

경인운하 갑문에 관한 수리모형실험

권혁도¹⁾, 김규한²⁾, 박창근³⁾, 정종진⁴⁾, 편종근⁵⁾

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 절감시킬 필요성 있으며 빈번히 일어나는 굴포천 유역의 홍수피해의 해소를 위해 서해로 직접 방류하는 치수계획 뿐만아니라 장래 한강을 통한 내륙 수상운송 네트워크를 창조하여 수송수단의 다양화를 통한 국가 경쟁력을 확보해야할 필요가 있다. 그러나, 이러한 필요성에 의해 설계된 경인운하는 서해안의 매우 큰 조석간만차의 영향으로 인해 서해측 갑문에 작용하는 유체력을 면밀히 검토해야 될 필요가 있다. 따라서 본연구에서는 대한 수리모형실험을 실시하여 갑문의 지지력 및 안정성 그리고 운용면을 확인하고 설계의 적절성 여부 및 갑문의 수리적기능을 검토하였다.

2. 모형의 제작과 실험설비

다음 Fig. 1은 수리모형실험 대상인 인천측 갑문에 대한 개략도를 담고 있다. 여기서 붉은선으로 표시된 영역이 실제 모형제작 영역에 해당한다.

본 수리모형실험에서 주요구조물은 갑실부(lock chamber monolith)와 바다측의 갑문부(sea side sector gate monolith) 및 운하측의 갑문부 등으로 이루어져 있다. 모형의 축척을 1:30으로 하여 제작한 모형의 전체도는 Fig. 2에 나타나 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 저수

-
- 1) 관동대학교 건설환경시스템공학부 대학원생
 - 2) 관동대학교 건설환경시스템공학부 부교수
 - 3) 관동대학교 건설환경시스템공학부 조교수
 - 4) 한국종합개발기술공사 상무
 - 5) 명지대학교 토목환경공학과 교수

지내로 유입된다. 또한 저수지내의 수위를 조절하기 위하여 저수지의 한쪽 벽면에 수위조절 장치를 각각 설치하였다. 수위조절장치를 통해 배출되는 물은 배수로(discharge channel)를 통하여 저수조로 유입되도록 설계되었다. 갑문은 4개 모두 스테인레스 철강재로 제작하였으며, 배수로 및 양측 저수지는 블록과 시멘트물탈을 이용하여 제작하였다. 또한, 갑문의 문실(recess room of gate)은 구조물 형상이 복잡하므로 제작의 편의를 위하여 목재로 제작하였다. 갑실의 바닥은 목재를 이용하고, 측면부는 실험계측시 가시화를 고려하여 양측 모두 아크릴로 제작하였으며, 암거(culvert) 구조물 또한 아크릴로 제작하였다.

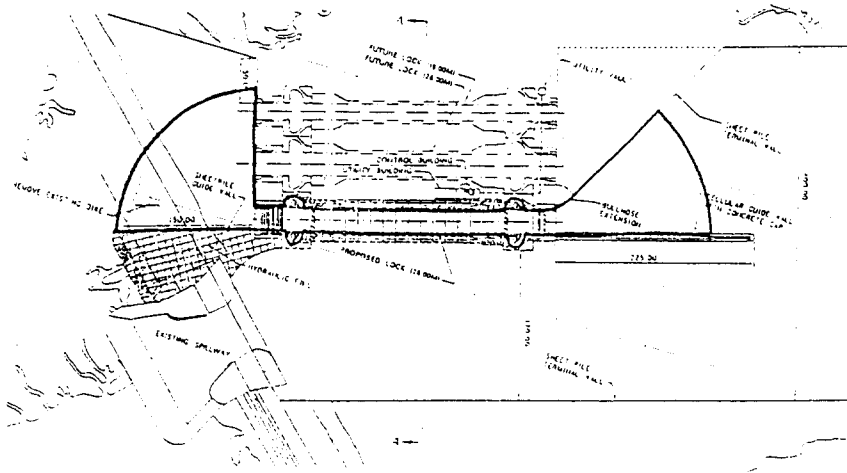


Fig. 1 Outline of gate and chamber of Incheon side

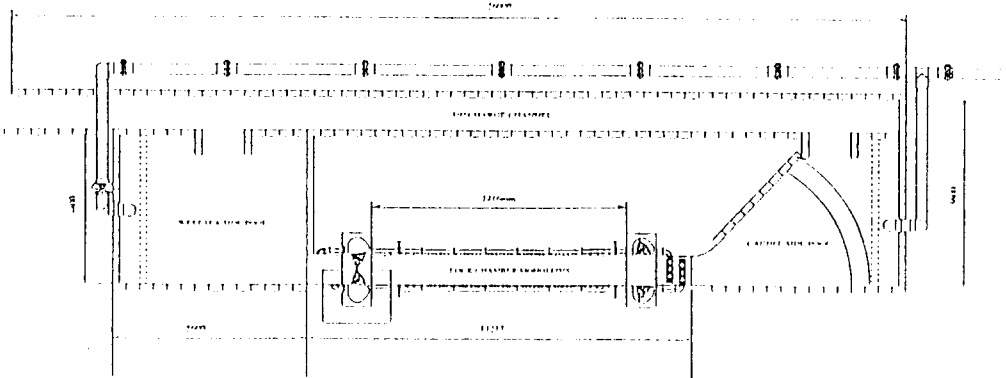


Fig. 2 General plan of constructed model

3. 실험계측장치

본 수리모형실험에서 바다측 갑문의 토크와 지지력을 측정하기 위해 모형갑문에 설치한 계측 장비 및 구동장치의 개요도가 Fig. 3에 도시되어 있다.

자료기록계(data recorder)는 16개의 채널(channel)을 가지고 있고, 본 실험에서 사용된 채널수는 14개이다. 각 채널과 그 채널에 수신되는 계측 항목을 정리해보면 다음 Table 1과 같다.

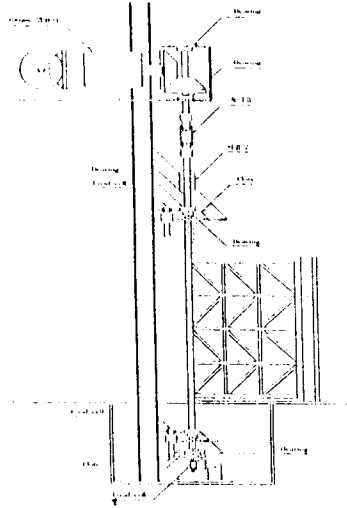


Fig. 3 Schematic diagram for measuring systems of bearing forces and torque

Table 1 Measuring Item and corresponding channel of data recorder

Channel No.	Measuring Item	Remarks
1	bearing force(A)	measured from 3 load cells located at top of sea-side sector gate
2	bearing force(B)	
3	bearing force(C)	
4	bearing force(D)	measured from 3 load cells located at the bottom of sea-side sector gate
5	bearing force(E)	
6	bearing force(F)	
8	torque	
9	differential head(A)	measured at both sides of skin plate of sector gate
10	differential head(B)	
11	differential head(C)	
12	differential head(D)	
13	differential head(E)	
14	current meter	

4. 예비실험

4.1 비정상실험(Unsteady)

갑문의 정상조작 상태에서 수행되는 본실험을 실시하기에 앞서 갑문을 0.5m, 1.0m, 2.0m로 여는 경우에 대한 최적개도(optimal opening)를 예비실험을 통하여 결정한 후 본실험시 그 최적개도를 중심으로 실험을 실시하는 것이 보다 효율적이다. 또한 총배수실험에서 갑문을 여는 속도(gate opening speed)의 대안으로 1.0min, 2.5min, 4min을 제시하고 있고, 이에 대한 최적속도(optimal speed)를 결정하도록 되어 있다. 따라서 비정상 상태에서의 예비실험 case 수는 순류(갑실에서→바다) 9가지, 역류(바다→갑실) 2가지로 모두 11경우이다.

4.2 정상실험(steady)

정상상태에서의 실험은 모형에서 갑문의 세가지 개도 1.67cm, 3.33cm, 6.67cm만큼 갑문을 연 상태에서 바다와 갑실의 수위차를 조절하여 계측을 수행하였다.

이상에서와 같이 예비실험에서 수행한 실험 case는 Table 3과 같이 비정상상태에서 순류의 경우 9 case이고 역류의 경우 2 case이며, 정상상태에서 3 case로 총 14 case이다.

Table 2 Case numbers of preliminary experiments

Unsteady Flow		Steady Flow	Total
Regular	Reverse		
9 Cases	2 Cases	3 Cases	14 Cases

5. 본실험

실제 갑문에 있어서의 갑문조작은 正常時의 조작(normal operation)과 非常時의 조작(emergency operation)으로 크게 나눌 수 있다. 모형실험에서도 이와같은 正常조작과 非常조작상황을 설정하여 각 경우에 대해 각각 검토를 수행할 필요가 있다. 다음의 Table 3은 定常조작 상황에 대한 실험조건을 나타내며, 각 실험경우마다 바다측 수위(sea side water level)와 운하측 수위(channel side water level)를 제시하고 있다. 바다측 수위는 서해안의 조위변화를 나타내주며 운하측 수위는 고정수위이다. 갑실내의 설계수위는 운하측 수위와 동일하여, 실제로는 +2.7m이지만, 모형에서는 외해측과 운하측의 수위 변화차에 따라 갑문에 작용하는 힘을 측정하기 위해 외해측은 1m간격으로 변화시키고, 운하측은 3m로 고정설정하여 실험을 실시하였다.

非常조작시의 실험은 원칙적으로 실험실에서 발생시킬 수 있는 최대유량을 통수시켜 갑문에 작용하는 유체력이 가장 크도록 한 상태에서 실험을 수행할 필요가 있다. 아울러, 유체력이 큰 非常상태를 설정키위해 수위가 동일한 정상류 흐름(steady flow)을 만들어 실험을 실시하고, 이 때의 상황은 정상류를 만들어야 하므로 당연히 갑문은 완전히 열려져 있는 상황이 된다. 따라서, 非常상태에서는 갑문을 연 상태에서 갑자기 닫는 상태를 실험할 수 밖에 없다. 이와 같이 갑문을 닫는 경우는 갑문 한 개를 완전히 닫은 후 나머지 한 개를 닫는 방법과 두 개를 동시에 닫는 방

법의 두가지 경우가 설정될 수 있다.

Table 3 Test cases of normal operation

Case number	Sea side water level(m)	Channel side water level(m)	Remark
1	+6	+3	
2	+5	+3	
3	+4	+3	
4	+2	+3	
5	+1	+3	
6	0	+3	
7	-1	+3	
8	-2	+3	
9	-3	+3	
10	-4	+3	
11	-5	+3	

6. 실험결과

6.1 예비실험결과

최적개도와 최적개폐속도의 결정에 있어서는 예비실험 11case에 대해 각 case마다 지지력(bearing force)과 토크(torque)를 중심으로 검토를 수행하였다. 아울러 각 case마다의 갑문주변의 흐름상황을 염료 등을 이용하여 비데오 레코더로 관측하고 난류변동상황을 검토하였다. 정상류 흐름조건(steady flow condition)에 의한 정상상태 실험시에는 총 48개지점의 유속변동상황도 함께 검토하였다. 녹색염료에 의한 갑문주위 흐름상황의 검토결과에서도 개도를 2.7°로 했을 경우에는 흐름이 비교적 안정되고, 충분한 안정상태를 거친 후 난류상황으로 돌입함을 알 수 있었다. 그러나 개도를 5.1°, 9.4°로 하였을 경우에는 갑문을 열고 잠시 후 소란한 난류상황으로 직접 돌입함을 확인할 수 있었다.

갑문의 개폐속도(opening speed)에 있어서는 가장 느린속도로 갑문을 조작하는 경우가 압력의 영향이 제일 미소한 것으로 나타났다. 물론 개도와의 상관성이 존재하므로 쉽게 시간에 따른 압력의 변화양상도만으로는 판별하기 어려우나, 흐름의 안정성 등을 고려해 보면 역시 모형에서 44sec, 원형에서 4분동안의 시간을 두고 갑문을 여는 경우가 가장 안정된 상황을 나타내주고 있다.

6.2 본실험 결과

본 실험결과, 역류(reverse flow)에 해당하는 case 1 - case 3은 순류(regular flow)에 해당하는 case 4 - case11보다 적은 지지력이 소요됨이 확인되었다. 이와같은 지지력의 차이는 역류의 경우는 갑문을 여는 방향과 흐름의 방향이 일치하는 데 비해, 순류의 경우는 갑문을 여는 방향과 흐름 방향이 반대인 점과 양측에서의 갑문현상의 차이에 기인한 것이라 판단되고, 수위차가 클수록 지

지력 또한 커짐을 알 수 있었다.

正常상태에 대한 실험결과, Fig. 4에서 알 수 있듯이 case에 따라 다소 차이는 있으나 시간의 경과에 따라 수위차가 줄어들고 결국 동수위로 되기 때문에 계속적으로 감소되는 경향이 나타나고 있음이 확인되었다.

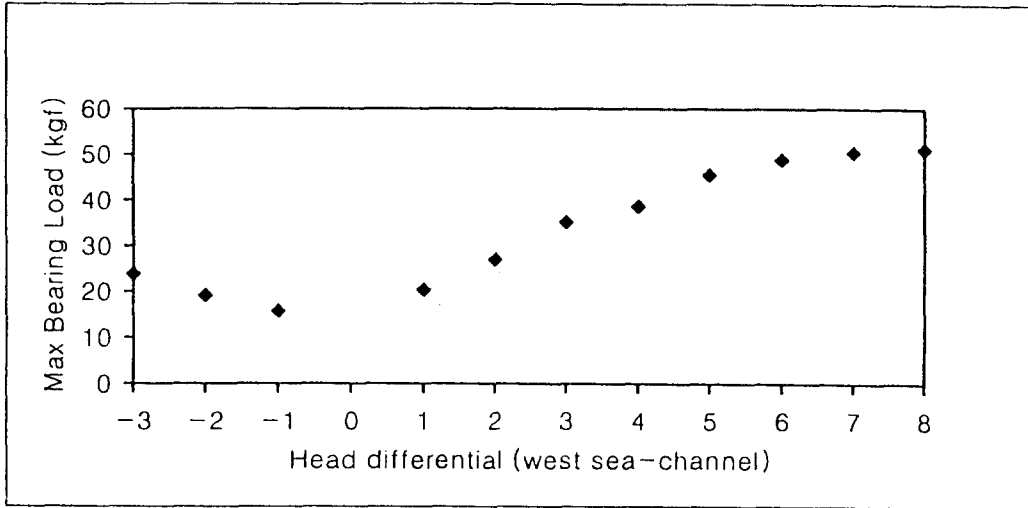


Fig. 4 Max. value of torque on the sector gate

7. 참고문헌

- 1) 고석구, "세미나자료", 한국수자원공사, 1997. 6. 18
- 2) 테크노피아, "세계의 거대건설", 하늘, 1994. 8
- 3) Richardson, G., "Hydraulic desing of coumbia river navigation lock", Transaction, Vol. 125, part I, 1960
- 4) Hardin, Gentilich., "Model studies of algiers 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