

# 트러스형 리프트 게이트의 설치방향에 따른 진동 특성

이성행<sup>1</sup>, 공보성<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 토목공학과, <sup>2</sup>(주) 아이씨엘

## Dynamic Characteristics of Truss-Type Lift Gate According to Installation Direction

Seong- Haeng Lee<sup>1</sup>, Bo-Sung Kong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Pusan National University

<sup>2</sup>ICL Co., Ltd.

**요약** 본 연구에서는 수문의 설치방향에 따른 최적의 설치방향을 규명하기 위하여, 모형 제작에 의한 수문 진동실험을 수행하고, 진동특성이 연구되어진다. 47.5m 원형게이트가 아크릴을 사용하여 1:31 축적으로 제작되고, 납으로 질량이 보완된다. 먼저 모형을 검증하기 위하여 모형의 고유진동수가 측정되고, 원형 수문의 유한요소 해석 값으로 부터 환산된 고유진동수와 비교된다. 모형은 1.6m 폭을 갖는 콘크리트 수로에서 정방향과 역방향 설치에 따른 각각의 실험이 이루어 졌다. 각 방향 실험에서는 수문 개방고와 상하류 수위에 따른 여러 조건에서 수직진동이 측정되어 졌다. 실험결과를 바탕으로 정방향과 역방향 설치에 대한 진동현상을 서로 비교 분석하였다. 정방향 모형은 수문이 많이 열렸을 때 하단부의 수평트러스 부재를 치는 뒤돌아 치는 와류에 의하여 진동이 크게 발생하였고, 작은 개방고에서 suction force에 의한 진동이 발생하였다. 그러나 역방향 모형에서는 이러한 현상이 발생하지 않는다. 마지막으로 95m 수문의 진동실험결과와 본 47m의 실험결과를 같이 비교하여 평가하였다. 실험결과 여러 실험 조건에서 진동이 작게 측정되는 역방향 배치 모형이 더 합리적인 것으로 분석되었다.

**Abstract** This study examined the dynamic characteristics of the gate to identify the optimal gate installation direction according to the installation direction. A 1:31 scale model was constructed for a 47.5m prototype gate using acrylic. The scaled weights were tuned by adding lead weights. The first step was to measure the natural frequencies of the model gates, and compare them with finite-element analysis of the prototypes as a calibration. The scaled model was tested in a 1.6 m wide concrete flume for two orientations to determine the effects of the gate orientation on structural vibrations. Vertical vibrations were measured under a range of operational conditions, including a range of bottom opening heights and different upstream and downstream water levels. For large bottom opening heights in the normal direction, relatively large vibrations were induced by vortices shed at the plate bottom that would strike the horizontal truss member. This phenomenon was avoided in the reverse direction. For small bottom opening heights in the normal direction, these vibrations were caused by a suction force that developed at the gate bottom. The gate model in the reverse direction was preferred because of its low overall vibrational response under general gate opening and flow level combinations.

**Keywords :** Model test, 47.5m gate, Normal direction, Reverse direction, Truss-type lift gate, Vibration amplitude

### 1. 서론

트러스형 리프트게이트는 미관이 수려하고 장 기간에 서 강재 량을 줄일 수 있어 경제적이나 수문의 진동에

대하여 검토가 요망된다. 바닷물과 담수호 사이의 수위를 조절하는 대형 수문으로 강의 하구원에는 트러스형 리프트게이트가, 방조제 수문으로 테인터게이트가 설치 될 수 있다. 이들 수문의 설치 시 스킨 플레이트의 방향

\*Corresponding Author : Bo-Sung Kong(ICL Co., Ltd.)

Tel: +82-10-2295-5444 email: bbosyong@naver.com

Received August 29, 2016

Revised (1st October 5, 2016, 2nd October 26, 2016)

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

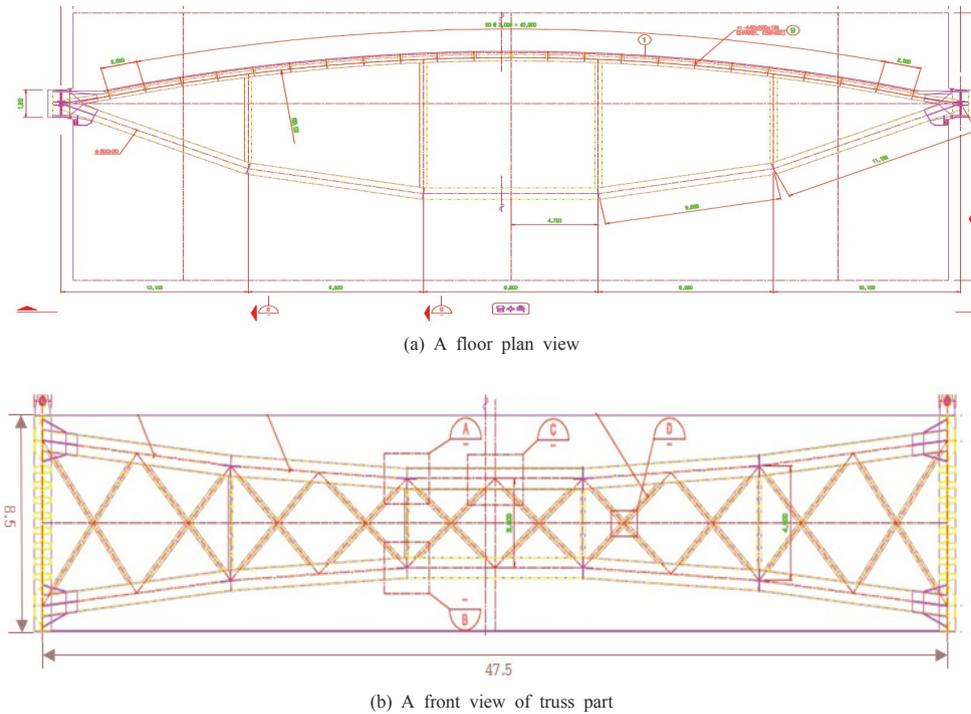


Fig. 1. Truss type lift gate of this study

을 해측으로 할 것인가, 담수호 쪽으로 할 것인가에 논란이 많다. 일반적인 수문은 스킨플레이트부가 수위가 높은 쪽으로 배치된다. 그러나 하구원이나 방조제 수문에서는 수문내면의 부식과 어패류의 부착 등으로 반대 방향으로 설치될 수 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 경우 수문은 인장력을 받게 되므로 역학적으로 유리 할 수 있다. 따라서 이러한 각 배치방향에 따른 진동의 강도와 특성이 어떠한지 실험적 검토가 요망된다. 본 연구 대상 지구에는 중앙부에 95m, 양측에 각 1조의 47.5 m의 트러스형 리프트 게이트가 설치된다. 95m 수문은 모형실험을 통하여 진동특성이 연구되었다<sup>[2]</sup>. 이 모형실험에서는 축척이 1/61로 비교적 큰 축척으로 신뢰성은 비교적 크지 않은 것으로 판단된다. 본 연구에서는 경간 47.5m의 트러스형 리프트게이트를 1/31의 축척으로 모형을 제작하고 실험하며, 설치방향에 따른 실험결과를 비교한다. 또한 기 실험된 95m수문의 결과와 비교 분석한다. 모형은 아크릴로 제작되며, 고유진동수 검증을 통하여 제작된 모형의 신뢰성을 확인한다. 상하류 수위와 문비 개방고에 따른 조건에서, 각 설치방향 모형에 따른 실험을 수행하고, 진동의 특성을 파악하여 합리적인 설치방향을 제안하였다.

## 2. 수문 모형제작 및 실험

### 2.1 모형축척 및 재질

본 연구대상 수문의 원 설계는 폭 47.5m, 높이 8.5m의 Curved skin을 갖는 연직 리프트 게이트이며, Fig. 1과 같은 형상을 갖는다. 보에 설치된 수문에서 흐름은 주된 힘이 관성력과 중력 가속도이므로 이때의 모형축척은 Froude 상사법칙이 적용된다. 본 실험에서는 실험실의 규모와 모형의 적절한 구현을 위하여 축척을 1/31로 설정하였다. 이 조건으로 탄성조건을 맞추려면 탄성계수의 비가 길이 축척의 비인 1:31의 재료가 요망되나 이러한 조건의 재료를 구하기가 어렵다. 그러나 복합구조물의 탄성은 판 두께에 직접 비례하므로 수문 모형의 강성은 모형의 기하학적 형상을 변경하여 수정 할 수 있고, 실제로 탄성계수 E의 값이 작은 모형 재료를 선택하면 그만큼 재료의 두께를 증가시켜서 탄성계수의 상사조건을 맞출 수 있다<sup>[3]</sup>. 본 연구에서는 탄성계수의 비가 강제의 1/75인 아크릴 재료가 사용되었다. 본 연구 수문의 도면은 Fig. 1과 같다.

## 2.2 모형의 제작 및 설치

폭 47.5m, 높이 8.5m인 본 실험 수문에 축척 1 : 31을 적용하면 폭 1.574m, 높이 0.274m의 모형으로 제작된다. 모형은 전면의 스킨부와 스킨을 직접 지지하는 보강재 그리고 보강재에 연결된 2개의 띠장 트러스와 후면의 2개의 주 트러스 그리고 이를 연결하는 8개의 스트럿 부재로 연결된다.

### 2.2.1 두께 및 부재단면의 결정

단면이 일정한 부재는 강재와 아크릴간의 탄성계수비가 약 75배(210,000MPa / 2,800MPa)인 점을 감안하면 축척 1/31의 모형을 제작할 경우에 탄성계수가 2.42배 (75/31) 더 커야 한다<sup>[3]</sup>. 실제 모형제작에서는 이러한 차이를 고려하여 아크릴의 사용 두께를 2.42배 증가시켜 적용하였고, 스킨부에 보강되는 ㄱ형강과 상자형 단면은 강축방향으로의 단면 2차모멘트를 상사법칙에 따라 일치시켜 휨강성을 맞추었다<sup>[4]</sup>.

### 2.2.2 질량의 산정

모형의 부재는 전면부 상자형 보강재를 포함한 스킨과 스킨부의 보강재, 그리고 후면부 트러스로 크게 2개 소로 나누어진다. 모형의 상사를 위하여 각 부재에서 발생하는 질량의 차이는 스트럿 부재에 의해 나누어지는 구역의 개소에 따라 상부와 하부로 균등하게 나누어 보정하였다. 본 모형에서 산정된 모형과 추가되어야 할 납 보정량은 Table 1과 같다. 계산된 납 보정량을 Fig. 2와 같이 상하로 구분하여 수문 본체부와 트러스부에 5곳으로 나누어 부착하였다.

Table 1. Correction of mass of gate mode (unit: kgf)

Weight	Position		
	Gate	Truss	Total
Actual structure weight	134.833	60.412	195.245
Scaled model weight	4.526	2.028	6.554
Fabricated model weight	2.012	1.320	3.332
Added lead weight	2.514	0.708	3.222

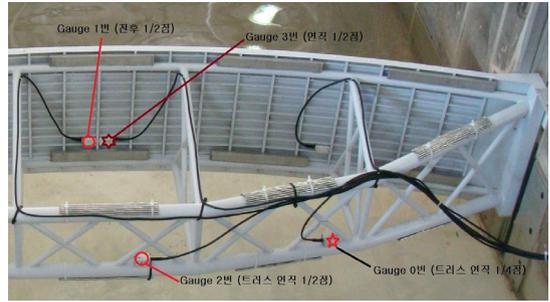


Fig. 2. Model gate with accelerometers and added lead weights

## 2.3 실험 시설

모형수조의 제원은 길이 24m, 폭 1.6m, 높이 0.8m이다. 앞부분에는 가로 세로 5m의 정사각형 유입 정수조가 설치된다. 모형이 설치된 수로부분에는 길이 2.0m, 높이 0.5m, 두께 0.01m의 투명 아크릴 판을 설치하여 수문의 거동과 수문 주변의 흐름현상을 관측할 수 있게 하였다. 2m의 수로폭 중 실제 사용되는 1.574m를 제외한 나머지 구간은 인양장치를 설치하기 위한 공간으로 사용하였고 1.574m구간의 시점과 종점은 아크릴로 곡물을 만들어 수류의 유입과 유출을 원활하게 하였다. 문비의 올리고 내릴 때 속도는 진동 모터 및 감속기어를 이용하였으며, 실제 구조물에서의 인양속도 0.3m/min는 상사법칙에 맞추어 0.054m /min로 구현하였다.

## 2.4 가속도계 부착

가속도계는 수중에서 사용할 수 있는 1g의 방수형 진동계 4조와 5g의 방수 진동계 1조가 사용되었다. 정밀도는 0.0005g이며, 각 진동계의 부착위치는 Fig. 2와 같다. 가속도계는 문비 중앙 하단에 2조(상하 방향 1조, 앞뒤 방향 1조), 문비 1/4지점에 1조(상하 방향), 트러스 중앙부에 1조(상하 방향), 트러스 1/4지점에 1조(상하 방향)를 부착하였고, 가속도계는 측정하고자 하는 방향에 따라서 가속도계의 방향을 정하였다. 각 실험조건에 따라서 100Hz rate로 15초 동안 측정하였다. 먼저 영점조정을 수행하고 시험조건에 맞는 개방고 및 수위에서 진동 진폭 측정하였다. Fig. 3은 상류측에서 실험중인 수문의 사진이다.



Fig. 3. Photo of gate model test

### 3. 수문의 고유진동수 검토

#### 3.1 원형수문의 고유진동수 검토

수문의 동적 특성을 파악하고, 제작수문의 동적조건을 검증하기 위하여 수문의 고유치 해석을 수행하였다. 범용 유한요소 해석프로그램인 MIDAS CIVIL 2012 버전을 사용하여 Eigen value analysis를 수행하여 결과를 Table 2에 정리하였다. 총 해석된 고유진동수는 20개이지만, 주된 에너지를 갖는 저차모드 7개에 대하여 고유진동수를 분석하고 실험모형의 제작 신뢰성을 위하여 모형에서의 측정 결과와 비교하였다. 비교에서 해석의 방향을 설명하고 있는데  $D_x$ 는 수문의 전후 방향(수류 흐름방향) 진동모드,  $D_z$ 는 수직 방향 진동모드,  $R_z$ 는 Z축 방향의 회전을 각각 나타낸다.

Table 2. Comparison of natural frequencies in prototype and model gates (단위 : Hz)

Mode	Model	Prototype		Model	Remarks
		FEM analysis	Theoretic result by scale	Test results	
Natural frequency	1st	3.790	21.102	23.19~24.41	$R_z$
	2nd	5.953	33.144	34.18~36.62	$D_x$
	3rd	8.670	48.273	42.72~43.95	$D_x, D_z$
	4th	9.303	51.797	48.83~53.71	$R_y, D_z$
	5th	10.481	58.356	61.04~63.48	$R_z$
	6th	10.830	60.299	61.04~63.48	$D_z$
	7th	13.190	73.439	74.00~76.88	$D_z$

1차모드에서 7차모드까지 모든 모드형상에서 유체의 흐름에 의한 진동방향과 같은 방향으로의 진동이 발생되며, 이중 2~4차모드와 6, 7차모드는 수직방향 진동이 같이 발생하게 된다. 또한 6차모드에서는 스킨플레이트부의 비틀림이 발생되고 있는 것으로 보이며, 이 경우에

수직방향으로의 변형이 크게 일어나는 것으로 판단된다. 그리고 문비의 전체적인 거동이 개폐시 문비 하단에서의 불규칙한 흐름으로 인한 국부적인 진동과 같은 방향의 변형을 보인다.

#### 3.2 모형의 고유진동수 측정

고유진동수를 비교 검증하기 위하여 제작 설치된 모형에서 고유진동수를 측정하였다. 물이 없는 상태에서 수류방향, 수직방향으로 모형의 스킨부에 나무망치로 타격하여 진동을 측정하고 고유진동수를 분석하였다. 이때 5000Hz rate로 측정하였다. 여러 번의 실험결과를 분석하여 고유진동수의 범위를 Table 2의 5행에 정리하였다.

#### 3.3 고유진동수 비교

원형의 유한요소법 해석에 의한 고유진동수의 축척에 따른 계산값과 실험에 의하여 측정된 값을 Table 2에 비교하였다. Table 2의 결과 비교에서 모형의 실측결과 중 7차모드 이상의 결과가 제외되어 있는 것은 해당 진동에 의한 영향이 미미할 뿐 아니라 고차모드에 대하여는 일반적으로 고유진동수에 차이가 크게 발생할 수 있으며, 모형의 제작 적정성을 평가하는데 있어서는 일부 저차모드에 대한 평가로 충분할 것으로 판단되어 진동분석 결과에서 제외된 것이다.

Table 2에서 측정된 모형의 고유진동수(5행)를 원형의 해석 고유진동수를 상사법칙에 따라 계산한 고유진동수(4행)과 비교하면 유사하거나 약간 큰 범위의 값을 보인다. 이 정도는 매우 근접함으로 판단되므로, 제작된 모형은 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1 수위조건 및 실험조건

실험에서 고려되는 모형수문의 상하류 수위는 Table 3과 같이 표시되며, 상하위 수위에 따른 3가지 실험 조건은 Table 4와 같다.

**Table 3.** Water levels conditions (m)

Classification	Water levels	Prototype water depth (m)	Model water depth f(cm)	Test water depth (cm)	Remarks
Upstream (Riverside)	Operating condition	6.76	21.8	22	
	Gate upper	8.50	27.5	27	
Downstream (Seaside)	Approximate lowest low water	5.122	16.5±2.5	15	Seaside wave amplitude :±0.79 m

**Table 4.** Three sets of tests conditions (cm)

Classification	Diagrams in testing conditions
Vibration amplitude as function of bottom opening height	
Vertical vibration amplitude as function of upstream water level	
Vertical vibration amplitude as function of downstream water level	

**4.2 정·역 방향배치 모형의 진동 비교**

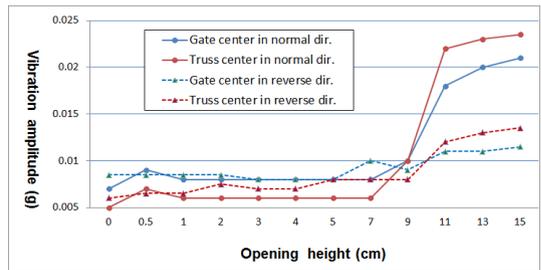
정 방향 배치는 일반적인 수문의 배치방향으로 수위가 낮은 해측(하류)방향으로 트러스부가 설치되고, 수위가 높은 담수호측(상류)방향으로 스킨플레이트가 설치되며, 역 방향 배치는 반대방향으로 설치되는 것으로 규정하였다. 정방향 배치 실험 완료 후 수문을 180도 회전하여 역방향으로 설치하고, 역방향 모형에 대하여 실험을 수행한 후 서로를 비교하였다.

**4.2.1 개방고별 진동 측정**

주어진 수위조건에서 가장 불리한 조건인 상류 27cm,

하류 15cm에서 개방고별 진동 가속도 진폭을 수문의 스킨플레이트부와 트러스 중앙부에서 측정하여 Fig. 8에 도표화하여, 정방향 배치와 역방향 배치에 따른 문비 개방고별 가속도 진폭을 비교하였다. 문비 개방고 9cm 미만에서는 가속도 진폭이 크게 차이가 나지 않는다. 그 이상의 큰 개방고에서는 하류의 와류에 의한 진동이 트러스부를 치게 됨으로 정방향 배치에서 진동이 훨씬 크게 발생함을 알 수 있다. 정방향은 0.5cm의 개방고에서 약간의 압력변화에 따른 진동<sup>[5]</sup>이 발생하는 것으로 판단되며, 역방향에서는 이러한 현상이 발생하지 않는다. 낮은 개방고에서는 트러스 부의 진동이 중앙스킨 부분보다 작았으나, 와류의 영향이 큰 개방고 9cm 이상에서는 트러스부의 진동이 커짐을 볼 수 있다.

따라서 9cm 이상에서의 큰진동과 압력변화에 따른 진동이 발생하지 않는 역방향 배치가 더 바람직한 것으로 판단된다.



**Fig. 4.** Vibration amplitude due to opening height at upstream level 27cm and downstream level 15cm for each direction

**4.2.2 상류 수위별 진동 측정**

Fig. 5와 Fig. 6은 하류수위 15cm 일 때, 개방고 1cm와 7cm에서 각 배치 방향에 따른 상류수위별 진동 가속도 진폭을 보인다. Fig. 5과 같이 개방고 1cm의 작은 개방고에서 월류 수위 전까지 거의 같은 작은 진동을 보이며, 28cm 전후에서 월류가 발생하면 정방향 배치 모형의 진동이 훨씬 커짐을 알 수 있다. 상류수위가 월류하여 약 1.0cm~1.5cm까지 월류할 때 스킨 플레이트 부를 타고 흘러내리는 흐름에 의하여 진동이 크게 발생하는데 역 방향 배치는 문비의 표면이 매끈하기 때문에 진동에 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 월류수위가 높아져 문비를 타고 흘러내리는 흐름이 떨어지는 흐름으로 바뀌면 일시적으로 진동이 감소한다.

수문이 많이 열린 Fig. 6에서는 정방향 배치의 진동이

커지는데 이것은 뒤돌아 치는 와류가 후면에 있는 트러스부를 침에 인한 진동이 추가되기 때문으로 판단된다.

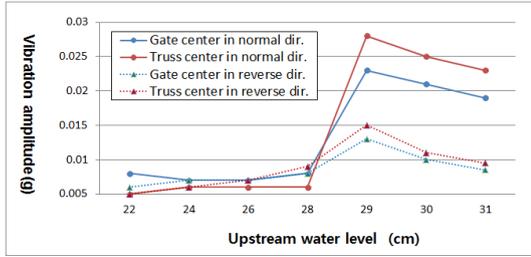


Fig. 5. Vertical vibration amplitude due to upstream water levels for bottom opening height 1 cm, and downstream level 15 cm for each direction.

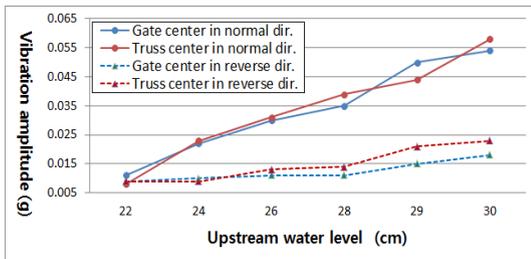


Fig. 6. Vibration amplitude due to upstream water levels at opening height 7 cm, downstream 15 cm for each direction.

#### 4.2.3 하루 수위별 진동 측정

Fig. 7은 상류수위 27cm, 개방고 1cm 일 때, 배치방향에 따른 하루수위별 진동 가속도 진폭을 도표화 한 것이다. 낮은 개방고에서는 설치 방향에 따른 진동의 차이가 별반 없거나 정방향에 약간 큰 것으로 측정된다. 그러나 수문이 많이 열린 개방고 7cm의 진동현상은 Fig. 8과 같이 와류가 발생하는 하류수위 15~17cm 구간에서 정방향 모형이 훨씬 큰 진동을 보인다.

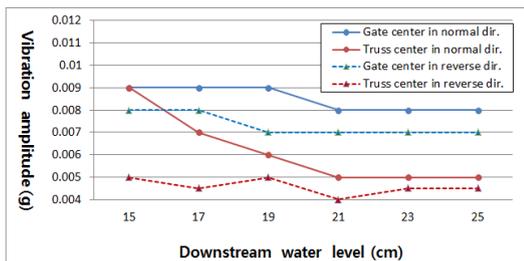


Fig. 7. Vibration amplitude due to downstream water levels at opening height 1 cm and upstream 27 cm for each direction.

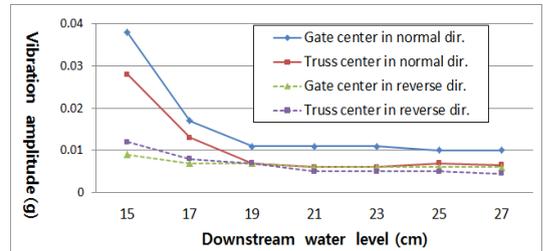


Fig. 8. Vibration amplitude due to downstream water levels at opening height 7 cm and upstream level 27 cm for each direction.

#### 4.2.4 95m 수문 실험과 비교<sup>[2]</sup>

본 수문이 설치된 지구는 중앙부에 95m, 양측에 각 1조의 47.5 m의 게이트가 설치된다. 95m 수문은 축척 1/61로 실험되어 연구되었다<sup>[2]</sup>. 본 절에서는 모형실험결과와 두 수문에서 개방고별 진동을 서로 비교하였다. 서로 축척이 다르므로 95m 수문의 축척(1/61)을 본 47.5m 수문의 축척으로 환산하여 같이 비교하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 각각 정방향과 역방향 설치 시 수문 중앙부에서 개방고에 따른 각 수문의 진동 가속도 진폭을 비교하였다. Fig. 10의 전구간과 Fig. 9의 개방고 2~9cm 구간은 47.5m 수문의 진동이 크게 측정된다. 이는 95m 수문 모형의 축척이 1/61이므로 모형의 부재가 작아지고, 이에 맞는 두께의 부재를 선택 시 해당 규격이 없어서 일부 부재가 한 치수 위의 부재를 선택하게 되어 모형의 강성이 커져서 상대적으로 47.5m 수문의 진동이 큰 것으로 판단된다. Fig. 9에서 개방고 1cm 구간과 11cm 이상에서는 95m 수문의 진동이 더 크게 되는데 이는 1cm에서는 suction induced force에 의한 부압의 영향이, 11cm 이상에서는 뒤돌아 치는 와류의 영향으로 기인한 것으로 생각된다. Fig. 9와 Fig. 10에서 볼 수 있는 것과 같이, 개방고 1cm 구간과 9cm 이상구간에서 부압과 뒤돌아 치는 와류의 영향에 의한 진동이 작은 역방향 설치 모형이 진동에 대하여 유리한 것으로 판단된다.

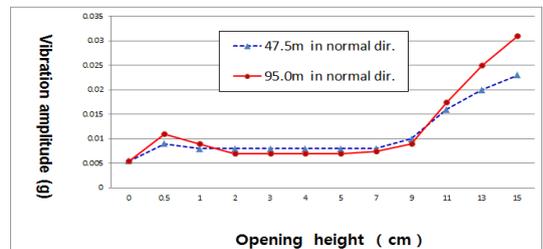


Fig. 9. Vibration amplitude due to opening height in the 2 gate models at normal direction.

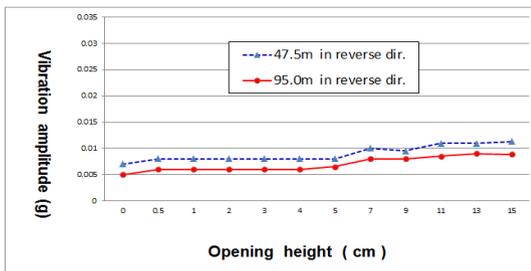


Fig. 10. Vibration amplitude due to opening height in the 2 gate models at reverse direction.

### 5. 결론

본 연구에서는 1/31의 트러스형 리프트게이트 모형을 아크릴로 제작하고, 2방향의 설치방향 모형에서 각각 실험을 수행하여 아래의 결론을 도출하였다.

- (1) 뒤돌아 치는 와류가 발생하는 큰 개방고에서는 하류의 와류에 의한 진동이 트러스부를 치게 됨으로 정방향 배치에서 진동이 훨씬 크게 발생함으로 역방향 배치(해측; 스킨플레이트, 강측; 트러스)가 더 진동에 대하여 안정적인 배치로 판단된다.
- (2) 작은 개방고일 때 각 방향에 따른 진동 현상은 큰 차이가 없으나, 0.5cm의 개방고에서 수문 하단의 압력변화로 인하여 발생하는 suction force에 의한 진동이 발생하는 것으로 판단되며, 역 방향에서는 이러한 현상이 발생하지 않는다.
- (3) 월류 시에는 역방향 배치가 스킨 플레이트부의 면이 매끈하기 때문에 정방향 배치보다 진동이 상당히 작게 발생함을 알 수 있다.
- (4) 하류수위의 영향을 살펴보면 낮은 개방고에서 별 차이가 없으나, 수문이 많이 열린 상태에서는 정방향 배치가 역방향 배치보다 큰 진동현상을 보인다.
- (5) 일반적인 개도 범위에서 스킨 중앙부 상하진동이 가장 크게 발생하고, 상류 수위가 증가되어 월류가 시작되면 상대적으로 트러스부의 상하진동이 가장 커짐을 확인 할 수 있었다.
- (6) 95m 수문실험 결과와 비교해 볼 때 47.5m 수문의 진동이 많은 구간에서 크게 측정되었는데, 이는 두 모형의 강성차이가 영향을 미친 것으로 판단된다.

설치방향에 따른 진동현상을 종합적으로 검토해 보면 개방고가 작거나 상류수위가 높지 않을 때는 양방향에서 진동차이가 거의 없으나, 수문이 많이 열리거나 월류가 된다면 정 방향진동이 상당히 커짐을 확인 할 수 있었다. 따라서 역방향 배치(해측; 스킨플레이트, 강측; 트러스)는 수문진동과 관련하여 반대 방향보다 유리한 것으로 판단된다.

### References

- [1] Lee, S. H., "Model Tests Study on Flow-induced Vibration of Tainter gate in Estuary Sulices (I)", *Journal of the korean society of agricultural*, vol. 46, no. 1, pp. 27-34. 2004.
- [2] Lee, S. H., Hahm, H. G., Ryu, G. S., "Dynamic Characteristics of the Long Span Truss-Type Lift Gate by Model Test." *Journal of the korean society of agricultural engineers*, vol. 57, no. 36, pp. 117-123. 2015.
- [3] Kolkman, P. A., *Flow-induced Gate Vibrations. Prevention of Self-excitation.* Delft Hydraulics laboratory, Publication, no. 164, pp. 1-162, 1976.
- [4] Gajanan, M. S., Harry, G. H., Richard, N. W., and Saeed, M., *Structural Modeling and Experimental Techniques, Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series*, pp. 1-60, 1983.
- [5] Thang, N.D., "Gate Vibrations due to Unstable Flow Separation", *Journal of Hydraulics Engineering*, vol. 116, no. 3, 1990.
- [6] Lee, S. H., Cheung, J. W., Kim, K. N., Hahm H. G., Jung, K. S., *Characteristics on the Temperature Distribution in Steel Girder Bridge by using Gauge Measurement, Journal of e korean Society of steel Construction*, vol, 23, no. 3, pp. 285-286, 2011.

이 성 행(Seong-Haeng Lee)

[정회원]



- 1983년 2월 : 충북대학교 토목공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 충북대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

강교량, 교량 온도하중, 대형수문 수리모형 진동실험

공 보 성(Bo Sung Kong)

[정회원]



- 2010년 2월 : 부산대학교 산업 토목학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2012년 4월 ~ 2013년 3월 : (주) 신성엔지니어링
- 2013년 3월 ~ 현재 : (주) ICL

<관심분야>

대형수문 수리모형 진동실험, 구조물 해석