남해안 연약지반의 방조제 축조에 따른 시공관리의 문제점

- 고흥 방조제 시공을 중심으로 -

Countermeasures against the Collapse of Soft Foundation due to Tidal Dike Loading along Southern Coast

- With an emphasis on the Construction of Koheung Tidal Dike -

이 윤 환 *1
Lee, Youn Hwan
이 문 수 *2
Lee, Moon Soo
○ 박 근 수 *3
Park, Keun Soo

Abstract

This study deals with some countermeasures against the collapse of geotextile-covered foundation which is composed of very soft clayey soils, when tidal dike is under construction on the coast. Breaking of geotextile and heaving of the ground near lower part of slope of the dike have heavily developed. A measure for the dike works should be considered and proposed.

Excess pore water pressure, settlement and lateral displacement should be observed through field measurement in order to compare with results of numerical analysis for the purpose of optimization of the tidal works (with which the construction works can be accomplished at the minimum expense, securing the required factor of safety). As for now, however, the field measurement can not be performed due to the difficulty in the setting and monitoring measurement instruments.

---

*1. 농어촌진흥공사, 전남지사 기반조성부장
*2. 정회원, 전남대학교 농과대학 농공학과 교수
*3. 남광기업주식회사

요 지

본문은 초연약점성토로 구성된 지반위에 방조제를 시공할 경우 연약지반에 토목섬유를 부설하고 1차사석, 2차사석 및 성토공사를 진행하여 나갈 때, 토목섬유의 파열 및 성토법면 하부근방의 지표면 융기로 인하여 방조제의 성토면이 함몰(붕괴)되는 경우가 발생하고 있어, 이에 관한 대책을 검토하여 향후 효율적인 시공방법을 제안하고자 한 것이다.

또 간극수압, 침하 및 측방변위 등의 자료를 현장계측으로부터 구하고 유한요서해석결과와 비교하여 방조제 시공의 최적화(소정의 안전율을 유지하면서 최소의 비용으로 시공)를 꾀하고자 하였다. 그러나 현장계측계획을 시도하고 있으나 계측기계의 설치 및 작동의 어려움때문에 현재까지 현장계측은 수행되지 않고 있다.

1. 서 론

간척사업은 매년 철도, 도로부지, 공업단지, 주택단지 조성 등으로 인하여 잠식되는 농경지의 대체로서 뿐만아니라, 영농의 기계화를 위한 우량농지의 확보, 식량의 무기화에 대비한 자급자족의 식량확보 임해공업단지의 조성, 육운개선 및 이상적인 농촌정주권개발의 차원은 물론 대중국무역의 교두보, 항만시설의 확충여건조성 및 멀지않아 도래할 조국통일에 대비하여 계속적으로 추진해야 될 범국가적인 사업이다.

이와 관련 우리나라의 서남해안은 간사지가 잘 발달된 Lias식 해안을 이루고 있어 간척으로서 천혜의 입지조건을 갖추고 있다. 그런데 본 연구에서 논의하고자 하는 남해안의 고흥만은 서해안의 지질과는 다소 차이점이 발견되고 있다. 서해안의 경우는 어느정도 두께의 모래나 실트층이 해저지표면으로부터 일정깊이까지 분포되고 있으며 그 아래에 연약점토층이 존재하고 있다. 이에 반하여 고흥만의 방조제 시공위치는 지표면부터 매우 연약한 점토층이 나타나고 있어 방조제 축조를 매우 어렵게 하고 있다.

그러므로 본고에서 취급한 고흥간척공사 방조제의 경우는 1차사석시공에 앞서 인장력이 매우 큰 토목섬유를 부설하여 하중을 고르게 분포하면서 계속적인 2차사석 및 토사성토공을 시도하고자 하였으나, 이 방조제의 기초지반이 초연약지반인데다, 조수간만차가 크므로 유속으로 인한 성토재료의 유실을 방지하기 위하여 대형의 석재를 사용하였기때문에 육상공사에서와 같이 지반보강을 목적으로 사용되고 있는 토목섬유의 효과를 충분히 살리지 못하고 있는 실정이다. 또한 시공관리의 관건이 되고 있는 계측기구도 해상작업여건상 설치운영하는데에도 고민을 해야 될 입장이다.

이러한 문제점에 관하여 이 발표회를 통하여 충분히 논의를 거쳐 장차의 시공관리에 만전을 기하며 앞으로 있을 유사한 공사를 위하여 참고자료를 확보하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 토질조사

2.1 지형

본 공사위치는 그림 1에서와 같이 전남 고흥군 두원면 및 도덕면에 속한다. 산계는 해발 300m이하의 완만한 구릉지로서 전남의 다른 지역과 같이 전형적인 노년기에 해당한다.

또 Lias식 해안으로서 침강해안의 특징을 보이고 있으며 소규모의 인공방조제를 구축하여 민간주도의 간척사업을 추진한 곳이 군데군데 발견된다.

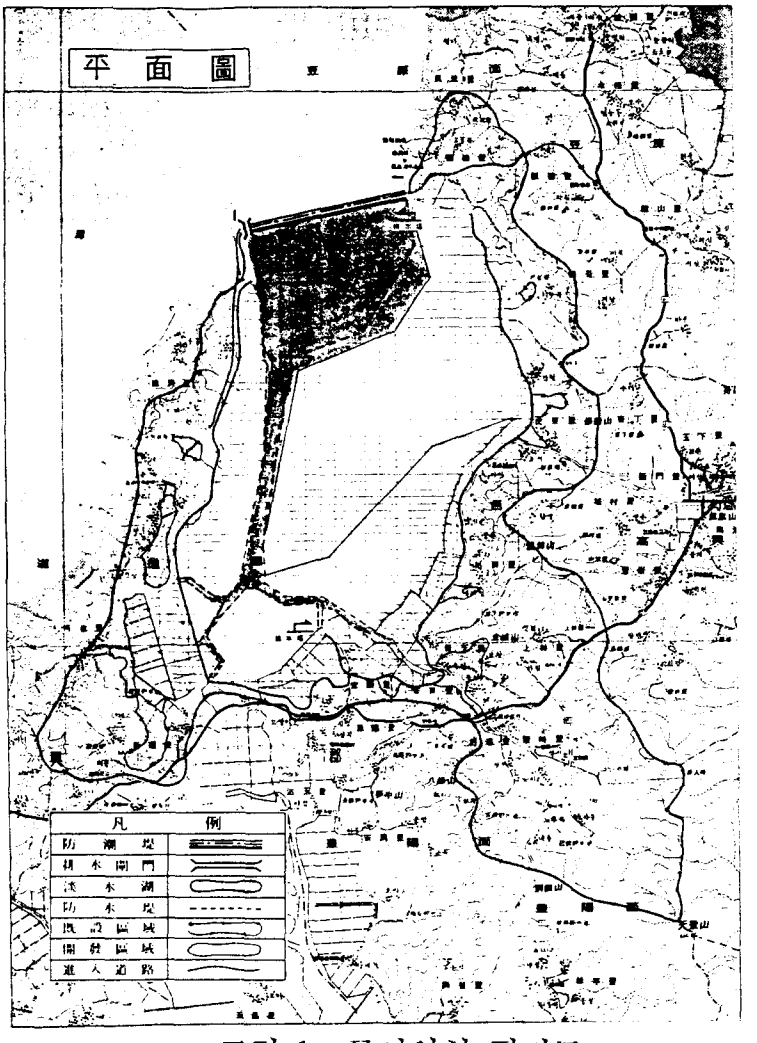


그림 1. 공사위치 평면도

인근 산이나 노두에서 발견되고 있는 암석으로부터 판단할 때, 산록에는 풍화가 심하게 일어나서 토사 및 풍화대의 심도가 깊게 분포되고 있으며 해안에서는 모암에서 분리되어 운반퇴적된 전석 및 자갈층이 얇게 퇴적되어 있다.

2.2 지질

본 공사지역내의 지질은 혼성질 편마암(magmatic gneiss)이 대종을 이루고 있으며 또한 화산활동에 의하여 후기에 관입된 염기성 암맥층도 많이 보인다.

방조제위치의 시·종점부는 혼성질편마암이 분포하며 모암의 암상은 담회색내지 담황색을 띠며 오랜 풍화작용으로 강도가 저하되었으며 불규칙적으로 절리 및 균열이 많이 발달되어 있다.

시추위치도는 그림 2에 나타낸 바와 같고, 시추조사 총괄표는 표 1에 나타낸다.

또 표준관입시험 결과는 표 2와 같으며 불교란시료 총괄표는 표 3과 같다.

방조제지질 주상도는 그림 3에 나타낸 바와 같다.

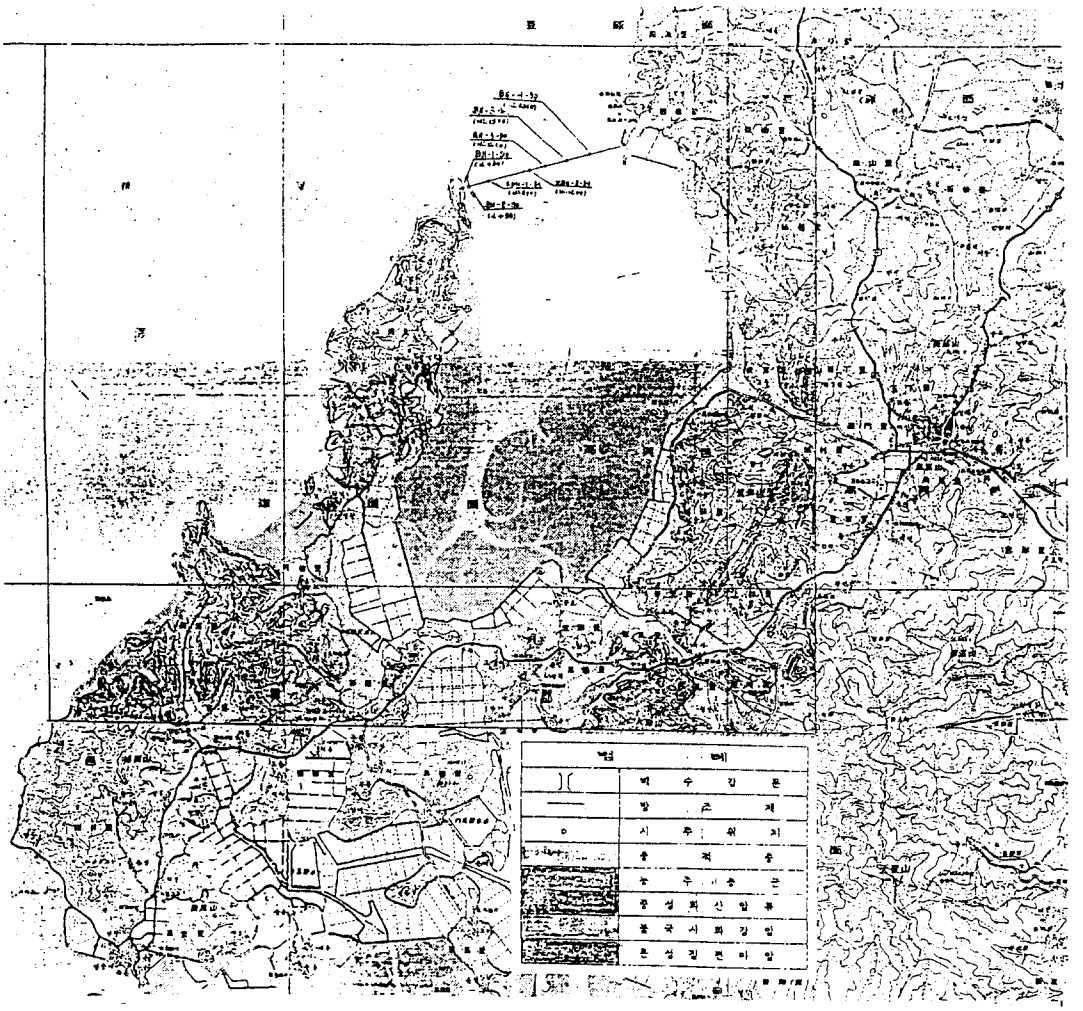


그림 2. 시추위치도

표 1. 시추조사 총괄표

공번	측 점	구조물	지질 (M)								N (회)	S (점)
			실트	모래	사력	풍화대	풍화암	연암	보통암	계		
BH-1	No 0+34	배수갑문	1.5	-	2.5	3.5	1.0	1.0	1.0	10.5	2	-
2	No 0+90	"	6.9	1.1	2.5	4.5	3.0	1.0	-	19.0	3	3
3	No15+ 0	방 조 제	15.0	-	-	13.5	2.0	1.0	-	31.5	6	4
4	No23+ 0	"	17.5	-	-	16.7	2.3	1.0		37.5	7	3
계			40.9	1.1	5.0	38.2	8.3	4.0	1.0	98.5	20	10

표 2. 표준관입시험 결과표

공 번	측 점	구 조 물	관입심도(M)	N치(회)	지 질
BH - 1	No 0 + 34	배수갑문	3.0 ~ 3.45	15	실트
"	"	"	5.0 ~ 5.45	43	풍화대
BH - 2	No 0 + 90	"	2.0 ~ 2.45	0	실트
"	"	"	5.0 ~ 5.45	0	"
"	"	"	7.0 ~ 7.45	15	모래
"	"	"	9.0 ~ 9.45	13	사력
"	"	"	11.0 ~ 11.45	38	풍화대
BH - 3	No 15 + 0	방 조 제	2.0 ~ 2.45	1	실트
"	"	"	5.0 ~ 5.45	0	"
"	"	"	7.0 ~ 7.45	2	"
"	"	"	10.0 ~ 10.45	1	"
"	"	"	12.0 ~ 12.45	17	"
"	"	"	14.0 ~ 14.45	44	"
BH - 4	No 23 + 0	"	2.0 ~ 2.45	1	"
"	"	"	5.0 ~ 5.45	1	"
"	"	"	7.0 ~ 7.45	0	"
"	"	"	10.0 ~ 10.45	1	"
"	"	"	12.0 ~ 12.45	1	"
"	"	"	15.0 ~ 15.45	23	"
"	"	"	17.0 ~ 17.45	45	"

표 3. 불교란시료 총괄표

공번	측 점	구 조 물	채취심도(M)	지 층	비 고
BH - 2	No 0 + 90	배수갑문	1.0 ~ 1.7	실 트	
"	"	"	2.0 ~ 2.7	"	
"	"	"	6.5 ~ 7.0	"	
BH - 3	No 15 + 0	방 조 제	2.0 ~ 2.7	"	
"	"	"	5.0 ~ 5.7	"	
"	"	"	7.0 ~ 7.7	"	
"	"	"	11.0 ~ 11.7	"	
BH - 4	No 23 + 0	"	2.0 ~ 2.7	"	
"	"	"	7.0 ~ 7.7	"	
"	"	"	11.0 ~ 11.7	"	

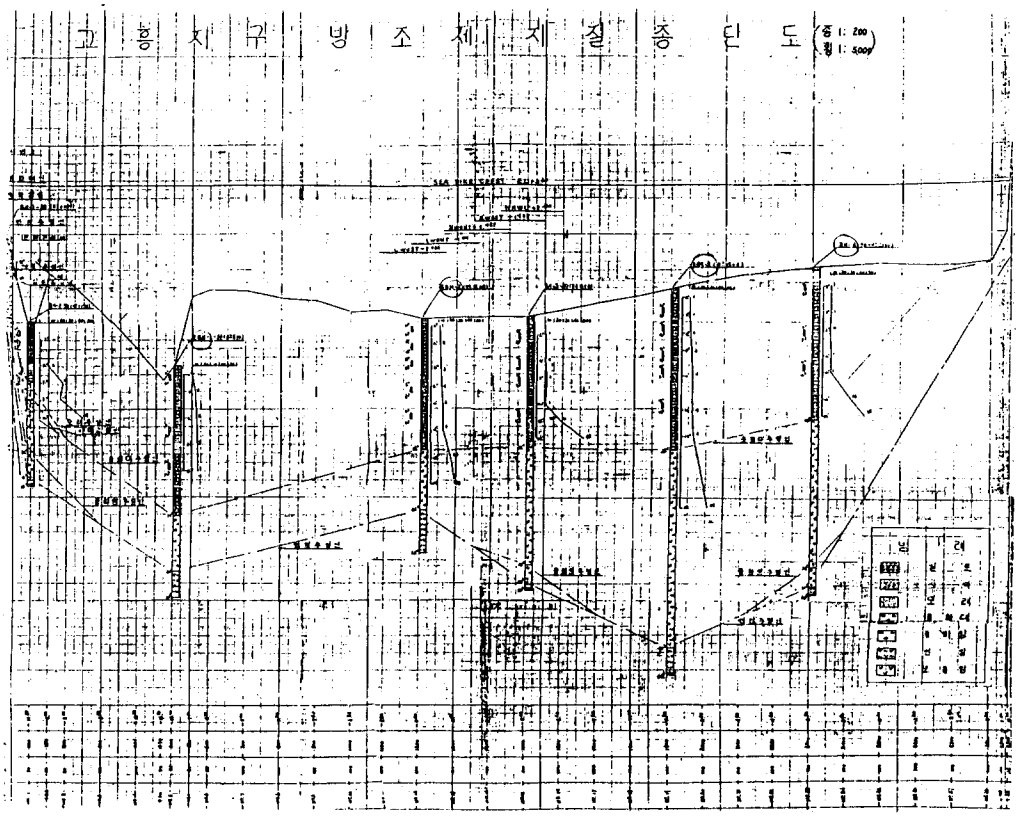


그림 3. 방조제 지질 종단면도

2.3 자료분석

배수갑문 예정위치 기초지반의 지층분포는 BH - 1(No 0 + 34)에서 사력, 실트, 풍화대, 풍화암, 연암, 보통암 순이고 BH - 2(No 0 + 90)에서는 실트, 모래, 사력, 풍화대, 풍화암, 연암순으로 분포한다.

배수갑문 예정위치에 분포하는 실트층은 1.5 ~ 6.9 M의 두께로 분포하고 시점에 가까울수록 얇게 분포된다. 사력층은 2.5 M의 두께로 분포하고 구성물질은 1~5 cm 내외의 력과 조립사, 세립질 실트로 구성되어 있다. 방조제 시공위치 기초지반의 지층분포는 실토, 풍화대, 풍화암, 연암순으로 분포하고 실트층은 15.0 ~ 17.5 M의 두께로 분포된다.

실트층내에서 N치는 상부 2.0 ~ 12.0 M 구간에서 0 ~ 2로 매우 연약하고 하부 12.0 ~ 17.0 M 구간은 17 ~ 45로 매운 단단하다. 이들을 나타낸 것이 그림 4의 주상도이다.

시 추 주 상 도

지구명	고흥서구 (해창)	공번	BH-1	위치	전남 고흥군 도덕면
구조물 (노선명)	배수갑문	측점		표고	-0.60
조사기간	90. 1. 29. ~ 90. 10. 12. (14일간)	조사장비	해상장비	F.R.P	조사자
			시추기	YSO-1H	

심도 (m)	층후 (m)	주상도	지층구분	설명				코아회수율 (%)	투수시험 (cm/sec)	시료채취		표준관입시험 (회)
				지층구성	색	구성입자	기타 함유물			교란	불교란	심도 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
2.5	2.5		사 력	력의크기: 1~5cm	담회색	조립사, 장사립	패각편 함유					
4.0	1.5		실 트	(ST: 유)	녹회색	세립질				3.0 3.46		3.0
7.5	3.5		풍화대	구성암을 알아볼 수 있는 풍화력 (Ho-M)	담회색	력형 장석 운모 점토광물 1~8%				5.0 5.46		5.0
8.5	1.0		풍화암	석영장, 력	흑갈색	구성광물을 알아볼 수 있는 풍화력						
9.5	1.0		연 암	균열 발달	-	력질 장석 주로		10				
10.0	1.0		보통암	흑색 전	암회색			40				

시 추 주 상 도

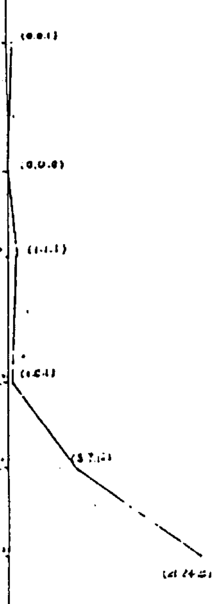
지 구 명	고흥지구 (해안)	공 번	BH-4	위 치	[illegible]
구 조 물 (노선명)	방조제	측 점	[illegible] 2+0	표 고	
조사기간	[illegible] ~ [illegible] (일간)	조사장비 — 해상장비	F.R.P	조사자 — 지질	[illegible]
		조사장비 — 시추기	YSO-1H	조사자 — 기능	[illegible]

심도 (m)	층후 (m)	주상도	지층구분	설명 — 지층구성	설명 — 색	설명 — 구성입자	설명 — 기타 함유물	코아회수율 (%)	투수시험 (cm/sec)	시료채취 — 교란	시료채취 — 불교란	심도	표준관입시험 (회) 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
0 ~ 17.5	17.5		실트	Plastic (very soft); 전착력과 함수비 높다; (very stiff); (hard)	녹회색	무기질물로서 은세고마질; 약간의 세립질 석영립이 [illegible]; [illegible]	패각류 함유; 유기물 [illegible]			2.0, 5.0, 7.0, 10.0, 12.0, 15.0, 17.0	2.0, 7.0, 11.0		(0/0/1), (0/0/1), (1/1/0), (1/1/0), (1/1/0), (3/5/13), (12/[illegible])
17.5 ~ 34.2	16.7		풍화대	구성광물은 대부분 풍화되어 점토화됨	황갈색	석영, 장석, 운모 등 [illegible] 지표 [illegible]; 암조직이 파쇄되어 있음							
34.2 ~ 36.5	2.3		풍화암	풍화가 심하게 진행됨	황갈색	암조직이 파쇄됨; 석영, 장석, [illegible]							
36.5 ~	1.0		연암	흑운모 편마암	암회색			10					

시 추 주 상 도

지구명	고흥지구(해상)	공번	BH-3	위치	전남 고흥군 [illegible]
구조물(노선명)	방조제	측점	No. 15+6	표고	
조사기간	[illegible]. 17. ~ [illegible]. 21. (5 일간)	조사장비	해상장비: F.R.P / 시추기: YSO-1H	조사자	지질: [illegible] / 기능: [illegible]

심도 (m)	층후 (m)	주상도	지층구분	지층구성	색	구성입자	기타 함유물	코아회수율 (%)	투수시험 (cm/sec)	시료채취 교란	시료채취 불교란	심도	표준관입시험 (회)
0 ~ 15.0	15.0		실트	Plastic (very soft) 점착력이 강하고 함수비 높다 (very stiff) (hard)	녹회색	무색광물로서 약간의 패각류 혼입 / 1% 이하의 세립 [illegible] / 11.5~12.0 (13.0) 구간에 1~4cm 정도 [illegible]	패각혼입			2.0~2.45, 5.0~5.45, 7.0~7.45, 10.0~10.45, 12.0~12.45, 14.0~14.45	2.0~2.8, 5.0~5.9, 7.0~7.7, 11.0~11.7	2.0, 5.0, 7.0, 10.0, 12.0, 14.0	(0.0.1), (0.0.0), (1.1.1), (1.2.4), (5.7.12), (41.24.[illegible])
15.0 ~ 28.5	13.5		풍화대	부서지는 [illegible] 풍화 / 원토와 [illegible] 있으며 [illegible]	[illegible]	석영, 장석 [illegible] / 풍화상태 보통							
28.5 ~ 30.5	2.0		풍화암	세립질 [illegible]	[illegible]	장석 일부 [illegible] 풍화되어 있으며 [illegible] 조직 [illegible]							
30.5 ~ 31.5	1.0		연암	[illegible]	[illegible]	석영, 장석, 흑운모		10					



시 추 주 상 도

지구명	고흥지구 (해상)	공번	BH-2	위치	전남 고흥군 도덕면
구조물 (노선명)	배수갑문	측점	[illegible]	표고	-1.0
조사기간	·10·13.~ ·10·16. (4 일간)	조사장비	해상장비: F.R.P / 시추기: YSO-1H	조사자	지질: [illegible] / 기능: [illegible]

심도 (m)	층후 (m)	지층구분	지층구성	색	구성입자	기타 함유물	코아회수율 (%)	투수시험 (cm/sec)	시료채취 (교란 / 불교란)	심도	표준관입시험 (회) 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
6.9	5.9	점토	Plastic (very soft) 점착력과 함수비 높다	녹회색	[illegible] 1% 이하의 [illegible]	[illegible]					
8.0	1.1	모래	coarse sand (medium)	암회색	석영, 장석, 각섬석 [illegible]						
10.5	2.5	사력	력의 크기 2~3cm		조립사, [illegible]						
15.0	4.5	풍화대	(hard) 구성광물은 풍화되나 부분적으로 [illegible]		석영, 장석, 각섬석 중립질~조립질						
18.0	3.0	풍화암	[illegible]	황갈색	구성광물 [illegible]						
19.0	1.0	연암	흑운모편마암	암회색	석영, 장석, 각섬석						

그림 4. 시추주상도

2.4 설계 및 시공상의 주의할 점

1) 본 지구의 지질은 선캠브리아기의 혼성질편마암이 주로 분포하며 국부적으로 백악기에 형성된 불국사 화강암, 중성화산암류 및 능주층군이 분포한다.
2) 배수갑문 BH - 1(No 0 + 34) : 상부는 사력층이 2.5 M의 두께로 퇴적되어 있고 구성물질은 1~5 cm내외의 잔자갈과 조립사 패각류로 구성되어 있다. 풍화대층은 입자가 중립질내지 조립질로서 N치는 48로 단단하다.
3) 배수갑문 BH - 2(No 0 + 90) 지점은 실트층의 N치가 0으로서 햄마자중에 의하여 관입되고 점착력과 함수비가 높기때문에 토목설계시 토질매개변수, 실내시험치의 적용에 신중을 기하여야 한다.
4) 방조제 BH - 3(No 15 + 0), BH - 4(No 23 + 0)지점은 상부 실트층의 N치가 2 ~12 M 구간에서 0 ~ 2로 매우 연약하고 육안 관찰시 점착력과 함수비가 높은 것으로 판단되므로 토목설계시 토질대개변수, 실내 시험치에 신중을 기 하여 지내력 검토를 하여야 한다.

3. 설계

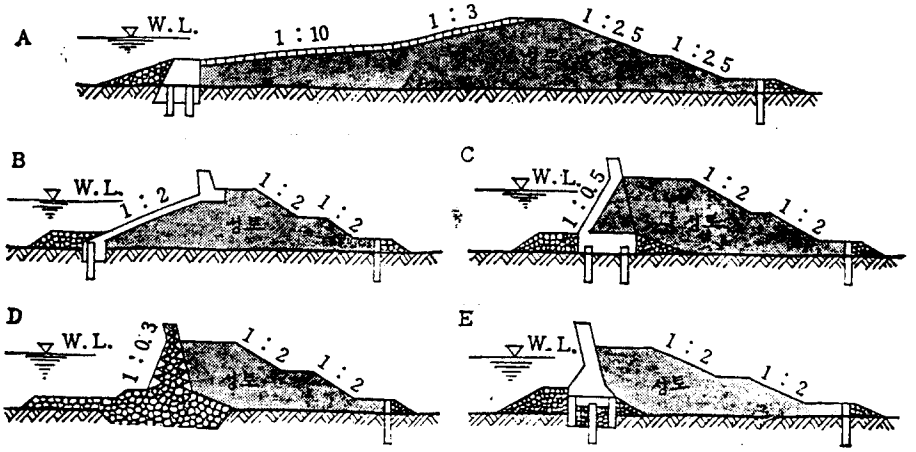
3.1 표준횡단면도

방조제의 형식에는 그림 5와 같이 직립형, 경사형, 혼성형이 있으며 형식선정의 인자로서는 (1) 파력에 관한 수리조건, (2) 기초지반의 토질과 충제재료 등의 토질조건, (3) 시공방법에 의한 공사조건, (4) 경제효과, 공사비, 공사기간 등의 경제조건을 종합적으로 검토하여 선정한다.

또한 여기에는 관공작용에 대한 안정성을 감안 그림 6를 참고하면서 다음표와 같이 크림 비를 확보해야 한다.

표 4. 제방의 크림비

제체 또는 지반토질	Cc	비 고
실 트 가는 모래 영균 모래	9 7.5 6	토질은 제체 또는 지반토질 중에서 투수성이 작은 쪽을 취한다.



A : 경사형블록붙임식　　B : 경사형콘크리이트붙임식
C : 직립형부벽식 · D : 직립형석적식　E : 직립형반중력식

그림 5. 제방의 형식

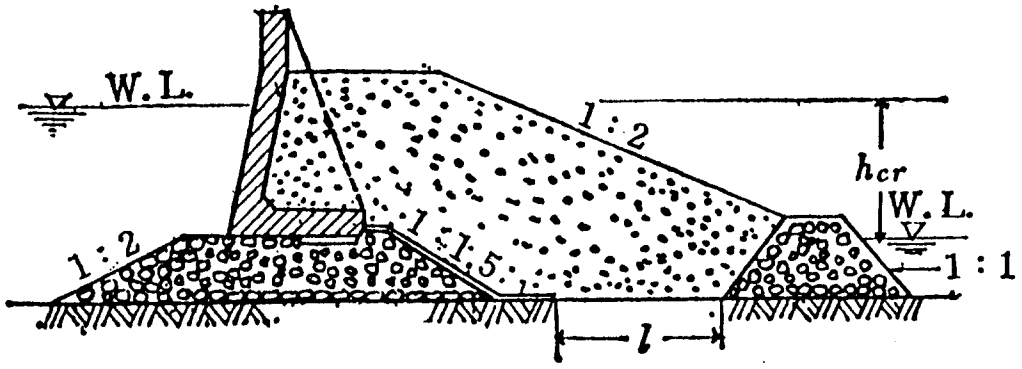


그림 6. 크릴비 l의 결정

본 설계에서 채택한 단면은 그림 7과 같이 A B C D의 4유형으로 되어 있다.

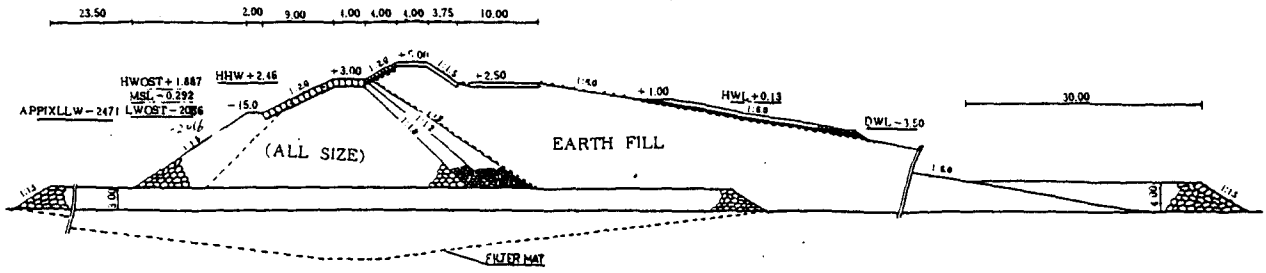
A형은 No. 3 ~ No. 5 + 50인 수심이 매우 깊은 곳의 표준횡단도이다.
측점간 거리는 100 m이다.

B형은 No. 10 ~ No. 17까지의 표준단면이다.

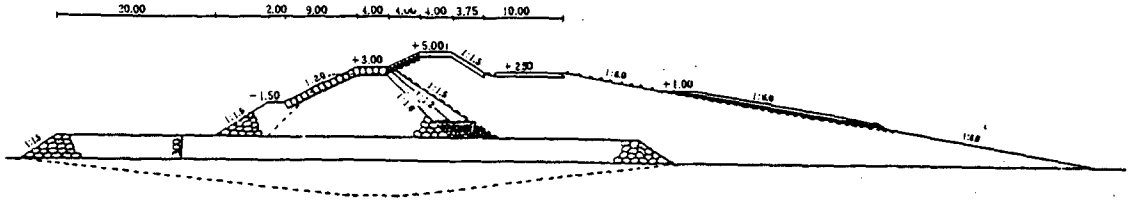
C형은 방조제 2855 m구간중 대종을 이루고 있는 구간의 표준횡단면도이다.

D형은 방조제 종점에서의 매우 짧은 구간의 표준횡단면도이다.

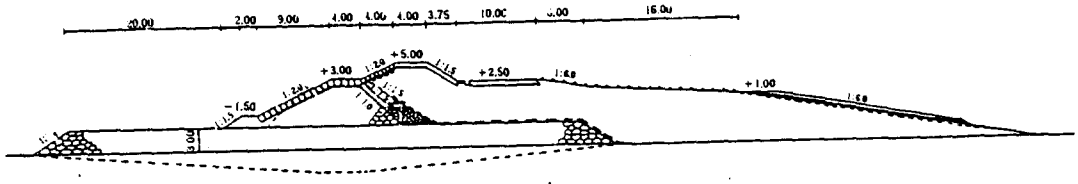
TYPE A
(No.3~No.5+50)



TYPE B
(No.10~No.17)



TYPE C
(No.1+24~No.2, No.6~No.9, No.18~No.25)



TYPE D
(No.26~No.28+53)

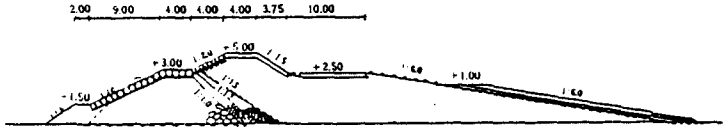


그림 7. Typical Section of Tidal Dike

3.2 토목섬유의 설계

설계성토하중에서의 토목섬유의 소요인장력을 산출하여 10t/m의 인장력을 갖는 mat를 선택하였다.

4. 시공관리의 문제점

본 방조제의 시공지반은 시추주상도에서 살펴본 바와 같이 배수갑문 설치위치를 제외하고는 N치가 1이하인 매우 연약한 점성토가 평균 10m정도에 이르고 있기때문에 1차사석 및 2차사석과 성토를 진행하는데 매우 난감한 실정이다. 본 설계 및 시공에서는 10 t/m의 인장력을 갖는 mat를 해저지표면에 2대의 포크레인으로 부설하고 잠수부가 다시 조정한 다음 사석층을 시공하여 나갔다.

이 때 1차사석후 2차사석을 하게되면 이미 시공이 이루어진 1차사석층이 지반의 전단파괴에 의한 성토사면 하단부 바깥쪽으로 대량의 연약토층이 이동하여 상승한다. 물론 이 경우에는 mat가 지표로 노출되어 기대하였던 효과를 상실하고 만다. 또한 너무나 연약한 실트지반위에 사석을 하게되므로 압밀침하의 개념과는 상관없는 해저지표에서부터 거의 실트층의 깊이에 가까운 지점까지 강제치환이 일어나기 마련이다.

지반이 연약하여 만조시에 시행한 성토가 간조시에는 자중의 증가로 인하여 지반이 파괴되는 경우가 때때로 발생한다.

다음은 슬라이드를 중심으로 융기 및 노출부분을 설명하기로 한다(사진40매 생략).

5. 대책 및 결론

이와 같은 초연약지반은 기존의 간척공사에서는 그 유래를 찾아 볼 수가 없었기때문에 더 많은 연구와 검토가 필요함은 두말할 나위가 없다. 특히 다음 사항을 중점적으로 검토해야 할 것이다.

1) 산. 학, 관의 관련기관이 공동노력하여 이와 같은 지반조건에서 최선의 공법을 개발해야 할 것이다.

이 경우에는 처음부터 방조제의 외수면과 내수면의 경사에 접속되고 있는 일정단면을 양질의 재료(석재 또는 토사)로 강제치환하는 공법이 더 합리적일 수도 있을 것이다.

재료확보가 어려울 때는 Tetrapod 또는 경고한 철망으로 된 돌망태공법

의 검토가 필요하다고 볼 수 있다.

2) 현장에서의 계측기구의 설치 및 작동방법을 개발하여 과학적이고 체계적인 계측을 수행하여 시공의 최적화와 사후관리에까지 반드시 연계시켜야 하겠다.

3) 최선의 시공관리를 한다해도 토사의 유실은 발생하기 마련이다. 수리모형실험 등에 의하여 정확하게 정량적으로 유실량을 규명하므로써 설계변경의 적정을 기해야 할 것이다.

ㅇ 현재로서는 압밀현상은 논의의 대상이므로 이에 관한 시험자료는 본고에 포함시키지 아니하였다.

ㅇ 크리프변형 또는 2차압밀과 같은 현상에 대하여 계측자료가 확보되면 수치해석결과와 이들 자료를 비교하여 향후의 유사한 공사에 기여할 수 있을 것이다.

ㅇ 방조제의 설계 및 시공에는 배수갑문도 논의가 되어야겠지만 지반공학의 범위를 벗어나므로 본 고에서는 제외하였다.

참고문헌

강예묵, 황은, 조성십, 김철기(1984). "농지조성학" 향문사

이문수(1992), "탄·점소성구성식을 사용한 점성토지반의 변형해석" 한국농공학회지, Vol.34, No.2 pp.60 - 72

농어촌진흥공사(1991), "고흥지구 외곽공사사업계획서"

농어촌진흥공사(1991), "고흥지구 외곽공사설계서"