

방조제 체절시 사석 및 돌망태의 적정규모 산정을 위한 매뉴얼 개발

II. 현장적용

Assessment Manual for Optimization of Structural Scale of Stone and Gabion at the Final Closure of Sea Dike

II. Application at the actual site

송현구* · 김종규** · 황인찬***

Hyun Gu Song*, Jong Kyu Kim** and In Chan Hwang***

요 지 : 본 연구에서는 수리모형실험 결과 및 기존 경험식의 비교검증을 토대로 개발된 사석 및 돌망태 규모를 산정하기 위한 매뉴얼을 이용하여 새만금 방조제 끝막이 공사기간 동안 사전에 예측된 일별, 매시간별, 발생유속 자료를 이용하여 발생유속에 따른 사석규모와 사석규모의 한계유속 초과시 적절한 돌망태의 혼용율을 시공 현장에 제공하였다. 또한 시공에 따른 수심변화를 고려하여 수심별 사석규모도 제공하였다. 개발된 매뉴얼을 통해 발생유속에 따른 사석 및 돌망태 규모와 사석과 돌망태의 적정혼용율을 제시함으로써 시공에 따른 재료(사석 및 돌망태)의 유실을 최소화하여 성공적인 끝막이가 될 수 있도록 하였으며, 개발된 매뉴얼의 적용성을 입증하였다.

핵심용어 : 새만금방조제, 끝막이, 사석, 돌망태, 혼용

Abstract : This research utilized the manual to calculate the structural scale of stone and gabion, which was developed through comparison and verification of the results drawn by hydraulic model experiment and existing empirical formula. Appropriate structural scale of stone according to the construction site when the critical velocity was exceeded, utilizing the previously expected and recorded data on current velocity per day and per hour during the final closure period for Saemangeum sea dike. Also, the scale of rocks was presented, considering the alteration in water depth according to the construction. The developed manual offered appropriate rate of mixed use of stone and gabion that suits various flow velocities, which will minimize any loss of stone-gabion and contribute to successful final closure, and proved the utility and application of the manual.

Keywords : Saemangeum sea dike, Final closure, Stone, Gabion, Mixture

1. 서 론

새만금 간척사업은 전라북도 부안군 변산면 대항리에서 가력도, 신시도, 야미도, 비응도를 연결하여 군산까지 33 km의 세계 최장의 방조제를 축조하여, 여의도 면적의 140 배에 달하는 401,000,000 m² 면적에 국토확장 및 3억 5천

만 톤의 수자원을 확보할 수 있는 효과를 가진 사업이다 (한국농촌공사 새만금사업단, 2006a). 끝막이 공사는 Fig. 1에 보여지는 것처럼 2006년 2월까지 제2호 방조제 동진호 구간(GAP1) 1.6 km와 만경호 구간(GAP2) 1.1 km의 총 2.74 km의 개방구간을 남겨놓은 상태에서 2006년 3월 24일부터 끝막이 공사를 착수하여 2006년 4월 20일에 만경

*한국농어촌공사 농어촌연구원(Rural Research Institute Korea Rural Community Corporation, 1031-7 Sa-dong, Sangrok-gu, An-san, Gyunggi-do 426-908, Korea. hksong@ekr.or.kr)

**전남대학교 해양기술학부(Chonnam National University Dept. of Ocean Engineering, San 96-1, Dunduck-Dong, Yeosu, Jeonnam 550-749, Korea. kimjkk@chonnam.ac.kr)

***한국농어촌공사 프로젝트개발처(Project Development of Korea Rural Community Corporation, 487 Poil-Dong Uiwang-Si, Gyeonggi-do 437-703, Korea. hwangbo@ekr.or.kr)



Fig. 1. Project site of Saemangeum sea dike.

호 구간을 먼저 끝막이 하고, 2006년 4월21일에 동진호 구간
의 최종 끝막이를 성공함으로써 15년간의 대장정을 마무리
하고 세계 해양토목사에 찬란한 금자탑을 세우게 되었다.

새만금방조제 끝막이 구간은 수심이 깊고, 기초지반의 지
질은 극히 연약한 사질 실트 층으로 2개의 개방구간을 통
해 최대 7 m/s 이상의 유속이 발생하는 악조건으로 간척
선진국인 네덜란드 또는 일본 등에서도 유례를 찾아볼 수
없는 난공사였다. 이러한 악조건인 상황에서도 새만금 방
조제의 끝막이가 성공할 수 있었던 주된 요인은 수리모형
실험 결과와 기존 경험식의 비교검증을 토대로 개발된 사
석 및 돌망태 규모를 산정하기 위한 매뉴얼을 이용하여 끝
막이 공사기간 동안 사전에 예측된 일별, 매시간별, 발생
유속 자료를 이용하여 발생유속에 따른 사석규모와 사석구
모의 한계유속 초과시 적절한 돌망태의 혼용율을 시공현장
에 제시함으로써 재료의 유실을 최소화하였기 때문이라 판
단된다. 따라서 본 연구에서는 사석 및 돌망태 규모를 산
정하기 위하여 끝막이 기간동안 축조재료의 산정결과와
GAP1 시중점부, GAP2 시중점부 4개소 끝막이 시공 현장
에서 끝막이 기간동안 상고공, 바닥보호공, 1차사석재의 유
실 및 안정성을 체크한 결과(한국농촌공사 새만금사업단,
현대건설, 2006b)와 비교함으로써 매뉴얼의 적용성을 검토
하고자 한다.

2. 끝막이 이론

2.1 끝막이 시기

끝막이 공사의 시기는 해상과 기상의 특성 및 공정 계
획 등을 고려하여 결정하고 있다. 특히 우리나라 서해안의
경우 간만차는 세계적으로 특이하여 그 변화도 매우 크다.
평균해면은 방조제 내부면적에 따라 다르지만 평균수심이

5.0 m일 때 1/10의 조석량으로 감소됨으로 끝막이 시기는
특수한 사항을 제외하고는 물막이 유속과 조석량이 적은
2~4월에 일반적으로 공사를 시행하고 있다. 해상조건에 따
라 2~4월에 끝막이 공사를 시행하면 기상조건에서 다음과
같은 유리한 조건이 있다. 첫째, 이 기간은 우리나라 기후
조건상 온화하고 우천일수가 적다. 둘째 우리나라 서해안
의 북서계절풍(11월~1월)의 영향을 피할 수 있다. 셋째, 물
막이 직후에 성토제 및 피복공 시행 등 태풍과 강우시기
이전에 마무리 작업을 할 수 있다. 6~10월간은 장마철과 태
풍발생 빈도가 높고, 음력 7월의 백중사리를 전후해서 년
중 최대조위가 발생하며, 해일 피해가 예상되므로 끝막이
시기로는 부적당하다. 북서계절풍의 영향을 받아 파랑이 큰
곳은 4~6월경에 끝막이를 완료하고, 10월까지 성토단면을
보강해야 단면을 유지할 수 있으므로 현지여건을 고려하여
적절한 끝막이 시기를 결정 한다(한국농촌공사 새만금사업
단, 2006a).

2.2 끝막이 공법

끝막이 공법을 분류하면 끝막이 구간에 따른 공법, 조류
수리조건에 따른 공법 및 공사용 재료 및 구조에 따른 공
법으로 분류할 수 있으나, 일반적으로 끝막이 공법이라 함
은 조류 수리조건에 따른 공법을 말한다. 끝막이 공사시 일
반적으로 적용하고 있는 조류 수리조건에 따른 공법은 점
고식(High sill method), 점축식(Deep sill method), 점고
점축 병행식(Combined high and deep sill method)이 있
으며, 각각의 공법에 따른 장점 및 특성을 파악하여 끝막
이 구간 조건 및 축조재료 구득 조건을 감안하여 공법을
선정한다(농업기반공사, 2000).

2.2.1 점고 공법

점고공법은 Fig. 2(Left)와 같이 공법적용 구간에 축조재
료를 수평으로 쌓아 올라가므로 조류를 등분포시킬 수 있
어 조류속은 감소하나 내외 수위차가 크므로 지반세굴 등
의 위험이 크다. 이 공법은 개당 크기가 큰 축조재료 구입
여건이 불리할 경우, 공법 적용구간의 기초지반이 양호할
경우, 사석 바지선 이용 조건 등 해상작업 조건이 유리할
경우 적용할 수 있다.

2.2.2 점축 공법

끝막이 구간 양안(兩岸)에서 개방구간을 점차 축소시키
면서 진행함에 따라 조류속이 큰 반면 내외 수위차는 적
다. 점축공법은 Fig. 2(Center)와 같이 육상작업 조건이 유
리한 경우, 공법 적용구간의 기초지반 세굴 위험이 큰 경
우, 개당 크기가 큰 축조재료 구입이 유리한 경우, 1차 단

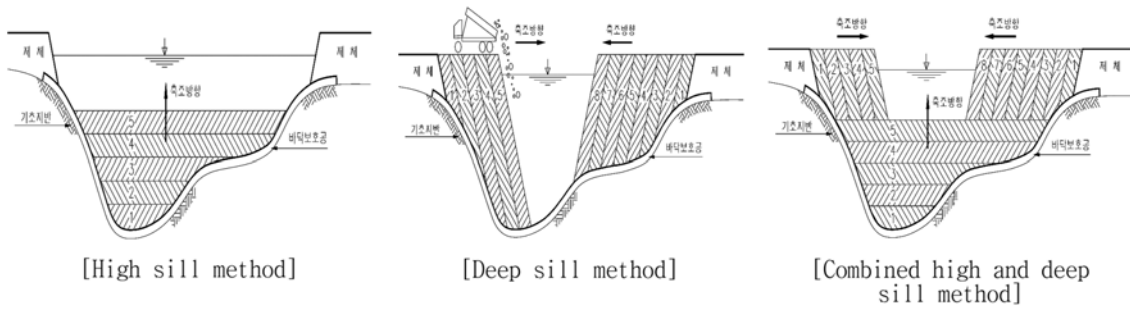


Fig. 2. Final closure construction method.

면 시공 후 바로 성토제 시공을 해야하는 경우 등에 적용할 수 있다

2.2.3 점고점축 병행공법

점고점축 병행공법은 각각의 장점을 혼용한 공법으로 새만금 방조제 끝막이 공사에 적용한 공법이다. 이 공법은 Fig. 2(Right)와 같이 대규모 방조제 끝막이 공사, 육해상 장비로 축조재료 운반조건이 유리할 경우 등에 적용할 수 있다.

제 끝막이 공사는 Fig. 3과 같이 2회의 대조기를 경과하는 39일 동안 3회의 소조기를 이용하여 준비단계, 끝막이 1, 2 단계와 3단계(최종단계)로 구분하고, 끝막이 시기는 돌망태 제작기간, 사석확보, 배수갑문 완공 등 공사 준비 상황과 기상여건을 고려하여 기상조건이 양호한 2006년 3월17일부터 4월 24일까지 시행하는 것으로 계획하였으며, 조차가 적은 소조기에는 전진(점축)작업을 진행하고 조차가 큰 대조기에는 보강 작업을 진행하는 방식으로 계획하였다.

3. 새만금 방조제 끝막이 계획

3.1 끝막이 일정

새만금 방조제의 성공적인 끝막이 공사 추진을 위해 기상, 조위 등을 분석하고 사회적이기술적 조건 등을 종합적으로 고려하여 끝막이 시기, 단계별 시공물량을 검토 분석한 후 작업능력을 검토하여 최종 끝막이 계획이 수립되었다 (한국농촌공사 새만금사업단, 현대건설, 2006a). 새만금방조

3.2 끝막이 구간의 설계유속 및 구간별 설계 사석규모

당초 새만금방조제의 끝막이 계획은 그 간의 시공 과정에서 많은 변화가 있었으며, 이에 따른 각 공종별 설계 유속도 변하게 되었다. 당초는 2호방조제와 4호방조제 개방 구간 GAP1, GAP2, GAP3를 동시 끝막이하는 계획이었으나, 최종 끝막이 계획은 4호방조제 GAP3를 먼저 물막이 한 후 2호 방조제의 GAP1, GAP2를 동시에 끝막이하는 계획으로 변경되었다. 끝막이 계획의 변경에 따라 방조제

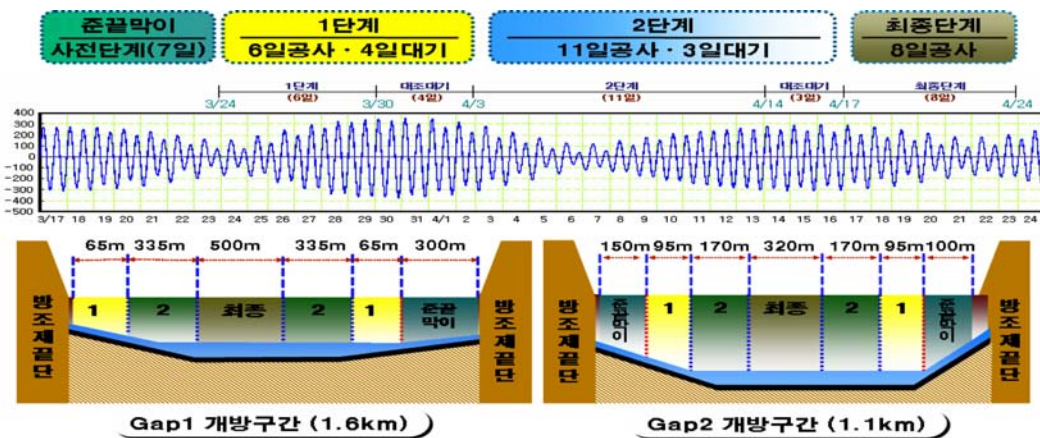


Fig. 3. final closure plan.

Table 1. Current velocity per stage, per section of closing gap

구 분	Phase	Design velocity(m/s)	
		GAP1	GAP2
Bottom protection	Final closure phase I	5.00	5.42
	Final closure phase II	4.10~5.12	4.77~5.87
	Final closure phase III	4.41~5.25	4.98~6.50
Sill-crest	Final closure phase I	5.00	5.42
	Final closure phase II	4.10~5.12	4.71~5.87
	Final closure phase III	4.41~5.25	4.98~6.50
Dam-face	Final closure phase I	5.57	5.75
	Final closure phase II	5.79	5.97
	Final closure phase III	5.93	6.98

시공을 위한 설계유속 또한 변경되었으며, Table 1은 새만금 전구역 수리모형(Overall model)실험과 Dleft-3D Flow 수치실험을 통하여 결정된 방조제 시공구간별, 끝막이 단계별 유속을 나타낸다. 또한 끝막이 구간의 시공사석규모는 앞서 결정된 설계유속을 기초로 하여 사석 및 돌망태 규모를 산정하기 위해 개발된 매뉴얼을 통하여 결정되었다. 끝막이 구간별 시공사석규모는 Table 2와 같다.

4. 현장 적용

4.1 끝막이 기간별 사석 및 돌망태 산정

2006년 3월 17일부터 끝막이가 시작되면서 하루 두 번 밀물, 썰물이 발생하는 동안 Photo 1과 같이 개방구간에서 발생하는 강한 유속은 4월 21일까지 개방구간이 점점 좁아짐에 따라 시공구간 사석의 안정성에 무엇보다도 중요한 인자이다. 강한 유속에 대비하고자 아무리 많은 사석과 돌망태가 준비되어 있다 하더라도 발생유속에 적절한 사석 및 돌망태의 규모를 사용하지 않는다면 유실율이 증가하여 끝막이 공정에도 커다란 차질을 가져온다. 이에 대비하고자 끝막이 수행기간 동안 Fig. 4와 같이 사석 및 돌망태 규모를 산정하기 위한 매뉴얼을 이용하여 DELFT3D 수치해석 모델에 의하여 사전에 예측된 일별, 시간별 유속자료를 토대로 시공 하루전에 GAP1, GAP2에 대해 유속에 대응하는 사석과 돌망태의 적정규모를 제시(본 논문에는 가장 대표적인 끝막이 기간에 대한 자료를 제시, 2006년 3월 18일: 끝막이 시작단계, 4월 1일: 1차 대조대기 단계, 4월 16일: 2차대조기 단계)하였으며, 개방구간이 좁아짐에 따라

Table 2. Designed rocks and gabion per stage, per section of closing gap

GAP	Classification	Unit	Phase I	Phase II	Phase III
GAP1	Sill elevation	EL.m	-10.0	-10.0	-10.0
	Gap width	m	1,300→1,170	1,170→500	500→0
	Bottom protection gabion size	-	weaved two pieces of 2.0 gabion	similar	similar
	Dam-face stone size (gabion size)	Ton/EA	3.0~6.0	0.5~6.0	3.0~6.0
	Sill-crest stone size (gabion size(mixes rate))	Ton/EA	(3.0)	(3.0)	(3.0)
GAP2	Sill elevation	EL.m	-16.0	-16.0	-16.0
	Gap width	m	850→660	660→320	320→0
	Bottom protection gabion size	Ton/EA	weaved two pieces of 2.0 gabion	similar	similar
	Dam-face stone size (Gabion size(mixes rate))	Ton/EA	0.5~6.0	0.5~6.0	0.5~6.0
	Sill-crest stone size (Gabion size(mixes rate))	Ton/EA	3.0	3.0	3.0
			4.0~5.0 (50%)		
			(3.0 (50%))		

**Photo 1.** Flow pattern in the open area during the final closing.

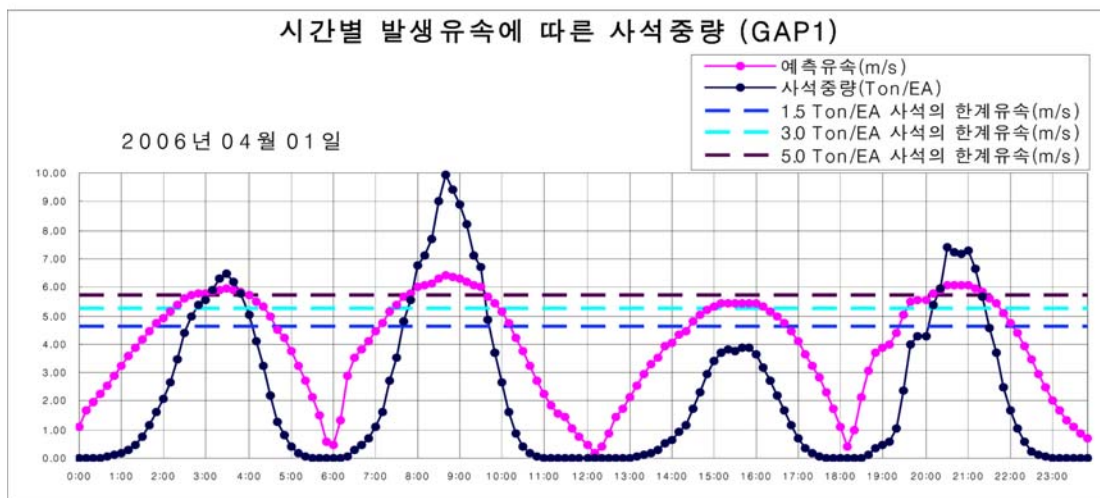
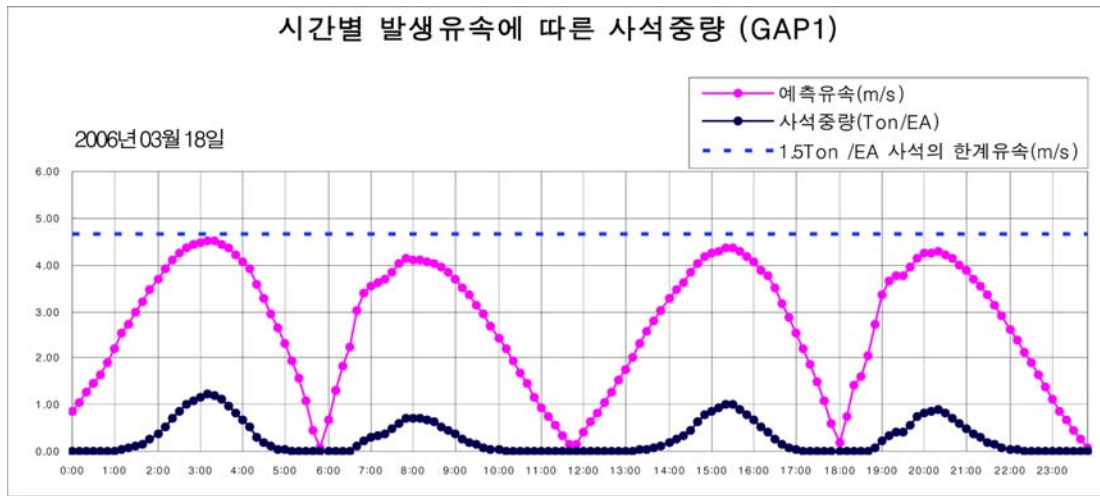


Fig. 4. The weight of rocks per hour and per day, utilizing the forecast current velocity.

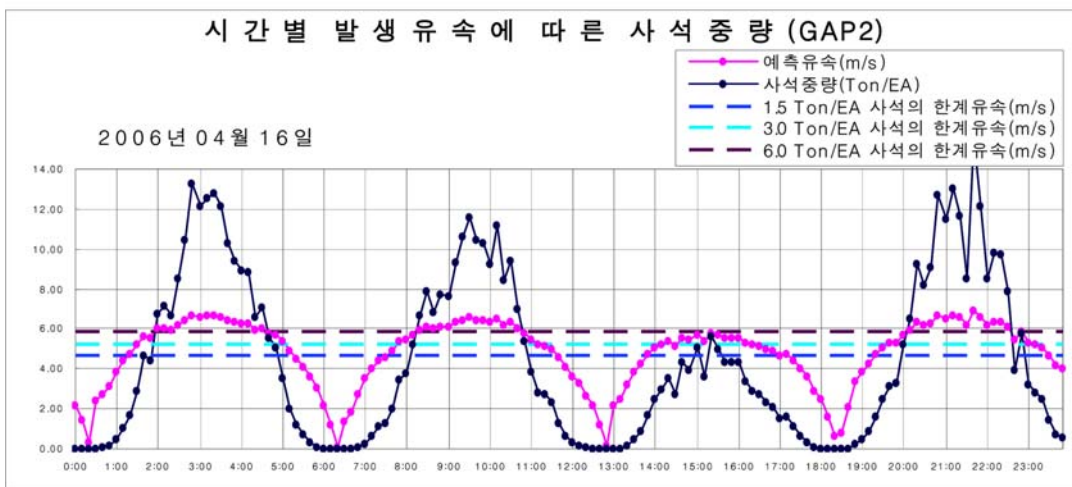
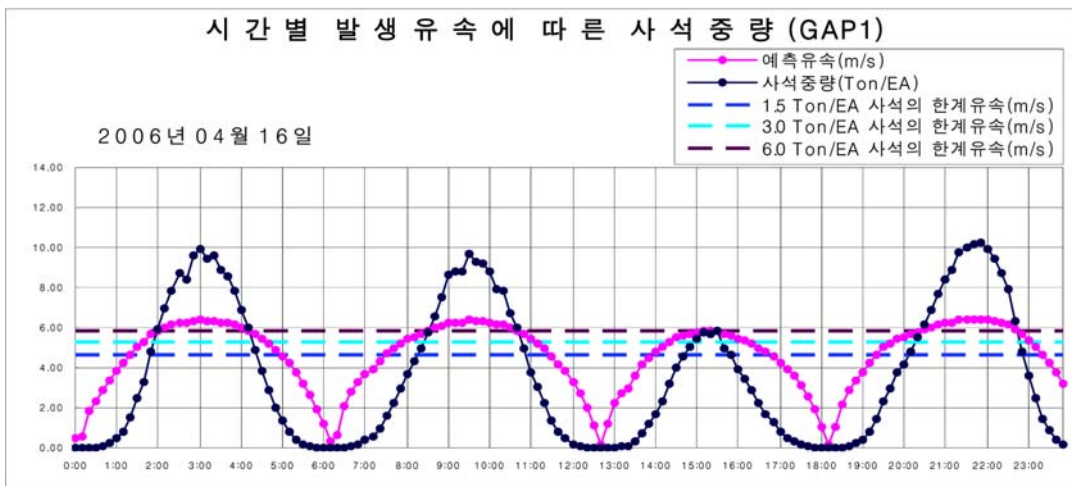
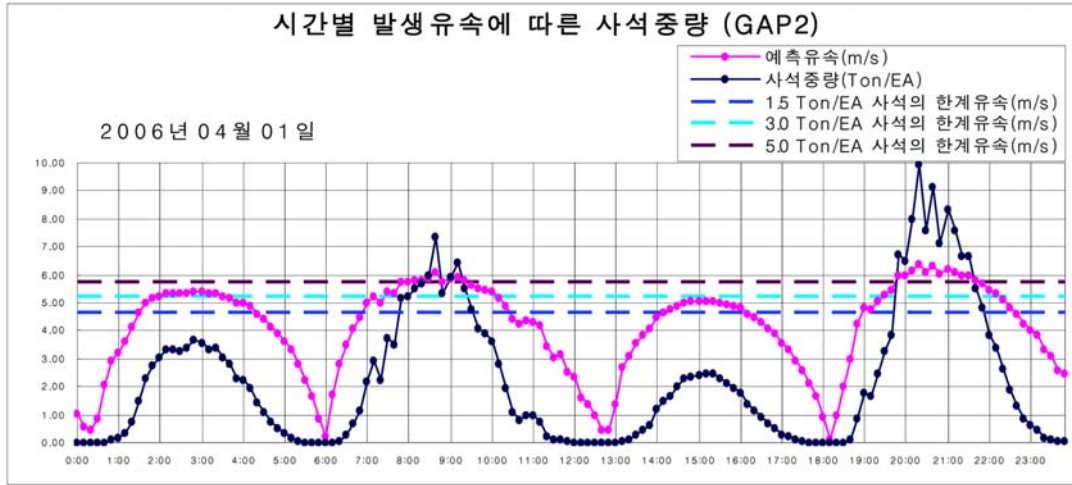


Fig. 4. (Continued)

Table 3. Critical velocity according to different rates of mixed use of rocks and gabion(dam-face)

Stone size	Gabion mixes rate (3.0Ton/EA)							
	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	
0.5-1.5 Ton/EA	5.02	5.15	5.28	5.41	5.54	5.67	5.80	
1.5-3.0 Ton/EA	5.46	5.58	5.70	5.82	5.93	6.05	6.17	
3.0-5.0 Ton/EA	5.90	6.02	6.15	6.27	6.40	6.53	6.65	
3.0-6.0 Ton/EA	6.24	6.40	6.56	6.73	6.89	7.05	7.21	

Note) In the case where critical velocity was exceeded, rocks and gabion were mixed for use

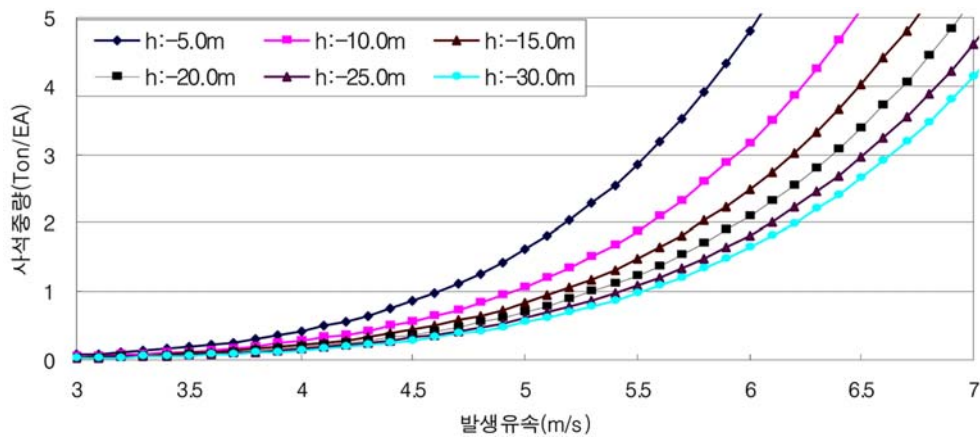


Fig. 5. Weight of rocks for different water depths according to forecast velocity (sill-crest, bottom protection).

강한 유속의 발생으로 2차대조기 단계에서는 준비된 사석과 돌망태의 한계유속을 초과하는 12 ton/EA 이상의 사석중량이 소요되어 Table 3에서와 같이 발생유속에 대응할 수 있는 사석과 돌망태의 혼용율을 제공하였다. 또한 Fig. 5와 같이 상고공, 바닥보호공 구간의 안정성을 위하여 수심에 따른 발생유속별 사석규모도 동시에 제공하였으며, 수심이 많아짐에 따라 동일유속이라도 사석규모는 커지는 경향을 나타내고 있다.

4.2 현장적용 결과

사석 및 돌망태 규모를 산정하기 위한 매뉴얼을 이용하여 현장에서 직접 끝막이 준비단계에서 3단계까지 일별 예측유속에 따른 사석과 돌망태의 혼용율을 제시하였다. 또한 일일 공사 후 GAP 1 시중점부, GAP 2 시중점부 4개소와 수심측량자료를 분석하여 사석제 및 돌망태의 유실 및 안정성을 체크하였다. Table 4는 준비단계부터 최종 끝막이 3단계까지의 일별 실측유속 측정 결과와 상고공, 바닥보호공, 1차사석제 시공구간의 사석제와 돌망태의 유실 및 안정성을 체크한 결과를 보여준다. 체크 결과 바닥보호공 구간 및 1차사석제 일부 구간에서 유속에 의한 유실은 발

생하였으나, 끝막이 단면 형성 및 공사 추진에는 크게 영향을 미치지 않아 시공사석 및 돌망태는 안정한 것으로 평가되었다.

5. 결 론

새만금 방조제 끝막이 공사 중 최대 발생유속은 94년 1월 시화방조제 끝막이 최대유속 7.40 m/s 보다 높은 7.68 m/s 가 발생하였음에도 불구하고 시공사석의 유실피해 없이 끝막이를 계획보다 2일 앞당기는 시공실적을 기록하였다. 이는 현장여건이 충분히 반영되어 적절한 시공사석 규모를 제시하였다는 것이다. 수년 동안의 여러 조건별 수리모형실험 결과와 기존 경험식의 비교검증을 토대로 개발된 사석 및 돌망태 규모를 산정하기 위한 매뉴얼은 새만금 방조제 끝막이 공사를 성공적으로 수행할 수 있도록 역할을 수행함으로써 그 적용성이 뛰어난임을 입증하였다. 향후 이용자들이 간편하게 사용할 수 있도록 전문 소프트웨어를 이용한 시스템개발이 향후 과제로 남으며, 본 매뉴얼은 사석 및 돌망태 시공되는 구조물 즉, 방조제구조물, 저수지 구조물중 정수지와 하류하천 경계면의 바닥보호공 등의 적정규모를

Table 4. Result after stability analysis for each stage of final closure

Phase	Date	GAP1			GAP2		
		Gap width(m)	Measurement velocity(m/s)	valuation	Gap width(m)	Measurement velocity(m/s)	Valuation
Ready phase	06/03/17	1,540	4.36	Stable	1034	4.34	Stable
	06/03/18	1,499	4.50	"	991	4.66	"
	06/03/19	1,458	4.54	"	948	4.65	"
	06/03/20	1,423	4.43	"	905	4.56	"
	06/03/21	1,387	4.18	"	870	4.30	"
	06/03/22	1,353	3.60	"	832	3.82	"
	06/03/23	1,325	3.14	"	802	3.31	"
Final closure phase I	06/03/24	1,280	2.77	"	769	2.87	"
	06/03/25	1,228	3.01	"	735	2.98	"
	06/03/26	1,210	3.83	"	713	3.75	"
	06/03/27	1,178	4.84	"	679	4.71	"
Waiting period 1	06/03/28	1,170	5.44	"	660	5.26	"
	06/03/29	1,170	5.67	"	660	5.71	"
	06/03/30	1,170	5.89	"	660	5.94	"
	06/03/31	1,170	6.02	"	660	6.04	"
	06/04/01	1,170	5.88	"	660	5.92	"
Final closure phase II	06/04/02	1,140	5.51	"	643	5.56	"
	06/04/03	1,059	5.05	"	602	5.29	"
	06/04/04	990	4.47	"	565	4.50	"
	06/04/05	926	3.75	"	529	3.67	"
	06/04/06	849	2.86	"	492	2.98	"
	06/04/07	776	2.04	"	453	2.10	"
	06/04/08	700	2.32	"	418	2.49	"
	06/04/09	626	3.45	"	376	3.44	"
	06/04/10	568	4.41	"	340	4.52	"
	06/04/11	520	5.24	"	320	5.45	"
Waiting period 2	06/04/12	500	6.08	"	320	6.19	"
	06/04/13	500	6.62	"	320	6.54	"
	06/04/14	500	6.86	"	320	6.82	"
Final closure phase II	06/04/15	500	7.00	"	320	7.01	"
	06/04/16	460	7.04	"	299	7.12	"
	06/04/17	368	7.21	"	230	7.68	"
	06/04/18	276	7.15	"	160	7.49	"
	06/04/19	175	7.42	"	100	7.43	"
	06/04/20	133	6.98	"			

산출하여 구조물 안정성에 대한 신뢰도를 증대시킬 것으로 판단된다.

참고문헌

- 농업기반공사 농어촌연구원 (1994). 시화 방조제 끝막이 보고서.
- 농업기반공사 농어촌연구원 (2002~2006). 새만지구 수리모형 실험 보고서.
- 농업기반공사 (2000). 농업생산기반정비사업 조사설계 실무요령, 제4편 간척.
- 박상현, 박영욱 (1995). 방조제 개방구간에서 투하석재의 안정성에 관한 연구, 농공기술 No. 49, 농어촌진흥공사.
- 박상현 (1997). 방조제 개방구간의 투하석재와 돌망태 안정성 수리시험 연구, 한국관개배수지, Vol. 4, No. 2, 168-177.
- 박영욱, 황인찬, 구분충, 권순국 (2004). 급변류 구간에서의 사석 및 돌망태 안정성 비교, 한국농공학회 학술발표회. 한국농공공사 새만금사업단 (2006a). 새만금방조제 끝막이 종합계획서.

한국농촌공사 새만금사업단 (2006b). 새만금방조제 끝막이 중
합보고서.

현대건설 (2006). 새만금지구 제2호 방조제 끝막이 시공계
획서.

CUR Report (1998). Manual on the Use of Rock in Hydraulic
Engineering.

Delft Hydraulics (2002). Hwaong Dike Closure.

Delft University press (1984). The Closure of Tidal Basins.

Received April 4, 2009

Accepted April 12, 2009