

A Study on Water Level Fluctuation by Wave Setup in Artificial Lakes

Hyun Seok Lee¹⁺, Hyoung Jin Cho¹, Yong kuk Kim¹, Kwan Sue Jung²

¹ HQ Tech Co., Ltd., 37-17 Yuseong-daero 1628-beongil, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

² Department of Civil Engineering, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

Abstract

Artificial waves inside the lake generated due to the opening and closing of the tidal power plant cause wave setup and inundation of salty water by wave setup can harm crops in nearby farmland. This study was carried out to investigate and analyze wave setup, the main cause of this salt damage. The water level fluctuation monitoring was performed using a pressure gauge. The atmospheric correction was performed to ensure the reliability of the pressure-type water level gauge and the level of the measurement station was standardized as a reference point of the tidal power plant. The correlation analysis between the tidal power plant and the Jangjeon barrage was based on water level before generation, water level fluctuation at the beginning and end of generation and the difference between the peak water levels inside the lake and in the Jangjeon barrage. As a result of the analysis, it was found that wave setup, which is the rise of the water level in the Jangjeon barrage, has the strongest correlation with water level reduction at the front of the generator which occurs simultaneously with the stop of the generator.

Key words: tidal power, water level fluctuation, wave setup, salt water, water level increasement

1. 서론

본 연구대상지인 시화호는 경기도 안산시, 화성시, 시흥시에 걸쳐있는 인공호수로서, 시화지구 대단위 간척종합개발 사업의 일환으로 한국수자원공사와 한국농어촌공사가 위·수탁협약을 맺어 조성하였다. 시화방조제 축조는 1987년 4월부터 1994년 1월까지 6년에 걸쳐 완공되었으며, 인공호수의 면적은 56.5 km² 이고, 방조제의 길이는 11.4 km, 총저수량은 3억 3천 2백만 톤이다. 방조제 중앙에는 서해의 조수간만차를

이용하는 시화조력발전소가 설치되어 있으며 하루 2회의 발전을 통해 연간 5억 5천 2백만 kWh의 전기를 생산하고 있다. 이는 연간 86만 2천 배럴의 원유를 절약할 수 있는 규모이며, 31만 5천톤의 이산화탄소 감소효과가 있다.

하루 2회 수행하는 조력발전은 3억톤에 가까운 저수량을 이용해 이루어지고 있으며, 호내 저수량의 100%에 가까운 회전율을 보이고 있다. 조력으로 인한 내측의 큰 수위변동은 유역 내 소규모 하천 하류단의 수위에 직접적인 영향을 미치고 있다. 특히 조력발전소의 수문

⁺ Corresponding author: Hyun Seok Lee, Tel. +82-42-671-1199, e-mail. leehs@hqtech.kr

개·폐로 인한 호 내측에서 만들어지는 인공 출렁임인 파는 하폭이 좁고 수심이 낮은 유입 하천을 통과하면서 wave setup으로 인한 수위상승을 초래하여, 해수의 범람으로 인근 농지의 작물에 염해를 입히기도 한다. 본 연구는 이러한 염해의 근본원인인 wave setup을 수리학적으로 조사하고 분석하기 위하여 수행되었다.

Hanslow & Nielsen(1992)은 하구와 해안가에서 wave setup을 관찰하고 보고 하였다. 해안가와 비교하여 수심이 깊은 하구에서는 처오름이 크지 않다는 사실을 관찰하였다. 또한 Hanslow, *et. al.*(1996)과 Santoso, *et. al.*(1998)은 하구에서의 Wave set-up을 집중 조사하고 그 특징을 규명하였다. 그리고 최근 Hoeke, *et. al.*(2015)은 섬에서의 극단적인 수위상승이 바람과 wave setup에 기인하고 있음을 보고하였다. 이보다 먼저 파의 처오름에 대해 관찰하고 조사한 사람은 Goda(1975)와 Guza & Thornton(1981) 등이 있다. 이들의 연구보고를 시작으로 비로소 파의 처오름에 대한 많은 연구자들의 관심과 보고가 이루어지기 시작하였다. Tanaka & Shuto(1992)와 Tanaka, *et. al.*(2000)은 일본에 있는 연구소 인근의 작은 하천에서의 수위변동에 관한 연구를 시작하였다. 또한 Lee & Tanaka (2001)은 일본 홋카이도에 위치한 Shiribetsu 강을 대상으로 하구에서의 지형변화와 wave setup과의 연관성에 관한 연구를 수행하였다. 그 후 일본의 소

하천을 대상으로 많은 현장조사와 wave setup현상을 규명하기 위한 분석이 이루어졌으며 이러한 연구 성과는 본 연구의 대상지인 시화호내 수위변동특성 연구에 적용되었다(Lee & Tanaka, 2002; Lee & Tanaka, 2006; Oshiyama, *et. al.*, 2001; Tanaka & Lee, 2001; Tanaka & Lee, 2002; Tanaka & Lee, 2003; Tanaka & Lee, 2003; Tanaka & Lee, 2006; Tanaka, *et. al.*, 2002). 본 연구는 향후 방조제 건설로 형성되는 인공호수의 과학적이고 체계적인 수위관리에 적용함으로써 실무자들의 애로사항 해소에 크게 기여할 수 있을 것이다.

II. 연구대상지역 및 입력자료 구축

시화호 내측 수위는 조력발전소 운영에 따라 EL. -1.0 m에서 EL. -4.0 m까지 변화하며 유입하천 수위에 지대한 영향을 미친다. 특히 내측 수위가 상승하면 유입하천에서는 배수현상이 발생하고 이로 인해 하천 흐름이 정체되어 홍수 시 인근지역이 침수될 수도 있다. <Figure 1>은 본 연구 대상지인 시화호 형상과 조력발전소와 약 20 km 이격된 거리에 위치한 반월천 하류단인 장전보의 위치를 보여주고 있다. 본 연구에서는 시화호 내측 수위와 주요 유입하천에서의 수위변동 특성을 확인하기 위하여 시화호 주변 유입하천 하류단 6개

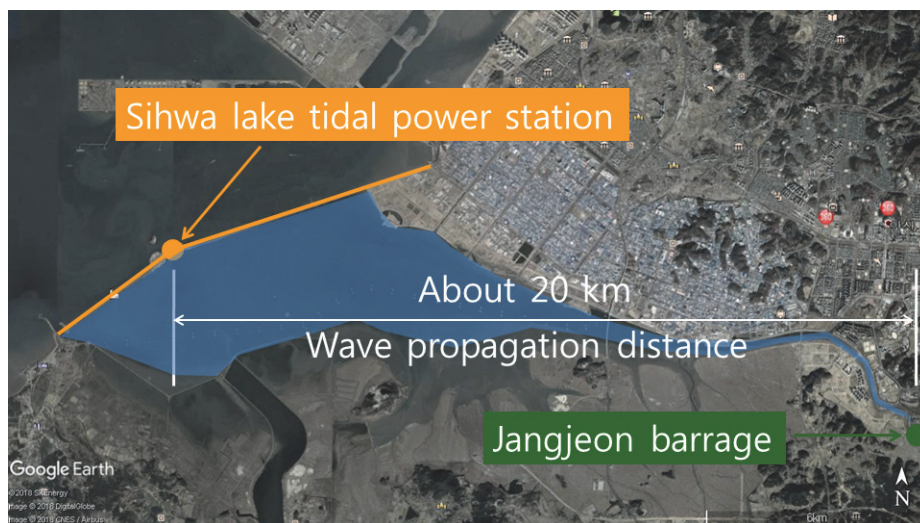


Figure 1. Study area - Sihwa lake

Table 1. Water level gauge for monitoring at the field

Item	MiniDiver	HOBO Foot Depth Water Level
Manufacturing Company	Schlumberger	Onset Computer Corporation
Measuring Type	Pressure type	Pressure type
Measuring Range	10.0 m	12.0 m
Accuracy	± 0.05% FS	± 0.05% FS
Resolution	0.20 cm	0.21 cm

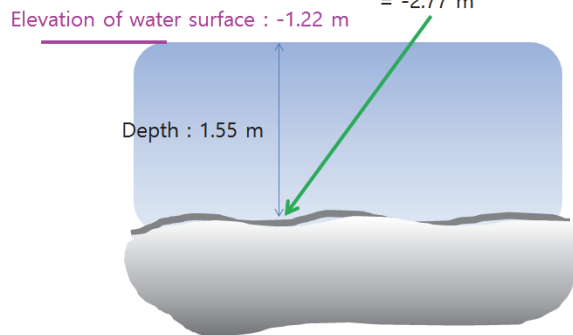
지점에 수위계를 설치하여 2015년 9월 30일부터 11월 11일까지 관측을 수행하였다. 상기 기간은 호내 수위가 -4 m까지 낮아지는 대조기를 포함하고 있으므로, 365 일 전 기간의 수위변화를 대표할 수 있다.

각 지점 수위변동 모니터링에는 가장 설치가 수월하고 비용이 저렴한 압력식 수위계를 사용하였다. 일반적으로 수위계 설치 시에는 기초공사가 병행되어야 하지만 연구용으로 단기간의 수위관측을 수행하기 위해 임시 수위관측소를 구축하였다. 유입하천에 설치한 수위

계는 두 회사의 제품 각 4대씩을 사용하였다. 각 회사의 제품에 대한 제원은 <Table 1>과 같다.

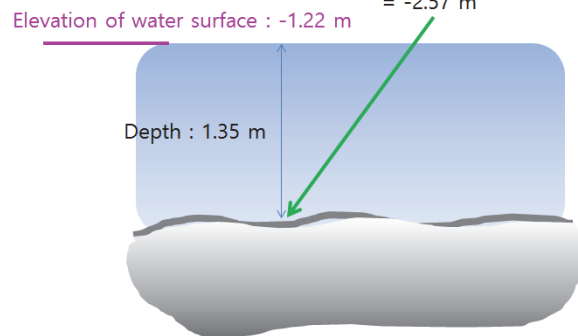
압력식 수위계를 이용하여 대상 지점의 수심을 관측하고 시화호 조력발전소 수위를 이용하여 모든 지점의 자료를 시화조력발전소를 기준으로 한 'El. m' 단위로 환산하였다. <Figure 2>는 하구보다 상류에 위치한 하천이나 저수지에서의 수위와 수심의 차이를 보여주는 개념도이다. <Figure 2> (a)와 같이 간단한 예로 장전보 400 m 하류 지점에서의 수위가 -1.22 El. m이고 이

$$\begin{aligned} \text{Elevation of before jangeon barrage station} &= \text{Elevation of water surface} - \text{Depth} \\ &= -1.22 - 1.55 \\ &= -2.77 \text{ m} \end{aligned}$$



(a) Monitoring station level at 400m downstream of Jangjeon barrage

$$\begin{aligned} \text{Elevation of jangeon barrage station} &= \text{Elevation of water surface} - \text{Depth} \\ &= -1.22 - 1.35 \\ &= -2.57 \text{ m} \end{aligned}$$



(b) Monitoring station level at infront of Jangjeon barrage

Figure 2. level of monitoring station calculated from water surface

Table 2. Water level and bottom level at monitoring station

Monitoring Station	Depth (m)	Level of bottom (EL, m)
Okgoo cheon	1.13	-2.35
Singil cheon	1.36	-2.58
Ansan cheon	2.70	-3.92
Downstream of jangeon barrage	1.55	-2.77
Jangeon barrage	1.35	-2.57
Moonsan cheon	0.64	-1.86

때 수심이 1.55 m일 경우 센서가 설치되어 있는 바닥의 레벨은 -2.77 EL, m임을 알 수 있다. <Figure 2> (b)는 장전보 전면 수위계 설치 지점의 수위가 -2.57 m임을 보여준다. 이와 같은 방법으로 시화호 조력발전소의 수위가 -1.22 m로 관측된 10월 7일 10시에 나머지 6개 지점의 수위자료를 선별하여 각 6개 지점에 대한 수위를 구하였다. 각 지점별 수심 및 시화호 조력발전소 기준 설치지점 수위는 다음 <Table 2>와 같다.

10월 한 달간 3회에 걸쳐 센서 설치 및 수거를 반복하였으며, 자료 취득을 위해 센서를 수거하여 재설치한 경우 동일한 방법으로 모든 수심자료를 수위로 환산한 후 해석을 실시하였다. 이렇게 확보한 자료를 장전보 상부의 월류단과 비교함으로써 조사 기간에 대한 월류 여부를 확인할 수 있었다.

<Figure 3>은 장전보 직하류의 수위와 장전보 월류단을 동시에 하나의 그래프에 나타낸 결과이다. X축에는 전 조사 기간을 10일 단위로 나타내었으며, Y축은 수위 및 지점을 동일 단위인 EL, m로 표현하였다. 월류

여부 판단에 신중을 기하기 위해 6개 유입지천 전 지점을 대상으로 수심 확보가 가능한 3개의 경우에 해당하는 1분 자료들을 약 1시간 단위로 평균한 후 수위 보정을 수행하였다. 분석 결과, 장전보에서의 수위변동 폭은 약 2 m로 나타났고, 수위가 가장 높았을 때 장전보 직하류 수위는 EL, -0.68 m임을 확인하였다. 수위 EL, -0.68 m은 장전보 월류고인 EL, -0.65 m 보다 단지 3 cm 낮은 위치이다.

한편, 장전보 하류에서의 수위는 <Figure 4>와 같이 시화호 조력발전소 수위와 상승과 하강의 패턴은 유사하나, 관측 시간별로 보다 정밀하게 비교해 보면 최고 수위는 상대적으로 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 이에 바람의 영향을 무시한 수문개폐에 따른 수위변동 특성을 좀 더 구체적으로 규명하고자 호내 수위, 발전개시 후 수위상승폭, 발전정지 후 수위 하강 폭 및 장전보와 조력발전소 수위 차이 등 다양한 조건에 대한 정밀조사를 수행하였다.

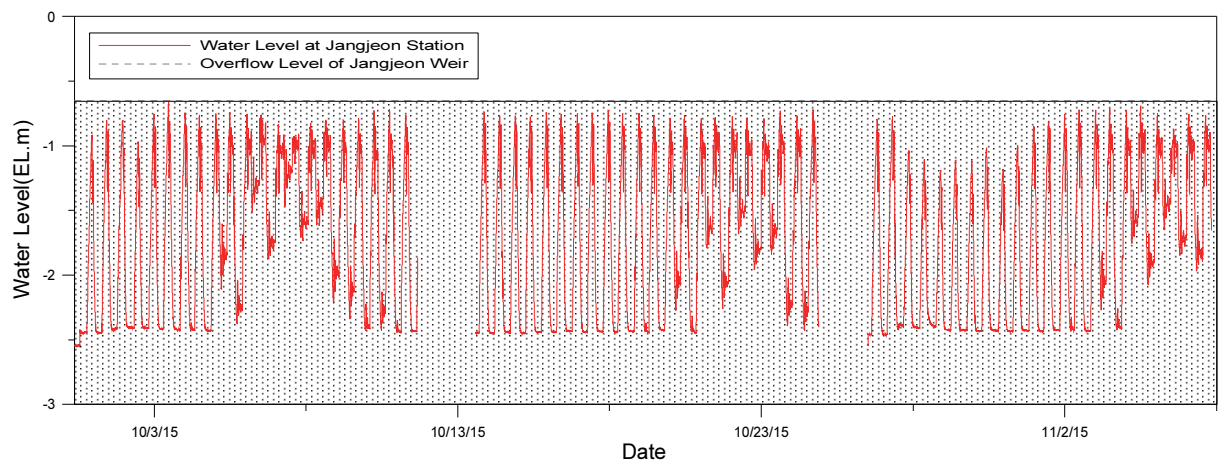


Figure 3. Water level and overflow level at Jangeon barrage

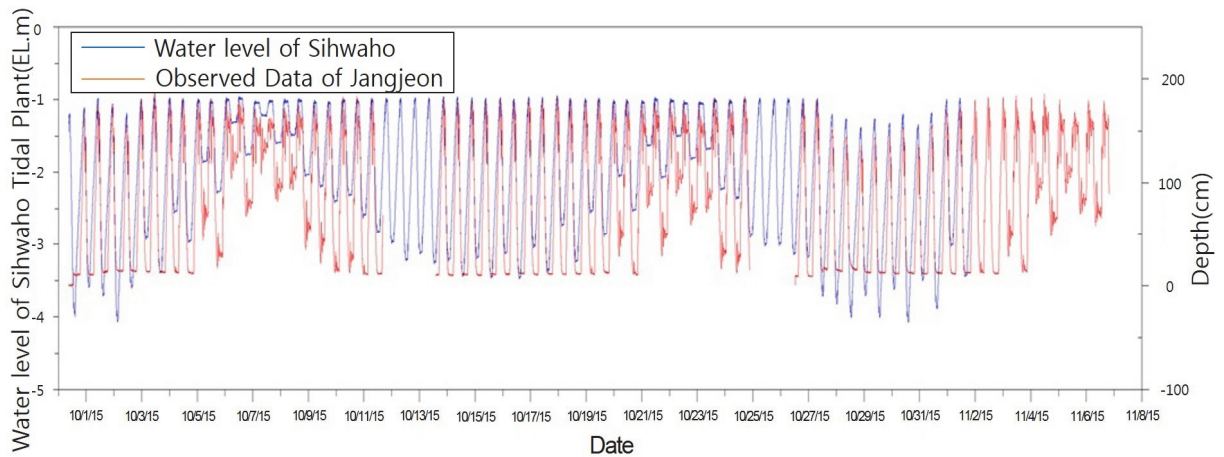


Figure 4. Water level fluctuation at Sihwa lake and Jangjeon barrage

III. 결과 및 고찰

1. 인공호내 조위별 수위변동 조사

시화호 조력발전소에서의 수위자료는 해양조사원이 제공한 기준점을 이용해 환산하였다. 또한 관리수위국의 수위는 기준점은 확인되지 않았으나 시화호 조력발전소 수위와 유사한 변동특성을 보여주고 있으므로, 시화호 조력발전소 수위와 유입하천에서 확보한 각 지천별 수위와의 비교분석을 위한 신뢰성에 문제가 없을 것으로 판단하였다. 이와 같이 시화호 주변 6개 지천의 수심자료를 수위로 환산한 결과와 조력발전소 수위 및 관리수위국 수위 등 8개 지점의 수위를 <Figure 5>

<Figure 6>, <Figure 7>과 같이 분석하였다. 10월 7일, 10월 22일 및 11월 5일은 호내 수위가 높았던 소조기로, 수심자료를 수위로 변환하기 위한 설치지점의 레벨을 확인한 날짜이다. 이때 호내 수위는 1.5 m 근방이며, 문산천 설치 지점 수위인 -1.86을 넘지 않음으로서, 8개 지점의 모든 센서가 공기 중에 들어나지 않았기에 상호 치환이 가능하였다. 이렇게 환산한 자료는 소조기 특성을 보이고 있는 10월 4일부터 대조기 특성을 보이고 있는 10월 31일까지의 자료이며, 대기 보정이 이루어지지 않았던 10월 12일과 10월 25일을 뺀 26일 각각의 날들을 대상으로 동일한 형식의 그래프에 나타내었다. X축은 각 날짜에 대한 시간을 한 시간 간격으로 나

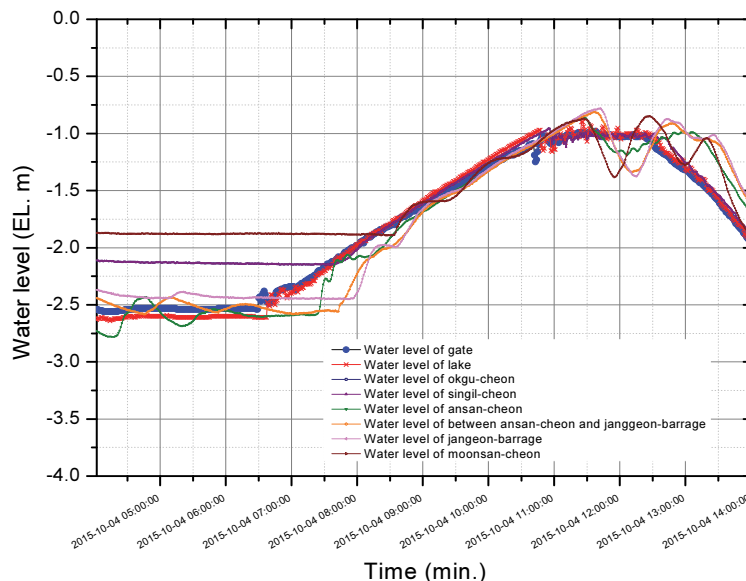


Figure 5. Water level of 8 measurement stations on Oct. 4

타내었으며, Y축은 -4.0 m로부터 0.0 m까지의 수위를 0.5 m 간격으로 표현하였다.

〈Figure 5〉에 나타낸 10월 4일의 8개 지점의 수위는 발전개시 전 시화호 조력발전소 수위가 -2.5 m 아래에 유지됨으로서, 문산천, 신길천 및 장전보에 설치한 센서가 공기 중에 노출되었음을 의미한다. 10월 4일 오전 6시 30분경 발전이 개시되었으며 10시 45분경 발전이 종료되었다. 발전 종료 후 장전보 수위는 11시 40분경

에 최고치를 보여주고 있다. 안산천에서는 약간의 수위 변동이 나타나고 있으나, 장전보 하류, 장전보 및 문산천의 수위는 약 40 cm 이상의 진폭으로 수면이 변동하고 있음을 확인하였다. 같은 방법으로 각각 외해의 조위변동이 차이가 있는 26일에 대해 지점별 수위특성을 조사하였으며, 10월 10일과 10월 18일 시화호내 각 지점에서의 시간별 수위 변화는 〈Figure 6〉 그리고 〈Figure 7〉과 같다.

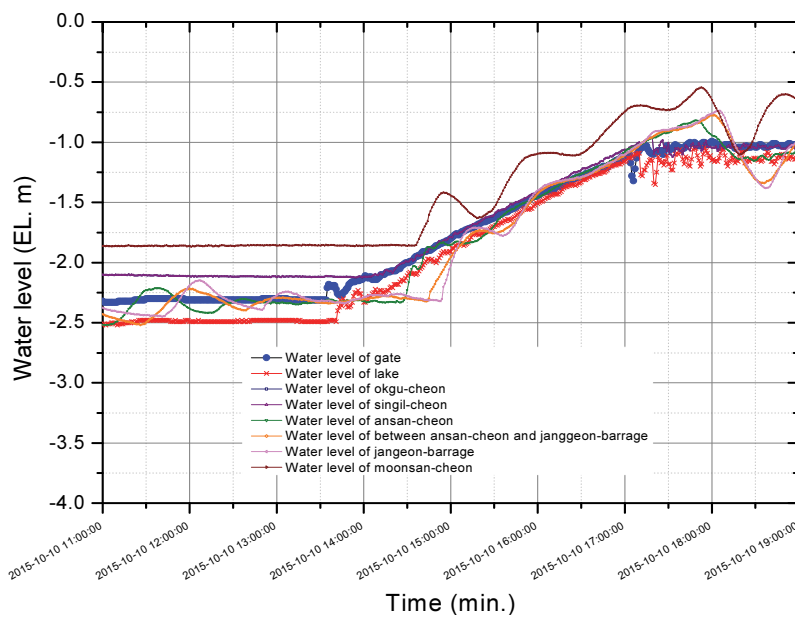


Figure 6. Water level of 8 measurement stations on Oct. 10

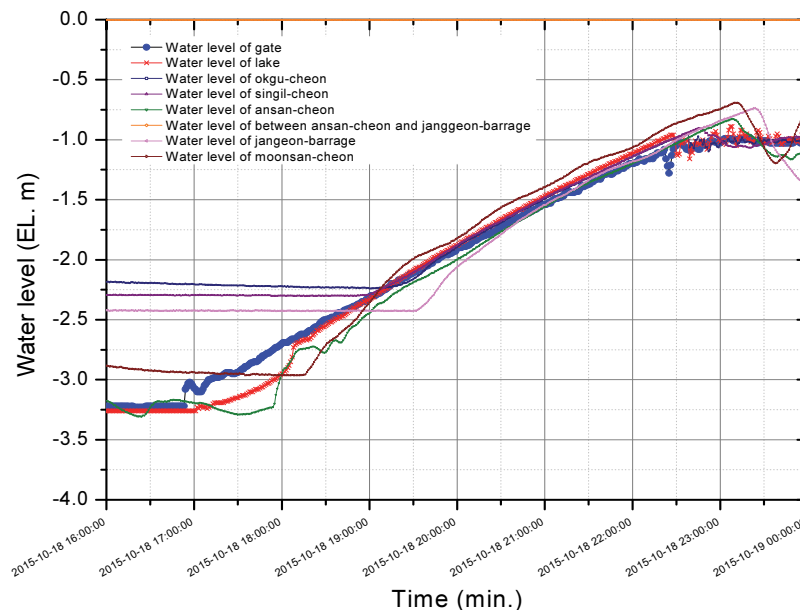


Figure 7. Water level of 8 measurement stations on Oct. 18

2. 파 발생지점을 기준으로 한 수위변동 특성 분석
 <Table 3>의 좌측으로부터 6개의 인자는 10월 4일부터 10월 31일까지 대기보정이 불가능했던 12일과 25일을 뺀 26일간의 발전이 이루어진 기간의 수위특성을 분석한 결과이다. 시화호내 수위가 닫혀진 수문으로 인해 일정하게 유지되고 있는 동안 바깥쪽 외해에서는 창조 시 조류변화로 인해 수위가 상승하게 되며, 충분한 수두차가 확보되면 발전을 개시한다. 그림에서 보이듯이 발전과 동시에 약 15 cm 정도에 이르는 급격한 수위 상승이 나타남을 확인할 수 있었다. 이렇게 시작한 발전은 호내 수위가 -1 m를 넘지 않는 동안 지속되며, 일반적으로 발전소 수위 약 -1.1 m에서 터빈을 정지함에

따라 15 cm 정도의 수위저하가 발생함이 확인되었다. 발전 종료 후 일정 시간이 경과함에 따라 호내 수위는 안정을 찾게 되며, 이 시기 장전보 수위는 약 25 cm 정도 상승되었다. 호내 수위가 매우 낮았던 대조기인 10월 27, 28, 29 및 30일에는 -1.0 m보다 40 cm 정도 여유가 있는 -1.40 m에 발전을 종료함으로써 유입된 해수가 장전보를 월류할 수 있는 가능성을 차단하였다. 이와 같이 그래프와 수치로 약 한 달간의 발전에 따른 지점별 수위특성을 분석하였으며 발전 전 호내 수위, 발전 개시로 인한 수위변동 폭, 발전 종료로 인한 수위변동 폭 및 시화호 발전소 수위와 장전보 수위의 차 등 4개의 주요 인자를 개발할 수 있었다. 발전 전까지 일정

Table 3 Analysis of water level at gate and Jangjeon barrage

Day	Water Level of Gate before Generation (WLG _{bg})	Water Level of Gate after Generation (WLG _{ag})	Water Level of Gate before Closure (WLG _{bc})	Water Level of Gate after Closure (WLG _{ac})	Peak Water Level of Gate (PWL _G)	Peak Water Level of Jangjeon Barrage (PWL _{JJB})	WLG _{bg} - WLG _{ag}	WLG _{bc} - WLG _{ac}	PWL _G - PWL _{JJB}
4	-2.53	-2.38	-1.09	-1.25	-1.03	-0.78	0.15	0.16	0.25
5	-1.84	-1.72	-1.11	-1.29	-1.03	-0.76	0.12	0.18	0.27
6	-1.3	-1.21	-1.06	-1.16	-0.96	-0.78	0.09	0.1	0.18
7	-1.21	-1.18	-1.03	-1.06	-1.01	-0.93	0.03	0.03	0.08
8	-1.48	-1.39	-1.05	-1.19	-0.99	-0.82	0.09	0.14	0.17
9	-2.18	-2.06	-1.08	-1.24	-1.02	-0.81	0.12	0.16	0.21
10	-2.31	-2.18	-1.1	-1.32	-1.03	-0.74	0.13	0.22	0.29
11	-2.57	-2.43	-1.07	-1.27	-1	-0.77	0.14	0.2	0.23
13	-3.25	-3.1	-1.07	-1.22	-0.95	-0.73	0.15	0.15	0.22
14	-3.2	-3.06	-1.08	-1.22	-0.96	-0.75	0.14	0.14	0.21
15	-3.45	-3.22	-1.07	-1.25	-0.97	-0.73	0.23	0.18	0.24
16	-3.46	-3.31	-1.07	-1.23	-0.96	-0.74	0.15	0.16	0.22
17	-3.35	-3.15	-1.06	-1.23	-0.96	-0.72	0.2	0.17	0.24
18	-3.22	-3.02	-1.08	-1.28	-0.98	-0.74	0.2	0.2	0.24
19	-2.85	-2.74	-1.07	-1.27	-1.02	-0.78	0.11	0.2	0.24
20	-2.51	-2.32	-1.08	-1.25	-1.02	-0.78	0.19	0.17	0.24
21	-2.05	-1.9	-1.06	-1.24	-0.99	-0.76	0.15	0.18	0.23
22	-1.49	-1.38	-1.08	-1.26	-1.02	-0.77	0.11	0.18	0.25
23	-1.67	-1.51	-1.05	-1.22	-0.98	-0.72	0.16	0.17	0.26
24	-2.35	-2.23	-1.05	-1.23	-0.97	-0.71	0.12	0.18	0.26
26	-3.13	-2.97	-1.06	-1.24	-0.99	-0.81	0.16	0.18	0.18
27	-3.7	-3.56	-1.25	-1.36	-1.22	-1.06	0.14	0.11	0.16
28	-3.97	-3.77	-1.44	-1.54	-1.38	-1.21	0.2	0.1	0.17
29	-3.98	-3.77	-1.38	-1.5	-1.34	-1.14	0.21	0.12	0.2
30	-4.04	-3.84	-1.42	-1.54	-1.34	-1.2	0.2	0.12	0.14
31	-3.83	-3.67	-1.08	-1.2	-0.99	-0.87	0.16	0.12	0.12

하게 유지되고 있는 시화호 수위를 제외한 3개의 주요 인자는 <Table 3>의 추측에 나타내었다. 10월 6일, 7일 및 8일의 장전보에서의 수위 상승은 비교적 낮게 파악되었고, 10월 26일부터 31일까지의 수위상승 폭 또한 비교적 낮게 관측되었다. 그러나 나머지 기간에는 대부분의 경우 약 25 cm에 가까운 수위상승을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 <Figure 8>에 그래프로 보여주고 있으며, 각 인자별 상관성 분석 결과는 <Figure 9>

<Figure 10> 그리고 <Figure 11>에 순차적으로 나타내었다. 그림과 같이 장전보 수위상승은 발전기가 정지함과 동시에 발생하는 발전기 전면에서의 수위저하 폭과 가장 강한 상관관계가 있음을 확인하였다. 발전 정지로 인한 최대 수위저하는 Y축에 나타낸 바와 같이 약 0.22 m에 이르며 가장 수위변동이 작은 날은 약 0.04 m에 불과하였다.

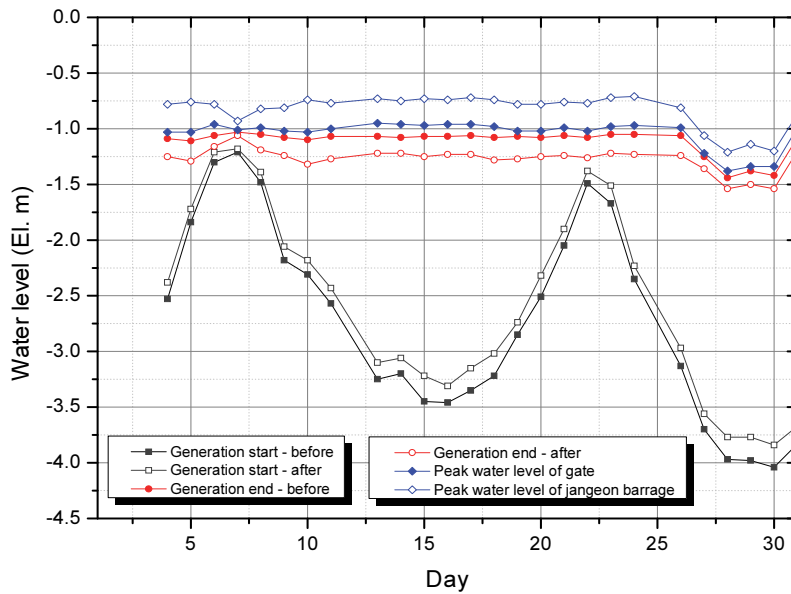


Figure 8. Water level fluctuation on generation before and after

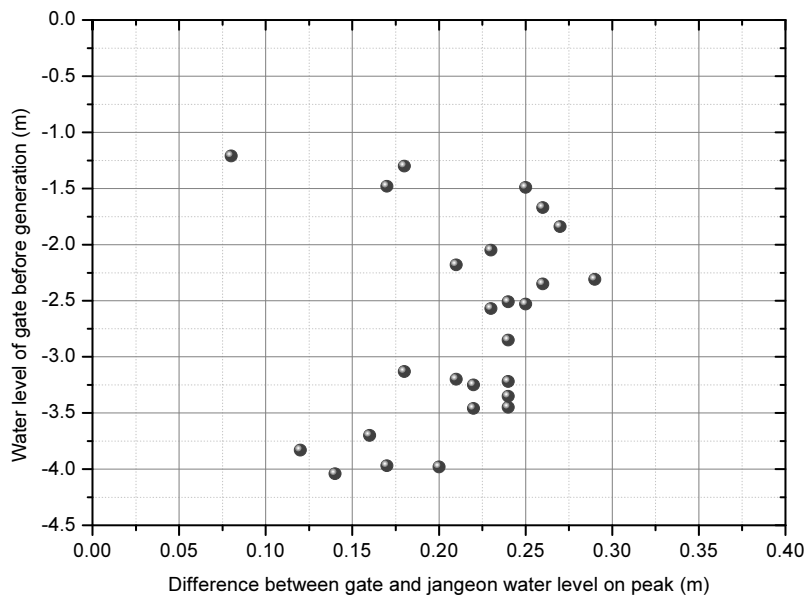


Figure 9. Relationship between water level of gate before generation and difference of water level peak

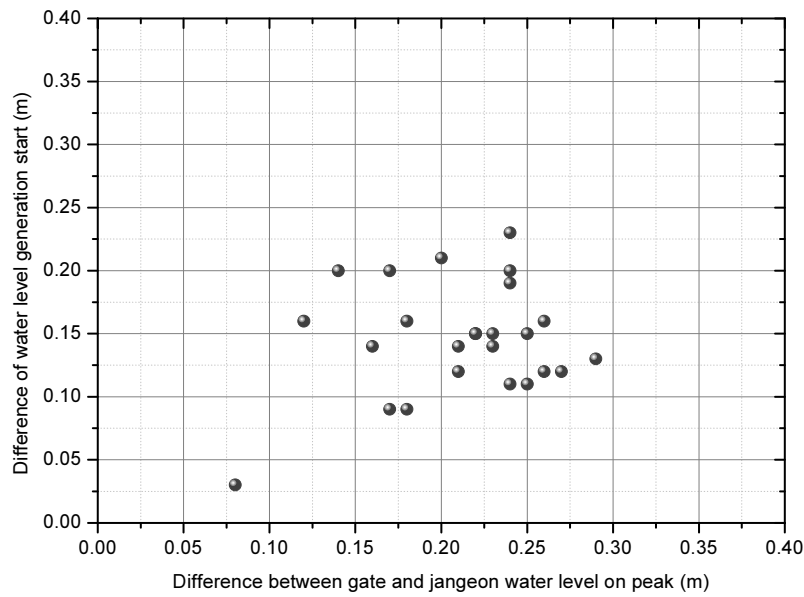


Figure 10. Relationship between water level generation start and difference of water level peak

3. 장전보에서의 wave setup에 의한 수위 상승

장전보에서의 수위상승은 장전보 직하류에서 관측된 최고 수위로부터 안정화 된 시화호 조력발전소 수위를 빼는 단순한 계산으로 확인할 수 있었다. 또한 발전 종료에 따른 수위저하는 발전 종료직전 시화호 조력발전소 수위로부터 발전 종료 후 동일지점에서의 최저 수위를 선별하는 방법으로 차를 구하였다. 각 날짜별 분석결과는 <Figure 11>과 같다. 파에 의한 수위상승인 ‘wave setup’을 정량적으로 규명하기 위해서는 하구에

서의 지형 및 다양한 수리학적 인자가 필요하나, 단순히 발전소 터빈 정지로 인해 약 1시간 주기에 파고 20 cm 전후의 파가 장전보까지 도달하고 있다는 사실은 수위분석만으로도 명확히 알 수 있었으며 상관분석을 통해 도출한 두 인자 사이의 관계는 다음 식 (1)과 같다.

$$\eta_{set-up} = 1.37\eta_{set-down} \tag{1}$$

여기서, η_{set-up} 은 장전보에서의 상승수위,

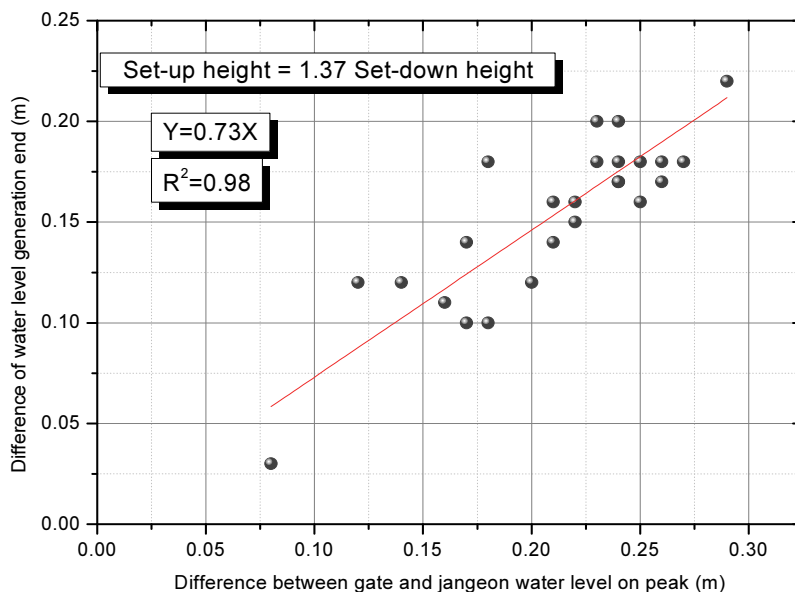


Figure 11. Relationship between water level generation end and difference of water level peak

ηset-down은 발전기 정지 후 조력발전소에서의 하강 수위를 의미한다. 이러한 결과는 발전소 정지 후 관측된 수위가 한시간 뒤 장전보에 어떤 영향을 미칠 수 있는지를 분명하게 제시하고 있으므로 향후 조력발전소의 효율적인 운영에 활용가치가 클 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구에서는 인공호수에서 인위적으로 발생하는 파에 의한 수위변동 특성을 조사하고 파의 전달과정에서 발생할 수 있는 wave setup에 의한 수위상승 결과를 규명하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 저수지나 인공호수 및 습지에서의 수위변동을 모니터링하기 위해서는 다양한 수위계 활용이 가능하다. 특히 휴대가 간편하고 본체에 전원 및 메모리 카드가 탑재되어 있는 '압력식수위계'의 경우 활용성이 매우 크다. 그러나 설치 및 자료 해석 시 주의 할 점이 있다. 첫째는 압력을 관측하는 센서부의 각 지점별 수위를 명확히 해야만 한다. 단일 지점에서의 수위모니터링 시에는 큰 문제가 없을 수 있으나, 다양한 지점에서의 수위 특성을 비교분석하기 위해서는 매우 중요한 요건이다. 둘째는 대기보정이다. 압력식 수위계의 관측 원리상 설치 지점의 대기변화가 그대로 반영됨을 확인할 수 있었다. 하나의 관측지점뿐만 아니라, 대기 조건에 차이가 있을 것으로 판단되는 다른 위치에서는 대기보정이 필수적이다.

둘째, 우리나라 대댐이나 조력발전소 및 교량이나 도로 또는 건축물 주변에는 측량을 위한 기준점이 있다. 그러나 매우 넓은 호수의 유입부와 방류구에서의 수위 특성을 비교하기 위해 활용한 기준점들이 차이가 있음이 확인되었다. 본 연구에서는 이러한 측량에 의한 기준점의 신뢰도를 바람이 잔잔하고 지천으로부터 유입이 거의 없는 청천시 동일 시간의 수위자료로부터 확보하였다. 본 연구에서처럼 파 발생지점으로부터 10 km 이상 이격 된 거리에서 몇 cm 정도의 수위상승을 확인하기 위한 wave setup연구에서는 기준점의 신뢰도 확

보가 매우 중요하다.

셋째, 수많은 연구자들에 의해 해변 및 하구에서의 wave setup에 관한 관찰, 조사 및 현상에 대한 연구 성과들이 보고되고 있다. 그러나 인공호수에서의 수문의 개·폐에 의해 생성되는 인공파의 wave setup에 대한 보고는 매우 드물다. 본 연구결과는 단지 조경을 위해 만들어진 인공호수뿐만 아니라 세계 다양한 장소에 건설되고 있는 조력발전소의 수위 관리에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 물관리연구사업(18AWMP-B0796 25-05)의 지원으로 수행되었음.

References

- Goda, Y. 1975. Wave Setup on Beaches and in River Entrances. *Coastal Engineering in Japan*. 18: 13-25.
- Guza, R. T. and E. B. Thornton. 1981. Wave Setup on a Natural Beach. *Journal of Geophysical Research*. 86(C5): 4133-4137.
- Hanslow, D. J. and P. Nielsen. 1992. Wave Setup on Beaches and in River Entrances. *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering*. 240-252.
- Hanslow, D. J., P. Nielsen, and K. Hibbert. 1996. Wave Setup at River Entrance. *Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering*. 2244-2257.
- Hoeke, R. K., K. L. McInnes, and J. G. O'Grady. 2015. Wind and Wave Setup Contributions to Extreme Sea Levels at a Tropical High Island: A Stochastic Cyclone Simulation Study for Apia, Samoa. *Journal of Marine Science and Engineering*. 3: 1117-1135.
- Lee, H. S. and H. Tanaka. 2001. Water Level Variation and Sand Spit Development at the Shiribetsu River Mouth. Japan, *Proceedings of 1st Asian and Pacific Coastal Engineering Conference*. 818-827.
- Lee, H. S. and H. Tanaka. 2002. Prediction of Water Level in a River Mouth Using Neural Network Approach.

- Proceedings of 13th APD-IAHR Congress.* 669-674.
- Lee, H. S. and H. Tanaka. 2006. Estimation of Time-dependent Wave Set-up Height in a River Entrance. *Proceedings of 30th International Conference on Coastal Engineering.* 727-734.
- Oshiyama, S., H. S. Lee, and H. Tanaka. 2001. Fluctuation Characteristics of Water Level in the Medium and Small Scale River Mouths. *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE.* 48: 411-415.
- Santoso, E., D. J. Hanslow, P. Nielsen, and K. Hibbert. 1998. Wave Setup at River Entrance. *Proceedings of 26th International Conference on Coastal Engineering.* 720-731.
- Tanaka, H. and H. S. Lee. 2001. Relationship between River Mouth Morphology and Wave Set-up Height at Shiribetsu River. Japan, *Proceedings of 2nd Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics.* 495-504.
- Tanaka, H. and H. S. Lee. 2002. Seasonal Variation of Sandspit and Its Effect on Fluctuation Characteristics of Water Level at the Mouth of Shiribetsu River. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE.* 46: 965-970.
- Tanaka, H. and H. S. Lee. 2003. Influence of Jetty Construction on Morphology and Wave Setup at a River Mouth. *Coastal Engineering Journal, JSCE.* 45(4): 659-683.
- Tanaka, H. and H. S. Lee. 2003. Influence of Morphological Change on Water Level Rise at the Shiribetsu River Mouth. *Hydroscience and Hydraulic Engineering.* 21(1): 71-78.
- Tanaka, H. and H. S. Lee. 2006. Study on Water Level Fluctuation Due to Wave Set-up in a River Mouth. *Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Engineering, JSCE.* 62(2): 210-223.
- Tanaka, H. and N. Shuto. 1992. Field Investigation at a Mouth of Small River. *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering.* 2486-2499.
- Tanaka, H., H. Nagabayashi, and K. Yamauchi. 2000. Observation of Wave Set-up Height in a River Mouth. *Proceedings of 27th International Conference on Coastal Engineering.* 3458-3471.
- Tanaka, H., H. S. Lee, and K. Furumichi. 2002. Study on Quantitative Estimation of Wave Set-up Height at the Shiribetsu River Mouth. *Proceedings of Coastal Engineering, JSCE.* 21: 371-375.

Received: Dec. 5, 2018 / Revised: Dec. 26, 2018 / Accepted: Jan. 2, 2019

인공호에서의 wave setup에 의한 수위 변동 연구

국문초록 조력발전소의 수문 개·폐로 인한 호 내측에 만들어지는 인공 출렁임인 수위 상승 및 하강은 wave setup으로 인한 수위상승을 초래하여, 해수의 범람으로 인근 농지의 작물에 해를 입히기도 한다. 본 연구는 이러한 염해의 근본원인인 wave setup을 수리학적으로 조사하고 분석하기 위하여 수행되었다. 수위변동 모니터링은 압력식 수위계를 이용하였다. 압력식 수위 관측의 신뢰도 확보를 위해 대기보정을 실시하였으며, 설치지점의 수위는 조력발전소를 기준으로 통일하였다. 조력발전소와 장전보 수위와의 상관분석은 발전전 호내수위, 발전개시로 인한 수위변동, 발전종료시 수위변동과 발전종료 후 호내 최고수위와 장전보 최고수위의 차를 이용하였다. 분석결과 장전보에서의 수위상승인 wave setup은 발전기가 정지함과 동시에 발생하는 발전기 전면에서의 수위저하 폭과 가장 강한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

주제어 : 조력, 수위변동, wave setup, 해수, 수위상승

Profiles

Hyun Seok Lee : He received his Ph.D. from Tohoku University, Japan in 2003. He is a President of the HQ Tech co, Inc. His interesting subject and area of research is a natural phenomena analysis by water, hydraulic cycle, water balance and water resources management. He has published 20 articles in journals (leehs@hqtech.kr).

Hyoung Jin Cho : He received his M.A. from Hannam University, Korea in 2010. He is a Team manager of the HQ Tech co, Inc. His interesting subject and area of research is simulation of water body movement and water quality management(jinimain@hqtech.kr).

Yong kuk Kim : He received his M.A. from Chungnam National University, Korea in 2011. He is a Team manager of the HQ Tech co, Inc. His interesting subject and area of research is evaporation measurement and soil moisture measurement(yongkuk@hqtech.kr).

Kwan Sue Jung : He earned Ph.D. degrees in the Department of Civil and Engineering Mechanics at University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. He is a professor at the Department of Civil Engineering and the Director of International Water Resources Research Institute in Chungnam National University. He is actively participating in researches related to rainfall-sediment-runoff numerical and physical modeling in large scale watersheds, riverbed stabilization techniques in river system(ksjung@cnu.ac.kr).