

집중호우에 의한 경사지논의 논둑붕괴

- 충북 청원군 옥산면 동림리의 사례 -

Bund Collapse in Sloping Paddy Area by a Heavy Rainfall

- Case Study for Dongrim-ri in Chungbuk Province -

김 진 수*
Kim, Jin Soo

Summary

The situation and cause of bund collapse in steep sloping paddy area by a heavy rainfall of Chungbuk Province were investigated by field surveys. Shapes of paddy plots are irregular and average size of them is 12.6a. Surface, groundwater and plot-to-plot irrigations are being carried out in the study plots.

The type of bund collapse can be divided as follows: overflow type and inundation type. The overflow type generally occurs at the bund with slope lacking the design standard. The inundation type damages paddy plots more seriously than the overflow type. It induces continuous bund collapse from a inflow-plot to a outflow-plot and includes lots of III type (inside paddy) collapse, which results in much subsoil erosion. The installation of mountain stream weir and maintenance of mountain stream are proposed to prevent the inundation type collapse.

I. 서 론

평지가 적고 경사지와 배후의 산지로 구성된 중산간지(中山間地)에는 협소하고 경지정

리가 안된 부정형의 경사지논이 등고선을 따라 형성되어 있다. 중산간지에 존재하는 경사지논은 지하수함양, 토양침식방지 및 밭으로부터 유출되는 질소농도를 경감시키는 수질정

* 충북대학교 농과대학

키워드 : 중산간지, 경사지논, 율류관개, 논둑붕괴, 율류형 붕괴, 범람형 붕괴, 사면보호책

화기능 등을 갖고 있어 그 하류역에 대하여 많은 환경보전기능을 제공하여 왔다. 그러나 이런 경사지논은 중산간지의 인구의 과소화(過疎化)와 경지정리의 늦어짐 등에 의하여 그 유지관리가 조방화(粗放化)되면서 태풍 및 호우와 같은 자연재해에 취약한 환경에 놓이게 되었다. 경사지논이 집중호우로 일단 논둑(bund)붕괴가 생기면 경작포기로 이어질 가능성이 높아 식량생산의 장으로서의 기능은 물론, 중요한 환경보전 기능을 상실할 위험성이 크게 증대하고 있다. 따라서 중산간지의 경지정리는 농업 및 농촌의 활성화에 기여할 뿐만 아니라, 농지의 방재를 통하여 국토보전에도 크게 공헌할 수 있다. 경사지논의 경지정리의 방안에 대해서는 우리 나라^{1,2)}에서도 제시되었으나 그 기초적인 연구로서 필요로 되는 경사지논의 논둑붕괴에 관한 연구는 일본에서만 몇편^{3,4,5)} 발견되는 실정이다. 이와 같은 배경 속에서, 본 연구에서는 1995년 8월의 중부지역의 집중호우로 발생된 중산간지 경사지논 지대의 논둑붕괴의 실태 및 발생원인을 주로 현지조사를 통하여 명확히 규명하고, 논둑사면붕괴에 대한 방지대책을 제시하고자 한다.

II. 조사지구 및 재해의 개요

조사지구로서는 충북 청원군 옥산면 동림리의 상동림지역을 선정하였다. 이 곳은 면소재지로 부터 7km 떨어진 중산간지로서 삼면이 산으로 둘러싸인 곡간지(谷間地)가 형성되어 있고, 여기서 시작되는 소하천은 금강의 제2지천인 병천천으로 유입되고 있다(Fig. 1). 이 곳의 인구는 15가구의 70여명이며 수도작, 담배 및 축산 등의 농업을 주산업으로 하고 있다.

1995년 8월 23일부터 26일까지 4일간 청주지방에 내린 집중호우는 420.5mm이었고,

특히 25일 하루 동안의 강우량은 293mm를 기록하였다(Fig. 2).

이 강우로 인하여 Fig. 3과 같은 조사 대상의 24개의 경사지논 중에서 13개소에서 논둑 및 논내부 붕괴가 발생하였다. 이 논들의 평균 경사도는 2° 1' 55"로서 기울기 1/50(약 1° 9')이상의 비교적 급경사이다.

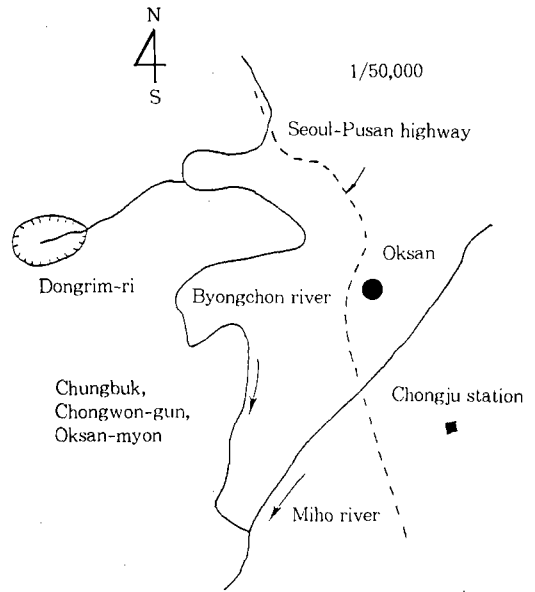


Fig. 1. Location map of Dongrim-ri in Chungbuk Province

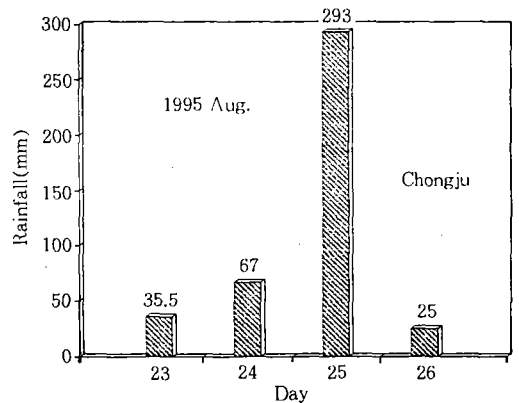


Fig. 2. Rainfall in Chongju region

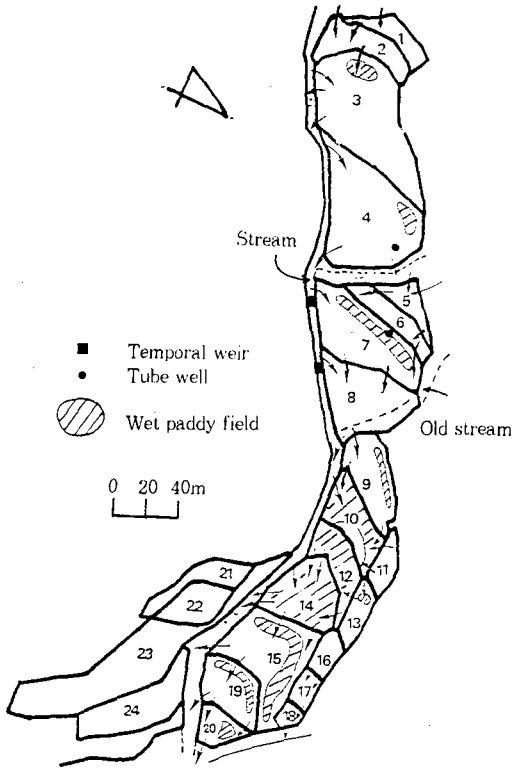


Fig. 3. Plot-to-plot irrigation in study plots

III. 조사항목 및 방법

조사항목은 크게 농지 및 관개의 실태와 논둑붕괴의 실태로 나눌 수 있다. 농지 및 관개의 실태의 세부항목으로는 ① 농지실태, ② 관개실태, ③ 논둑의 실태, ④ 논둑체초작업의 실태, ⑤ 토양의 물리적 특성 등이 있다. 농지, 관개 및 논둑의 실태조사는 현지조사를 통하여 이루어졌는데, 특히 현재의 농지형상은 면사무소에 소장된 1/1,200의 지적도의 농지형상과는 큰 차이가 있어 농지측량을 실시하여 파악하였다. 논둑 체초작업의 실태는 지역주민에의 앙케이트 조사에 의해 파악되었고, 토양의 물리적 특성에 관한 조사는 현지에서 채취한 시료에 대한 실험실에서의 투수계수의 측정 등으로 이루어졌다.

논둑붕괴의 실태의 세부항목으로는 ① 형상

별 붕괴유형, ② 원인별 붕괴유형, ③ 논둑붕괴의 실태 및 원인, ④ 붕괴된 논둑의 사면형상 등이 있다. 여기서의 각 세부항목에 대한 파악은 현지조사에 의해 이루어졌다.

IV. 조사결과 및 고찰

1. 농지 및 관개실태

가. 농지실태

Fig. 3에서 보는 바와 같이 구획(경구)은 경지정리가 안된 부정형이다. 또한 구획크기는 농지의 분합(分舍)에 의하여 과거에 비하여 커졌지만 Table-1에서 보는 바와 같이 15a이하의 소규모 구획이 71%를 차지하고 구획의 평균값은 12.6a이다.

경사지에 있어서 상부논의 지하수면이 하부논의 논바닥보다 높은 경우, 지하수면이 논둑사면에 나타나고, 이 때 하부논은 비관개기에도 논바닥에 물이 고이는 습답(濕畓)을 이룬다. 이런 습답은 흔히 논둑사면의 끝부분(즉, 하부논의 앞부분)에만 부분적으로 나타나나, 구획 10, 12, 14와 같이 구획의 대부분이 습답을 이루고 있는 경우도 있다(Fig. 3 참조).

나. 관개실태

이 곳 경사지의 관개방법으로는 원시적인 형태의 보를 사용하는 하천관개(자연유하식)

Table-1. Distribution of plot sizes

plot size(a)	number	percent(%)
0- 5	6	25.0
5-10	7	29.2
10-15	4	16.7
15-20	2	8.3
20-25	2	8.3
25-30	0	0.0
30-35	3	12.0
sum	24	100.0

와 관정을 이용한 지하수관개가 함께 이루어지고 있다. 경사지논의 상부에서는 소하천의 횡방향으로 돌이나 흙을 쌓아 만든 임시보를 이용하여 하천취수를 하고 있고, 구획 4와 7에는 관정이 설치되어 지하수를 보조용수원으로 이용하고 있다. 상부의 논으로 부터 취수된 용수는 물꼬를 통하여 하부의 논으로 보내지는 율류관개가 이루어지고 있다. 경사지논에서의 취수, 율류관개 및 낙수 등에 의한 물의 이동은 Fig. 3에서 표시된 화살표와 같이 이루어지고 있다.

다. 논둑의 실태

이 곳의 논둑사면의 형상을 보면 Fig. 4와 같이 ① 논토양으로 된 균일사면형, ② 나무말뚝이 박힌 균일사면형, ③ 하단돌쌓기로 되어 있는 사면형 등이 발견된다. 상부논의 지하수면이 논둑사면에 나타나는 구획 14와 15의 논둑(이하 하부논둑을 말함)에서는 말뚝을 박아 논둑사면토가 밀려나는 것을 방지하고 있다.

논둑의 주요 기능⁶⁾으로는 생산기반형성 기능과 공간제공 기능 등을 들 수 있는데, 생산기반형성 기능의 내용으로는 구획형성과 담수유지가 있고 공간제공기능으로는 방제, 시비, 운반, 통행이 있다. 근대화의 과정에서 논둑은 포장내의 생산효율을 올리는 생산기반형성 기능에 대해서 대단히 강조되어 온 반면, 운반, 통행, 휴식과 같은 공간제공 기능은 매우 경

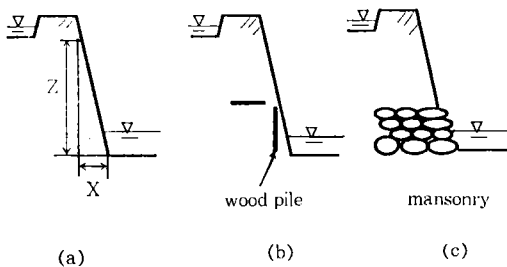


Fig. 4. Shapes of bund slope

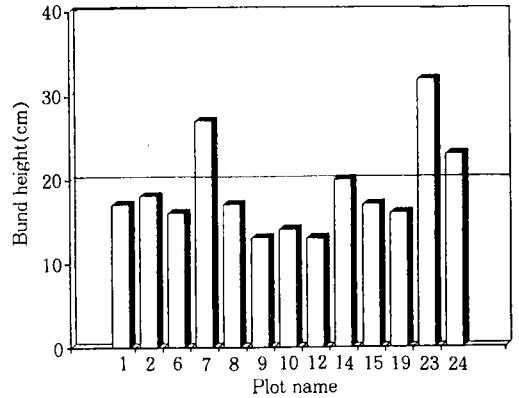


Fig. 5. Height of bunds

시되고 있는데, 이런 경향은 경사지논에 있어서 논둑 인정성의 저하를 초래한다.

이 곳에 있는 논둑의 상폭(上幅)은 대부분이 20-30cm로서 통행하기에도 불편할 정도로 공간제공기능은 매우 낙후되어 있다. 또한, 각 구획의 논둑의 높이를 보면 Fig. 5와 같이 13-32cm를 나타내고 그 대부분이 20cm미만이다.

라. 논둑제초작업의 실태

이 곳의 논둑사면은 벼농사에 대한 노동력의 부족으로 잡초가 무성한데, 제초작업은 주로 제초제와 제초기에 의존하고 있다. 사용되는 제초제는 발아후제초제(경엽제초제라고도 함)인 paraquat(상품명, 그라목손)로서 모심기 전인 5월 초순경에 년 1회 정도 살포되고 있다. 그리고 여름에 2회 정도 동력제초기에 의한 제초작업이 실시되고 있다.

마. 토양의 물리적 특성

논토양의 작토층의 깊이는 20cm 정도이며, 하층토는 자갈이 많이 섞인 사력질토로 되어 있다. 일반적으로 논둑은 논토양을 이용하여 쌓고 있는데, 붕괴가 일어난 논둑사면의 5곳의 토양을 채취하여 실내에서 포화투수 측정기에 의해 포화투수계수의 값을 측정하였다. 이 값은 Table-2에서와 같이 1.7×10^{-4} - $1.3 \times$

Table-2. Saturated hydraulic conductivity of bund soils

No. of bund	Saturated hydraulic conductivity (cm/s)
1	1.7×10^{-4}
2	1.2×10^{-4}
7	1.1×10^{-4}
8	1.3×10^{-5}
10	1.5×10^{-5}

10^{-5} cm/s의 범위를 나타내는데, 이것은 중정도의 투수성이 있는 미사질양토(silty-loam)의 논토양에 속한다.

2. 논둑붕괴의 실태

가. 형상별 붕괴유형

논둑붕괴의 형상은 Fig. 6와 같이 크게 3가지의 형태로 나눌 수 있다; ① 논둑 부분붕괴(I형 붕괴), ② 논둑 완전붕괴(II형 붕괴), ③ 논내부 붕괴(III형 붕괴). I형에서 III형으로 갈수록 논둑붕괴의 정도는 크고, III형 붕괴는 하층토의 유실을 동반하여 많은 토사를 유출시킨다.

나. 원인별 붕괴유형

경사지논에서 상부논의 지하수면이 논둑사면에 나타나는 곳은 토양층의 수압의 상승과

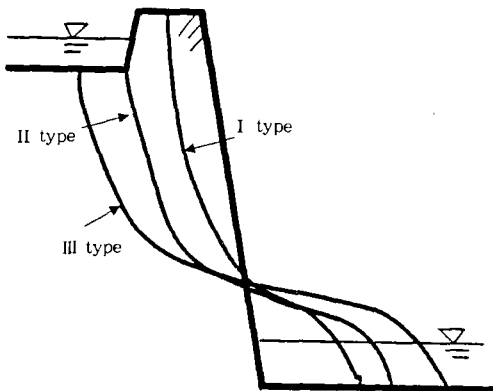


Fig. 6. Types of bund collapse

점착력의 저하로 사면의 안정성은 크게 떨어진다. 호우시 상부논에 고인 다량의 물이 이런 논둑사면을 월류할 때 논둑붕괴와 같은 침식을 일으키기 쉽다. 또한 중산간지의 소하천은 유지관리의 소홀로 인한 잡목의 번무 또는 농지의 하천잡식, 등으로 홍수시 하천 통수량이 크게 저하되어 있다. 특히 흩이나 돌로 쌓은 임시보가 있는 취수구 근처는 하상이 높아 평상시에는 취수하기 좋은 조건이 되나 호우시는 도리어 범람하기 쉬운 조건이 된다.

호우시의 논둑붕괴는 논둑사면을 월류하는 월류수에 의해 발생하는 것(이하 월류형 붕괴라고 함)과 이런 월류수에 범람한 하천수가 유입되어 발생하는 것(이하 범람형 붕괴라고 함)으로 나눌 수 있다. 즉 월류형은 구획 내부만의 물에 의하여 발생하는데 반하여, 범람형은 구획내부의 물에 외부(하천)의 물이 겹쳐서 발생한다.

다. 논둑붕괴의 실태 및 원인

Photo 1은 1995년 8월의 집중호우로 인한 논둑붕괴의 양상을 나타낸다. Fig. 7은 이러한 논둑붕괴가 발생한 지점 및 형태를 나타내는데, 여기서 세모는 논둑 부분붕괴(I형 붕괴), 원은 논둑 완전붕괴(II형 붕괴), 검은 네모는 논내부붕괴(III형 붕괴)를 나타낸다.

월류형 붕괴는 구획 1, 2, 6, 7, 23, 24 등

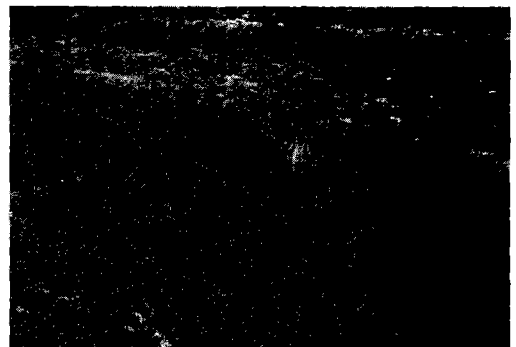


Photo 1. Situation of bund collapse

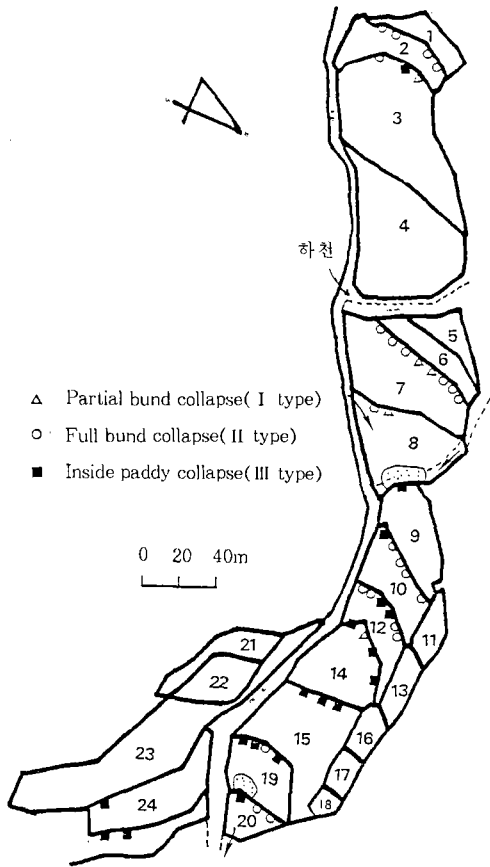


Fig. 7. Situation of bund collapse in study plots

의 논둑에서와 같이 국지적으로 발생한 반면, 범람형 붕괴는 범람수가 유입한 구획 8로부터 유출한 구획 20(하부논둑의 높이가 거의 없음)까지의 논둑, 즉 구획 8, 9, 10, 12, 14, 15, 19에서 연속적으로 발생하였다. 구획 8과 구획 19의 점으로 표시된 부분은 심각한 III형 붕괴가 발생한 부분을 나타낸다. Photo 2는 구획 8에서 발생한 논바닥에서 1.05m 깊이의 하층토까지 유실되는 III형 붕괴의 모습이다. 이와 같은 III형 붕괴는 3가지의 흐름, 즉 ① 상부논으로 부터의 월류수, ② 왼편 소하천의 범람에 의한 하천수, ③ 오른편 산지로부터의 지표수 등이 한 곳으로 집중하면서 발생하였



Photo 2. III type (inside paddy) collapse

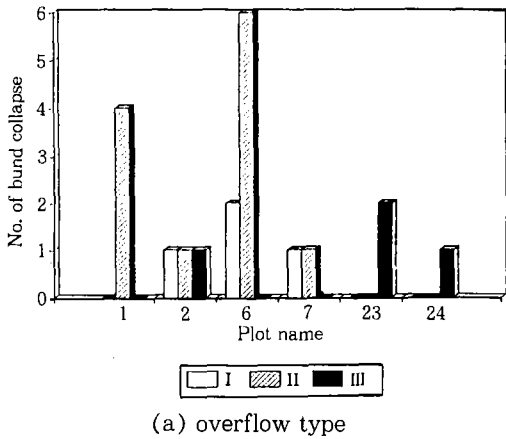
다. 특히 한 개인이 무단적으로 행한 오른 편에 있던 소하천의 농지로의 무단 변경은 산지로부터의 다량의 지표수를 농지로 유입시켰고, 소하천을 사이에 두고 단절되어 있던 구획 8과 9를 이어지게 하므로써 그 하부 논둑의 연속적인 붕괴라는 재해를 가져왔다.

Fig. 8 (a)와 (b)는 각각 월류형 붕괴와 범람형 붕괴가 일어난 구획에서의 논둑의 붕괴형상과 붕괴지점의 갯수를 나타낸다. 월류형에 비교하여 범람형은 논둑마다 붕괴지점의 갯수가 많고 여러 곳에서 III형 붕괴를 포함하고 있다. Fig. 9는 III형 붕괴에 있어서 논둑으로부터 붕괴가 일어난 논내부 지점까지의 거리(논내부의 붕괴길이)를 나타내는데, 일반적으로 범람형은 월류형보다 논내부의 붕괴길이가 길었으며, 특히 범람수가 유입된 구획 8 및 구획 19에서는 각각 논둑에서 내부로 590 및 630cm 지점까지 논의 하층토가 완전히 유실되었다 (Photo 2 참조).

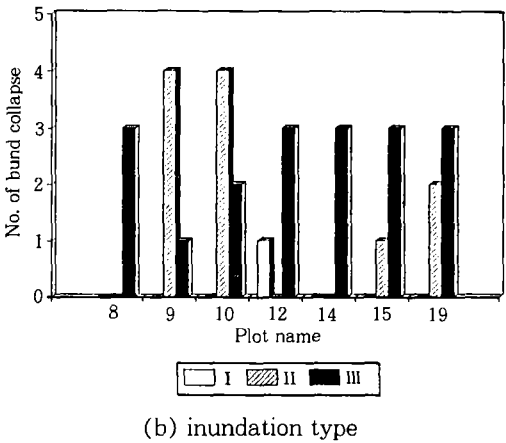
이와 같이 월류형 붕괴는 붕괴가 일어나기 쉬운 사면 형상을 가진 논둑마다 단독적으로 발생한 데에 대하여, 범람형 붕괴는 범람수가 통과하는 논둑에서 연속적으로 발생하였고, 그 피해는 월류형보다 훨씬 컸다.

라. 붕괴된 논둑의 사면형상

Fig. 10은 구획 3의 논둑사면을 제외하면



(a) overflow type



(b) inundation type

Fig. 8. Types and numbers of bund collapse

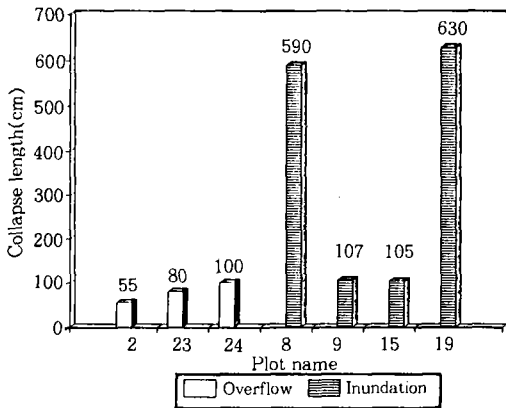


Fig. 9. lengths of III type collapse

논둑붕괴가 발생한 논둑사면의 밑변(x)과 답면차(畚面差)(z)를 나타낸다(Fig. 4(a) 참조). 그림 중의 흰 사각은 월류형 붕괴가 발생한 논둑을, 검은 사각은 범람형 붕괴가 발생한 논둑을 나타내고 경사선은 일본의 토지 개량사업 표준설계기준⁸⁾에 의한 논둑사면의 경사를 나타낸다. 월류형 붕괴가 발생한 논둑의 답면차는 86-234cm이고, 범람형 붕괴가 발생한 논둑의 답면차는 82-147cm이다. 일반적으로 논둑의 높이가 커짐에 따라 작은 경사의 사면에서도 붕괴가 일어났으며, 대부분의 월류형 붕괴는 설계기준에 미달되는 논둑사면, 즉 설계기준보다 큰 경사각을 갖는 논둑사면에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 경사지논의 사면형상을 결정할 때는, 논둑사면에 대한 설계기준을 설정하고 이에 따르는 것이 바람직하다고 생각된다.

또한, 높이가 1.5m이하인 논둑사면의 평균 경사를 보면, 월류형의 경우는 1:0.78 (52.2°)이고, 범람형의 경우는 1:0.88(48.5°)이다. 이와 같이 월류형 붕괴는 범람형 붕괴보다 큰 경사를 갖는 논둑사면에서 발생하거나, 2m이상의 답면차를 갖는 논둑사면(구획 2, 24)에서 발생하고 있다.

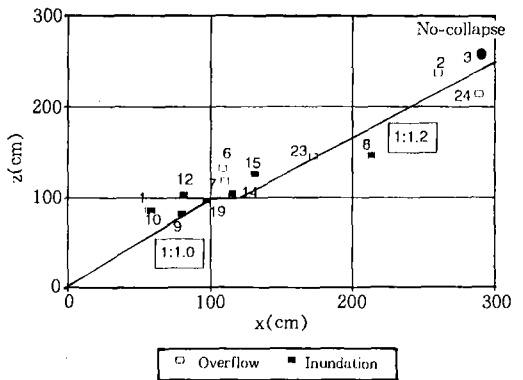


Fig. 10. Base of bund slope(x) and difference of paddy level(z)

VI. 논둑붕괴에 대한 방지대책

논둑사면붕괴에 대한 방지대책으로는 농법적(農法的) 대책과 토목적 대책으로 분류될 수가 있다. 여기서 농법적 대책이란 농가자신의 일상적인 농지관리에 의하여 이루어지는 대책을 말한다. 월류형 붕괴의 주요한 요인으로서 월류수, 침투수 및 논둑토의 강도부족을 들 수가 있는데, 집중호우는 이러한 3요인이 복합적으로 작용하여 다발한다. 범람형 붕괴는 위의 요인 외에 소하천의 범람수가 주요한 요인으로 되어 있다. 각 요인에 대한 붕괴방지대책은 Table-3과 같이 요약할 수가 있다.

이 곳에서 행해지고 있는 농법적 대책으로는 논둑바르기와 낙수구의 확대 등이 있고, 토목적 대책으로는 일부 논에서 발견되는 하단돌쌓기 등이 있다. 구획 3의 논둑(Fig. 10의 참조)과 같이 상폭이 50cm를 넘는 경우에는 논둑사면의 높이가 2.5m임에도 불구하고 논둑붕괴가 발생하지 않았다. 이것은 큰 논둑

상폭이 논둑의 안정에 크게 기여하고 있음을 시사한다.

금후의 경사지논의 경지정리에서는 경지의 구획확대에 따른 논둑사면의 높이의 증대를 고려할 때, 논둑 안정성의 향상과 제초작업과 같은 논둑유지관리의 노동을 경감시키는 논둑사면의 형상⁷⁾에 대한 검토가 필요로 된다.

중산간지 소하천은 유량이 급격히 증감하고 지엽(枝葉) 등의 부유유하물 및 다량의 토사나 자갈 등이 유하하여 하상변동이 심한 특징을 가지고 있다. 소하천의 범람은 다량의 유량을 경사지논으로 유입시켜 논둑의 연속적인 붕괴와 다수의 논내부 붕괴를 포함하는 범람형 붕괴를 가져온다. 이런 범람은 흔히 흩이나 돌을 쌓아서 만든 임시보가 있는 곳에서 발생하므로, 이를 방지하기 위해서는 소하천의 지형에 적합한 계곡류취수공⁹⁾의 개발 및 이의 설치가 필요로 된다. 또한 소하천의 정비와 철저한 유지관리를 통하여 범람을 방지하는 것도 중요하리라 생각된다.

Table-3. Prevention methods against bund collapse

붕괴유형	발생요인	농법적 대책	토목적 대책
월류형 붕괴	월류수	<ul style="list-style-type: none"> ○ 낙수구의 확대 ○ 비닐시트 ○ 식생에 의한 피복 ○ 제초작업 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논둑의 상폭확대 ○ 콘크리트에 의한 사면끝의 보호공 ○ 돌쌓기 ○ 승수로의 설치 ○ 소단(小段)의 설치
	침투수	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논둑바르기 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지수판(止水板) ○ 사면경사의 완화 ○ 압거
	강도부족	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식생에 의한 피복 ○ 제초작업 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논둑상폭의 확대 ○ 전압(鞭壓) ○ 돌쌓기 ○ 소단의 설치
범람형 붕괴	범람수	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농지의 하천잠식 근절 ○ 낙수구의 확대 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계곡류취수공의 설치 ○ 중산간지 소하천의 정비

VII. 요약 및 결론

본 연구에서는 중산간지에 해당하는 충북 청원군 옥산면의 경사지논지대를 대상으로 이곳에서의 관개방법과 집중호우에 의한 논둑붕괴의 원인 및 실태 등을 파악하고 논둑붕괴에 대한 방지대책을 제시하였다.

이 곳에서의 관개방법은 원시적인 형태의 보를 이용한 하천관개와 관정을 이용한 지하수관개가 병용되고 있으며, 부정형이며 협소한 구획들 사이에는 월류관개가 이루어지고 있다.

집중호우시의 논둑붕괴의 원인별 유형을 보면 월류형 붕괴와 범람형 붕괴가 있다. 월류형은 붕괴가 발생하기 쉬운 물리적 조건을 가진 논둑에서 단독적으로 발생하는데, 일반적으로 토지개량사업 표준설계기준에 미달되는

논둑사면에서 발생한다. 한편, 범람형은 범람수가 유입된 구획에서 유출된 구획까지 연속적으로 발생하고, 많은 하층토가 유실되는 논 내부 붕괴(Ⅲ형 붕괴)를 동반한다.

중산간지 월류관개 지역에서는 상하부의 구획들이 용수나 배수에 있어서 독립하지 못하고 상호 관련되어 있어, 중산간지 소하천의 범람은 넓은 면적의 농지에 피해를 가져오는 범람형 붕괴를 초래한다. 따라서 범람형 붕괴에 대한 방지대책이 절실히 요구되며, 이를 위해서는 소하천의 지형 및 흐름 특성에 적합한 계곡류취수공의 설치와 함께 부락 공동체적인 물관리 및 하천 유지관리가 필요로 된다.

참 고 문 헌

1. 성찬용, 황은, 한옥동, 機械化를 前提로한 山間傾斜地畝 耕地整理 方案에 관한 研究, 한국농공학회지, 23(2), pp. 61-69, 1981
2. 황은, 機械化를 前提로한 山間傾斜地畝 耕地整理 方案에 관한 研究(Ⅱ), 한국농공학회지, 24(4), pp. 57-68, 1982.
3. 丸山利補, 長堀金造, 竹中筆, ケイハン崩壞の實態と原因, 農業土木學會論文集, 46, pp. 14-21, 1973.
4. 千野敦義, 木村和弘, 伊藤正樹, 山間急傾斜地水田の荒廢化と颱風による農地災害, 農業土木學會誌, 94(4), pp. 295-300, 1994.
5. 三原眞知人, 安富六郎, 饗庭直樹, 水田における土壤構造の變化を考慮した斜面保護對策, 農業土木學會誌, 94(4), pp. 27-319, 1994.
6. 有田博之, 木村和弘, 畦畔の除草作業からみた圃場形態, 除草作業に適した圃場整備技術の開発(I), 農業土木學會論文集, 163, pp. 87-94, 1993.
7. 木村和弘, 有田博之, 内川義行, 急傾斜地水田の畦畔法面の形態と除草作業の實態, 除草作業に適した圃場整備技術の開発(Ⅱ), 農業土木學會 論文集, 170, pp. 27-319, 1994.
8. 土地改良事業標準設計基準, 第 11編 圃場整備, 農林省構造改善局, pp. 53-54, 1991.
9. 농업생산기반정비사업계획설계기준 개정연구, 댐편, 취입보편, 관개편, 농림수산부, 농어촌진흥공사, pp. 91-96, 1995

〈접수일자 : 1996년 5월 7일〉