



“외해차단시설(배수갑문)이 있는 하천 하구에서의 기점수위 결정방안”



천 호 권 |

(주)이산 수자원부 부장
freedom@isg.co.kr

1. 서론

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있고 4대강 및 주요 국가하천들은 바다로 직접 유입되는 경우가 많다. 그 중 일부하천은 하구에 방조제 및 하구둑이 설치되어 외해와 차단된 하구(낙동강, 안성천 등)와 자연상태의 하구(한강 등)로 분류할 수 있다.

방조제 및 하구둑 설치사유는 염수차단을 통한 양질의 수자원을 확보, 연안침식 방지 및 홍수시 원활한 통수능력을 배양, 하구에 발달한 간석지를 개발하기 위해 설치된 경우가 많다.

이러한 하천들에 대하여 하천기본계획 수립시 하구 지점의 기점수위를 산정하기 위하여는 외해의 설계조위, 내측의 계획홍수량, 내용적, 배수문의 규모 등을 결정하여야 한다. 그러나 현재 하천설계기준에는 하구 차단이 없는 하천의 경우 하천설계기준의 하구계획조위 채택방안을 적용하면 되나, 방조제가 설치된 하구의 조위선택에 대한 명확한 기준이 없는 상황이다.

따라서, 방조제가 기설치되어 있고 배수갑문으로 하천이 외해로 통하는 하천의 하천기본계획 수립시 기점수위 결정을 위한 적절한 조위의 선택과 현재 실무에서 적용하는 내수위 산정모형에 대하여 검토하고자 한다.

2. 우리나라 조위 특성

먼저 우리나라 바다의 조위 특성을 살펴보면 우리나라 해안에서는 어디서나 일조부등이 있으며 특히 동해안에서는 현저하게 1일1회조가 되는 수가 있다. 남해안에서는 일조부등이 대단히 적고 대개 규칙적인 승강을 하나 서해안에서는 일반적으로 일조부등은 적으나 조차가 커서 고조의 부등을 볼수 있으며 간만의 차는 세계적으로 특이하여 그 변화도 매우 크다.

(1) 동해안

평균해면은 3월이 최저이고 7월경이 최고로 되며 그차는 0.30m 정도로 평균해면의 승강은 조석으로 인한 승강과 비슷하므로 여름에 최저 조고가, 봄에 최고 조고가 거의 같은 높이로 되는 곳도 있다.

(2) 남해안

조차는 동부에서 1.2m, 서쪽으로 감에 따라 증가하여 서쪽끝에서는 3.2m이다. 고고조는 봄에는 오전에, 여름에는 야간에, 가을에는 오후에, 겨울에는 주간에 발생하는 것이 상례다.

(3) 서해안

조차는 남부에서 약 3.2m, 북으로 감에 따라 증가하여 인천에서 8.0~8.2m로 최대가 되었다가 다시 감소되어 대청도 부근에서 2.8~3.4m, 다시 북으로

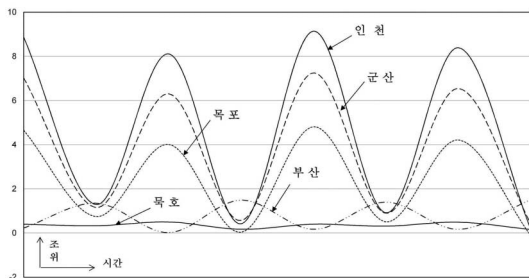


그림 1. 우리나라 해안의 조위곡선(1998.8.8~8.9)

감에 따라 북단에서는 약 4.2m가 된다.

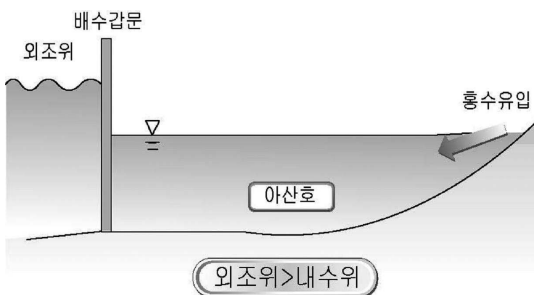
평균해면은 2월에 최저이고 8월에 최고로 되며 그 차는 0.50m에 달한다.(농업생산기반정비사업설계기준 참조)

3. 방조제+배수갑문 설계조위기준

방조제로 차단된 하천의 하구는 방조제에 설치되어 있는 배수갑문을 통해서만 외해로 유출할 수 있는 관계로 외조위 조건에 따라 배수갑문의 개폐가 좌우되고 이는 내수위 형성에 지대한 영향을 미쳐 기점수위를 결정하는 주요 요인이 되므로 외수위 조건의 결정은 매우 중요하다.

1) 방조제 설계시 설계조위

방조제 설치의 우리나라의 경우 주로 농림부와 한국농어촌공사에서 사업을 주도하여 간척지 개발 및



농업용수확보등을 위해 방조제가 설치되었다. 이에 농업기반생산시설설계기준에 방조제 설치시의 설계조위 기준이 수록되어있다.

- ① 기왕최고조위
- ② 대조평균만조위 +기왕최대고조위 편차
- ③ 대조평균만조위 +기왕이상 최대조위편차

여기서, 기왕 최대 고조위 편차 = 기왕 최고조위 - 대조평균만조위기왕 이상최대 조위편차 = 빈도최고조위 - 대조평균만조위 기왕의 최고조위 : 실측치 중 제일 큰 값. 빈도최고조위 : 년별, 월별, 빈도분석 값.

2) 배수갑문 설계시 설계조위

하천설계기준 등 배수갑문에 적용하는 설계조위에 대한 기준은 제시되고 있지 않으며, 농업기반생산시설설계기준에서는 간단히 ‘배수구가 바다에 붙어 있는 경우의 배수계획은 소조시 또는 대조시의 평균조위곡선이 외수위 수문곡선이 된다.’라고 제시되어 소조평균만조위 또는 대조평균만조위를 채택하도록 하고 있다.

3) 삽교호외측 설계조위

아산만 방조제 배수갑문확장공사시 외조위분석결과를 인용하면 다음과 같다.

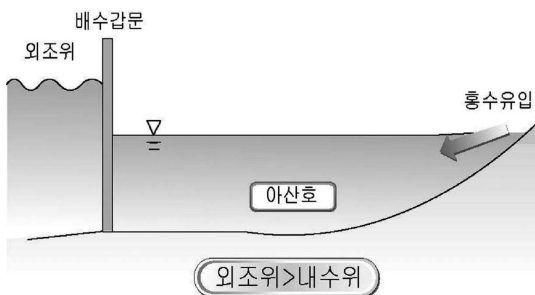
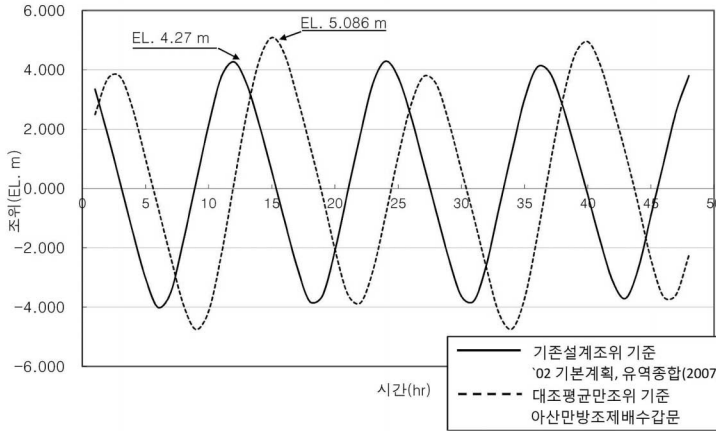


그림 2. 내·외수위 조건에 따른 배수갑문 방류특성



〈비조화상수〉

- 조석관측으로부터 통계에 의하여 구할 수 있는 상수
- 조석의 특성을 표시하기 위해 이용



〈삼교외측 비조화상수〉

(1996.07~1997.12)



4. 주요 하천별 채택조위 및 하구계획조위 결정방법(하천설계기준)

을 조사한 결과 대부분 대조평균만조위를 외조위 조건으로 채택한 것으로 조사되었다.

하구계획조위 결정시 하천설계기준에 의하면 최고조위 또는 대조평균만조위를 채택하는 것이 일반적이며 국내 주요하천별 기점수위 결정시 채택한 조위값

2) 하구계획조위 결정방법 [하천설계기준·해설 (한국수자원학회,2009)]

① 과거 발생한 조위 중에서 발생원인을 명확히 조

1) 국내 주요하천별 기점수위 결정시 채택조위

하천명	사업명	계획홍수량 (m³/s)	계획홍수위 (EL. m)	조위조건 (EL. m)	비 고
한 강	한강 하천기본계획(팔당댐~하구) (2002,건교부)	40,000	7.00	대조평균만조위 (EL.4.13 m)	• 배수제
낙동강	낙동강수계(하류)하천기본계획 (2009, 국토부)	22,300	3.11	대조평균만조위 (EL.0.675 m)	• 방조제+배수갑문
금 강	금강수계 하천기본계획(변경) (2009,건토부)	14,625	4.62	최고조위 (EL.3.94 m)	• 방조제+배수갑문
안성천	안성천수계 하천정비기본계획 (2002, 국토부)	6,900	4.50	설계당시최고조위 (EL.5.25 m)	• 방조제+배수갑문
삼교천	삼교천 하천정비기본계획 (2007,건교부)	6,890	5.37	설계당시최고조위 (EL.4.80 m)	• 방조제+배수갑문
영산강	영산강 하천기본계획(변경) (2009, 익산청)	4,710	1.64	대조평균만조위 (EL.1.39 m)	• 방조제+배수갑문
만경강,동진강	동진강·만경강 하천정비기본계획(보완) (건설부, 1993)	4,270	1.70	대조평균만조위 (EL.2.91 m)	• 방조제+배수갑문
굴포천	경인운하사업 기본계획보고서 (수공, 2009)	1,207	4.86	대조평균만조위 (EL.4.63 m)	• 홍수분담 (하도+유수지+배수갑문)



사하여 선정된 최고조위

- ② 태풍 등에 의한 고조가 발생하지 않을 때는 대조평균만조위
- ③ 고조나 지진해일의 영향을 받을 때 대조평균만조위+최대조위편차(또는 고조 조위편차)
- ④ 하구 조위기록과 유량기록이 충분할 때는 연최대조위에서 개수규모에 상당하는 확률수위
- ⑤ 홍수시 최대조위에서 개수규모에 상당하는 확률수위

5. 방조제+배수갑문을 고려한 내수위 산정

방조제 설치로 인한 하도의 저류효과와 배수갑문을 통한 내·외수위 차에 의한 방류를 고려할 수 있는 내수위 산정 모형으로는 Hec-Ras, Gate, DWOPER 등의 모형이 대표적이며, 배수갑문을 통해 방류되는 수문량을 산정하기 위해 적용되는 기준은 잠긴오리피스, 수면오리피스, 잠긴웨어, 자유유출

웨어 등 4가지로 구분되어 계산되어 진다.

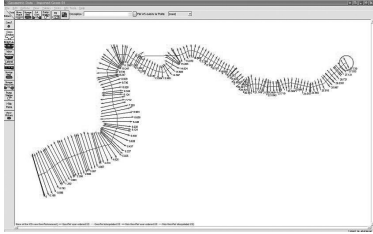
6. 내수위 산정 Program

1) Hec-Ras

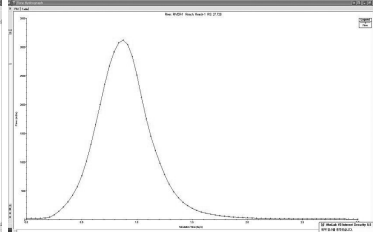
Hec-Ras 모형은 현재 실무에서 많이 적용되고 있는 모형으로 GUI 환경으로 이루어져 입출력자료의 확인이 용이하며 이를 이용한 내수위 분석을 위해서는 하도 단면 구성, 하도 특성 인자 산정, 계획홍수량 산정 등의 절차가 선행되어야 한다.

하도 단면은 측량성과(종횡단 자료)를 활용하여 배수영향이 고려되는 구간까지의 하도 구성이 필요하며, 조도계수 등의 하도특성인자는 하도의 상태를 고려하여 결정할 필요가 있고, 계획홍수량은 Flow Hydrograph(상류단 유입수문곡선), Lateral Inflow Hydrograph(측방유입수문곡선), Uniform Lateral Inflow Hydrograph(균일측방유입수문곡

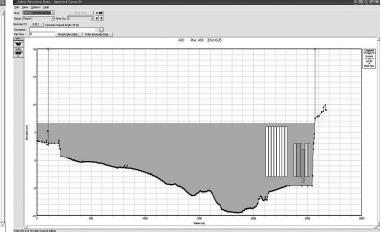
구 분	잠긴오리피스(Case 1)	수면오리피스(Case 2)
개요도		
지배방정식	$Q_1 = C_1 H_3 B \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$	$Q_{21} = C_{21} (H_3 - H_2) B \sqrt{2g(\Delta H + CH)}$ $Q_{22} = C_{22} (H_1 - \Delta H) B \sqrt{2g \Delta H}$ $Q_2 = Q_{21} + Q_{22}$
구 분	잠긴웨어(Case 3)	자유유출웨어(Case 4)
개요도		
지배방정식	$Q_3 = C_3 (H_1 - \Delta H) B \sqrt{2g \Delta H}$	$Q_4 = C_4 \times \frac{2}{3} H_1 B \sqrt{2g \frac{H_1}{3}}$ $= 1.704 C_4 B H_1^{3/2}$



안성천 하도 구성



유입수문곡선 적용



배수갑문 구성

선) 등으로 구분하여 유입수문곡선 Group으로 설정한다.

특히, 하도단면구성시 방조제의 배수갑문을 재현하기 위해서는 Hec-Ras의 Inline Structure를 활용하여 배수갑문의 제원을 입력하여야 하며, 이중 웨어제수는 계수값에 따라 민감도가 큰 사항으로 설정시 적절한 계수의 적용이 필요하다.

개발된 1차원 하천모형으로 미국 및 세계 여러나라의 하천에 적용된 바 있다. 이 모형은 횡단면 등 지형인자(폭-표고) 입력과 소유역별 유출수문곡선을 측방유입량 입력, 하류단경계조건(시간별 수위)의 입력을 통해 내수위를 산정토록 구성되어 있다.

4) 내수위 산정 모형 비교

Hec-Ras는 사용자의 편리성과 배수영향을 고려할 수 있으며, Gate의 경우 저수용량의 영향 고려, DWOPER는 복잡한 하천 Network 흐름을 해석하기에 용이한 장점들을 보유하고 있다.

따라서, Hec-Ras, Gate, DWOPER 모형을 이용한 내수위 산정은 하도의 특성을 충분히 고려하여 배수영향과 같은 수리학적 해석이 유리한 경우, 복잡하게 형성된 하천 Network 흐름의 해석이 필요한 경우, 저수용량의 영향이 받은 경우 등 각각의 특징을 충분히 반영할 수 있는 적절한 모형을 선택하는 것이 필요할 것이다.

2) Gate

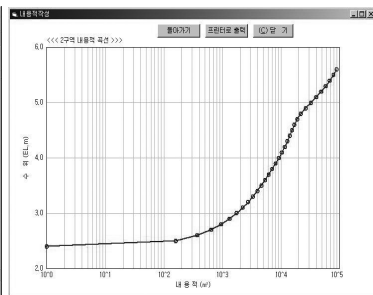
Gate 모형은 농어촌공사에서 배수문의 규모 설계시 사용되는 Program으로써 Hec-Ras와 달리 별도의 하도구성은 필요없으며, 내수위 산정은 입력되는 저수지의 내용적 곡선에 의해 결정되도록 구성되어 있어 저수용량에 영향을 많이 받는 곳에서 해석시 유리하다.

3) DWOPER

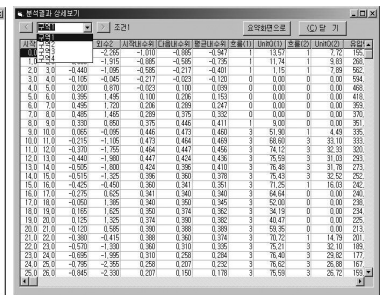
DWOPER는 미국 기상청의 D. Fread에 의해서



입력창



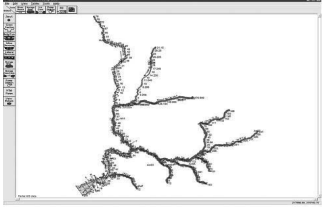
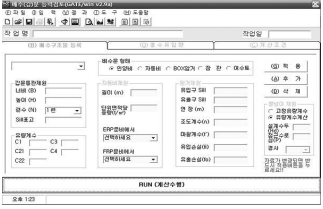
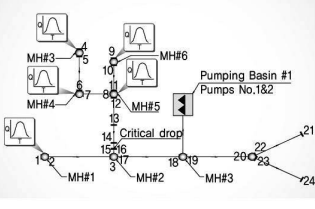
내용적 곡선



분설 결과



표 1. Decision Matrix 1 for WSM

구 분	HEC-RAS	GATE	DWOPER
개요도			
개요	· GUI환경으로 입출력자료확인 및 비교안 작성 용이 · 실무에서 많이 적용	· 배수감문의 규모검토 적용 모형	· 복잡하게 형성된 하천 Network 흐름을 해석
모형특징	· 수리학적 추적으로 종단방향으로 배수 영향을 많이 받는 곳의 해석에 유리 · HEC-HMS에서 산정한 소유역별 유출수문곡선 적용	· 수문학적 추적으로 저수용량에 영향	· 횡단면 등 지형인자(폭-표고) 입력 · HEC-HMS에서 산정한 소유역별 유출곡선을 측방유입량으로 8개로 단순화하여 적용

7. 아산호를 대상으로 기점수위 산정

아산호를 대상으로 Hec-RAS프로그램을 활용 기점수위를 산정하였으며 여기에 나오는 값들은 분석상 이해를 돕기위하여 예로 제시하였다.

1) 입력자료 구성

- 하도구성 : 아산만방조제로 인한 배수영향구간 (아산만 방조제~진위천 합류점)
- 홍 수 량 : 8,470m³/s (아산호지점(안성천 유역))

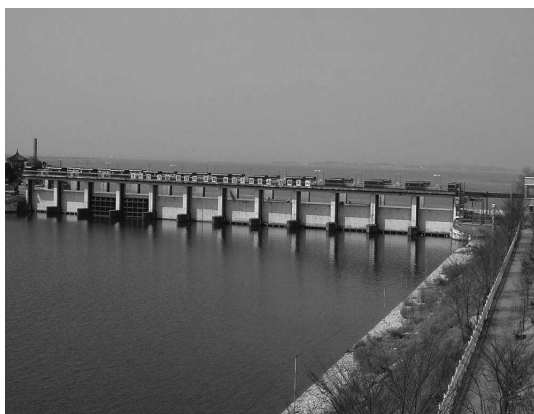
홍수수문곡선)

- 조 위 : EL.4.29m (대조평균만조위)
“아산·삼교호 주변 침수원인 분석(농림부, 농업기반공사, 2000.12)”
- 내 수 위 : EL.1.50m (아산호 홍수기 제한수위)
- 방류수문 : 10.0m×6.0m×12련, 22.0m×10.6m×12련
- 방류구조물 유량계수

구 분	웨 어	수면오리피스	잠김오리피스	비 고
유량계수	1.57	0.6	0.8	



아산방조제 위치도



아산방조제 배수감문



※ Hec-RAS 매뉴얼상 유량계수 적용범위

구분	웨어	수면오리피스	잠긴오리피스	비고
유량계수 적용범위	1.44~1.71	0.5~0.7	0.8	

8. 결론

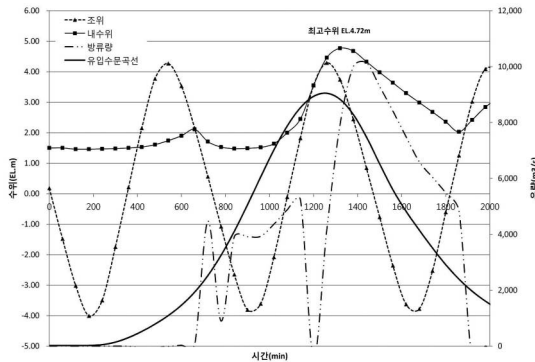
아산호와 같이 방조제+배수갑문으로 인하여 외해로부터 조수를 차단하는 시설이 설치되어 있는 경우 기점홍수위결정은 일반하도에서의 기점홍수위 결정과는 별도로 외해의 설계조위 선정과 내수위 산정을 위한 유량계수 C값을 어떤 기준으로 채택하는냐가 매우 중요하다.

설계조위 채택은 앞서 조사한 결과 국내 주요하천은 대조평균만조위를 다수 채택하고 있으나, 하천기본계획수립시 그 지역의 특성 및 중요도, 경제성 등을 고려하여 최고조위 등을 검토하여 최종 채택하여야 할 것으로 판단된다.

내수위 산정을 위한 웨어 및 오리피스의 유량계수 C값은 아산만방조제를 대상으로 기점수위(Hec-RAS 활용)를 분석한 결과 외조위, 계획홍수량 등 기본적인 입력 결과치가 결정되었을 경우 유량계수 C값에 따라 기점수위가 다소 편차가 발생된다. 따라서, 유량계수 C값의 적절한 채택을 위한 기술자적 판단이 중요하며 그 채택의 적정성을 제고하기 위하여는 수리모형실험과 더불어 지속적인 실측수위(내수위 및 외수위)를 통한 모니터링 수행이 필요할 것으로 판단된다. 🌊

2) 검토결과

- 산정내수위(기점수위) : EL.4.72m
- 최대 방류량 : 10,160m³/s



참고문헌

1. 농업생산기반정비사업설계기준(농림부)-배수편 p97
2. 농업생산기반정비사업실무요령(농림부)-제4편 간척편 p985~986, p1090~1091
3. “HEC-RAS Applications Guide”, US Army Corps of Engineers 2010
4. “HEC-RAS Hydraulic Reference Manual”, US Army Corps of Engineers 2010
5. “제15회 수공학 워크샵, Advanced Hec-RAS”, 한국수자원학회 2006
6. “배수갑문능력검토(Gate) 사용자 설명서”, 농어촌공사 정보관리실 정보개발부 2001
7. “남한강 홍수해석을 위한 동수역학 모형의 적용”, 한국수자원학회 2009