

방조제 단면 축소를 위한 기초연구

A Basic Study for the Cross Section Reduction of Sea Dike

서동욱¹⁾, Dong-Wook Seo, 김현태²⁾, Hyun-Tae Kim, 류전용³⁾, Jeon-Yong Ryu, 변율석⁴⁾, Yul-Seok Byun, 김홍택⁵⁾, Hong-Taek Kim

1) 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 연구원, Researcher, Rural Research Institute, K.R.C.

2) 한국농촌공사 농어촌연구원 생산자원연구소 책임연구원, Chief Researcher, Rural Research Institute, K.R.C.

3) 한국농촌공사 해외사업부 차장, Manager, Overseas Business Division, K.R.C.

4) (주) KER 사원, Staff, K.E.R. Co., Ltd.

5) 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

SYNOPSIS : In this study, piping and slope stabilities of sea dike were analyzed through pore pressure-mechanic coupled analysis. Through decrement of sea dike inclination, to confirmed cross-section reduction possibility of multi-function sea dike.

Key words : multi-function sea dike, piping stability, slope stability

1. 서 론

우리나라의 서해안은 굴곡이 심하고 수심이 얇은 해안선을 가지고 있고, 간조 만조의 차이가 심한 특징을 가지고 있어 각종 간척사업이나 제방축조 사업이 활발히 진행되고 있다. 특히 역대 최대 간척사업이라는 새만금 간척사업에서는 총 길이 33km의 방조제와 138km의 방수제를 건설하는 등 제방축조사업의 규모는 점점 커지고 있으며 그만큼 제방 설계에 대한 중요도 역시 높아지고 있다.

새만금사업은 전북 군산과 부안을 연결하는 방조제 안쪽으로 28,300ha의 간척지와 수자원 등을 확보하는 사업으로서 현대 간척기술의 혁신을 가져온 대표적인 사례라 할 수 있으나, 방수제의 단면은 과거의 설계기준을 따르는 등 효과적이지 못한 부분이 남아있다 할 수 있다.

최근에는 다기능 방조제의 기능을 강화하기 위하여 여러 연구가 진행되고 있지만, 방조제의 대표단면에 대한 연구는 그 성과가 미흡한 실정이다. 형식적으로 제방의 비탈면 경사는 1:3 또는 이보다 완만하게 설치한다는 기준이 있지만 불가피할 경우 예외조항을 인정하고 있기 때문에 기준에 대한 근거가 매우 부족한 현실이다. 이에 본 연구에서는 수리 연동해석을 통하여 경사 증감에 따른 방조제의 안정성 경향을 분석해 지반공학적인 단면평가를 수행하여 다기능 방조제의 단면 축소가능 여부를 확인하였다.

2. 새만금 방조제의 현황

새만금 방조제는 해풍과 파랑을 막기 위하여 전라북도 군산, 김제, 부안 외해 33km를 방파호안으로 축조하고, 내측사면 소단부위에 도로를 조성하는 복합단면 조성 기법을 사용하였다 (그림 1, 그림2 참조). 사업을 추진하는 동안 환경적인 측면의 관심이 지속적으로 늘어나, 근래에는 친환경적인 간척개발

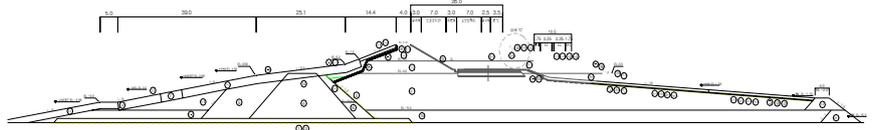
사업의 필요성이 증대됨과 동시에 복합적인 용도의 다기능 공간을 조성할 필요성이 지속적으로 요구되고 있다. 특히 방수제에서는 환경적인 측면을 최소화하기 위하여 단면축소 가능여부를 살펴보고 있다.



그림 1. 새만금 방조제 위치도



(a) 2호방조제 표준단면도



(b) 2호방조제 표준단면도

그림 2. 새만금 방조제 표준단면도

3. 방수제 단면 축소검토

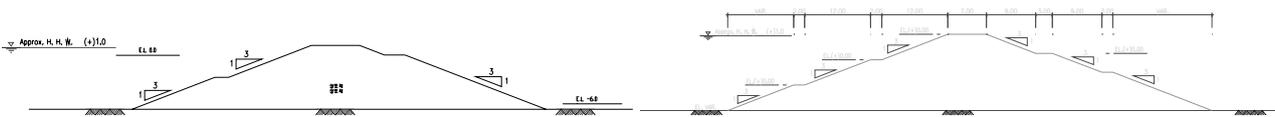
3.1 수치해석

3.1.1 개요

본 연구에서는 방수제 단면의 축소가가능여부를 알아보기 위하여 침투수 및 제방의 활동에 대한 안정검토를 통해 지반공학적 측면에서의 방수제 단면축소 가능여부를 알아보았다. 본 연구에서는 침투해석과 비탈면의 안정 해석을 수행함으로써 방수제 단면의 축소가가능여부를 검토하였으며, 단면 축소시에 배수재가 미치는 영향을 검토하기 위하여 배수재의 설치 유,무에 따른 검토를 수행하였다.

3.1.2 대표단면

본 연구에 적용된 해석단면은 내부 방수제의 대표단면 중 비교적 높이가 높은 2개의 대표단면을 선정하였으며, 각각 방수제의 높이를 8m와 12m로 적용하였다. 현재 방수제의 비탈면 경사는 1:3.0으로 계획되어 있으며, 방수제의 단면축소 가능여부를 알아보기 위해 방수제의 경사를 1:1까지 0.5씩 단계별로 증가 시키며 적용하였다. 방수제의 크기에 따른 영향만을 고려하기 위하여 방수제의 상부 폭과 소단의 위치, 폭은 사전에 설계된 기초단면의 표준단면을 참조하여 고정시키고 대표단면을 결정하였다. 본 연구에 적용된 방수제의 대표단면은 다음 그림 3과 같다.



a. 방수제 높이 8m

b. 방수제 높이 12m

그림 3 방수제 단면의 표준단면도

3.1.3 입력정수

본 연구에서 적용된 지층조건, 조위조건 및 지반정수 등은 지반조사를 통해 결정하였으며, 연구에 적용된 입력정수 들은 표 1에 요약, 정리되어 있다. 8m 방수제에서는 제해측은 최대수위 7.75m, 제내측의 저류지는 수위 1m의 조건으로, 12m 방수제에서는 제해측 최대수위 11.75m, 제내측 저류지는 수위 4.75m의 조건으로 가정하였다.

표 1. 해석에 적용된 단면 및 지반강도정수

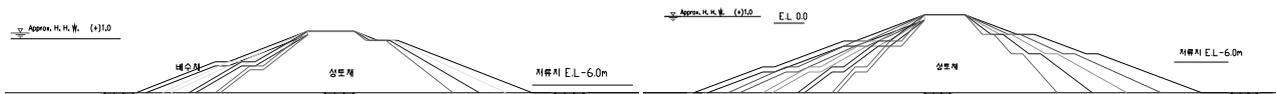
해석단면				
조건	사면종류	높이	상부 폭	소단 폭
적용치	토사사면	8m	7m	제해측:2m
		12m		제내측:3m
				2m
성토제의 지반강도정수				
조건	투수계수	단위중량(kN/m ³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
적용치	1.0E-7	19.0	15	31

3.1.3 해석 Case

본 연구에서는 방수제의 외측 경사에 따른 안정성변화를 검토하고, 배수재의 설치여부에 따른 안정성변화를 알아보기 위하여 외측경사와 배수재 설치조건을 변수로 하여 안정해석을 수행하였다. 본 연구에서 수행된 해석 조건은 표 2에 정리하였으며, 방수재 경사변화에 따른 검토단면은 그림 4에 나타내었다.

표 1. 해석에 적용된 단면 및 지반강도정수

구 분	높이	경사	배수재 설치여부	비고
방수제	8m	1:3.0 1:2.5 1:2.0, 1:1.5 1:1.0	없음	
	12m	1:3.0 1:2.5 1:2.0, 1:1.5 1:1.0	없음	
	8m	1:3.0	있음	
	12m	1:3.0	있음	



a. 방수제 높이 8m

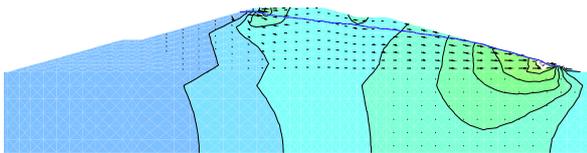
b. 방수제 높이 12m

그림 4 방수제 단면의 경사변화 종류

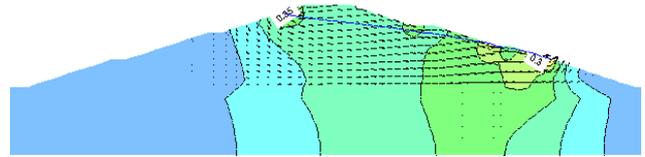
3.2 수치해석결과

3.2.1 침투해석결과

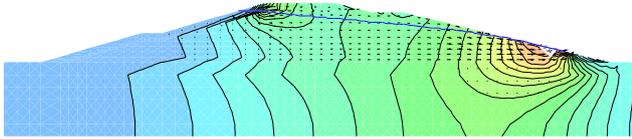
방수제의 검토단면을 이용하여 내측 및 외측의 수위조건을 고려한 경우의 침투해석결과는 그림 5에 나타내었으며, 동수경사의 변화 및 파이핑에 대한 안전을 평가결과는 그림 6에 나타내었다.



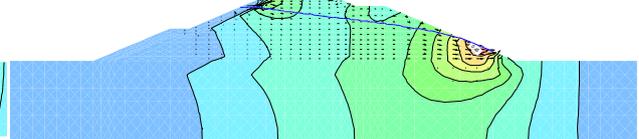
a. 방수제 높이 8m, 1:3.0 조건의 동수경사



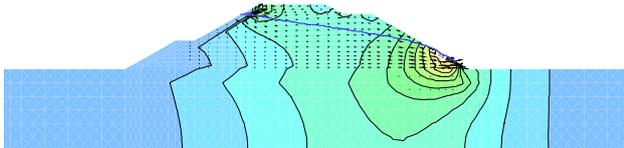
b. 방수제 높이 12m, 1:3.0 조건의 동수경사



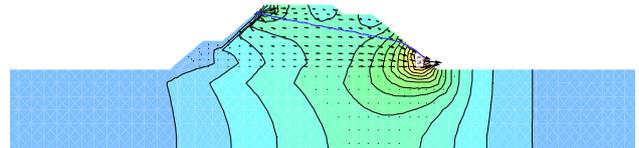
c. 방수제 높이 8m, 1:2.5 조건의 동수경사



d. 방수제 높이 8m, 1:2.0 조건의 동수경사

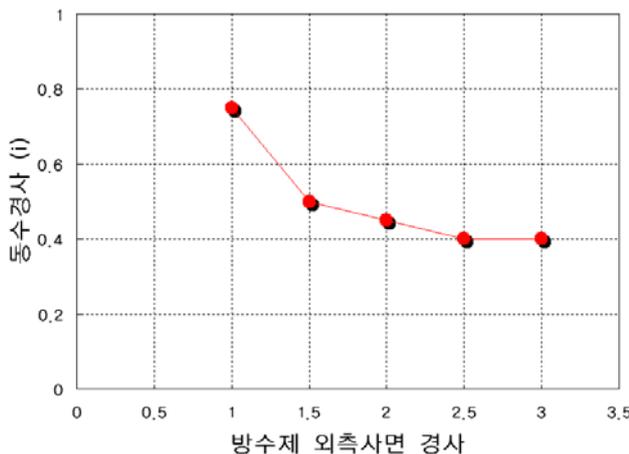


e. 방수제 높이 8m, 1:1.5 조건의 동수경사

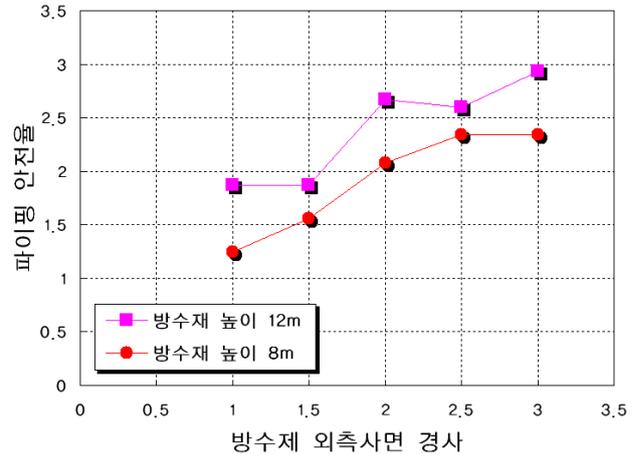


f. 방수제 높이 8m, 1:1.0 조건의 동수경사

그림 5 방수제 단면의 경사변화에 따른 침투해석 결과



a. 방수제 경사에 따른 동수경사 결과



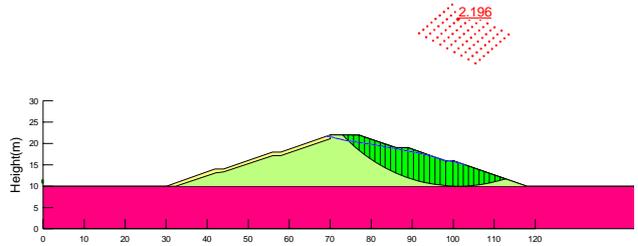
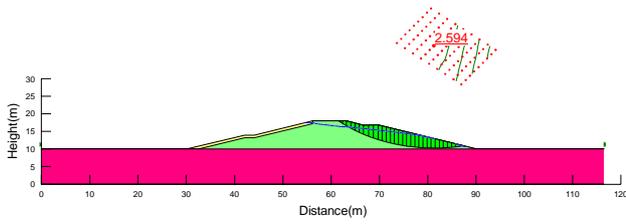
b. 방수제 경사에 따른 파이핑 안전율 결과

그림 6 방수제 침투해석 결과

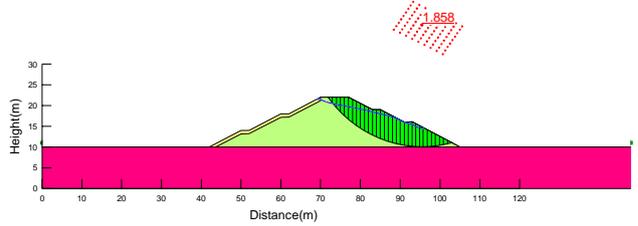
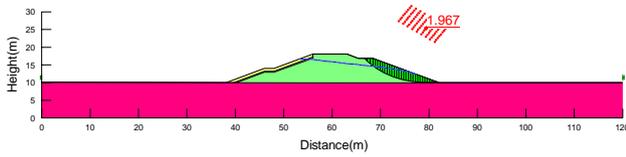
그림 6의 결과를 살펴보면, 방수제의 경사가 1.0으로 감소하는 동안 동수경사는 증가하고 파이핑 안전율은 대체로 감소하는 것으로 평가되었다. 방수제 경사가 1:3.0 ~ 1:2.0 사이에서는 10% 미만의 작은 감소율을 보이는 것으로 평가되다가, 방수제 경사가 이보다 더 높아질 경우 큰 폭으로 파이핑에 대한 안전율이 감소하는 것으로 평가되었다. 이로 미루어 보아 침투해석측면만으로 방수제의 단면축소를 생각해 볼때, 방수제의 단면 축소는 충분히 검토될 여지가 있을 것으로 생각된다.

3.2.2 사면안정해석 결과

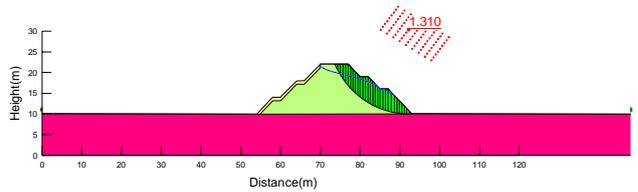
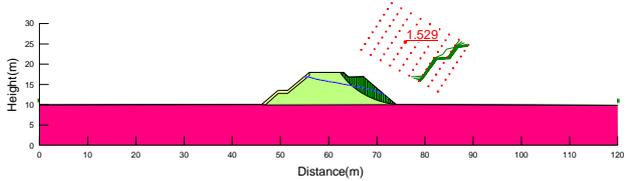
방수제의 검토단면을 이용하여 내측 및 외측의 간극수압을 고려한 경우의 사면안정 해석결과는 그림 7에 나타내었으며, 안전율 평가결과는 그림 8에 나타내었다.



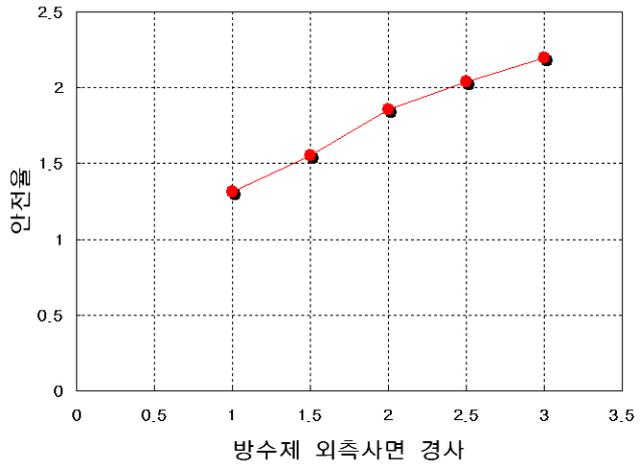
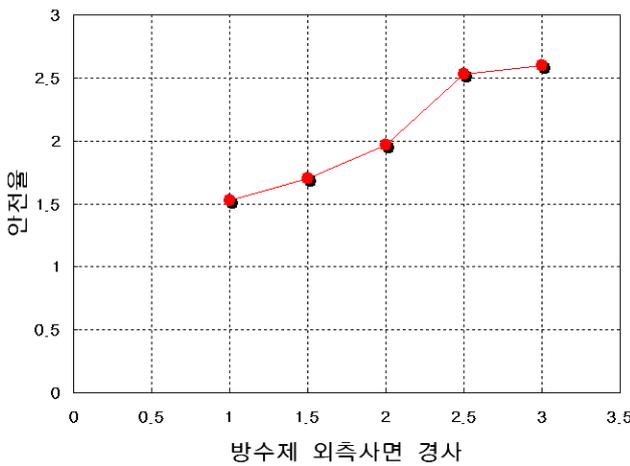
a. 방수제 높이 8m, 1:3.0 조건의 사면안정해석결과 b. 방수제 높이 12m, 1:3.0조건의 사면안정해석결과



c. 방수제 높이 8m, 1:2.0 조건의 사면안정해석결과 d. 방수제 높이 12m, 1:2.0조건의 사면안정해석결과



e. 방수제 높이 8m, 1:1.0 조건의 사면안정해석결과 f. 방수제 높이 12m, 1:1.0조건의 사면안정해석결과
그림 7 방수제 조건에 따른 사면안정해석결과



a. 8m 방수제의 경사에 따른 사면안정 안전율 b. 12m 방수제의 경사에 따른 사면안정 안전율
그림 8 방수제 침투해석 결과

그림 7 및 그림 8의 결과를 살펴보면, 방수제의 경사가 1.0으로 감소하는 동안 사면의 안전율은 감소하는 것으로 평가되어, 높이가 8m인 경우에는 41%의 안전율 감소, 12m인 경우에는 40% 정도의 안전율이 감소하는 것으로 평가되었다. 침투해석에서는 1:2.0까지의 동수경사 변화가 크지 않았으나, 사면안정성은 큰 폭으로 안정성이 감소되는 것으로 평가되었다. 사면의 안정성 측면에서 방수제의 단면축소는 활동력에 대한 저항력의 감소에 직접적으로 작용하게 되는 것으로 평가되었으나, 기준안전율의 관점으로 평가한다면 방수제의 단면축소는 충분히 검토할 만 한 것으로 평가되었다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 각종 간척사업이나 수리시설물 사업에 효과적인 방조제·방수제의 효과적인 단면결정을 위하여 축소가능여부를 지반공학적 측면에서 검토하여 보았다. 새만금 방수제에 대하여 수리 연동해석을 통하여 경사 증감에 따른 방조제의 안정성 경향을 분석해 보았으며, 그 결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 방수제의 경사가 1.0으로 감소하는 동안 동수경사는 증가하고 파이핑 안전율은 대체로 감소하는 것으로 평가되었다. 방수제 경사가 1:3.0 ~ 1.2.0 사이에서는 10% 미만의 작은 감소율을 보이는 것으로 평가되다가, 방수제 경사가 이보다 더 높아질 경우 큰 폭으로 파이핑에 대한 안전율이 감소하는 것으로 평가되었다.
- (2) 방수제의 경사가 1.0으로 감소하는 동안 사면의 안전율은 감소하는 것으로 평가되어, 높이가 8m인 경우에는 41%의 안전율 감소, 12m인 경우에는 40% 정도의 안전율이 감소하는 것으로 평가되었다.
- (3) 침투해석측면과 사면안정성 측면에서 방수제의 단면축소를 생각해 볼 때, 사면안정성은 방수제의 경사변화에 민감하게 반응하였으나, 기준안전율의 관점으로 평가한다면 방수제의 단면축소는 충분히 검토할 만 한 것으로 평가되었다.
- (4) 본 연구에서 검토한 방수제의 단면축소검토는 지반공학적 측면에서의 가능성을 검토한 것으로 기초적인 연구에 해당되어 내진성능검토 및 수리계산 등이 수행되어야 효율적인 방수제의 단면결정이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 농림수산부(1991), **농지개량사업설계기준 해면간척편**
2. 농림부(2002), **농업 생산기반 정비사업계획 설계기준 필담편**
3. 농림부(2004), **다기능 방조제 단면축조 및 이용에 관한 연구**
4. Casagrande, A.(1976), "Seepage through Dams", *New England Water Works Association*, Vol. 1, No. 2.
5. Hu, Q. and Li, B.(1988), "Studies on the simulation of overtopped rockfill dams", *Internal Report*, Nanjing Hydraulic Research Institute.
6. SEEP/W (1997), "User's Manual", Geoslope, Canada.
7. SLOPE/W.(1997), "User's Manual", Geoslope, Canada.