

洪水被害의 豫測과 洪水調節事業의 効果에 對한 調査例

金 斗 植* · 金 周 昶**

1. 序 言

洪水調節事業이나 洪水被害防止를 위한 排水改善 또는 河川改修事業의 效果 分析을 위해서는 該當事業에서 얻어지는 收益을 精確히 豫測하는 것이 必要하다. 그러나 이들 事業은 直接 收益을 發生시키지 않고 被害의 防止라는 形態로 收益을 나타낸다. 그러므로 이 被害의 豫測은 洪水被害防止事業의 妥當性을 決定하는 基本的 要因이 되고 있다.

여기에서 記述하는 調査例는 農業振興公社가 스위스의 Motor Columbus社와 合作으로 인도네시아에서 施行한 Teluk Lada 地域 II 段階 農業開發事業 妥當性 調査의 洪水調節部分을 一部 要約한 것이다.

作付體系나 氣象條件 등이 우리나라와 다르지만 洪水被害를 豫測하는 方法을 實際 事例로서 소개함으로써 類似한 洪水被害防止事業에 適用할 수 있게 하고 아울러 인도네시아 現況을 알려 農業土木技術者의 海外 技術 進出에 도움이 되고자 한다.

그리고 여기에서 使用될 主要用語에 대해 說明하면 다음과 같다.

殘餘被害量(Residual damage) : 洪水被害防止事業을 施行한 區域內에서 同事業으로 保護를 받지 않는 地域에서 또는 設計洪水량을 超過하는 洪水에 依하여 發生하는 被害量.

被害防止量(Avoided damage) : 全體被害量에서 殘餘被害량을 뺀 것.

施行前被害量(Damage at present condition) : 農業開發事業을 施行하지 않았을 때 생기는 被害量.

施行後被害量(Possible future damage) : 開發事業을 施行하고 洪水被害防止事業은 하지 않았을 경우의 豫想被害量.

그리고 여기에 使用된 화폐단위는 인도네시아의 Rp이며 환율은 \$ 1 = Rp 625이다.

2. 洪水被害 豫測方法

年間 洪水被害豫想量은 年間發生이 期待되는 모든 洪水被害에 對하여 그 被害量과 發生確率을 곱하고 이들을 合計한 것이다. 이것을 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$D_e = \int_{t=0}^i (D_i \times P_i) dP$$

여기에서

D_e = 年間 豫想 洪水被害量

$D_i = P_i$ 의 確率을 갖는 個別 洪水被害量

이 式을 풀기 위하여 과거의 洪水와 洪水被害記錄을 蒐集한다. 여기서 降雨量과 浸水面積間의 關係를 求하고 洪水被害량을 浸水面積의 函數로 나타내면 降雨量의 發生頻度를 알 수 있으므로 年間 豫想 洪水被害량을 計算할 수 있게 된다.

浸水時期에 따라 作物의 洪水被害가 크게 달라지므로 月別로 分析을 施行하였으며 農業開發事業이 完成된 後에는 作付體系와 土地利用率이 向上되어 單位面積當 浸水被害량이 커지므로 被害量은 事業 施行前後에 對해 모두 計算되어야 한다.

被害는 農作物被害와 家屋等 其他 被害로 나눌 수 있으며 破損된 財貨의 經濟的 價値나 損失된 勞動費用을 근거로 計算되어야 한다.

3. 農作物 被害

가. 被害의 區分

農作物 被害는 部分被害와 全被害로 나누어진다.

1) 部分被害(80% 以內의 損失)

가) 20% 以內의 收量 損失 : 損失된 粗生産物 價額(粗生産額)이며 生産費의 減少는 고려하지 않는다.

*農業振興公社 事業 2部

**農業振興公社 海外部

나) 20~80%의 收量 損失: 損失된 粗生産額에서 未執行 生産費를 減한다. 洪水發生後 生産費가 減少하지만 收量 減少량과 같은 比率로 減少되지는 않는다. 殘餘期間의 生産費는 收量 減少率의 50% 만큼 減少된다고 가정한다. 가령 60%의 收量 減少가 있다면 殘餘期間 生産費는 30%만큼 減少된다.

2) 全面被害(80% 以上の 損失)

가) 再移秧이 不可能한 경우: 損失收量에서 未執行 生産費를 減 값 즉 純生産額(粗生産額-生産費)에 既執行 生産費를 더한 값이다.

나) 再移秧이 可能한 경우: 被害 發生時까지 投資된 費用이다.

나. 農産物 價額과 洪水被害 計算

1) 農産物 價額 計算

生産費, 粗生産額, 純生産額 등을 開發事業의 施行前과 後에 對하여 計算하고 다음과 같이 整理한다.

2) 作物被害額 計算

여기서 計算되는 被害는 水深이 1.0m 以上이고

表-1. 事業施行前 作物 價額(單位: Rp/ha)

作物	收量 (kg/ha)	單價 (Rp/kg)	粗生産額	生産費	純生産額
재래종벼	1,700	133	226,100	67,330	158,770
新品種벼	2,500	133	332,500	86,130	246,370
콩	700	246	172,200	65,230	106,970
옥수수	1,100	82	90,200	41,990	48,260
땅콩	600	266	159,600	50,080	109,520
고구마	7,000	27	189,000	60,940	128,060
카사바	8,500	18	153,000	51,500	101,500

※ 부표 1에서 재래종벼의 計算例 提示

表-2. 事業施行後 作物 價額(單位: Rp/ha)

作物	收量 (kg/ha)	單價 (Rp/kg)	粗生産額	生産費	純生産額
재래종벼 (II級地)	2,900	133	385,700	111,460	274,240
新品種벼 (II級地)	3,700	133	492,100	139,920	352,180
新品種 IR 36 (I級地)	4,300	133	571,900	169,970	401,930
新品種 IR 38 (I級地)	4,500	133	598,500	169,970	428,530
콩	1,300	246	319,800	109,160	210,640

表-3. 單位面積當 浸水被害(施行前 長期間 깊은 浸水)

(單位: Rp)

月別	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
평균강우량(mm)	241	366	489	527	414	407	329
洪水頻度	극히낮음	낮음	중간	높음	높음	중간	낮음
(재래종벼)							
ha當 被害 ¹⁾	—	—	20,000 ³⁾	38,000 ³⁾	204,000	207,000	207,000
ha當 被害 ²⁾	—	—	10,000	29,000	121,000	205,000	207,000
면적加重(85%)	—	—	8,500	24,650	102,850	174,250	175,950
(新品種벼)							
ha當 被害 ¹⁾	23,000 ³⁾	48,000 ³⁾	307,000	314,000	157,000	23,000 ³⁾	48,000 ³⁾
ha當 被害 ²⁾	12,000	36,000	178,000	311,000	234,000	12,000	36,000
면적加重(8%)	960	2,880	14,240	24,880	18,720	960	2,880
(밭作物)							
ha當 被害 ¹⁾	24,000 ³⁾	33,000 ³⁾	93,000	93,000	0	24,000 ³⁾	33,000 ³⁾
ha當 被害 ²⁾	12,000	29,000	63,000	93,000	47,000	12,000	29,000
面積加重(3%)	360	870	1,890	2,790	1,410	360	870
(카사바)							
ha當 被害 ¹⁾	—	26,000 ³⁾	36,000 ³⁾	117,000	117,000	117,000	117,000
ha當 被害 ²⁾	—	13,000	31,000	77,000	117,000	117,000	117,000
面積加重(4%)	—	520	1,240	3,080	4,680	4,680	4,680
平均被害	1,320	4,270	25,870	55,400	127,660	180,250	184,380

※ 1) 浸水가 月末에 생길때의 被害

3) 再植裁가 可能

2) 月平均, (前月值와 今月值의 平均)

洪水被害의 豫測과 洪水調節事業의 効果에 對한 調査例

浸水期間이 10日以上인 浸水에 依한 것으로 浸水된 面積에서는 100% 피해를 입는 경우이다. 被害 等級은 10, 20, 40, 60, 80, 100%의 收量 損失로 나누고 別에 對해서만 細部 分析을 하였다. (부표-1참조)

콩은 乾期에 논에서 栽培되므로 被害計算에서 除外하고 옥수수, 땅콩, 고구마 등 밭작물의 生産費는 別途의 分析結果에 따라 50%가 첫째달에 들어가고 20%는 둘째달에 들어가는 것으로 하였다. 施行前에 밭作物栽培面積은 옥수수가 56%, 땅콩이 23%, 고구마가 21%이므로 平均 純生産額은 Rp79, 108(=48,260×0.56+109,520×0.23+128,060×0.21)이 된다. 被害額은 첫째 달에 生産費의 50%, 둘째달에 70%로 하고 그 後는 平均 純生産額에 生産費의 30%를 加算한 값으로 하였다.

浸水가 植付 또는 파종후 처음 2個月以內에 일어난다면 再移秧 또는 再播種할 수 있다고 보아 그때가

지의 投入額만 損失로 하였다.

2個月이 지나면 0~20%, 20~80%, 80~100% 등의 損失率에 따라서 計算한다. 作物別 浸水面積의 比率는 測定해야하지만 施行前의 경우는 1980年 1月의 浸水面積分布(재래종 85%, 新品種 8%, 밭作物 3%, 카사바 4%)를 그대로 적용하였다.

施行後는 土地를 I級地와 II級地로 나누고 浸水面積의 70%는 I級地, 30%는 II級地로 하였다. 浸水面積에 따라 이 分布는 달라지겠지만 편의상 이 값을 固定하였다. 그리고 장래의 作付體系에 의하면 I級地의 80%는 IR36과 콩의 三毛作, 20%는 IR38 二毛作이고, II級地의 80%는 IR36, IR38 混合栽培이고 20% 재래종이었으므로 이에 따랐다.

一級地 三毛作地域(IR36)은 移秧後 첫째 달만 再移秧이 可能한 것으로 보고 一級地 二毛作地域(IR

表-4. 單位面積當 浸水被害(施行後, 長期間 깊은 浸水)

(單位: Rp)

月 別	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
浸水 程度	극히 낮음	낮 음	중 간	높 음	높 음	중 간	낮 음
(一級地 IR36)							
ha當 被害 ¹⁾	78,000 ⁵⁾	561,000	576,000	285,000	42,000	447,000	554,000
ha當 被害 ²⁾	52,000	320,000	569,000	431,000	163,000	245,000	501,000
作付比率(80%) ³⁾	42,000	256,000	455,000	345,000	130,000	196,000	400,000
面積加重(30%) ⁴⁾	13,000	77,000	137,000	103,000	39,000	59,000	120,000
(一級地 IR38)							
ha當 被害 ¹⁾	53,000 ⁵⁾	100,000 ⁵⁾	535,000	550,000	0	42,000	118,000
ha當 被害 ²⁾	27,000	76,500	318,000	542,000	271,000	21,000	80,000
作付比率(20%) ³⁾	6,000	15,000	64,000	109,000	54,000	4,000	16,000
面積加重(30%) ⁴⁾	2,000	5,000	19,000	33,000	16,000	1,000	5,000
(二級地 IR36.38)							
ha當 被害 ¹⁾	58,000 ⁵⁾	88,000 ⁵⁾	350,000	462,000	0	0	0
ha當 被害 ²⁾	38,000	73,000	216,000	406,000	231,000	—	—
作付比率(80%) ³⁾	30,000	58,000	173,000	325,000	185,000	—	—
面積加重(70%) ⁴⁾	21,000	41,000	121,000	228,000	130,000	—	—
(二級地 재래종)							
ha當 被害 ¹⁾	45,000 ⁵⁾	66,000 ⁵⁾	330,000	351,000	361,000	368,000	0
ha當 被害 ²⁾	31,000	56,000	198,000	341,000	356,000	365,000	184,000
作付比率(20%) ³⁾	6,000	11,000	40,000	68,000	71,000	73,000	37,000
面積加重(70%) ⁴⁾	4,000	8,000	28,000	48,000	50,000	51,000	26,000
平均被害	40,000	131,000	305,000	412,000	235,000	111,000	151,000

※ 1) 浸水가 月末에 생길때의 被害

2) 月平均, (前月值과 今月值의 平均)

3) 級地別로 作付面積比에 依한 加重值

4) 級地面積比에 依한 加重值

5) 再植栽可能

38)은 2個月까지, 二級地는 一期 稻作뿐이므로 2.5個月까지 再移秧이 可能한 것으로 하여 被害를 計算하였다. 表-4는 施行後의 浸水被害를 計算한 것이다.

다. 作物에 對한 部分被害

作物이 部分的으로 短期間 浸水될 때는 部分被害가 생긴다. 다음 表는 許容浸水深이다.

冠水가 되어도 기간이 짧으면 完全 被害에 이르지 않는다. 15日冠水면 成長이 정지되고 20日이 넘으면 죽게 된다. 表-6은 冠水期間과 被害率을 나타

表-5. 5日間 浸水될 경우의 許容浸水深(cm)

移秧後 日數	IR 36, 38	재래종
0~5	7	8
6~10	8	10
11~15	9	12
16~20	12	16
21이상(수확以前)	15	20

낸다. 벼의 部分的 浸수에 對한 被害는 冠水時의 被害보다 5% 작다고 본다. 벼는 특히 12月과 1月에 걸리는 수잉기와 출수기에 浸水の 影響을 크게

表-6. 冠水에 따른 被害

區 分	IR 36	IR 38	재래종	冠 水 日 數						비 고
				1~2	3~4	5~7	8~9	10~20	20이상	
분얼기			收量減少率(%)							
日 數	0~37	0~52	0~80	10	20	30	35	60	100	清 水
草 長(cm)	15~95	15~100	20~150							
수잉기										
日 數	38~55	53~70	80~115	25	45	80	90	100	100	清 水
草 長(cm)	95	100	150	70	80	85	100	100	100	濁 水
출수기										
日 數	55~65	71~80	116~125	15	25	30	70	90	100	清 水
草 長(cm)	95	100	150	30	80	90	100	100	100	濁 水
성숙기										
日 數	66~90	81~105	126~155	0	15	20	30	60	100	清 水
草 長(cm)	95	100	150	5	20	30	40	80	100	濁 水

※ 日數는 移秧後 日數

表-7. 部分被害에 對한 修正係數

作付體系	品 種	區 分	11月	12月	1月	2月	3月
現 在 作付體系	新品種(8%)	{ 단 계	수 잉 기	출 수 기	성 숙 기	再 移 秧	再 移 秧
		{ 피해율(%)	80	80	30	—	100
	재래종 (85%)	{ 단 계	—	再 移 秧	再 移 秧	수 잉 기	출 수 기
{ 피해율(%)		—	100	100	80	80	
	係 數		0.8	0.98	0.93	0.8	0.82
장래의 作付體系	一級地 (30%)	{ 단 계	분얼/再移秧	수 잉 기	출수/성숙기	再 移 秧	再移秧/ 분얼기
		{ 피해율(%)	40	80	55	—	60
	二級地 (70%)	{ 단 계	再 移 秧	再 移 秧	분얼/再移秧	수잉/출수기	성 숙 기
		{ 피해율(%)	100	100	40	80	20
	係 數		0.45	0.84	0.52	0.80	0.54

※ 現在の 作付體系에서 밭작물과 카사바는 栽培面積이 작으므로 고려하지 않음

洪水被害의 豫測과 洪水調節事業의 效果에 對한 調査例

받는다. 浸水期間이 대개 5~7日間이므로 다음과 같이 損失率을 定한다.

분얼기 30%, 수잉기와 출수기 80%, 성숙기 30%로 하고 再 移秧時는 既投入額 100%로 한다. 이들 損失率을 현재 및 장래의 作付體系에 適用하여 加重平均하면 表-3과 表-4에 주어진 값에 적용할 修正係數가 얻어진다. (表-7 참조)

4. 其他 被害

가. 家屋被害

全事業地域의 農家調査에 依하여 家屋의 種類別

分布比率를 찾아내고 이것에 따라서 浸水地域의 家屋 種類別 比率를 定한다. 그리고 種類別로 價格을 定하고 파괴時는 50%가 損失된 것으로 간주한다. 被害率은 좋은 집일수록 작게 取한다. 浸水가 短期間이고 水深이 얇은 경우는 平均 被害額의 25%인 Rp19,000에 기타물품손실 Rp6,000을 加算한 Rp25,000로 피해액을 定하였다. 表-9는 家屋被害를 要約한 것이다.

나. 罹災民 구호 費用

人命의 被害는 除外하고 임시대피, 구호등에 따

表-8. 家 屋 被 害

種 類	평균크기 (m ²)	單價(Rp/m ²)	價格(Rp)	被害率(%)	構成比(%)	被害時 ¹⁾	파괴時 ²⁾
永久的	90	40,000	3,600,000	5	3	5,400	54,000
半永久的	90	20,000	1,800,000	8	10	14,400	90,000
木 造	60	16,000	906,000	10	64	61,440	307,200
竹 造	50	8,000	400,000	15	23	13,800	30,000
計					100	95,040 ³⁾	481,200 ⁴⁾

※ 1) 價格×被害率×構成比

2) 價格의 50%×構成比

3) 1家屋當 平均 침수피해액(Rp)

4) 1家屋當 平均 파괴피해액(Rp)

른 費用을 고려하면 다음과 같다.

1) 食糧: 1人 1日當 Rp250, 이 중에서 쌀이 Rp

100, 魚類 Rp80, 채소 및 其他 Rp70

2) 의료비: 1人 1日當 Rp200, 전염병, 기생충,

피부병등이 洪水時 發生하기 쉽다.

3) 衣類費: 洪水 1回 1人當 Rp1,000

4) 其他 필수품: 洪水 1回 1人當Rp 1,500

浸水期間을 10일로 가정하면 1人當 Rp7,000[=(250+200)×10日+1,000+1,500]이 되며 家口當 平均 가족수를 5.6명으로 하면 家口當 平均 被害額이 Rp 39,200(=5.6人×Rp7,000)이 된다.

다. 家畜 被害

家畜의 被害는 浸水面積이 커지고 期間이 길어질수록 많다. 被害額이 크지않기 때문에 洪水의 크기 別로 피해를 區分하지 않았으며 큰 家畜은 別로 被害가 생기지 않는다. (表-9 참조)

浸水地域의 家口中 80~85%가 農家이므로 家口 1戶當 平均 家畜 被害額은 Rp 1,900 (≡Rp 2,310×0.822)이 된다.

라. 施設物 被害

1) 道路

表-9. 農家 1戶當 家畜 被害

家 畜	平均價格 (Rp)	平均價格 被害率 (%)	被害額 ¹⁾ (Rp)
물 소	0.47	90,000	—
젖 소	0.003	100,000	—
말	0.02	120,000	—
염 소	1.06	10,000	5 530
양	0.75	9,000	5 338
닭	9.62	1,000	15 1,442
오 리	0.78	2,000	—
계			2,310

※ 1) 平均家畜數×價格×被害率

幹線 道路(차갈부설)의 密度는 約 3.5m/ha이고 被害率이 10%, 補修費가 1m 길이當 Rp 2,000이라면 平均 被害는 浸水面積 1ha當 Rp 700이 된다. 교통의 차단이나 自然에 依한 損失은 고려하지 않았다.

土砂道인 農道는 10m/ha의 密度를 가지고 있고 被害率은 들지 모르나 補修費는 낮으므로 被害計算에서 고려하지 않았다.

2) 교량

洪水被害 記錄을 보면 1회의 洪水에 對하여 平均 2개의 교량이 피해를 입었다. 교량의 크기는 작아

補修費는 個當 Rp 500,000로 볼 수 있다. 1,000ha의 浸水에 2個 橋梁이 被害를 당한다고 가정하면 1ha 浸水에 對해 Rp 1,000 損失이 된다.

3) 公共建物

公共建物は 高地帶에 위치하여 被害를 받는 일이 적다. 概略적으로 公共建物の 數는 家屋의 數와 관련시킬 수 있다. 農家調査에 依하여 다음表와 같은 關係를 찾아내고 公共建물이 安全한 곳에 位置하는 것을 고려하여 構成比를 半으로 줄였다.

表-10. 公共建物 被害

種 類	1) 構成比		價格(Rp)	被害率 ²⁾ (%)	被害額 ²⁾ (Rp)
	實 際	調 整			
사 무 실	1.13	0.57	2,600,000	5	74
학 교	5.41	2.70	3,000,000	5	406
병 원	0.08	0.04	3,000,000	8	10
사 원	13.67	6.83	2,300,000	4	63
시 장	0.29	0.15	2,900,000	2	9
상 점	16.69	8.34	3,000,000	8	2,010
계					2,572

※ 1) 1,000個의 家屋當 公共建物の 數

2) 家屋當 피해액이며 (調整構成比×價格×被害率)× $\frac{1}{1,000}$

4) 其他 公共施設

電氣, 通信等은 이 地域에 없고 上水道 施設도 빈약하므로 이들 施設에 對한 被害는 無視하였다.

5. 洪水被害 記錄과 發生 確率

가. 洪水被害 記錄

洪水被害記錄은 장래의 被害推定을 위한 基礎資料를 提供하므로 대단히 重要하다. 이 地域의 洪水被害內容의 一部가 부표 2에 제시되어 있다.

洪水被害記錄은 모두 수집되기 어렵고 또 記錄이 있어도 그 基準이 달라서 서로 比較하고 綜合하기가 대단히 어렵다.

被害記錄에서 降雨量과 浸水面積의 關係가 決定되고 其他 各種 被害의 相互關係를 찾을 수 있다.

이 地域의 降雨와 浸水面積 關係는 그림. 1과 같이 유도되었고 家屋被害는 浸水家屋의 35%가 被害를 입고 1.5%는 파괴되는 것으로 나타났다.

나. 被害發生確率

記錄된 洪水被害의 發生確率을 찾으려면 洪水被

害와 長期間의 관측 기록이 있는 洪水나 降雨와 관련시켜야 한다. 洪水보다는 降雨記錄이 더 充實하기 때문에 被害와 降雨의 관계를 부표 2에 依해 그림. 1에서 찾았다. 被害는 2日連續降雨量이 200mm는 넘을 때부터 시작되고 그 후에는 1mm 增加에 對하여 約 80ha가 浸水된다. 年浸水豫想面積은 그림. 2의 降雨頻度曲線을 使用하여 부표 3과 같이 決定할 수 있다. 100年 頻도가 넘는 것은 確率 이 작으므로 무시하였다.

浸水家屋과 降雨의 關係도 찾기 어려운데 부락의 分布, 地形等이 큰 영향을 주기 때문이다. 그러나 浸水面積과 浸水家屋의 關係를 대략적으로 求하여 被害分析에 使用하였다. 被害記錄이 서로 다르지만 2,000ha의 浸水에 1,000戶의 浸水가 있는 것으로 보고 최초의 500ha 浸水에는 家屋이 없다고 간주하였다.

6. 全 洪水被害額

全體 被害額을 다음과 같은 基準으로 총괄할 수 있다.

(가) 降雨量과 浸水面積의 關係는 과거의 浸水記錄으로 부터 구하며 다음과 같다. $A=(R-200) \times 80$ 여기서 A는 浸水面積(ha)이고 R는 2日連續降雨量(mm)이다. (그림. 1 참조)

(나) 浸水家屋은 降雨量과 관련을 시키기 어려우나 被害記錄에서 다음 關係를 유도하였다. $N=(A-500) \times 0.5$, 여기서 N는 浸水家屋의 數이다.

(다) 이재민 구호 비용은 浸水家屋의 數와 直接 關係되고 家屋當 被害 人員數는 5.6人이다.

지금까지 앞에서 求한 單位 被害額은 다음과 같다.

① 農作物 被害는 表-3과 表-4에 表-7에서 求한 修正係數를 곱하여 계산한다.

② 家屋의 被害는 浸水, 被害, 파괴로 區分하여 家屋當 平均 被害額을 산출하였다 浸水 63.5%, 被害 35%, 파괴 1.5%라면 家屋當 平均 被害額은 다음과 같이 Rp 56,357로 計算된다.

浸水	0.635×25,000=15,875
被害	0.35×95,040=33,264
파괴	0.015×481,200=7,218
計	56,357

③ 罹災民 구호 費用은 1人當 Rp 7,000, 家口當 Rp 39,200이 된다.

表-11. 作物 被害 豫想量 計算

月	頻度 ¹⁾	浸水面積 ²⁾ (ha)	施行前 被害			施行後 被害		
			Rp/ha ³⁾	計(10 ⁶ Rp) ⁴⁾	豫想(10 ³ Rp) ⁵⁾	Rp/ha ⁶⁾	計(10 ⁶ Rp) ⁷⁾	豫想(10 ³ Rp) ⁸⁾
11月	0.07	0	3,416 (4,270 ×0.8)	0	—	58,950 (131,000 ×0.45)	0	—
	0.05	1,600		5.47	55		94.3	943
	0.02	5,600		19.13	369		330.1	6,366
	0.01	9,600		32.79	261 685		565.9	4,504 11,813
12月	0.09	0	25,353 (25,870 ×0.98)	0	—	256,200 (305,000 ×0.84)	0	—
	0.05	2,400		60.85	1,217		614.8	12,296
	0.02	4,800		121.69	2,738		1,229.8	27,669
	0.01	10,400		263.67	1,927 5,882		2,664.5	19,472 59,437
1月	0.20	0	51,522 (55,400 ×0.93)	0	—	214,420 (412,000 ×0.52)	0	—
	0.10	4,000		206.09	10,305		857.7	42,884
	0.05	8,000		412.18	15,457		1,715.4	64,327
	0.02	13,600		700.70	16,693		2,916.1	69,472
	0.01	16,800		865.57	7,831 50,286		3,602.2	32,562 209,245
2月	0.18	0	102,128 (127,660 ×0.8)	0	—	188,000 (235,000 ×0.8)	0	—
	0.10	4,000		408.51	16,340		752.0	30,080
	0.05	8,800		898.72	32,681		1,654.4	60,160
	0.02	16,000		1,634.05	37,992		3,008.0	69,936
	0.01	22,000		2,246.81	19,404 106,417		4,136.0	35,720 195,896
3月	0.03	0	147,805 (180,250 ×0.82)	0	—	59,940 (111,000 ×0.54)	0	—
	0.02	800		118.24	591		47.9	240
	0.01	2,400		354.73	2,365 2,956		143.9	959 1,199
計 (年間)					166,226			477,590

- ※ 1) 부표-3에서 찾음
 2) 부표-3에서 찾음
 3) 表-3의 平均被害×表-7의 係數(현재의 작부체계)
 4) 2)×3)
 5) $(P_1 - P_2) \times \frac{x_1 + x_2}{2}$, P는 1), x는 4)에 있음.
 6) 表-4의 平均被害×表-7의 係數(장래의 작부체계)
 7) 2)×6)
 8) $(P_1 - P_2) \times \frac{x_1 + x_2}{2}$, P는 1), x는 7)에 있음.

④ 家畜被害는 家口當 Rp 1,900이다.

⑤ 施設物被害는 浸水面積 1ha當 道路가 Rp 700, 교량이 Rp 1,000이고 公共建物은 每浸水家屋當 Rp 2,572이다.

養魚場, 교통장애, 이재민에 대한 直接 支援은 無視하였다.

全被害額은 모든 可能 被害量에 그 發生確率을

곱하여 合한 것이다. 各 月別로 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01의 確率值를 使用하여 計算하였다. 확률 P₁ 일때의 全被害가 x₁이고 확률 P₂일때 x₂라면 豫想被害額 d_e는 다음과 같다.

$$d_e = (P_1 - P_2) \times \frac{x_1 + x_2}{2}$$

즉 被害가 x₁과 x₂의 범위안에서 發生할 확율은

表-12. 其他 被害 豫想量 計算(事業施行前)

月	頻 度 ¹⁾	浸水面積 ²⁾ (ha)	浸水家屋 ³⁾ (棟)	被害住民 ⁴⁾ (人)	가옥 피해, 이재민 구호 비용		
					가옥피해 ⁵⁾ (10 ⁶ Rp)	구호비용 ⁶⁾ (10 ⁶ Rp)	計 ⁷⁾ (10 ⁶ Rp)
11 月	0.07	0	0	0	0	0	0
	0.05	1,600	550	3,080	31.0	21.6	52.6
	0.02	5,600	2,550	14,280	143.7	100.0	243.7
	0.01	9,600	4,550	25,480	256.4	178.4	434.8
12 月	0.09	0	0	0	0	0	0
	0.05	2,400	950	5,320	53.5	37.3	90.8
	0.02	4,800	2,150	12,040	121.2	84.3	205.5
	0.01	10,400	4,950	27,720	279.0	194.0	473.0
1 月	0.20	0	0	0	0	0	0
	0.10	4,000	1,750	9,800	98.6	68.6	167.2
	0.05	8,000	3,750	21,000	211.3	147.0	358.3
	0.02	13,600	6,550	36,680	369.1	256.8	625.9
	0.01	16,800	8,150	45,640	459.3	319.5	778.8
2 月	0.18	0	0	0	0	0	0
	0.10	4,000	1,750	9,800	98.6	68.6	167.2
	0.05	8,800	4,150	23,240	233.9	162.7	396.6
	0.02	16,000	7,750	43,400	436.8	303.8	740.6
	0.01	22,000	10,750	60,200	605.8	421.4	1,027.2
3 月	0.03	0	0	0	0	0	0
	0.02	800	150	840	8.4	5.9	14.3
	0.01	2,400	950	5,320	53.5	37.2	90.7
計(年間)							
月	가 옥 피 해			시 설 물 피 해			총예상피해 ¹⁵⁾ (10 ⁶ Rp)
	예 상 ⁸⁾ (10 ⁶ Rp)	計 ⁹⁾ (10 ⁶ Rp)	예 상 ¹⁰⁾ (10 ⁶ Rp)	도로교량 ¹¹⁾ (10 ⁶ Rp)	공공건물 ¹²⁾ (10 ⁶ Rp)	計 ¹³⁾ (10 ⁶ Rp)	
11 月	—	0	—	0	0	0	—
	526	1.0	10	2.7	1.4	4.1	41
	4,445	4.8	87	9.5	6.6	16.1	303
	3,411	8.6	68	16.3	11.7	28.0	222
	8,382		165			566	9,113
12 月	—	0	—	0	0	0	—
	1,816	1.8	36	4.1	2.4	6.5	130
	4,444	4.1	88	8.2	5.5	13.7	303
	3,392	9.4	68	17.7	12.7	30.4	221
	9,652		192			654	10,498
1 月	—	0	—	0	0	0	—
	8,360	3.3	165	6.8	4.5	11.3	565
	13,138	7.1	260	13.6	9.6	23.2	864
	14,763	12.4	292	23.1	16.8	40.0	948
	7,023	15.5	90	28.6	21.0	49.6	447
	43,284		807			2,824	46,915

洪水被害의 豫測과 洪水調節事業의 效果에 對한 調査例

2 月	—	0	—	0	0	0	—	—
	6,689	3.3	132	6.8	4.5	11.3	452	7,273
	14,095	7.9	280	15.0	10.7	25.7	923	15,298
	17,057	14.7	339	27.2	19.9	47.1	1,092	18,488
	8,839	20.4	175	37.4	27.6	65.0	561	9,575
	46,680		926				3,028	50,634
3 月	—	0	—	0	0	0	—	—
	72	0.3	2	1.4	0.4	1.8	9	83
	526	1.8	11	4.1	2.4	6.5	41	578
	598		13				50	661
計(年間)	108,596		2,103				7,122	117,821

- ※ 1) 부표-3에서 찾음
- 2) 부표-3에서 찾음
- 3) (1)-500)×0.5
- 4) 3)×5.6
- 5) 3)×56,357
- 6) 3)×39,200
- 7) 5)+6)
- 8) $(P_1-P_2) \times \frac{x_1+x_2}{2}$, P는 1), x는 7)
- 9) 3)×1,900

- 10) $(P_1-P_2) \times \frac{x_1+x_2}{2}$, P는 1), x는 9)
- 11) 2)×1,700
- 12) 3)×2,572
- 13) 11)+12)
- 14) $(P_1-P_2) \times \frac{x_1+x_2}{2}$, P는 1), x는 13)
- 15) 8)+10)+14)

(P_1-P_2) 인 것을 의미한다. 月別 被害額은 合하여 年平均 被害額을 求하였다. 作物 被害額의 計算은 表-11과 같고 其他 被害는 表-12와 같다.

計算된 被害內容을 要約하면 다음과 같다.

表-13. 浸水被害 豫想額

區 分	施行 前		施行 後	
	금액 (10 ⁶ Rp)	%	금액 (10 ⁶ Rp)	%
農作物	166.2	58.5	477.6	80.2
家 屋	64.1	22.6	64.1	10.8
이재민(대피, 구호)	44.5	15.7	44.5	7.5
家 畜	2.1	0.7	2.1	0.3
施設物(도로, 교량, 공공건물)	7.1	2.5	7.1	1.2
計	284.0	100	595.4	100

※ 家屋, 이재민 비용은 108,596×10⁶(表-12)을 59 : 41(56,357 : 39,200)로 分割한 것임.

실제로는 事業施行後 其他被害도 커지게 되지만 위 表에서는 農作物 以外的 其他 被害가 事業의 施行 前後에 같은 것으로 간주하였다. 農作物 被害는 施行前에 총피해의 58%이나 施行後 80%로 증가한다.

그리고 年間 浸水面積은 2,472ha(부표-3참조)이며 浸水家屋은 1,137戶 (=64,100,000/56,357), 罹災民은 6,367人(=1,137戶×5.6人)이 된다.

7. 洪水調節事業의 收益

洪水調節事業의 收益은 洪水被害防止量 또 防止額이다. 50年頻度 洪水에 對해 設計를 하면 그보다 큰 洪水에 依해 殘餘被害가 생긴다. 表-11,12의 頻度는 月別 값이므로 다시 50年 頻度 2日連續降雨를 찾으면 이 地域에서 350mm이고 浸水面積은 12,000 ha에 해당한다(그림 1,2 참조)

設計降雨보다 큰 降雨에 依한 殘餘被害가 全體被害의 10%(其他被害), 15%(農作物被害)라 하고 洪水調節事業으로 保護되지 않는 部分의 被害가 8%라면 全體 殘餘被害는 23%가 된다(其他被害도 여유를 보아 農作物被害와 같이 23%로 한다),

洪水被害防止額은 다음 표와 같이 求한다.

表-14. 殘餘被害 및 被害防止額(百萬 Rp)

項 目	施行 前			施行 後			備 考
	作物	其他	計	作物	其他	計	
洪水調節事業이 없을 경우의被害 ¹⁾	166	118	284	477	118	595	表13에서 유
殘餘被害 ²⁾	38	27	65	110	27	137	1)의 23%
被害防止額 ³⁾	128	91	219	367	91	458	1)-2)

農作物은 事業施行 前後의 總被害 및 殘餘被害가 다르기 때문에 洪水調節事業의 收益은 施行前 總被害에서 施行後 殘餘被害를 減해서 求한다. (表-15 참조) 農作物 以外의 其他 事業에서는 事業施行 前後에 變化가 없는 것으로 보았으나 事業 初期에는 工事關係로, 事業 完了後에는 農產物 增產과 所得의 增大로 全般的인 發展이 이루어지기 때문에 開發事業을 施行하고 洪水調節事業이 빠지면 被害가 더욱 커지게 된다.

表-15. 洪水調節事業收益(百萬 Rp)

區 分	收 益	備 考
農 作 物	56	166-110=56
其 他	91	118-27 =91
計	147	

洪水調節事業의 收益은 每年 發生되는 것이므로 全體 評價期間에 對하여 收益이 있는 것으로 하여야 한다.

8. 洪水調節施設

이 地域의 主要 洪水調節施設은 68km 길이의 河川을 改修하는 것인데 2個의 案이 檢討되었다.

I 案은 堤防을 主로 하는 것으로 自然狀態를 그대로 유지하는 長點이 있고 工事費가 싸나 넓은 면적이 必要하고 移住 家屋이 많은 것이 短點이다.

II 案은 屈曲部를 굴착하여 路線을 바로 잡고 河床 기울기를 크게 하는 것으로 移住 家屋이 적고 用地買收가 적은 대신 굴착 및 호안공사비가 많이 든다. I 案은 Rp 11,462百萬 II 案은 Rp 22,833百萬이 所要되어 I 案이 採擇되었다.

9. 結 論

인도네시아 Teluk Lada 地域의 洪水被害 分析을 實施한바 年間 浸水豫想面積은 2,472ha이고 浸水家屋은 1,137戶이며 一時的인 罹災民은 6,367人이었다.

浸水面積과 降雨量(2日連續)의 關係는 $A=(R-200) \times 80$, 浸水面積과 浸水家屋의 關係는 $N=(A-500) \times 0.5$ 로 유도되어 使用되었다.

農業開發事業이 施行되던 作物에 對한 浸水被害가 現在의 Rp 166百萬에서 Rp 477百萬로 增加하여 洪水防止事業이 必要하게 되었다. 農作物 以外의 其他 被害가 事業施行後에도 Rp 118百萬로 變動이 없다고 가정하면 洪水調節事業에 依해 年間 Rp 147百萬의 收益 즉 被害防止가 可能하게 된다.

洪水被害 防止을 위한 事業은 68km의 河川에 對해 105km의 堤防을 設치하는 것으로 많은 構造物과 3,700,000m³의 盛土가 必要하고 Rp 11,462百萬가 所要된다.

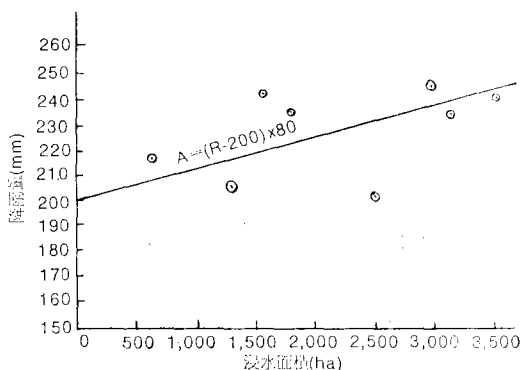


그림 1. 浸水面積對 2日連續降雨量의 關係

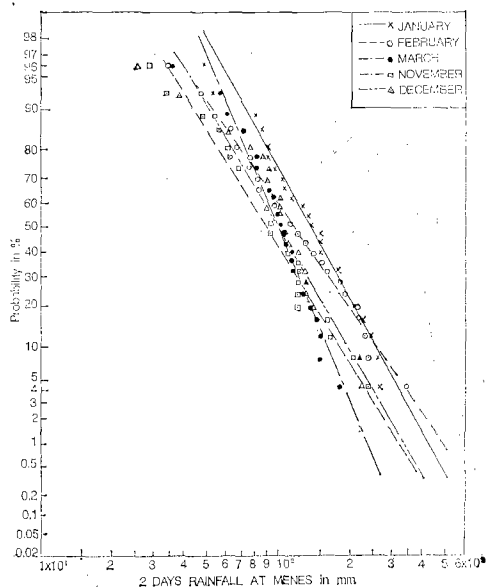


그림 2. 2日連續降雨量 發生頻度

洪水被害의 豫測과 洪水調節事業의 效果에 對한 調査例

부표-1. 벼의 生産費 및 被害計算(ha當)

區 分: 事業施行前

品 種: 재래종

收 量: 1,700kg/ha

單 位: 133Rp/kg

粗生産額: Rp 226,100

純生産額: Rp 158,770

生産費: Rp 67,330

項 目	月 次	1	2	3	4	5	6	計
남자노동력 (Rp 340/日)	28	9,520	8,500	1,700	1,020	1,020	8,500	30,260
여자노동력 (Rp 250/日)	2	500	6,750	3,250	—	—	8,500	19,000
畜 力 (Rp 610/日)	1.5	915	—	—	—	—	—	915
종 자 (Rp 180/kg)	30	5,400	—	—	—	—	—	5,400
요소비료 (Rp 165/kg)	9	1,485	—	—	—	—	—	1,485
重過石(비료) (Rp 142.5/kg)	2	285	—	—	—	—	—	285
기 타 농 약 (Rp 6,035/l)	—	—	1,207	1,207	1,207	—	—	3,621
귀 약 (Rp 4,000/kg)	—	—	—	—	—	0.06	—	0.06
기 타 비 용	—	—	—	—	—	240	—	240
月 計	1,814	19,919	18,107	6,767	2,447	1,380	18,710	67,330
累 計	1,814	19,919	38,026	44,793	47,240	48,620	67,330	—
%		30	56	67	70	72	100	
被害10%	(22,610)	22,610	22,610	22,610	22,610	22,610	(22,610)	
20%	(45,220)	45,220	45,220	45,220	45,220	45,220	(45,220)	
40%	(80,958)	84,579	85,933	86,422	86,698	(90,440)		
60%	(121,436)	126,869	128,898	129,633	130,047	(135,660)		
80%	(161,915)	169,158	171,865	172,844	173,396	(180,880)		
100%	178,689	196,796	203,563	206,016	207,390	(226,100)		

※ 상단은 物量, 하단은 金額 (Rp)

() 內는 理論值.

부표-2. 洪水被害 記錄

洪 水 日 時	單價 (Rp)	70. 4. 22	70. 12. 14	72. 1. 1	73. 11. 23	74. 1. 5	74. 5. 12	77. 1. 22	80. 5. 22
降雨量(mm) (2日 연속)		214	202	244	266	235	254	200	240
畓, 浸水(ha)	—	—	—	—	—	—	2,985	—	922
畓, 被害(ha)	36,250	750	1,000	1,500	1,500	1,500	785	1,946	651
田, 被害(ha)	57,000	—	300	—	400	400	1,465	—	60
家屋, 浸水(棟)	—	—	—	1,000	950	1,000	1,550	—	1,010
家屋, 被害(棟)	100,000	40	1,200	100	—	400	338	1,890	202
家屋, 파괴(棟)	400,000	—	—	—	—	—	—	—	—
人命, 부상(人)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
人命, 사망(人)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
建物, 창고(棟)	300,000	—	—	—	—	—	—	—	—

建物, 상점(棟)	240,000	—	—	—	—	—	—	—
建物, 학교(棟)	150,000	—	—	—	—	—	—	—
도로침수(km)	200,000	—	—	—	—	—	—	—
교량파손(個)	500,000	—	—	—	—	—	—	—
웨어파손(個)	500,000	—	—	—	—	—	—	—
가축, 닭(首)	1,000	—	—	—	500	—	—	—
가축, 염소(首)	10,000	—	—	—	—	—	—	—
가축, 양(首)	9,000	—	—	—	—	—	—	—
가축, 말(首)	120,000	—	—	—	—	—	—	—
가축, 금붕어(首)	1,000	—	3,000	—	—	—	—	—
구호품, 현금(Rp)	—	—	—	—	—	—	5,000,000	2,000,000
구호품, 쌀(kg)	250	—	—	—	—	—	1,000	2,500
구호품, 의약품(Rp)	—	—	—	—	—	—	—	40,000
구호품, 우유(kg)	2,000	—	—	—	—	—	—	250
計(10 ⁶ Rp)	—	31.2	180.1	91.1	77.2	117.7	145.8	259.5

※ 一部 記錄만 게재함.

부표-3. 頻度別 浸水面積

月 別	頻度(年)	確 率 ¹⁾ P	2日 연속강우량 R(mm) ²⁾	면적(ha) ³⁾	평균면적(ha) ⁴⁾	年間값(ha) ⁵⁾
11月	5	0.20	140	0	—	—
	10	0.10	180	0	—	—
		0.07 ⁶⁾	200	0	—	—
	20	0.05	220	1,600	800	16}
	50	0.02	270	5,600	3,600	103} 200
	100	0.01	320	9,600	7,600	76}
12月	5	0.20	150	0	—	—
	10	0.10	190	0	—	—
		0.09 ⁶⁾	200	0	—	—
	20	0.05	230	2,400	1,200	48}
	50	0.02	260	4,800	3,600	108} 232
	100	0.01	330	10,400	7,600	76}
1月	5	0.20	200	0	—	—
	10	0.10	250	4,000	2,000	200}
	20	0.05	300	8,000	6,000	300} 976
	50	0.02	370	13,600	10,800	324}
	100	0.01	410	16,800	15,200	152}
2月	5	0.20	190	0	—	—
		0.18 ⁶⁾	200	0	—	—
	10	0.10	250	4,000	2,000	160}
	20	0.05	310	8,800	6,400	320}
	50	0.02	400	16,000	12,400	372}
	100	0.01	480	22,400	19,200	192}
3月	5	0.20	140	0	—	—
	10	0.10	160	0	—	—
	20	0.05	180	0	—	—
		0.03 ⁶⁾	200	0	—	—
	50	0.02	210	800	400	4}
	100	0.01	230	2,400	1,600	16}
計						2,472

- ※ 1) $P=1/\text{頻度}$
- 2) $R=2\text{日 연속강우량}$
- 3) $A=(R-200)\times 80$
- 4) $(A_1+A_2)/2$
- 5) $(P_1-P_2)\times 4$ 例: $(0.07-0.05)\times 800=16$
- 6) 浸水가 시작되는 確率