



트러스형 리프트 게이트의 진동현상에 관한 모형실험

Model Tests Study on Flow-induced Vibration of Truss Type Lift Gate

이성행* · 김하집** · 박영진** · 함형길*,† · 공보성***

Lee, Seong Haeng · Kim, Ha Jip · Park, Young jin · Hahm, Hyung Gil · Kong, Bo Sung

ABSTRACT

A model test is carried out to investigate the vibration of truss type lift gate in the four major rivers project. The gate model scaled with the ratio of 1:25 is made of acryl panel dimensioned 1.6 m in width, 0.28 m in height in the concrete test flume. Firstly natural frequencies of the model gate are measured and the results are compared with the numerical results in order to verify the model. The amplitudes of the vibration are measured under the different gate opening and water level conditions. The results are analyzed to study the characteristics of the gate vibration according to the small gate opening, the large gate opening and the overflow conditions. These test results presents a basic data for the guide manuals of gate management and a design method to reduce the gate vibration of truss type lift gate. Finally, the vibration of truss type lift gate are assessed in comparison with those of formerly tainter gate.

Keywords: Amplitude of vibration; cavitation; model scale; opening height; overflow conditions; truss type lift gate

I. 서 론

4대강에 설치되는 보의 수문은 라이징 섹터게이트 (Rising sector gate), 셸타입 롤러게이트 (Shell type roller gate), 트러스형 리프트게이트 (Truss type lift gate) 등이 사용되며, 높이에 비하여 길이가 긴 형태로 수문의 인양을 위하여 양측에서 와이어로프에 의하여 인양되는 형식이 많이 적용된다. 트러스형 리프트게이트는 미관과 강재량 저감에 따른 경제성을 고려하여 사용이 증가되고 있는 수문형식이다. 이 형식은 수문의 구조가 전면의 스킨플레이트와 후면의 트러스 부재가 연결된, Curved skin (가로축 방향으로 포물선 형상)을 갖는 게이트이다. 이 게이트는 길이방향에 따라 단면의 각도가 변하기 때문에 작용력이 일정하지 않아 정확한 해석이 어렵고, 하중이 1/4 부에서 양단 박스부로 집중되는 현상을 보인다. 이러한 형상 및 구조 특성상 모형실험을 수행하여 여러 가지 수위조건과 문비

개방고에 따른 진동현상을 검토하고, 진동의 강도를 줄이기 위한 형상을 검토하는 것이 필요하다(Tang, 1990; Schmidgall, 1972). 또한 4대강에 설치되는 트러스형 리프트게이트는 홍수 시 수문을 열 기전에 수류의 월류가 허용되는데, 월류시의 진동현상과 진동특성을 파악하는 것이 필요하다.

국내에서 트러스형 리프트게이트의 설치의 처음 시도되는 수문형식이며, 높이에 따른 곡률을 갖는 대형 원호형 게이트 (Tainter gate)는 낙동강 하구둑과 새만금지구 및 화옹지구 배수갑문 문비에 시공되었으며, 이 문비들은 수리모형실험을 통하여 문비의 진동현상을 검증 및 보완하였다 (KARICO, 1995; 2001). 본 연구에서는 경간 40 m, 높이 7 m의 트러스형 리프트게이트를 모형이론에 따라 아크릴로 모형을 제작하고, 폭 1.6 m, 길이 24 m로 설치된 수로에서 상하류 수위와 문비 개방고에 따른 진동현상을 실험하여 트러스형 리프트게이트의 진동특성을 검토하고, 수문 조작시 관리지침의 기본 자료를 마련하고자 한다.

* 부산대학교 사회환경시스템공학부
 ** 한국농어촌공사 농어촌연구원
 *** 부산대학교 사회환경시스템공학부 대학원
 † Corresponding author Tel.: +82-51-510-7644
 Fax: +82-51-513-9596
 E-mail: hghahm@pusan.ac.kr

2011년 2월 16일 투고
 2011년 5월 16일 심사완료
 2011년 5월 17일 게재확정

II. 모형의 제작 및 실험

1. 모형축척 및 재질

배수갑문 문비에서 흐름을 지배하는 주된 힘이 관성력과 중력 가속도이므로 이때의 모형축척은 Froude 상사법칙에 따르며,

Table 1 Material properties in prototype and model of gate

| Property \ Model | Prototype | Model | Remarks |
|-----------------------|--|--|---------|
| Scale | 1 | 1/25 | |
| Density | $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ | 7.85 g/cm^3 | |
| Weight | 1183.72 kN | 75.758 N | |
| Modulus of elasticity | $2.00 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ (200 GPa) | $8.00 \times 10^{10} \text{ dyn/cm}^2$ | |

본 실험에서는 모형의 축척을 1/25로 결정하였다. 상사조건에 따르면 모형의 탄성계수 축척은 모형의 길이축척과 같은 조건이 요구되나 모형의 재료로 상기 조건을 만족시키는 것을 구하기란 쉽지 않다. 그러나 복합구조물의 탄성은 판 두께에 직접 비례하므로 강성은 모형의 기하학적 형상을 변경하여 조정할 수 있고, 실제적으로 탄성계수 E의 값이 작은 모형 재료를 사용하면 그만큼 재료의 두께를 증가시킬 수 있다 (Kolkman, 1974; Gajanan et. al., 1983). 따라서 문비모형의 본체는, 탄성계수의 비 1 : 25의 조건에 따라서 원형의 재료인 철과 탄성계수의 비가 약 1 : 75인 아크릴을 사용하여 두께를 3배로 증가시켜서 모형을 제작하고 납으로 질량을 각 요소 중심에 보정하였다. Table 1에 원형과 모형의 재료특성을 정리하였다.

2. 모형의 제작 및 설치

본 연구대상 문비의 설계는 폭 40.0 m, 높이 7.0 m의 Curved skin을 갖는 연직 lift 게이트로서 축척 1 : 25를 고려하면 폭 1.6 m, 높이 0.28 m의 모형으로 제작된다. 모형은 크게 문비 본체부 (전면 스킨부와 보강재, 후면 트러스 지지부 그리고 끝단 상자형 지지부), 주롤러 및 측면롤러에 해당하는 레일부, 권양기부 및 가설시설부로 구분된다. 아크릴 사용을 위한 두께 및 질량 보정을 거친 본체의 모형은 전면의 스킨부와 피장트러스와 후면의 주트러스 그리고 이를 연결하는 8개의 스트럿부재가 있으며, 주트러스와 스트럿부재에는 각각 브레이싱이 설치된다. 전면 스킨부는 23개의 세로 리브, 그리고 9열의 수평보강재를 갖는 뼈대 구조물로 구성하였으며, 중량의 상사를 위하여 전면 스킨에 부착된 피장트러스와 후면 주트러스에 납을 설치하여 질량을 보정하였다. 문비의 개폐를 위하여 감속기어를 이용하여 실제 구조물에서의 인양속도를 상사법칙에 맞추어 구현하였다. 원형의 중량은 120.66 tonf이며, 축척을 고려한 모형의 중량은 7.72 kgf로 산정된다. 아크릴로 제작된 모형은 전면부 (피장트러스 포함) 의 중량이 2,814 kgf, 그리고 후면부 트러스가 0.742 kgf로 측정되어, 이에 따른 납보정량을 계산하면 Table 2와 같다.

Table 2 Correction of mass of gate mode

| Section | Skin part | Truss part | Remarks |
|------------------|-------------|-------------|---------|
| Actual gate | 82.918 tonf | 37.788 tonf | |
| Required model | 5.307 kgf | 2.418 kgf | |
| Fabricated model | 2.814 kgf | 0.742 kgf | |
| Lead correction | 2.493 kgf | 1.676 kgf | |

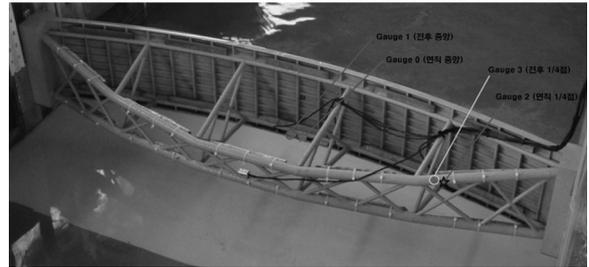


Photo 1 View of gate model

Table 2에 따른 납보정 중량은 대상 모형이 전면부 스킨과 후면부 트러스를 있는 스트럿 부재에 의하여 5개의 bay로 나누어져 있는 것을 고려하여 Photo 1과 같이 상하단 총 10개소씩 20개소에 분배하여 설치하였다.

3. 실험시설

본 연구대상 문비의 진동실험은 한국농촌공사 농어촌연구원 수리시험장에서 수행되었다. 모형수조는 길이 24 m, 폭 1.6 m, 높이 0.8 m의 콘크리트 블록으로 제작하였고 모형이 설치된 위치에는 길이 1.0 m, 높이 0.8 m의 투명 아크릴 판을 설치하여 문비의 거동과 흐름현상을 관측할 수 있게 하였다. 용수의 공급은 고수조로 펌핑된 물이 300 mm와 400 mm의 관로에 의하여 공급되어지며, 밸브 조절에 의해서 정수지와 모형수조를 통해 모형 설치부에 원하는 유량을 유입시키고 실험된 물은 다시 지하저수조로 순환된다. 모형을 통과하는 흐름의 안정적 흐름을 위하여 정수지 상류부에 블록을 일정한 간격으로 설치하고, 정류판을 설치하였다. 또한 모형수로 말단에 감속 기어를 부착한 웨어를 설치하여 모형 하류부의 수위와 유량을 조절하였다.

4. 실험방법

증폭기는 8채널 dynamic strain meter가 사용되었으며, 진동계는 수중에서 사용할 수 있는 1 g의 방수형 진동계 5조가 사용되었고 진동계의 정밀도는 0.0005 g이다. 동적측정에서는 모형의 고유진동수 측정, 모형의 상하류 수위와 문비의 개방고



Photo 2 View of gate model test

에 따른 수직 및 수평방향의 진동진폭 측정하였다. 문비 중앙 하단에 2조 (상하 방향, 앞뒤 방향), 문비 1/4지점에 2조 (상하 방향, 앞뒤 방향), 트러스 중앙부에 1조를 부착하였고, 진동계는 측정하고자 하는 방향에 따라서 진동계의 방향을 설정하였다. 각 실험조건에 따라서 1초에 100개의 데이터를 20초 동안 측정하였다. 먼저 물이 없는 상태에서 영점조정을 맞추고 시험 조건에 맞는 수위와 개방고에서 수직 및 수평방향의 진동진폭 측정하였다. Photo 2는 모형실험중인 수로와 모형을 보인다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 문비의 고유진동수 검토

제작된 배수갑문 문비의 검증 및 동적 특성을 파악하기 위한 고유진동수 해석은 범용 유한요소법 해석용 프로그램인 MIDAS CIVIL 2009 Ver 2.0을 사용하여 수행하였다. 원형의 유한요소법 해석에 의한 고유진동수의 축척에 따른 계산값과 실험에 의하여 측정된 값을 Table 3에 비교하였다. 그리고 비교의 “DX”는 전후 방향 진동모드, “DZ”는 연직 방향 진동모드를 각각 나타내고 있다.

Table 3의 결과 비교에서 모형의 실측결과 중 6차 모드 이상의 결과는 모형의 제작 적정성을 평가하는데 있어서 저차 모드에 대한 평가로 충분할 것으로 판단되고, 해당 진동에 의한 영향이 미미할 것으로 판단되어 진동분석 결과에서 제외하였다. 또한 모형으로 제작되면서 일부 영역대가 유사한 진동수는 실측에서 여러 진동형상이 동일 진동수대에서 겹쳐 발생되거나 반대로 동일 진동모드가 가진방향에 따라 특정 영역 내에서 약간씩 오차를 갖고 측정되는 것으로 판단되었다. 특히, 2차와 5차 모드의 경우에는 후자와 같은 분포 폭을 갖고 있으며, 3차와 4차 모드의 경우에는 전자와 같이 동일 진동수로 측정되었다. 이

Table 3 Natural frequencies in prototype and model of gate (Hz)

| Section | Prototype | | Model | Remarks | |
|------------------------|-----------|---------------------------|--------------|---------------|---------------|
| | F.E.M. | Theoretic result by scale | Test results | | |
| Natural frequency (Hz) | 1 mode | 5.682 | 28.40 | 29.3 | RZ, (1/4점 DX) |
| | 2 mode | 8.803 | 44.00 | 39.06 ~ 47.61 | DX |
| | 3 mode | 9.971 | 49.85 | 58.59 | DZ |
| | 4 mode | 11.470 | 57.35 | 58.59 | RY, (DX), DZ |
| | 5 mode | 11.810 | 59.05 | 63.48 ~ 67.14 | DX |

러한 차이들이 발생하는 이유는 모형을 제작하면서 품질관리가 강재에 비하여 상대적으로 어려운 아크릴을 재료로 적용하면서 판두께나 접합부 처리, 탄성계수의 차이 등과 지점부 경계조건의 차이 등이 복합적으로 관여된 것으로 판단된다. 그러나 모형의 고유진동수가 원형의 상사법칙에 따른 고유진동수와 유사하거나 약간 크게 측정되고 있었지만, 상당히 근접함을 보임으로 제작된 모형은 신뢰성이 있음을 확인할 수 있다.

2. 수위 및 개방고별 진동측정

모형실험에서 고려되는 수문의 상하류 수위는 Table 4와 같다. Fig. 1은 상류 28 cm, 하류 11 cm 일 때 개방고별 최대 진동 가속도 진폭을 도표화한 것이다.

Fig. 1의 진동현상을 살펴보면 개방고 0 cm에서 수문이 열

Table 4 Water levels conditions (m)

| Classification | Water levels | EL | Height from bottom | Model levels (cm) | Remarks |
|----------------|------------------|-------|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| Upstream | Management level | 8.75 | 7.00 | 28 | Bottom height EL (m) : 1.75 |
| | Flood level | 17.72 | 15.97 | - | |
| Downstream | Management level | 4.5 | 2.75 | 11 | |

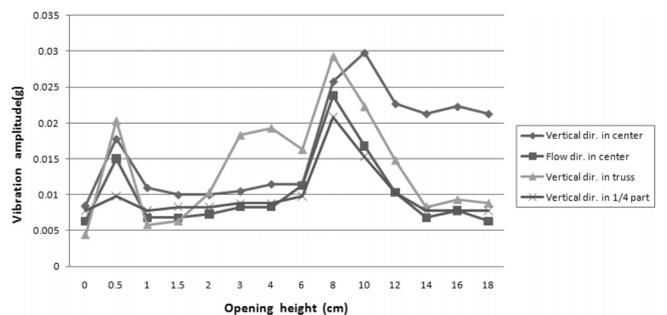


Fig. 1 Vibration amplitude due to opening height at upstream level 28 cm and downstream level 11 cm

리면서 개방고 0.5 cm가 될 때까지 진동이 커지는데 이는 비교적 작은 개방고에서 문비하단을 통과하여 수류가 부압을 발생시키는 것으로 판단되며, 문비 중앙쪽의 진동 가속도가 1/4지점의 진동 가속도보다 크게 나타난다. 이후 개방고가 증가하면 물결이 치는 형상의 흐름이 발생되며, 진동 가속도는 줄어들며 개방고 6 cm까지 거의 같은 값을 나타낸다. 하지만 트러스 상하 진동은 개방고 1.5 cm~3 cm까지 진동 가속도의 증가를 보이는데, 이는 물결이 치는 흐름이 하류측에 위치한 트러스부를 충격하며 흐르기 때문인 것으로 관찰된다. 이후 개방고가 6 cm~8 cm가 되면 와류의 형상이 나타나며 흐름이 평강히 불규칙해지면서 진동 가속도가 급격히 커지기 시작하여 중앙상하를 제외한 모든 채널에서 가장 큰 진동 가속도를 나타낸다. 이후 개방고가 상승하면 문비하단에서 사류의 흐름이 나타나기 시작하며 진동 가속도가 줄어들기 시작한다.

Fig. 2는 상류 30 cm, 하류 11 cm 일 때 개방고별 진동 가속도 진폭을 도표화 한 것이다. 이 도표는 개방고가 0 cm일 때 월류 수위가 2 cm로 이때 월류수는 스킨플레이트를 타고 내려 문비하단으로 낙하하면서 월류수가 없을 때보다 모든 채널에서 진동 가속도가 커지게 된다. 이후, 개방고가 0.5 cm가 되면 문비하단에서 부압과 월류수로 인한 진동 가속도가 더해지게 되어 가장 큰 진동 가속도의 값을 나타낸다. 개방고가 0.5 cm를 넘어서 증가하면 부압이 없어지고, 다시 월류수의 영향도 점차 작아지면서 진동 가속도는 모든 채널에서 작아지는 경향을 보인다. 이런 경향은 월류를 하지 않는 개방고 2 cm가 될 때까지 계속된다. 개방고 4 cm까지 대체적으로 잔잔한 하류의 흐름을 보이면서 진동 가속도도 큰 변화 없이 안정적이나 이후 6 cm까지 개방고가 상승할수록 와류의 형상이 나타나며 모든 채널에서 진동 가속도는 비교적 급격히 상승한다. 하지만 부압과 월류수의 영향을 받는 개방고 0.5 cm일 때 보다 진동 가속도의 절대치는 작게 측정된다. 개방고가 6 cm를 넘어 계속하여 상승하면 사류가 발생되고 진동 가속도는 모든 채널에서 줄어들게 된다.

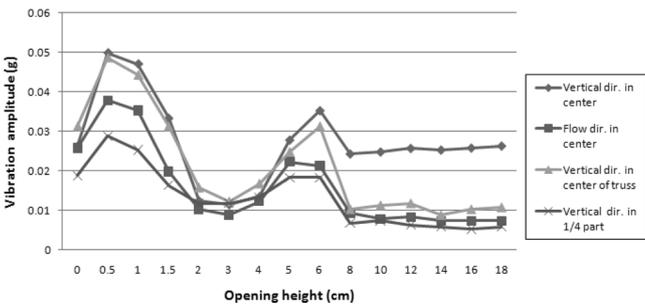


Fig. 2 Vibration amplitude due to opening height at upstream level 30 cm and downstream level 11 cm

3. 상류 수위별 진동측정

Fig. 3은 개방고 0 cm, 하류 11 cm 일 때 상류 수위별 진동 가속도 진폭을 도표화 한 것이다. 상류수위 약 31 cm까지 월류수가 문비의 스킨플레이트를 마치 폭포수처럼 타고 흘러내린다. 그로 인해 상류수위 31 cm까지 진동 가속도는 점차 커지게 되고, 이후 상류수위가 더 상승하여 상류수위가 32 cm되면 월류수의 흐름이 문비를 넘어 흐르는 형상을 보이는데, 이때의 진동 가속도는 이전의 흐름 경우 보다 줄어든다. 하지만 상류수위가 더 상승하면 스킨플레이트부와 트러스부 사이의 브레이싱 위쪽으로 월류수가 치게 되고, 수면의 흐름은 월류수의 낙하로 인해 불규칙해져서 진동 가속도는 전 채널에 걸쳐 커지게 된다. 상류수위 36 cm일 때, 월류수의 낙하지점이 점점 트러스부에 가까워지게 되어 상류 34 cm의 경우보다 오히려 불규칙한 흐름이 약해지면서 진동 가속도가 조금 작아지게 된다. 이후 상류수위가 상승하면 월류수의 낙하지점이 트러스부에 더욱 가까워지면서 트러스부를 직접 치는 흐름이 발생하게 되어 트러스부의 진동 가속도가 급격히 커지게 되며, 그에 비해 타 채널은 진동 가속도가 증가하긴 하지만 비교적 안정된 증가폭을 보인다.

4. 하류 수위별 진동측정

Fig. 4는 상류 30 cm, 개방고 1 cm 일 때 하류 수위별 진동 가속도 진폭을 도표화 한 것으로, 월류수와 개방고 1 cm에

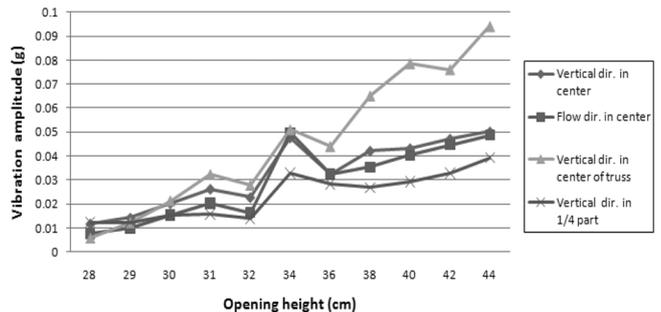


Fig. 3 Vibration amplitude due to opening height

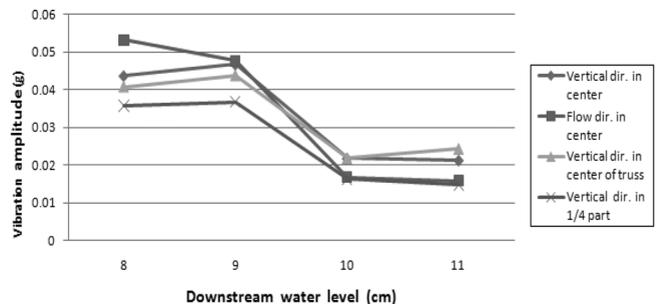


Fig. 4 Vibration amplitude due to downstream water level

대한 진동의 영향이 동시에 발생한다. 하류 수위 8 cm와 9 cm에서는 하류흐름에 와류의 현상이 나타나고 흐름이 유사하며, 진동 가속도도 거의 같다. 이후 하류 수위가 10 cm까지 상승하면 전 채널에 걸쳐 진동 가속도가 줄어들게 되는데, 이는 하류 수위가 올라가면서 와류 흐름이 사라지고 비교적 안정적인 흐름으로 바뀌기 때문이다. 이후 하류수위가 11 cm가 되더라도 진동 가속도는 거의 동일하게 나타난다.

IV. 문비 진동에 대한 평가

1. 작은 개방고에서 부압에 의한 진동

문비에서 상하류 수두차가 있는 경우, 문비가 바닥에서 처음 열릴 때나 작은 열림 상태에서 부압 (캐비테이션 현상)에 의한 진동이 발생하게 되고, 이로 인하여 문비 하단부에는 피로 파괴를 일으킬 수 있는 큰 응력범위를 갖는 응력이 빈번히 발생하게 되어 강재의 피로 및 내식을 발생시켜 문비의 안전성에 중대한 영향을 미칠 수 있다 (Thang et al., 1986a; Lee et al., 1998). 따라서 이러한 진동의 발생을 검토하고, 이러한 진동이 발생하는 개도의 운전을 최소화해야 한다. 본 실험 수문의 경우 Fig. 1에서 개방고 4 cm까지의 진동을 살펴보면 0.5 cm일 때 진동이 0.02 g 정도로 발생하였다가 그 이후 진동진폭이 거의 줄어들다가 일정하게 된다. 지금까지의 연구에 의하면, 개방고에 따른 문비의 진동은 개방고 (d) 와 문비하단의 폭 (b) 의 비 즉, d/b 가 0.7~0.9일 때 최대진동이 발생하는 것으로 보고되었다 (Thang, 1990; Lee, et al., 1996). 본 모형의 문비 선단부의 폭 (두께) 은 0.7 cm로, 상기 이론에 의하면 개방고 0.5 cm 전후에서 부압에 의한 진동이 발생해야 하는데 이것에 상응하는 실험결과로 판단된다.

2. 문비 개방고가 어느 정도 클 때 와류현상으로 인한 진동

단판으로 구성된 게이트의 경우 스킨플레이트를 세로보와 가로보로 지지하여 양끝단의 지지부와 연결된다. 가로보는 주로 하단과 상단에 설치되는데, 특히 문비 하단부 가까이 설치된 가로보 아래에서 뒤돌아 치는 와류현상으로 인한 진동이 크게 발생할 수 있다 (Lee, 2004a ; Lee et al., 2004b). 본 실험대상 수문의 경우 Fig. 1에서 개방고 6 cm~10 cm 범위에서 뒤돌아 치는 와류현상으로 인한 진동 가속도 진폭이 최대 0.03 g ~ 0.035 g로 측정됨을 볼 수 있다. 현 설계의 모형에서 0.03 g~0.035 g 정도의 상대적으로 큰 진동이 측정되므로 수문조 작시 이 범위에서는 주위를 기울일 것이 요망된다.

3. 월류시 진동

수류가 문비 상단으로 월류시 문비상단의 형태에 따라서 문비 진동이 크게 발생할 수 있다. Fig. 2는 상류 30 cm의 월류 상태로, 수문이 열리면서 개방고 0.5 cm~1.5 cm 범위에서 0.05 g까지 진동이 커지며, 2 cm 이상에서는 수문이 개방됨에 따라서 월류가 멈추게 되고 진동이 작아지는 현상을 보인다. 개방고 0.5 cm~1.5 cm범위의 진동은 부압에 의한 진동과 월류에 의한 진동이 복합적으로 발생하는 것으로 판단되며, 월류에 의한 진동이 더 큰 영향으로 추론된다. 따라서 월류 발생시 모형에서 0.5 cm~1.5 cm의 개방고에서 월류에 의한 비교적 큰 진동이 발생하므로 개도의 운전을 최소화하고 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 3에서 개방고 1 cm일 때 상류수위별 진동현상을 살펴보면 수위가 상승함에 따라서 점차 월류가 발생하여 상류수위 31 cm~32 cm에서 0.03 g 정도의 비교적 큰 진동가속도가 발생한다. 그 이후 월류형태에 따라서 34 cm~36 cm에서 0.04 g 정도진동이 작아지다가 개방고 37 cm부터 0.05 g 이상의 진동이 다시 발생함을 볼 수 있다. 실제로는 문비가 1 cm 개방고에서 고장 등의 원인으로 멈추었을 때 발생할 수 있는 현상으로 문비가 정상 가동될 때는 발생하기 어려운 상황이다. 이 경우의 진동은 수위를 상승시킬 때 진동이므로 같은 수위에서의 진동 보다는 진동 수치가 좀 더 크게 측정된 것으로 판단된다. 모형에서 상류수위 36 cm, 월류수위 8 cm (원형에서 200 cm) 이내에서는 수문을 개방하는 것은 허용되며, 긴급적이면 상류수위 31 cm, 월류수위 3 cm (원형에서 75 cm) 이내에서 수문을 개방하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4. 타 지구와 문비진동 비교

기 측정자료가 있는 수문의 진동 값을 비교하여 본 지구 수문의 진동정도를 평가하기 위하여 본 지구와 새만금지구, 화옹지구, 그리고 충주댐 문비의 낮은 개방고 (모형에서 0 cm~6 cm, 원형에서 0 cm~150 cm) 에서 진동진폭을 비교하며, 비교가 되는 수문형태는 테인터게이트이다. 문비하부의 형상과 수위조건이 다르기 때문에 직접적으로 비교하기에는 제한이 있으나, 전체적으로 진동의 크기를 간접적으로 비교할 수는 있는 것으로 판단된다. 새만금 지구는 내측 수문에서 상류 32 cm, 하류 11 cm의 수위에서 개방고별 진동측정 결과로, 참고문헌 (KARICO, 1995)의 537쪽 Table 6.8의 M1모형에 대한 측정 자료를 이용하였다. 화옹지구는 해측 수류방향 진동 현상결과로 상류 32 cm, 하류 12 cm의 수위에서 개방고별 진동측정 결과 (KARICO, 2001)이며, 충주댐은 원형 수문의 실측자료 (Lee et

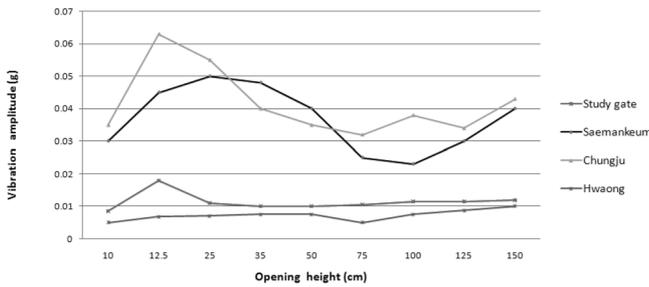


Fig. 5 Comparison of vibration amplitude of each gate

al., 2005)이다.

Fig. 5에서 본 연구 수문의 진동은 화옹지구 배수갑문의 진동과 거의 유사하게 작은 진동이 발생하고 있으나, 12.5 cm 부근에서 약간의 부압에 의한 진동이 크게 발생함을 볼 수 있다. 그러나 충주댐이나 새만금지구 배수갑문 수문보다 상당히 작은 진동 가속도 진폭을 보인다.

V. 결 론

트러스형 리프트게이트를 1/25의 축척으로 모형이론에 따라 아크릴로 모형을 제작하여, 상하류 수위와 문비 개방고에 따른 진동현상을 실험하고 트러스형 리프트게이트의 진동특성을 정리하면 다음과 같은 결론을 얻는다.

1. 작은 개방고에서 진동현상을 살펴보면, 부압에 의한 진동(캐비테이션)이 개방고 0.5 cm 범위에서 발생하는 것으로 판단된다. 또한 월류시 모형 0.5 cm~1.5 cm의 개방고에서 비교적 큰 진동이 발생하는데 이는 월류수에 의한 진동과 부압에 의한 진동이 위쪽 아래쪽에서 복합적으로 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 모형에서 0.5 cm~1.5 cm (원형에서 12.5 cm~37.5 cm)의 개방고에서는 운전을 최소화하고 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

2. 개방고 8 cm~12 cm (원형에서 200 cm~300 cm) 범위에서 뒤돌아 치는 와류현상으로 인한 진동이 상대적으로 크게 발생하며, 이 범위에서는 주의를 기울일 것이 요망된다.

3. 홍수시에는 월류수위 8 cm (상류수위 36 cm)이내에서는 수문을 개방하는 것은 허용되며, 가급적이면 월류수위 3 cm (상류수위 31 cm)이내에서 수문을 개방하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4. 월류시의 진동현상을 살펴보면 처음 월류가 시작되어 수류가 스킨플레이트 배면의 가로보를 타고 흐를 때 (모형 월류 수위 0 cm~1.5 cm, 원형 월류 수위 0 cm~37.5 cm) 월류수위가 커져서 월류수가 스킨플레이트 배면을 넘어 흐를 때 보다 좀 더 큰 진동이 발생함을 확인하였다.

5. 본 지구 수문의 진동은 화옹지구 배수갑문의 진동과 거의

유사하게 작은 진동이 발생하고 있으나, 12.5 cm 부근에서 약간의 부압에 의한 진동이 발생함을 볼 수 있다. 그러나 충주댐이나 새만금지구 배수갑문 수문보다 상당히 작은 진동 가속도 진폭을 보인다.

REFERENCES

- Gajanan, M. S., Harry, G. H., Richard, N. W., and Saeed, M., 1983. *Structural Modeling and Experimental Techniques*. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series: 1-60.
- KARICO (Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation), 1995. A Report on Hydraulic Experiment and Wave Observations in Saemankeum project: 505-570.
- KARICO (Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation), 2001. A Report on Structural Safety Assessment of Sluice Gate in Hwaong Project: 14-46.
- Kolkman, P. A., 1976. Flow-induced Gate Vibrations. Prevention of Self-excitation. Delft Hydraulics laboratory, Publication no. 164: 1-162.
- Lee, S. H., 2004. Model Tests Study on Flow-induced Vibration of Tainter gate in Estuary Sulices (I). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(1): 27-34 (in Korean).
- Lee, S. H., 2004. Model Tests Study on Flow-induced Vibration of Tainter gate in Estuary Sulices (II). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(2): 41-48 (in Korean).
- Lee, S. H., Kim, Kyoung Nam and Jung, K. S., 2005. Dynamic Characteristic of Tainter Gate in Multi-Purpose Dam. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 25(I-A): 173-181 (in Korean).
- Lee, S. H. and Jung, K. S., 1996. Model Tests Study on Self-excited Vibration of Tainter Gate. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 16(I-2): 187-194 (in Korean).
- Lee, S. H., Jung, K. S., Koo, B. K., and Kim K. H., 1998. Dynamic Analysis on the Flow-induced Vibration of Tainter Gate due to Bottom Shape. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 18(I-4): 399-409 (in Korean).
- Schmidgall, T., 1972. Spillway Vibrations on Arkansas

- River Dams. Proc. *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Jan., No. HY1, Proc. Paper 8676: 219-238.
11. Thang, N. D., 1990. Gate Vibrations due to Unstable Flow Separation. *Journal of Hydraulics Engineering* 116(3): 342-361.
12. Thang, N. D., and Naudascher, E., 1986a. Vortex-excited Vibrations of Underflow Gates. *Journal of Hydraulic Research* 24(2): 133-151.