



Original Article

태풍 차바 내습시 해운대 마린시티의 호안 월파에 대한 고찰

윤한삼^{1,†} · 박정현² · 진용호³

¹부경대학교 생태공학과

²한국과학기술정보연구원

³연안수공학연구소

A Study on Wave Overtopping of the Seawall at Haeundae Marine City During the Passing of Typhoon Chaba

Han-Sam Yoon^{1,†}, JungHyun Park², and Yong-Ho Jeon³

¹Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Disaster Management HPC Technology Research Center, KISTI, Daejeon 34141, Korea

³Coastal Hydro-Engineering Institute, Busan 48039, Korea

요 약

본 연구는 태풍 차바(Chaba) 내습시(2016년 10월) 부산 해운대 마린시티 주변의 파랑 및 호안 월파 특성, 호안 마루높이(천단고)와 배후지 침수 특성에 대해서 고찰하였다. 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 태풍 차바 내습시 인근 부산북항에서 동일한 시간에 $H_{max}=9.1$ m, $H_{1/3}=8.1$ m, $T_{1/3}=10.5$ sec가 측정되었으며, 마린시티에 큰 피해를 입혔던 AM 10:00~11:00시 사이에는 S 또는 SE방향 바람이 발생함으로써 호안 월파를 증대시켰다. (2) 태풍 내습시 최대 조위는 218 cm로 관측되었는데, 해운대 마린시티의 태풍에 의한 해수면 상승고(해일고, Storm surge)는 97 cm로 추정된다. (3) 해운대 마린시티 호안 구간에서 태풍 차바 내습시 입사파랑은 호안 법선에 입사각 약 15~20°(파향 S), 주기는 호안 구간별로 다소 차이를 보이거나 약 15 sec로 입사 및 월파하는 것으로 나타났다.

Abstract – In this study, we investigated the characteristics of ocean waves, overtopping, the height of the seawall, and the inundation of the hinterland around the Haeundae marine city(HMC) of Busan in October 2016. The results of the study can be summarized as follows. (1) The maximum wave height (H_{max}) was 9.1 m, the significant wave height ($H_{1/3}$) was 8.1 m, and the significant wave period ($T_{1/3}$) was 10.5 s, as measured at the nearby Busan North Port during the passing of Typhoon Chaba. At AM 10:00–11:00, when the greatest damage was caused to the marine city, south and south-easterly winds increased, overtopping the seawall. (2) The maximum tidal wave level observed during the passing of Typhoon Chaba was 218 cm and the storm surge caused by the typhoon in HMC was estimated to be 97 cm. (3) The angle of the incident wave was about 15–20° (wave direction = south) at the seawall of HMC during the typhoon; while the wave period differed slightly in each place(seawall), the wave period was about 15 s.

Keywords: Typhoon Chaba(태풍 차바), Haeundae(해운대), Marine City(마린시티), Seawall(호안), Overtopping(월파)

1. 서 론

최근 해수면 상승 및 폭풍해일의 내습빈도 증가로 우리나라는 1996~2005년에 태풍 매미(Maemi)의 영향으로 약 13조원, 지난 10년간(2006~2015) 약 1,500억원에 달하는 태풍 피해를 입음으로써 2000년 이후에는 피해 규모가 기하급수적으로 증가하고 있다

(MPSS[2016]).

2003년 태풍 매미 내습으로 마산만에 해일이 발생하여 32명의 인명피해 및 6,000억원의 재산피해가 발생하였다. 또한 2010년에는 한반도에 직접적인 영향을 준 태풍 ‘덴무(Dianmu)’, ‘곤파스(Kompasu)’, ‘말로(Malou)’와 같은 강도 높은 태풍이 한 달 사이 우리나라를 통과, 그 중 태풍 4호 ‘덴무’는 해운대 마린시티 지역의 해안 도로에 차량 20대, 보도블록 일부를 파손하였고, 인명피해도 잇따랐다(Choi *et al.*[2012]).

[†]Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

부산 해운대 마린시티는 2003년 매미, 2010년 덴무, 2012년 볼라벤(Bolaven)·산바(Sanba) 등 태풍 내습 때마다 해안도로가 부서지고 인근 주거·상업시설 지하가 침수되는 등 큰 피해를 입어왔다. 2012년 12월에 마린시티 해안 방수벽(1.2 m)을 설치했지만, 연안재해 위험에 지속적으로 노출되어온 지역에 해당한다. 이는 지역 주민들의 연안지역 이용권(바다조망)과 재해방지라는 두 가지 측면이 대립되어 그 해결책을 쉽게 찾지 못하는 지역이기 때문이다.

이 지역과 관련된 연구 결과로는 Kang[2005]이 태풍 매미 내습시 피해상황 조사 결과를 바탕으로 호안에서의 수위 증가 패턴 연구를, Choi et al.[2012]이 태풍 덴무 진입시 주변 시설된 CCTV를 이용하여 폭풍 해일의 월파 횡수 탐지 및 방재 시스템 설계 연구를, Jang[2014]은 태풍 파랑내습시 하천수 유입 및 폭풍 해일고 발생 조건을 고려하여 호안 월파량 산정 연구를 수행한 바 있다.

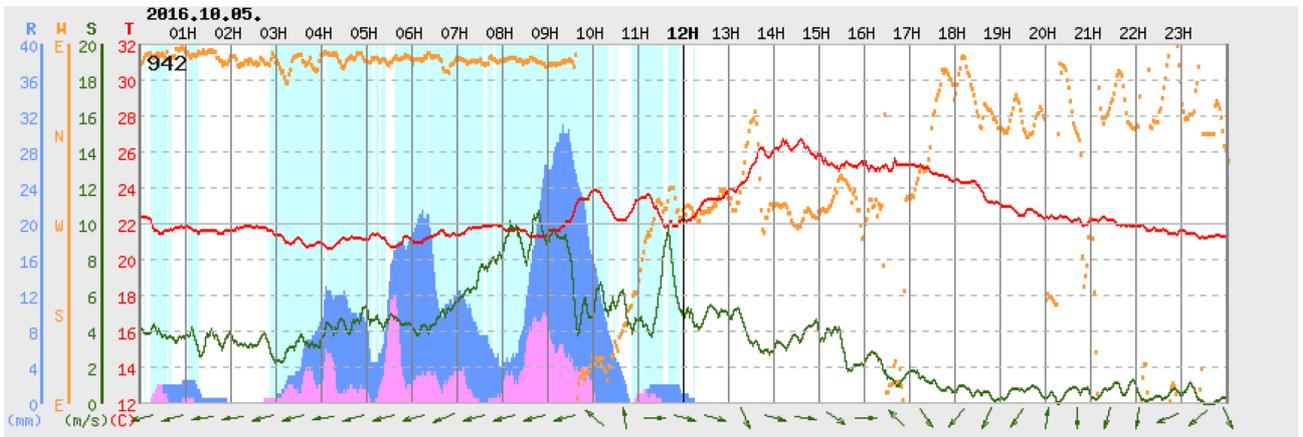
본 연구에서는 태풍 차바(Chaba) 내습시 해운대 마린시티 주변에서 수집된 기상청 파랑관측자료, Youtube의 촬영 동영상(7개, Site A~G) 및 기존 호안 설계보고서 등의 자료를 이용하여 내습 파랑 및 월파의 특성, 호안 마루높이에 대한 고찰을 수행하고자 한다. 이러한 결과는 대상지역의 향후 호안 대책수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 태풍 차바 내습시 해양물리환경

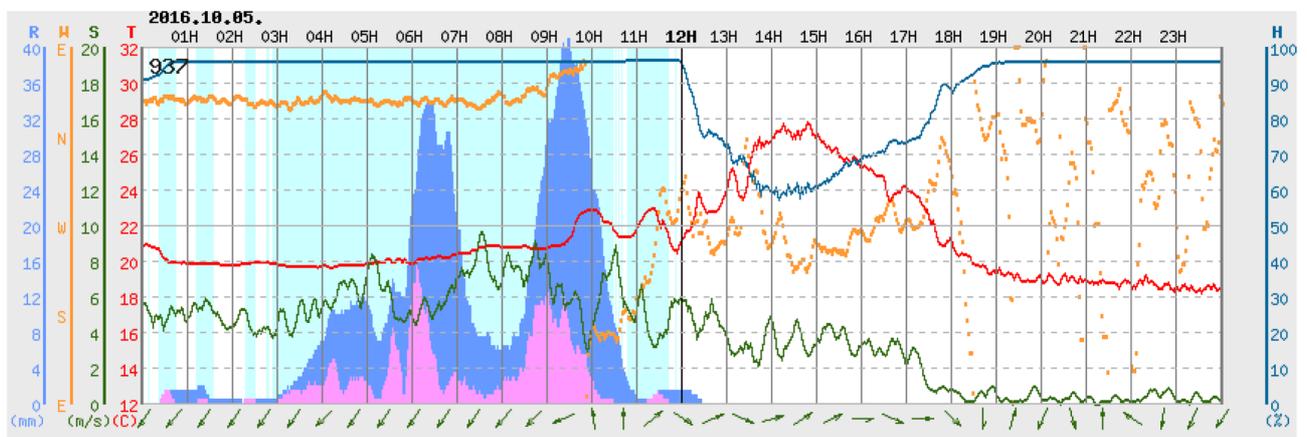
2.1 바람장

태풍 차바 내습시 기상청(KMA[2016])의 지역별 상세관측자료(AWS)를 수집하여 2016년 10월 5일 24시간의 시간경과에 따른 풍속과 풍향을 살펴보았다. Fig. 1(a)는 대연동, Fig. 1(b)는 해운대 지역의 관측 자료를 나타낸다. 마린시티 호안 월파로 인해 피해가 발생한 시점은 AM 10:00~11:00시 사이에 해당한다. 이때 마린시티 호안 월파시 해운대 기상관측소에서 약 9 m/s의 S방향의 바람이 관측되었다. 그림에서 두 곳 관측지점 모두 태풍 내습전에는 풍향이 E 또는 NE방향이지만 AM 10:00~11:00시 사이에는 S 또는 SE방향, AM 11:00시 이후에는 점차 W방향의 풍향을 보이고 있음을 알 수 있다.

특이하게도 태풍 내습 경로 및 바람의 회전 방향을 고려할 때 NE→N→W방향으로의 풍향이 발생할 것으로 예상되나 실제 관측된 자료에는 NE→S→W방향으로의 풍향이 발생하였다. S방향의 풍향 발생시 마린시티 호안 월파로 인한 피해가 발생하였다. 당시 왜 S방향의 풍향이 발생하였는지에 대해서는 보다 면밀한 검토가 요구된다고 할 것이다.



(a) Daeyeon-dong observation station



(b) Haeundae observation station

Fig. 1. Wind observation results during the passing of Typhoon Chaba (KMA[2016]).

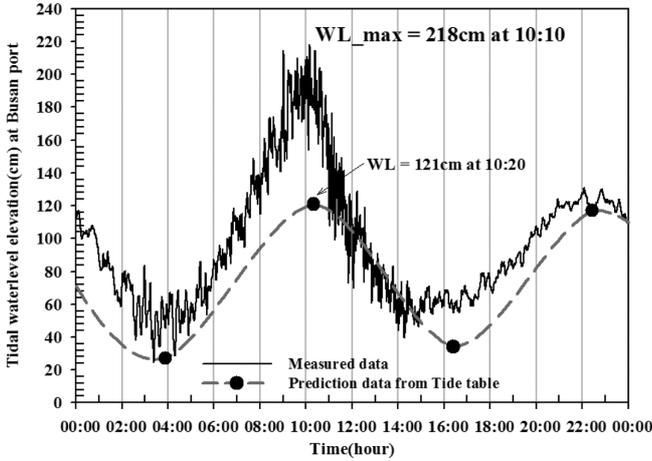


Fig. 2. Tidal observations during the passing of Typhoon Chaba.

2.2 조위

태풍 차바 내습시 국립해양조사원(KHOA[2016])의 실시간 해양 관측정보를 수집하여 2016년 10월 5일 24시간의 시간경과에 따른 부산항 조위 변화를 살펴보았다(Fig. 2). 부산항 조위관측소의 조위는

AM 10:20에 121 cm가 예측(조석표 예측치) 되었으나 이번 태풍 차바 내습시(AM 10:10)에 최대 조위 218 cm가 관측되었다. 따라서 관측치와 예측치의 차이값은 97 cm이다. 즉, 인근에 위치한 해운대 마린시티의 태풍에 의한 해수면 상승고(해일고, Storm surge height)는 97 cm라고 할 수 있다. 이는 앞서 Kang[2005]이 태풍 매미 내습시 추정된 약 0.6 m 정도, Hur *et al.*[2006]가 예측한 0.86 m 보다도 큰 값을 나타내고 있다.

2.3 해양파랑

태풍 차바 내습시 기상청(KMA[2016])의 파고부이 관측자료(거제도, 부산북항, 부산남항)를 수집하여 2016년 10월 5일 24시간의 시간경과에 따른 최대파고(H_{max}), 유의파고($H_{1/3}$), 주기($T_{1/3}$), 파향(θ)을 살펴보았다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

해양파랑 관측결과에 따르면 태풍 차바 내습 당시(AM 10:00) 거제도 해상부이에서 $H_{max}=13.7$ m, $H_{1/3}=10.1$ m, $T_{1/3}=12.8$ sec의 파랑이 파향 287°로 내습하였으며, 해운대 마린시티와 인접한 부산북항에서 동일한 시간에 $H_{max}=7.1$ m, $H_{1/3}=6.3$ m, $T_{1/3}=11.8$ sec가 계속되었다. 거제도 해상부이에서 최대값을 보인 AM 11:00시의 경우

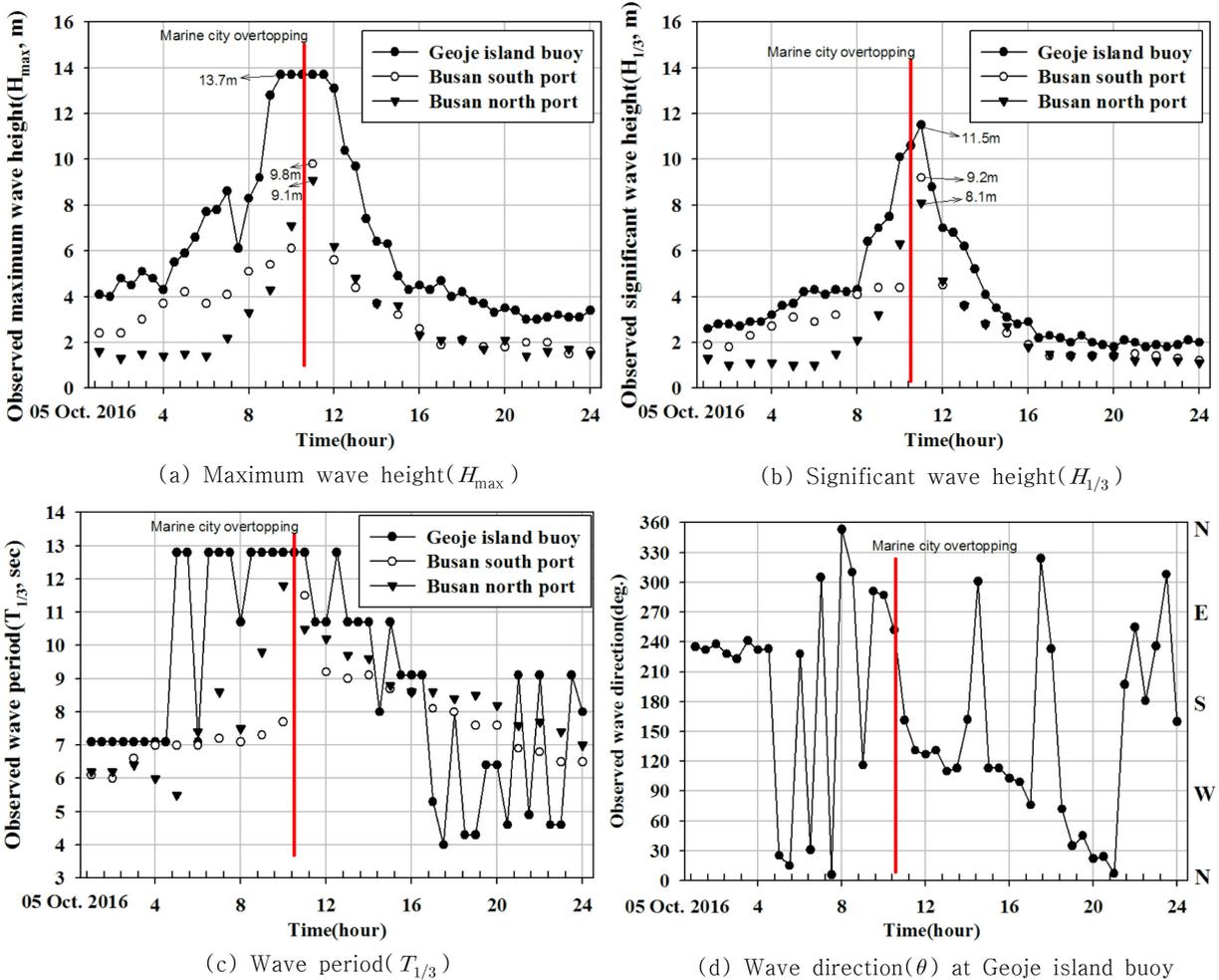


Fig. 3. Observation results of ocean waves during the passing of Typhoon Chaba.

Table 1. Observation results of ocean waves and wind during the passing of Typhoon Chaba

Observation time (05 Oct. 2016)	Wave condition				Wind condition		
	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)	Wave dir.(deg.)	vel.(m/s)	dir.(deg.)
AM 09:40	3.06	11.05	4.62	14	176	15.7	124
AM 09:45	4.02	11.68	4.72	9	172	15.2	136
AM 09:50	3.92	12.64	5.24	13	175	14.5	136
AM 09:55	4.27	12.64	5.34	14.5	180	14.1	142
AM 10:00	3.9	12.57	5.12	12	120	13.7	144
AM 10:05	4.49	13.66	4.99	12.5	178	16.6	160
AM 10:10	3.59	11.75	4.42	12	181	19.1	154
AM 10:15	5.1	14.14	5.74	15	183	19.9	155
AM 10:20	5.43	14.5	6.74	13.5	178	19.8	157
AM 10:25	4.22	12.78	5.54	15	186	20.4	157
AM 10:30	5.93	13.78	7.77	13.5	180	17.5	158
AM 10:35	5.91	13.25	6.92	15	183	20.1	167
AM 10:40	5.69	14.64	7.24	14	186	20.5	162
AM 10:45	6.34	13.29	6.58	11.5	176	19.9	163
AM 10:50	5.75	15.25	6.65	16	165	19.2	163

$H_{max}=13.7$ m, $H_{1/3}=11.5$ m, $T_{1/3}=12.8$ sec의 파랑이 파향 161°로 내습하였으며, 부산북항에서 동일한 시간에 $H_{max}=9.1$ m, $H_{1/3}=8.1$ m, $T_{1/3}=10.5$ sec가 계속되었다.

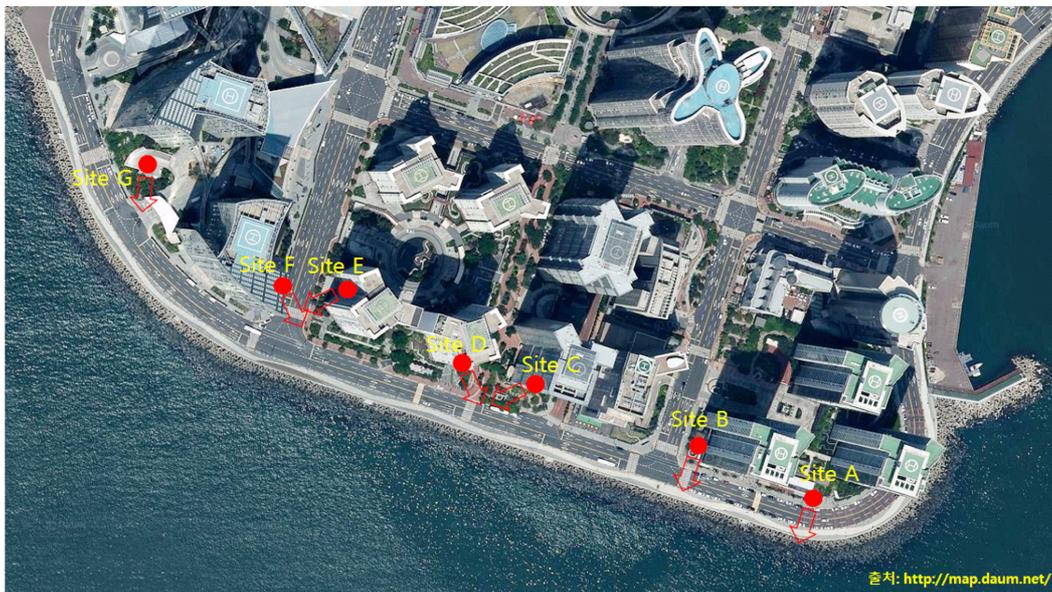
또한 인근 해운대 해수욕장 전면 해상(N35°08'56",E129°10'11")의 해양관측부이에서 태풍 차바 내습시 관측된 결과는 Table 1에 제시된 바와 같다. 해운대 마린시티와 위치 및 수심, 지형적인 차이가 있으나 태풍 차바 내습 당시(AM 10:00) 해운대 전면 해상에서는 $H_{max}=4.42$ m, $H_{1/3}=3.59$ m, $T_{1/3}=11.75$ sec의 파랑이 파향 171°로 내습하였으며, 관측값의 최대치는 AM 10:30에 $H_{max}=7.77$ m, $H_{1/3}=5.93$ m, $T_{1/3}=13.78$ sec의 파랑이 파향 180°로 내습하였다. 심해 파랑이 천해로 내습하는 과정에서 파랑변형에 의해서 파고가 작아지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

3. 해운대 마린시티의 호안 월파

3.1 호안 반사

태풍 차바 내습 당시 해운대 마린시티 인근 주민들이 촬영하거나 언론에 보도된 동영상을 Youtube로부터 수집하여 호안 구간에서 내습 파랑의 반사 상황을 분석하고자 하였다. 동영상 촬영 위치는 Fig. 4와 같다.

태풍 차바 내습시의 호안 반사 특성은 Site A~G까지의 수집된 7개 동영상 중에서 다소 고층에서 촬영된 Site C의 호안 월파 장면을 바탕으로 분석을 수행하였다. 동영상에 기록된 자료를 통해 전면 해상에 내습한 파랑의 파향을 역추적 하였다. 다만 해상부이에 기록된 관측결과중에서 파향이 상이할 경우 외해 입사파랑이 연안으로 전



출처: <http://map.daum.net/>

Fig. 4. Approximate locations of video footage collected during the passing of Typhoon Chaba.

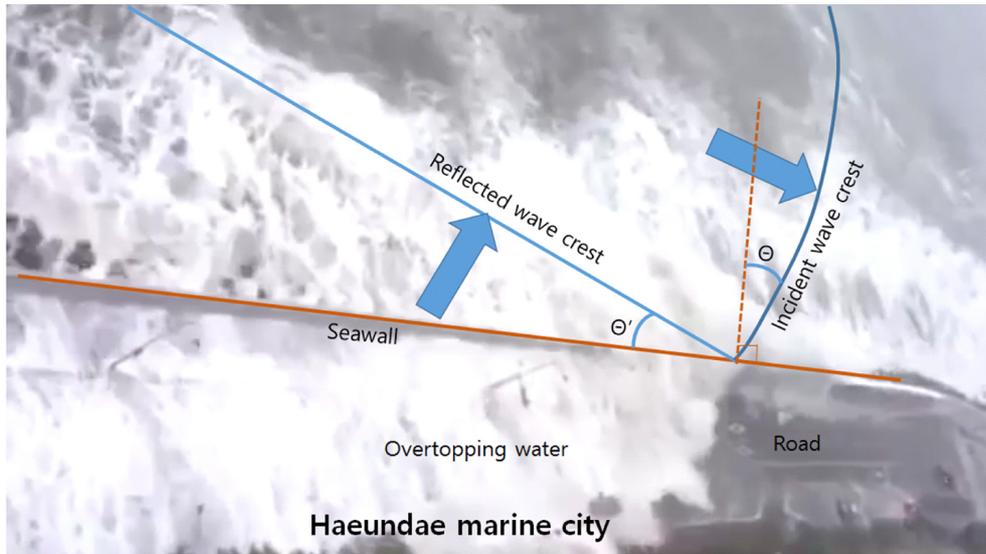


Fig. 5. Wave reflection and overtopping around the seawall at Haeundae Marine City caused by Typhoon Chaba.

파하면서 대기상의 바람영향으로 파향이 변화된 결과로 추정할 수 있다. Fig. 5는 고층 아파트(Site C)에서 촬영된 동영상에서 호안으로 내습하는 파랑을 캡처한 후 도로 표식 및 가로수 등의 위치를 고려하여 파랑 입사각을 추정한 결과이다.

결과적으로 파랑은 호안 월파후 반사되는 장면에서 호안 법선에 입사각 약 15~20°(파향 S), 주기 약 15 sec로 입사하는 것으로 나타났다. 마린시티 호안은 EW방향으로 볼 때 위도상으로 W측이 높고 E측이 낮은 약 20°정도 경사를 이루고 있는 점을 감안하면 태풍 차바 내습시 호안 월파된 파랑의 입사각은 정확히 S방향과 일치한다고 할 수 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 거제도 해상부이에서 파고값이 최대를 보인 AM 11:00시의 경우 파향 161°로 내습하였음과 기상관측자료에서 동일 시간에 S방향의 바람이 관측되었음을 고려하면 파랑 내습과 대기에서의 바람 응력이 호안으로의 파랑 월파를 증대시켰을 것으로 판단할 수 있다.

3.2 호안 소상고

2003년 9월 부산해역을 통과한 14호 태풍 매미로 인해 부산 해운대 마린시티는 호안 월파에 의한 배후 해안도로, 상업시설 및 주거 시설이 침수/파괴되는 피해를 입었다. 그 당시 피해상황 조사 결과를 바탕으로 Kang[2005]은 외해 측의 해일은 약 0.6 m 정도, 파고 6~7 m(주기 15 sec), 호안에서 월파(월류)에 의한 수위는 해일보다 7.5 m정도 더 상승한 것으로 추정하였다. 즉, 태풍 매미 내습시 당일 조위(H.W.L)보다 상승한 수위(8.15 m) 중에서 파의 처오름에 의한 상승(7.53 m) 비율이 약 90% 정도로서 대부분 파의 처오름에 의해서 피해가 발생하였음을 강조한 바 있다. 당시 월파 상황에 대한 모식도는 아래 Fig. 6과 같다.

본 연구에서는 Kang[2005]의 연구와 유사하게 태풍 차바 내습 당시 해운대 마린시티 인근 주민들이 촬영하거나 언론에 보도된 동영상을 Youtube로부터 수집하여 호안 구간별로 파랑 내습 상황 및 월

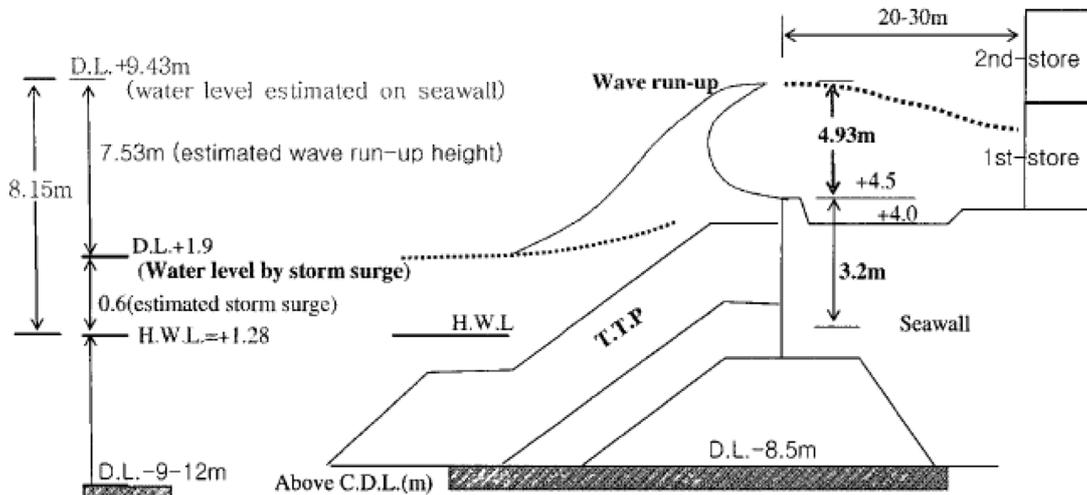


Fig. 6. Sketch of the water level change induced by wave overtopping around the seawall at Haeundae Marine City (Kang[2005]).

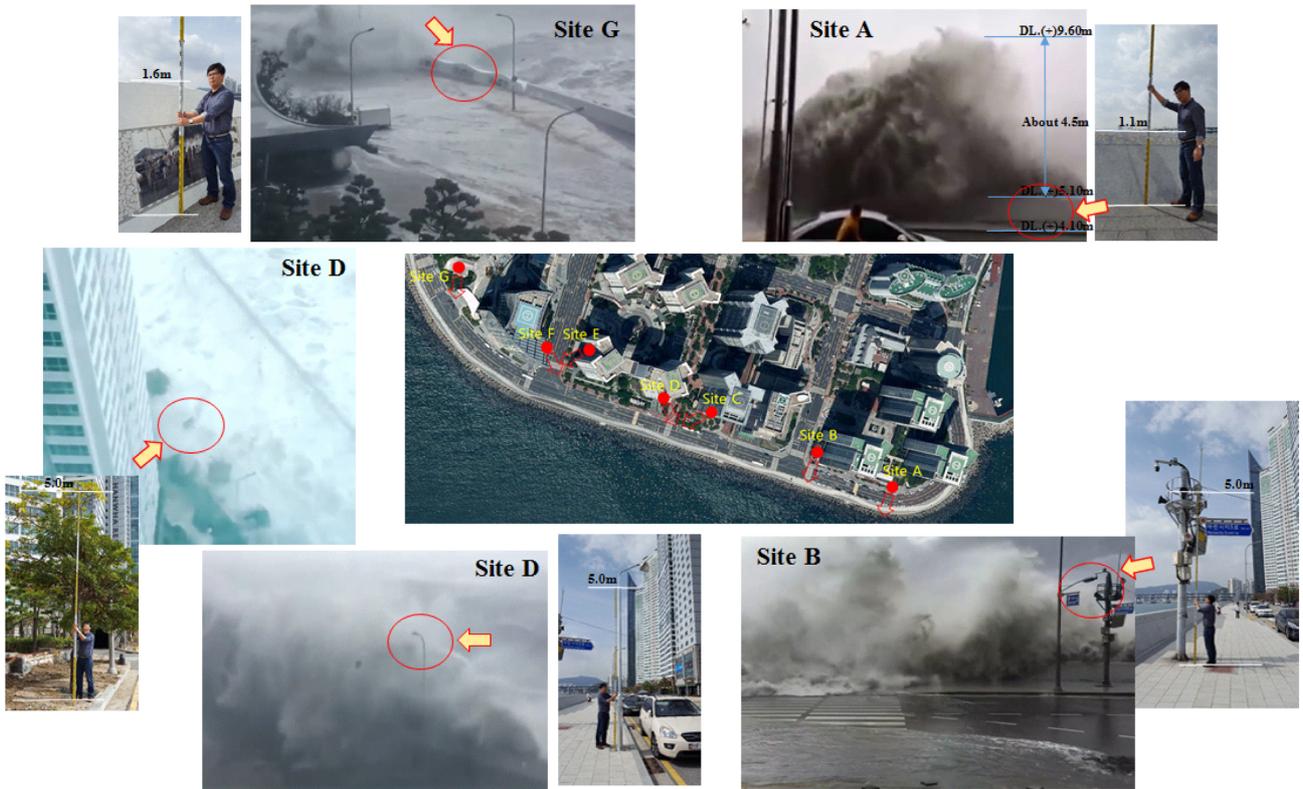


Fig. 7. Overtopping around the seawall during the passing of Typhoon Chaba and measurements of the heights of coastal structures.

과 현상을 분석하고자 하였다. Fig. 7과 같이 Site A~Site G까지 총 7개의 동영상 상을 대상으로 화면상에 나타나는 최초 동영상 촬영 위치 및 방향, 호안 율파 장면과 주변 구조물들(천단고, 통신주, 가로등, 가로수 등)과의 높이, 호안에서의 파랑의 반사 및 율파, 호안 율파 시점에서의 파랑의 주기, 호안 율파후 배후지 침수 상황 등을 분석하였다.

마린시티 호안의 경우 사면 경사 1:1.5, 중량 16 ton의 테트라포드(Tetrapod)가 시설되어 있으며, 호안 마루높이 DL.(+)5.1 m, 배후면도로는 DL.(+)4.1 m, 배후지 건물은 호안으로부터 약 23 m 이격되어 있다. 결과적으로 동영상에서 호안 율파 장면을 캡처하고 직접 현장을 찾아 스태프(5 m)를 이용하여 호안 주변 구조물들(호안 천단, 통신주, 가로등, 가로수 등)의 높이(Level)를 측정하여 호안 율파 장면의 호안 소상고를 산정하였다.

마린시티 호안 구간별로 구분한 것이 Fig. 7과 같다. 동영상 속에서 Site A지점에서는 호안 천단(DL.(+)5.1 m)으로부터 약 4.5 m 높이까지 해수가 쳐오름하는 것, 또한 Site B지점의 경우 호안 천단으로부터 1 m 이격되어진 통신주(높이 약 6 m)가 파의 쳐오름에 사라지는 것이 발견되었다. 또한 Site D지점의 경우 호안 천단으로부터 4 m 이격되어진 가로등(높이 약 6 m)이, 심지어 호안 천단으로부터 약 23 m 이격된 배후 가로수가 율파된 해수에 의해 사라지는 장면이 발견되었다.

해운대 마린시티 호안의 경우 경사면이 테트라포드(Tetrapod)로 구성된 침투성 사면인 것을 고려하여 Kang[2005]의 태풍 매미 및

이번 현장조사 결과로부터 유도된 태풍 차바 내습시의 입사파랑 조건을 바탕으로 호안에서의 파의 소상고(Wave runup height)를 비교하여 보았다. 파의 소상고 산정에 사용된 Hunt[1959]의 실험경험 공식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{R}{H_b} = C_p \frac{\tan\theta}{\sqrt{H_b/L_o}} \quad (1)$$

여기서 R 은 정수면에서의 소상고, C_p 는 경사면 유공성 파라미터 (불투수성인 경우 1, 침투성인 경우 1보다 작은 값), H_b 는 쇄파고, L_o 는 심해파의 파장, $\tan\theta$ 는 구조물 사면 경사를 나타낸다.

전술한 Kang[2005]의 태풍 매미 당시의 조건(파고 7 m, 주기 15 sec, 파의 소상고 $R=7.53$ m)을 식 (1)에 대입하여 계산하면 $C_p=0.23$ 을 얻을 수 있는데, 이 값을 태풍 차바 내습시의 조건(파고 8.1 m, 주기 10.5 sec, $\tan\theta=0.667$)으로 대입하면 $R=3.74$ m, 이는 현장 Site A지점에서 목측된 소상고에 비해서 크게 저평가되는 결과임을 알 수 있다. 그러나 Kang[2005]의 태풍 매미 당시 소상고(DL.(+)9.43 m)와 이번 동영상 속의 현장 Site A지점에서 목측된 소상고(DL.(+)9.60 m)는 대체적으로 일치하는 결과임을 알 수 있다. 따라서 이번 현장 Site A지점에서 동영상 속에서 추정된 천단으로부터 높이 4.5m의 값을 적용할 경우 해운대 마린시티 호안의 경사면 유공성 파라미터 C_p 는 0.39의 값을 얻을 수 있었다. 여기서 얻어진 경사면 유공성 파라미터 C_p 는 향후 재해대책 수립을 위한 호안 시설물 설계시에 참고될 수 있을 것으로 생각된다.

한편 해양파랑이 호안을 넘는 상황에서 파랑의 주기를 살펴보았다. 동영상 속에서 연속된 파랑의 주기를 관측할 수 있었던 것은 4개 동영상이다. Site B는 10~11 sec, Site C는 15~16 sec, Site D는 11~12 sec, Site G는 15 sec로 해석되었다. 주기는 호안 구간별로 다소 차이를 보이거나 약 15 sec로 입사 및 월파하는 것으로 나타났다.

3.3 호안 월파

부산 해운대 마린시티 지역은 태풍 매미(2003년 9월), 덴무(2010년 8월), 볼라벤(2012년 8월), 산바(2012년 9월), 차바(2016년 10월) 등 태풍 내습 때마다 호안 월파에 따른 배후지 침수 피해를 받아 왔다. 2012년 12월 해안방수벽(1.2 m)을 설치했지만, 이는 저층 조망권을 악화시킨다는 주민 민원때문에 적정 높이의 절반에 해당하는 천단고를 시설함으로써 그 후 연안재해 위험에 지속적으로 노출되어온 지역에 해당한다. 2016년 10월 5일 AM 10시 부산해역을 통과한 18호 태풍 차바로 인해 부산 해운대 마린시티는 호안 월파에 의한 배후 해안도로, 상업시설 및 주거 시설이 침수/파괴되는 피해를 입었다.

Fig. 8은 이번 태풍 차바 내습시 수집된 동영상에서 캡처한 외해측 파랑 입사 장면과 호안 월파 상황을 모식도로 나타낸 것이다. 전술한 바와 같이 Site D지점의 경우 호안 천단으로부터 약 23m 이격된 배후 가로수가 월파된 해수에 의해 사라지는 장면이 발견되었다.

Sohn[2001]은 3D 수리모형실험을 통해 마린시티 호안 구역을 대상으로 $H_{1/3}=4.5\text{ m}$, $T_{1/3}=13.5\text{ sec}$ 의 실험조건에서 마린시티 호안의 경우 전반적으로 허용 월파량 $0.01\text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 을 초과하며 이번 태풍 차바 내습시와 같이 고파랑 내습시 수심의 제약에 의해 중복파의 쇄파조건 및 극단적인 비선형 파동의 간섭에 의해 월파량 증대가 발생함을 강조한 바 있다.

본 연구에서 수집된 동영상을 통해 월파량을 정량적으로 산정하는

것은 다소 어려움이 있지만 동영상에서 호안 월파된 해수가 배후지 도로 및 건물을 침수시킴과 동시에 건물로부터 반사되어 호안 내측 도로를 가로질러 외해측으로 다시 월류되는 장면이 관찰되기도 하였다.

4. 결 론

본 연구는 태풍 차바 내습시(2016년 10월) 부산 해운대 마린시티 주변의 해양파랑 및 기상 관측자료, Youtube 사이트의 촬영 동영상(7개, Site A~G), 기존 호안 설계보고서 등의 자료를 수집하여 내습 파랑 및 호안 월파 특성, 호안 마루높이(천단고)와 배후지 침수 특성에 대해서 고찰을 수행하고자 하였다. 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 태풍 차바 내습시 기상청 과고부이 관측자료(거제도, 부산북항, 부산남항)에 따르면 인근 부산북항에서 동일한 시간에 $H_{max}=9.1\text{ m}$, $H_{1/3}=8.1\text{ m}$, $T_{1/3}=10.5\text{ sec}$ 가 계측되었다. 또한 지역별 상세관측자료(AWS)에 따르면 마린시티에 큰 피해를 입혔던 10:00~11:00시 사이에는 S 또는 SE방향 바람이 발생함으로써 호안 월파를 증대시키는 역할을 하였다고 생각된다.

(2) 부산항 조위관측소의 조위는 10:20에 121 cm가 예측되었으나 태풍 내습시 10:10에 218 cm가 최대값으로 관측되었다. 따라서 그 차이값인 97 cm가 해운대 마린시티의 태풍에 의한 해수면 상승고(해일고, Storm surge height)라고 추정할 수 있다.

(3) Youtube로부터 수집된 동영상을 바탕으로 해운대 마린시티 호안 구간에서 태풍 차바 내습시 파랑의 반사 상황을 분석한 결과, 입사파랑은 호안 법선에 입사각 약 15~20°(파향 S), 주기는 호안 구간별로 다소 차이를 보이거나 약 15 sec로 입사 및 월파하는 것으로 나

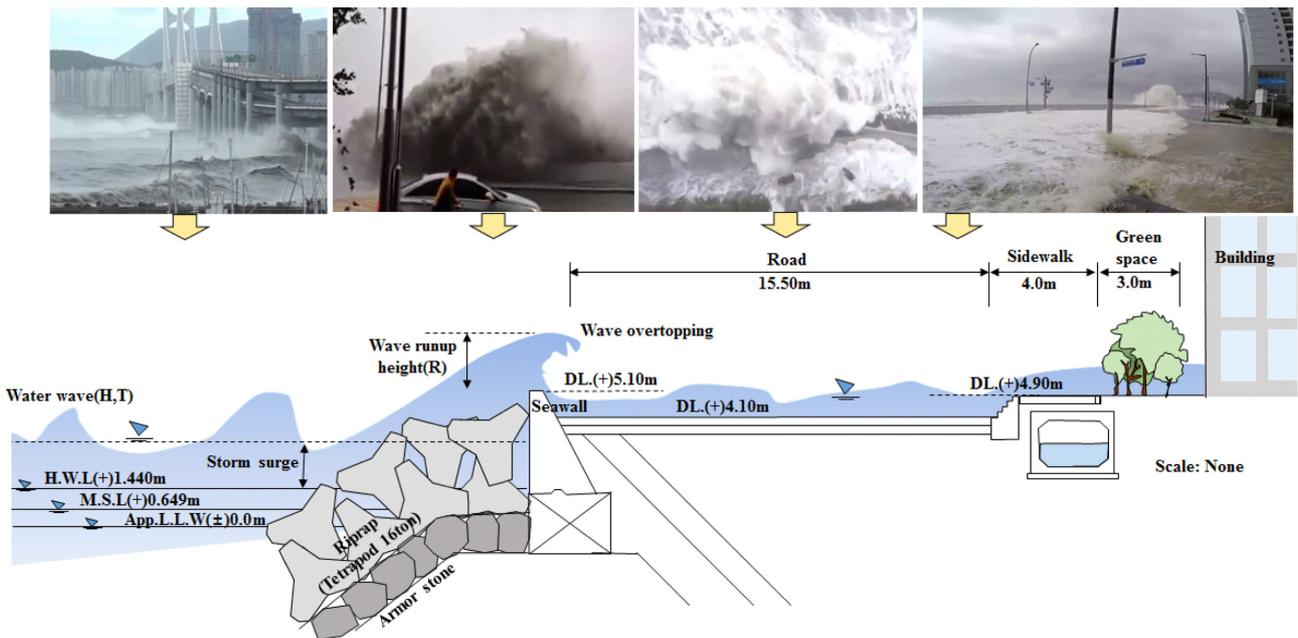


Fig. 8. Sketch of the water level change induced by wave overtopping around the seawall at Haeundae Marine City during the passing of Typhoon Chaba.

타났다. 세부적으로 Site B는 10~11 sec, Site C는 15~16 sec, Site D는 11~12 sec, Site G는 15 sec로 해석되었다.

(4) 결과적으로 태풍 차바의 경우를 통해 살펴보면, 마린시티 호안의 경우 태풍의 고파랑 내습시 지형적으로 돌출된 호안 및 저평 가된 천단고, 수심의 제약에 의해 중북파의 쇄파조건, 대기 바람에 의한 파랑 응력에너지 증대로 인해 호안 월파량이 전반적으로 허용 월파량 $0.01 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 을 초과하여 발생하는 것으로 생각된다. 따라서 태풍 내습시 월파에 의해 지속적으로 배후면 피해가 발생하는 해운대 마린시티 지역에 대해 보다 유연한 연안재해 대책이 요구된다고 할 수 있다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년: C-D-2016-1294) 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- [1] Choi, E.H. and Kim, C.S., 2012, "A Design of Disaster Prevention System and Detection of Wave Overtopping Number for Storm Surge base on CCTV", J. Korea Multimed. Soc., Vol. 15, No. 2, 258-265.
- [2] Hunt, I.A., 1959, "Design of seawalls and breakwaters", J. Waterw. Harbors Div., Am. Soc. Civ. Eng., 85(3), 123-152.
- [3] Hur, D.S., Yeom, G.S., Kim, J.M., Kim, D.S. and Bae, K.S., 2006, "Estimation of Storm Surges on the Coast of Busan", J. Ocean Eng. Technol., Vol. 20, No. 3, 37-45.
- [4] Jang, S.C., 2014, "Overtopping Rate on the Breakwater around Estuary by Wave", Pukyong National University Master's thesis, 1-67.
- [5] Kang, Y.K., 2005, "Patterns of Water Level Increase by Storm Surge and High Waves on Seawall/Quay Wall during Typhoon Maemi", J. Ocean Eng. Technol., Vol. 19, No. 6, 22-28.
- [6] KMA(Korea Meteorological Administration), 2016, <http://www.kma.go.kr>.
- [7] KHOA(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency), 2016, <http://www.khoa.go.kr>.
- [8] MPSS(Ministry of Public Safety and Security), 2016, Statistical Yearbook of Natural Disaster, <http://www.mpss.go.kr>.
- [9] Sohn, B.K., 2001, "The stability of rubble mound structures under the multi-directional irregular waves", Pukyong National University Doctor's thesis, 1-188.
- [10] YouTube, 2016, <https://www.youtube.com>.

Received 19 June 2017

Revised 8 August 2017

Accepted 11 August 2017