

ORIGINAL ARTICLE

하구둑 방류와 환경적 인자에 따른 낙동강 하구 지역 해저 지형변화 연구

김기철 · 김성보^{1)*}

동아대학교 융합교양대학, ¹⁾영산대학교 드론교통공학과

Bathymetric Changes in the Nakdong River Estuary owing to Discharge from the Nakdong River Barrier and Environmental Factors

Ki-cheol Kim, Sung-Bo Kim^{1)*}

College of General Education, Dong-A University, Busan 49315, Korea

¹⁾Department of Drone and Transportation Engineering, Young-San University, Gyeongnam 50510, Korea

Abstract

In this study, the bathymetric data acquired from 2018 to 2020 and the precipitation and suspended sediment data were analyzed for changes in bathymetry owing to the discharge from the Nakdong River barrier and environmental factors, especially the torrential rain in 2020. Sediment erosion and deposition processes are repeated because of complex environmental factors such as discharge from the Nakdong River barrier and the influence of waves generated from the external sea. In the first half of the year after the dry season, bathymetric data showed relative erosion trends, whereas in the second half after the flood season, deposition trends were identified owing to the increase in sediment transport. However, the data from the second half of 2020 showed a large amount of erosion, resulting in tendencies different to those of erosion in the first half and deposition in the second half of the year. This result is judged to be influenced by the weather in the summer of 2020. The torrential rain in the summer of 2020 resulted in a higher force of erosion than that of deposition. In summary, the tendency for erosion is more significant than that of sedimentation, especially in the main channel area of the Nakdong River.

Key words : Nakdong-River estuary, Bathymetry, Discharge, Suspended sediments, Precipitation

1. 서론

항만건설은 매립이나 준설을 포함한다. 대규모 준설과 매립이 동반되는 건설공사로 인하여 자연 상태의 지형을 변화시키기 때문에 이로 인한 수리 역학적 환경 변

화(흐름의 양상과 크기, 파고 등)가 발생하게 된다. 이러한 수리 역학적인 변화는 퇴적물의 이동을 통하여 기존의 평형을 이루던 자연지형 및 저질 상태로부터 새로운 평형을 이루는 원인이 된다. 하구는 특성상 수리적으로 복잡하며 이러한 대규모 공사로 인한 인위적 변화와

Received 3 January, 2021; Revised 2 July, 2021;

Accepted 5 July, 2021

*Corresponding author: Sung-Bo Kim, Department of Drone and Transportation Engineering, Young-San University, Gyeongnam 50510, Korea

Phone : +82-55-380-9504

E-mail : tamsabo@ysu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하구 지역의 지형적 특성이 복합적으로 작용함에 따른 수리 역학적 변동은 자연 상태의 하구 지형을 변화시키게 된다(Hayes, 1979; Gao and Collins, 1994; Baily and Nowell, 1996; Stutz and Pilkey, 2002).

그중 낙동강 하구역은 1980년대 이후 신평 장림산업 단지과 낙동강 하구둑 건설 사업을 시작으로, 녹산공단, 명지 주거단지 조성사업, 부산항 신항만 건설 등 주변 지역 개발로 인해 많은 인위적인 환경변화가 발생하였다. 인위적 변화는 주로 1987년 완공된 낙동강 하구둑에 의해 나타난다. 인공구조물 건설로 인해 강수와 해수의 자연스러운 혼합을 방해하게 되어 과거의 지형에 비해 상당히 많은 변화가 발생하게 되었다. 이러한 지형 변화는 해저 지형 변화 뿐만 아니라 사주지형의 변화에 이르기까지 하구역 전 지역에 걸쳐 광범위하게 나타나고 있다(Allen, 1973; McLaren, 1981; Davis and Hayes, 1984; Roux, 1994; Roux et al., 2002; Kim and Kim, 2014).

낙동강 하구 지역에 대한 연구 중 Park et al.(2014)은 2007년부터 2012년까지 낙동강 하구역 진우도와 신자도 지역을 대상으로 지형 변화에 대한 연구를 수행하여 약 5년간의 해저 지형 측량 자료를 이용하여 지형 변화 경향을 정량적으로 파악하여 제시하였으며, Park et al.(2016)은 낙동강 하구 진우도 남측의 해역을 대상으로 해저 지형 변화를 분석한 결과를 태풍의 영향과 비교하여, 태풍으로 인한 지형변화 양상의 결과를 제시하였다. Kim et al.(2005)은 사주 지형의 해안선 변화율을 항공사진 조사 결과를 이용하여 분석하여 수치지도 자료만으로 해안선 변화 정보를 획득할 수 있도록 분석 방법을 제안하였으며, Jung et al.(2013)은 항공사진과 SPOT-5 위성영상을 이용하여 낙동강 하구 울타리 섬들의 해안선 변화율을 분석하여 항공사진, 인공위성 영상 등의 원격탐사 자료를 활용하여 해안 지형을 분석하는 기법을 제안하기도 하였다. 이렇게 낙동강 하구의 지형 변화에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그 뿐만 아니라 Jang and Kim(2006)은 낙동강 하구에서의 해수 순환을 분석하여 해양 환경 변화 양상을 분석하였으며, Kim et al.(1999)은 낙동강 하구둑의 수문 개폐에 따른 하류부의 해양 물리환경 변화 특성에 관한 연구 결과를 제시한 바 있다. 이와 유사한 연구로 Kim and Kim(2014)은 하구둑의 구조 형상에 따른 방류수의 유출 경향에 대한 연구

를 수행하여 하구둑 남측의 하구 지형 변화에 대한 경향성을 검토한 바 있다. 이러한 연구 결과는 낙동강 하구의 담수 방류와 해수의 밀도 차이를 비롯한 다양한 환경적 인자가 하구 지역의 해저 지형 변화에 영향을 미칠 수 있다는 가능성에 대한 결과를 제시하였다

이렇듯 낙동강 하구 지역을 대상으로 다양한 분야에 관한 연구가 수행되었으며, 향후 낙동강 하구 영구개방과 관련하여 환경적 변화에 관심이 많은 지역이라 할 수 있다. 하지만 현장에서 취득한 자료를 활용하여 분석한 결과는 부족한 실정이며, 모델링 또는 정밀도가 상대적으로 낮은 원격탐사 자료를 활용한 결과로 분석한 자료를 통한 결과이므로 현장에서 실제 취득한 자료를 분석한 연구 결과가 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 하구 지역을 대상으로 2018년부터 2020년까지 취득한 해저지형 자료와 기상청의 강우량 자료, 한국수자원공사의 낙동강 하구둑 방유량과 부유사 유출량 자료를 통하여 지형변화 양상을 제시하고, 2020년 하계에 발생한 집중호우 등에 의한 계절적 특징으로 인한 변화 양상까지 복합적으로 비교분석 하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구방법

2.1. 연구지역

연구지역은 Fig. 1과 같이 한반도 동남단에 위치한 낙동강 하구로 낙동강과 해수가 만나 혼합이 되는 곳이다. 낙동강의 상류로부터 유입된 많은 부유물이 하류로 내려오다가 수심이 얕아지고, 유속이 느려져 운반된 입자가 퇴적되어 해안선과 평행한 크고 작은 사주를 형성한 지역이다. 그렇게 생성된 지형으로 을숙도와 같은 하중도와 진우도, 신자도 및 도요등과 같은 울타리 섬을 비롯하여 백합등, 대마등, 맹금머리등과 같은 다수의 사주가 발달되어 있다. 낙동강 하구역의 지형은 내륙으로부터의 강수 유출, 외해로부터의 파랑과 조류, 그리고 강력한 외력이 작용되는 태풍 등에 의해 끊임없이 변화한다. 이에 더하여 1987년 낙동강하구둑이 건설된 이래로 강수와 해수의 혼합은 하구둑 수문이 개방되는 시간에만 인위적으로 이루어져 이는 낙동강 하구의 퇴적환경에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 수리역학적인 변동은 퇴적물의 이동 현상을 통하여 기존의 평형을 이루던 자연지형 및 저질 상태로부터 새로운 평형 상태를 이루게 하는 원인이



Fig. 1. Satellite image of the Nakdong river estuary(SPOT-7; October 11, 2019).

Table 1. The survey date for this study

Survey year/ month		Period
2018	Oct.	2018. 10. 26. ~ 11. 3.
	Apr.	2019. 4. 18. ~ 22.
2019	Oct.	2019. 10. 18. ~ 22.
	Apr.	2020. 4. 7. ~ 12.
2020	Oct.	2020. 10. 16. ~ 21.

된다. 따라서 낙동강 하구 지역에서 국지적인 침식 또는 퇴적 현상으로 인한 선박 통항로 폐쇄나 해양 생태계 변화 등이 예상되며, 향후 각종 환경적 변화에 대한 평가를 수립하기 위해서는 지속적인 환경변동 모니터링이 반드시 실시되어야만 한다.

본 연구지역은 부산항 신항건설, 낙동강 하구 영구개방, 주거단지 매립, 다대포 해수욕장 친수환경 조성사업 등 다양한 사업과 관련하여 환경적 변화에 관심이 많은 지역이라 할 수 있다. 하지만 현장에서 취득한 자료를 활용하여 분석한 결과는 부족하다. 따라서 지속적인 현장 조사를 통하여 해저지형 및 환경적 요인에 대한 조사가

필요하며, 수치모형 실험 및 수리모형 실험과 현장 조사를 통해 취득한 자료의 융합 분석을 통한 연구가 필요하다.

2.2. 연구방법

해저지형 조사를 위해 SonarTech사의 Aqua Ruler 200 기종의 Echo Sounder를 이용하여 조사를 진행하였다. Bar-check를 통한 음속보정 및 Draft 보정(송수파기 위치보정)을 실시하였으며, 조위보정은 국립해양조사원의 가덕도 조위관측소의 조위자료를 이용하여 가덕도 기준면으로 환산하였다. 해상의 수평 위치는 Trimble 사의



Fig. 2. Survey areas for channel analysis(SPOT-7; October 11, 2019).

Differential Global Positioning System (DGPS)를 사용하여 Universal Transverse Mercator (UTM) 좌표계로 위치를 결정하였다.

해저지형 조사는 2018년부터 10월부터 2020년 10월 까지 총 5회의 자료를 분석 자료로 활용하였으며, 조사 일정은 Table 1과 같다.

낙동강 하구 지역 울타리섬 외해의 전체 지역에 대하여 수심을 조사하여 해저지형의 경향을 분석하였으며, 내륙에서 유출되는 강수의 영향을 확인하기 위하여 협수로 구간인 Area A, B, C, D를 설정하여 정선별 정밀 해저지형 조사를 수행하였다.

해저지형 조사와 추가로 낙동강 하구둑의 방류량을 확인하기 위하여 한국수자원공사(K-WATER; 2020)에서 제공하는 낙동강 하구둑 수문자료를 활용하였으며, 강우량 및 태풍 정보는 기상청에서 제공하는 자료(대한민국 기상청 (KMA; 2020)를 활용하여 분석하였다.

3. 자료분석

3.1. 울타리섬 외측 해저지형

낙동강 하구에 위치하고 있는 울타리섬 남측해역의 등수심도는 Fig. 3과 같으며, 해저지형 조사 자료를 분석에서 최대수심은 조사시기에 관계없이 약 -9.5 m로 확인

되었다. 전체 수심범위는 가덕도 D.L. 기준(D.L. 0 m)으로 (-)9.5 m ~ (+)1.9 m 범위를 보이고 있다. 등수심도를 확인한 결과 전체 해저지형의 경향은 큰 변화없이 유지되고 있는 것으로 보이나, 울타리섬 내측과 외측의 통수로인 Area A, B, C, D에서 해저지형이 지속적으로 변화하였다.

3.2. 협수로 해저지형 변화

Area A는 놀차도와 진우도 사이의 협수로 구간으로 남북, 동서 방향 100 m 간격으로 각각 4개 정선을 설정하였다. Area B는 진우도와 신자도 사이의 협수로 구간으로 남북, 동서 방향으로 각각 5개 정선, Area C는 신자도와 도요등 사이의 협수로 구간으로 남북, 동서 방향 200 m 간격으로 각각 4개 정선을 설정하였다. 그리고 Area D는 도요등과 다대포 해수욕장 사이의 협수로 구간으로 남북, 동서 방향으로 100 m 간격으로 각각 4개 정선을 설정하여 분석하였다. 정선 명칭은 Table 2와 같이 수평 정선은 남쪽부터 시작하여 북쪽으로 설정하였으며, 수직 정선은 서쪽부터 동쪽으로 설정하였다.

놀차도와 진우도 사이의 협수로 지역인 Area A는 부산신항 연결잔교 통수로, 녹산산업단지 송정천, 신호항의 수로가 연결되어 유출되는 지역으로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 수로의 폭이 좁아지며 울타리섬 내측으로부터의

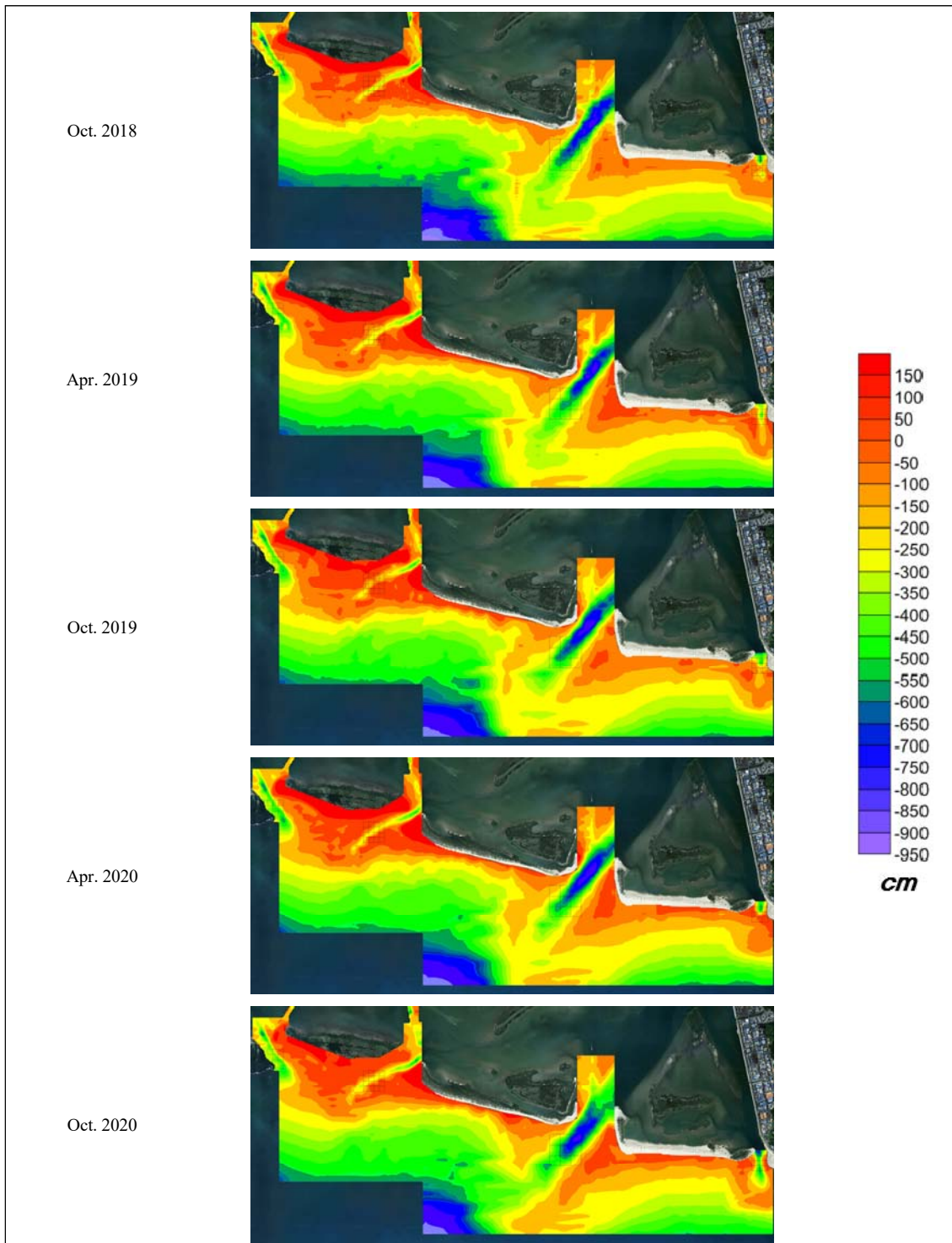


Fig. 3. Trends of bathymetric changes in the overall study area (Oct. 2018 ~Oct. 2020).

Table 2. Survey line by study area

Survey Area	Survey Line	
	Vertical	Horizontal
A	AV01(West) ~ AV04(East)	AH01(South) ~ AV04(North)
B	BV01(West) ~ BV05(East)	BH01(South) ~ BV05(North)
C	CV01(West) ~ CV04(East)	CH01(South) ~ CV04(North)
D	DV01(West) ~ DV04(East)	DH01(South) ~ DV04(North)

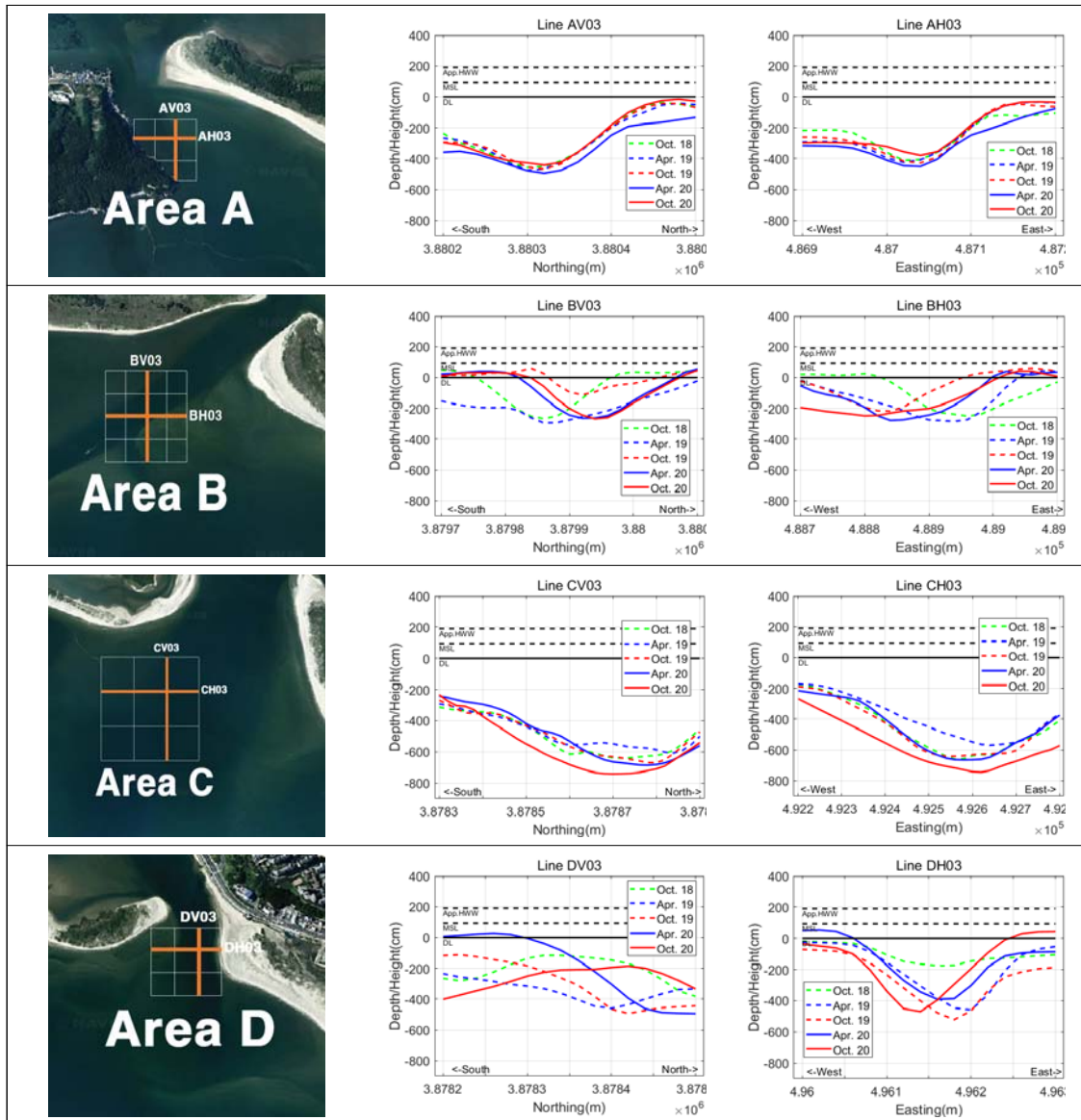


Fig. 4. Bathymetric changes by line in area (Oct. 2018 ~ Oct. 2020).

Table 3. Monthly data for the duration of the study

Period	Average daily discharge ¹⁾ (m ³ /s/day)		Suspended sediments ¹⁾ (mg/ℓ)		Total precipitation ²⁾ (mm)	
	month	semi-annual	month	semi-annual	month	semi-annual
May. 2018	4,785		5.8		131.7	
Jun. 2018	5,773		10.4		218.6	
Jul. 2018	18,212	13,220	14.0	11.4	139.5	1,106.3
Aug. 2018	15,277		24.6		214.8	
Sep. 2018	15,420		7.3		244.1	
Oct. 2018	19,857		6.4		157.7	
Nov. 2018	2,961		6.4		65.5	
Dec. 2018	3,267		1.9		38.9	
Jan. 2019	2,648	2,750	4.2	5.9	12.6	320.3
Feb. 2019	2,093		3.0		45.6	
Mar. 2019	1,894		5.9		77.6	
Apr. 2019	3,636		14.2		80.0	
May. 2018	4,649		5.7		97.7	
Jun. 2018	6,537		7.3		278.3	
Jul. 2019	16,458	12,130	8.0	10.3	375.7	1,270.7
Aug. 2019	6,163		8.7		136.7	
Sep. 2019	13,158		12.7		223.9	
Oct. 2019	25,817		19.5		158.4	
Nov. 2019	2,977		4.2		24.7	
Dec. 2019	2,893		3.3		39.9	
Jan. 2020	4,520	3,653	8.4	6.6	116.2	373.6
Feb. 2020	4,337		8.4		76.9	
Mar. 2020	4,262		6.3		49.2	
Apr. 2020	2,930		8.9		66.8	
May. 2020	4,221		3.8		79.0	
Jun. 2020	9,145		4.0		259.3	
Jul. 2020	59,507	32,800	7.0	9.8	609.1	1,584.5
Aug. 2020	76,109		19.7		289.9	
Sep. 2020	42,522		11.9		320.4	
Oct. 2020	5,300		12.6		26.8	

1) Hydrologic data of Nakdong river estuary barrage of K-WATER

2) Average precipitation at the Gimhae-Busan-Yongsan Weather Station by KMA

유출과 울타리섬 남측인 외부에서의 유입이 일어나는 주된 통수로인 주수로 지역으로 다른 지역에 비해 지형변화가 발생할 가능성이 높은 지역이다. 대체적으로 침식과 퇴적이 반복적으로 발생하는 것으로 보이며, 상반기(전년 11월부터 당해 4월) 이후인 4월 조사 자료에서는 침식, 하반기(5월부터 10월) 이후인 10월 자료에서는 퇴

적의 경향을 확인할 수 있다.

진우도와 신자도 사이의 협수로인 Area B는 Area A와 마찬가지로 선박의 통항이 많은 곳이다. 협수로 남측의 골은 서쪽으로, 북측의 골은 동쪽으로 이동 경향을 보인다. 서낙동강의 주수로인 이 지역은 낙동강 하구둑의 방류와 외해 파랑의 내습 등 복합적인 영향에 의해 침식과

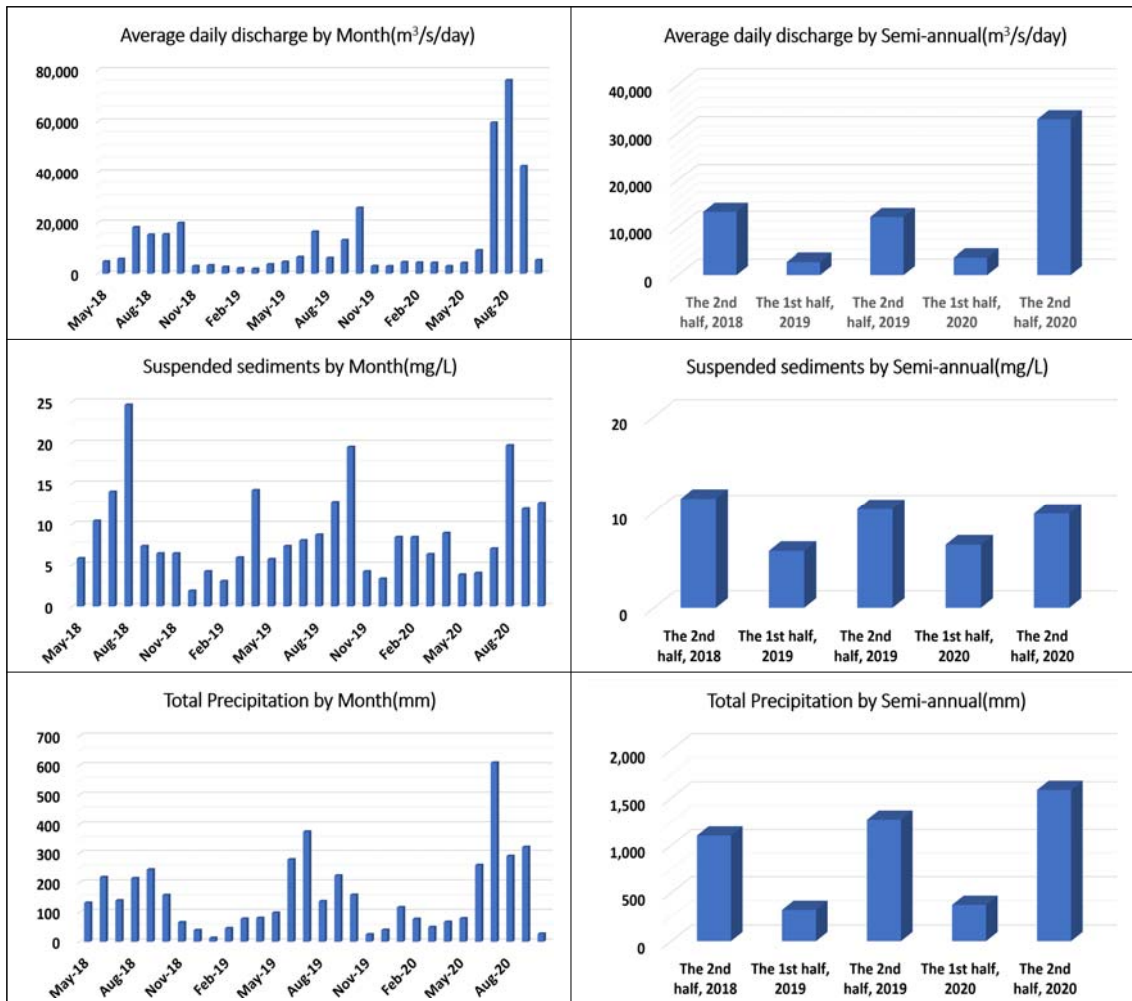


Fig. 5. Time series of Monthly data for the duration of the study.

퇴적이 반복적으로 나타나고 있다. 서낙동강에서 방류되는 방류수에 의해 내륙으로부터 부유사가 수송되어 수로의 유속이 줄어드는 구간에서 일부는 퇴적되고 상대적으로 유속이 빠른 지역에서는 침식되는 경향이 나타나는데 이러한 경향은 태풍 시 발생한 강우 및 태풍파 등 외력에 의해 더욱 강해진다. 그 결과로 인해 2020년 하반기의 경우 침식 현상이 크게 나타난 것으로 보인다.

신자도와 도요등 사이의 협수로인 Area C와 도요등과 다대포 사이의 협수로인 Area D는 낙동강 본류가 유출되는 수로이며, 가장 많은 강수가 유출되는 지역이다. 그 중 Area C가 낙동강 방류수에 의한 영향이 가장 크며,

Area D도 수로폭은 좁지만 낙동강 하구둑 방류수에 의한 큰 협수로라 할 수 있다. Area C, D의 정선을 분석한 결과 Area C에서 조사 정선의 동쪽(도요등)에 침식의 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 낙동강 방류수의 영향으로 주 수로의 방향이 북쪽과 동쪽(낙동강 하구 방향)으로 이동하는 양상을 보인다. 과거의 양상과 동일하게 상반기 침식-하반기 퇴적의 계절적 현상 뿐만 아니라 2020년 태풍 시 강우로 인한 방류수의 증가로 낙동강 하구 주 수로인 동쪽 부분은 침식되는 경향을 나타내고 있다. 낙동강 방류수의 주수로 입구인 남쪽 부근은 큰 변화 양상을 나타내지 않지만 대체로 주 수로 전체적으로

Table 4. Typhoon that affected the Korean Peninsula during the analysis period (KMA)

Year	No.	Name	Passed date	Passed route	Maximum wind speed (m/s)
2018	7	PRAPIROON	2018. 07. 03.	Korea Straits	32
	15	LEEPI	2018. 08. 15.	Busan	21
	25	KONG-REY	2018. 10. 06.	Tongyeong	57
2019	5	DANAS	2019. 07. 20.	Jindo	24
	8	FRANCISCO	2019. 08. 06.	Busan	32
	17	TAPAH	2019. 09. 22.	Busan	37
	18	MITAG	2019. 10. 02.	Haenam	37
2020	5	JANGMI	2020. 08. 10.	Geoje	19
	8	BAVI	2020. 08. 26.	Heuksando	45
	9	MAYSAK	2020. 09. 03.	Busan	49
	10	HAISHEN	2020. 09. 07.	Ulsan	55

침식되는 현상으로 나타났으며, 이로 인해 수로폭이 넓어지는 경향이 나타났다. 그러한 경향은 Area D에서도 나타난다. Area C, D의 경우 2020년 하반기에 퇴적 경향 보다는 침식 경향이 크게 나타나고 있는 것으로 확인되었는데, 이는 2020년 하계에 낙동강 하구둑 방류수의 급격한 증가와 태풍에 의한 작용으로 형성된 지형 변화로 판단된다.

3.3. 해저 지형변화와 수리학적 요인

하구 지역에 해저 지형을 변화시키는 수리학적 요인으로 하천수의 유입이 가장 큰 영향을 미친다. 해저의 지형은 부유사의 공급 뿐만 아니라 다양한 물리적 환경요인에 의해 침식과 퇴적이 발생한다. 하구 지역은 담수와 해수가 만나는 기수역이므로 담수와 해수의 밀도 차이에 의한 경사에 의해서도 부유사의 수송에 영향을 미칠 수 있다. 그 뿐만 아니라 조석과 파랑을 비롯한 기타 기상요인에 의해서 해저 지형이 변화한다고 할 수 있다.

본 연구지역은 낙동강 하구둑의 방류량에 직접적인 영향을 받는 Area C의 경우 외해로 유출되는 수로(을숙도 항로)와 명지 방향에서에서 외해로 유출되는 수로(명지 항로)이며, 해저지형 변동의 기복(침식-퇴적)이 반복적으로 나타나고 있는 것으로 나타났다. Table 3과 Fig. 5는 낙동강 하구둑 방류량과 부유사 유출량, 그리고 부산 지역의 강우량을 나타낸 자료이다. 낙동강 하구둑의 방류량과 부유사 유출량은 한국수자원공사(K-WATER; 2020)에서 제공하는 자료를 활용하였으며, 부산지역 강

우량은 낙동강 유역에 영향을 미칠 수 있는 부산, 김해, 양산의 기상 관측소(대한민국 기상청(KMA); 2020)에서 취득한 자료의 평균값으로 나타내었다. 2018년 5월부터 2020년 10월까지의 자료를 대상으로 분석하였으며, Table 3은 월별 자료와 반기별 자료로 나누어 나타내었다. 반기별 자료는 직전년(2018년부터) 11월부터 다음해 4월까지의 6개월 자료를 상반기, 5월부터 10월까지 자료를 하반기 자료로 구분하였다. 이는 해저지형 조사를 4월과 10월에 진행하였으므로 상반기와 하반기의 자료를 구분하기 위한 방안이다.

일평균 방류량은 2018년 상반기 평균 13,220 m³/s 방류했으며, 이 시점에 부유사는 1 l 당 11.4 mg이 유출된 것으로 나타났다. 2019년 상반기 방류량은 평균 2,750 m³/s 방류했으며, 부유사는 1 l 당 5.9 mg이 낙동강 하구둑을 통하여 유출되었다.

기상청의 강우량과 비교하면 부유사의 유출량은 강우량에 비례한다. 하지만 Table 3과 Fig. 5의 자료에서 확인한 결과 방류량 증가하면 부유사 유출량도 증가하는 큰 경향은 나타났지만, 2018년 하반기에 비하여 2020년 하반기 방류량은 3배 증가한 것으로 확인되는데 비해 부유사 유출량은 2018년 하반기 11.4 mg/l, 2020년 하반기 9.8 mg/l로 방류량이 3배 증가한 것과 대비해 오히려 감소한 결과가 나왔다. 계절적 영향으로 방류량, 부유사 유출량, 강우량 모두 상반기 감소-하반기 증가되지만 방류량이 증가한 양만큼 부유사 유출량이 비례하여 나타

나지는 않았다.

낙동강 하구둑의 2019년 상반기(2018년 11월 ~ 2019년 4월) 일 평균 방류량은 2,750 m³/s이며, 2019년 하반기(2019년 5월 ~ 2019년 10월) 평균 방류량은 12,130 m³/s인 것으로 확인되었으며, 2020년 상반기(2019년 11월 ~ 2020년 4월) 일 평균 방류량은 3,653 m³/s이며, 2020년 하반기(2020년 5월 ~ 2020년 10월) 평균 방류량은 32,801 m³/s인 것으로 확인되었다. 이는 과거의 동일한 기간에 비해 약 2.5배 증가한 양으로 2020년 하계 동안 한반도에 영향을 미친 집중호우로 인해 방류량이 증가하였고, 그로 인해 방류량이 증가됨에 따라 하구 지역의 지형이 변화된 것으로 추정할 수 있다. 2020년 상반기까지의 자료에서는 하구둑 방류수의 주 유출 수로를 따라 도요등 부분은 침식되고 상대적으로 방류수의 영향이 적은 신자도 지역은 퇴적되는 경향을 보이고 있었다. 하지만 동일지역에서 2020년 하반기 분석 결과 상당량이 침식된 것으로 나타났다. 향후 해저지형이 상반기 침식-하반기 퇴적 지형으로 기존의 경향으로 회귀하는지 여부는 확인이 필요하다.

2020년의 경우 최근 몇 년간을 비교했을 때 많은 태풍이 한반도를 지나갔으며, 강도가 강력한 태풍이 조사지역에 영향을 미쳤다. 제1호 태풍 봉풍을 시작으로 11월 까지 총 22개의 태풍이 발생하였으며, 그 중 4개의 태풍(Table 4)이 한반도에 직접적인 영향을 주었다. 그리고 참흙(14호, 10월 8일)이 일본 남동해상으로 지나가며 간접적인 영향을 주었다. 한반도에 영향을 미친 태풍 중 장미(5호), 마이삭(9호), 하이선(10호)이 조사지역 인근을 통과하여 직접적인 영향을 준 것으로 판단된다. 2020년에 영향을 준 태풍의 큰 특징은 태풍의 주기가 짧아 태풍이 지나가고 원래의 모습으로 복원되기 전에 다시 태풍의 외력이 가하게 되어 태풍의 영향이 누적된 것으로 보인다. 집중호우 및 긴 장마로 인한 급격히 증가한 방류량에 의한 영향으로 침식지형이 형성되었으며, 추가로 내습한 태풍에 의해 지형변화가 다수 발생하였을 것으로 판단된다. 일반적으로 하천수에 방류로 인해 하구 지역은 하천수의 방류량이 증가하면 그에 따라 부유사 유출량도 많아져 하구 지역은 퇴적이 우세한 환경이 된다. 하지만 2020년 상반기에 발생한 기록적인 폭우와 긴 장마로 인해 강우량이 많아지고, 그로 인해 하구둑 방류량 또한 급격히 증가하여 부유사가 침전될 시간적 여유

없이 외해로 쓸려 내려갔을 것으로 분석된다. 따라서 연구지역의 해저지형은 태풍 시 강우로 인한 방류수의 증가로 낙동강 하구 주수로인 도요등-신자도 수로와 도요등-다대포 수로에 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 도요등-신자도 수로인 주수로 동쪽 부분은 침식되는 경향을 나타내고 있다. 낙동강 방류수의 주수로 입구인 남쪽 부근이 크게 열린 현상을 확인할 수 있었다. 전체적으로 침식되는 현상으로 나타났으며, 이로 인해 수로의 폭이 넓어지는 경향이 나타났다.

4. 결론

본 연구는 5회에 걸쳐 낙동강 하구의 해저 지형을 조사하고, 해저 지형조사를 실시한 시기를 포함한 직전 6개월의 낙동강 하구둑 방류량, 부유사 유출량, 강우량 자료를 분석하여 낙동강 하구 지역의 해저 지형변화에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

해저 지형 조사 결과 대체적으로 침식과 퇴적이 반복되며, 4월은 침식, 10월은 퇴적 경향을 확인할 수 있다. 하지만 2020년의 경우 하반기의 조사에서 침식 현상이 크게 나타난 것으로 확인되었다. 한국수자원공사의 낙동강 하구둑 방류량과 기상청의 강우 자료를 확인한 결과 2020년 상반기까지의 자료에서는 하구둑에서 방류되는 방류수의 주 유출 수로를 따라 도요등 부분은 침식되고 상대적으로 방류수의 영향이 적은 신자도 지역은 퇴적되는 경향을 보이고 있었다. 하지만 2020년 하반기 분석에서는 상당량의 퇴적이 침식된 것으로 나타났다.

낙동강 조건대는 하구둑의 방류와 외해 파랑의 내습 등 복합적인 영향에 의해 침식과 퇴적이 반복되는 퇴적 환경에 놓여있고, 상반기(전년 11월부터 당해 4월)는 침식이 지배적이며, 강우가 집중되는 기간을 포함하는 하반기(5월부터 10월)는 퇴적이 우세하다. 하지만 2020년 하반기 자료는 과거 자료와는 다른 양상인 침식을 확인할 수 있다. 이것은 상반기 침식-하반기 퇴적의 경향을 벗어난 결과임에는 분명하다. 2020년의 경우 해저 지형 변화 양상이 동일 시점의 과거 자료와 다른 경향을 나타내고 있다. 이것은 하계의 일기에 의한 영향으로 판단되는데, 1개월이 넘는 장마와 여러 차례 발생한 집중호우로 인하여 2020년 방류량이 2019년에 비하여 약 3배 증가하였으며, 방류량이 증가하여 퇴적물의 증가로 인해

퇴적되는 효과보다 방류량이 급격히 증가하여 하천수의 유출에 의하여 퇴적되는 시간과 힘보다 밀어내는 힘이 강하여 침식된 결과로 판단된다. 그리고 2020년 하반기 지형조사 자료에서 낙동강 하구 주 수로인 도요등-신자도 수로와 도요등-다대포 수로는 크게 열려 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 경향은 하구둑의 방류량 증가로 인해 담수의 유출이 증가하였으며, 추가로 2020년 하계에 다수 발생한 태풍의 영향도 함께 작용되었을 것으로 판단된다.

특히 도요등-신자도 수로 지역의 경우 퇴적 경향 보다는 침식 경향이 크게 나타나고 있는 것으로 나타남에 따라 2020년 낙동강 하구 지역의 지형변화는 낙동강 하구둑 방류수의 급격한 증가와 태풍에 의한 작용으로 형성된 지형으로 판단된다.

REFERENCES

- ALLEN, J. R. L., 1973, Phase differences between bed configuration and flow in natural environments, and their geological relevance, *Sedimentology*, 20(2), 323-329.
- Baily, B., Nowell, D., 1996, Techniques for monitoring coastal change: a review and case study, *Ocean and Coastal Management*, 32(2), 85-95.
- Busan Development Institute, 2008, *Ecological Monitoring of the Nakdong River Estuary (2007~2008)*.
- Davis, R. A., Hayes, M. O., 1984, What is a wave-dominated coast?, *Marine Geology*, 60(1), 313-329.
- Gao, S., Collins, M. B., 1994, Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments, *Journal of Coastal Research*, 10(1), 70-78.
- Hayes, M. O., 1979, Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: *Leatherman SP(ed) Barrier Islands*, Academic Press, New York, 1-27.
- Jang, S. T., Kim, K. C., 2006, Change of oceanographic environment in the Nakdong Estuary, *The Korean Society Of Oceanography*, 11(1), 11-20.
- Jung, S. H., Khim, B. K., Kim, B. O., Lee, S. R., 2013, Shoreline-change rates of the barrier islands in Nakdong river estuary using aerial photography and SPOT-5 image, *Ocean and Polar Research*, 35(1), 1-14.
- K-water, Information about quality of water at a multipurpose dam, 2020, <http://www.kwater.or.kr/>.
- Kim, B. O., Khim, B. K., Lee, S. R., 2005, Development of mosaic aerial photographs for shoreline change study in Nakdong estuary, *Ocean and Polar Research*, 27(4), 497-507.
- Kim, K. C., Kim, S. B., 2014, Characteristics of the plume formed by the buoyant discharges from the river, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 38(8), 988-1001.
- Kim, K. C., Yang, H. S., Kim, C. K., Moon, C. H., Jang, S. T., 1999, Variations of physical oceanographic environment caused by opening and closing the floodgate in Nakdong Estuary, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 2(2), 49-59.
- Korea Meteorological Administration (KMA), 2020, <http://typ.kma.go.kr/>
- Le Roux, J. P., 1994, A Spreadsheet template for determining sediment transport vectors from grain-size parameters, *Computers and Geosciences*, 20(3), 433-440.
- Le Roux, J. P., O'Brien, R. D., Rios, F., Cisternas, M., 2002, Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters, *Computers and Geosciences*, 28(5), 717-721.
- McLaren, P., 1981, An Interpretation of trends in grain size measures, *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2), 611-624.
- Park, B. W., Kim, S. B., Kim, J. J., Kim, K. C., 2016, Bathymetric changes off the sea south of Jinwoo-do Island in the Nakdong River estuary, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 40(1), 69-74.
- Park, J. K., Khim, B. K., Lee, H. J., Lee, S. R., 2014, Recent morphological changes off the shoreface of Jinwoodo and Sinjado in the Nakdong river estuary: 2007-2012, *Ocean and Polar Research*, 36(2), 87-101.
- Stutz, M. L., Pilkey, O. H., 2002, Global distribution and morphology of deltaic barrier island systems, *Proceedings of 6th International Coastal Symposium*, 25-29.

-
- Professor. Ki-Cheol Kim
College of General Education, Dong-A University
kckim@dau.ac.kr
 - Assistant Professor. Sung-Bo Kim
Department of Drone & Transportation Engineering,
Young-San University
tamsabo@ysu.ac.kr