 2003. Agricultural environment of Yeongnam and countermeasure of agrometeorological disaster of crops.
- Zaruba, Q., and V. Mencl. 1969. Landslides and their control. 205p. illus. New York. Am. Elsevier'Pub. Co., Inc.
- 坪井八十二, 1977. 農業氣象 Handbook. 襄賢堂. p806-808.