화옹방조제 끝막이 공사 시행
Hwaong Sea Dike Tidal Closure

*김 현 영 · 유 영 진(농업기반공사)
*Kim, Hyun-Young · Yu,Yeong-Jin

Abstract

The Sea dike tidal closure works has traditionally ended in the failure. Therefore, the success of the tidal closure in Hwaong in the sea near Inchon where has the greatest tidal gap in our country deserves to consider its meaning. While its process was going on, we had the difficulty like bad weather, unexpected ground settlement, flow velocity beyond the imagine, etc. Moreover, environment group's rush was so fierce that the works could have been delayed. This works showed that not only technical aspects but also social problems(environment group's rush and public discontents) were important factors in accomplishing the works. Finally, all of the difficulties were overcome and the tidal closure works were successful. So, This success is the best example in a kind of the another works in itself.

1. 사업개요

○ **사 업 명 : 화옹지구 우정단지 외곽공사** ○ 구 **역 :** 경기도 화성사우정 · 장안 · 남양 · 마도 · 서신면
○ **매립면적 :** 총 매립면적 6,212 ha(농지조성:4,482ha, 담수호:1,730ha)
○ **방조제길이 :** 2조 9.81km ○ **배수갑문 :** 6.7m×12.5m×6련, Sill 표고 EL(-) 5.50m
○ **사업기간 :** 1991 ~ 2004년(158개월)

2. 화옹방조제 끝막이 특성

화옹방조제의 끝막이는 대조차, 대조시 조석량, 최대유속 등을 고려할 때 세계에서 4번째의 난공사로 평가되고 있다(한국농공학회, 2000). 제3위인 네덜란드 Eastern Scheldt의 Storm surge barrier는 끝막이 공사를 하지 않고 갯골 3개소에 3km의 방조갑문을 조립 설치하였고 새만금은 아직 끝막이를 하지 않았기 때문에 실질적으로 시화지구에 이어 2번째의 난공사로 평가된다.

세계적으로 조석간만의 차가 가장 높은 인천 지역부근에서 끝막이가 실패하지 않고 성공리에 마무리 할 수 있었다는 것은 우리나라 간척 기술의 역사를 다시 써야 할 것으로 볼 수 있다. 또 다른 간척사적 의의는 기술 외적인 요인들이 끝막이 공사를 더욱 어렵게 만들었지만 이를 슬기롭게 극복하였다는 사실이다. 이전의 끝막이 공사는 기술과 시공장비에 초점이 맞추어져 추진되었으나 화옹방조제 끝막이의 경우 어민들의 집단민원, 지방정부의 수질개선비용부담 요구, 환경단체의 대안없는 갯벌보전 주장 등으로 더욱 난공사로 여겨지게 되었다.

최근에 발전된 간척기술과 장비 덕분에 여기서 남는 에너지와 시간 및 비용을 어민, 지방정부, 언론, 환경단체 등에 소모하게 되었고 이런 업무를 무리 없이 처리함으로서 변화된 사회환경에 적절히 대응할 수 있는 노하우를 축적하였다. 이러한 사실은 기술과 장비 발전에 못지 않은 간척사적 중요한 의의로 간주되어야 할 것이다.

3. 끝막이 공사시행

(1) 준비단계

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)

화옹방조제 전체 9.81km 중 끝막이를 위해 남겨둔 개방구간은 1.0km 였다. 그동안 1991년부터~2001년12월30일 까지 8.81km 공사를 시행하였다, 화옹방조제에 대한 바닥은 끝막이시 최대 7.0m/s 유속에 견딜수 있도록 보강하였다.

당초 바닥보호공은 22m~36m였으나 수리모형시험을 통해 두께 2.0m 폭 90m~108m로 보강하였으며 바닥보호공의 공사는 정밀시공을 요하기 때문에 GPS를 이용한 수심측량기(XR5 오차범위±0.20m)로 개방구간을 측량하였으며 측량결과에 따라 최신 정밀공법인 리마다공법으로 지반MAT와 돌망태 및 사석 등을 시공하였으며 돌망태와 사석 투입비율은 「화옹지구 방조제 외곽 수리환경연구」 결과에 의해 25%에서 50%로 변경 하였다, 또한 배수갑문 내측 바닥보호공 길이를 당초12m에서 66m로 보강하고 시행전 안전점검을 완료하였다.

그 외에 준비단계에서 시행하였던 사항으로서 계획된 가적물량을 확인 점검하고, 공사중 침수 예상되는 배후지 634ha에 대한 침수분석을 하여 대책을 수립하였으며 내측에 정박중인 400여척 선박에 대하여 외측으로 대피토록 하였다.

(2) 끝막이 I 단계

(가) 공사시행

I 단계 구간은 400m로 일 투입물량은 21,852㎥로 계획하였으나 장비 작업능율 향상으로 일 투입물량이 28,888㎥로 증가되어 당초보다 2일 빨라진 5일만에 I 단계 계획이 완료되었다.

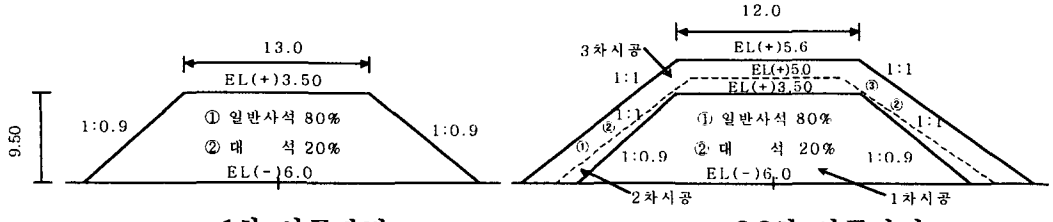
시공방법은 점축식으로 덤프에 의한 육상 작업으로 시행하였으며 덤프의 투하시간 단축과 장비운행의 효율적인 관리를 위해 운반도로 여건을 개선하였고 장비운행은 시종점부 작업시간은 총 218시간 운행하였고 덤프는 총 508대가 투입되었다..

공사중 GPS을 이용한 정밀수심 측량기로 1회/일 기초지반 변화를 관찰하였고 변화시 바지선 2대를 이용한 해상투하로 기초지반을 보강하였으며 시공은 점축식으로 전진과 동시에 사면의 급경사 단면부에 육상보강을 실시하였다.

시공중 지반 침하등 응급상황이 발생하였으나, 원인분석 및 대책을 수립하여 압사석을 육상과 해상으로 병행시공하면서 I 단계 끝막이 계획구간 400m를 계획보다 앞당겨 완료하였으며 시공중 조류속에 따른 사석투하방법 등을 검토하였다.

(나) I 단계 끝막이 시공단면

끝막이 시공 단면은 끝막이 I 단계와 최종단계 구분없이 3차례로 나누어지며. 첫째는 1차 시공단면과 같이 전진속도를 빠르게 하기 위해 표고 (+)3.5m에 폭 13m로 하였으나. 이는 소조기간에 공사를 한다는 전제하에 시공속도에 초점을 맞춘 것이다 대조기에 갈수록 조위상승으로 인하여 시공단면표고를 조위변화에 맞게 단면을 조정시공 하였으며 I 단계 완료 후 대조대기기간동안 2차단면 표고EL(+)5.0m로 시공하였다.



1차 시공단면 2,3차 시공단면

[그림-2] 끝막이 I 단계 시공단면

(3) 끝막이 최종단계

(가) 공사시행

I 단계완료후 3월14~3월17일 4일간은 대조대기 기간으로 높은 조위에 대비하여 공사를 잠시중단하고 조류속에 의한 지반변동 및 전진된 사석단면 유실과, 조위변화등 조류속 관찰 및 장비수급 현황과 투입물량 비축현황을 파악하여 과부족에 대한 대책을 수립하여 최종끝막이 시행에 이상 없도록 대비하였다.

끝막이 최종단계는 끝막이 구간 1,000m중 600m를 1차 사석시공단면으로 2002년 3월 18일부터 3월 22일까지 당초 7일에서 5일간으로 단축해 끝막이를 완료하였다.

시공중에도 계속적으로 조류속에 의한 세굴이 진행되어 수심측량을(X.R.5 오차범위 ±0.20m) 2회/일 실시하였고 측량 결과에 따라 돌망태와 사석 등으로 평바지선 2대와 저개식바지 1대를 이용 바닥보호공 보강뿐만 아니라 시공단면 전진시 육상작업과 병행하여 선단부에 직접 투하하였다.

시공중 낙석 및 강우 등에 의한 응급상황에 대비하였고 개방구간과 끝막이 기간 단축으로 4.3~5.5m/s에서 7.0m/s로 조류속이 증가되어 규격석 비율을 76.6%에서 71.3%로 낮추고 돌망태 비율을 23.4%에서 28.7%로 상향조정하여 증가되는 유속에 대응하였다. 또한 회차로 설치구간은 30m~50m 정도로 설치하였다.

[표-1] 끝막이 최종단계 일별 전진거리 및 물량 투입 실적

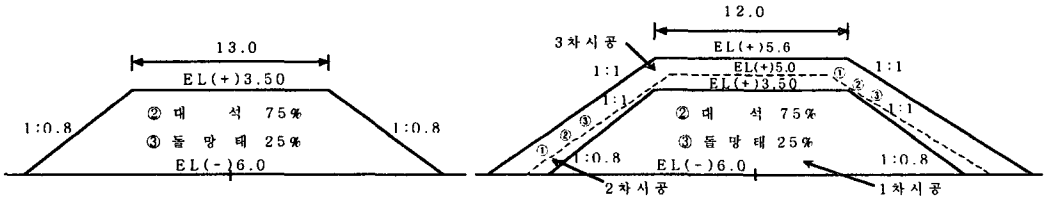
구간	일자	시점부(매향측)		종점부(궁평측)		계		수리조건	
		전진거리 (m)	물량 (㎥)	전진거리 (m)	물량 (㎥)	전진거리 (m)	물량 (㎥)	개방구간 (m)	유 속 (m/s)
①	3.18	56	12,244	72	14,714	128	26,958	472	4.88
②	3.19	53	14,004	61	17,593	114	31,597	358	5.65
③	3.20	62	14,204	64	14,240	126	28,444	232	5.94
④	3.21	53	11,871	53	13,254	106	25,125	126	6.35
⑤	3.22	64	13,421	62	14,969	126	28,390	-	6.74
계		288	65,744	312	74,770	600	140,514		

"주" 1. 투입량은 끝막이 1차단면으로 전진시공량임

(나) 최종 끝막이 시공단면

끝막이 최종 시공단면의 크기는 끝막이 I 단계와 같으나 최종시공단면은 사석재 혼합 비율이 20~80%에서 25~75%로 다르다, 시공계획은 EL(+)3.5m로 계획되었으나 대조대기 후 3월17일~18일 높은 조위가 EL(+)4.12~3.86m로 낮아져서 I 단계 2차보강단면 표고 EL(+)5.0m에서 시공표고를 EL(+)4.5m로 조위변화에 따라 표고를 조정하였으며 최종 끝막이를 앞두고는 전진속도를 빠르게 하기 위해 1차 시공단면 같이 표고 EL(+)3.5m에 폭 13m로 하였다.

2,3차 단면은 끝막이 완료 후 발생 최고 조위가 EL(+)5.11m, 최저조위가 EL(-) 4.63m, 조차가 9.74m 가 발생된 조건으로 파랑이 높게 발생하므로 최종 시공단면은 [그림-4]와 같이 둑 표고는 EL(+)5.6~EL(+)5.80m, 폭12.0m, 사면경사는 1:1로 시행되었다.



1차 시공단면 2,3차 시공단면

[그림-4] 최종 끝막이단계 시공단면

4. 계획대 실적

끝막이중 소요될 투입계획량은 I 단계는 141,777㎥이며 최종단계는 208,776㎥로 총 350,553㎥을 계획하였으나 끝막이중 실투입량은 I 단계 167,996㎥로 118%가 투입되었고 최종단계는 190,355㎥로 91%가 투입되었으며 총 358,351㎥가 투입됨으로써 7,798㎥이 증가되어 끝막이 계획량으로 끝막이 단면을 충분히 보강시켜 안정된 단면을 유지 할 수 있었다.

[표-2] I 단계 끝막이 장비계획 대 실적분석표

구 분	시 점 부			종 점 부		
	계 획	실 적	대 비	계 획	실 적	대 비
1)실작업시간(hr)	19	17.8	94%	19	20.0	105%
2)전진거리	33	40	121%	33	40	121%
3)대당부리기시간(sec)	50	35	70%	50	34	68%
4)사석 투입량(㎥)	70,847	72,576	102%	70,930	69,875	99%

[표-3] 최종단계 끝막이 장비계획 대 실적분석표

구 분	시 점 부			종 점 부		
	계 획	실 적	대 비	계 획	실 적	대 비
1)실작업시간(hr)	22	23	104.5%	22	23	104.5%
2)전진거리(m)	47	57.5	122%	47	62.7	133%
3)대당부리기시간(sec)	40	35	78.5%	40	34	85%
4)사석 투입량(㎥)	104,388	66,894	64.80	104,388	74,770	71.63%

5. 끝막이 평가

조석간만의 차가 가장 큰 인천지역에서 안전사고 하나 없이 끝막이를 성공한 요인은 7.0m/s의 유속에 견딜 수 있도록 바닥 보호공을 첨단 장비를 이용하여 지반매트 깔기 및 돌망태 투하를 계획된 지점에 정확하게 정밀시공 할 수 있었고, 끝막이 계획에 필요한 사석재 물량을 어민, 환경단체 등의 끊임없는 공사반대에 대비하여 끝막이 시행계획량을 방조제 양단 가적장에 전량 비축함으로 어떠한 외부세력의 방해로 인해 계획된 시공일정에 차질 없도록 끝막이 물량 투입의 극대화를 꾀하였다. 또한 차량확보 및 숙련된 작업요원 확보 와 시행주 및 시공사측의 일체감 조성과 참여자간의 상호신뢰가 높았으며, 최적의 끝막이 계획 수립 및 대조대기시의 보강조치와 신속한 의사 결정에 의한 현장조치, 정확한 기초지반 변동파악 신속한 원인규명 원칙에 입각한 신속하고 적극적인 민원처리가 끝막이를 성공적으로 한 가장 큰 요인으로 생각한다.