



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



공학석사 학위논문

해운대 해수욕장의  
모래이동 한계수심 산정결과  
비교 및 고찰



2017년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

박정규

공학석사 학위논문

해운대 해수욕장의  
모래이동 한계수심 산정결과  
비교 및 고찰

지도교수 이 종 섭

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

박 정 규

# 박정규의 공학석사 학위논문을 인준함

2017년 2월 24일



주 심 공학박사 김수한 (인)

위 원 공학박사 서용철 (인)

위 원 공학박사 이종섭 (인)

# 목 차

표목차 .....	vii
그림목차 .....	ix
Abstract .....	xi
<b>1. 서론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구내용 및 방법 .....	3
1.3 연구의 기대효과 .....	4
<b>2. 해운대 해수욕장의 대표파랑 산정 및 침식·퇴적 환경 분석 .....</b>	<b>5</b>
2.1 해운대 해수욕장의 파랑관측자료 분석 .....	5
2.1.1 파랑관측개요 .....	5
2.1.2 해운대 해수욕장의 연간 파랑특성 .....	7
가) 해운대 해수욕장의 2012년 파랑특성 .....	7
나) 해운대 해수욕장의 2013년 파랑특성 .....	13
다) 해운대 해수욕장의 2014년 파랑특성 .....	19
라) 해운대 해수욕장의 2015년 파랑특성 .....	25
마) 해운대 해수욕장의 년평균(2012~2015) 파랑특성 .....	31
2.2 해운대 해수욕장의 해저질 특성 .....	39
2.2.1 해저질 입도-평균입경 .....	40
2.2.2 해저질 입도-모래함량비 .....	41
2.3 해운대 해수욕장의 극치파 해석 .....	42
2.4 해운대해수욕장의 수심변화량 측량 결과 .....	44
2.5 해운대해수욕장의 해빈단면변화 측량 결과 .....	46

<b>3. 모래이동한계수심 수식</b> .....	<b>48</b>
3.1 모래이동한계수심의 정의 .....	48
3.2 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth .....	48
3.3 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심 .....	50
3.4 van-Rijn의 초기이동한계수심 .....	52
<b>4. 해운대 해수욕장의 모래이동한계수심 산정</b> .....	<b>55</b>
4.1 해운대해수욕장의 대표파랑 선정 .....	55
4.2 해운대해수욕장에서 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth .....	56
4.3 해운대해수욕장에서 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심 .....	57
4.4 해운대해수욕장에서 van-Rijn의 초기이동한계수심 .....	59
4.5 해운대해수욕장의 모래이동한계수심 산정결과의 비교 .....	61
<b>5. 과거 해운대 해수욕장의 Beach Processes 연구에 적용한</b> <b>  대표파랑의 출현빈도 분석</b> .....	<b>65</b>
5.1 해운대 해수욕장의 파랑변형 및 해빈류에 관한 연구 사례 .....	65
5.2 해운대 해수욕장의 Beach Process 연구에 적용한 대표파랑의 출현 빈도 분석 결과 .....	68
<b>6. 결론 및 요약</b> .....	<b>70</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>72</b>
감사의 글	

# 표 목 차

Table 2.1 Monthly significant wave height statistics (2012) .....	7
Table 2.2 Statistics of representative waves (2012) .....	10
Table 2.3 Wave heights and periods of various appearance frequency (2012) .....	10
Table 2.4 Monthly significant wave height statistics (2013) .....	13
Table 2.5 Statistics of representative waves (2013) .....	16
Table 2.6 Wave heights and periods of various appearance frequency (2013) .....	16
Table 2.7 Monthly significant wave height statistics (2014) .....	19
Table 2.8 Statistics of representative waves (2014) .....	22
Table 2.9 Wave heights and periods of various appearance frequency (2014) .....	24
Table 2.10 Monthly significant wave height statistics (2015) .....	25
Table 2.11 Statistics of representative waves (2015) .....	30
Table 2.12 Wave heights and periods of various appearance frequency (2015) .....	30
Table 2.13 Statistical value significant wave height (2012~2015) .....	31
Table 2.14 Wave heights and periods of various appearance frequency (2012~2015) .....	31
Table 2.15 Cumulative probability distribution function .....	42
Table 2.16 Net deposition rate and depth change rate for 1 year(MOF, 2016) .....	45
Table 3.1 $\beta$ and $\alpha$ values according to the sediment movement stage .....	50

## 표 목차(계속)

Table 4.1 Wave heights and periods of 12 hrs appearance frequency	55
Table 4.2 Statistical value significant wave height	56
Table 4.3 Hallermeier and Birkemeier's Closure Depth for	56
Table 4.4 Sato-Tanaka's critical sediment movement for $H_{s,max}$	57
Table 4.5 Sato-Tanaka's critical sediment movement for $H_{s,1/10}$	57
Table 4.6 Sato-Tanaka's critical sediment movement for $H_{s,1/3}$	58
Table 4.7 Sato-Tanaka's critical sediment movement for $H_{s,mean}$	58
Table 4.8 Sato-Tanaka's critical sediment movement for $H_e$	58
Table 4.9 van-Rijn's initial movement for $H_{s,max}$	59
Table 4.10 van-Rijn's initial movement for $H_{s,1/10}$	59
Table 4.11 van-Rijn's initial movement for $H_{s,1/3}$	60
Table 4.12 van-Rijn's initial movement for $H_{s,mean}$	60
Table 4.13 van-Rijn's initial movement for $H_e$	60
Table 4.14 Comparisons on the critical sediment movement depth for $H_e$ in Haeundae beach	61
Table 4.15 Comparisons on the critical sediment movement depth for statical value in Haeundae beach	61
Table 5.1 Wave conditons of wave-induced currents studies in Haeundae Beach	66
Table 5.2 Continued	67
Table 5.3 Appearance frequency of the waves applied in Table 5.1	68

# 그림 목차

Fig. 1.1	Flow Chart on the coastal erosion/deposition study. ....	2
Fig. 2.1	Wave observation station in Haeundae Beach(KHOA). ....	5
Fig. 2.2	Water Depth contours(MOF,2016). ....	6
Fig. 2.3	Frequency of significant wave height (2012). ....	8
Fig. 2.4	Significant Wave-Period-Frequency 3D (2012). ....	8
Fig. 2.5	Cumulative frequency of wave height (2012). ....	9
Fig. 2.6	Time series of wave height(Hs) and period(Ts) (2012). ....	11
Fig. 2.7	Time series of wave height(Hs) and direction (2012). ....	12
Fig. 2.8	Frequency of significant wave height (2013). ....	14
Fig. 2.9	Significant Wave-Period-Frequency 3D (2013). ....	14
Fig. 2.10	Cumulative frequency of wave height (2013). ....	15
Fig. 2.11	Time series of wave height(Hs) and period(Ts) (2013). ....	17
Fig. 2.12	Time series of wave height(Hs) and direction (2013). ....	18
Fig. 2.13	Frequency of significant wave height (2014). ....	20
Fig. 2.14	Significant Wave-Period-Frequency 3D (2014). ....	20
Fig. 2.15	Cumulative frequency of wave height (2014). ....	21
Fig. 2.16	Time series of wave height(Hs) and period(Ts) (2014). ....	23
Fig. 2.17	Time series of wave height(Hs) and direction (2014). ....	24
Fig. 2.18	Frequency of significant wave height (2015). ....	26
Fig. 2.19	Significant Wave-Period-Frequency 3D (2015). ....	26
Fig. 2.20	Cumulative frequency of wave height (2015). ....	27
Fig. 2.21	Time series of wave height(Hs) and period(Ts) (2015). ....	28
Fig. 2.22	Time series of wave height(Hs) and direction (2015). ....	29
Fig. 2.23	Frequency of significant wave height (2012~2015). ....	32
Fig. 2.24	Cumulative frequency of wave height (2012~2015). ....	33

## 그림 목차(계속)

Fig. 2.25 Wave rose diagram in Winter (2012~2015). .....	34
Fig. 2.26 Wave rose diagram in Spring (2012~2015). .....	35
Fig. 2.27 Wave rose diagram in Summer (2012~2015). .....	36
Fig. 2.28 Wave rose diagram in Autumn (2012~2015). .....	37
Fig. 2.29 Wave rose diagram (2012~2015). .....	38
Fig. 2.30 Map of bottom sediment sampling stations(MOF, 2016). .....	39
Fig. 2.31 Mean grain size in Haeundae Beach(MOF, 2016). .....	40
Fig. 2.32 Sand content rate of Haeundae Beach(MOF, 2016) .....	41
Fig. 2.33 Extreme wave height analysis by Weibull and Gumbel distributions. ....	43
Fig. 2.34 Depth change rate for 1 year(MOF, 2016). .....	44
Fig. 2.35 Beach profile sections in Haeundae Beach(MOF, 2016). .....	46
Fig. 2.36 Beach profile changes in S01 line(MOF, 2016). .....	47
Fig. 2.37 Beach profile changes in S15 line(MOF, 2016). .....	47
Fig. 2.38 Beach profile changes in S25 line(MOF, 2016). .....	47
Fig. 4.1 Comparisons of Sato-Tanaka's complete movement depth vs Hallermeier and Birkemeier's closure depth. ....	62
Fig. 4.2 Comparisons of critical sediment movement depth in Haeundae Beach. ....	64

# Comparisons of Various Critical Sediment Movement Depth in Haeundae Beach

Jeong-Gyu Park

*Department of Civil Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University*

## Abstract

The proper evaluation of sediment movement depth according to the incident waves are very important in the studies of beach processes that is related to the arrangement of coastal structure for beach protection. In this study, we estimated the representative wave from the wave observation data during Mar. 2012 to Feb. 2016 in Haeundae Beach by KHOA, then calculated the critical sediment movement depth and the appearance frequency of representative wave applied to the previous beach process studies.

In Haeundae Beach sand erosions and depositions are occurs in active within 10m of depth then a little sand movement still occurs in 20m depth. According to the survey data, the distinct beach profile changes occurs within the DL - 6.0m depth.

In comparison with the critical sediment movement depth calculated by Hallermeier, Birkemeier, Sato-Tanaka and van Rijn's formula the critical movement depth become shallow in order of initial movement, general movement, surface layer movement, complete movement and closure depths.

The van-Rijn's initial movement depth is the most deep compared with the initial movement depth of Sato-Tanaka. On the other hand the Hallermeier's closure depth and Sato-Tanaka's complete movement depth is similar as the most shallow depth.

A previous beach process studies in Haeundae Beach shows that the definition of storm wave or normal wave conditions is not clear. Therefore it is needed to determine the representative wave from the annual wave frequency distribution curve at the beach.

# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

본 연구의 대상지역인 해운대 해수욕장은 연간 관광객 천만 명 이상이 방문하는 한국의 대표적인 해수욕장이다. 부산 도심 속에 위치하여 해운대 관광특구의 중추적인 역할을 담당하고 있다. 그러나 해수욕장 연안 근처에 빌딩들이 들어서고 호안도로가 건설되었으며 모래가 유입되는 하천을 복개시키는 등 도시화과정으로 인해 모래가 유입되는 양이 감소되었고 기후변화에 따라 해수면이 상승하고 이상 고파랑의 잦은 발생으로 인하여 결과적으로 해변 폭이 감소되었으며 해변침식이 심화됨으로써 사회적 문제로 까지 대두되었다. 최근 해운대 해수욕장의 해변 폭 감소 문제에 대한 대책으로 해양수산부는 연안정비사업을 시행하였고 해운대 해수욕장에 대하여 1차년 (2013년 11월 ~ 2014년 2월)과 2차년(2014년 12월 ~ 2015년 2월)에 걸쳐 약 773,715 의 모래를 양빈하는 대규모 양빈공법이 시행되었다.(Kim, 2015) 그 결과 평균 해변 폭은 양빈 전 48~56m에서 양빈 후 90m로 증가하게 되었고 모래유실 과 해변 침식을 방지하기 위해서 동백섬 측에 잠제 200m, 모래유실방지공 45m와 미포 측에 잠제 180m, 돌제 120m를 설치하였다. 이와 같이 해운대 해수욕장의 양빈과 함께 잠제와 돌제 모래유실방지공을 설치함으로써 양빈 후에 모래유실을 막는 것이 더 중요한 관심사가 되었다. 해수욕장의 퇴적물 수송으로 인한 침식·퇴적기구 즉, beach processes에 가장 커다란 영향을 미치는 외력중의 하나는 입사파의 파고, 주기 및 파향이다. 그리고 파에 의하여 발생하는 연안부근의 흐름(해빈류)은 연안 퇴적물 수송에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 흐름 중의 하나이다. Fig. 1.1은 연안침식/매몰 원인규명을 위한 해안선변화, 단면변화, 수심(침·퇴적)변화에 대한 수치모델링 후 대책 공법 수립을 결정하고 타당성을 검토하고 시공하는 일반적인 흐름도를 나타낸다.

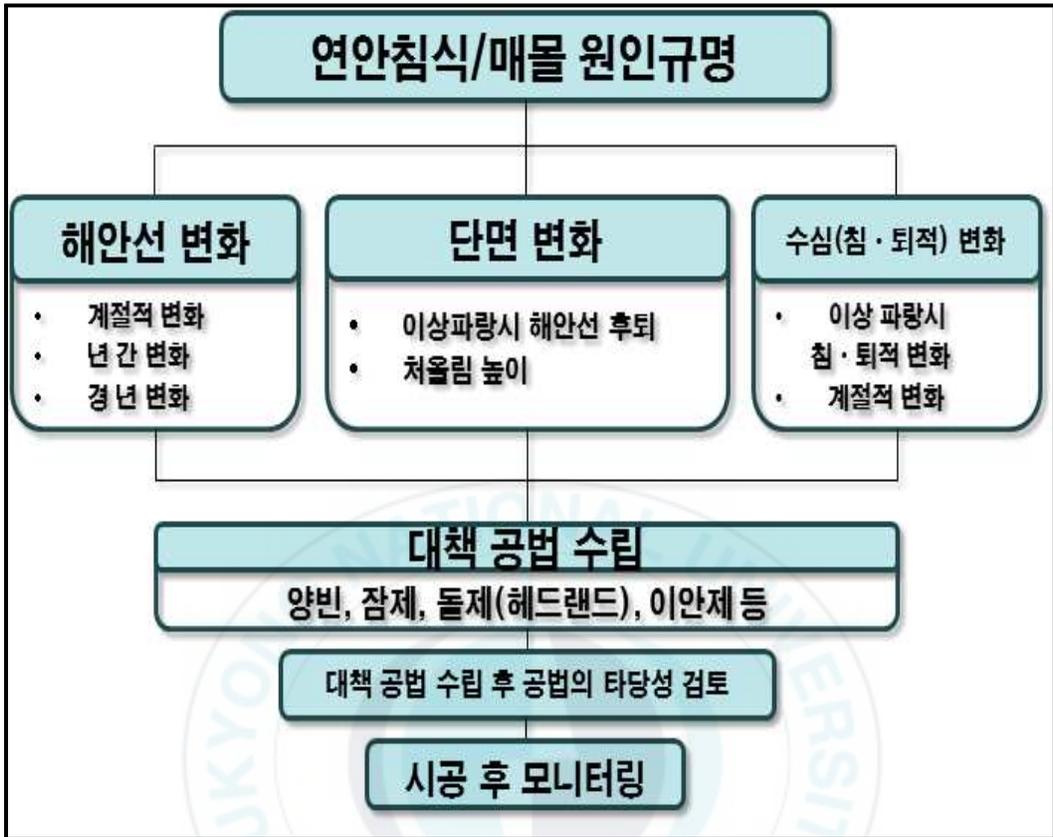


Fig. 1.1 Flow Chart on the coastal erosion/deposition study.

해안선변화, 단면변화 및 수심변화 예측을 위하여 다양한 모델이 사용되고 있는데 가장 중요한 것은 대표파랑의 선정이며, 또한 대책공법수립에 있어서 각종 구조물의 배치계획에 있어서는 모래이동한계수심을 파악하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 해운대해수욕장에서 장기간에 걸친 파랑관측자료를 이용하여 여러 가지 경우의 대표파를 산정하였다. 기존에 연구되어 나온 Birkemeier(1985), Hallermeier(1981), Sato-Tanaka(1962), van Rijn(1993)등의 모래이동한계수심산정식을 사용하여 해운대 해수욕장의 모래이동한계수심을 산정하였다.

## 1.2 연구내용 및 방법

본 연구에서는 해운대해수욕장의 모래이동한계수심을 비교 및 검토하기 위하여 문헌조사를 통하여 기존에 사용되고 있는 각종 모래이동한계수심의 수식에 관한 식들 중에서 대표적인 몇 가지 식을 선정하였다. 대표 파랑 값을 선정하기 위하여 국립해양조사원의 해운대해수욕장 해양관측부이 자료 중 2012년 3월부터 2016년 2월까지의 관측자료를 통계 분석하여 년 평균 대표파랑값을 산정하였다.

침식·퇴적과 관련한 해양측량자료는 해운대 해수욕장 연안정비사업모니터링용역의 2015년 5월 17일부터 2016년 5월 11일 1년간 측량한 자료를 활용하였다.(부산지방해양수산청 부산항 건설사무소, 해운대해수욕장 연안정비사업 모니터링용역 4차 보고서)

본 논문의 2장에서는 해운대해수욕장의 해양관측부이 자료를 사용하여 장기간 연속 실시간 파랑관측자료의 통계분석을 통하여 대표파랑을 선정하였다. 그리고 해운대 해수욕장의 수심측량 결과로부터 수심변화량과 단면변화자료를 분석하였다.

3장에서는 본 연구에서 사용한 식들의 모래이동한계수심과 종결수심(Closure Depth)에 대한 정의와 그 식을 간략히 소개하였다.

4장에서는 모래이동한계수심 산정식을 해운대해수욕장에 적용하여 각각의 대표파랑 및 대표입경에 의한 모래이동한계수심을 산정하고 비교 분석하였다.

5장에서는 해운대해수욕장에서 과거 이루어진 여러 논문과 Beach Processes 연구에서 적용했던 대표파랑의 출현빈도를 검토하고 문제점을 지적하였다.

### 1.3 연구의 기대효과

본 연구에서는 해안의 침식·퇴적 현상을 규명하기 위하여 가장 중요한 외력 중의 하나인 년 평균 대표파랑을 선정하는 절차를 제시하고 침·퇴적 방지 구조물의 설치에 있어서 중요하고 다양한 모래이동한계수심의 산정결과를 비교하였다.

본 연구의 결과는 일반적인 해수욕장의 침식·퇴적문제의 해결과 구조물의 설치수심의 결정에 있어서 참고가 될 것으로 기대된다.



## 2. 해운대 해수욕장 대표파랑 산정 및 침식·퇴적 환경 분석

### 2.1 해운대 해수욕장의 파랑관측자료 분석

#### 2.1.1 파랑관측개요

해운대 해수욕장은 위치는 Fig. 2.1 과 같으며 부산광역시 해운대구 우동에 위치하고 있다. 해운대 해수욕장의 해양관측부이는 Fig. 2.1의 W1정점에 설치되어있다. 동측은 미포항, 서측은 동백섬이 위치하고 있다. Fig. 2.2는 해운해수욕장의 양빈후의 2015년 5월의 수심분포도를 나타낸다. 수심분포도는 20m지점까지 나타내었고 등수심선을 통해 동백섬 측에는 수심 약 8m지점에 잠제가 설치되어있는 것을 확인 할 수 있고 미포 측에는 수심 약 4m지점에 잠제와 돌체가 설치되어있는 것을 확인 할 수 있다.



Fig. 2.1 Wave observation station in Haeundae Beach (KHOA).

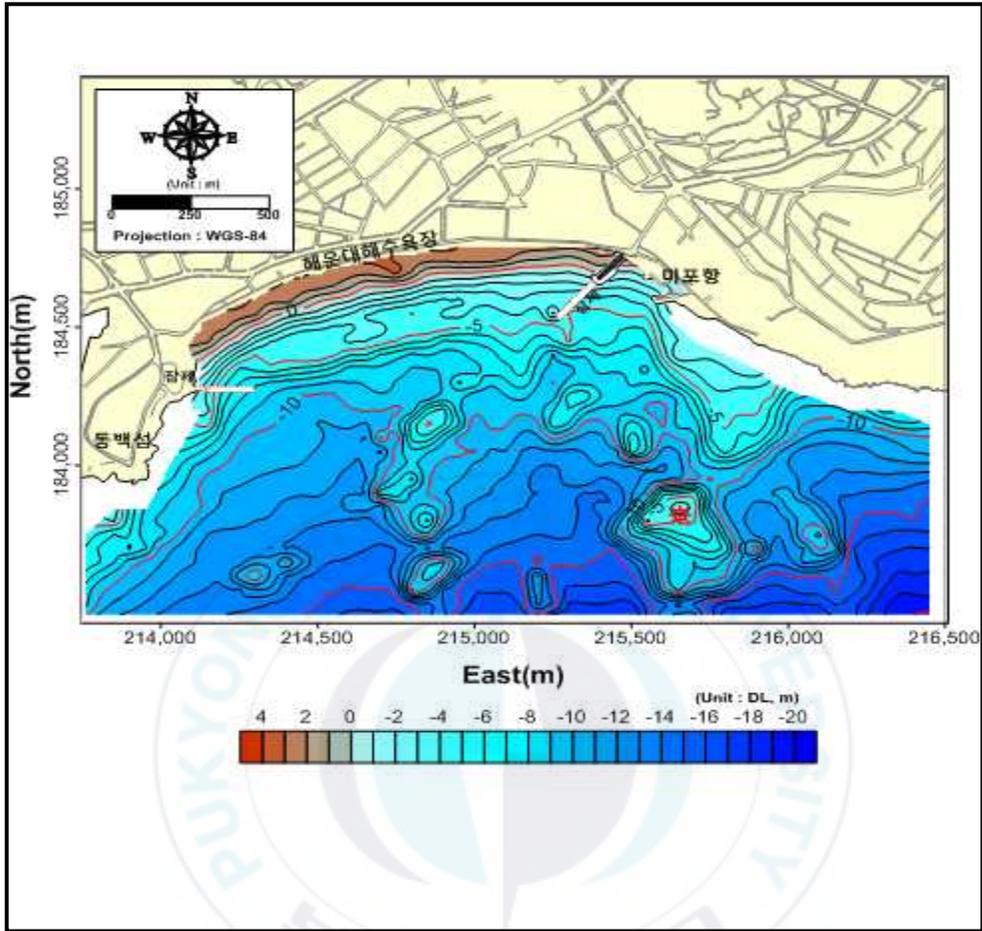


Fig. 2.2 Water depth contours(MOF,2016).

해운대 해수욕장의 파랑데이터를 분석하기 위해서 Fig. 2.1 의 W1 정점에 설치된 국립해양조사원의 해운대 해수욕장 해양관측부이에서 관측한 파랑자료를 사용하였다. 해운대 해수욕장 해양관측부이는 DL(-) 15.6 m 의 수심에 위치하고 있으며 2012년 3월부터 2016년 2월까지의 4년간의 파랑데이터에서 파고( ), 파향( ), 주기( $T_s$ ) 데이터를 추출하여 통계분석 하였다.

## 2.1.2 해운대 해수욕장의 연간 파랑특성

해운대 해수욕장의 2012년부터 2015년까지 연간 파랑특성을 분석하기 위하여 유의파고의 최대값과 주기( $H_{s,max}$ ,  $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 1/3평균값과 주기( $H_{s,1/3}$ ,  $T_{s,1/3}$ ), 유의파고의 상위 1/10평균값과 주기( $H_{s,1/10}$ ,  $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 평균값과 주기( $H_{s,mean}$ ,  $T_{s,mean}$ )을 각각 구하여 도표화 하였고, 유의파고의 빈도그래프, 파고-주기-빈도 3D그래프, 시계열 파고-주기, 시계열 파고-파향 그래프, 파고누적빈도 그래프, 극치파 해석 그래프를 나타내었다. 여기서  $H_s$ 는 5분간 연속 관측한 파랑자료로부터 추출된 유의파고를 나타낸다.

### 가) 해운대 해수욕장의 2012년 파랑특성

해운대 해수욕장의 2012년의 월별 파랑특성은 Table. 2.1에서와 같이 나타내었다. 유의파고의 최대값과 주기는 8월에 각각 4.64m와 10.20sec, 9월에 각각 5.89m와 10.80sec로써 큰 파랑이 일어났었다. 8월 20일에 발생한 태풍 볼라벤(BOLAVEN)의 영향으로 8월에 큰 파랑이 나타난 걸로 예상되고 9월 11일에 발생한 태풍 산바(SANBA)의 영향으로 9월에 큰 파랑이 나타난 걸로 예상된다. 이는 Fig. 2.6의 시계열 유의파고-주기 그래프에서도 눈에 띄게 나타난다. Fig. 2.3의 2012년 유의파고의 빈도그래프를 보면 유의파고 0.2~0.4m 범위의 파고에서 31.19%로 가장 빈도가 크게 나타났다. Fig. 2.4 그래프에서는 유의파고( $H_s$ )가 0.4~0.6m와 주기( $T_s$ )가 4~5sec 일 때 11.22%의 빈도로 나타났다.

Table 2.1 Monthly significant wave height statistics (2012)

2012													
Monthly Wave Height	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Hs,max	(m)	1.90	1.20	2.00	2.00	1.01	1.77	2.00	4.64	5.89	2.13	3.40	2.94
Ts,max	(sec)	5.80	5.10	5.90	5.50	5.00	6.90	5.50	10.20	10.80	5.80	-	7.70
Hs,1/3	(m)	0.93	0.93	1.10	1.12	0.59	0.85	0.81	1.34	0.85	0.74	0.67	0.49
Ts,1/3	(sec)	5.65	5.11	5.58	5.33	4.54	5.57	5.53	7.25	5.52	5.65	6.28	8.22
Hs,mean	(m)	0.59	0.61	0.72	0.68	0.36	0.58	0.51	0.72	0.49	0.48	0.43	0.34
Ts,mean	(sec)	5.33	5.67	5.04	4.62	3.88	5.07	5.02	5.76	4.86	5.24	6.60	7.95
Hs,1/10	(m)	1.35	1.04	1.42	1.56	0.79	1.15	1.15	3.32	1.34	0.98	0.89	0.78
Ts,1/10	(sec)	5.70	5.12	5.71	5.45	5.02	6.20	5.89	9.15	6.36	5.81	6.18	8.92

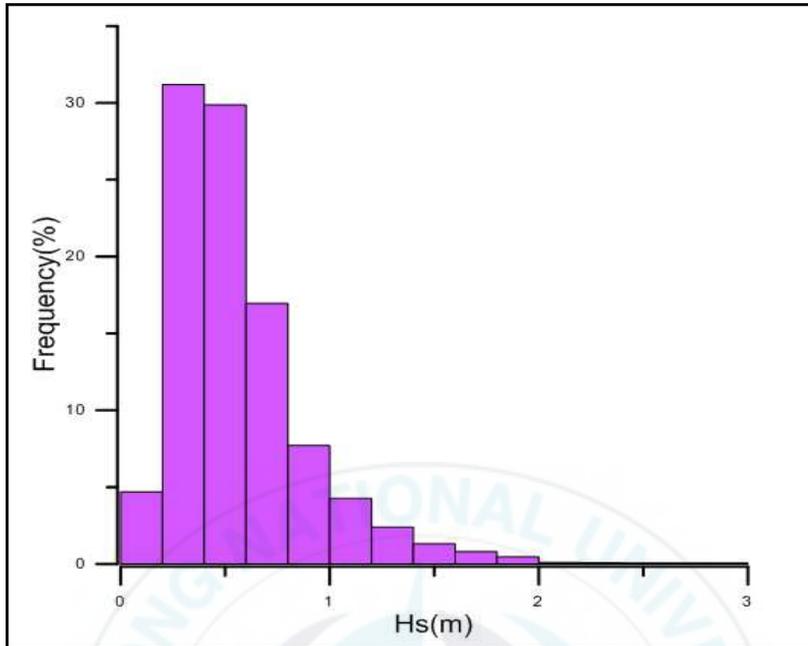


Fig. 2.3 Frequency of significant wave height (2012).

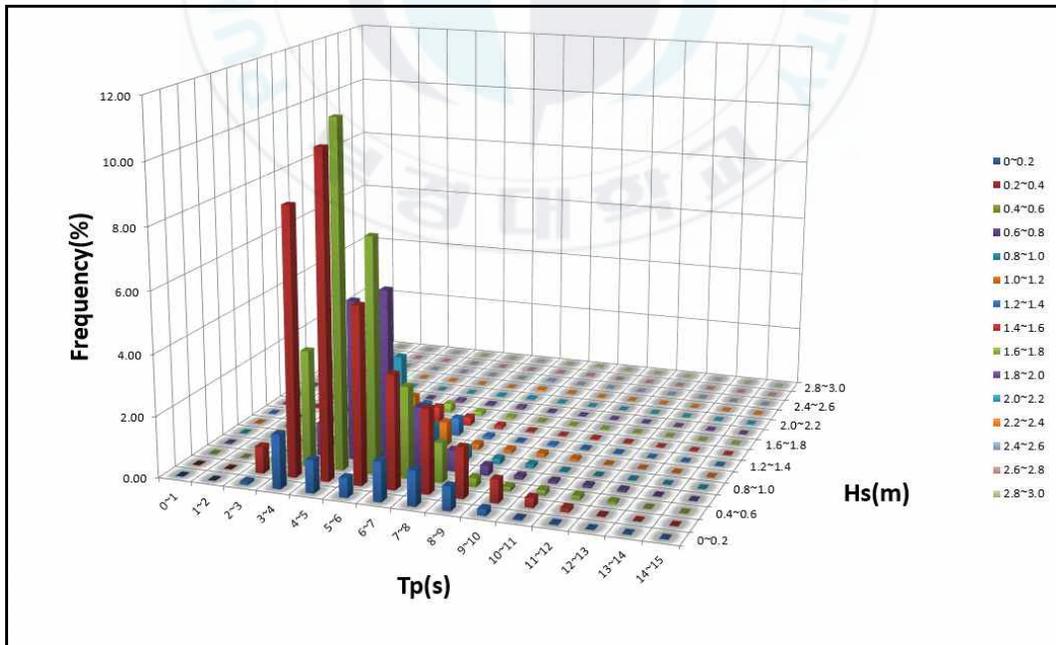


Fig. 2.4 Significant Wave-Period-Frequency 3D distributions (2012).

Fig. 2.5는 2012년 유의파고 빈도확률을 누적해서 나타낸 파고 누적빈도그래프로서 2m부터 6m까지는 거의 같은 누적확률을 가지는 것으로 나타났다. Table. 2.2는 2012년 유의파고와 주기자료를 1년 전체 평균하여 유의파고의 최대값과 주기( $H_{s,max}$ ,  $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 1/3평균값과 주기( $H_{s,1/3}$ ,  $T_{s,1/3}$ ), 유의파고의 상위 1/10평균값과 주기( $H_{s,1/10}$ ,  $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 평균값과 주기( $H_{s,mean}$ ,  $T_{s,mean}$ )를 구하여 나타낸 도표이고 Table. 2.3은 Fig. 2.5의 누적빈도그래프를 이용하여 2012년 1년의 유의파고와 주기를 큰 값부터 차례대로 나열한 뒤 1년에 12시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 24시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 1주일을 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 한 달을 초과하는 유의파고와 주기를 각각 구하여 나타낸 도표이다.

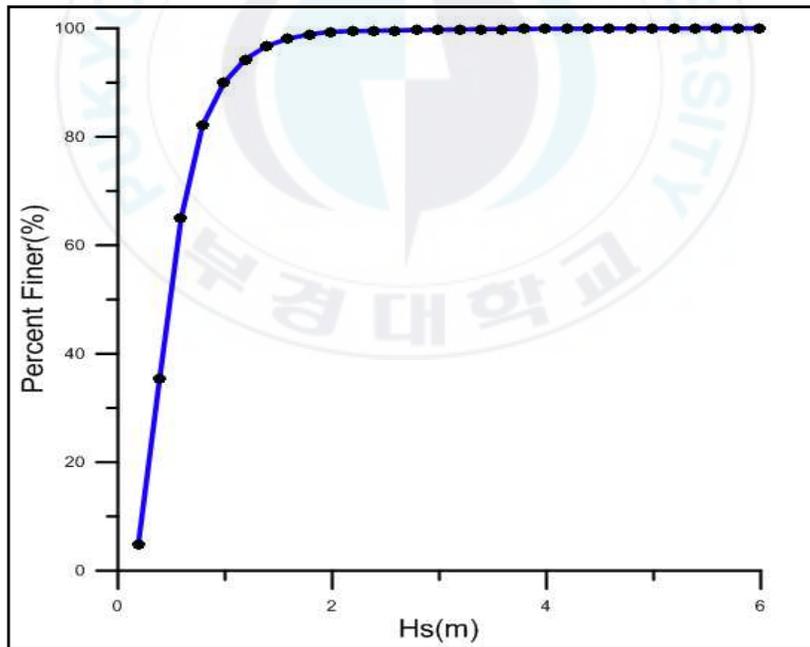


Fig. 2.5 Cumulative frequency of wave height graph (2012).

**Table 2.2 Statistics of representative waves (2012)**

Maximum Wave	Hs,max	5.89m
Maximum Period	Ts,max	10.8sec
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.47m
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	6.25sec
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.97m
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	5.73sec
Average Wave	Hs,mean	0.56m
Average Period	Ts,mean	5.41sec

**Table 2.3 Wave heights and periods of various appearance frequency (2012)**

	Wave Height(m)	Period(sec)
12hrs appearance frequency per year	3.54	9.1
24hrs appearance frequency per year	2.94	8.8
A week appearance frequency per year	1.58	6.3
A month appearance frequency per year	1.02	4.7
A 3 month appearance frequency per year	0.69	5.8
A 6 month appearance frequency per year	0.48	4.1

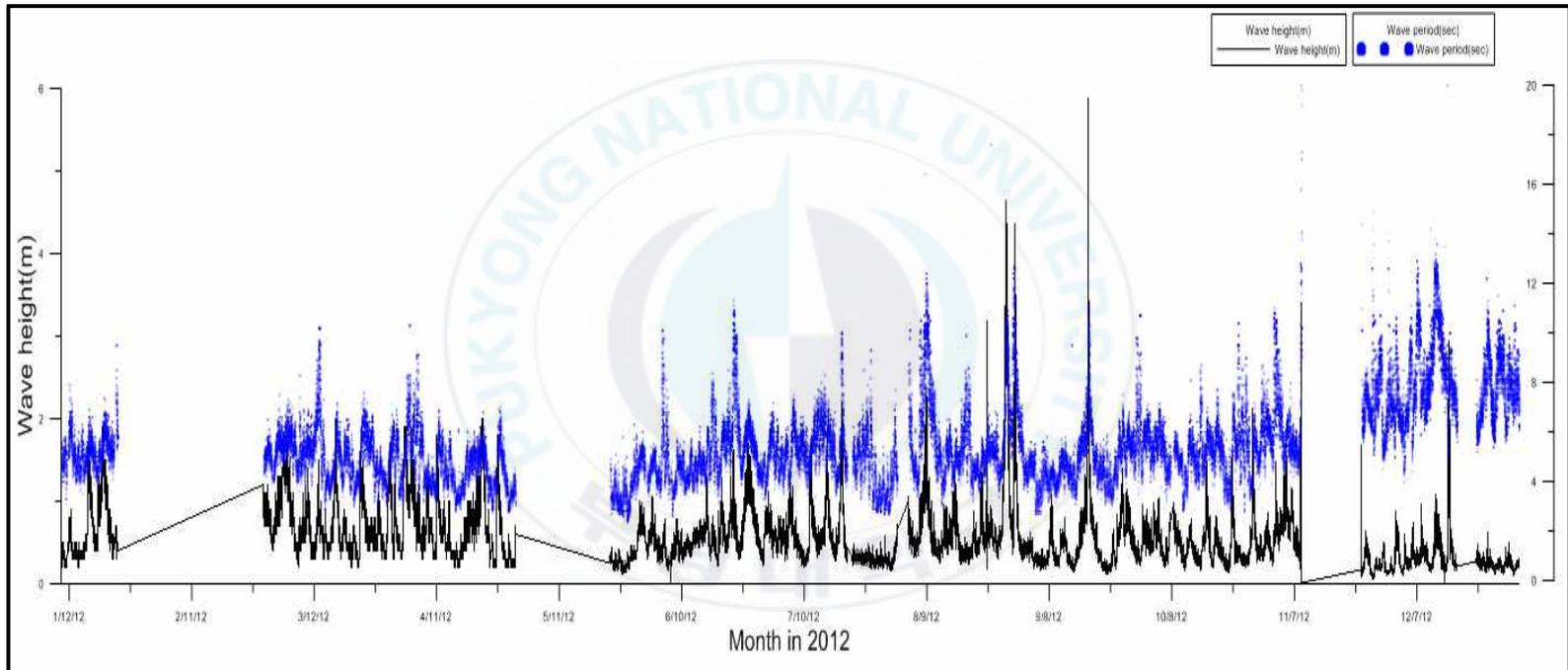


Fig. 2.6 Time series of wave height( $H_s$ ) and period( $T_s$ ) (2012).

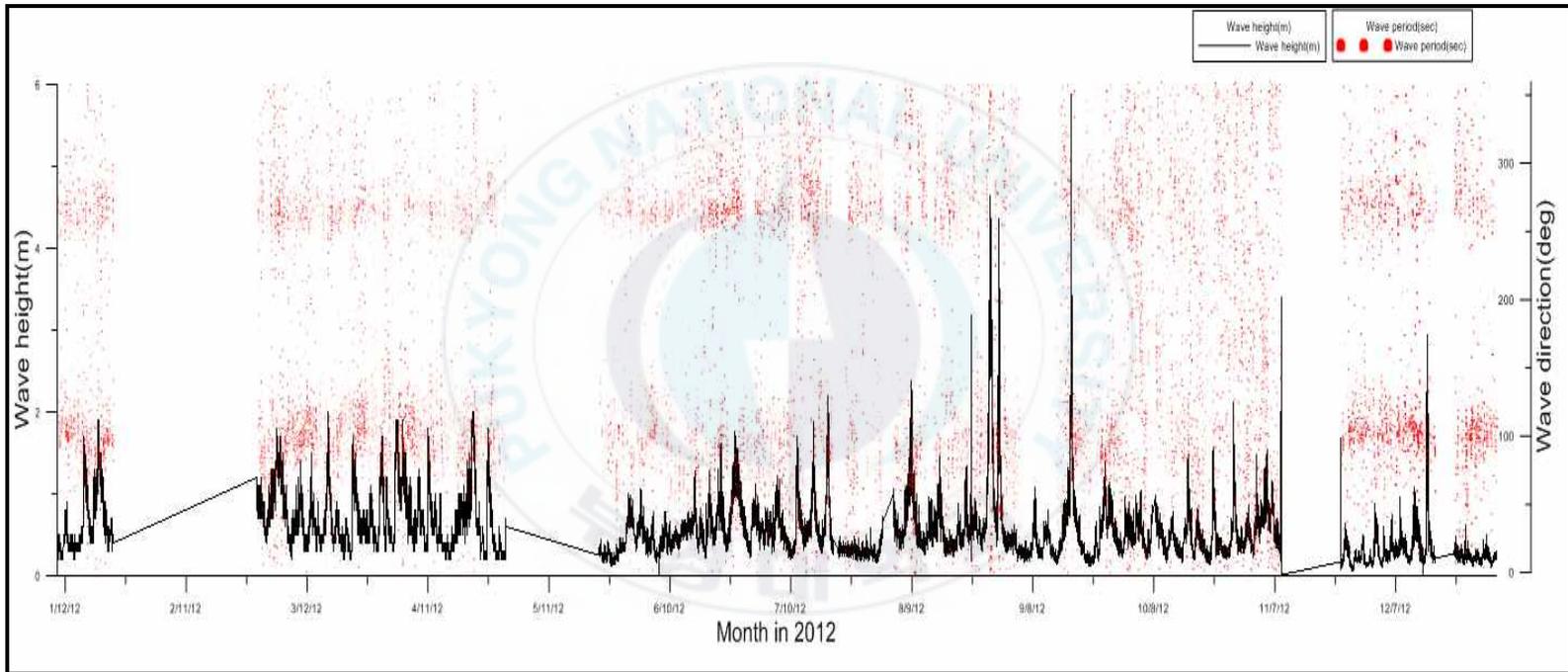


Fig. 2.7 Time series of wave height( $H_s$ ) and direction (2012).

## 나) 해운대 해수욕장의 2013년 파랑특성

해운대 해수욕장의 2013년의 파랑특성은 2013년 3월~2014년 2월의 국립해양조사원의 해운대해수욕장 해양관측부이에서 실시간으로 관측되어진 유의파고( )와 주기( $T_s$ )를 이용하여 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ )를 구하여 나타내었다. Table. 2.4에서 볼 수 있듯이 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )은 3.35m 주기( $T_{s,max}$ )는 12.90sec로서 10월 4일에 발생한 태풍 다나스(DANAS)의 영향으로 예상된다. 하지만 그 세력이 약해 3.35m의 유의파고 값이 발생하였고 Fig. 2.11의 시계열 유의파고-주기 그래프에서도 큰 파랑시 유의파고 값을 확인할 수가 있다. Table. 2.4에서 1,2,3월의 데이터들은 국립해양조사원에서 데이터를 측정하지 못한 누락된 값이다. Fig. 2.8의 유의파고 빈도그래프를 보면 2013년 역시 0.2~0.4m 범위에서 33.63%의 빈도로 가장 높았다. Fig. 2.9의 유의파고-주기-빈도 3D그래프에서는 유의파고( $H_s$ ) 0.4~0.6m와 주기( $T_s$ ) 4~5sec일 때 11.25%의 빈도로 가장 높았다.

Table. 2.4 Monthly significant wave height statistics (2013)

2013													
Monthly Wave Height	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Hs,max	(m)	-	-	-	2.52	2.43	1.76	2.05	1.71	2.04	3.35	2.68	2.67
Ts,max	(sec)	-	-	-	7.50	7.40	6.90	8.50	7.50	9.30	12.90	6.60	12.50
Hs,1/3	(m)	-	-	-	0.53	0.51	0.70	0.88	0.67	0.85	1.14	0.71	0.97
Ts,1/3	(sec)	-	-	-	7.39	6.53	5.70	6.26	6.26	6.31	7.37	5.97	8.65
Hs,mean	(m)	-	-	-	0.31	0.27	0.46	0.61	0.44	0.58	0.71	0.48	0.61
Ts,mean	(sec)	-	-	-	6.55	6.63	5.02	5.31	5.29	5.42	6.22	5.64	6.81
Hs,1/10	(m)	-	-	-	0.82	0.90	0.95	1.16	0.89	1.04	1.51	1.14	1.40
Ts,1/10	(sec)	-	-	-	8.56	6.83	6.65	7.35	7.36	6.94	8.96	6.74	10.35

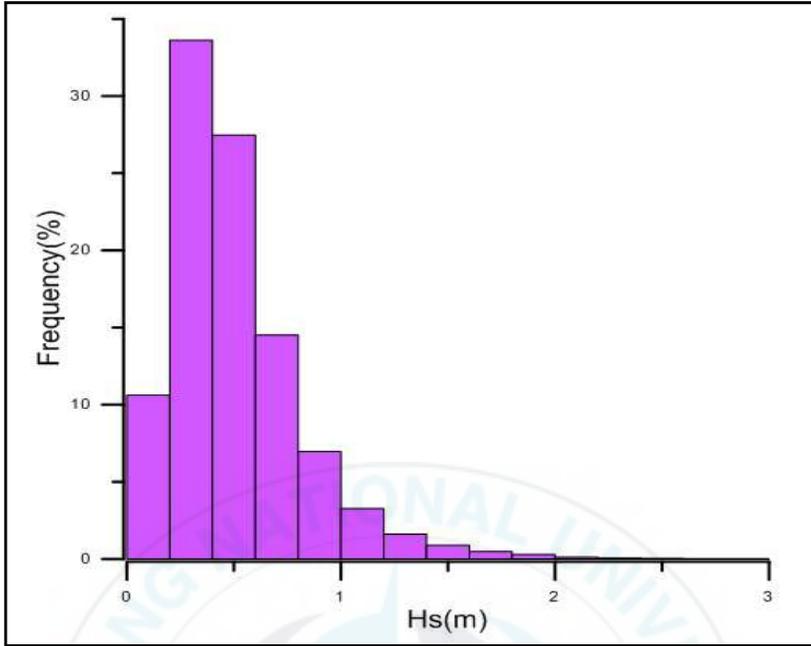


Fig. 2.8 Frequency of significant wave height (2013).

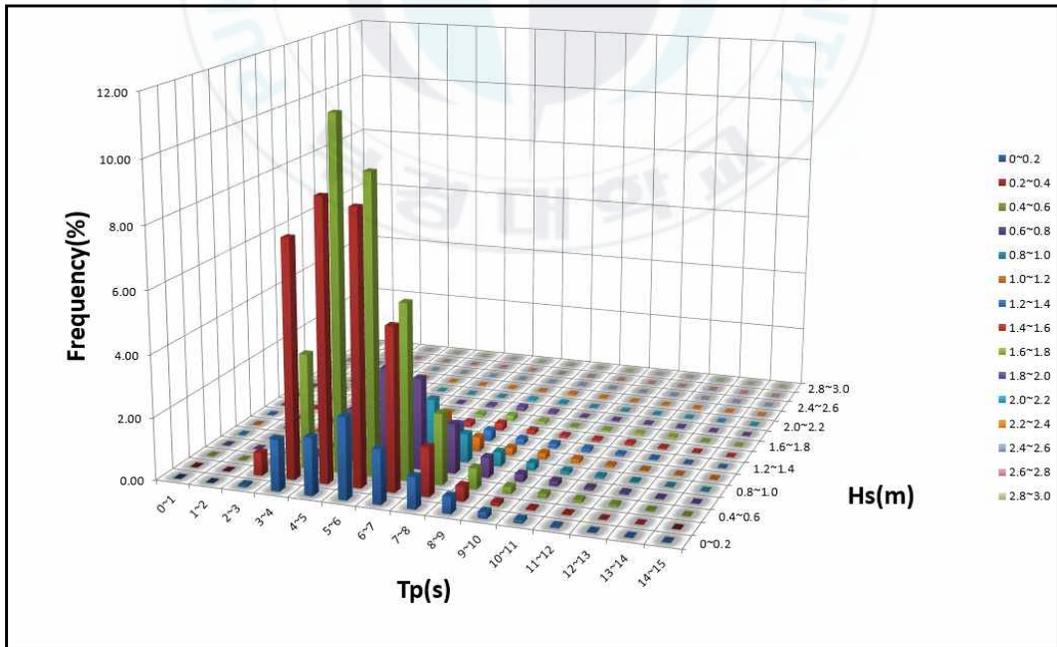


Fig. 2.9 Significant Wave-Period-Frequency 3D (2013).

Fig. 2.10는 2013년 유의파고 빈도확률 Fig. 2.8 그래프를 이용하여 확률을 누적해서 나타낸 파고 누적빈도그래프로써 2m부터 6m까지는 거의 같은 누적확률을 가지는 것으로 나타났고 이 그래프를 이용하여 누적확률에 따른 파고분포를 알 수가 있고 출현빈도에 따른 유의파고도 알 수가 있다. Table. 2.5는 2013년 유의파고와 주기자료를 1년 전체 평균하여 유의파고의 최대값과 주기( $H_{s,max}$ ,  $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 1/3평균값과 주기( $H_{s,1/3}$ ,  $T_{s,1/3}$ ), 유의파고의 상위 1/10평균값과 주기( $H_{s,1/10}$ ,  $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 평균값과 주기( $H_{s,mean}$ ,  $T_{s,mean}$ )를 구하여 나타낸 도표이고 Table. 2.6는 2013년 1년의 유의파고와 주기를 큰 값부터 차례대로 나열한 뒤 1년에 12시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 24시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 1주일을 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 한 달을 초과하는 유의파고와 주기를 각각구하여 나타낸 도표이다.

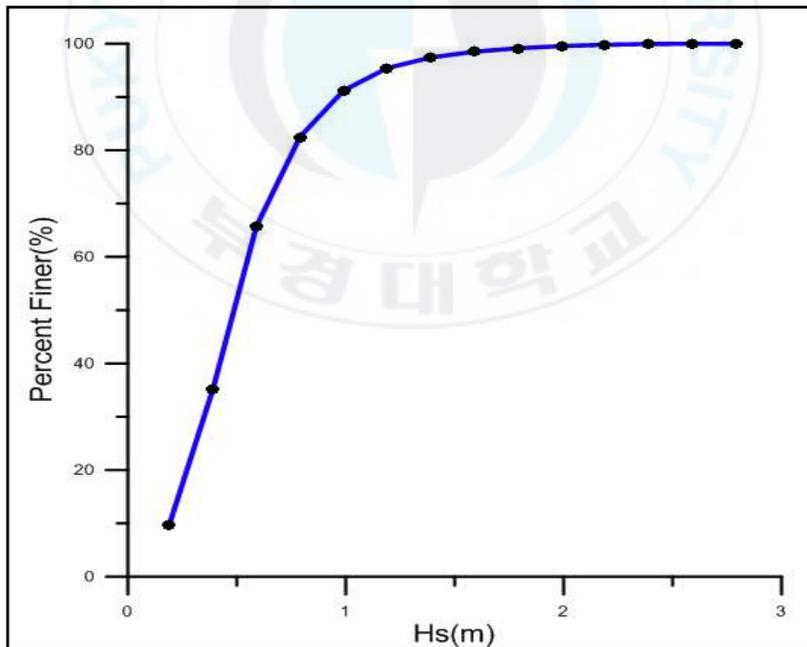


Fig. 2.10 Cumulative frequency of wave height (2013).

**Table 2.5 Statistics of representative waves (2013)**

Maximum Wave	Hs,max	3.35m
Maximum Period	Ts,max	12.9sec
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.19m
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	7.65sec
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.83m
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	6.66sec
Average Wave	Hs,mean	0.50m
Average Period	Ts,mean	5.88sec

**Table 2.6 Wave heights and periods of various appearance frequency (2013)**

	Wave Height(m)	Period(sec)
12hrs appearance frequency per year	2.18	6.30
24hrs appearance frequency per year	1.98	10.90
A week appearance frequency per year	1.39	8.30
A month appearance frequency per year	0.94	7.00
A 3 month appearance frequency per year	0.63	5.60
A 6 month appearance frequency per year	0.43	9.30

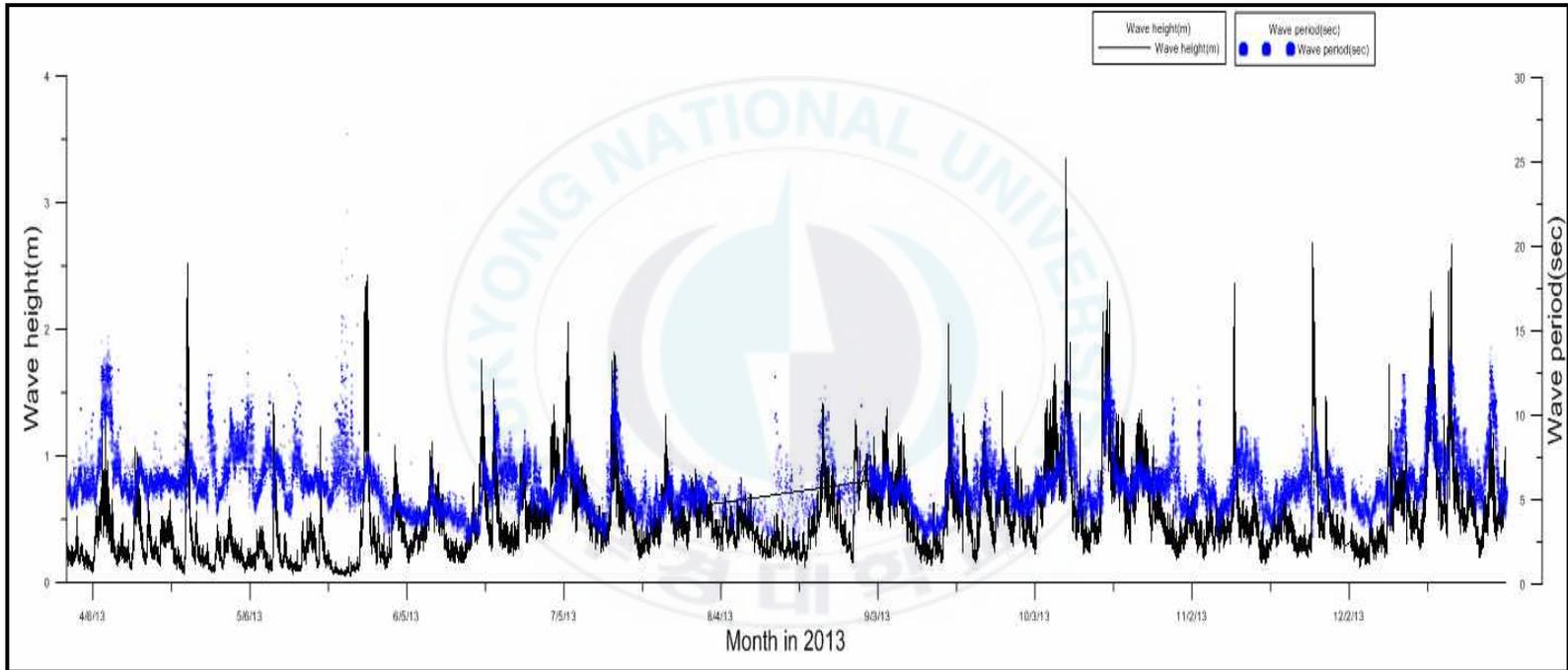


Fig. 2.11 Time series of wave height( $H_s$ ) and period( $T_s$ ) (2013).

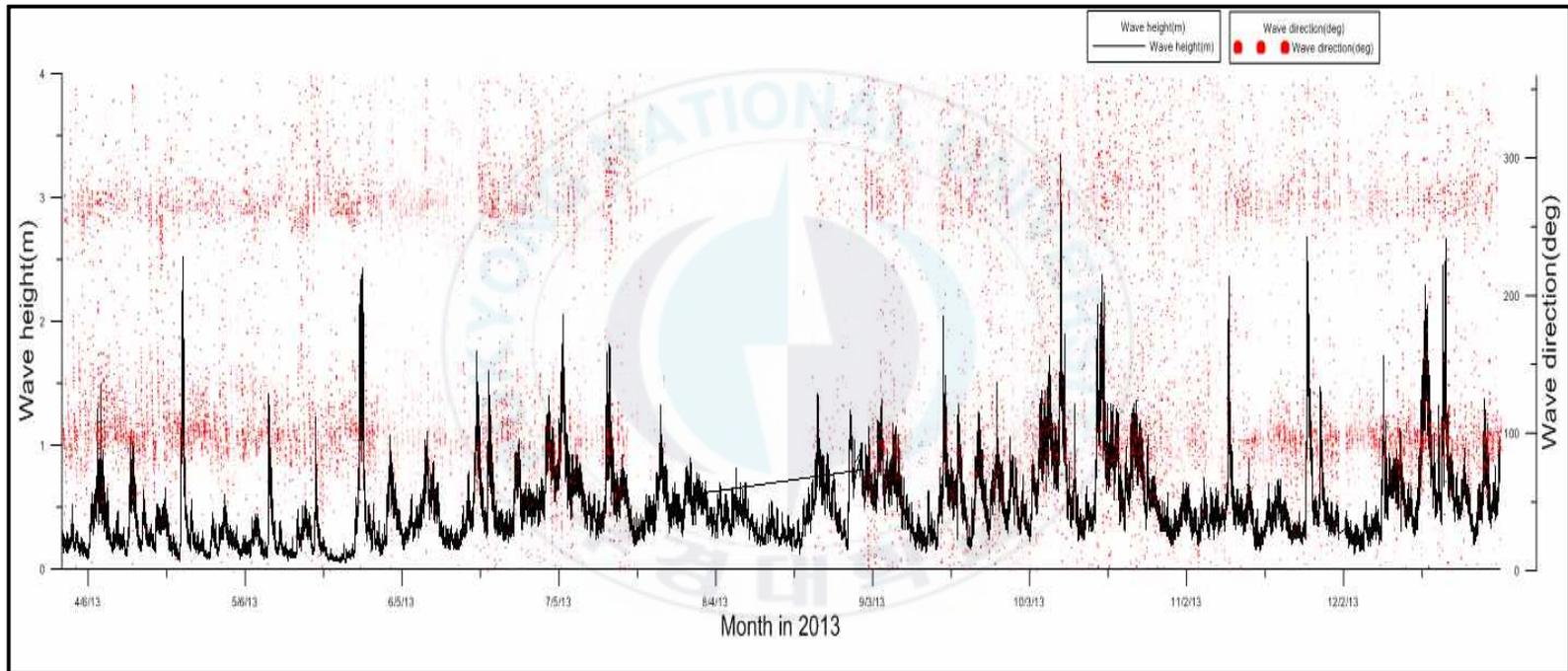


Fig. 2.12 Time series of wave height( $H_s$ ) and direction (2013).

#### 다) 해운대 해수욕장의 2014년 파랑특성

해운대 해수욕장의 2014년의 파랑특성은 2014년 3월~2015년 2월의 국립해양조사원의 해운대해수욕장 해양관측부이에서 실시간으로 관측되어진 유의파고( )와 주기( $T_s$ )를 이용하여 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ )를 구하여 나타내었다. Table. 2.7에서 볼 수 있듯이 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )은 3.67m 주기( $T_{s,max}$ )는 9.89sec로 10월 3일에 발생한 태풍 봉퐁(VONGFONG)의 영향을 받은 것으로 예상된다. 그리고 7월과 8월에는 7월 29일 발생한 태풍 할롱(HALONG)과 8월 2일에 발생한 태풍 나크리(NAKRI)의 영향으로 큰 파랑이 나타난 것으로 예상된다. 이는 Fig. 2.16의 시계열 유의파고-주기 그래프에서도 확인할 수가 있다. Fig. 2.13 유의파고의 빈도그래프를 보면 0.4~0.6m 범위의 유의파고가 31.98%의 빈도로 나타나 앞전의 2012년과 2013년에 비해 조금 큰 파랑이 자주 출현한 것을 알 수 가있다. Fig. 2.14 유의파고-주기-빈도 3D 그래프를 보면 유의파고( $H_s$ ) 0.2~0.4m 주기( $T_s$ ) 4~5sec일 때 10.98%의 빈도로 가장 높게 나타났다.

Table 2.7 Monthly significant wave height statistics (2014)

2014													
Monthly Wave Height	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Hs,max	(m)	1.41	2.90	2.55	2.46	3.09	1.56	3.06	3.64	2.26	3.67	2.73	1.66
Ts,max	(sec)	6.23	9.22	10.17	7.23	7.65	6.39	11.50	11.43	6.20	9.89	7.73	12.75
Hs,1/3	(m)	0.73	1.40	0.99	0.90	0.82	0.69	0.81	1.33	0.92	1.44	0.70	0.62
Ts,1/3	(sec)	6.35	7.43	6.25	6.27	5.23	5.23	6.91	6.92	5.95	7.74	5.80	7.41
Hs,mean	(m)	0.49	0.85	0.64	0.54	0.54	0.47	0.51	0.79	0.61	0.79	0.45	0.45
Ts,mean	(sec)	5.90	6.44	5.71	5.12	4.87	4.71	5.68	5.98	5.24	6.01	5.70	6.56
Hs,1/10	(m)	0.96	1.85	1.31	1.37	1.18	0.88	1.25	2.01	1.15	1.99	1.05	0.85
Ts,1/10	(sec)	6.50	7.84	7.22	6.98	5.78	5.81	8.37	8.49	6.80	8.92	6.35	9.64

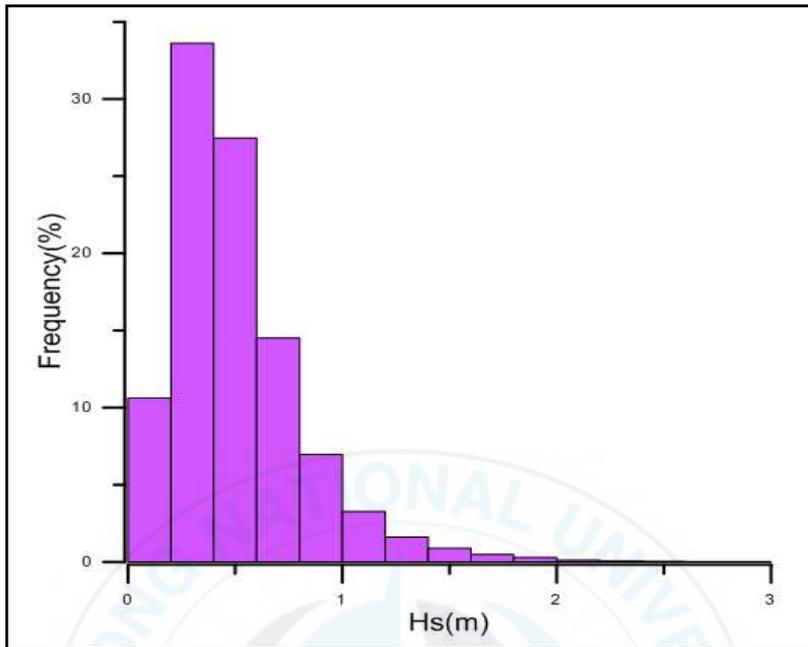


Fig. 2.13 Frequency of significant wave height (2014).

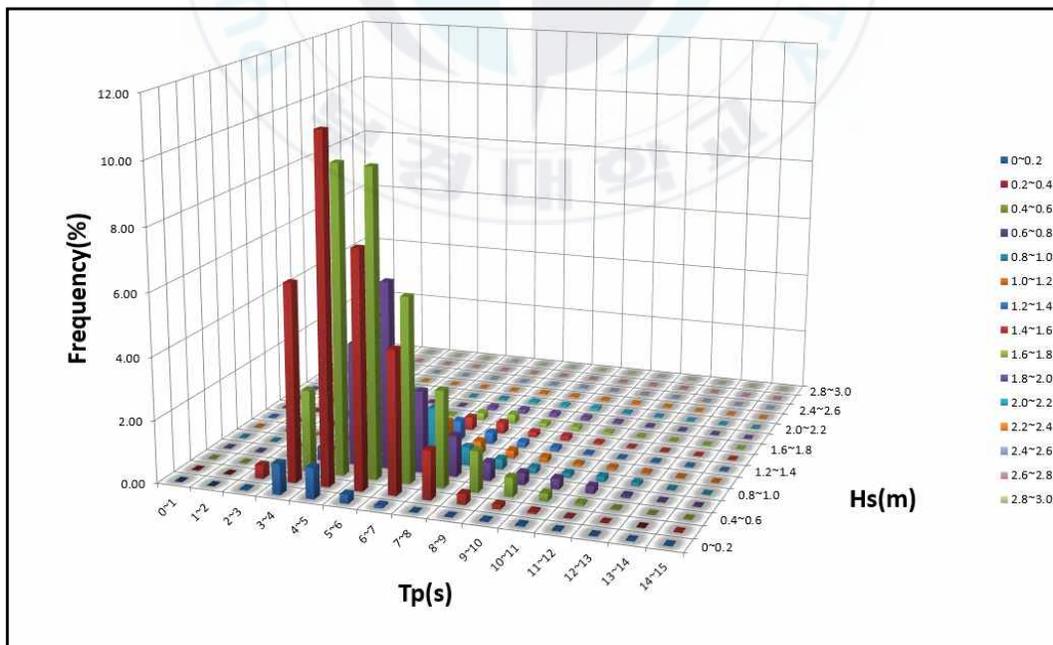


Fig. 2.14 Significant Wave-Period-Frequency 3D (2014).

Fig. 2.15는 2014년 유의파고 빈도확률을 누적해서 나타낸 파고 누적빈도그래프로 출현빈도에 따른 유의파고를 알 수가 있다. Table. 2.8은 2014년 유의파고와 주기자료를 통계값을 내어 유의파고의 최대값과 주기( $H_{s,max}, T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 1/3평균값과 주기( $H_{s,1/3}, T_{s,1/3}$ ), 유의파고의 상위 1/10평균값과 주기( $H_{s,1/10}, T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 평균값과 주기( $H_{s,mean}, T_{s,mean}$ )를 구하여 나타낸 도표이고 Table. 2.9는 2014년 1년의 유의파고와 주기를 큰 값부터 차례대로 나열한 뒤 1년에 12시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 24시간 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 1주일을 초과하는 유의파고와 주기, 1년에 한 달을 초과하는 유의파고와 주기를 각각 구하여 나타낸 도표이다.

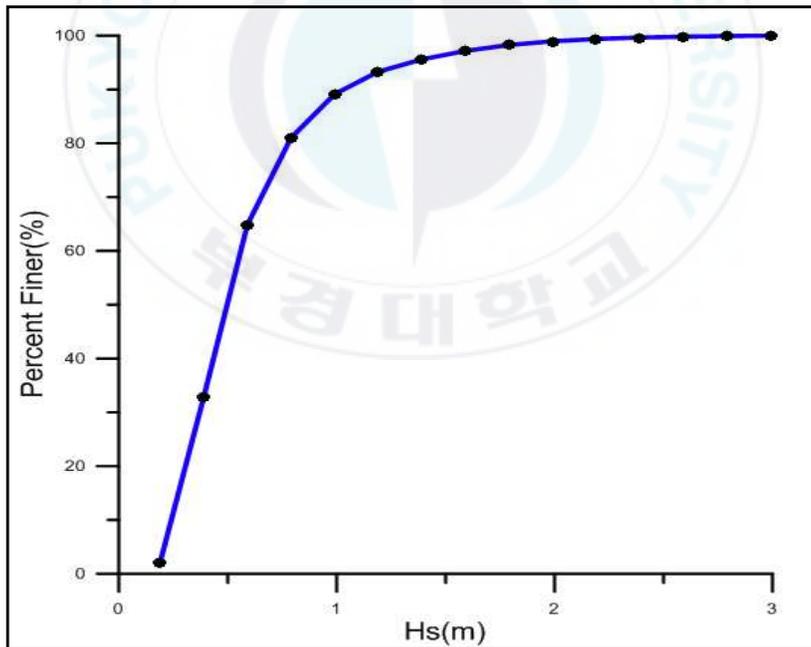


Fig. 2.15 Cumulative frequency of wave height (2014).

**Table 2.8 Statistics of representative waves (2014)**

Maximum Wave	Hs,max	3.67m
Maximum Period	Ts,max	9.89sec
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.47m
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	7.61sec
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.98m
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	6.50sec
Average Wave	Hs,mean	0.59m
Average Period	Ts,mean	5.66sec

**Table 2.9 Wave heights and periods of various appearance frequency (2014)**

	Wave Height(m)	Period(sec)
12hrs appearance frequency per year	2.84	11.06
24hrs appearance frequency per year	2.6	9.35
A week appearance frequency per year	1.77	10.41
A month appearance frequency per year	1.1	6.25
A 3 month appearance frequency per year	0.7	10.25
A 6 month appearance frequency per year	0.49	4.63

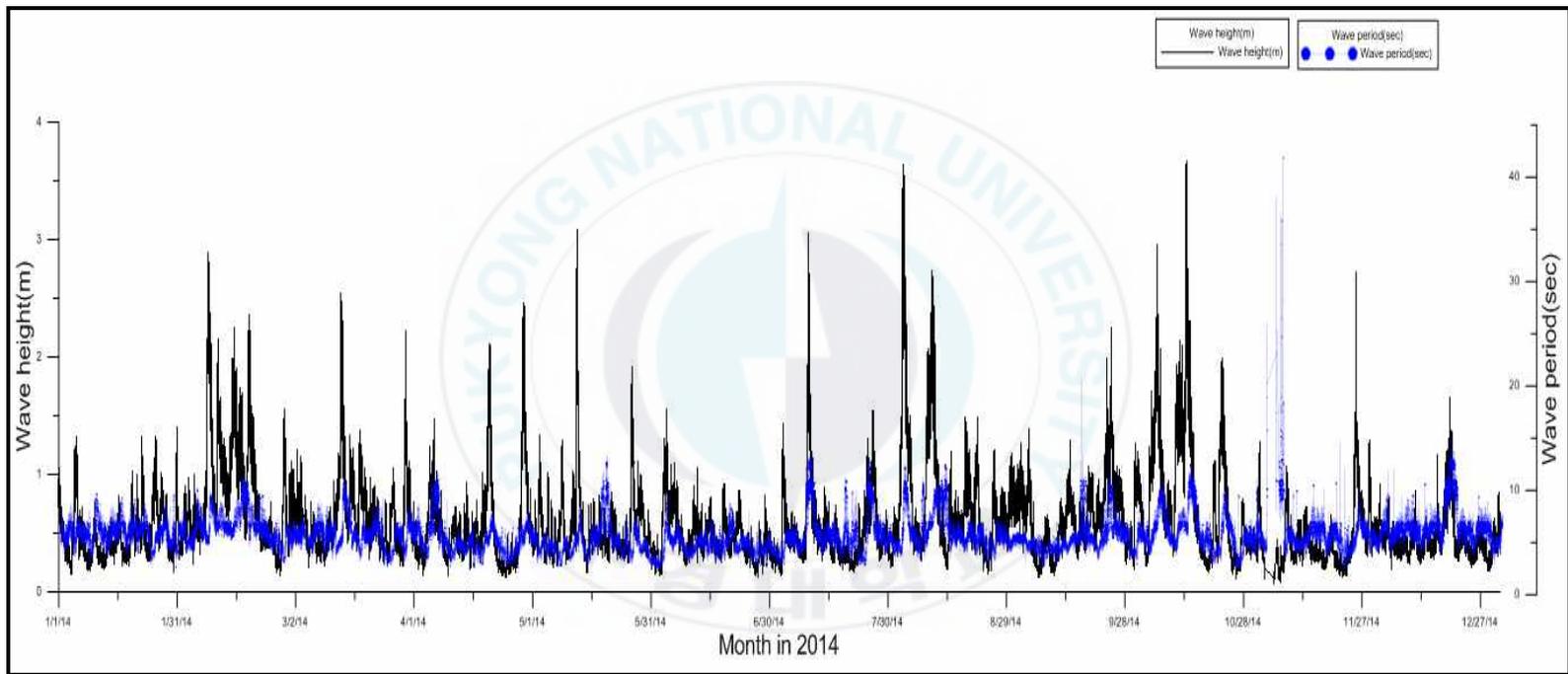


Fig. 2.16 Time series of wave height( $H_s$ ) and period( $T_s$ ) (2014).

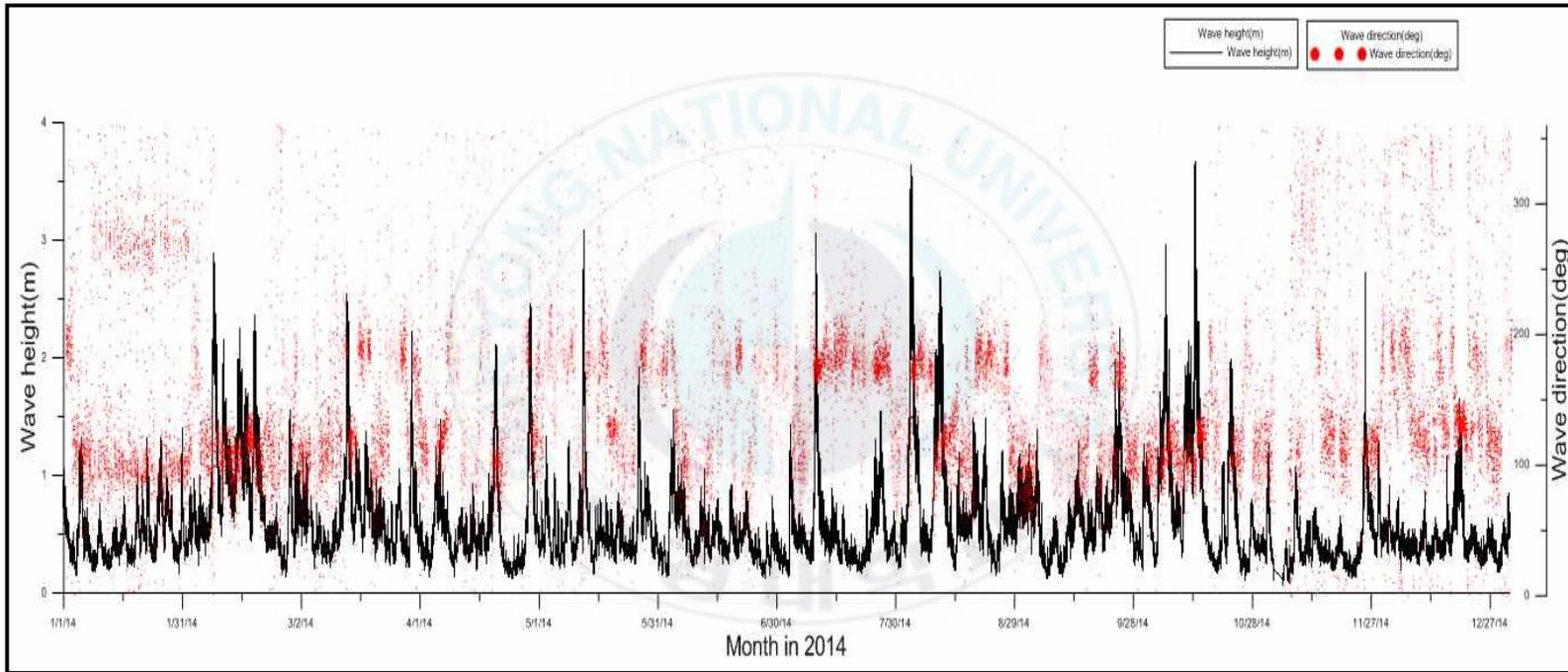


Fig. 2.17 Time series of wave height( $H_s$ ) and direction (2014).

라) 해운대 해수욕장의 2015년 파랑특성

해운대 해수욕장의 2015년의 파랑특성은 2015년 3월~2016년 2월의 국립해양조사원의 해운대해수욕장 해양관측부이에서 실시간으로 관측되어진 유의파고( )와 주기( $T_s$ )를 이용하여 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ )를 구하여 나타내었다. Table. 2.10에서 볼 수 있듯이 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )은 4.29m 주기( $T_{s,max}$ )는 12.10sec로 우리나라에 직간접적인 영향을 준 태풍이 없었음에도 불구하고 4.29m의 큰 유의파고가 출현하였다. 이는 Fig. 2.17의 시계열 유의파고-주기 그래프에서도 확인할 수가 있다. Table. 2.10에서 4월의 데이터들은 국립해양조사원에서 데이터를 측정하지 못한 누락된 값이다. Fig. 2.18 유의파고의 빈도그래프를 보면 0.2~0.4m 범위의 유의파고가 36.34%의 빈도로 나타나는 것을 확인할 수가 있다. Fig. 2.19 유의파고-주기-빈도 3D 그래프를 보면 유의파고( $H_s$ ) 0.2~0.4m 주기( $T_s$ ) 4~5sec일 때 14.81%의 빈도로 가장 높게 나타났다.

Table. 2.10 Monthly significant wave height statistics (2015)

2015													
Monthly Wave Height	Unit	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Hs,max	(m)	1.61	3.40	1.25	-	2.06	1.62	3.04	4.29	2.29	2.64	2.25	1.36
Ts,max	(sec)	6.00	-	-	-	20.00	11.20	11.40	12.10	8.80	6.60	7.20	8.80
Hs,1/3	(m)	0.74	0.81	0.72	-	0.33	0.68	1.07	0.88	1.46	0.80	1.07	0.74
Ts,1/3	(sec)	7.26	6.82	6.67	-	5.04	5.87	7.11	7.49	7.91	5.97	7.35	6.13
Hs,mean	(m)	0.53	0.56	0.48	-	0.28	0.41	0.69	0.52	0.80	0.50	0.64	0.48
Ts,mean	(sec)	6.66	6.37	5.81	-	4.22	4.98	6.05	5.80	6.14	5.29	6.22	5.56
Hs,1/10	(m)	0.95	1.14	0.86	-	1.27	0.84	1.77	1.31	1.76	1.12	1.42	0.96
Ts,1/10	(sec)	7.14	6.37	6.99	-	11.11	6.54	9.06	8.37	8.32	6.66	7.46	6.72

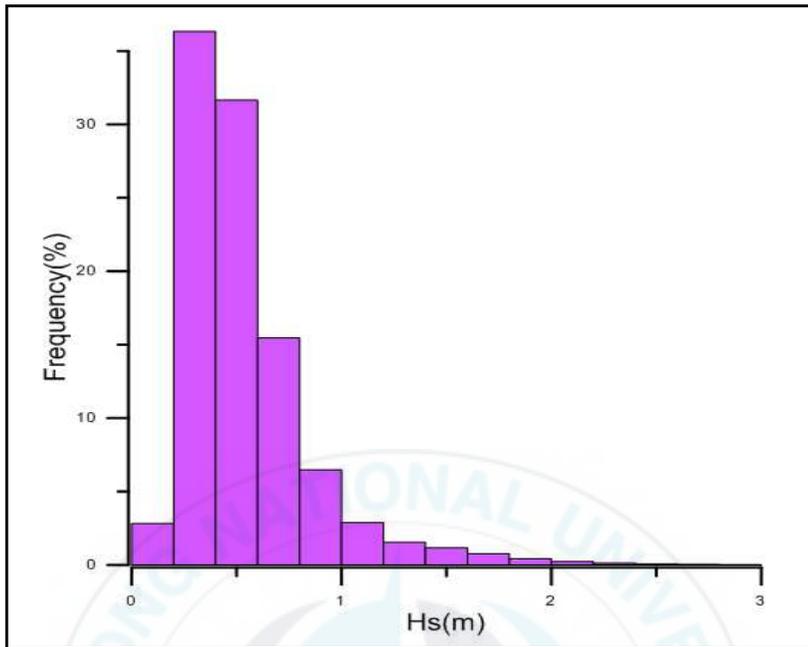


Fig. 2.18 Frequency of significant wave height (2015).

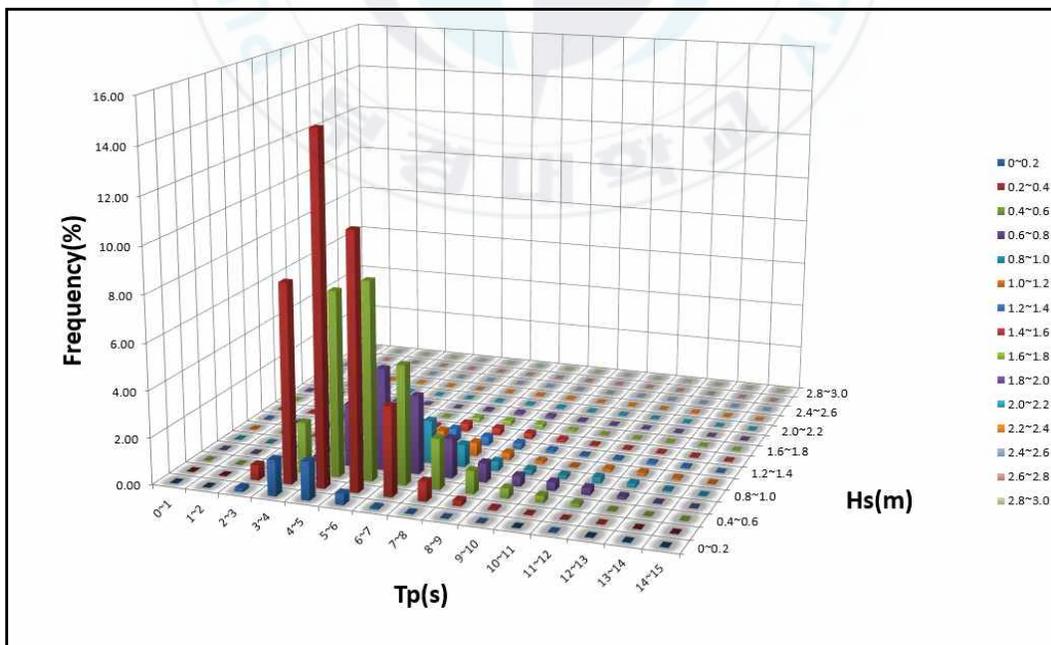


Fig. 2.19 Significant Wave-Period-Frequency 3D (2015).

Fig. 2.20은 Fig.2.18의 파고빈도그래프를 이용한 파고누적빈도그래프로서 누적빈도확률에 따른 파고와 출현빈도에 따른 파고를 알 수가 있다. 2015년 2월 ~2016년 3월까지의 2015년 파랑데이터를 1년 전체의 통계데이터를 분석하여 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ )를 Table. 2.6에 나타내었다. 1년 동안  $H_{s,max}$ 과 주기  $T_{s,max}$ 는 각각 4.5m와 9.4sec이고  $H_{s,1/10}$ 과  $T_{s,1/10}$ 는 각각 1.29m와 7.82sec,  $H_{s,1/3}$ 과  $T_{s,1/3}$ 는 각각 0.87m와 6.85sec,  $H_{s,mean}$ 과  $T_{s,mean}$ 은 각각 0.53m와 5.68sec로 나타났다. 그리고 Table. 2.7에 2015년 파랑데이터로 1년에 12시간 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 24시간 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 1주일 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 한달 초과하는 확률로 나타나는 파고를 각각 산정하여 나타내었다.

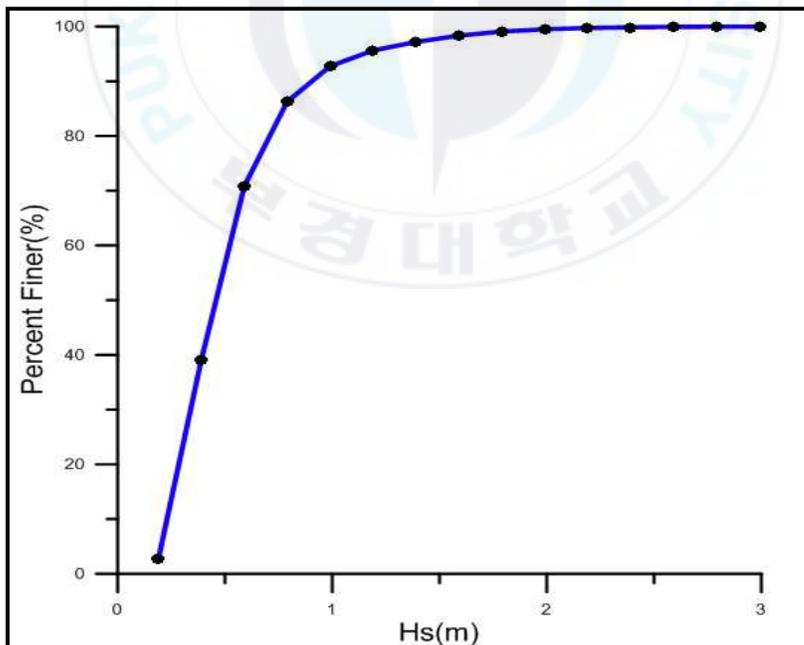


Fig. 2.20 Cumulative frequency of wave height (2015).

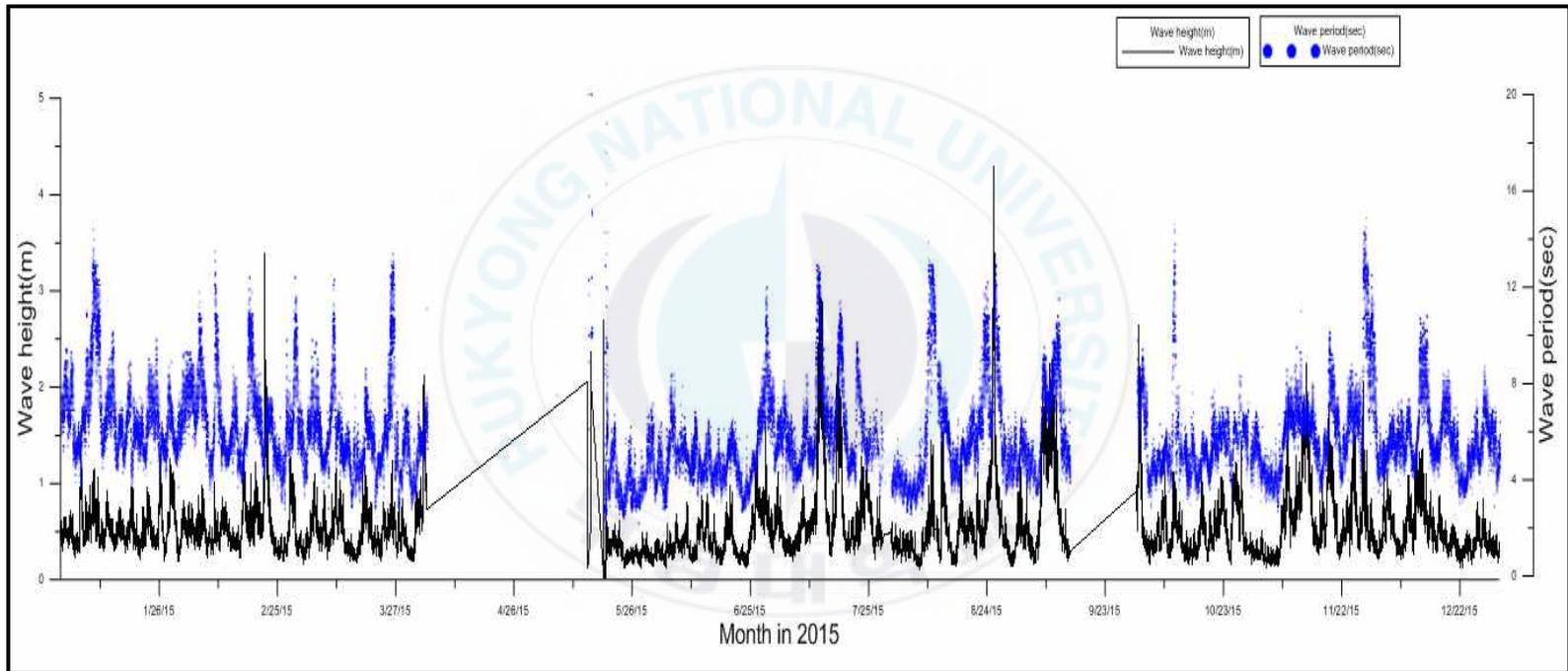


Fig. 2.21 Time series of wave height( $H_s$ ) and period( $T_s$ ) (2015).

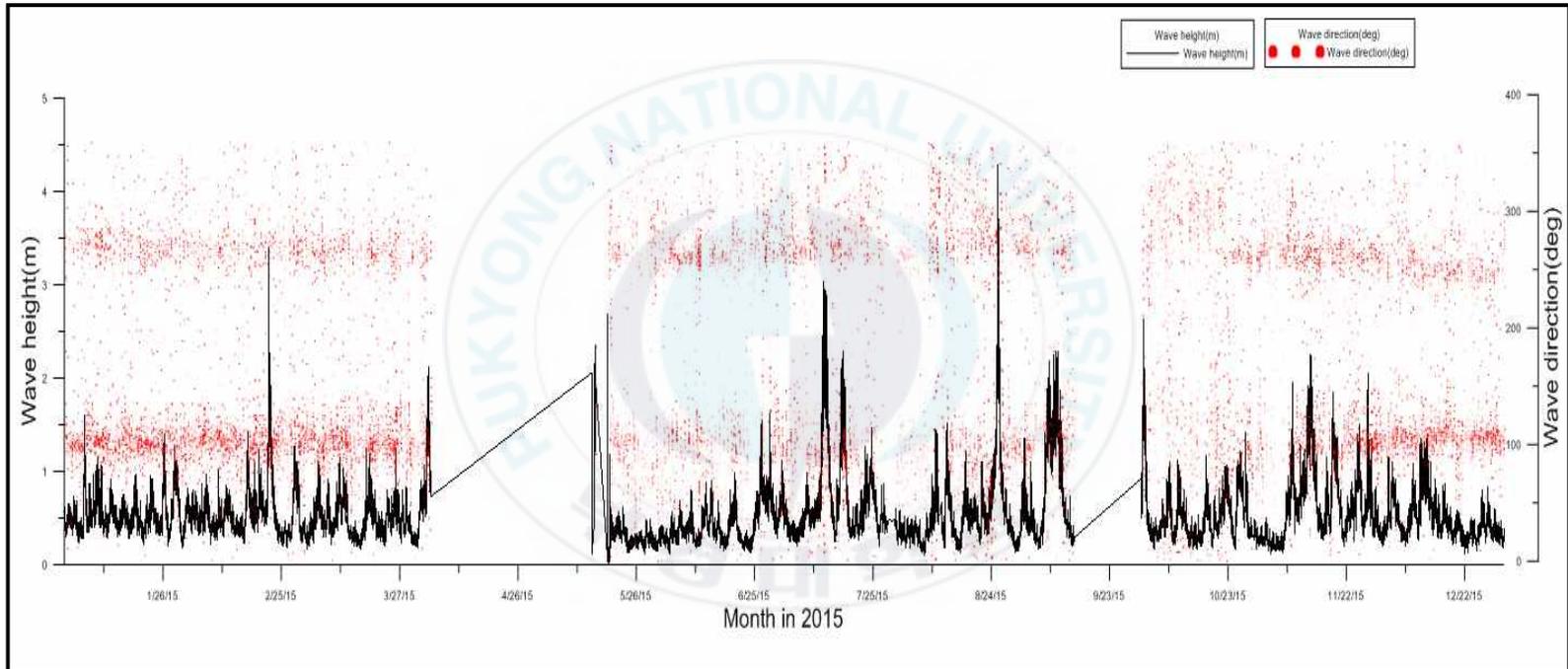


Fig. 2.22 Time series of wave height( $H_s$ ) and direction (2015).

**Table 2.11 Statistics of representative waves (2015)**

Maximum Wave	Hs,max	4.5m
Maximum Period	Ts,max	9.4sec
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.29m
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	7.82sec
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.87m
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	6.85sec
Average Wave	Hs,mean	0.53m
Average Period	Ts,mean	5.68sec

**Table 2.12 Wave heights and periods of various appearance frequency (2015)**

	Wave Height(m)	Period(sec)
12hrs appearance frequency per year	2.49	9
24hrs appearance frequency per year	2.24	9.4
A week appearance frequency per year	1.56	6.7
A month appearance frequency per year	0.95	6.3
A 3 month appearance frequency per year	0.63	8.5
A 6 month appearance frequency per year	0.45	5.4

마) 해운대 해수욕장의 년 평균(2012~2015) 파랑특성

앞 절에서 2012년부터 2015년까지의 년도 별로 해운대해수욕장의 파랑특성에 대해서 언급하였다. 일반적으로 모래이동한계수심 산정을 위해 어느 특정한 년도보다는 장기간에 걸친 년 평균 대표파를 사용하는 것이 보다 바람직하다. 2012년부터 2015년까지의 평균 대표파를 산정을 해보면 Table 2.13과 Table 2.14과 같다.

Table 2.13 Statistical value significant wave height (2012~2015)

Maximum Wave	Hs,max	4.30m
Maximum Period	Ts,max	11.42sec
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.35m
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	7.25sec
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.91m
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	6.43sec
Average Wave	Hs,mean	0.54m
Average Period	Ts,mean	5.68sec

Table 2.14 Wave heights and periods of various appearance frequency (2012~2015)

	Wave Height(m)	Period(sec)
12hrs appearance frequency per year	2.76	8.87
24hrs appearance frequency per year	2.44	9.61
A week appearance frequency per year	1.58	7.93
A month appearance frequency per year	1.00	6.06
A 3 month appearance frequency per year	0.66	7.54
A 6 month appearance frequency per year	0.46	5.86

Table. 2.13은 2012년부터 2015년까지의 파랑데이터 중 유의파고와 주기 값을 이용하여 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ )를 각각 산정하여 나타낸 도표이다. 4년 동안  $H_{s,max}$ 과 주기  $T_{s,max}$ 는 각각 4.30m와 11.42sec이고  $H_{s,1/10}$ 과  $T_{s,1/10}$ 는 각각 1.35m와 7.25sec,  $H_{s,1/3}$ 과  $T_{s,1/3}$ 는 각각 0.91m와 6.43sec,  $H_{s,mean}$ 과  $T_{s,mean}$ 은 각각 0.54m와 5.68sec로 나타났다. 그리고 Table. 2.14에 2012년~2015년 파랑데이터로 1년에 12시간 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 24시간 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 1주일 초과하는 확률로 나타나는 파고, 1년에 한달 초과하는 확률로 나타나는 파고를 각각 산정하여 나타내었다. Figure. 2.23은 2012년~2015년까지의 유의파고의 빈도그래프를 나타낸 그림이다. 유의파고 0.2m~0.4m 범위에서 32.74%의 크기로 가장 큰 빈도가 나타났다.

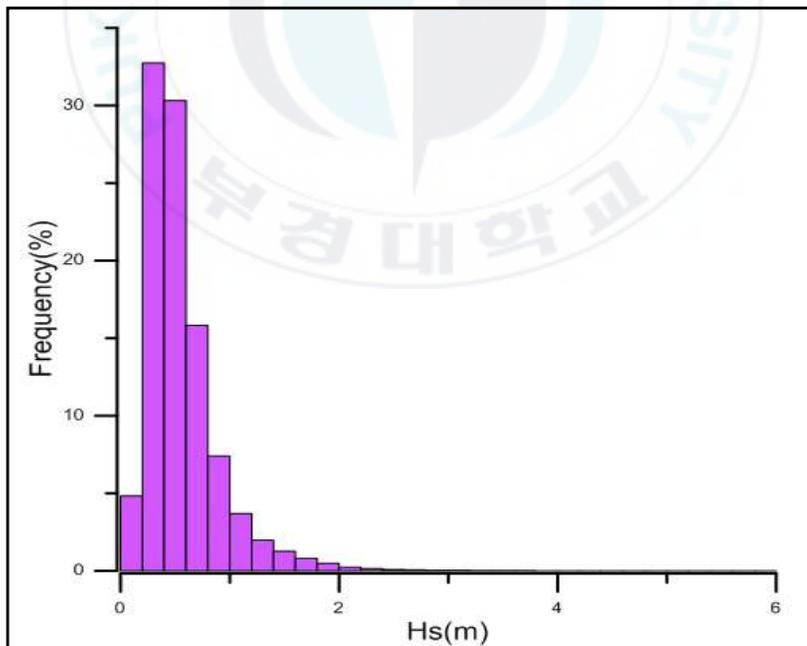


Fig. 2.23 Frequency of significant wave height (2012~2015).

그리고 Fig. 2.23의 빈도그래프를 이용하여 파고빈도누적빈도 그래프를 나타내어보면 Fig. 2.24와 같이 나타나는데 이 그래프에서  $\bar{H}_s$ ,mean = 0.54m,  $H_{s,50} = 0.47m$ ,  $H_{s,65} = 0.57m$ ,  $H_{s,80} = 0.77m$ ,  $H_{s,90} = 0.99m$ ,  $H_{s,100} = 5.89m$ 로 각각 위와 같은 누적확률에 따른 유의파고 값이 나왔다. 그리고 Fig. 2.25~ Fig. 2.28는 2012년~2015년까지 유의파고와 파향자료를 이용하여 파랑장미도를 계절별로 나타내었고, Fig. 2.29는 2012년~2015년의 모든 파향자료를 이용한 파랑장미도이다. 계절별 파랑장미도를 보면 동계에는 ESE파향이 우세, 춘계에는 ESE, S파향이 우세, 하계에는 S파향이 우세 마지막으로 추계에는 ESE 파향이 우세함을 볼 수가 있다. 그리고 전체 파랑장미도를 통해서 ESE 계열 파랑의 출현빈도는 46.7%, S계열 파랑의 출현빈도는 41.6%로 나타나는 것을 볼 수가 있다.

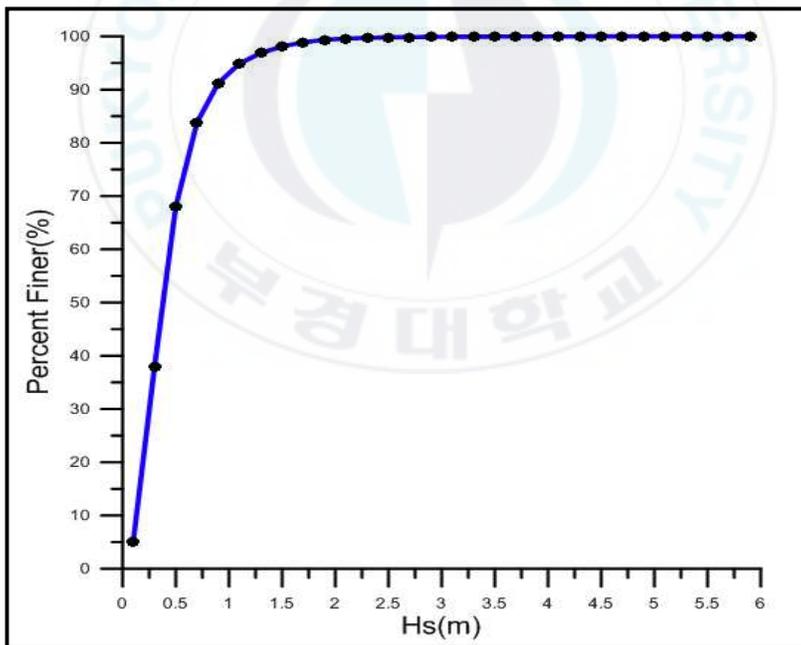


Fig. 2.24 Cumulative frequency of wave height (2012~2015).

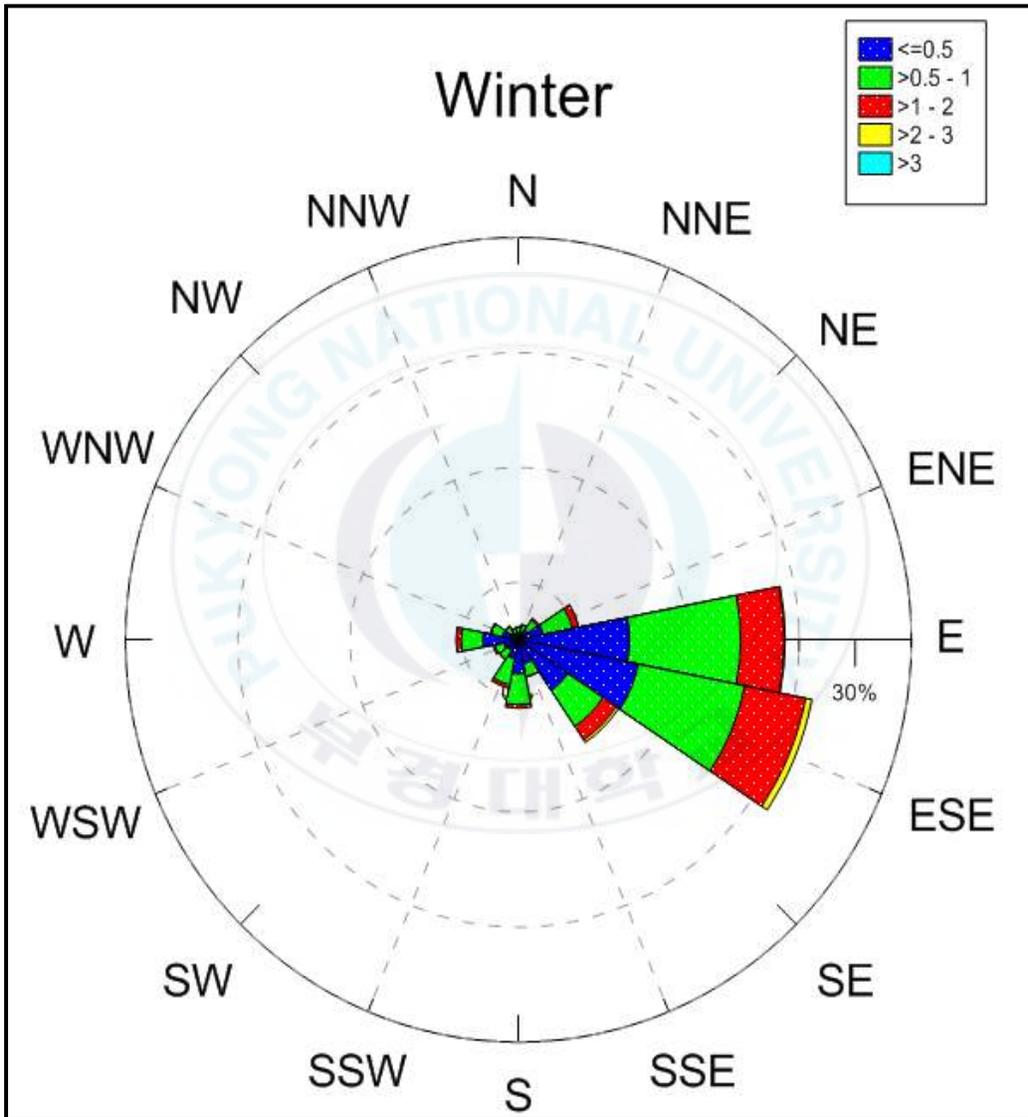


Fig. 2.25 Wave rose diagram in Winter (2012~2015).

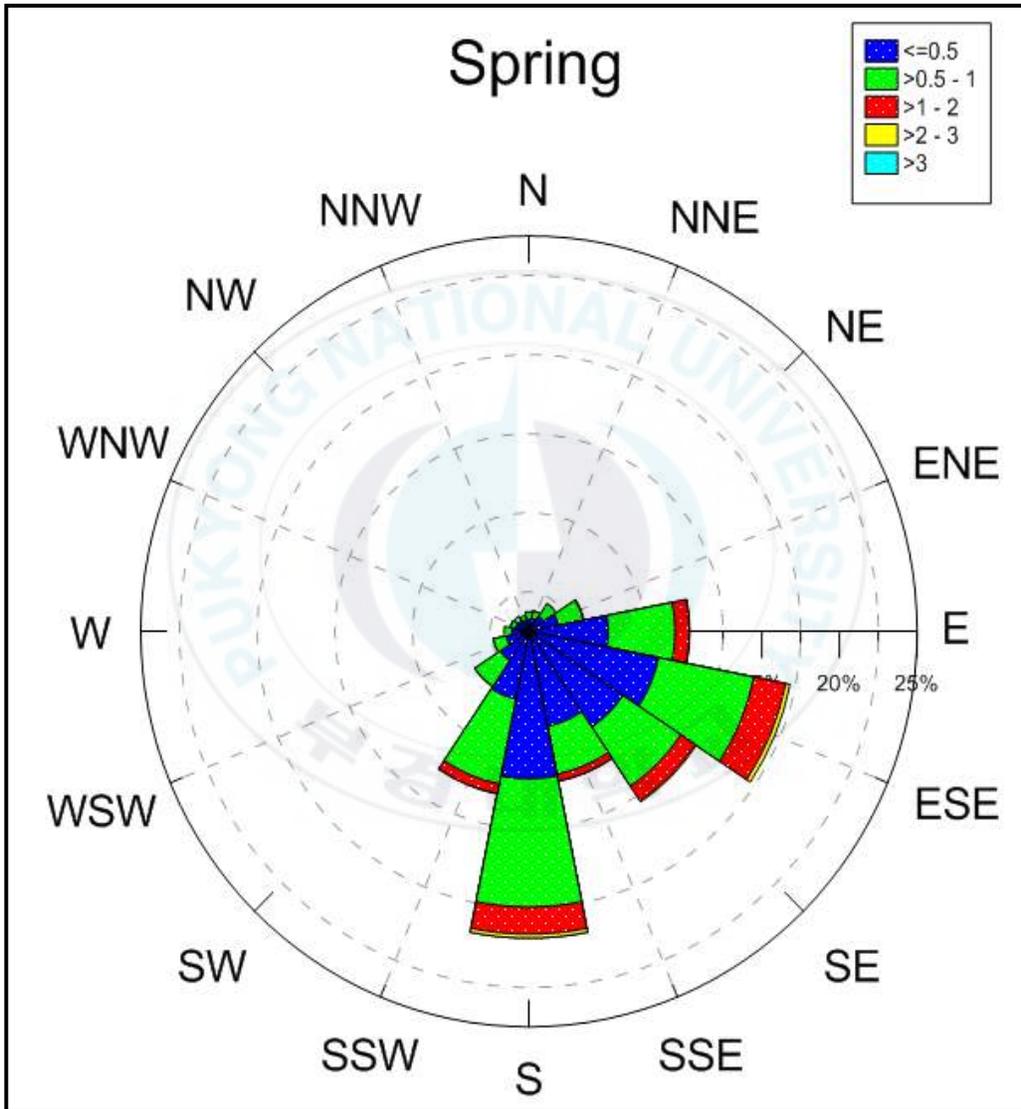


Fig. 2.26 Wave rose diagram in Spring (2012~2015).

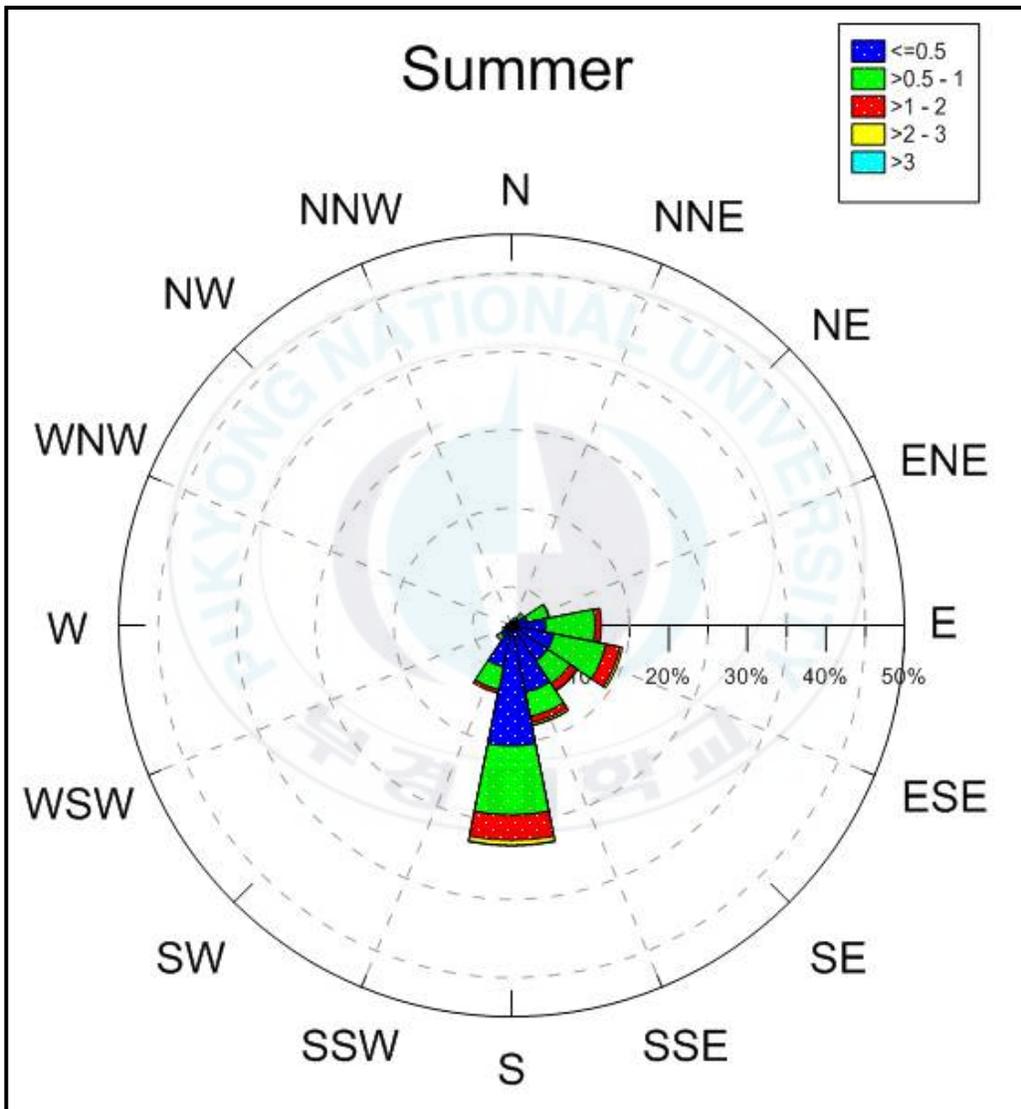


Fig. 2.27 Wave rose diagram in Summer (2012~2015).

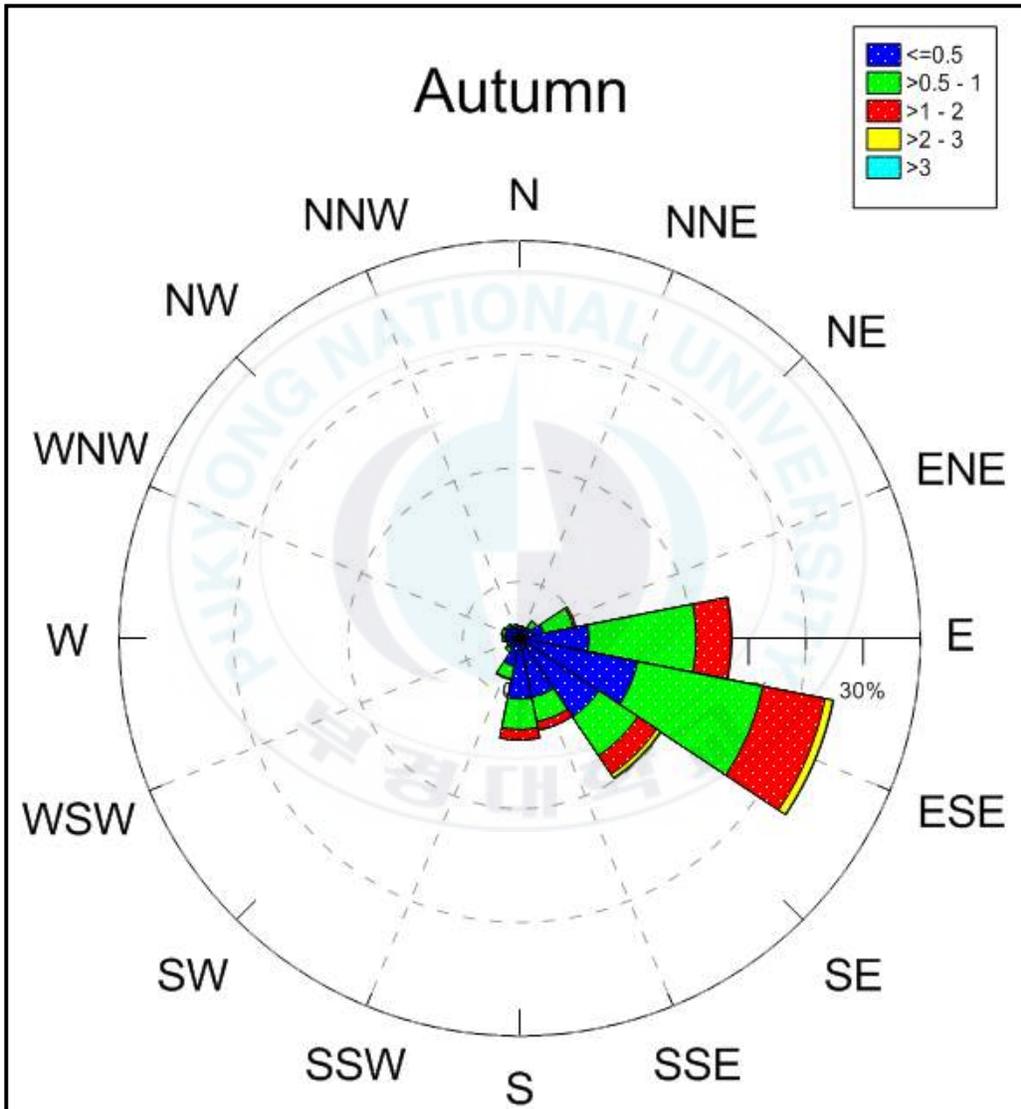


Fig. 2.28 Wave rose diagram in Autumn (2012~2015).

# 2012~2015

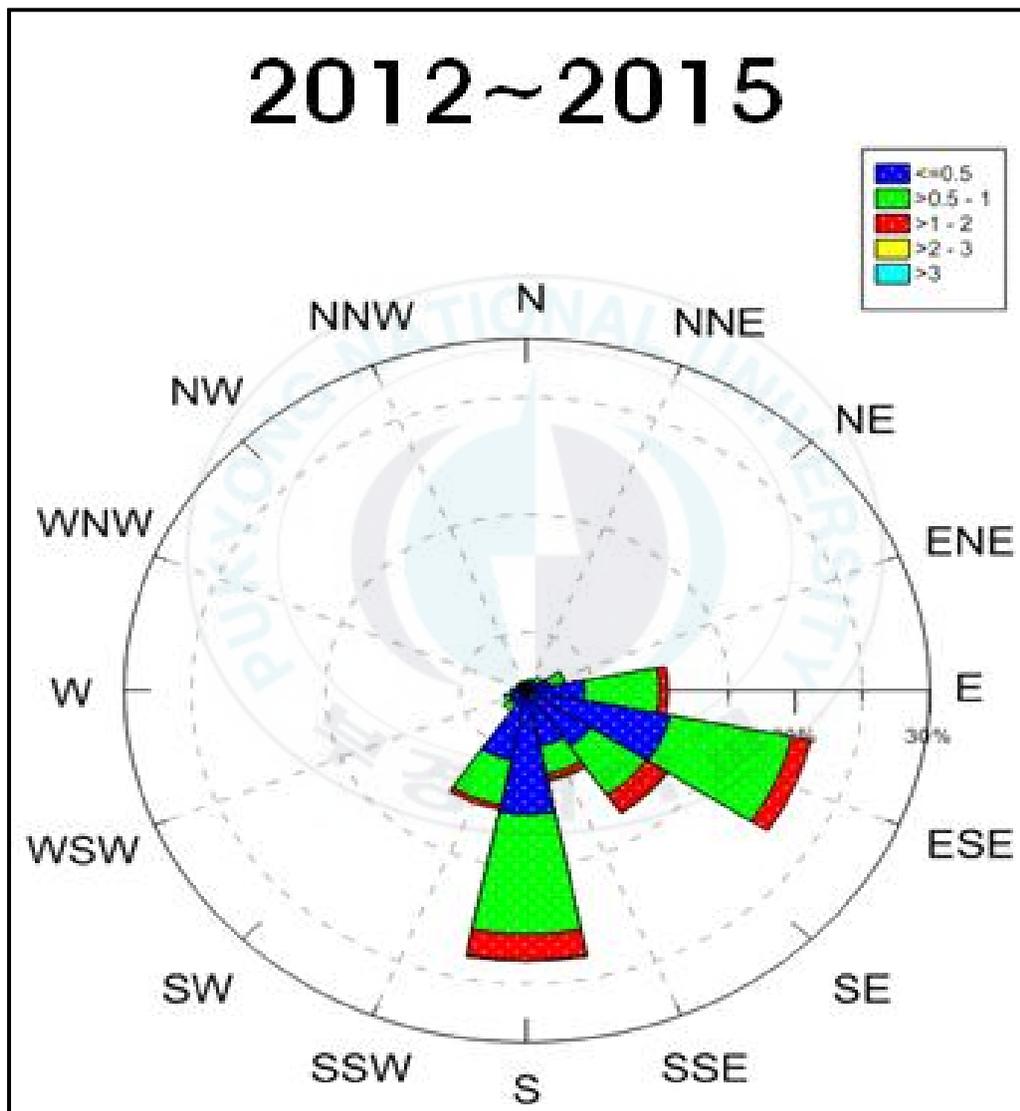


Fig. 2.29 Wave rose diagram (2012~2015).

## 2.2 해운대 해수욕장의 해저질 특성

해저질 조사위치는 Fig. 2.30과 같으며 해저면하 3cm 이내의 퇴적물을 채취하였고 자동입도분석기(MasterSier, UK)로 1 간격의 입도별 무게를 측정하였다. Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 이용하여 조직변수를 제시하였다. (부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 해운대 해수욕장 연안정비사업 모니터링 용역 4차 보고서)

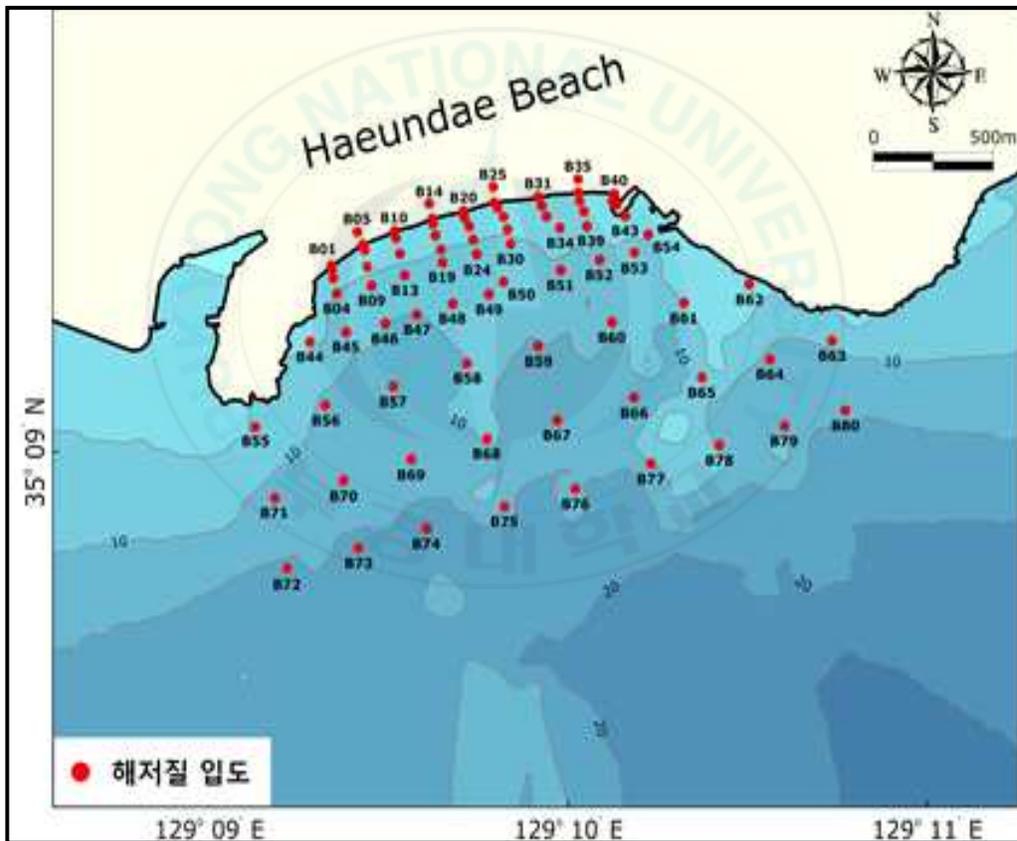


Fig. 2.30 Map of bottom sediment sampling stations (MOF, 2016).

## 2.2.1 해저질입도- 평균입경

Fig. 2.31과 Fig. 2.32은 2016년 6월 21일에 실시한 해저질입도(평균입경, 모래함량비)조사 자료로서 Fig. 2.31은 해운대해수욕장의 해저질 조사위치마다 해저질입도의 평균입경을 나타냈다. 해변부의 평균입경은 양빈 전 약 0.583mm에서 양빈 후에 약 0.340mm가 되었고 해측에서의 평균입경은 양빈 전 약 0.324mm에서 양빈 후에 약 0.400mm가 되었다. 해변부의 평균입경에 양빈 후에 세립해졌음을 알 수가 있다.

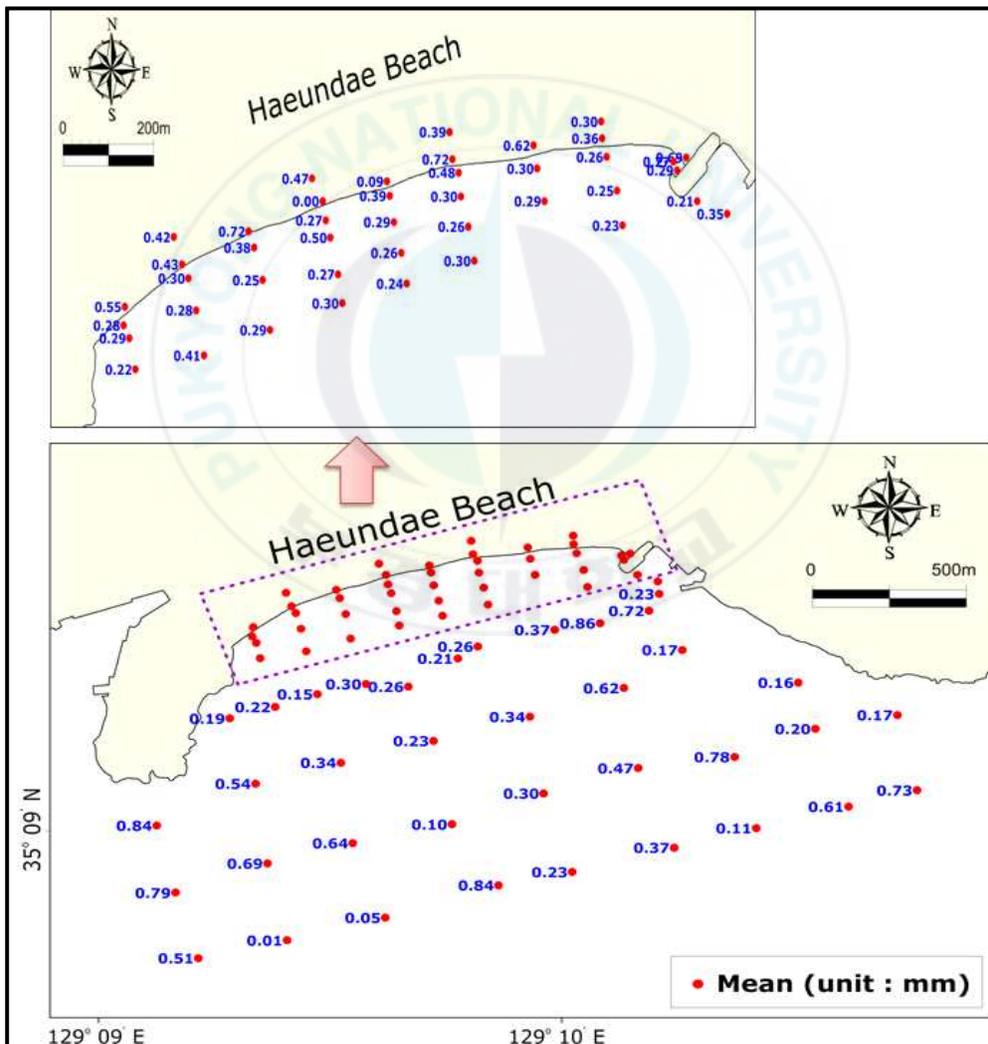


Fig. 2.31 Mean grain size in Haeundae Beach(MOF, 2016).

## 2.2.2 해저질입도- 모래함량비

Fig. 2.32에서 볼 수 있듯이 해운대해수욕장의 해저질 조사위치마다 해저질의 모래함량비를 나타냈다. 해변부의 모래함량변화는 양빈 전 97.7%에서 양빈 후 98.4%가 되었고, 해측에서는 모래함량변화가 양빈 전 85.8%에서 양빈 후 79.1%가 되었다. 해변부에서 97.7%~98.4% 정도로 미미하게나마 증감이 일어났고 해측에서는 감소하는 경향으로 나타났다.

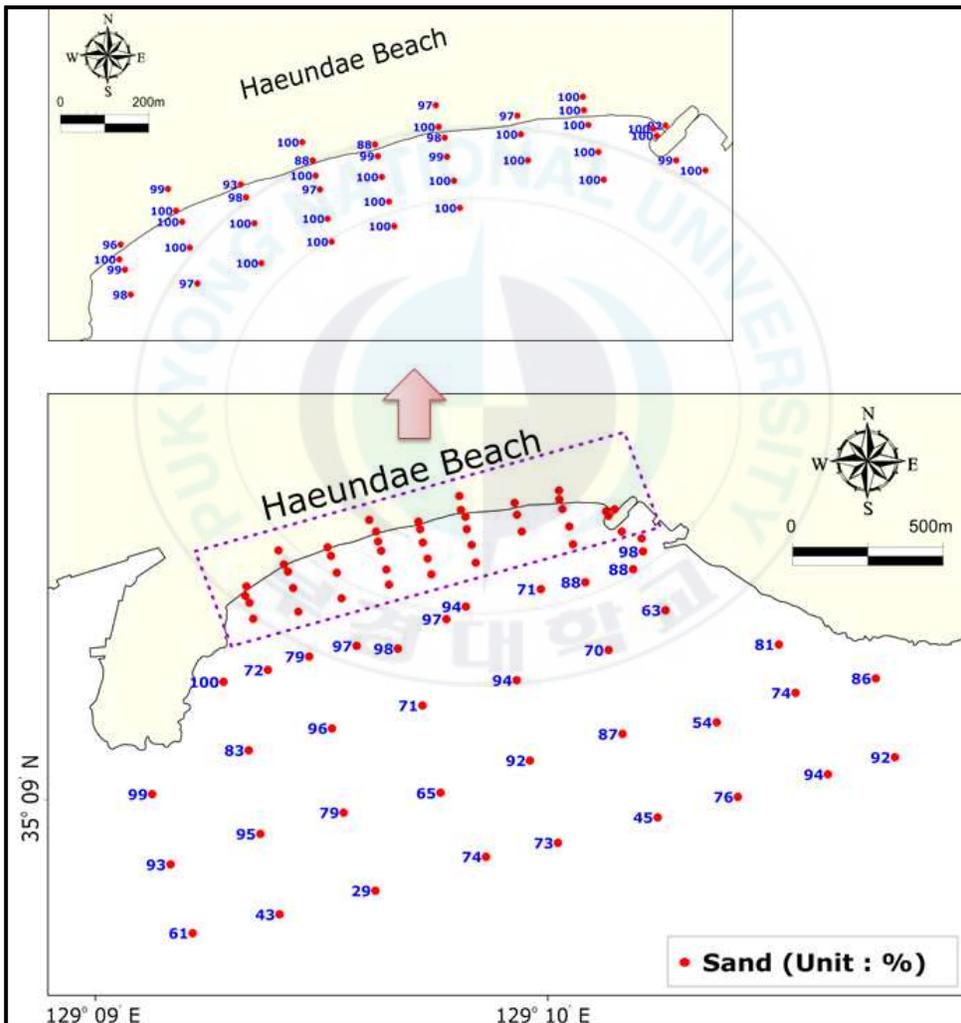


Fig. 2.32 Sand content rate of Haeundae Beach(MOF, 2016).

### 2.3 해운대 해수욕장의 극치파 해석

구조물 설계에 사용하는 설계파는 보통 재현기간 50년 빈도의 파를 사용하는데, 실제파랑을 관측한 기간은 그 보다 훨씬 짧은 10년이나 30년 정도의 자료 밖에 없는 경우가 대부분이다. 따라서, 짧은 기간동안에 얻어진 파기록으로부터 그보다 긴 재현기간에 나타날 파를 구하기 위해서는 관측치의 경향을 잘 나타낼 수 있는 확률분포함수를 구하여 외삽하는 방식으로 우리가 원하는 재현기간의 값을 추산해야만 한다. 여기서, 보통 일정시간 간격에 대한 최대파고 값을 사용하여 극치분포함수를 구하게 되는데 이를 극치파 해석이라고 한다. 재현기간이란 발생빈도를 말하며 재현기간 50년의 설계파랑은 50년에 한번 발생할 수 있는 커다란 파를 말한다. 그리고 재현기간이 길어질수록 발생할 수 있는 파고의 크기는 점점 더 커지게 된다.

파고의 극치파해석 방법은 우선 1년 또는 수 년간, 수 개월간에 걸쳐 매 6시간 간격 또는 1일 간격으로 기록된  $H_s$ 의 최대값을 준비한다. 가장 큰 값부터 작은 값 순서로 나열하고 선택한 확률분포지에 파고에 대한 누적확률분포를 그린다. 이 분포가 직선에 가깝게 나오는 분포를 택한다. 눈이나 어떤 해석방법을 써서 원하는 재현기간에 대한 파고를 외삽하여 구한다. 또는 특정파고값이 나올 확률을 계산한다. 누적확률분포함수는 여러 가지가 있지만 대표적으로 4가지를 소개하면 Table. 2.15과 같다

Table 2.15 Cumulative probability distribution function

	Probability distribution function
Log normal	$H) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\alpha H} \exp[-1/2(\frac{\ln(H) - \beta}{\alpha})^2] dH$
Gumbel	$P(H) = \exp - \exp[-(\frac{H - \gamma}{\beta})]$
Frechet	$P(H) = \exp[-(\frac{H}{\beta})^{-\alpha}]$
Weibull	$P(H) = 1 - \exp[-(\frac{H - \gamma}{\beta})^\alpha]$

해운대 해수욕장의 극치과 해석을 위해 2012년 1월부터 2015년 12월까지 누락된 데이터를 제외한 국립해양조사원의 해운대해수욕장 해양관측부이자료로부터 월별 유의파고의 최대치를 추출하였고 총 41개의 데이터를 사용하여 재현기간에 따른 유의파고의 관계를 Fig. 2.33과 같이 구하였다. 일반적으로 많이 사용하고 있는 Gumbel과 Weibull(k=1.0)의 두 가지 누적확률분포함수를 사용하여 각각 회귀식을 다음과 같이 구하였다.

$$0.0722R_p + 2.0441 \quad (2.3.1)$$

$$H_s = 0.0776R_p + 2.1464 \quad (2.3.2)$$

해운대해수욕장에서는 Weibull(k=1.0)의 분포함수가 Gumbel분포식보다 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

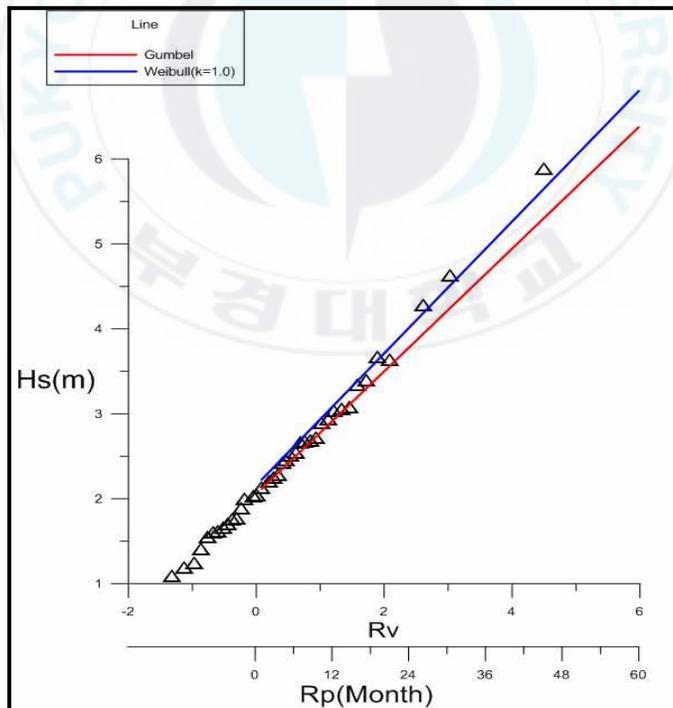


Fig. 2.33 Extreme wave height analysis by Weibull and Gumbel distributions.

## 2.4 해운대 해수욕장의 수심변화량 측량 결과

해운대해수욕장에서 모래이동으로 인한 수심변화량을 파악하는 것도 중요하다. 수심측량과 단면변화자료는 먼저 양빈 완료 후에 연간 침퇴적량을 분석하여 Fig. 2.34에 수심변화자료를 나타내었다. Table. 2.16은 각 지점별로 침퇴적량과 퇴적고를 나타내는 표이다. 측량한 기간은 2015년 5월 17일~2016년 5월 11일까지 측량한 자료이다.(부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 해운대해수욕장 연안정비사업 모니터링용역 4차보고서)

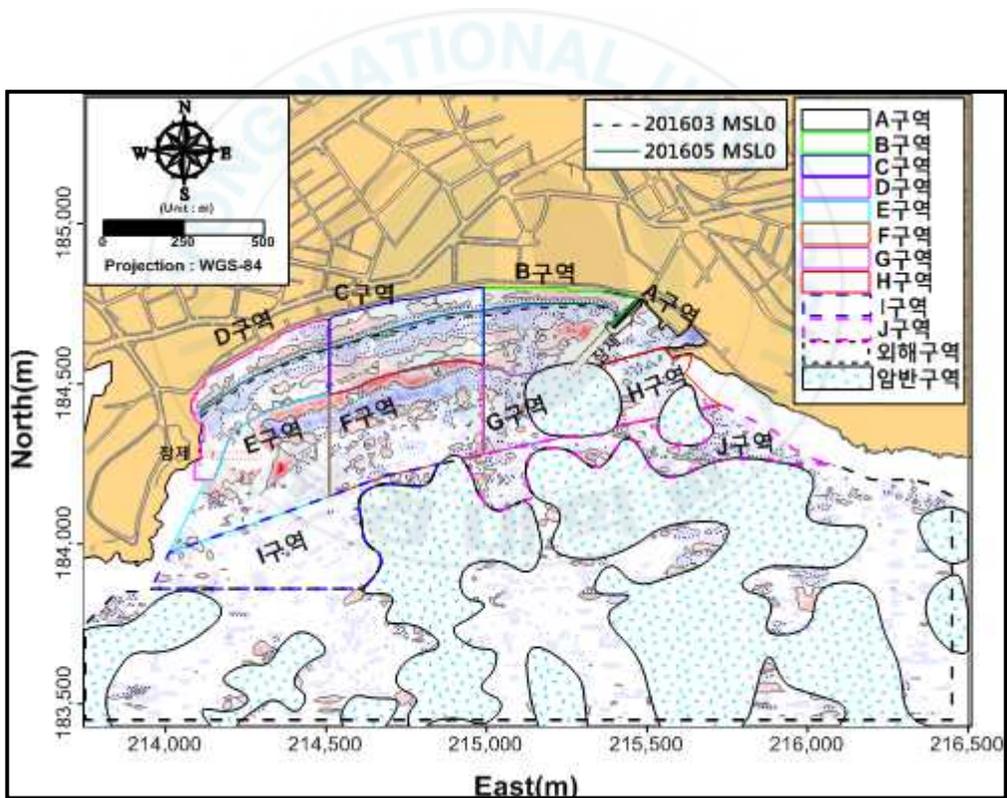


Fig. 2.34 Depth change rate for 1year(MOF, 2016).

Figure. 2.34와 Table. 2.16의 데이터를 통해서 1년간의 전체 퇴적량은 9,300  $m^3$ 이고 해빈부에서는 대체적으로 대부분 침식하는 경향을 보이고 있고, 동백섬 측 해저부에서는 퇴적이 우세한 것으로 볼 수가 있다. 특히 E와 I구역은 동백섬 측에 설치된 잠제로 인하여 외해로부터 나간 모래가 해빈 측으로 이동하지 못해 잠제 쪽에 퇴적되어 쌓이는 것으로 확인되어 진다. H구역도 미포 측에 설치된 잠제와 돌제의 영향으로 모래가 어느 정도 쌓인 것으로 판단된다.

**Table 2.16 Net deposition rate and depth change rate for 1year(MOF, 2016)**

구역	기간 퇴적량( $0 m^3/year$ )	기간 퇴적고( $cm/year$ )
A	-1.6	-7.4
B	0.0	0.0
C	-1.6	-1.5
D	-5.3	-6.1
E	14.4	12.4
F	-1.6	-1.1
G	-0.2	-0.6
H	0.6	1.5
I	5.2	3.5
J	-0.6	-0.6
Sum	9.3	1.0

## 2.5 해운대 해수욕장의 해변단면변화 측량 결과

Fig. 2.35는 단면변화 조사위치를 나타낸 지도이다. Figure. 2.36 동백섬 측(S01)에 설치된 잠제 쪽 단면변화를 봤을 때 양빈 후의 단면의 높이가 양빈 전에 비해 눈에 띄게 높아진 것을 볼 수가 있고 2013년 양빈 전과 2016년 양빈 후를 비교하였을 때 DL(-) 6m지점(동백섬잠제)까지는 단면의 변화가 없었다. Figure. 2.37 해변의 중앙단면(S16)에서는 표사가 해변 측에서 DL(-) 3m 지점까지 이동을 하여 단면변화가 생긴 것을 확인할 수 있고 DL(-) 6m지점에서 모래가 쌓여 단면변화가 생기는 것을 확인할 수 있다. Figure. 2.38 미포 측(S25)에 설치된 잠제 쪽 단면변화를 봤을 때도 표사가 해변 측에서 DL(-) 3m지점까지 이동을 하여 단면변화가 생겼고 잠제 바로 앞에서는 단면변화가 거의 없었다. 잠제 뒤의 DL(-) 6m 지점에서는 단면변화가 조금 생기는 것을 확인할 수 가있다.(부산지방해양수산청 부산항건설사무소, 해운대 해수욕장 연안정비사업 모니터링 용역 4차보고서)

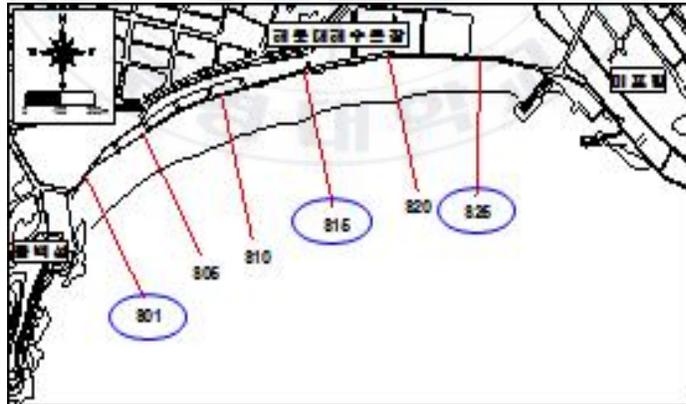


Fig. 2.35 Beach profile sections in Haeundae Beach (MOF, 2016).

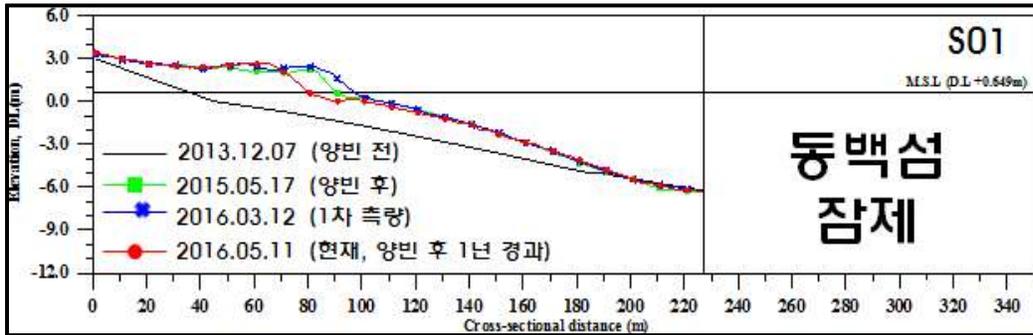


Fig. 2.36 Beach profile changes in S01 line(MOF, 2016).

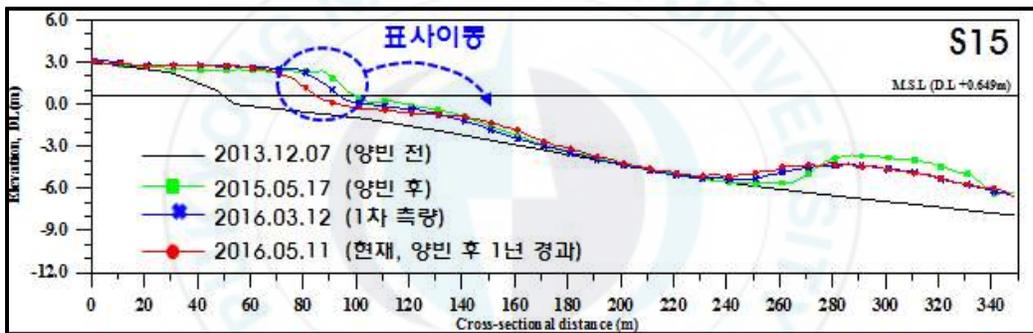


Fig. 2.37 Beach profile changes in S15 line(MOF, 2016).

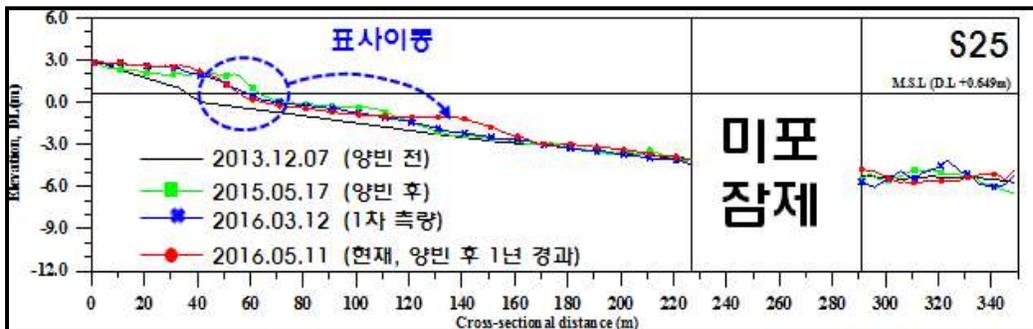


Fig. 2.38 Beach profile changes in S25 line(MOF, 2016).

### 3. 모래이동 한계수심 수식

#### 3.1 모래이동한계수심의 정의

파랑이 심해에서 해안으로 올 때 수심이 깊은 곳에서는 저면에서 파랑에 의한 물 입자운동은 저질을 움직일 정도의 힘은 없다. 그러나 파랑이 일정한 수심에 달하게 되면 해저에서 활발한 물입자 운동으로 인하여 해저의 모래가 움직이기 시작하는데 이 움직이기 시작하는 수심을 이동한계수심이라고 한다. 이동한계수심 중 해저표면의 비교적 돌출된 입자 몇 개가 움직이기 시작하는 상태를 초기이동(initial movement)라 하고 해저면에 있는 모래가 거의 이동을 하는 단계를 전면이동(general movement)라고 한다. 표층에 있는 모래가 파의 진행방향으로 집단으로 수송되는 단계를 표층이동(surface later movement)라 하고 수심변화가 명확하게 나타날 정도의 현저한 이동이 생기는 단계를 완전이동(complete movement)라 한다. 그리고 종결수심(closure depth)는 해빈단면 변화(수심변화)가 생기는 한계수심이라고 정의할 수 있다.

모래이동한계수심의 수식에는 여러 가지가 있지만 대표적인 3가지의 수식을 소개하려고 한다. Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth, Sato-Tanaka의 모래이동한계수심, van-Rajn의 초기이동한계수심 이렇게 3가지의 수식을 사용하여 해운대해수욕장에 적용시켜 비교를 해본다.

#### 3.2 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth

Closure Depth를 예측하는 모델은 매우 제한적이고 직접 측량한 값과 비교해보지 않고서는 매우 어려운 작업이다. Hallermeier(1981, 1983)는 sediment entrainment parameter의 한계 값을 기반으로한 모래해변의 연간 Closure Depth를 추정하는 분석적 접근법을 개발하였다. 이 식은 극치파조건에 함수이고 식은 (3.2.1)과 같다.

$$= 2.28 H_e - 68.5 \left( \frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad (3.2.1)$$

여기서  $H_e$ 는 1년에 12시간을 초과하는 확률을 가지는 파고이고  $T_e$ 는  $H_e$ 에 해당하는 주기이다.  $H_e$ 를 좀 더 자세히 표현하자면 식 (3.2.2)로 표현할 수 있다.

$$H_e = \bar{H} + 5.6\sigma \quad (3.2.2)$$

이 식에서  $\bar{H}$ 는 년평균 파고를 나타내고  $\sigma_H$ 는 년파고의 표준편차를 나타낸다.

Hallermeier(1981)의 Closure Depth에 기초하여 Birkemeier는 Pierson-Moskowitz wave spectrum(Rijkswaterstaat 1986)방법을 이용하여 더욱 간단하게 식을 개정하였고 식 (3.2.3)과 같이 주어진다.

$$h_c = 1.75H_e - 57.9 \left( \frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad (3.2.3)$$

Birkemeier(1985)는 여러 가지 실험을 통해 더 간단한 경험식을 다시 개정하였고 식 (3.2.4)과 같이 주어진다.

$$h_c = 1.57H_e \quad (3.2.4)$$

실제로 해운대해수욕장에 적용할 수식은 식 (3.2.1)과 식 (3.2.3), 식 (3.2.4)를 비교하였다.

### 3.3 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심

Sato-Tanaka에 앞서 Horikawa-Watanabe는 저항계수  $f$ 를 가정하여 저면과 경계층 상태에 따라서 실험결과 몇 가지를 분류를 하여 각 상태마다 이동한 계식을 표시하였다.(Horikawa-Watanabe, 1966) 보통 일반적으로 가장 많이 볼 수 있는 Horikawa-Watanabe의 모래이동한계수심의 수식은 식 (3.3.1)과 같다.

$$H_0 = \alpha \left( \frac{d_s}{L_0} \right)^n \sinh \frac{2\pi h}{L} \left( \frac{H_0}{H} \right) \quad (3.3.1)$$

$\alpha$ 와  $n$ 은 각각 실험자료를 통한 함수로서 여러 가지 데이터를 이용하여 계수가 결정된다.  $d_s$ 는 평균입경이고  $H_0, L_0$ 는 환산심해파의 파장과 주기  $H, L$ 은 수심  $h$ 에서의 파장과 파고이다.

Sato-Tanaka는 여러 가지 실험을 통해  $\alpha$ 와  $n$ 을 4가지의 저면과 경계층상태로 나누어 각각의 계수 값을 부여하였고 그 값은 Table. 3.1과 같다.

Table 3.1  $n$  and  $\alpha$  values according to the sediment movement stage

	Initial Movement	Surface Layer Movement	General Movement	Complete Movement
$n$	1/4	1/3	1/3	1/3
$\alpha$	5.85	0.741	1.77	0.417

앞에서 언급한 Hallermeier와 Birkemeier식과 달리 평균입경을 고려하였고 Closure Depth뿐만 아니라 초기이동(Initial Movement), 표층이동(Surface Layer Movement), 전면이동(General Movement), 완전이동(Complete Movement) 저면상태에 따라 4가지로 분류를 하여 좀 더 정확한 모래이동한 계수심을 구할 수 있다.

모래이동한계수심을 구하는 방법을 좀 더 상세히 기술을 하자면 식 (3.3.1)을 정리를 하면 식 (3.3.2)와 같다.

$$\left(\frac{H_0}{d}\right)\left(\frac{L_0}{d}\right)^n = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-1} \sinh\left(\frac{2\pi h_i}{L}\right) \quad (3.3.2)$$

좌변의 값은 저면에 상태에 따라  $\alpha$ 와  $n$ 값을 대입하고 난 뒤 평균입경 값을 넣고 환산심해파에서 파고와 주기를 구해서 대입하여 구할 수 있다. 여기서  $L_0$ 는 식 (3.3.3)과 같이 주어진다.

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (3.3.3)$$

하지만 우변의 값은  $\frac{h_i}{L}$  값을 제외한 나머지는 구할 수 있으므로 최종적으로  $\frac{h_i}{L}$  값을 구할 수 있게 된다. 여기서  $L$ 값은 식 (3.3.4)로부터 구할 수 있게 된다.

$$\frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) = \tanh 2\pi \left(\frac{L}{L_0}\right)^{-1} \frac{h}{L_0} \quad (3.3.4)$$

$L$ 을 구하게 되면 자동적으로 모래이동한계수심  $h_i$ 를 구할 수 있게 된다.

### 3.4 van-Rijn의 초기이동 한계수심

현재 나와 있는 지형변화모델에서 가장 흔히 쓰는 식이 van-Rijn의 식들이다. XBeach, Transpor2004, Delft 3D등 기존의 식들과는 다르게 파와 흐름을 모두 고려할 수 있기 때문에 현실과 같은 시뮬레이션을 구동하기 위해서는 유용한 수식이 될 수 있다. van-Rijn의 여러 가지 식이 있지만 초기이동한계수심을 구하기 위해서는 파와 흐름을 고려했을 때 수심의 변화에 따라 모래가 초기이동하는 한계파고  $r$ 과  $i$ 와의 관계를 통하여 계산을 하였다.(van-Rijn, 1993)

계산방법을 상세히 기술하면 먼저 Shields곡선을 이용하여 무차원 mobility 매개변수  $\theta$ 와 무차원 입자입경  $D_*$ 를 표현 할 수 가있고 식 (3.4.1)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \theta_{cr} &= 0.24 D_*^{-1} && \text{for} && 1 < D_* \leq 4 \\
 \theta_{cr} &= 0.14 D_*^{-0.64} && \text{for} && 4 < D_* \leq 10 \\
 \theta_{cr} &= 0.04 D_*^{-0.1} && \text{for} && 10 < D_* \leq 20 \\
 \theta_{cr} &= 0.013 D_*^{0.29} && \text{for} && 20 < D_* \leq 150 \\
 \theta_{cr} &= 0.055 && \text{for} && D_* > 150
 \end{aligned} \tag{3.4.1}$$

입경크기 매개변수는 식 (3.4.2)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$D_* = \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} d_{50} \tag{3.4.2}$$

여기서,  $s = (\rho_s/\rho)$  상대밀도로서 해수와 모래의 상대밀도 비이다.  $d_{50}$ 은 중앙입경이다.

무차원 이동성 매개변수  $\theta$ 는 항력과 입자침강속도의 비로 나타낼 수 있고 식 (3.4.3)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$= \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)g d_{50}} \quad (3.4.3)$$

여기서,  $\tau_b$ 는 시간 평균된 저면 전단응력이다.

따라서 한계 Shields 매개변수  $\theta_{cr}$ 은 식 (3.4.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{cr} = \tau_{b,cr} / [(\rho_s - \rho)g d_{50}] \quad (3.4.4)$$

식 (3.4.4)를  $\tau_{b,cr}$  한계저면전단응력의 식으로 바꾸게 되면 식 (3.4.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{b,cr} = \theta_{cr} (\rho_s - \rho)g d_{50} \quad (3.4.5)$$

파와 흐름을 고려한 평균저면전단응력은 식 (3.4.6)과 같다.

$$\tau_{b,cr} = \tau_{b,c} + \tau_{b,w} \quad (3.4.6)$$

$\tau_{b,c}$ 는 흐름에 의한 저면전단응력이고,  $\tau_{b,w}$ 는 파에 의한 저면전단응력을 나타낸다. 먼저 흐름에 의한 저면전단응력은 식 (3.4.7)과 같다.

$$\tau_{b,c} = \frac{\rho g (\bar{u})^2}{18^2 \log^2 \left( \frac{12h}{k_s + 3.3\nu/u_{*,c}} \right)} \quad (3.4.7)$$

여기서, 유효저면조도  $k_s = 3d_{90}$ 이고,  $\bar{u}$ 는 수심 평균된 유속, 흐름에 의한 저면 마찰 속도  $u_{*,c} = (\tau_{b,c}/\rho)^{0.5}$ 이다.  $\nu$ 는 물의 동점성 계수이다.  $u_{*,c}$ 에도  $\tau_{b,c}$  값이 들어가므로 시행 착오법으로 반복 계산하여  $\tau_{b,c}$ 를 계산하였다.

파에 의한 저면전단응력은 식 (3.4.8)과 같다.

$$u_{*,w} = 256.2 (\hat{A}_\delta)^2 \exp[-6 + 5.2 (k_s + 3.3\nu/u_{*,w})^{-0.19}] \quad (3.4.8)$$

여기서  $\hat{U}_\delta$ 는 저면근처에서 궤도속도의 최대값이고,  $\hat{A}_\delta$ 는 저면근처에서 궤도진폭의 최대값으로  $\hat{A}_\delta = \hat{U}_\delta T / 2\pi$ 로 나타낼 수 있다. 그리고  $u_{*,w}$ 는 파에 의한 저면마찰속도로  $u_{*,w} = (\tau_{b,w}/\rho)^{0.5}$ 로 나타낼 수 있다.

식 (3.4.5)~식 (3.4.7)로부터  $\tau_{b,w}$ 의 값을 구해 낼 수 있고 식 (3.4.8)에 그 값을 대입하여 저면근처에서 궤도속도의 최대값  $\hat{U}_\delta$ 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 값으로부터 한계파고  $H_{cr}$ 을 계산할 수 있는데 식 (3.4.9)로 나타낼 수 있다.

$$H_{cr} = \frac{1}{\pi} U_{\delta,cr} T \sinh(2\pi h/L) \quad (3.4.9)$$

한계파고  $H_{cr}$ 을 유의파고로 대입하게 되고 위의 과정을 통해 구한 저면근처에서 궤도속도의 최대값을 대입, 주기  $T$ 도 대입하게 되면 남은 건  $h/L$ 가 된다. 여기서  $L$ 은 식 (3.4.10)으로 나타낼 수 있다.

$$L = (gT^2/2\pi) \tanh(2\pi h/L) \quad (3.4.10)$$

반복계산을 통한 시행착오법으로 최종적으로 초기이동한계수심  $h$ 를 구할 수 있다.

## 4. 해운대 해수욕장의 모래이동한계수심 산정

### 4.1 해운대 해수욕장의 대표파랑 선정

Hallermeier와 Birkemeier식은  $H_e$ 를 1년에 12시간 초과하는 확률의 유의파고를 사용하여 Closure Depth를 산정할 것이고 이 유의파고 값을 Sato-Tanaka와 van-Rijn식에도 대입하여 세 가지의 식을 비교해 볼 것이다. 2012~2015년 유의파고 값 중 1년에 12시간을 초과하는 확률의 유의파고는 Table. 4.1과 같다. 그리고 Sato-Tanaka와 van-Rijn식에 들어갈 중앙입경  $d_{50}$ 과  $d_{90}$ 은 각각 0.0003m와 0.00058m로 2장의 해저질 입도 측량자료를 토대로 결정하였다. 대상 지역의 수온 10℃일 때 해수밀도( $\rho = 999.7 \text{ kg/m}^3$ )와 동점성계수( $\nu = 1.308 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )이며, 모래 밀도는 ( $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ )의 값을 사용하였다.

Table 4.1 Wave heights and periods of 12 hrs appearance frequency

	Wave Height(m) )	Period(sec) ( $H_e$ )
12hrs appearance frequency per year	2.76	8.87

Sato-Tanaka와 van-Rijn식은 2012년~2015년 4년 데이터에서 유의파고의 최대값( $H_{s,max}$ )과 주기( $T_{s,max}$ ), 유의파고의 상위 10%의 평균값( $H_{s,1/10}$ )과 주기( $T_{s,1/10}$ ), 유의파고의 상위 33%의 평균값( $H_{s,1/3}$ )과 주기( $T_{s,1/3}$ ), 유의파고 전체평균값( $H_{s,mean}$ )과 주기( $T_{s,mean}$ ) 4가지의 경우를 이용하여 모래이동한계수심을 산정할 것이다. 그 데이터 값은 Table. 4.2와 같다.

Table 4.2 Statistical value representative wave height

			Frequency of Appearance(%)
Maximum Wave	Hs,max	4.30m	0.0003%
Maximum Period	Ts,max	11.42sec	
Significant Wave(1/10)	Hs,1/10	1.35m	1.26%
Significant Period(1/10)	Ts,1/10	7.25sec	
Significant Wave(1/3)	Hs,1/3	0.91m	7.39%
Significant Period(1/3)	Ts,1/3	6.43sec	
Average Wave	Hs,mean	0.54m	30.32%
Average Period	Ts,mean	5.68sec	

#### 4.2 해운대 해수욕장에서 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth

Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth에 사용할 식은 앞 절에서 언급했듯이 식 (3.2.1), 식 (3.2.3) 2가지의 식을 사용하고 입력할 데이터 값은 Table. 4.1에 제시되어 있다.

2012년~2015년 데이터를 이용한 해운대 해수욕장에서 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth는 Table. 4.3과 같다.

Table 4.3 Hallermeier and Birkemeier's Closure Depth for  $H_e$

	Wave Height, Period	Hallermeier ( $h$ )	Birkemeier ( $h_c$ )
12hrs appearance frequency per year	$H_e = 2.76m$ $T_e = 8.87sec$	5.62m	4.26m

### 4.3 해운대 해수욕장에서 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심

Sato-Tanaka의 모래이동한계수심을 결정하기 위해서 앞 절에 언급했듯이 식 (3.3.2)와 Table. 3.1 이 두 가지를 사용한다. 모래이동한계수심 수식에 대입할 데이터는 Table. 4.2와 Table. 4.3을 사용하였다.

먼저 Table. 4.2, 2012년~2015년 4년간의 통계 데이터를 사용했을 경우에 모래이동한계수심의 결과 값은 Table. 4.4 ~ Table. 4.7와 같이 나왔다. 결과 값에서  $L_0$ 는 환산심해파고의 파장이고  $Y_{i(1)}$ 은 식 (3.3.2)에서  $\alpha(\frac{H_0}{L_0})(\frac{L_0}{d})^n$  이고  $Y_{i(2)}$ 는 식 (3.3.2)에서  $(\frac{H}{H_0})^{-1} \sinh(\frac{2\pi h_i}{L})$  이다. 주어진 데이터에서  $Y_{i(1)}$  값을 먼저 구한 후  $\frac{h_i}{L}$  를 구하여 모래이동한계수심  $h_i$  값을 구한다.

먼저  $H_{s,max} = 4.30m$  ,  $T_{s,max} = 11.42sec$  일 때는

Table 4.4 Sato-Tanaka's critical sediment movement for  $H_{s,max}$

Initial Movment	Surface Layer Movement	General Movement	Complete Movement
203.62	$L_0$	203.62	$L_0$
$i/L$	$h_i/L$	0.27	$h_i/L$
$Y_{i(1)}$	$Y_{i(1)}$	3.20	$Y_{i(1)}$
$Y_{i(2)}$	$Y_{i(2)}$	3.20	$Y_{i(2)}$
$h_i(m)$	$h_i(m)$	53.71	$h_i(m)$

$H_{s,1/10} = 1.35m$  ,  $T_{s,1/10} = 7.25sec$  일 때는

Table 4.5 Sato-Tanaka's critical sediment movement for  $H_{s,1/10}$

Initial Movment	Surface Layer Movement	General Movement	Complete Movement
$L_0$	82.06	$L_0$	82.06
$h_i/L$	0.20	$h_i/L$	0.17
$Y_{i(1)}$	1.93	$Y_{i(1)}$	1.59
$Y_{i(2)}$	1.93	$Y_{i(2)}$	1.59
$h_i(m)$	13.97	$h_i(m)$	11.48

$$H_{s,1/3} = 0.91m , T_{s,1/3} = 6.43\text{sec 일 때는}$$

Table 4.6 Sato-Tanaka's critical sediment movement for  $H_{s,1/3}$

Initial Movment	Surface Layer Movement		General Movement		Complete Movement		
	64.55	$L_0$	64.55	$L_0$	64.55	$L_0$	64.55
$h_i/L$	0.17	$h_i/L$	0.14	$h_i/L$	0.08	$h_i/L$	0.06
$Y_{i(1)}$	1.56	$Y_{i(1)}$	1.26	$Y_{i(1)}$	0.52	$Y_{i(1)}$	0.29
$Y_{i(2)}$	1.56	$Y_{i(2)}$	1.26	$Y_{i(2)}$	0.52	$Y_{i(2)}$	0.29
$h_i(m)$	8.85	$h_i(m)$	7.07	$h_i(m)$	2.83	$h_i(m)$	1.56

$$H_{s,mean} = 0.54m , T_{s,mean} = 5.68\text{sec 일 때는}$$

Table 4.7 Sato-Tanaka's critical sediment movement for  $H_{s,mean}$

Initial Movment	Surface Layer Movement		General Movement		Complete Movement		
$L_0$	50.37	$L_0$	50.37	$L_0$	50.37	$L_0$	50.37
$h_i/L$	0.13	$h_i/L$	0.11	$h_i/L$	0.07	$h_i/L$	0.05
$Y_{i(1)}$	1.11	$Y_{i(1)}$	0.88	$Y_{i(1)}$	0.36	$Y_{i(1)}$	0.21
$Y_{i(2)}$	1.11	$Y_{i(2)}$	0.88	$Y_{i(2)}$	0.36	$Y_{i(2)}$	0.21
$h_i(m)$	4.86	$h_i(m)$	3.79	$h_i(m)$	1.53	$h_i(m)$	0.85

Table 4.3, 1년에 12시간 초과하는 유의파고를 사용하여 Hallermeier와 Birkemeier식과의 비교를 위해 Table. 4.8에 결과 값을 나타내었다.

$$H_s = 2.76m , T_s = 8.87\text{sec 일 때는}$$

Table 4.8 Sato-Tanaka's critical sediment movement for  $H_e$

Initial Movment	Surface Layer Movement		General Movement		Complete Movement		
$L_0$	122.83	$L_0$	122.83	$L_0$	122.83	$L_0$	122.83
$h_i/L$	0.26	$h_i/L$	0.23	$h_i/L$	0.13	$h_i/L$	0.09
$Y_{i(1)}$	2.92	$Y_{i(1)}$	2.49	$Y_{i(1)}$	1.04	$Y_{i(1)}$	0.58
$Y_{i(2)}$	2.92	$Y_{i(2)}$	2.49	$Y_{i(2)}$	1.042	$Y_{i(2)}$	0.58
$h_i(m)$	30.20	$h_i(m)$	26.42	$h_i(m)$	11.01	$h_i(m)$	6.01

#### 4.4 해운대 해수욕장에서 van-Rijn의 초기이동한계수심

van-Rijn의 초기이동한계수심을 산정하기 위해서 앞 절에 언급했던 방법대로 최종적인 식 (3.4.9)에서  $h_i$  값을 도출해낸다. 수식에 들어 갈 데이터는 Sato-Tanaka와 동일한 데이터를 썼다.  $D^*$ 은 Shields 곡선에 의한 무차원 매개변수이고 이에 따른 한계 Shields 매개변수는  $\theta_{cr}$ 이다.  $\tau_{b,cr}$ 은 한계 저면 전단응력이고 흐름을 고려하지 않았을 때 파에 의한 저면 전단응력은  $\tau_{b,w}$ 이다. 식 (3.4.8)로 인해 케도속도의 최대값  $\widehat{U}_{\delta,cr}$ 을 구하게 되고 식 (3.4.9)와 식 (3.4.10)의 시행착오의 반복계산을 통해 최종적으로  $h_i$ 값을 구하게 된다.

먼저 Table. 4.2, 2012년~2015년 4년간의 통계치를 사용했을 때 van-Rijn의 초기이동한계수심 결과 값은 Table. 4.9 ~ Table. 4.12 에 나타내었다.

$H_{s,max} = 4.30m$  ,  $T_{s,max} = 11.42sec$  일 때는

**Table 4.9 van-Rijn's initial movement for  $H_{s,max}$**

	200.06
$D$	6.81
$cr$	0.04
$\tau_{b,cr}$	0.21
$\tau_{b,w}$	0.21
$\widehat{U}_{\delta,cr}$	0.22
Initial Movement $h_i$ (m)	75.35

$H_{s,1/10} = 1.35m$  ,  $T_{s,1/10} = 7.25sec$  일 때는

**Table 4.10 van-Rijn's initial movement for  $H_{s,1/10}$**

$L$	77.58
$D^*$	6.81
$\theta_{cr}$	0.04
$\tau_{b,cr}$	0.21
$\tau_{b,w}$	0.21
$\widehat{U}_{\delta,cr}$	0.20
Initial Movement $h_i$ (m)	22.06

$H_{s,1/3} = 0.91m$  ,  $T_{s,1/3} = 6.43sec$  일 때는

**Table 4.11 van-Rijn's initial movement for  $H_{s,1/3}$**

	59.06
$D$	6.81
$cr$	0.04
$\tau_{b,cr}$	0.21
$\tau_{b,w}$	0.21
$U_{\delta,cr}$	0.19
Initial Movement $h_i$ (m)	14.63

$H_{s,mean} = 0.54m$  ,  $T_{s,mean} = 5.68sec$  일 때는

**Table 4.12 van-Rijn's initial movement for  $H_{s,mean}$**

$L$	42.55
$D_*$	6.81
$\theta_{cr}$	0.04
$\tau_{b,cr}$	0.21
$\tau_{b,w}$	0.21
$\widetilde{U}_{\delta,cr}$	0.18
Initial Movement $h_i$ (m)	8.38

Table. 4.3, 2012년~2015년 12시간 초과하는 유의파고의 값을 사용했을 때 van-Rijn의 초기이동한계수심 결과 값은 Table. 4.13에 나타내었다.

$H_s = 2.76m$  ,  $T_s = 8.87sec$  일 때는

**Table 4.13 van-Rijn's initial movement for  $H_e$**

$L$	120.04
$D_*$	6.81
$\theta_{cr}$	0.04
$\tau_{b,cr}$	0.21
$\tau_{b,w}$	0.21
$\widetilde{U}_{\delta,cr}$	0.21
Initial Movement $h_i$ (m)	42.66

#### 4.5 해운대 해수욕장의 모래이동한계수심 산정결과의 비교

앞에서 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth와 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심, van-Rijn의 초기이동한계수심을 선정된 대표파에 따라서 각각 모래이동한계수심 결과 값을 도출하였다. 먼저 1년에 12시간을 초과하는 유의 파고 조건에서 Hallermeier와 Birkemeier, Sato-Tanaka의 모래이동한계수심, van-Rijn의 초기이동한계수심값을 비교하여 Table. 4.14에 나타내었다.

**Table 4.14 Comparisons on the critical sediment movement depth for  $e$  in Haeundae beach**

	Hallermeier ( $h_c$ )	Birkemeier ( $h_c$ )	Sato-Tanaka				van Rijn Initial Movement
			Initial Movement	Surface Layer Movement	General Movement	Complete Movement	
He=2.76m Te=8.87sec	5.62m	4.26m	30.20m	26.41m	11.01m	6.01m	42.66m

Fig. 4.1은 Sato-Tanaka의 Complete Movement와 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth를 비교한 그래프이다. 해운대해수욕장의 2012년 ~ 2015년 4년 치 통계데이터 조건에서 Sato-Tanaka의 모래이동한계수심과 van-Rijn의 초기이동한계수심 값을 비교하여 Table. 4.15에 나타내었다.

**Table 4.15 Comparisons on the critical sediment movement depth for statical value in Haeundae beach**

			Sato-Tanaka				van Rijn Initial Movement
			Initial Movement	Surface Layer Movement	General Movement	Complete Movement	
Hs,max	Hs=4.3m T=11.42sec	Hi	56.97m	53.71m	23.84m	12.99m	75.35m
Hs,1/10	Hs=1.35m T=7.25sec	Hi	13.97m	11.48m	4.59m	2.53m	22.06m
Hs,1/3	Hs=0.91m T=6.43sec	Hi	8.85m	7.07m	2.83m	1.56m	14.63m
Hs.mean	Hs=0.54m T=5.68sec	Hi	4.86m	3.79m	1.53m	0.85m	8.38m

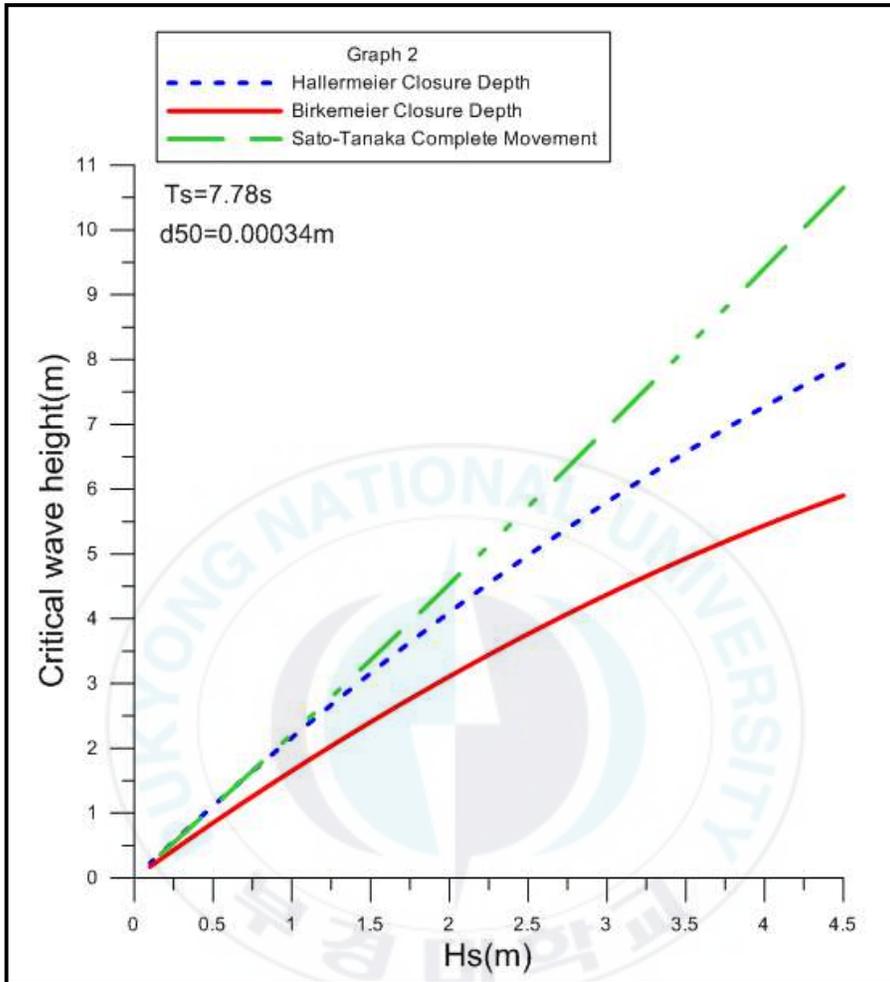


Fig. 4.1 Comparisons of Sato-Tanaka's complete movement depth vs Hallermeier and Birkemeier's closure depth.

대표적인 4가지의 모래이동한계수식을 가지고 해운대해수욕장의 대표파랑을 이용한 모래이동한계수심을 산정해보았다. 해운대 해수욕장의 모래이동한계수심 산정결과는 1년에 12시간 초과하는 파고( $2.76m$ ,  $T_s = 8.87sec$ )일 때 Sato-Tanaka의 식에서 초기이동은 30.20m 전면이동은 26.41m, 표층이동은 11.01m, 완전이동은 6.01m이고, van-Rijn의 초기이동한계수심은 42.66m,

Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth는 각각 5.62m, 4.26m로 산정이 되었다. 정의대로 초기이동, 전면이동, 표층이동, 완전이동, Closure Depth의 순으로 결과가 나왔고 Sato-Tanaka의 초기이동한계수심과 van-Rijn의 초기이동한계수심을 비교하였을 때 van-Rijn의 초기이동한계수심이 다소 크게 나타남을 알 수가 있다. 그리고 Sato-Tanaka의 완전이동한계수심과 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth도 어느 정도 비슷한 수심 값이 나왔다. 그리고 Fig. 4.1에서 주기 7.78sec와 평균입경 0.00034m의 동일한 조건에서 Sato-Tanaka의 완전이동한계수심과 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth를 유의파고에 따라 그래프를 그려보았을 때 유의파고가 점점 커졌을 때 3가지의 한계수심이 점차 달라지는 것을 확인할 수가 있다. 그러나 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth의 정의에 따라 1년에 12시간 초과하는 확률의 유의파고에서부터 수심이 알아질수록 거의 같아지는 것을 볼 수가 있다.

Fig. 4.2는 모래이동한계수심 산정결과를 동일한 유의파고, 주기 조건에서 입경 별 모래이동한계수심을 나타는 그래프이다. 그래프는 위에서부터 van-Rijn의 초기이동한계수심, Sato-Tanaka의 초기이동, 전면이동, 표층이동, 완전이동, Hallermeier, Birkemeier의 Closure depth 순으로 나타내었다. 유의파고와 주기는 1년에 12시간을 초과하는 확률의 유의파고, 주기  $2.76m$ ,  $T_s = 8.87sec$ 를 사용하였고 입경은 2장의 해저질입도-평균입경 자료의 입경 값을 사용하였다. 이 그래프 역시 van-Rijn의 초기이동한계수심이 가장 깊은 값을 나타내었고 정의대로 수심 값이 분포하였다. 입경별로 한계수심 값의 경향성은 Sato-Tanaka와 van-Rijn 두 가지 식이 비슷하게 나타났다.

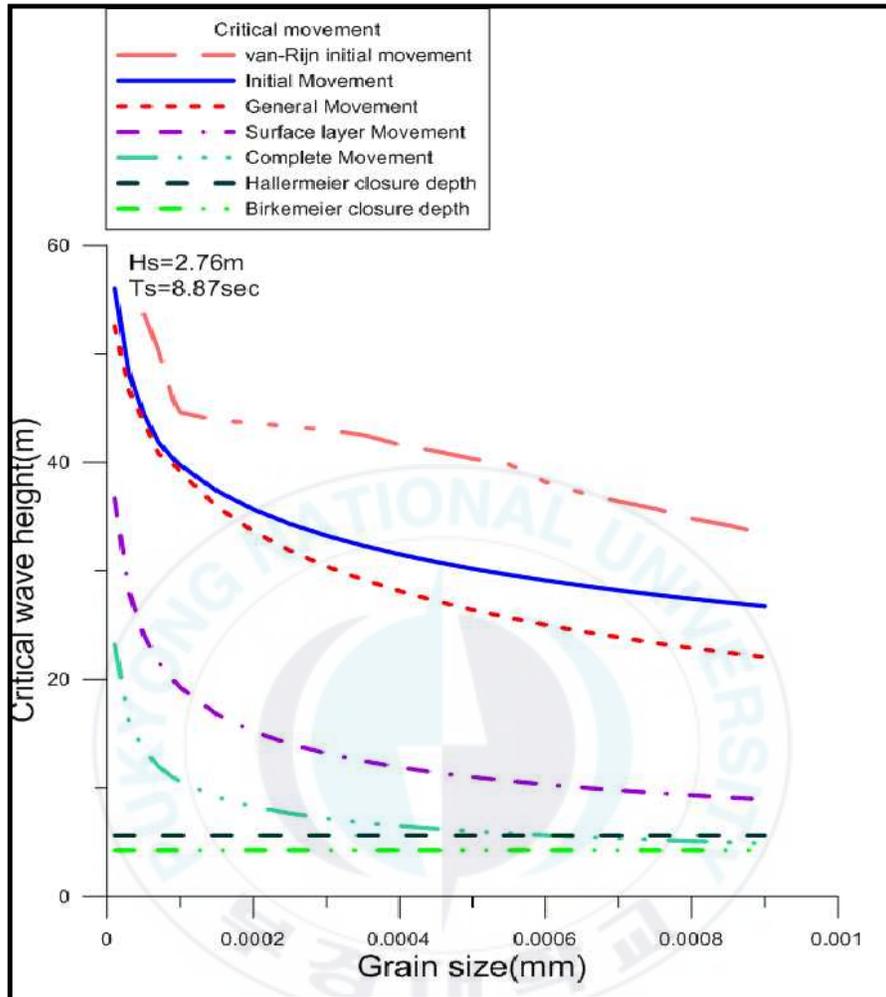


Fig. 4.2 Comparisons of critical sediment movement depth in Haeundae Beach.

## 5. 과거 해운대 해수욕장의 Beach Processes 연구에 적용한 대표파랑의 출현빈도 분석

### 5.1 해운대 해수욕장의 파랑변형 및 해빈류에 관한 연구 사례

해운대 해수욕장의 연안침식문제가 사회적문제로 대두됨에 따라서 많은 연구가 이루어지고 있다. 대표적으로 연안침식원인을 규명하고 방지대책수립을 위하여 많은 노력을 하고 있고 그를 위한 각종 침·퇴적 수치 모델링을 하고 있다. 본 논문에서 언급하였듯이 수치 모델링과 방지대책수립을 위하여 대표파랑의 선정과 모래이동한계수심의 선정이 중요하고 그 중 대표파랑의 선정은 수치모델링에 아주 중요한 작업 중의 하나이다. 그러기 위해서 현재까지 연구되어진 해운대 해수욕장의 Beach Processes 연구에 적용한 파랑변형 및 해빈류 연구결과를 분석하고 어떠한 대표파랑을 어떠한 조건으로 사용하였는지 알아 볼 필요가 있다.

Table 5.1~Table 5.2는 해운대 해수욕장의 파랑변형 및 해빈류에 관한 연구결과를 분석한 도표로서 해운대 해수욕장에서 해안선 변화 예측, 해빈류 수치계산 및 이안류 발생기구 등과 관련한 연구결과로부터 주요 입력자료인 입사 파랑조건과 수심보정값 등을 비교하여 나타내었다. 표에서 연구목적은 Beach Process 또는 이안류 발생기구로 나누었으며, 입사파랑조건은 사용한 평상시 파랑조건과 이상파랑조건으로 나누었다. 그리고 수심보정은 적용한 조위면을 나타낸다.

Table 5.1 Wave conditions of wave-induced currents studies in Haeundae Beach

Researcher	Purpose	Incident Wave Conditions				Tides
박일흠·이종섭(1989)	Shoreline Changes		$H_{1/3}$	$T_{1/3}$		M.S.L
		SE	0.68m	5.7s		
		S	0.68m	5.7s		
		SW	1.00m	6.0s		
이 등(1994)	Beach Processes	S13°W	1.0m	6.0s	(Storm)	M.S.L
		S13°W	1.0m	8.0s	(Storm)	
		S34°E	0.5m	8.0s	(Normal)	
		S	0.7m	8.0s	(Normal)	
		S45°E	3.0m	10.0s	(Storm)	
		S	3.0m	10.0s	(Storm)	
이 등(2007)	Beach Processes	SSW	1.24m	6.8s	(Spring)	M.S.L
		S	1.42m	8.0s	(Summer)	
		SE	2.29m	9.1s	(Autumn)	
		E	1.47m	7.3s	(Winter)	
김 등(2010)	Rip Current Generation	170°~190°	0.6m	10.0s	(2009.8.13.)	real time tide and wave observation data
		197°	1.52m	11.8s	(2010.7.29.)	
		195°	1.07m	10.9s	(2010.7.30.)	

Table 5.2 Continued

부산광역시 해운대구청(2009)	Beach Processes	SSW	0.63m	5.4s	(Spring)	D.L.(+) 0.649m(M.S.L)
		S	0.65m	7.5s	(Summer)	
		E	0.76m	6.8s	(Autumn)	
		E	0.60m	6.6s	(Winter)	
		S	2.60m	11.3s	(Storm)	D.L.(+)1.44m(H.H.W.L) in case of Storm
		ESE	2.80m	9.9s	(Storm)	
부산광역시 해운대구청(2011)	Beach Processes	Irregular Waves (same as above)				(same as above)
해양수산부 부산지방 해양항만청(2014)	Beach Processes	S	3.3m	11.1s	(Storm)	D.L.(+) 1.05m (M.H.W.L)
		ESE	2.3m	9.0s	(Storm)	
		Irregular Waves				
Lim et al. (2014)	Beach Processes	SSW	1.0m	8.0s		M.S.L
		S				
		E				
		ESE				
Yoon (2014)	Rip Current Generation	S	1.0m~2.0m 8.0s~12.0s		Low Tide M.S.L High Tide	
		SSW				
		SSE				

## 5.2 해운대 해수욕장의 Beach Process 연구에 적용한 대표파랑의 출현빈도 분석 결과

앞의 Table 5.1과 Table 5.2의 대표파랑을 가지고 해운대 해수욕장의 Beach Process 연구에 적용한 대표파랑의 출현빈도를 분석해 보았다. 그 결과는 Table 5.3과 같다. 여기서 출현빈도란 연간 대상파고보다 커다란 파가 나타날 수 있는 일수를 나타낸다. 먼저 해운대 해수욕장의 파랑변형 및 해빈류 연구에 적용한 대표파랑 사례를 보았을 때 선정된 파향과 유의파고, 주기 등이 선정된 조건의 이유 없이 일관성이 없고 Storm wave나 Normal wave의 정의도 모호하였다. 조위도 마찬가지로 연관성이 없었다. 그리고 출현빈도를 분석하였을 때 선정된 대표파랑의 출현빈도에 일관성이 없었고 마찬가지로 Storm wave 나 Normal wave의 선정에도 일관성이 없었다.

Table 5.3 Appearance frequency of the waves applied in Table 5.1

적용대상	대표파랑			대상조건	출현빈도 (day/year)
		$H_{s,1/3}$	$T_{s,1/3}$		
해안선변화	S,SE	0.68	5.7		77일
	SW	1.00	6.0		27일
파랑 및 해빈류	SSW	0.63	5.4	Normal	94일
		1.00	6.0	Storm	27일
		1.24	6.8	Storm	15일
	S	0.7	8.0	Normal	71일
		1.42	8.0	Storm	10일
		2.60	11.3	Storm	10시간
		3.0	10.0	Storm	4시간
		3.3	11.1	Storm	3시간
	E ESE SE	0.5	8.0	Normal	155일
		0.76	6.8	Normal	57일
		2.29	9.1	Storm	21시간
		2.80	9.9	Storm	6시간
	3.0	10.0	Storm	4시간	

앞으로 일반적인 다른 해안에서 Beach Processes의 연구를 위하여 1년에 걸친 파고출현빈도분포곡선과 파고출현빈도 누적곡선을 구하여 출현빈도별 파고를 구하여 대표파랑을 결정할 필요가 있다. 이를 위하여 1년에 걸친 파고의 표준편차를 조사할 필요가 있다.



## 6. 결론 및 요약

연안침식원인 규명 및 방지대책수립을 위한 각종 침·퇴적 수치 모델링 및 방지대책수립을 위하여 대표파랑의 선정과 모래이동한계수심의 산정의 중요성이다. 모래이동한계수심의 수식에 대하여 Hallermeier와 Birkemeier의 Closure Depth, Sato-Tanaka의 모래이동한계수심, van-Rijn의 초기이동한계수심에 관한 제안식을 비교·검토 하였다. 파랑데이터는 Hallermeier와 Birkemeier식에서는 기존 문헌에 제시된 1년에 12시간을 초과하는 유의파고와 그에 해당하는 주기 값을 사용하였다. 그리고 2012년~2015년 4년간 파랑데이터를 이용해서 산정한  $H_{s,max}$ ,  $H_{s,1/10}$ ,  $H_{s,1/3}$ ,  $H_{s,mean}$  과 각각의 해당하는 주기를 Sato-Tanaka와 van-Rijn의 식에 적용하여 모래이동한계수심을 비교하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 연간 대표파의 선정을 위해 2012년~2015년까지의 5분 관측치의 유의파고와 주기를 사용하여  $H_{s,max}$ ,  $H_{s,1/10}$ ,  $H_{s,1/3}$ ,  $H_{s,mean}$  값과 파고빈도그래프와 파고빈도누적그래프, 극치파분석을 통하여 출현비도에 따른  $H_s$ 와  $T_s$ 값의 4년 평균치를 구하였다. 그리고 해운대해수욕장 연안정비사업 모니터링 용역 중간보고 및 자문회의 자료를 통하여 수심 10m이내에서 모래의 침·퇴적이 가장 활발하지만 수심 20m지점에서 모래이동은 일어남을 알 수 있고 단면변화결과를 봤을 때 측량한 결과 내에서 DL -6m지점까지 단면변화가 일어남을 알 수 있다.

(2) 2012년~2015년의 년평균 대표파랑에 따른 모래이동한계수심을 산정하였다. Sato-Tanaka등, van-Rijn, Hallermeier와 Birkemeier의 한계수심식을 이용하여 초기이동, 전면이동, 표층이동, 완전이동, Closure Depth를 산정하였고 그 결과 van-Rijn의 초기이동수심이 가장 깊게 나타났고 Sato-Tanaka등의 초기이동수심과 비교하였을 때 다소 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Hallermeier의 Closure Depth는 Sato-Tanaka의 완전이동 수심과 얕은 수심 안에서 비슷한 값이 나타났다.

(3) 해운대해수욕장의 Beach Process에 적용한 대표파랑의 출현빈도를 분석한 결과 Storm Wave나 Normal Wave의 선정에 일관성이 없었고 향후 연구에서 연안침식원인규명 및 방지대책수립을 위해 대표파랑을 선정할 때 1년에 걸친 파고출현빈도분포곡선과 파고출현빈도 누적곡선을 구하여 출현빈도별 파고를 구하여 대표파랑을 결정할 필요가 있다.



## 참 고 문 헌

- 강태순(2014), 연안 취약성 평가 프레임워크 연구, 공학박사 학위논문, 부경대학교
- 이영석(2007), 해운대 해수욕장의 하계 양빈 전후의 퇴적물 조직변화와 지형변화, 이학석사 학위논문, 부경대학교
- 탁대호(2008), 해운대 해수욕장의 계절별 표사순환 특성, 공학박사 학위논문, 부경대학교
- 박종화(2006), 해운대 해수욕장의 표사이동 및 지형변화에 관한 연구, 공학석사 학위논문, 부경대학교
- 박석희(2005), 과흐름 공존장에서 부유사와 소류사 Flux에 의한 지형변화예측 모델, 공학석사 학위논문, 부경대학교
- 장민호(2015), 비정수압 SWASH 모형을 이용한 해운대 해수욕장의 파랑변형 및 해빈류 수치모의, 공학석사 학위논문, 부경대학교
- 김진석(2015), XBEACH 모델을 이용한 해운대 해수욕장 양빈후의 해빈류 특성 변화, 공학석사 학위논문, 부경대학교
- 권경환(2012), 조간대가 발달한 서해 연안에서 흐름장 해석에 관한 연구, 공학석사 논문, 부경대학교
- 이종섭(2015), 해운대 해수욕장의 파랑 및 해빈류 분석, 한국해안해양공학회
- 김기현(2015), 비디오 모니터링을 이용한 양빈 전후 해운대 백사장 변화 특성, 한국해안해양공학회
- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소(2013). 해운대 해수욕장 연안정비사업 모니터링용역 [1차년도]
- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소(2014). 해운대 해수욕장 연안정비사업 모니터링용역 [2차년도]
- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소(2015). 해운대 해수욕장 연안정비사업 모니터링용역 [3차년도]

- 부산지방해양수산청, 부산항건설사무소(2016). 해운대 해수욕장 연안정비사업  
모니터링용역 [4차년도]
- 최영박, 윤태훈, 지홍기(2007). 해안과 항만공학, pp. 320~329
- 장선덕외 (1999). 연안해양학, pp 225 ~285
- Rijn, Leo C.van, (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers,  
Estuaries and Coastal Seas, pp. 2.1~4.34
- Robert M.Sorensen, (2006). Basic Coastal Engineering, pp. 187~190
- Hallermeier, R.J., (1981). A profile zonation for seasonal sand beaches from  
wave climate. Coastal Eng., pp. 253~277
- Hallermeier, R.J., (1978). Uses for a calculated limit depth to beach erosion.  
Proc. Coastal Eng. Conf., 16th, Hamburg, Germany, pp. 1493~1512
- van-Rijn, L.C.(1984a). Sediment Transport Part 1 : Bed Load Transport,  
J.Hydraulic Eng. ASCE, 10, pp. 1431~1456
- van-Rijn, L.C.(1984b). Sediment Transport Part 2 : Suspended Load  
Transport, J.Hydraulic Eng. ASCE, 10, pp. 1613~1641
- Nishimura, H. (1982). Numerical simulation of nearshore circulations, Procs.  
29<sup>th</sup> Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, pp. 333~337

## 감사의 글

본 논문에 도움을 주신 많은 분들이 계십니다. 그 분들 전부를 다 언급 할 수는 없지만 논문을 쓰고 석사 과정을 밟기까지 도움을 주신 모든 분께 감사합니다. 우선 석사학위 받는 것에 반대가 많으셨지만 저의 고집으로 시작한 대학원 생활을 묵묵히 지켜봐주시고 응원해주시고 지원해주신 저의 부모님과 동생에게 감사합니다. 논문을 쓰기 시작하면서부터 그리고 석사를 시작하면서 지금까지 저를 도와주시고 지도해 주셨던 이종섭 교수님께 감사합니다. 교수님께 많이 혼나면서 많은 공부가 되었고 많은 것을 배운 것 같습니다. 정말 감사합니다.

학회나 수연회 모임에서 아낌없이 지도를 해주셨던 박일흠 교수님과 이동수박사님, 논문에 쓰였던 많은 측량자료들과 조언을 아낌없이 해주셨던 강태순 박사님, 현장 조사에 데려가주시면서 많은 것을 가르쳐주시고 조언해주시던 윤은찬 박사님, 연락 자주하시면서 후배인 저를 챙겨 주셨던 김종훈 선배님, 논문 쓰는 방법부터 논문주제에 대해서 같이 고민해 주셨던 권경환 선배님, 부족한 저를 다그치면서 항상 걱정하는 강민호선배님, 공부가 부족한 저에게 많은 것을 가르쳐주고 조언해주는 김진석 선배님 등 수연회의 많은 선배님들에게 감사하다는 말 전하고 싶습니다. 석사 생활 2년 동안 힘든 일도 많았고 공부가 잘 안되는 기간에 옆에서 힘이 되 준 박지혜 후배님에게 감사합니다. 석사논문을 쓸 때 학위발표에 대한 조언과 전체적인 논문 내용에 대해 조언을 해준 진영규 선배님에게 감사합니다. 연구실생활에 있어서 많은 활력소와 힘이 되 준 이정빈, 설은성, 최운호, 정택문, 김재현 학생에게도 감사하다는 말 전하고 싶습니다. 그리고 힘들 때나 고민이 있을 때마다 들어주고 조언해준 이명준, 최영신, 배군우에게도 감사하다는 말 전하고 싶습니다.

석사생활을 하면서 저한테 많은 관심과 격려를 해주셨던 많은 분들에게 보답한다는 생각으로 사회에 나가서도 열심히 하고 능력을 인정받도록 최선을 다해 적응하고 노력하도록 하겠습니다. 다시 한번 도움을 주신 많은 분들에게 감사하다는 말 전하고 싶습니다.