

〈공사보고〉

시화방조제 끝막이 공사를 마치고

서 영 제\*

1. 참조).

1. 서 론

방조제를 축조하여 국토를 확장하는 대단위간척 종합개발 사업에서 방조제의 최종끝막이 공사는 여러가지로 자연적인 영향을 많이 받으나 그 중에서 가장 큰 영향을 미치는 것은 시간적으로 변하는 조석의 조건에 따라 그 성공 여부가 결정되는 만큼 바닷물과의 숨막히는 한판 싸움결정전이라 할 수 있으며 방조제 공사의 클라이막스요 쏬이다.

시화 방조제 공사는 농어촌진흥공사가 경기도 시흥시, 화성군 및 용진군에 산재한 광활한 간척지를 개발하는 대규모 국토확장을 위한 사업의 하나이다. 수도권에 인접한 관계로 개발의 잠재력이 매우 높은 매립면적 17,300ha를 종합적으로 개발하기 위하여 시화만에 방조제 5조 12.7km를 축조하고 내수면에 담수호를 만들어 약 1억8천만톤의 수자원을 확보함과 동시에 UR라운드 협정이후 경쟁력 있는 영농기반을 조성함으로써 도서지역과 간척지를 균형 개발시키는데 그 목적이 있다. 주요 외곽 시설인 방조제 공사를 1987년 6월에 착공하여 1년만에 탄도(L=853m), 불도(L=290m), 및 대선(L=327m), 방조제를 완료하였고 '94년 2월 현재 시화1호 및 2호 방조제의 최종끝막이 공사도 성공리에 완료하여 완성단면을 위한 성토 및 피복석 공사가 진행중에 있다.

지금까지 국내 최대간척사업으로 기록될 시화방조제는 우량 농경지 조성면적 4,990ha, 도시개발 4,030ha, 공단건설 1,302ha 그리고 담수호 활용면적 6,100로서 그 위용을 발휘하게 될 것이다(그림

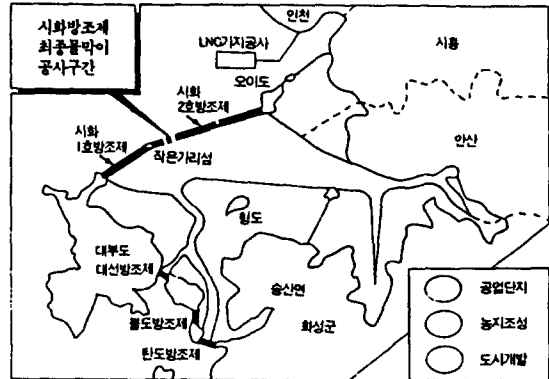


그림.1 시화방조제 외곽시설 개략도

2. 사업개요

가. 사업구역: 경기도 시흥시, 안산시, 화성군, 용진군(1도, 2시, 2군 일원)

나. 사업목적: (1) 국토확장  
(2) 우량농산물 생산  
(3) 수자원 확보  
(4) 산업안전 기반구축

다. 개발면적: 24,430ha

\* 농어촌진흥공사

구 분	계	간척지	배후지
계	24,430	17,300	7,130
매립면적	17,300	17,300	
개발면적	10,322	10,322	
-공단조성	1,302	1,302	
-도시개발	4,030	4,030	
-농지조성	4,990	4,990	
담수호	6,100	6,100	
용배수 및 기타	8,008	878	7,130

라. 주요시설

- (1) 방조제 : 5조 12,676m
  - 시화 1 호 방조제 = 3,816m
  - 시화 2 호 방조제 = 7,390m
  - 탄 도 방조제 = 833m
  - 불 도 방조제 = 290m
  - 대 선 방조제 = 327m
- (2) 담수호 = 1개소
  - 유역면적 = 42,720ha
  - 담수호면적 = 6,100ha
  - 총 저수량 = 3억 3천만톤
  - 유효저수량 = 1억 8천만톤
- (3) 배수갑문 = 2개소
  - 시화배수갑문 : 문 비 : 12m × 6.5m × 8련  
(L = 96m)  
통선비 : 6.6m × 14m × 1련  
어 도 : 5.0m × 2.5m × 1련
  - 탄도배수갑문 : 문 비 : 6.0m × 6.0m × 2련 (L = 12m)
- (4) 제염암거 : 2,200m/m × 2련 (L = 336m)
- (5) 선 착 장 : 5개소
- (6) 진입도로 : 4조 19,9km (B = 8.0m)

마. 사업효과

- (1) 직접효과
  - 국 토 확 장 : 17,300ha
  - 수 자 원 확보 : 1억 8천만톤
  - 우 량 농 산 물 생산 : 22,455톤/년
  - 해 안 선 단 축 : 98km
  - 투 자 수 익 륜 : 20.2%
- (2) 간접효과

- 농지 및 공업단지, 유통구조 개선 등으로 산업활전에 기여
- 수도권 인구분산 및 인천항 기지 활성화
- 고용증대 : 781만명
- 농어촌 관광단지의 여건조성

3. 사업추진경위

기간	내용	시행기관
1982-1986	기본조사 및 실시설계	농진공
1986. 7.21	건설부와 농림수산부간에 사업시행방안 협의	
	- 수 공 :	수 공
	o 외곽시설사업 시행주체	"
	o 공단 및 도시개발 시행주체	농진공
	o 노경지 조성사업 시행주체	"
	o 외곽시설공사 수탁시행	"
	o 사업완료후 방조제 및 담수호 인물관리	"
1986. 9.27	기본계획고시(건설부 제425호, 산촉법 제6조)	수 공
1987. 2.17	외곽시설사업 위수탁 협약체결(수공-농진)	
1987. 5.28	용지매수 및 보상업무 위수탁 협약체결	경기도
1987. 6. 8	실시계획 고시(건설부 제220호, 산촉법 제8조)	수 공
1987. 6.10	외곽시설공사 착공	현대건설
'87.9-'88.5	불도, 탄도, 대선 방조제 연결	
1993.12.23	시화1호 방조제 연결	
1994. 1.24	시화2호 방조제 연결	

4. 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	총사업비	'92까지	'93년	'94년이후	비고
계	480,000	266,266	50,808	162,926	
순공사비	172,214	83,539	21,165	67,510	
지급자재	6,138	2,133	-	4,005	
용지매수 및 보상비	246,973	173,718	28,500	44,755	
예비비 및 기타	54,973	6,876	1,143	46,656	

5. 지구현황

가. 기상(인천측후소 : 1949-1989년 자료)

구분	단위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
평균기온(일별)	℃	-3.2	-1.1	3.7	10.2	15.6	19.9	23.7	24.8	20.5	14.3	7.3	0.0	11.3
최고기온(일별)	℃	3.5	5.7	9.8	16.3	20.5	23.9	27.3	28.0	24.1	19.1	13.7	7.9	16.6
최저기온(일별)	℃	-10.6	-8.3	-2.5	4.6	10.5	15.7	20.0	20.9	15.7	7.2	-2.1	-8.1	5.3
평균풍속	m/sec	4.1	4.4	4.4	4.2	3.7	3.0	3.2	3.2	2.9	3.1	4.0	4.1	3.7
상대습도	%	65	65	67	68	71	78	84	81	75	70	67	66	71
중발량	m/m	47.3	53.8	85.4	118.8	150.8	146.3	129.3	142.0	120.6	100.5	65.7	50.0	1210.4
최대풍속(10분간)	m/sec	23.3	23.3	26.3	33.3	20.5	23.7	26.7	35.0	23.3	33.3	21.7	20.0	
풍향		NW	WNW	NNW	NW	SE	SW	WNW	S	SE	WNW	WNW	NW	

나. 해상

구분	단위	대부도	인천	비고
고극조위	EL.M	5.190	5.205	
약최고만조위		4.661	4.635	
대조평균만조위		3.976	3.988	
평균만조위		2.852	2.862	
소조평균만조위		1.728	1.735	
평균해면		0.014	0.000	
소조평균간조위		-1.700	-1.735	
평균간조위		-2.824	-2.862	
대조평균간조위		-3.948	-3.988	
약최저간조위		-4.633	-4.635	
저극조위		-5.614	-5.650	

6. 방조제 끝막이공사

가. 개요

최대조위차가 약 9.23m(약최고만조위 기준)이며 대조기의 유출입 최대조석량이 약 9억6천6백만 m<sup>3</sup>으로서 우리나라 최장 방조제로 기록될 시화방조제 끝막이 공사는 당초 38일간('93. 12. 2-'94. 1. 8)에 걸쳐 완료하는 것으로 하였다. 그러나 끝막이 단계 기간('93. 12. 16-12. 27, 12일간)을 마치고 난 후 예상조위가 실제보다 계속 높게 나타나고 '94. 1. 2일부터 1. 8일까지의 조위조건으로는 최종 끝막이 완료작업이 불리하게 되어 다소 조건이 좋은 '94. 1. 18-1. 24(7일간)으로 끝막이 일정을 조정하여 시행하였다. 따라서 총 끝막이 기

간은 '93. 12. 2-'94. 1. 24(54일간)까지로서 당초보다 대조를 한번 더 넘기는 방법이 채택되어 16일간의 연장이 불가피하였다.

끝막이 작업방법으로는 바지(Barge)선에 의한 해상작업과 덤프에 의한 육상작업 등으로 구분할 수 있으며 사석제 연결후 성토 시공까지는 다소의 기간이 필요하므로 사석제의 안전도 등을 고려하여 선단폭 8.0m를 10.0m로 변경 시행하고 작업시간도 최대한 21시간으로 조정하여 최종단계 작업에 전력을 다하도록 계획하였다. 또한 조류속이 증가하여 침단부가 위험한 것을 고려하여 국내 최초로 5t돌망태(복주머니형)(그림.2)를 특별히 제작하여 선단부를 보강하므로 유실을 최대한 방지하도록 하였다.

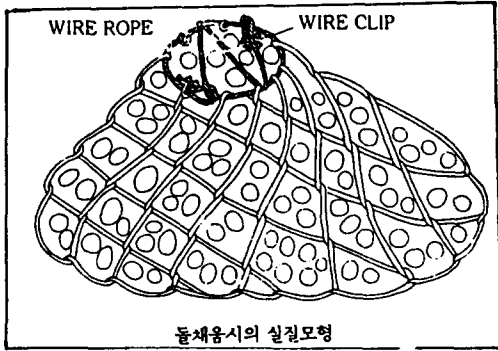


그림 2. 끝막이용 5톤형 돌망태

나. 시공방법

그림 3.과 같이 시화방조제 최후단계 끝막이 시공계획을 대부도측 NO.3+1에서 오이도측 NO.5+50까지 개방구간 155m를 '94. 1. 18-1. 24일까지 총 7일간 완료하는 것으로 계획하였다. 사석 운반 장비로는 해상에서 split(저개식)바지 3대와 평바지(plate) 4대를 이용하여 1일 2회 간, 만조의

정조시에 4회 투하하는 것으로 하고 육상에서는 15t 덤프로서 개방구간 양쪽에서 1일 24시간 풀가동하여 촌지의 시간도 아낌없이 작업을 계속하였다. 즉 육상과 해상에서 점축 및 점고식 병행 방법을 이용하여 개방구간을 좁혀 나갔다.

현장에서는 실제로 시간적으로 변하는 조위 및 조류속 등을 감안하여 1월 16일 오후부터 점진적으로 전진을 시작하였으며 창, 낙조시 조류속이 최대가 되는 시간에는 시화방조제에서 처음으로 개발하여 시험시공한 5t무게의 복주머니형 돌망태를 이용하여 사석의 선단부를 보강해 가면서 전진하였다. 그리고 해상에서의 점고식 작업시에도 5t형 돌망태를 철선 와이어로프를 이용하여 5개를 한조씩 묶어 30분간 지속되는 정조시(유속 1m/sec 내외)에 평바지에서 일시에 투하하였고 저개식 바지선을 이용하여 대석을 동시에 수심 깊은곳에 투하하여 작업능률을 한층 높였다. 시화방조제 끝막이 공사에서 특별히 시도된 시공방법은 그림 4.와 같이 점축 및 점고식을 병행하였고 육상에서의 사석 전진도 5t돌망태와 대석을 시간적으로 변하는 조위 및 조류속의 조건에 따라 유효 적절히 배분하여 성공한 사례를 남기게 되었다.

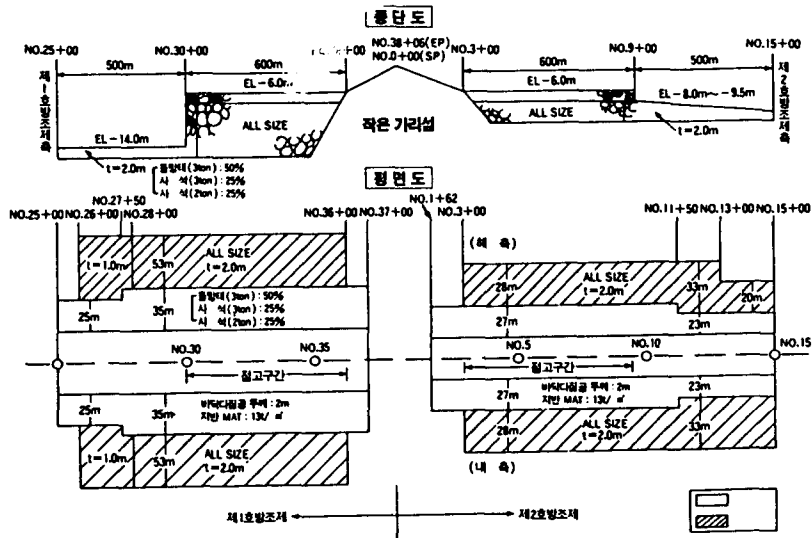


그림 3. 바닥다짐공 시공현황

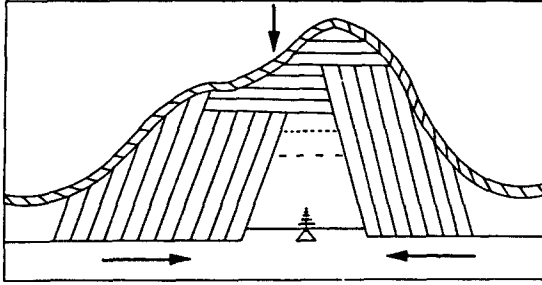


그림 4. 점고 및 점축식 병행공법

다. 사석(선단부)의 보호공법

시화 2호 방조제의 최종연결 끝막이 공사시기가 당초 '94. 1. 2-1. 8에서 1. 18-1. 24일로 연기 조정됨에 따라 방조제 공사에서 가장 어려운 대조기를 한번 더 넘겨야 하는 위험을 감수하게 되었다. 따라서 기 완성된 1차 사석선단부의 유실을 방지하고 시공된 사석 원단면을 보호하느냐 못하느냐가 끝막이의 성패가 달려 있음으로 우리기술진의 모든 지혜를 모아 보강공법을 연구하여 실천에 옮기게 되었다. 즉 최종단계의 끝막이 개방구간 155M에 대하여 점축식으로 완성된 사석단면의 선단부를 최대한 유실시키지 않도록 보강하는 특수한 공법이 고안되었다. 그림 5.에서 보는바와 같이 사

석선단부의 보강계획을 5ton 돌망태를 이용하여 선단부를 중심으로 3차례 돌려쌓아 와이어로프(wire rope=10mm)로 서로 연결하는 방식을 채택하였다.

사석 선단부의 폭도 기존의 B=10.0M 에서 15M로 그리고 수면과 접촉되는 부위에는 B=32.0M로 넓혀서 대조기간중 조석의 왕래로 인하여 선단부에 흐름의 저항을 가장 적게 받도록 타원형으로 완만하게 돌려서 보호하였다. 선단부의 돌망태는 겹겹히 쌓아 로프로 연결하였으므로 1차단면이 빠른 유속에 의해 활동(슬라이딩)되면 다시 2차 돌망태가 사석을 보호하겠끔 겹겹히 보강하여 무사히 대조를 넘길 수 있었다. 그림 6.은 사석 선단부의 종단도 일부이다.

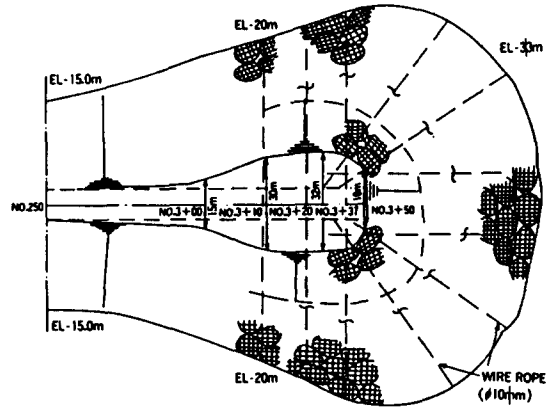


그림 5. 사석 선단부의 보강 평면도

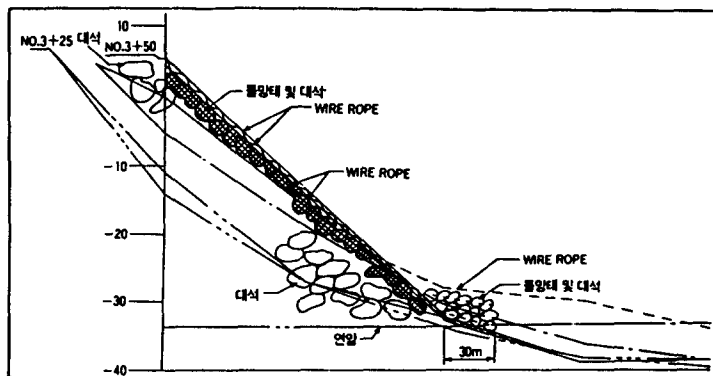


그림 6. 사석 선단부의 종단도

## 7. 맺 는 말

장장 54일간 험난한 바닷물과 사투를 벌인 끝에 시화 1, 2호방조제의 최종끝막이를 성공리에 완료하였다. 시공에 이용된 장비라고는 해상작업시 바지선 두종류 및 측량선과 육상에서는 기동성이 좋은 15ton 용량의 덤프와 대형 포크레인, 도차 등으로 5ton 돌망태에 전 희망을 걸고 순간순간에 일어나는 급박한 현지 악조건을 전기기술자의 몸과 용기로서 슬기롭게 대처하여 최종 155M의 개방구간을 성공리에 마무리 하였다. 어려운 난공사일수록 끝나고 나면 자료와 기술도 많이 축척되는법 맺는말에 향후 방조제 공사시 설계 및 시공에 고려하여야 할 사항 몇가지를 열거하고 끝을 맺고자 한다.

(1) 배수갑문 규모에 대한 현재까지 농진공에서의 설계방법은 유역내 설계홍수량을 이용하여 지구내 침수 및 홍수위 분석을 실시하므로 배수갑문의 규모를 결정하고 있으나 조석량이 많은 방조제의 경우 최종끝막이시 개방구간의 조류속을 감소시킬 수 있는 갑문규모도 검토 되어야 한다.

(2) 배수갑문 공사에 이용된 가체질 혈기를 최종끝막이 전에 시행하여야 하므로 갑문내측의 상단 표고도 외측과 동일하게 대조평균만조위 이상으로 설계하여 조위의 영향을 받지 않도록 하여야 하고 갑문을 폐쇄한 상태의 방어리 최종끝막이는 고려하지 말아야 한다.

(3) 배수갑문의 통과차선은 향후 50년후의 교통량을 추정하여 결정하여야 하고(최소한 왕복 4차선)방조제의 통과차선도 이와 병행하여 설계에 반영함이 타당할 것으로 사료된다. 예를 들어 기존의 삽교, 아산방조제의 경우도 배수갑문과 연결된 국도가 확장되므로 이로 인한 교통체증이 예상되고 있다.

(4) 최종끝막이 계획에 따른 개방구간의 최대유속은 가능한 한 4.0-5.0m/sec 이하를 넘지 않도록 개방구간의 점고와 개방폭을 조절하여 계획함이 지반세굴을 위해서도 경제적이다.

(5) 방조제가 완전히 연결되고 난후 완성단면을 위한 성토 시공까지는 내, 외수위차를 줄이기 위하

여 배수갑문을 개방해 두어야 하므로 배수갑문의 에프론 길이도 내, 외측 동일하게 확보하여야 한다.

(6) 방조제 설계시 인근해역의 조류속만으로 끝막이를 위한 개방구간의 설계유속을 검토, 비교하고 있으나 유속이 증가됨으로 인하여 국부적으로 발생하는 세굴현상등이 자주 나타남으로 조향의 변화도 세밀한 관측이 요망된다.

(7) 방조제 설계시 국부적으로 변하는 지반조건에 따라 수리현상이 복잡하게 나타나므로 이에 따른 세부적인 수리모형실험을 하여야 하고 또 현장에서 공사중 예기치 않은 수리현상이 많이 발생할 수 있으므로 수치모형 실험도 병행하여 검증이 가능하도록 반드시 준비하여야 한다.

(8) 방조제 노선의 바닥보호를 위하여 그리고 또 사석단면의 시공을 위한 점고 및 점축용의 사석 규모는 각각 별도의 공식을 이용하여 조건별로 계산하여 적용하여야 한다.

(9) 현재 당공사에서 사용하고 있는 조류속에 따른 Isbash 공식은 유속의 한계가 4.0m/sec 이하에서 이용함이 타당할 것으로 사료되며 그 이상의 유속에서는 다소 과다하게 계산되는 경향이 있다 (Shields 공식등을 적용함이 바람직함).

(10) 최종끝막이 계획기간은 가능한한 1-2월중의 소조기 (Neap Tidal period)가 적합하며 점고 높이는 가능한 범위내에서 높게 그리고 개방구간은 넓게 계획하는것이 유리하다.

## 8. 참 언

1970년대부터 식량증산 및 국토확장 계획의 일환으로 시작된 서남해안 간척사업은 수자원확보와 함께 넓은 간척지가 개발 조성되었다. 방조제를 축조하고 바다를 메우며 지형을 바꾸는 일은 자연의 원형을 인간이 임의적으로 변형시키는 만큼 시공전 후에 따른 엄청난 환경변화가 예상되고 있다. 따라서 현장에서는 여러가지의 수리, 지형학적 변화요소가 다양하게 나타나므로 모든 자료의 연속적인 관측과 기록이 우선 선행되어야 한다. 해상장비를 비롯하여 여러 악조건에서의 시공장비나 기술이 아직은 선진국에 비하여 뒤떨어져 있는 만큼 현장에

서 근무하는 사람들은 그 만큼의 육체적, 정신적 고통이 뒤따르게 마련이다. 간척사업은 토목기술의 대명사라 할 정도로 그 규모나 내용면에서 종합적 이므로 설계나 시공을 위해서는 다각도로 면밀하게 검토할 사항이 많다. 따라서 수천 혹은 수억년동안 자연발생적으로 만들어진 하구나 간척지를 간척사업 을 통하여 하루아침에 그 형상이 바뀌어진다고 생각하고 시간적으로 충분한 여유를 가지고 검토 또 검토하여 어떻게 설계하고 또 시공할 것인가 보 다도 왜 그렇게 하지 않으면 안 되는가 라는 관점 에서 앞으로 모든 문제점들을 풀어 나가야 할 것이 다.

### 참 고 문 헌

1. ASCE, Manuals and Reports on Engineering

Practice No.54, Sediment Engineering, pp.531-534, (1975).

2. Delft University Press, The Closure of Tidal Basin, P.650-652, (1984).

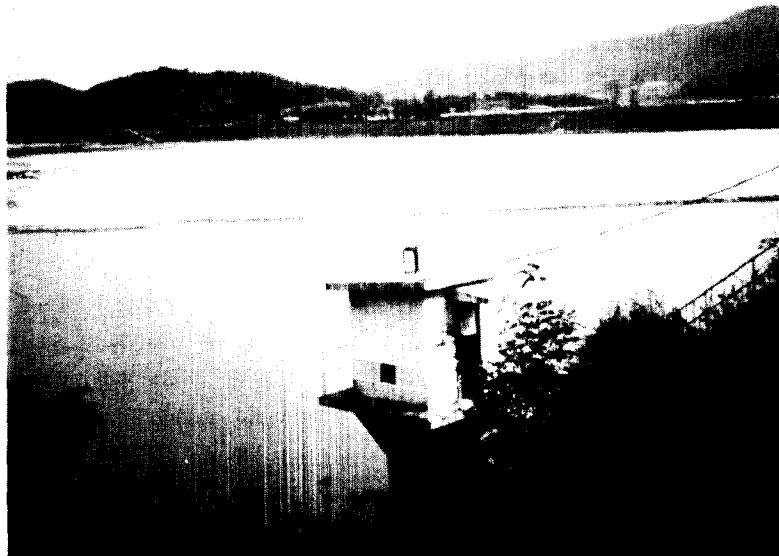
3. U.S.Army Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, Vol. II, pp.7-213-215, (1977).

4. U.S.Army Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, Vol. II, pp.7-249-263, (1984).

5. 건설부, 항만설계기준, pp.85-86.

6. 농수산부, 농지개량사업설계기준 해면간척편, p.369, (1991).

7. NEDECO, Saemankeum Comprehensive Tideland Reclamation Project, Technical Report No.6,7,9 (1991).



#### 사별

하천 옆 비탈위에서 바라본 사별 TM수위 관측소 (1993-10-12 KICT 촬영). 1988년 1월부터 관측이 개시되어 낙동강 홍수예경 보 시스템에 포함되어 있다. 유역면적은 약 7,248km<sup>2</sup>이고, 하폭은 약 600m에 이르나 사진에서 보이는 바와 같이 물길이 넓은 모래밭을 경계로 갈라져 있고, 수위탑이 있는 우안쪽의 유량이 많다. 매호 양수장이 직하류에 있으며, 하천이 왼쪽으로 만곡리므로 홍수시 물의 쓸림이 발생할 것으로 보인다. 하상은 모래가 주를 이룬다.