

## 경인운하 충배수시설(fill/empty system)의 효용성 검토

박정욱\*, 김규한\*\*, 박창근\*\*\*, 편종근\*\*\*\*

### 1. 서론

우리나라 인천항의 적체현상은 그 한계를 초과한 상태여서 체선율이 약 40%에 이르고 있다. 아울러, 수도권 대량화물의 대부분이 인천항을 경유하여 내륙수송방법을 통해 운송되므로 수도권의 심각한 교통체증을 가중시키며, 물류가격경쟁력의 저하현상을 초래하고 있다. 따라서, 운하를 건설하여 연안해송, 내륙수운 등의 수송수단을 통해 대량화물 운송을 원활히 하여 내륙교통량을 완화시키고 수송비를 절감시키는 방법도 이상과 같은 문제점해결의 대안이 될 수 있을 것이다.

그러나, 이러한 필요성에 의해 건설예정인 경인운하는 자연조건상 약 10m에 이르는 서해안의 매우 큰 조석간만 차로 인해, 선박의 원활한 수송에 제약이 받게 될 수 있다. 따라서, 이와같은 조석의 영향을 제어할 수 있는 갑문의 설치가 무엇보다 필수적이라 할 수 있다. 아울러, 조석간만의 차가 클 경우 갑문의 양측에 걸리는 큰 수위차 때문에 갑문의 조작을 위해서는 상대적으로 세심한 주의가 필요할 뿐만 아니라, 갑문을 설계할 때에도 보다 정밀한 검토가 필요하다.

본 연구는 경인운하의 인천측 갑실(lock)에 대해, 갑실을 통한 충배수 시스템 및 선박의 계류상황을 검토하여 현재 진행중인 갑문설계의 적절성 여부를 확인하고, 아울러 갑실로서 수리적 지장없이 그 기능을 발휘할 수 있는지의 여부를 조사하여 설계 및 관리운영상 필요한 수리자료를 구하는데 그 목적이 있다고 할 수 있다. 이와같은 목적하에 본 연구에서는 수리모형실험을 통해 기설계된 갑문의 수동역학적 기능 및 안정성과 갑실설계의 타당성을 면밀히 검토하였다.

### 2. 모형의 제작과 실험설비

모형의 축척은 1:30로 설정하였으며, 그림 1은 모형의 전체도 중 갑문 및 갑실의 주요부를 나타내고 있다. 갑문 외측에는 바다 및 운하를 모의하기 위한 저수지(pool)를 설치하였다. 유량은 양측 저수지의 가장자리를 통하여 각각 공급하도록 되어 있으며, 공급된 물은 안정된 흐름상태를 유도하기 위해 설치된 정류판(2중으로 설치됨)을 통하여 저수지내로 유입된다. 또한 저수지내의 수위를 조절하기 위하여 저수지의 한쪽 벽면에 수위조절 장치를 각각 설치하였다. 수위조절장치를 통해 배출되는 물은 배수로(discharge channel)를 통하여 저수지로 유입되도록 설계되었다.

갑문은 4개 모두 스테인레스 철강재로 제작되었으며, 배수로 및 양측 저수지는 블록과 시멘트몰탈을 이용하여 제작되었다. 또한, 갑문의 문실(recess room of gate)은 구조물 형상이 복잡하므로 제작의 편의를 위하여 목재로 제작되었다. 사진 1에서 알 수 있듯이, 갑실의 바닥은 목재를 이용하고, 측면부는 실험계측시 가시화를 고려하여 양측 모두 아크릴로 제작되었으며, 암거(culvert) 구조물 또한 아크릴로 제작되었다. 암거와 갑실은 포트(ports)에 의해 연결되어 있으며 충수시 암거를 통해 유입

\* 관동대학교 건설환경시스템공학부 석사과정

\*\* 관동대학교 건설환경시스템공학부 부교수

\*\*\* 관동대학교 건설환경시스템공학부 조교수

\*\*\*\* 명지대학교 토목환경공학과 교수

된 물은 포트를 통해 갑실로 분사되도록 되어 있으며, 반대로 배수시는 포트를 통해 갑실의 물을 암거로 유출시킨다. 아울러 암거로의 유출수의 차단과 공급은 암거밸브(culvert valve)에 의해 이루어지게 되는데, 이때 암거밸브는 실제 테인터게이트이지만 모형에서는 그 재현이 어려운 관계로 버터플라이 밸브로 대체하여 사용하였다. 사진 2는 모형상의 암거밸브를 나타내 주고 있다.

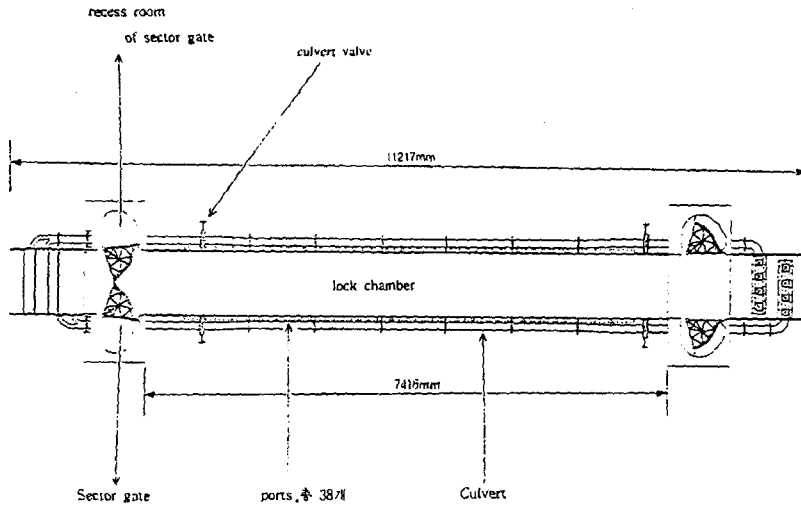


그림 1 갑문 및 갑실의 평면도

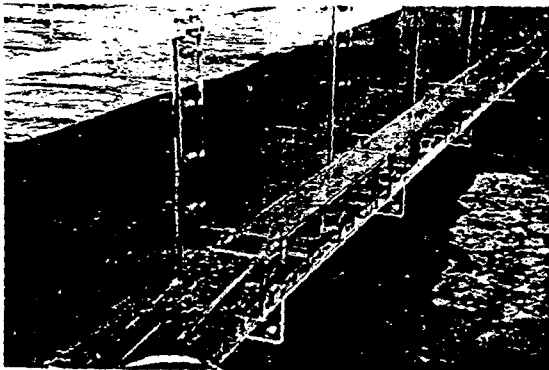


사진 1 갑실 및 암거

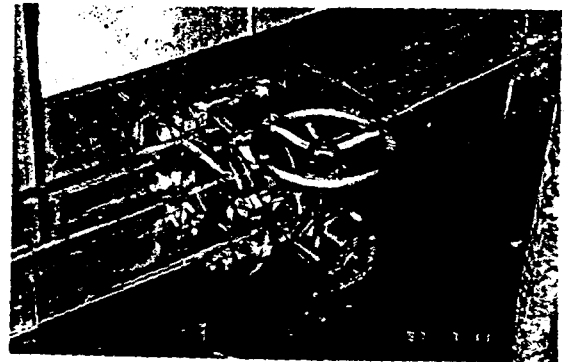


사진 2 암거밸브

### 3. 실험조건

실제 갑문에 있어서 갑문조작은 정상시의 조작(normal operation)과 비상시의 조작(emergency operation)으로 크게 나눌 수 있다. 모형실험에서도 이와같은 정상(正常)조작과 비상(非常)조작 상황을 설정하여 각 경우에 대해 각각 검토를 수행할 필요가 있다. 다음의 표 1은 정상조작의 실험조건을 나타내며, 각 실험경우마다 바다측 수위(sea side water level)와 운하측 수위(channel side water level)를 제시하고 있다. 바다측 수위는 서해안의 조위변화를 나타내 주며 운하측 수위는 고정수위이다. 갑실내의 설계수위는 운하측 수위와 동일하며, 설계수위인  $+2.7m$ 를 설정하고, 외해측 수위는 서해안 최고수위인  $+5.78m$ 를 기준으로  $1.15m \sim 1.68m$ 의 차이를 두어 총 6종류의 조위를 설정하

였다. 단, 운하측 수위와 비슷한 외해측 수위조건은 생략하였다. 또한, 홍수시의 상황을 고려하여 운하측(갑실내) 수위를 5.5m로 설정하고 외해측은 최저조위로 설정한 극한 상황의 경우를 1종류선택하여 추가실험안으로 설정하였으며, 이때의 조위차는 10.96m에 달한다.

표 1 총배수시설 실험안

Case number	Sea side water level(m)	Channel side water level(m)	Remarks
1	+5.78	+2.7	culvert open
2	+4.63	+2.7	"
3	+3.38	+2.7	"
4	+2.52	+2.7	"
5	-3.78	+2.7	"
6	-5.46	+2.7	"
7	-5.46	+5.5	"

또한, 표 1에 표시된 7 case에 대해 암거(culvert)만에 의한 총배수 시스템을 검토하고, 암거만으로는 신속한 총·배수가 이루어지지 않는 4 case 즉 표 2에 표시된 경우에 대해 갑문과 암거를 동시에 작동시켜 총·배수 상황을 검토하였다.

표 2 총배수시설 추가실험안

Case number	Sea side water level(m)	Channel side water level(m)	Remarks
1	+5.78	+2.7	culvert & gate opened
2	-3.78	+2.7	"
3	-5.46	+2.7	"
4	-5.46	+5.5	"

#### 4. 실험방법

실험에 있어서 얻어지는 Data는 총 13개채널(Channel)에 각각 수위, 차압, 유속에 대해 알아 보았다.

##### (1) 유속(flow velocity)

암거내의 유량조절에 따른 갑실내의 총배수상황 및 암거내의 유속측정 자료는 갑실 및 암거내의 흐름상황을 판단하기 위해 간접적인 자료로 이용될 수 있다. 계측에 사용된 유속계는 전자유속계(electro magnetic current meter)이고, 계측된 유속자료는 역시 컴퓨터에 수집되어 저장된다. 유속의 계측시간 간격은 0.1sec이다. 특히 암거내의 유속측정시에는 암거에 구멍을 뚫어 전자유속계의 센서부분을 삽입하고 밀봉하여 계측을 수행하였다.

##### (2) 수위(water level)

초기조건으로서의 수위를 설정할 때에는 포인트게이지를 사용하였다. 포인트게이지의 위치는 실험조건별로 레벨측량을 이용하여 적절한 지점에 표시해 둔다.

비정상실험(unsteady flow test)에서의 수위 측, 수위의 시간적 변화는 서보식 수위계를 사용하였다. 수위계를 이용한 계측지점은 갑실내에서 그림 2와 같이 설정하였다.

수위의 정확한 계측은 초기상태시 갑실과 바다측에 수위차를 두고 암거는 물론 갑문을 열어 비정상상태로 수위가 같아지는 현상을 확인하는 충배수실험과 같은 소위 비정상실험에서는 매우 중요하다. 특히 갑문 또는 암거의 조작으로 수위차가 없어지는 시간 즉 실험종료 시간을 육안으로 설정하는 것보다 정확한 수위계를 이용하여 수위차가 없어지는 시간을 설정하는 것이 실험을 효율적으로 수행하는데 필요하다. 실험에 의해 감지된 수위는 증폭기를 거쳐 A/D변환기에서 A/D변환되어 컴퓨터에 수집되어 저장한다. 수위계측 시간간격은 10 Hz(0.1sec)이다. 수위계는 그 길이가 30 cm이내이므로 그 이상의 수위변화가 발생하는 구간에서는 수위계를 두 개이상 겹쳐 설치하고 그 수위변화에 대응하여 사용하였다. 계측과정의 개략도는 그림 3에 나타나 있다.

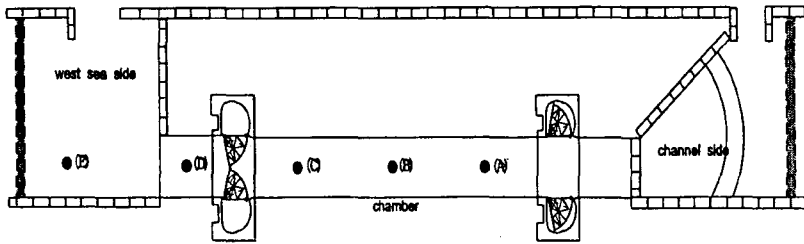


그림 2 갑실내 수위계측지점

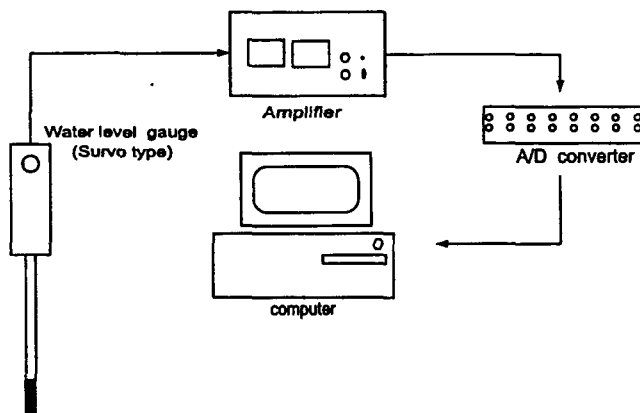


그림 3 충배수실험에서의 수위계측과정 개략도

(3) 갑문조작

본 수리모형실험을 정확하고 편리하게 수행하기 위해서는 갑문을 자동적으로 열고 닫는 장치가 필

요하다. 이러한 갑문의 열고 닫음 즉 갑문조작의 과정은 다음과 같다.

먼저 컴퓨터에 내장된 소프트웨어에 갑문의 개도(opening) 또는 열리는 각도(degree)와 갑문의 속도(speed)를 입력하면, 그 자료는 컴퓨터에 내장된 A/D보드(A/D board)에 의하여 아날로그의 펄스(pulse)신호로 바뀌어져 자동제어기(servo driver)로 전송된다. 자동제어기는 수신된 아날로그 신호에 의하여 서보전동계(servo motor)를 가동시켜 기어를 회전시키게 되어, 당초 컴퓨터에 입력된 갑문의 개도와 속도만큼 자동적으로 갑문이 조작되어진다. 한편 갑문축에 부착된 회전감지기(rotary encoder)는 갑문의 초기 상황과 조작 진행 상황을 컴퓨터로 전송하여 갑문이 조작되는 상황과 갑문조작의 적절성을 검토할 수 있게 한다.

#### (4) 암거조작

경인운하의 갑실내의 총배수 시스템은 특히 암거에 의해 작동되도록 설계되어 있으므로 실제로는 암거에 설치되는 테인터게이트(tainter gate)를 이용하여 총배수를 실시하게 된다. 그러나 실험에서는 암거내에 테인터게이트를 설치하기 곤란하여 버터플라이밸브를 이용하여 암거내로의 유량조절을 실시하였다.

### 5. 실험결과

이미 앞에서 언급한 바와 같은 실험방법에 의해 총 7case에 해당하는 수위조건에 따라 암거조작을 통해 갑실내의 수위변화를 유도하는 총배수실험을 실시하였다. 그 결과, 총배수시간은 설계조건에서 제공하고 있는 현지스캐일 8-10분, 즉 모형상에서 88 sec ~ 110 sec 를 대부분의 조건안에서 충족시켜 주었다. 그에 대한 결과는 갑실내의 동적 수위변화도로 부터 충분히 확인할 수 있다. 그림 4에 각 case에서 A지점의 시간별 수위변화도가 나타나 있다. 단, 이중 1, 5, 6, 7 case는 다른 case에 비해 총배수시간이 다소 지연되는 점을 확인할 수 있었다. 그림 5는 수위별 총배수시간을 나타낸 것이다.

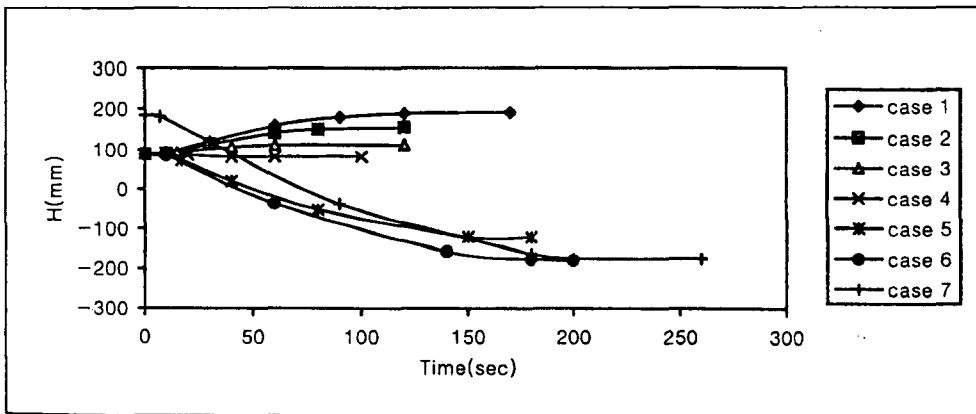


그림 4 각 case별 A지점의 시간별 수위변화도

따라서, 암거조작뿐만 아니라, 갑문을 동시에 개방함으로써 총배수기능이 빠른 시간내에 만족할 수 있도록 설정하고 그 양상을 검토해 보았다. 그 결과 역시 갑문을 동시에 개방했을 경우, 암거조작만에 의한 수위조절시간보다 빠른 시간내에 총배수기능이 만족됨을 알 수 있었다. 이 결과는 그림 6에 나타나 있다.

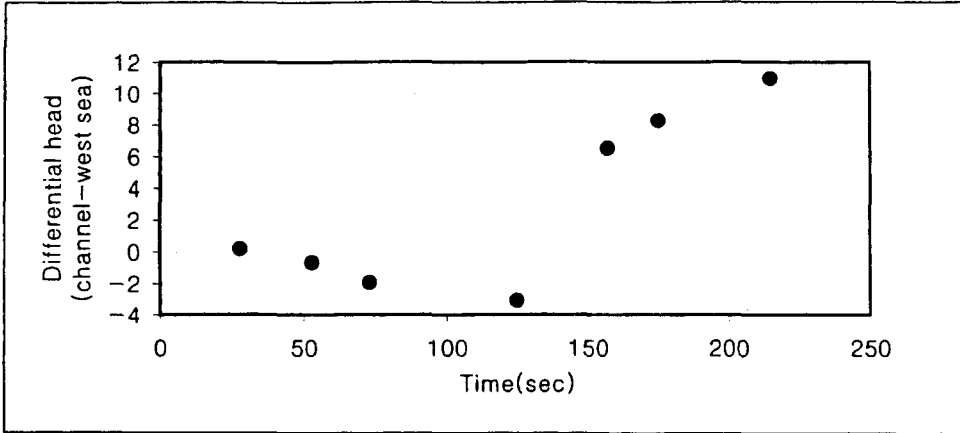


그림 5 수위차에 따른 총배수시간

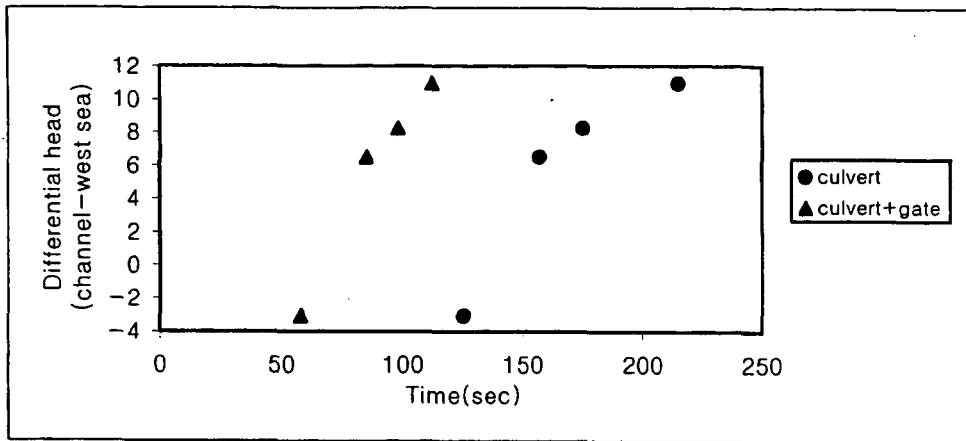


그림 6 총배수방법에 따른 총배수시간의 비교

단, 모든 결과도면에서 1 cm 이내의 수위차는 이미 총배수기능이 만족된 것으로 판단하였다. 또한 Case 1, 5, 6, 7의 경우, 갑문의 개폐속도 및 개도는 갑문수리모형시 검토된 예비실험결과 결정된 개도 2.7°, 개폐속도 3.68°/min 을 사용하였다.

## 7. 참고문헌

- 1) 고석구, "세미나자료", 한국수자원공사, 1997. 6. 18
- 2) 테크노피아, "세계의 거대건설", 하늘, 1994. 8
- 3) Richardson, G., "Hydraulic design of columbia river navigation lock", Transaction, Vol. 125, part I, 1960
- 4) Hardin, Gentilich., "Model studies of algers lock", 1948. 6
- 5) P. Novak, A.I.B. Moffat., "Hydraulic Structures", 2th, E & FN SPON 1997. 7
- 6) Naudascher. E., "Hydrodynamic force", IAHR, 1991