

〈기술정보〉

인도의 Sunderbands 지역의 用水管理和 調節 The Water Management and Control in the Sunderans, India

崔 禮 煥*
CHOI Ye Hwan

1. 概 說

칼카타(Calcutta)의 남쪽과 동남쪽에 위치한 Sunderbans 지역은 방글라데시와 인도를 갈라 놓은 삼각주 해안지역이다.

이곳은 그림 1과 같이 간지스강 지류와 Brahmaputra 강들이 벵갈만으로 흘러 점토질 유사로 퇴적되어 수많은 섬들로 이루어져 있다. 이 삼각주

는 세계에서 가장 크며, 그 면적이 약 80,000km²나 된다. 이곳은 그중 1/10에 해당되는 약 8,000km²의 면적에 세계에서 가장 큰 紅樹林(mangrove)이 강 어구나 바닷가에 생기는 열대성 특수한 숲으로 남아있다.

Sunderbans라는 이름은 sundri나무(일종의 수종으로 Heritiera나무에 대한 지방이름)와 숲을 Bangalese라 하는 말의 Ban에 근원된다.

Sunderbans 지역의 주요 부분이 인구밀도가 급

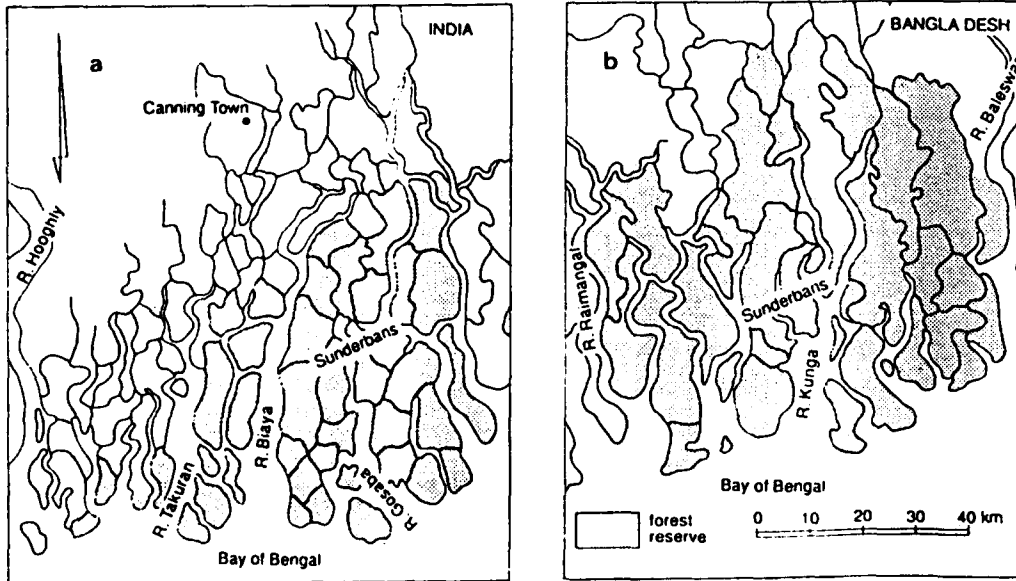


그림 1. Sunderbans 지역의 지도(a) India (b) Bangla Desh

* 江原大學校 農工學科 教授

성장하는 농업지대이다. 紅樹林은 극심한 해양성 호우의 파도를 막을 수 있는 개간지의 보호를 위한 중요한 해안 방어지역에 조성되어 있다.

Haryana주의 Karnal지역에 중앙토양염 연구소(The Central Soil Salinity Research Institute, CSSRI)는 해양염토양의 개간을 연구하기 위해 인도의 Bengal Canning읍에 설치되어 있다. 이 지역의 환경조건, 농업의 제약조건 그리고 개발 가능성등을 살펴 보고자 한다.

2. Sunderbans지역의 환경조건

2.1. 홍수림의 생태성 및 경제성

Sunderbans지역의 좋은 곳은 산림보전지역이고 그림 1.과 같이 극히 작은 일부가 조림이 허가 안된 천연보전지이다. 다른 부분은 해안도로(bund)와 방조제로 조석침수로부터 보호되어 사람의 정주와 농업으로 사용되고 있다.

인간과 야생동물을 위해 높은 고유의 가치를 지닌 보전물로 벵갈 호랑이와 위험한 여러 종의 동물이 있고, 그의 생존은 그 자신과 먹이를 위해서 서식지로서 충분히 보호된 지역의 먹이에 달려 있다. 즉 얼룩사슴과 멧돼지 등이 있고, 또한 귀중한 생물 가운데 야생고양이와 간지스 돌고래 등이 있다. 불행하게도 본래의 많은 포유동물들이 상실되었다. 현저한 것은 무소이고, 악어도 또한 사멸되었다.

Varan 도마뱀, Python 뱀과 같은 다른 파충류와 해안 및 강가 거북은 신속하게 그 수가 감소되었는데 주로 사냥에 의해서이다.

Sunderbans지역은 여러가지 아름다운 조류가 있는데 그 중 위협적인 여러가지 새가 서식한다. 새들세계의 생활을 기록할 조류학자의 지식을 요구하고 있다.

더욱이 Sunderbans지역은 어류의 중요한 번식과 서식지로 형성되어 있다. 해안과 근해어업은 풍부한 홍수림에 달려 있다.

일부 보호된 산림은 Sundri나무와 목재용 다른 나무를 벌목하는 산림계약자에 의해 탐색되었다. 지역주민은 꿀, 지붕용 Nipa 야자수잎을 모으고, 풀과 껍질과 같은 다른 임산물을 생산한다.

Sunderbans지역의 생태와 경제적 의미가 있다고 최근 Fiselier가 발표한 바 있다.

2.2. 水文, 潮汐 및 水路

Sunderbans지역의 섬들은 大潮河口에서 小潮河川까지 걸쳐서 潮汐수로의 복잡한 양상으로 분류된다. 하구들은 먼 內地까지 조파를 전할 수 있게 되어 있다.

하구에서의 유량은 간지스강이나 Brahmaputra 강에서(즉 몬순계절 기간) 담수의 큰 공급을 받을 때를 제외하고는 200km 내륙 혹은 그 이상의 거리까지 해수이다. 이 지역에 6개의 주요 담수하천이 있을 뿐이다. 그 밖에 다른 하구는 전자의 지류들이고 그들의 담수공급이 차단되어 점차 막혀진다.

Sunderbans의 면적은 그림 1.과 같이 인도(서벵갈)과 방글라데시로 나누어진다. 인도지역 부분에서는 하나의 담수하천인 Hooghly강으로 간지스강의 주지류의 하나일 뿐이다. 거의 담수하천들은 건조기 관개가 실시되나, 그밖에 어느 곳에서도 담수의 수자원이 건조기 재배를 위해 유효하지 못한 다.

인도에서 Fakkara제방(1974)의 완성에 따라 간지스강의 건조기 유량의 40% 이상이 상류까지 확산된다. 이 결과는 건조기간에 주요 하천들로 해수를 더 유입하게 했다.

벵갈만의 해안을 따라 봄철에 하루 동안의 조석 범위가 약 4m이고, 하구에서 조석범위의 증가 때문에 5m 이상 증가시켰으나, 더 내지로 와서는 이 범위가 파의 저항과 에너지의 감소로 점차 감소되었다. 곳에 따라 조석의 범위의 정확한 예상은 극히 어렵다. 이와같은 예상은 저기압성 강우 때문에 더 복잡하다. 즉 태풍의 눈에 저기압이 1~2m 더 높은 조위를 증가시킬 수 있다.

3. 농업과 제약성

3.1. 기후 인자

개간지역의 농업은 우기 몬순기(Kharif)간에 잉여수에 의해, 건조기(rabi)간에 물 부족의 제약을

받는다. 우기 몬순기의 주작물은 전통 품종인 벼이고, 벼는 깊은 수심에도 살아 남을 수 있다. 건조 기간에 대부분의 땅은 밭으로 남아 있고, 젖소의 방목장으로 쓰이나 일부 작은 면적은 몬순기에 저장한 물을 농의 유수지에서 관개용수로 쓰기도 한다.

몇몇 담수하천 근처 지역에서와 주로 상류지역에서 분수관로를 통해 관개가 가능하기도 한다.

표 1. Canning지역의 기후인자인 월평균치
(CSSRI 1981)

Month	Humidity (%)	Sunshine (hr/day)	Rainfall (R, mm)	Potential evaporation (E, mm)	Excess or deficit R-E
Jan.	66	9.1	15	86	- 71
Feb.	65	9.3	21	115	- 94
Mar.	67	9.2	34	183	-149
Apr.	68	9.3	59	219	-160
May	75	9.7	135	233	- 99
Jun.	84	6.3	296	150	+146
Jul.	87	4.8	378	111	+267
Aug.	89	4.5	360	112	+248
Sep.	87	6.1	293	111	+182
Oct.	81	8.4	132	102	+ 30
Nov.	71	8.4	23	90	- 67
Dec.	67	8.9	14	96	- 82

표 1.은 Canning지역에 월평균 기후인자들의 값을 보여준다(CSSRI, 1981). 표에서 보듯이 잉여강우(R-E)는 6월에서 9월까지 사이에 주로 일어난다. 또한 5월에는 상당한 강우량이 발생하고, 예상못한 몬순기 전에 호우가 발생하기도 한다. 또한 증발량(E)는 5월에 상당히 높으므로 이 기간에는 건조한 달이다. 10월에는 강우량이 5월과 비슷하나 증발량은 꽤 적다. 10월의 잉여강우가 작지만, 이달은 우기가 아직 지속되고 11월부터 4월까지 강우량의 유의성은 없는 것으로 본다. 표 1.은 또한 몬순기에 농업을 제약하고 즉 높은 습도와 병해충의 발생이 일어나고 일조시간이 작을 때는 식물생장을 제한시키는 등 두 개의 다른 현상을 보여준다.

Sunderbans지역의 경작지의 배수시설은 미약하다. 포장배수 체계는 실질적으로 존재하지 않는다. 즉 일부는 주 배수로망의 낮은 밀도와 또 다른 일부는(약 0.5ha)소지주 때문이다. 지주나 소작인이

더 많은 배수로 조직을 위해서 땅을 회사하려는 경향은 없다. 토지는 거의 평평하지 않고 또 많은 요지(凹地)가 있기 때문에 0.5m이상의 높은 수위와 그 이상이 몬순기는 논에서 자주 일어난다. 토지의 더 높은 부분에 있는 논은 보통 외각 도로화되지 않기 때문에 이 논에서 유출량은 낮은 부분에서 수로를 이루게 된다. 높은 부분은 너무 빨리 강우를 상실하기 때문에 이 농지가 때로는 건조하고 물을 보전하기 힘들다.

높은 부분은 너무 빨리 강우를 상실하기 때문에 이 농지가 때로는 건조하고 물을 보전하기 힘들다.

높은 수확의 벼품종은 상대적으로 지대가 높은 것을 필요로 하나, 그 사용은 미숙해서 경작이 널리 보급되지 않고 있다. 한편 재래의 벼품종이 다량으로 필요하고 130일이상이 긴 생장기를 가져서 광감수성이며, 긴 초장을 가져서 중간기에 수로의 높은 수위가 무난하다. 더우기, 벗짚은 지붕에 중요한 재료이고 동시에 이것으로 담수 양어에 쓰기도 한다. CSSRI는 Sunderbans지역에 재래 품종과 다수확 품종을 시험하고 있다.

3.2. 관개와, 건조기(Rabi) 경작

간선배수와 자연하천이 건조기에 관개용수를 위해 강우를 저장한다. 이 수로의 물은 특히 호우 후에 배수를 해야 한다. 이 배수는 낮은 조위에 수 시간에 일어날 수 있고 전형적인 호우는 5일 강우가 250mm정도로 평균 5년에 1회 초과치이다. 적은 강우 때는 배수시설은 다아 버린다.

배수지와 강어구에서 수위유지는 저지대의 배수 요구와 상충된다. 또 이 관리는 염수어족을 위해 배수지와 강어구로 해수가 자유로이 침입하도록 하는 것과 상충된다. 그것은 상반된 이해로 균형을 깨기 쉽다. 이해의 상반은 CSSRI가 담수저수를 위해 유수지의 설치를 주장하는 이유 중의 하나이다. 농촌 유수지는 이미 도시용수와 양어를 위해 담수를 저장하기 위해 광범위하게 사용되고 있으나 건조기에 작물의 관개를 위해 농업용 유수지는 보통 흔하지는 않다.

CSSRI연구소는 관개용 유수지를 위해 농지의 20% 가량 차지하여 나머지 80%의 농지에 관개하

여 이모작으로 작물을 생산하도록 추진했다. 더우기, 관개용 유수지는 우기 때의 작물 생육기간에 배수문제를 완화하는 역할을 한다. 즉 유수지에서 파내 흙 재료를 농지 표고를 올리는데 쓸수 있고, 농지로부터 배수된 물은 유수지로 되돌려 보내 그 유수지 물은 다시 양어를 위해 사용될 수 있다.

3.3 지하수 상태

지하수는 꽤 큰 깊이(300m이하)를 제외하고는 보통 상당한 염도가 있다. 그 깊이에서 외견상 담수 대수층이 멀리 떨어진 구농농지에 침투수에 의해 공급해주고 있다. 더 깊은 대수층은 발달된 관정 기술만으로도 농촌인구의 수요 범위를 넘어서 수도물을 얻을 수 있고, 공공용수에서는 그와 같은 우물로 음용수를 제공하도록 설치되어 있다.

두터운 점토층이 낮은 수리전도도를 가진 얇은 지하수는 낮은 수질로 관개용 농업에 부적합한 것으로 판명되었다.

3.4 토양 염도

Sunderbans지역의 개간지에서 토양염도 문제는 몬순기에는 보통 직면하지 않지만 해양환경에서 퇴적되어온 토양속에 존재하는 전부는 아닌 염류를 제거해 왔다. 이러한 잔류 염이 건조기에 표면에 나타난다. 잉여증발과 건조는 지하수의 모세관 상승류를 가져오게 했고, 그 물이 지표까지 이 염을 가져왔다. 우기에 이 염은 다시 세척되고 표토로 저류된다. 몬순기에 염을 제거하기 위해 외견상 자연배수만으로는 불충분하다. 이런 주된 이유는 지하의 두터운 점토층의 낮은 수리전도도와 미숙지에 있다고 본다. 동시에 이러한 조건은 고조시에 하구로부터 짠 지하수의 유입을 막을 수 있다. 이 현상의 결과를 그림 2.에 보여 주듯이 반대방향의 지하수면의 동시이동으로 염류잔존물이 계절적 상승과 계절적 하강하는 이동이 있다. 다시말하면, 건조기간에 토양은 건조하고 지하수면이 떨어지나 염류는 모관상승으로 위로 이동한다. 몬순기에 토양은 습하고 지하수면이 상승하지만 염은 침투수로 하강 이동하고 토양의 불포화된 깊이까지만 침투한다.

이 깊이는 최대 1m정도이다.

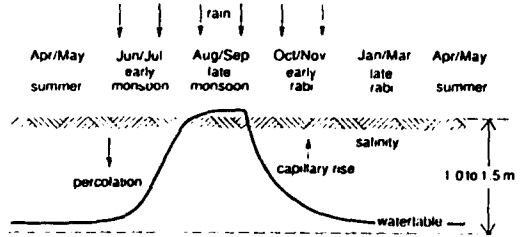


그림 2. 염과 지하수면의 계절적 이동의 상반상태

4. 건조기 작물의 유수지 관개

CSSRI연구소는 농촌 유수지가 우기에 담수 저장을 위해 축조해야 한다고 한다. 이 물은 우기에 건조기 작물의 관개를 위해 쓸수 있게 하기 위해서이다.

이와같은 유수지는 전체 포장면적의 20%의 최대면적을 차지하고 그 유수지로 농장의 나머지 80%를 이모작할 수 있게 한다. 더우기 이 유수지의 혜택은 다음과 같다.

건조기 작물로 추천된 것은 아마, 면화, 담배, 보리와 같은 사료작물이다. 이 작물중 일부는 길 잃은 젖소의 침입으로부터 그들을 보호하기 위해 울타리친 농장에서 재배가 필요하다.

표 2. 농업유수지 및 관개된 건조기작물의 물수지 내용 (CSSRI, 1981)

Item	Dimension
Size of holding	1ha
Surface area of pond(42.3m×42.3m)	1,790m ²
Depth of pond	3m
Side slope	1:1m/m
Volume of pond	4,700m ³
Volume of bunds	700m ³
Irrigable area	0.8ha
Height by which irrigable area is raised	0.50m
Depth of water available for irrigation	1.5m
Depth of water remaining for pisciculture	1.5m
Volume of water available for irrigation	2,560m ³
Irrigation requirement of rabi crops (chili, barley, watermelon)	0.15m
Volume of irrigation water required	1,200m ³
Water losses from pond during rabi (evaporation, seepage:5mm/day during 150days)	1,300m ³

전문가가 추천한 농업 유수지의 상세한 내용은 표 2와 같다. 이 표에서 보듯이 농장 규모가 1ha, 유수지 면적이 1,790㎡, 수심이 3m, 체적이 4,700m³, 관개면적이 0.8ha, 관개용 유효저수 수심이 1.5m 등이다. 그러나 현재 CSSRI연구소는 건조기 작물의 관개 필요성을 가지고 실험하므로서 관의 필요성은 표 2.보다 더하다.

일시적으로 몬순기의 유수지의 물수지는 표 3.과 같다. 이 표에서는 이전 건조기에 유수지 고갈이 1.5m, 몬순기의 잉여강우가 0.84m, 표면배수에 의한 유수지 필요 보충량이 0.66m, 유수지 재부충 체적이 1,100m³, 잉여배수가 유수지 보충에 32%, 잉여배수의 잠재적 과잉저류가 48% 등이다.

표 3. 몬순기간의 농업유수지의 시험적 물수지

Item	Dimension
Depletion from pond during previous rabi season	1.5m
Excess rainfall during monsoon season(Figure)	0.84m
Required replenishment of pond by surface drainage	0.66m
Replenishment volume in pond	1,100m³
Drainage from cultivable area to pond	0.14m
Drainable surplus from cultivable area(Figure)	0.44m
Percentage of drainable surplus required for pond replenishment	32%
Potential extra storage in pond from drainable surplus	1.0m
Potential extra storage as a Percentage of drainable surplus	48%

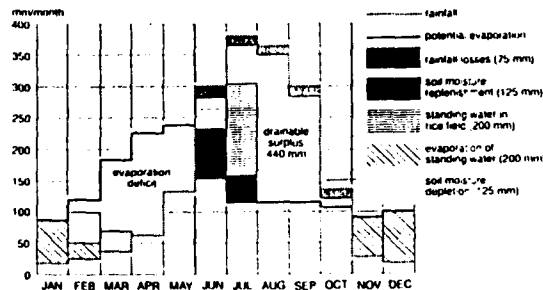


그림 3. 몬순기간의 잉여배수의 추정치

그림 3.은 몬순기의 잉여배수의 추정값을 나타낸 것으로 강우손실이 75mm, 토양보충이 125mm, 논답수 대비 200mm, 증발 대비 200mm, 토양수분 부족 125mm 및 8~9월 사이에 440mm의 잉여배수를 보여 주고 있다.

5. 結 論

Canning읍의 CSSRI연구소는 Sunderbans지역의 농업문제를 연구하며 여러가지 문제를 이론적으로나 현실적으로 해결하려 한다. 특히 이 지역은 간지스강 지류와 Brahmaputra강의 삼각주 지역이라 하구와 해양이 접하므로 기후적으로나, 지형적인 특수성이 연구대상으로 되는 지역이다.

이 지역의 개발에 성공하려면, 첫째, 지역 지주나 소작인에 의한 받아들일 수 있는 조처에 달려있다. 다시말하면 주민들이 그러한 조처를 수락하고, 사회경제적 조건, 동기 등을 인지해야 한다.

둘째는 Sunderbans지역의 자연경작 조건의 변화 때문에 어떤 곳이든, 어느 때이든 성공을 기약할 수 없다. 그러므로 몇가지 조처가 여러 지역보다는 한 지역에 더 치중해서 적용해야 한다고 본다.

참 고 문 헌

1. Fiselier, J.L. et al.,(1990), Living off the Tide, The Environmental Database on Wetland Interventions. EDWIN, Centre of Environmental, Science, University of Leyden, The Netherlands.
2. Sen, H.S. and R.J. Oosterbaan,(1992), Research Water Management and Control in the Sunderbans, India, Annual Report 1992, International Institute for Land Reclamation and Improvement, p.8-26.
3. 徐承德, 崔禮煥, 權純國, 安秉基, 李淳赫(1984), 應用水文學, 鄉文社, p.154-171.