

인도네시아 남 슬라웨시주의 Bili-Bili 관개사업

김 주 창
한국농공학회 고문



1. 서 언

인도네시아의 남 슬라웨시(Sulawesi)주에서 일본의 CTI Engineering 사가 농업기반공사와 합작으로 시행하는 Bili-Bili 관개사업에 유지관리 전문가로 2003년 11월 1개월 동안 다녀 올 기회를 가지게 되어 Bili-Bili 관개사업을 소개한다.

사업지구는 인도네시아에서 깔리만탄섬(영어로 보르네오섬), 수마트라섬의 다음에 세 번째로 큰 슬라웨시섬(영어로 셀레베스 섬)의 남단에 있는 평야지대로 23,690ha에 대한 개보수 및 신규개발이다. 특히, 사업지구가 섬에서 가장 큰 도시이고 남 슬라웨시주의 수도인 마카사르(Makassar)에 접해 있어 개발에 편리한 점은 있으나 장차 일부 농지의 택지전환이 예상되는 지역이다.

행정상으로는 슬라웨시섬은 슬라웨시 우타라(북 셀레베스) · 슬라웨시 텡아(중앙 셀레베스) · 슬라웨시 텡가라(남동 셀레베스) · 슬라웨시 슬라탄(남 셀레베스)의 4개주(州)로 이루어져 있고, 지도상에서 K자 모양을 나타낸다. 4개의 큰 반도와 복잡한 해안선으로 구성되어 있고, 대부분 산지이며 평야는 사업지구에 펼쳐져 있다. 열대몬순 기후에 속하며, 강수량은 지형에 따라 차이가 있다.

2. 사업 배경

Bili-Bili 관개사업은 Bili-Bili 다목적 댐사업의 일환으로 시행되는 것이며, Bili-Bili 댐은 Jene-berang 강(강의 길이 75km) 하구에서 31km 상류, 평야와 산지의 경계 지점에 위치하고 Bili-Bili 다목적 댐사업의 내용은 다음과 같다.

가. Bili-Bili 다목적 댐 사업의 내용

- 마카사르 시와 주변지역에 대한 상수도 공급: 3.3 m³/s
- 관개용수 공급: 23,690 ha의 농지에 대한 급수
- 마카사르 시와 주변지역에 대한 홍수방지
- 수력발전: 17 MW 설비로 연간 70 GWh 생산
- 하천유지수 공급: 1 m³/s

나. 시행 연혁

Bili-Bili 댐은 1986-88 기간에 설계를 하고 1992-99 기간에 시공을 하였으며, 1997년 11월부터 담수를 시작하였다.

다. 재 원

일본 국제협력은행(Japan Bank for International Cooperation-JBIC)의 차관자금으로 시행

라. 댐의 유역 및 저수량

- 유역면적: 727 km²
- 총저수용량: 375 백만 m³
- 사수량: 29 백만 m³
- 유효저수용량: 346 백만 m³
- 관개용수: 270 백만 m³
- 홍수조절: 41 백만 m³
- 상수도: 35 백만 m³

마. 제 원

- 댐: 중심코어 록필 댐이며 주댐은 73m 높이에 750m 길이,

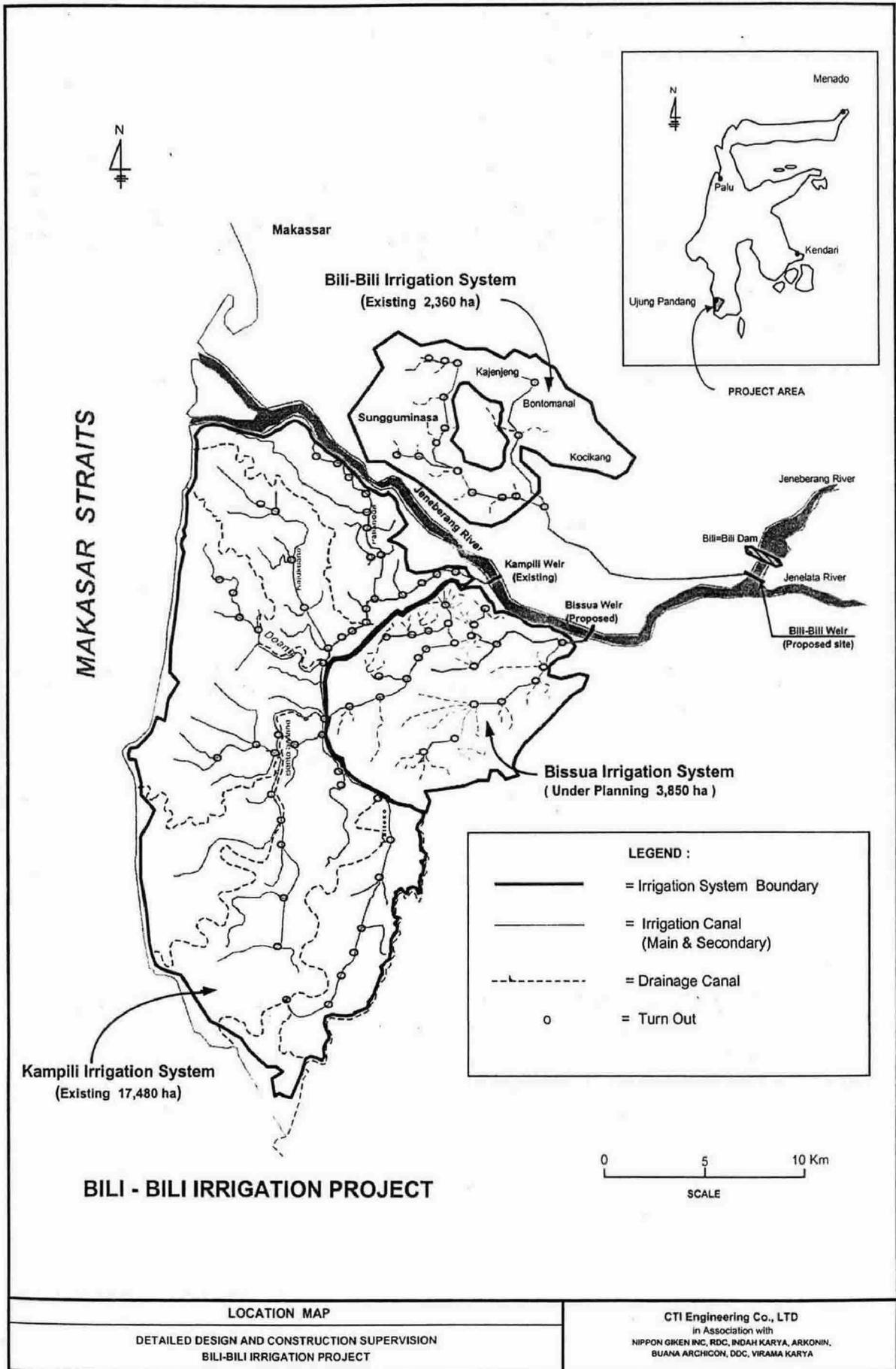


그림 1 사업 위치도

표 1 취입보 현황

보 이름	구분	관개면적 (ha)	취수량 (m ³ /s)	높이(m)	길이 (m)	비 고
Bili-Bili 보	신규	2,360	3.9	1.7	66	용수로는 개보수
Bissua 보	신규	10,790	19.7	8.2	220	신규면적: 3,850 ha Kampili에서 전환: 6,940 ha
Kampili 보	개보수	10,540	17.4	2.0	120	기존면적 17,480 ha 중 Bissua로 6,940 ha 전환
계		23,690	41.0			

우측 날개댐은 52m 높이에 412m 길이, 좌측 날개댐은 42m 높이에 646m 길이

- 물넘이 설계홍수량: 2,200 m³/s
- 취수량: 45 m³/s

바. 관개사업의 필요성

몬순기후 특성상 우기에는 모든 논에서 100% 벼 재배가 이루어지고 있으나 건기에는 하천의 물이 마를 정도여서 벼 재배가 극히 제한적이었다. 댐의 설치로 용수가 확보됨으로써 건기에 100% 벼 재배가 가능해짐으로 기존 지구에 대한 광범위한 개보수가 필요하고 또 신규지구 개발이 필요하게 되었다.

3. 지구현황

가. 위치 및 표고

사업지구는 동경 119°20' 35", 남위 5°10' 30"에 위치하고, 표고는 EL.0~30m의 범위에 있다. 따라서 수로의 기울기를 얻는데는 충분하다. 그러나 바다에 접한 하류지역은 평평하여 배수 불량으로 피해를 보는 경우가 많다.

나. 기 후

사업지구의 연평균 강우량은 2,400mm이나 평균 91%(85~97%)의 강우가 11월에서 4월까지의 우기에 집중된다. 연강우량의 변화는 1,540mm부터 3,140mm까지로 큰 차이를 나타낸다. 연평균 강우일수는 90일이며, 대부분 우기에 발생한다.

다. 토 양

토양은 지구 내에서 비교적 고지대는 갈색 Mediteran이고 저지대는 회색 충적토(gray alluvial soil)가 대부분이다. 일반적으로 관개농업에 적합하며, 양토 또는 점토로 되어 있다. 토심은 대개 90cm 이상이며 지표하 20~30cm 밑에서 2~5mm 두께의 경반이 나타나기도 한다.

4. 관개사업 내용

가. 취입보 설치 및 개보수

저수지에서 간선수로에 의해 관개지에 물을 공급하는 형태가 아니고, 하류에 있는 기존의 2개 지구 및 신규 1개 지구에 대해 2개의 보를 신설하고 1개의 보를 개보수하는 형식이며 지구별 취입보 현황은 표 1과 같다.

특히, Bili-Bili 보는 오래 전에 파괴되어 사용되지 못하던 지구로 보의 위치를 상류로 이동하여 댐의 취수구에 가까운 곳에 설치한 것으로 침전물, 홍수 등으로부터 안전하다.

Bissua 보는 Bili-Bili 보 하류에 신규로 설치하는 보로 자체 신규지구 이외에 기존의 Kampili 지구 일부에 용수를 공급하도록 계획되었다.

Kampili 보는 Bissua 보의 하류에 있는 기존의 보로 개보수하여 사용하되, 하류부 관개면적을 Bissua 보에 이전하고 관개면적을 축소하는 것으로 계획되었다.

나. 용수로 설치 및 개보수

용수로는 기존의 Bili-Bili 지구(2,360ha)와 Kampili 지구(17,480ha)는 개보수 하고 Bissua 지구(3,850ha)는 신규로 설치하도록 계획되었다. 신규 수로는 라이닝으로 하고 기존의 수로도 간선과 지선을 거의 모두 돌붙임 라이닝이나 콘크리트 라이닝으로 보강하였다.

지구별 용수로 현황은 표 2와 같다.

표 2 지구별 용수로 현황

지구이름	구분	간선길이 (km)	지선길이 (km)	비 고
Bili-Bili	개보수	9.5	16.6	대부분 돌쌓기 수로
Bissua	신규	24.0	28.6	콘크리트 라이닝
Kampili	개보수	13.5	188.3	대부분 돌쌓기 수로
계		47.0	233.5	

* 간선, 지선 외에 간선과 지선에서 분기되는 지거가 많이 있음. 간선과 지선에서는 직접 논으로 취수할 수 없도록 수로조작이 되어 있음.

다. 배수로 확장 및 개보수

배수로는 대부분 기존의 자연수로나 시설 배수로를 이용하는 것으로 주로 하류 지역, 특히 배수불량으로 침수가 생기는 지역에서 확장 및 개보수를 하였다.

표 3 지구별 배수로 현황

지구 이름	구분	간선길이 (km)	지선길이 (km)	비고
Bili-Bili	개보수	19	5	
Bissua	신설	0	15.5	
Kampili	개보수	75.5	0	
계		94.5	20.5	

5. 설계용수량, 토지이용률 및 설계배수량

가. 용수량

인도네시아의 용수량 기준은 다음과 같은 조건에 따라 설계용수량을 정한다

- 유효우량 : 5년빈도 강우 기준

표 4 관개효율과 설계용수량

구분	설계용수량 (l/s/ha)	관개효율 (%)	비고
포장	1.17		
지거	1.35	0.85	
지선	1.48	0.90	
간선/취입보	1.65	0.90	

나. 설계배수량

인도네시아의 설계배수량 기준은 다음과 같다.

1) 논지대

논지대에 대한 설계배수량은

- 관개면적 400ha 이하에 대해 10 l/s/ha,
- 400ha 보다 큰 경우에 $1.62 \times A^{0.92} \times 10$ (여기서 A는 관개면적: ha)의 값을 취한다.

2) 논 이외의 지대

논 이외의 지대에서는 다음 식(USBR, 1973)에 따른다.

$$Qd = 0.116 a R(1)_5 A^{0.95}$$

여기서, Qd : 설계배수량 (l/s)

a : 유출계수 (대개 0.6~0.8)

R(1)₅ : 5년빈도 일강우량 (mm)

A : 배수면적 (ha)

6. 농업관련 사항

가. 수확량

현재와 사업 시행 후의 벼 수확량은 표 5와 같다.

표 5 벼와 발작물의 수확량

(단위 : t/ha)

구분		시행 전	시행 후	비고
벼	우기	4.9	5.5	
	건기	4.4	6.0	
	천수답	3.9		
발작물	콩	1.4	1.7	
	땅콩	1.3	1.8	
	옥수수	3.3	4.3	

나. 토지이용률

농업에서의 토지이용률은 사업의 시행 전과 시행 후에 표 6과 같이 평균 160%에서 240%로 변하며 이로 인해 높은 투자수익률이 발생한다.

표 6 토지이용률

작물	시행 전				시행 후				비고
	Bili-Bili	Bissua	Kampili	계	Bili-Bili	Bissua	Kampili	계	
우기 벼	100	100	100	100	100	100	100	100	
건기 벼	23.5	0	26.8	22.8	100	100	100	100	
발작물	34.1	37.9	37.5	37.2	40	40	40	40	
계	157.6	137.9	164.3	160	240	240	240	240	

7. 경제성

Bili-Bili 관개사업의 내부투자수익률은 26.1%로 높게 나타났다. 그리고 민감도는 표 7과 같다.

표 7 투자수익률 민감도

비용	수익	내부투자 수익률 (%)
사업비 10% 증가	수익 불변	24.9
사업비 불변	수익 10% 감소	24.7
사업비 10% 증가	수익 10% 감소	23.1

표 8 수리조합 현황

지 구	조합의 수 / 평균면적	연합조합 / 평균면적	중앙조합	비 고
Bili-Bili (2,360ha)	47 / 50.2ha	4 / 590ha	1	1. 전체 지구에 대해 1개의 중앙조합이 있음 2. 연합조합은 평균 10~16개 정도의 조합으로 구성됨
Bissua (3,850ha)	63 / 61.1ha	6 / 641ha		
Kampili (17,480ha)	294 / 59.5ha	18 / 971ha		
전체 (23,690ha)	404 / 58.6ha	28 / 846ha		

8. 농민조직

인도네시아에는 수리조합(Water Users Association)이 설립되어 있는데 지구의 지배면적마다 수리조합을 설치한다. 그리고 그 위에 연합조합, 중앙조합이 있다. Bili-Bili 사업지구에는 1개의 중앙조합, 28개의 연합조합, 그리고 404개의 조합이 있다. 1개 연합조합은 대개 10~16개의 조합으로 구성되어 있다. 사업지구내의 수리조합 현황은 표 8과 같다.

9. 사업시행의 문제점

사업의 설계 이후 당초의 계획 관개면적을 확보하기 어려운 문제가 발생하고 있다. 이것은 설계시점에서 예측하지 못한 상황의 발생 때문인데 잠정적인 조사에 따르면 전체면적의 약 10% 정도가 부족한 상황이다.

이런 문제가 생기는 이유는 다음과 같은 이유 때문이다.

- 주거용지의 확장 : 사업지구가 큰 도시인 Makassar시에 접해 있어 주택지의 용지로 농지가 전환되고 있다. 이것은 앞으로도 계속될 전망이어서 문제가 된다.
- 농지를 양식지로 전환 : 바다에 가깝고 침수되기 쉬운 저지대에서는 작물의 재배보다 양어를 하는 것이 더 소득이 크기 때문에 농민들이 논을 양식장으로 바꾸기 때문이다. 이것도 농사와 양어의 소득 차이로 계속될 것이 예상된다.

- 개보수지구와 신규지구의 일부 중복 : 기존지구에 접하여 신규 지구가 들어갈 경우 기존지구의 일부는 신규지구에서 물을 공급받는 것이 유리하여 실제적으로 신규지구로 삼입되는 현상이 생긴다. 이 때 기존지구에서 그만큼 제외해야 하는데 기존지구의 수익면적 등이 이미 모든 서류에 고정되어 있어 이를 간과하기 쉽다. 따라서 기존지구의 주변에서 신규지구를 개발할 경우는 계획면적의 책정에 특별히 유의할 필요가 있다.

10. 결 론

Bili-Bili 관개사업은 Bili-Bili 다목적 댐사업의 일부로 이미 완공되어 있는 댐의 용수를 관개목적으로 사용하고 배수로를 확장하여 농지의 침수피해를 방지하기 위한 사업이다. 23,690ha의 전체관개면적을 3개의 취입보로 공급하고 취입보에는 댐의 물을 적기에 공급하는 시스템으로 저수지에서 직접 간선수로를 통해 물을 공급하는 시스템과는 다른 형태이다. Bili-Bili 사업에서 특히 Kampili 취입보는 Bili-Bili 댐의 설치에 관계없이 화란 기술자들이 60여년 전에 설치하여 하천수를 취수하고 비교적 잘 운영되어 왔으며 대형 침사지를 보유하여 수로의 퇴적을 방지할 수 있었음을 확인할 수 있었다.

특히 Bissua 신규 취입보에도 대형 침사지가 설치되어 우리나라의 취입보와 대조를 이루는데 유사량이 많은 인도네시아의 특성상 불가피한 조치이다.