

공진장치에 의한 지진해일파의 제어에 관한 수치시물레이션(II) (삼척항에 대해)

Numerical Simulation on Control of Tsunami by Resonator (II) (for Samcheok port)

이광호* · 전중혁** · 김도삼*** · 이윤두****

Kwang-Ho Lee*, Jong-Hyeok Jeon**, Do-Sam Kim*** and Yun-Du Lee****

요 지 : 전편의 연구에서는 기존공진장치를 동해안의 묵호항과 임원항에 적용하여 1983년에 발생한 동해중부지진해일과 1993년에 발생한 북해도남서외해지진해일의 작용 하에 각 항내에서 지진해일고의 저감율을 수치적으로 검토하여 실험역의 지진해일파에 대한 기존공진장치의 유용성을 확인하였다. 후편의 본 연구에서는 전편과 동일한 지진해일파의 작용조건 하에 세 개의 실험공진장치 I, II-1 및 II-2를 동해안의 삼척항에 적용하여 지진해일고의 저감율을 각각 검토하였으며, 또한 수치해석에는 전편과 일관성을 갖도록 COMCOT 모델을 적용하였다. 삼척항에서 각 실험공진장치의 부착여부, 각 실험공진장치의 크기변화에 따른 최대지진해일고의 공간분포와 수위의 시간변동 및 공진장치의 유용성 등을 함께 논의하였다. 이로부터 실험공진장치를 부착함으로써 지진해일고를 최대 40% 정도로 저감시켰으며, 따라서 실험공진장치의 유용성을 확인할 수 있었다. 현장조건에 적합한 최적의 공진장치를 얻기 위해서는 지진해일파의 입사 방향 등을 고려하여 공진장치의 형상, 배치 및 크기에 관해 다각도적인 검토가 수행될 필요가 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 실험공진장치, 실험역, 지진해일파, 지진해일고의 저감율, 삼척항, 수치해석

Abstract : In the previous research, the effectiveness of resonator was confirmed through the numerical analysis on two cases with the use of existing resonator at the Mukho and Imwon ports located in the eastern coast of South Korea by discussing the reduction rates of 1983 Central East Sea tsunami, and 1993 Hokkaido Southwest off tsunami, respectively. In this study, the reduction rates of tsunami height with three different resonators, Type I, II-1, and II-2, at the Samcheok port were examined respectively through the numerical analysis using COMCOT model under the same condition as the previous study. It was discussed the spatial distribution of maximum height of tsunami, change of water level, and effectiveness of resonator with the presence of new types of resonator, and change of their sizes. As a result, the effectiveness of resonator was verified through the application of new types of resonator reducing about maximum 40% of tsunami height. In order to design the optimal resonator for the variety of site condition, it is necessary to research about the various cases applying different shape, arrangement, and size of resonator as further study.

Keywords : new typed-resonator, real sea, tsunami, reduction rate of tsunami height, Samcheok port, numerical analysis

1. 서 론

전편의 연구(Lee et al., 2020)에서는 기존의 공진장치(Nakamura et al., 1985)를 동해안의 묵호항과 임원항에 1983년에 내습한 동해중부지진해일과 1993년에 내습한 북해도남서외해지진해일을 작용시켜 항내에서 지진해일고의 저감율을 COMCOT(Cornell multigrid coupled tsunami model)

모델(Liu et al., 1998)에 의한 수치해석으로부터 검토하였다. 결과에 따르면 묵호항에서는 최대 40%~50% 정도, 임원항에서는 최대 21% 정도의 저감율을 각각 나타내었고, 이로부터 실험역에서 공진장치의 유용성을 확인할 수 있었다.

한편, 최근 Latt and Nakamura(2011a, 2011b)는 Fig. 1에 나타내는 새로운 형상의 실험공진장치를 고안하여, 지진해일파를 초장주기파로 근사시킨 일정수심의 파동장에 적용하여

*가톨릭관동대학교 토목공학과 부교수(Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Catholic Kwandong University)

**일본 나고야대학 대학원 환경학연구과 박사과정(Doctor Course Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan)

***한국해양대학교 건설공학과 교수(Corresponding author: Do-Sam Kim, Professor, Dept. of Civil Eng., Korea Maritime and Ocean Univ., 727 Taejong-ro, Yeongdo-ku, Busan 49112, Korea, Tel: +82-51-410-4463, Fax: +82-51-403-0656, kimds@kmou.ac.kr)

****부산광역시 건설안전시험사업소 도로보수팀장(Deputy Director of Road Maintenance Team, Construction Safety Test Office, Busan Metropolitan City)

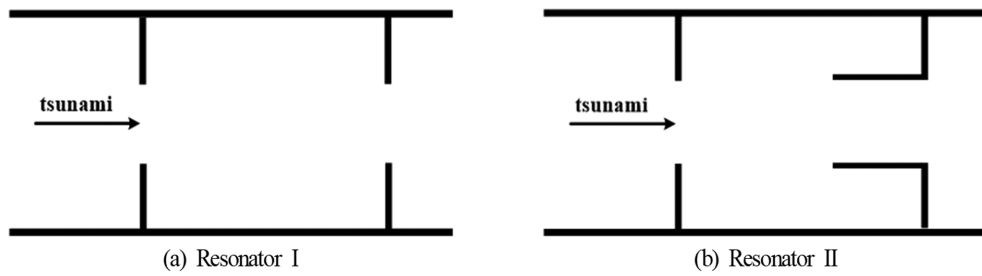


Fig. 1. New typed resonator (Latt and Nakamura, 2011a, 2011b).

평면 Green 함수에 기초한 경계적분법으로 그의 제어효능을 입증하였으며, 또한 실험역으로 적용성을 논의·검토하였다. 그러나, 실험역은 일정수심이 아닌 변동수심역이며, 또한 실제의 지진해일파는 초장주기파와는 수리특성이 상이한 것은 주지의 사실이다.

따라서, 본 연구에서는 Latt and Nakamura(2011a, 2011b)에 의해 개발된 Fig. 1의 신형공진장치 I과 II를 변동수심역의 실험역과 실제의 지진해일파동장에 적용하여 지진해일파의 제어특성과 그의 유용성 등을 수치적으로 검토한다. 대상의 실험역은 동해안의 삼척항이고, 대상으로 한 실제 지진해일파는 1993년에 발생한 북해도남서외해지진해일이다.

수치모의에는 전편과 일관성을 유지하기 위하여 COMCOT 모델(Liu et al., 1998)을 적용하며, 이로부터 신형공진장치의 부착유무 및 그의 크기와 설치위치에 따른 지진해일고의 저감율을 중심으로 지진해일고의 시·공간분포 등에 관하여 신형공진장치의 유용성을 검토한다.

2. 실험역에서 지진해일파의 제어에 대한 신형공진장치의 유효성 검토

2.1 삼척항 주변에서 수심과 지형 및 1993년 북해도남서외해지진해일

삼척항은 1983년의 동해중부지진해일 시와 1993년의 북해

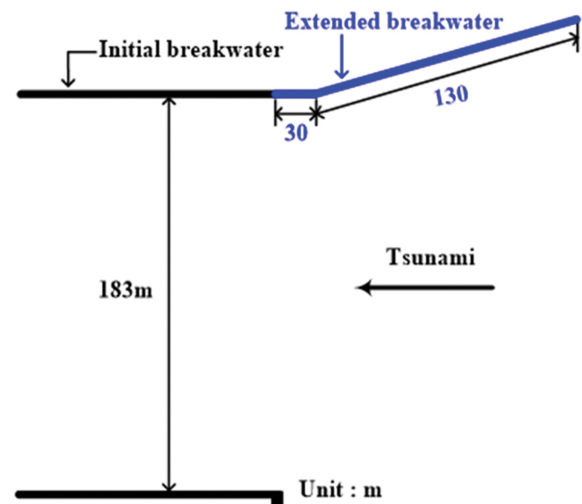


Fig. 2. Size and shape of the existing and extended breakwaters in Samcheok port.

도남서외해지진해일 시에 큰 피해를 입지는 않았지만, 향후 예상되는 큰 지진해일파의 내습에 따른 피해를 예방하기 위하여 다음의 Fig. 2에 나타내는 바와 같이 기존방파제를 연장(이의 경우를 현상태로 칭함)하는 안을 고려였다(그림에서 파란색 부분). 삼척항 인근 해역에서 수심과 주변지형의 표고는 최신의 수치해도와 Google earth pro로부터 각각 획득되었고, 1993년 북해도남서외해지진해일의 전파과정을 해석

Table 1. Computation conditions

Number of area	Number of grids	Grid size (m)	Coord. system	SWE type
Area No.1	1333 × 1629	1215	Cartesian	Linear
Area No.2	687 × 1182	405		
Area No.3	888 × 1311	135		
Area No.4	180 × 216	45		
Area No.5	171 × 189	15		
Area No.6	342 × 240	5		Nonlinear

SWE: Shallow Water Equation

Table 2. Fault parameters for 1993 Hokkaido southwest off earthquake (Takahashi et al., 1994)

Faults	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Depth (km)	Strike angle (°)	Dip angle (°)	Slip angle (°)	Length (km)	Width (km)	Dislocation (km)
Fault 1	42.10	139.30	5	163	60	105	24.5	25	12
Fault 2	42.34	139.25	5	175	60	105	30	25	2.5
Fault 3	43.13	139.40	10	188	35	80	90	25	5.71

100 m, 150 m로 변화시킨다. 다음으로, Latt and Nakamura (2011a, 2011b)에 의해 제시된 또 다른 신행공진장치 II도 동일하게 Fig. 6에 제시하며, Fig. 6(a)는 II-1로 $B_w = 50$ m, $l_a = 50$ m를 고정하고 $l_w = 100$ m, 135 m, 170 m로 변화시켰고, 반면에 Fig. 6(b)는 II-2로 $B_w = 50$ m, $l_w = 170$ m를 고정하고 $l_a = 50$ m, 70 m, 90 m로 변화시켰다. 여기서, 신행공진장치 I의 제원은 현장조건 등을 고려하여 Fig. 5에서와 같이 $d_1 = 9.2$ m, $d_2 = 9.4$ m, $l = 83$ m, $B(2B' + l) = 183$ m로 각각 규정되었다.

이하에서는 현상태의 경우와 신행공진장치 I에서 길이 L 의 변화 및 신행공진장치 II-1과 II-2에서 l_w 와 l_a 의 변화에 따른 지진해일고의 제어효과를 검토함으로서 Latt and Nakamura (2011a, 2011b)에서는 수행되지 않은 실효역의 지진해일과 작용 하에서 신행공진장치 I과 II의 유용성을 논의한다.

2.3 수치해석결과

2.3.1 신행공진장치 I

(1) 최고수위의 공간분포

Fig. 7은 지진해일파의 내습 시 삼척항내 및 주변 해역에

서 최고수위의 공간분포를 나타낸 것으로, Fig. 7(a)는 현상태의 경우이고, Fig. 7(b)는 항입구부에 신행공진장치 I이 부착된 경우이다. 본 계산에 적용된 신행공진장치 I의 크기는 Fig. 5에 제시된 바와 같이 $B = 183$ m, $B' = 50$ m, $L = 50$ m이다. 그림을 살펴보면 우측 외곽방파제에 의해 지진해일파의 대부분이 차단되어 항내는 지진해일파로부터 직접적인 영향을 받지 않고, 주로 항입구부에서 지진해일파의 반사와 회절로 인하여 항내의 수위변동이 발생된다. 검토된 두 경우 모두 우측 외곽방파제 중앙부에서 3.0 m 이상의 최고수위가 발생되며, 항내측의 경우는 신행공진장치 I에 의해 최대지진해일고가 전체적으로 0.2~0.3 m 정도 저감되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 신행공진장치 I에서 길이를 $L = 100$ m, 150 m로 변화시킨 경우의 삼척항내 및 주변 해역에서 최고수위의 공간분포를 나타낸 것으로, 동일한 조건에서 $L = 50$ m의 경우에 대한 Fig. 7(b)의 결과도 포함시켜 논의한다. 그림을 살펴보면 신행공진장치 I에서 길이 L 의 변화에 따른 유의한 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 본 계산조건 하에서 신행공진장치 I의 합리적인 길이는 $L = 50$ m로 판정되지만, 신행공진장치 I에서 길이변화에 따른 차이가 없다는

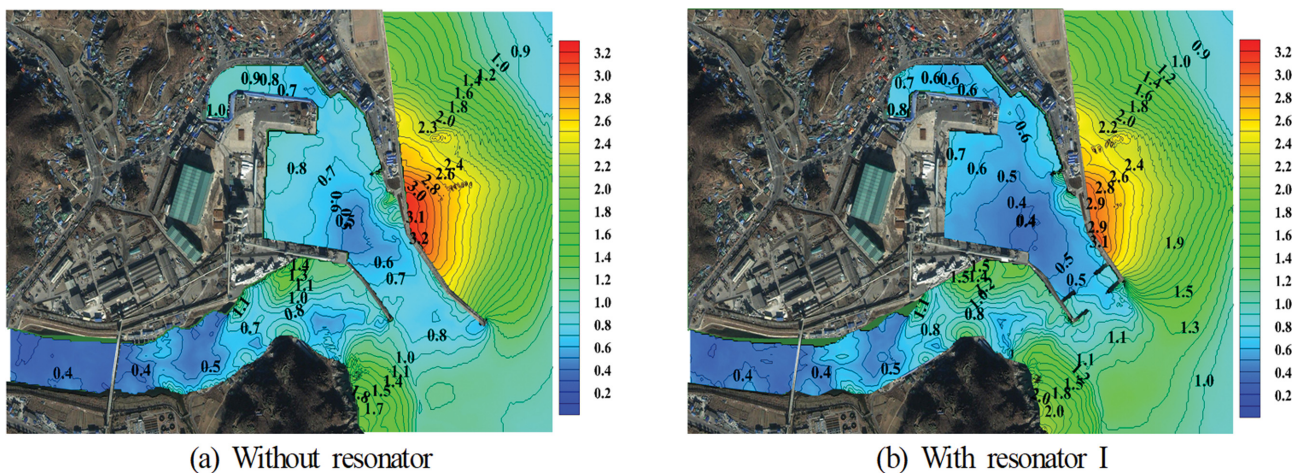


Fig. 7. Maximum tsunami water level at Samcheok port whether the resonator I is installed or not.

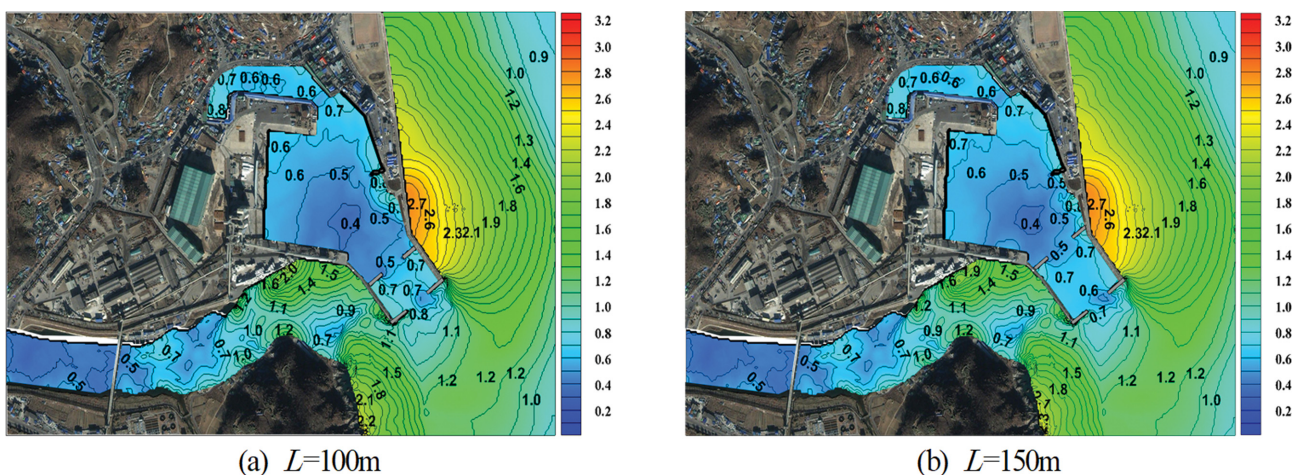
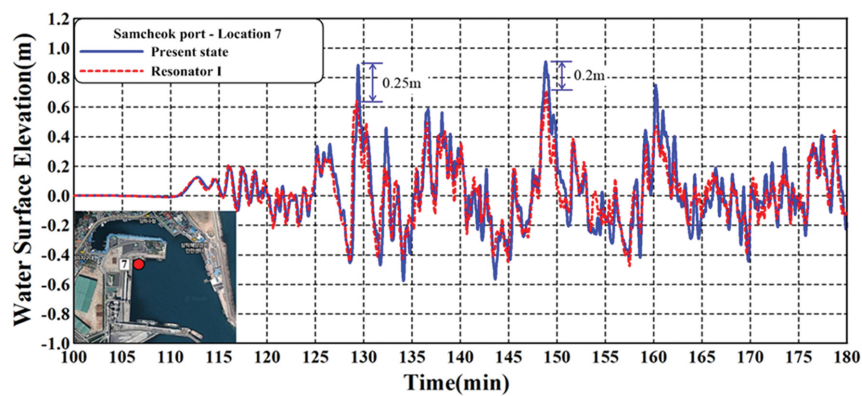
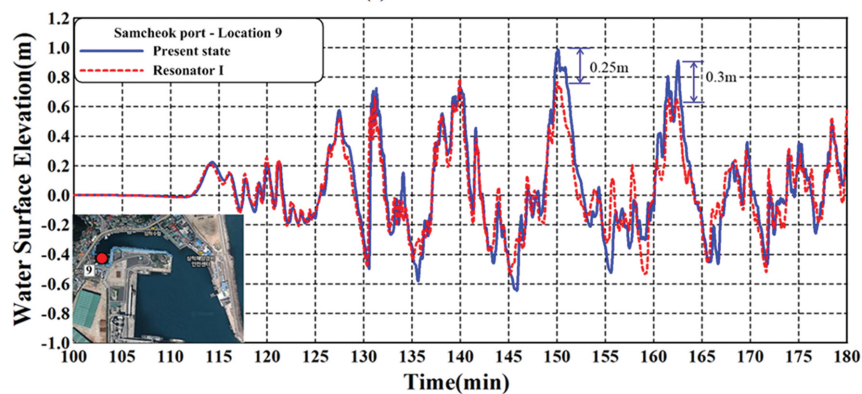


Fig. 8. Comparison of maximum tsunami water level with the change of length L of resonator I at Samcheok port.

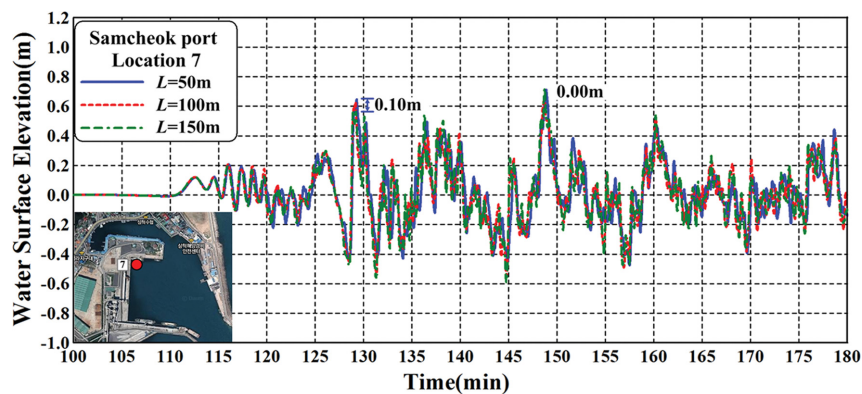


(a) Location 7

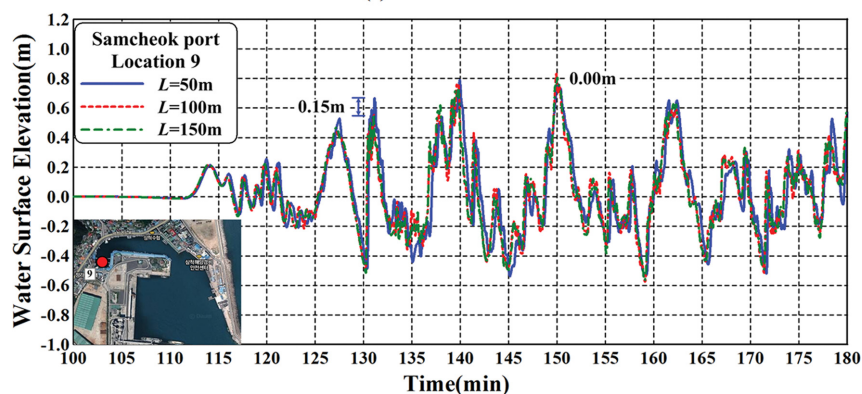


(b) Location 9

Fig. 9. Time history of tsunami water level at the inside of Samcheok port whether the resonator I is installed or not.



(a) Location 7



(b) Location 9

Fig. 10. Time history of tsunami water level with the change of the length L of resonator I at Samcheok port.

것은 공진장치 내에서 공진현상이 충분히 발휘되었다고는 볼 수 없다. 실제로, 신형공진장치 I을 초장주기파(검토된 주기가 600 s~1,800 s)에 대해 그의 유용성을 검토한 Latt and Nakamura(2011a)에 따르면 리아스식 해안을 따라 세장형으로 발달된 만내에서 길이 L 을 2 km 정도로 고려하고 있는 점을 감안하면 전체적으로 삼척항에 적용된 신형공진장치 I의 길이가 짧게 적용된 결과로 판단된다.

(2) 수위의 시간변동

Fig. 9는 그림 중의 삽도에 표기된 항의 내측 7과 9번 위치에서 수위변동의 시계열을 나타낸 것으로, 파란 실선은 삼척항에서 현상태의 경우를, 빨간 파선은 신형공진장치 I을 부착한 경우이다. 그림으로부터 신형공진장치 I이 부착된 경우가 7번 위치에서 130 min에 0.25 m, 148 min에 0.2 m 정도로 수위가 저감되는 것을 확인할 수 있고, 이는 현상태의 수위 0.9 m에서 각각 30% 정도 저감된 결과이다. 9번 위치의 경우도 150 min에 0.25 m, 163 min에서 0.3 m 정도로 수위가 저감되며, 이는 현상태의 수위 1.0 m에서 각각 30% 정도 저감된 결과를 나타낸다. 결과적으로, 삼척항에서 현상태의 경우보다 신형공진장치 I을 설치하는 것이 지진해일파의 저감 대책으로 유용하다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 9와 동일하게 항내측 7과 9번 위치에서 신

형공진장치 I의 길이 L 의 변화에 따른 수위변동의 시계열을 나타낸 것으로, 파란 실선은 $L = 50$ m의 경우를, 빨간 파선은 $L = 100$ m의 경우를, 녹색의 파선은 $L = 150$ m의 경우를 각각 나타낸다. 전술한 바와 같이 그림으로부터 신형공진장치 I에서 $L = 150$ m의 경우가 $L = 50$ m보다 국부적으로 지진해일수위를 최대 0.1 m~0.15 m 정도로 저감시키며, 저감율로는 15%~22%이지만, L 의 변화에 따른 값의 차이가 거의 없고, 또한 전체적으로도 값의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

이상의 계산에서는 신형공진장치 I의 길이에 관해 한정된 케이스로 검토되었지만, 공진장치의 크기를 최적화시키기 위해서는 보다 많은 경우의 수에 대해 계산이 수행될 필요가 있을 것이다.

2.3.2 신형공진장치 II

(1) 최고수위의 공간분포

Figs. 11과 12는 신형공진장치 II를 설치한 경우 1993년에 발생된 북해도남서외해지진해일의 내습 시 삼척항내 및 주변 해역에서 지진해일파의 최고수위 공간분포를 나타낸 것으로, Fig. 11은 Fig. 6(a)의 신형공진장치 II-1에서 길이를 $l_w = 100$ m, 135 m, 170 m로 변화시킨 경우이고, Fig. 12는 Fig. 6(b)의 신형공진장치 II-2에서 길이를 $l_w = 70$ m, 90 m로 변

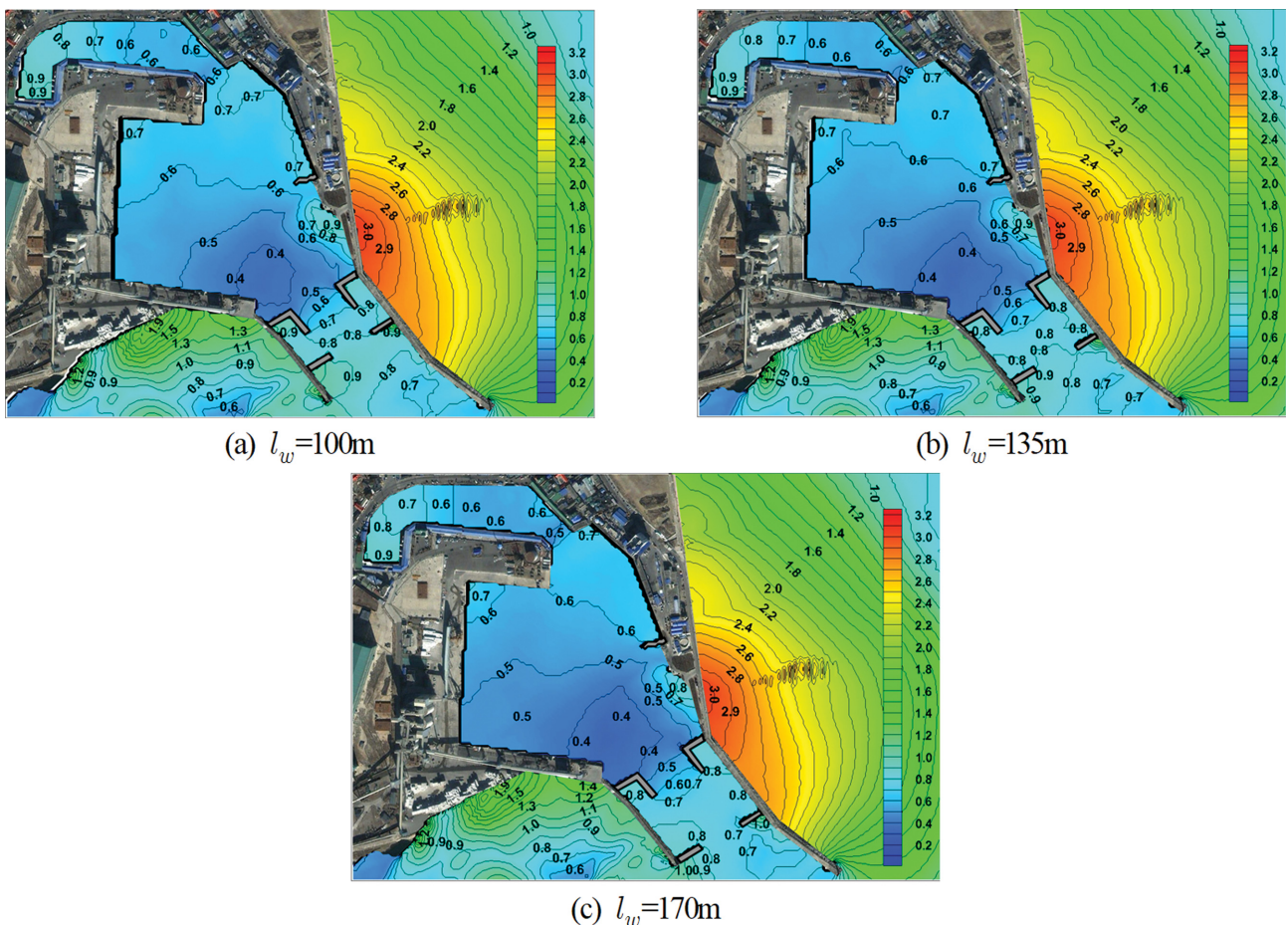


Fig. 11. Comparison of maximum tsunami water level with the change of the length l_w of resonator II-1 for $l_a = 50$ m at Samcheok port.

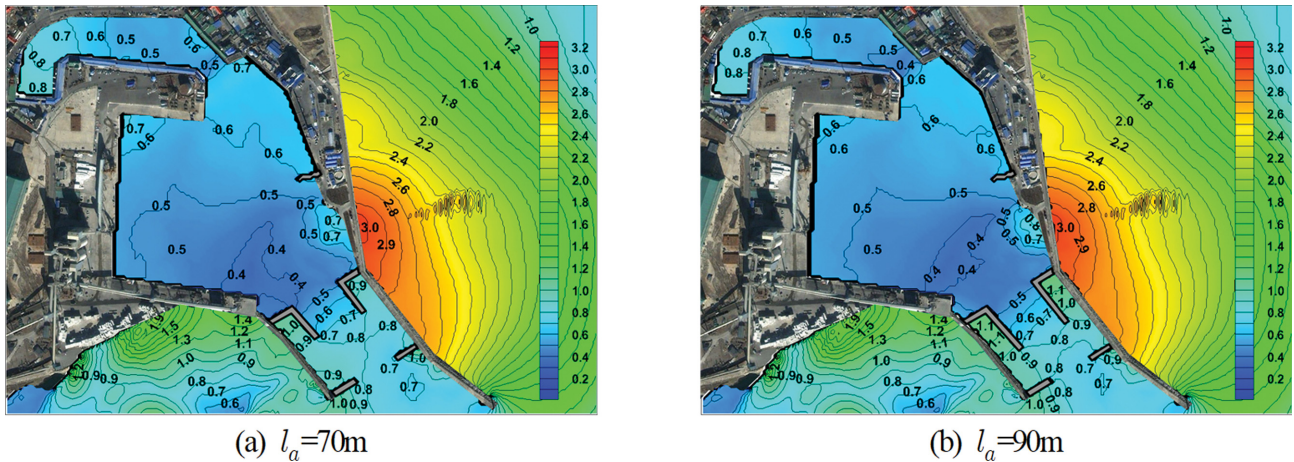


Fig. 12. Comparison of maximum tsunami water level with the change of the length l_a of resonator II-2 for $l_w = 170$ m at Samcheok port.

화시킨 경우이다.

먼저, 신형공진장치 II-1에서 l_w 의 변화에 따른 지진해일과의 저감 효과를 살펴보면 $l_w = 100$ m와 135 m에서는 항내의 최고수위분포에 유의한 차이를 볼 수 없고, $l_w = 170$ m의 경우는 $l_w = 100$ m, 135 m보다 항내 중앙부에서 0.1 m~ 0.15 m 정도 약간 감소하는 결과를 나타내지만, 그 차이가 그다지 크지 않다. 다음으로, 신형공진장치 II-2에서 l_a 의 변화에 따른 지진해일과의 저감효과를 검토한다. 이의 경우는 Fig. 11(c)의 경우도 포함하여 고찰한다. 그림으로부터 l_a 가 증가할수록 항의 최내측과 중앙부에서 미소한 최고수위의 감소가 인정되지만, 그 차이는 역시 작다.

이상의 해석결과로부터 삼척항의 입구부에 본 연구와 같은 신형공진장치 II를 설치하였을 때 지진해일고를 저감시킬 수는 있지만, 크기의 차이, 즉 지진해일수위에서 l_a 와 l_w 의 변화에 따른 유의한 차이가 크게 나타나지 않았다. 이로부터 동해안 삼척항과 같은 해역조건에서 Latt and Nakamura(2011a, 2011b)에 의해 제시된 신형공진장치 II는 내부에 충분한 공진현상이 발생되지 않는 것으로 판단되고, 단지 공진장치라는 구조물의 적용에 따른 반사 영향으로 항내로 유입되는 많은 부분의 지진해일에너지가 줄어든 요인에 의한 것으로 판단된다.

(2) 수위의 시간변동

Fig. 13은 그림 중의 삽도에 표기된 항내측 7과 9번 위치에서 신형공진장치 II-1에 의한 수위변동의 시계열을 나타낸 것으로, 파란 실선은 Fig. 6(a)에서 $l_w = 100$ m의 경우를, 빨간 파선은 $l_w = 135$ m의 경우를, 그리고 초록 파선은 $l_w = 170$ m의 경우를 각각 나타내고 있다. 그림으로부터 7번 위치에서 $l_w = 135$ m의 경우는 $l_w = 100$ m의 경우보다 149 min에서 0.16 m의 수위저감을 나타내며, 이는 수위가 $l_w = 100$ m의 0.75 m에서 20% 정도 저감된 결과이다. 동일하게 9번 위치에서 $l_w = 135$ m의 경우는 $l_w = 100$ m의 경우보다 150 min에서 0.1 m의 수위저감을 나타내며, 이는 수위가 $l_w = 100$ m의 0.9 m에서 10% 정도 저감된 결과이다. 또한, l_w 가 증가함

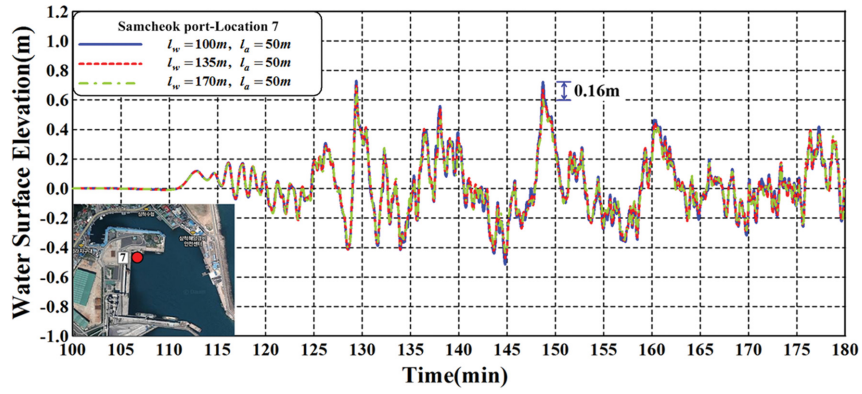
에 따라 수위가 감소하기 때문에 길이 l_w 를 길게 한 $l_w = 135$ m의 경우가 상대적으로 지진해일과의 저감에 가장 유용하지만, 전술한 공간분포에서 지적한 바와 같이 저감율이 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 14는 Fig. 13과 동일하게 항내측 7과 9번 위치에서 신형공진장치 II-2에 의한 수위변동의 시계열을 나타낸 것으로, 파란 실선은 Fig. 6(b)에서 $l_a = 50$ m의 경우를, 빨간 파선은 $l_a = 70$ m의 경우를, 초록 파선은 $l_a = 90$ m의 경우를 각각 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 국부적으로 미미한 차이는 인정되지만, 전반적으로는 차이가 없는 것을 알 수 있다. 결과적으로, 길이 l_a 의 변화는 수위저감에 크게 영향을 미치지 않으므로 길이 l_a 의 값을 최소로 하는 것이 합리적이다.

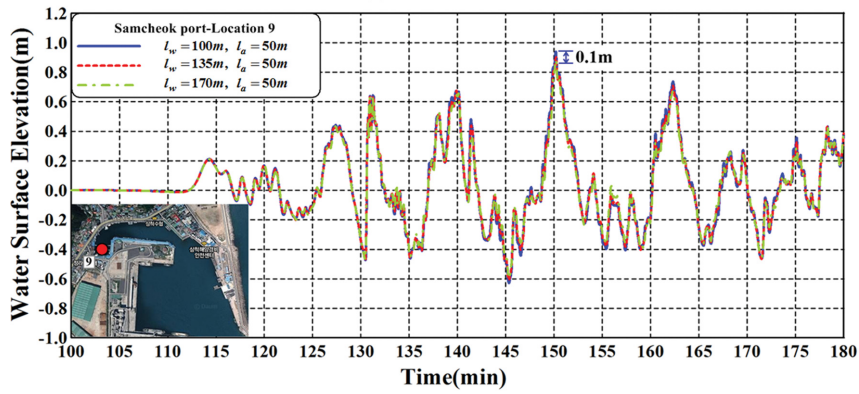
이상으로부터 신형공진장치 II-1과 II-2에서 각각 l_w 와 l_a 의 변화에 따른 지진해일과의 최고수위에 대한 공간분포와 특정 위치에서 시간변동을 고찰하였으며, l_w 의 변화에 따른 약간의 차이는 나타나지만, 전술한 바와 같이 그 값의 변화는 작다. 또한, l_a 의 변화에 대해서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 전술한 신형공진장치 I의 경우보다 공진현상에 의한 수위의 저감효과가 상대적으로 떨어지는 것으로 판단된다. 이러한 사실로부터 신형공진장치 II에 대해 초장주기파동장에서 Latt and Nakamura(2011a, 2011b)에 의해 제시된 신형공진장치 II의 적절한 길이 2 km 정도와 비교하면 본 연구의 경우가 매우 짧은 길이를 적용하였기 때문에 신형공진장치 II의 내부에서 공진현상이 충분히 발생되지 않는 것으로 판단된다. 따라서, 신형공진장치 II에서 공진현상을 충분히 발휘되기 위해서는 내습하는 지진해일과의 특성을 고려하여 길이 l_w 와 l_a 를 적절히 적용될 수 있는 세장형의 만이 필요하지만, 지진해일과가 우려되는 동해안에서는 이에 합당한 조건이 구비된 적절한 해역은 없는 것으로 판단된다.

(3) 현상태에 대한 신형공진장치 II의 적용 여부에 따른 지진해일고의 저감

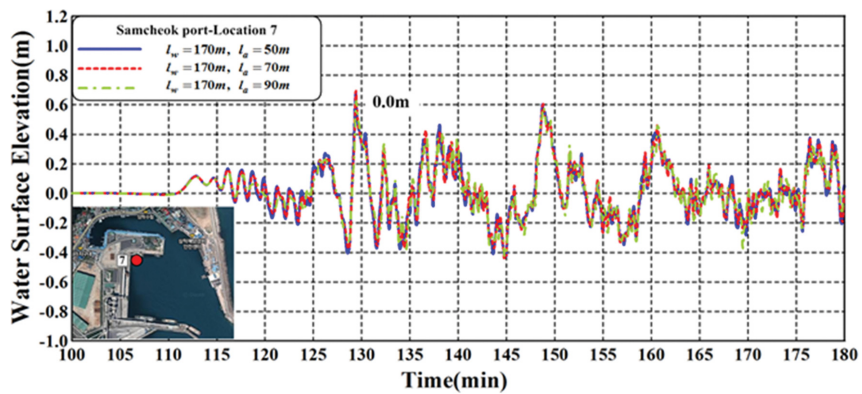
Fig. 15는 항내측 7과 9번 위치에서 삼척항에서 현상태의 경우(파란 실선)와 신형공진장치 II-1에서 $l_w = 170$ m의 경



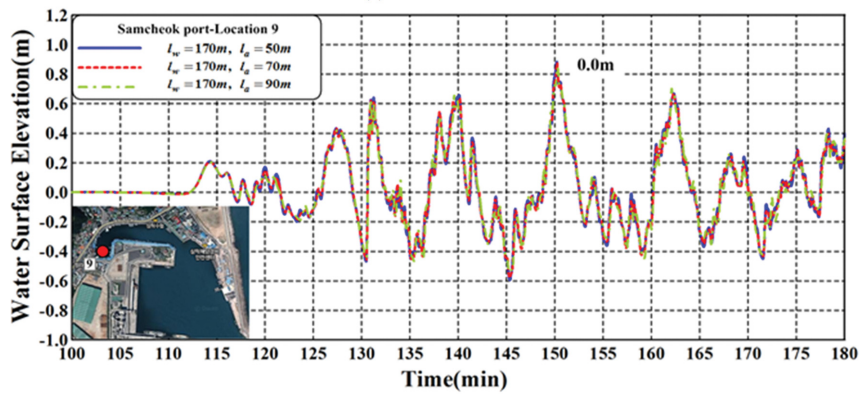
(a) Location 7



(b) Location 9

Fig. 13. Time history of tsunami water level with the change of the length l_w of resonator II-1 at Samcheok port.

(a) Location 7



(b) Location 9

Fig. 14. Time history of tsunami water level with the change of the length l_a of resonator II-2 at Samcheok port.

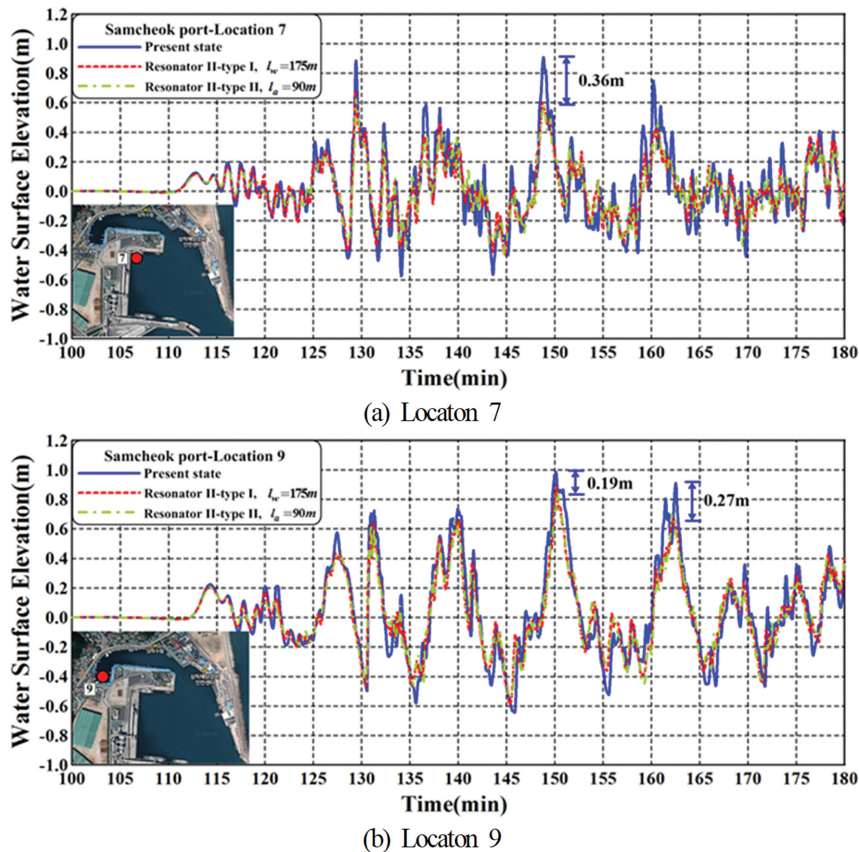


Fig. 15. Time variation of tsunami water level in cases of present state, resonator II-1 ($l_w = 170$ m) and resonator II-2 ($l_w = 150$ m) at Samcheok port.

우(빨간 파선) 및 신형공진장치 II-2에서 $l_w = 90$ m인 경우(초록 파선)에 지진해일고의 시간변동을 비교하고 있다. 그림을 살펴보면 7번 위치에서 약 149 min에 신형공진장치 II-1과 II-2의 경우가 현상태의 경우보다 0.36 m 정도로 수위가 저감되고, 이는 현상태의 수위 0.9 m에서 40% 정도의 저감율을 나타낸다. 또한, 9번 위치에서 신형공진장치 II-1과 II-2의 경우가 현상태의 경우보다 약 150 min에 0.19m, 약 163 min에 0.27 m의 수위가 각각 저감되며, 현상태의 수위 0.9 m, 1.0 m에서 20%~30% 정도 저감된 결과를 나타낸다. 결과적으로, 본 계산에서는 전술한 신형공진장치 I의 경우(30%의 저감율을 나타냄)보다 신형공진장치 II의 경우가 지진해일파의 제어에 보다 효과적이라는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 실제의 지진해일파가 존재하는 실해역에서 지진해일파의 제어에 관한 신형공진장치 I, II-1 및 II-2의 유용성을 확인할 목적으로 타당성이 널리 입증된 COMCOT 모델(Liu et al., 1998)을 적용하여 동해안의 삼척항에서 신형공진장치 I과 II의 부착여부, 신형공진장치 내에서 길이의 변화에 따른 최대지진해일고의 공간분포와 수위의 시간변화 및 공진장치의 유용성 등을 논의하였다. 여기서, 적용된 실제의 지진

해일파는 1993년의 북해도남서외해지진해일이였다. 이로부터 얻어진 중요한 사항을 본 연구의 결론으로 이하에 기술한다.

(1) 삼척항에서 기존방파제를 연장한 현상태에 신형공진장치 I을 부착한 경우 국부적으로 지진해일고를 최대 30% 정도로 저감시킬 수 있다.

(2) 삼척항에서 신형공진장치 I의 길이를 변화시킨 경우 본 계산의 범위 내에서 국부적으로 지진해일수위를 최대 0.1 m~0.15 m 정도로 저감시킬 수 있으며, 저감율은 15%~22%이지만, 전반적으로 길이의 변화에 따른 값의 변화가 크지 않다.

(3) 신형공진장치 II-1에서 l_w 로 정의되는 길이가 길수록 본 계산 범위 내에서 지진해일고가 줄어들고, 항내 중앙부에서 국부적으로 0.1 m~0.15 m 정도 작아지지만, 저감율은 크지 않다. 신형공진장치 II-2에서 l_w 로 정의되는 길이가 길수록 항의 최내측과 중앙부에서 지진해일고가 미소하게 감소되지만, 역시 저감율은 작다.

(4) 신형공진장치 II-1 및 II-2에서 지진해일고의 최대저감율을 나타낸 각 길이에 대한 경우와 삼척항에서 현상태의 경우를 비교하면 국부적으로 현상태의 경우보다 최대 0.36 m 정도로 수위가 저감되고, 이는 40% 정도의 저감율을 나타낸다. 따라서, 신형공진장치 I의 경우보다는 신형공진장치 II-1과 II-2가 국부적으로 지진해일파의 제어에 보다 효과적인 것으로 나타나지만, 전반적인 수위의 저감효과, 현장조건 및 경제적

인 부분을 충분히 감안할 필요가 있다.

(5) 삼척항에 신형공진장치 I, II-1 및 II-2를 적용하면 지진해일고에 대해 공진장치의 효과를 얻을 수 있지만, 공진장치에서 길이변화에 따른 효과가 충분히 나타나지 않았다. 이러한 결과는 적용한 공진장치 내에서 충분한 공진현상이 발생되지 않은 것으로 판단된다.

한편, 신형공진장치 I과 II를 초장주기파에 대해 실효역에서 공진장치의 유용성을 검토한 Latt and Nakamura(2011b)에 의하면 리아스식 해안을 따라 세장형으로 발달된 만내에서 공진장치의 길이를 2 km 정도로 고려하고 있는 점을 감안하면 신형공진장치 I과 II에 짧은 길이가 적용된 것으로 판단된다. 따라서, 현장 여건과 지진해일파의 특성에 부합되는 신형공진장치 I과 II의 최적화를 위해서는 공진장치의 형상, 배치 및 크기에 관한 보다 많은 경우의 수에 대한 검토가 수행될 필요가 있다.

References

- Latt, N.Z. and Nakamura, T. (2011a). Performance of wave resonators located at a harbor entrance for reducing very long waves. *Annual Journal of Civil Engineering in the Ocean*, 67, 892-896 (in Japanese).
- Latt, N.Z. and Nakamura, T. (2011b). Effectiveness of a newly developed resonator against tsunamis. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B3, 67, 637-642 (in Japanese).
- Lee, K.H., Jeon, J.H., Kim, D.S. and Lee, Y.D. (2020). Numerical simulation on control of tsunami by resonator (I). *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* (in review).
- Liu, P.L.-F., Woo, S.B. and Cho, Y.S. (1998). Computer programs for tsunami propagation and inundation. Technical report, Cornell University.
- Nakamura, T., Mochizuki, H. and Morita, S. (1985). Performance of a resonator designed by the wave filter theory-applicability to a harbor. *Proc. Coastal Eng., JSCE*, 25, 1280-1292 (in Japanese).
- Takahashi, T., Shuto, N., Imamura, F. and Ortis, M. (1994). Fault model to describe Hokkaido Nansei offshore earthquake for tsunami. *JSCE*, 41, 251-255 (in Japanese).
- Latt, N.Z. and Nakamura, T. (2011a). Performance of wave resonators located at a harbor entrance for reducing very long waves. *Annual Journal of Civil Engineering in the Ocean*, 67,

Received 20 November, 2020

Revised 8 December, 2020

Accepted 10 December, 2020