

낙동강 하구역 진우도 남측 해역의 해저지형 변화

박봉운¹ · 김성보² · 김재중³ · 김기철[†]

(Received September 30, 2015 ; Revised November 2, 2015 ; Accepted December 20, 2015)

Bathymetric changes off the sea south of Jinwoo-do Island in the Nakdong River estuary

Bong-woon Park¹ · Sung-bo Kim² · Jae-joong Kim³ · Ki-cheol Kim[†]

요약: 낙동강 하구를 둘러싸고 있는 울타리 섬들 중 하나인 진우도 남측 해역에서의 해저지형 변동을 2006년 6월부터 2015년 4월까지 총 16회의 수심측정 자료를 이용하여 연구하였다. 이 해역의 동쪽은 진우도와 신자도 사이로 서낙동강과 낙동강 하구둑에서 유입되는 담수의 이동 통로로 해수와 담수의 유입 및 유출 수로가 위치해 있으며, 서쪽은 눌차도와 진우도 사이로 부산신항의 연결간교를 통하여 해수가 이동하는 수로가 존재한다. 동쪽 수로 연장에서의 변화가 이 해역의 해저지형 변화를 주도한다. 지형 변동은 퇴적 또는 침식만이 일방적으로 진행되는 것이 아니라 퇴적 또는 침식이 진행되다가 어느 일정한 단계가 지나면 급격한 변형을 통하여 회귀하는 형태를 보이고 있다. 특히 연구 지역의 총 퇴적량은 2006년 6월부터 2013년 3월까지 증가하다가 2013년 10월 자료부터 급격히 감소하여 2015년 4월까지 큰 변동없이 유지되고 있는 것을 보여주고 있다는 결론을 얻었다. 이것은 2013년 10월 초에 한반도에 영향을 준 제 24호 태풍 ‘다나스’(Danas)에 의해 진우도 남측해역의 토사가 외해로 쓸려나간 현상으로 판단된다. 진우도 동쪽에 위치한 수로의 변동은 동서, 남북 방향의 측선을 이용하여 분석하였는데, 수로의 최대수심 위치가 2006년 6월에 비해 2015년 4월까지 서쪽으로 약 100 ~ 130 m, 북쪽으로 약 200 m 이동한 것으로 확인되었다.

주제어: 낙동강 하구, 진우도, 울타리 섬, 해저지형변화, 수로

Abstract: Bathymetric changes were studied in the southern sea off the Jinwoo-do Island, which is one of the deltaic barrier islands surrounding the Nakdong river estuary. In this study, 16 bathymetry data sets were obtained from June 2006 to April 2015. Two narrow channels, the one lying between Jinwoo-do and Shinja-do, and the other one lying between Nulcha-do and Jinwoo-do extended into the eastern and western parts of the study area, respectively. The eastern extension of the channel contained a passage of mixed estuarine waters of seawater and river water discharged from the Nakdong river barrier and the west Nakdong River. The western channel connected the Nakdong River estuary with the Busan New Port via a connecting pier. Total volumetric changes of sediments in study area and discharge flow of the Nakdong river barrier were analyzed. Bottom topographical changes occurred mainly in the eastern extension of the channel. These changes were initially characterized by gradual erosion or deposition followed by rapid restoration. The total volume of sediment gradually increased from June 2006 to March 2013, but experienced a sudden decrease in October 2013 because of typhoon Danas. Few fluctuations were observed from October 2013 to April 2015. Analysis of the cross-sectional bathymetry of the north-south direction showed that the deepest point of the eastern channel moved 100-130 m westward and 200 m northward between June 2006 and April 2015.

Keywords: Nakdong river estuary, Jinwoo-do, Barrier island, Bathymetric change, Channel

1. 서론

낙동강 하구는 낙동강과 해수가 만나 혼합이 되는 곳으로 상류로부터 유입된 많은 양의 토사가 하류로 내려오다 수심의 감소와 유속의 약화로 퇴적되어 해안선과 평행한 크고 작

은 사주의 형태를 만들어 진우도, 신자도 및 도요등과 같은 울타리 섬과 백합등, 대마등과 같은 다수의 사주가 발달되어 있다. 낙동강 하구역의 해저지형은 강수 유출량, 파랑과 조류, 홍수 및 태풍 등에 의해 끊임없이 변화하고 재분포되고 있다.

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5416-265X>): Center of Liberal Education, Dong-A University, Hadan-dong, Saha-gu, Busan, 604-714, Korea, E-mail: kckim@dau.ac.kr, Tel: 051-200-7793

1 Department of Port and Logistics Systems, Dong-A University, E-mail: pbongwoon@hanmail.net, Tel: 051-200-6551

2 Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University, E-mail: tamsabo@donga.ac.kr, Tel: 051-200-5550

3 Department of Civil Engineering, Dong-A University, E-mail: jjkgb@dau.ac.kr, Tel: 051-200-7792

낙동강 하구역은 1980년대 이후 신평 장림산업단지 및 낙동강 하구둑 건설 사업을 시작으로, 녹산공단, 명지주거단지 조성 사업, 부산항 신항만 건설 등 주변지역 개발로 인해 많은 인위적인 환경변화가 발생하였다[1]. 하구는 그 특성상 복잡한 수리 역학적 특성을 가지고 있는데, 이러한 인위적 변화에 따른 수리 역학적 변동은 자연 상태의 하구지형을 변화시키게 된다[2]. 인위적 변화는 주로 1987년 완공된 낙동강 하구둑에 의해 나타난다. 하구둑 건설 이전에는 강수와 해수가 자연스럽게 혼합하여 낙동강수와 함께 내려온 토사는 지금의 울타리 섬 바깥의 외해 멀리까지 실려 나가 그 곳에 자연스럽게 침전되었다[3]. 하지만 하구둑 건설로 강수와 해수는 썰물시에만 만나 혼합이 되는 간헐적 혼합 양상으로 바뀌게 되고 그 결과 외해쪽으로 향하는 추진력을 잃어 지금의 울타리 섬 부근에 퇴적되는 양상[4]을 보이며 이에 따라 낙동강 하구역의 해저지형 변화는 울타리 섬 부근을 중심으로, 특히 울타리 섬 사이 협수로와 그 연장을 중심으로 나타나고 있다[5].

낙동강 하구역 주변, 특히 울타리 섬 주변의 해저지형 변화의 연구는 다양하게 이루어지고 있다. Park *et al.* [6]은 2007년부터 2012년까지 낙동강 하구 울타리 섬인 진우도와 신자도 남측을 대상으로 5년간 해저 지형측량 자료를 이용하여 변화 경향을 정량적으로 분석하여 해저 지형변화에 대한 방향성을 제시하였다. Jeon *et al.* [7]은 표층 표사 이동량을 통하여 낙동강 하구 울타리 섬의 지형 형성 및 발달에 대한 기초적인 연구를 수행하였다. Yoon *et al.* [8]은 낙동강 하구역에서 채취한 퇴적물을 분석하여 계절적인 변화특성과 장기간의 변화특성을 확인하였다. Jung *et al.* [9]은 항공사진과 위성영상을 이용하여 해안선 변화율을 분석하였다. Park *et al.* [10]은 비디오 모니터링 시스템을 이용하여 도요등을 대상으로 하구 사주변화 모니터링을 수행하였다. 그리고 Kim *et al.* [11]은 항공사진을 이용하여 낙동강 하구 울타리 섬의 해안선 변화율에 대한 정량적인 분석을 실시하였다. 국외 연구의 경우 연안지형의 변화를 조사하기 위해서는 항공사진, 인공 위성 영상 등의 원격탐사자료를 사용하여 해안지형 변화를

분석하는 연구들이 수행되고 있다[12]. 원격탐사자료를 이용한 연안의 해저지형변화 분석은 광역의 자료를 손쉽게 획득할 수 있는 장점이 있지만 직접적인 측량자료에 비해 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

본 연구는 낙동강 하구 울타리 섬들 중 진우도 남측해역을 대상으로 하였다. 이 해역은 진우도와 신자도 사이의 협수로를 통해 낙동강 하구둑과 서낙동강 유출수의 영향을, 놀차도와 진우도 사이 협수로를 통해 서낙동강 유출수와 부산신항 연결잔교를 통한 해수의 영향을 받고 있어, 낙동강 하구역 해저지형 변화의 요인들이 복합적으로 존재하는 곳이다. 기존 연구와는 달리 2006년 6월부터 2015년 4월까지의 장기간에 걸친 자료의 분석으로 낙동강 하구역 해저지형 변화의 중심에 있는 울타리 섬 남측의 해저지형 변화의 경향성과 그 요인들을 분석하고자 하였다.

2. 연구지역 및 현장조사

2.1 연구지역

연구지역은 한반도 동남쪽에 위치한 낙동강 하구역 (Figure 1 (a))이며, 낙동강 하구를 둘러싸고 있는 울타리 섬 중 진우도 남측 해역을 대상으로 동서방향으로 2 km, 남북방향으로 1 km를 선정 (Figure 1 (b))하여 2006년 6월부터 2015년 4월까지 현장관측을 하고 그 결과를 분석하였다. 연구지역의 수심은 1~3 m의 양상을 보이며, 수로부에서 최대 5 m의 수심을 나타내는 지형을 보이고 있다.

연구 지역의 동쪽은 서낙동강에서 유입되는 담수의 이동 통로로 해수와 담수의 유입 및 유출 수로가 위치해 있으며, 서쪽은 부산신항의 연결잔교를 통하여 해수가 이동하는 수로가 존재하는 지역이다.

2.2 현장조사

진우도 남측 해역의 해저 지형변화를 분석하기 위하여 2006년 6월부터 2015년 4월까지 현장조사를 수행하여 총 16회의 해저지형 자료를 취득하였다 (Table 1). 수심측량은

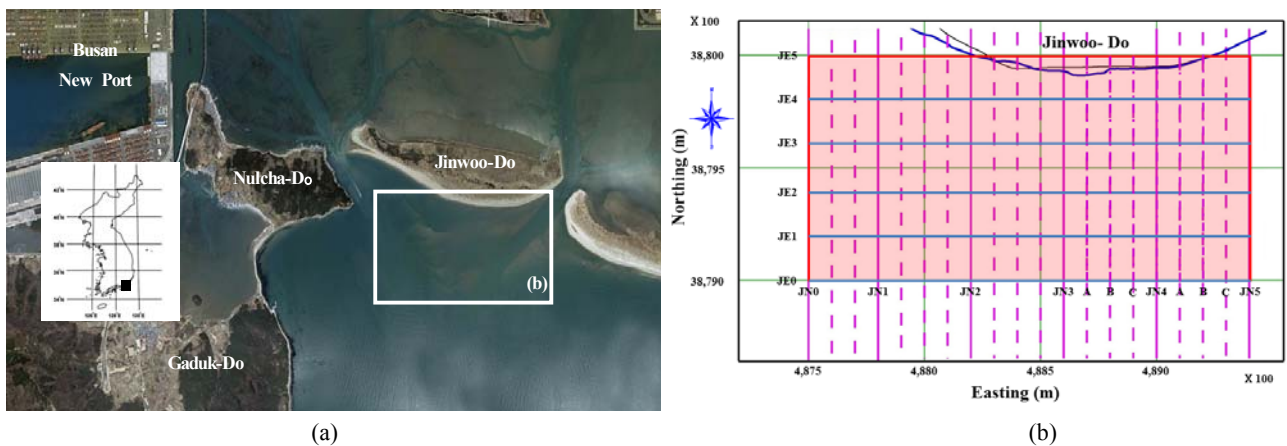


Figure 1: (a) Satellite image of the Nakdong River Estuary, showing the study area outlined with a white box and (b) Bathymetric survey line in this study area

SonarTech사의 AquaRuler 200D 기종 (Table 2)으로 실시하였다. 수심측량은 bar-check를 통하여 기준 음파전달 속도인 1,500 m/s를 기준으로 음속보정을 실시하고, 송수파기 위치보정인 draft 보정을 실시하였다. 조석보정은 국립 해양조사원의 가덕도 검조소의 조석자료를 이용하여 가덕도 기준면으로 환산하여 분석하였다. 진우도 남측해역에 동서 방향으로 2 km, 남북 방향으로 1km 범위를 대상 해역으로 하고, 남북 방향으로 100 m 간격으로 20개의 정선을 선정하여 수심자료를 취득하여 분석하였다(Figure 1 (b)).

Table 1: The survey date for this study

No.	Survey period
1	2006/06/27 ~ 28
2	2007/09/28 ~ 29
3	2007/12/23 ~ 25
4	2008/02/20 ~ 21, 23
5	2008/12/27 ~ 29
6	2009/09/05 ~ 07, 09
7	2010/03/17 ~ 18
8	2010/08/25 ~ 26
9	2011/02/19 ~ 20
10	2011/09/13 ~ 15
11	2012/02/21 ~ 22
12	2013/03/10 ~ 12
13	2013/10/15 ~ 20
14	2014/06/27 ~ 30
15	2014/10/25 ~ 28
16	2015/04/17 ~ 21

Table 2: The specification of the echo sounder used for this study

No.	Spec.
Model	AquaRuler 200D
Manufacturer	SonarTech
Resolution	±1 cm (0~200 m), ±10 cm (20~2,000 m), ±1 m (2,000~8,000 m)
Gain	Manual, AGC, TVG
Power	12 to 24V DC MAX 100Watt

해상의 수평 위치결정을 위하여 Trimble 사의 DGPS (Differential Global Positioning System)를 사용하였다. 좌표계는 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계를 사용하였으며, Figure 1 (b), Figure 3, Figure 6의 정선좌표는 UTM 좌표 수치를 나타낸 것이다.

3. 자료분석

3.1 퇴적경향 분석

연구지역의 퇴적경향은 총 퇴적량의 변화와 연구지역 남북 방향 정선에서의 수심변화를 파악하여 분석하였다. 본 연구에서 총 퇴적량은 수심 자료 중 최대 수심인 -5m를 포함하는 -6m를 기준으로 상부 퇴적층의 부피로 정의하였다.

Figure 2에 2006년 6월부터 2015년 4월까지 16회 자료의 총 퇴적량을 계산하여 나타내었다. 2006년 6월부터 점진적인 퇴적

을 보이다가 2008년 12월을 정점으로 2009년 9월에는 다시 2006년 6월 수준으로 침식이 된다. 그 후 다시 퇴적되기 시작하여 2010년 8월에 약간 침식이 되지만 2013년 3월 최대로 침식이 되고 급격한 침식 과정을 거쳐 2014년 6월에는 2007년 수준으로 회복이 된다. 강수에 실려온 토사들은 해수와 혼합 과정에서 점진적으로 퇴적이 되고 조류와 강수 유출량, 파랑 등에 의해 재분포되어 자연적 침식이 되는 과정을 거치는데 태풍 등 급작스런 외력에 의해 단기간에 빠른 변화를 보인다. 16회의 본 연구 자료는 이러한 경향성을 잘 보여주고 있다. 2010년 8월에 발생한 제4호 태풍 ‘덴무’(Dianmu)의 영향으로 약간 침식된 경향을 나타내고 있으나, 대체적으로 증가하는 양상을 보이고 있다. 점진적인 퇴적-침식-퇴적 과정과 달리 2013년 3월 약 9,710,000 m³의 퇴적량이 2013년 10월 약 9,270,000 m³로 급격히 감소한 후 안정적인 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있는데, 이는 2013년 10월초에 한반도를 지나간 제 24호 태풍 ‘다나스’(Danas)에 의한 영향으로 판단되며, 이 시기에 연구지역의 토사가 외해로 상당수 유출된 것으로 보인다.

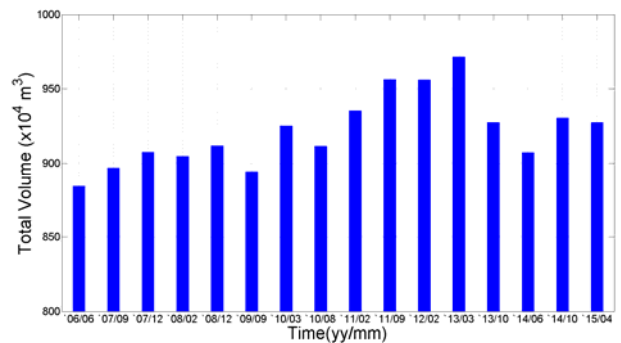


Figure 2: Total sediment volumes

Table 3에 연구 자료의 취득 기간인 2006년부터 2015년까지 발생한 태풍 중 영남 지방과 부산 및 대한해협 등 연구지역에 직·간접적으로 영향을 미친 태풍들을 나타내었다[13].

Table 3: Typhoons influenced the study area during 2006 ~ 2015 year.

Year	Month	No.	Name	Passing Area
2006	Aug.	10	WUKONG	Busan
	Sep.	13	SHANSHAN	Straits of Korea
2007	Aug.	5	USAGI	East Sea
		11	NARI	Goheung
2010	Aug.	4	DIANMU	Goheung
	Sep.	9	MALOU	Straits of Korea
2012	Sep.	16	SANBA	Namhae
2013	Oct.	24	DANAS	Busan

3.2 수로이동 경향 분석

남북 방향 정선의 수심 변화 (Figure 3), 수로 부근의 최대 수심 위치 변화 (Figure 4), 등수심도에서의 수로 변화 (Figure 5)를 분석하여 수로이동 경향을 파악하였다.

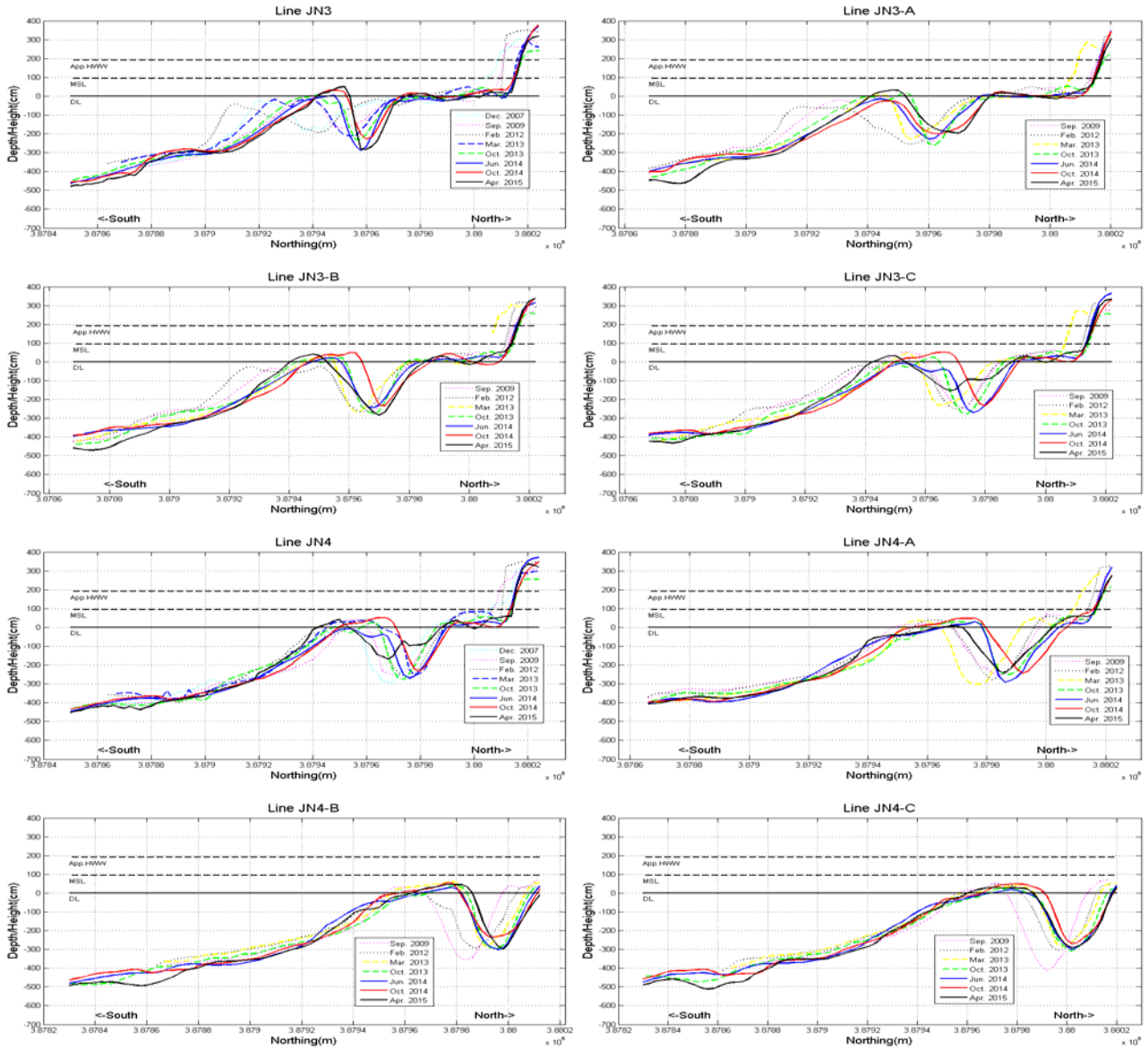


Figure 3: Variations of depth along the north-south lines in the study area.

총 퇴적량 분석에서 확인된 자연적인 퇴적-침식-퇴적의 양상은 Figure 3의 수로 골의 수심 변화에서 확인할 수 있다. JN4 정선에서는 2007년 이후 수로 골의 수심이 비교적 일정하게 유지되며 북쪽으로 이동하는데 2013년 3월에 약 1.5 m 퇴적되어 얕아지고 2014년 6월에 다시 수심을 회복하지만 2015년 4월 다시 퇴적되어 얕아진다. JN4-B 정선에서는 2009년 이후 퇴적되어 2012년 이후 안정적으로 되며, 점진적으로 북쪽으로 이동하다가 2014년 10월 약 70 cm 정도 퇴적되지만 2015년 4월 다시 침식되어 이전의 골 깊이를 회복한다. JN4-C도 유사한 양상을 보이고 있다.

진우도와 신자도 사이 협수로의 연장에 있는 정선(JN4, JN4-A, JN4-B, JN4-C)에서 수로에 해당하는 골 부분이 점진적으로 북쪽으로 이동하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 Figure 4의 수로 부근 최대수심 변화에서도 확인된다. 최대 수심의 위치는 매년 북쪽과 남쪽으로 반복하여 이동하지만 전체적

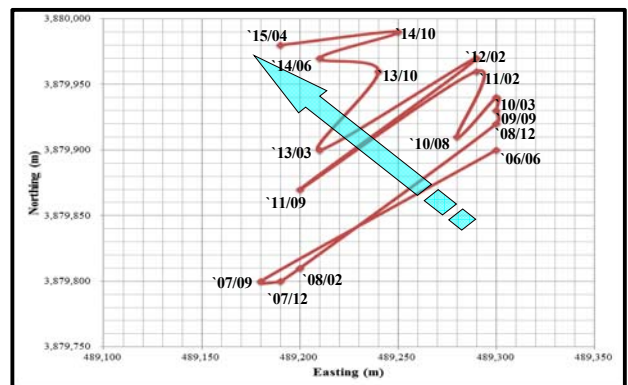


Figure 4: Variations of maximum depth location in the main channel

로 북서 방향으로 이동하고 있다. 수로의 최대 수심의 위치가 2006년 6월에 비해 2015년 4월까지 서쪽으로 약 100 ~ 130 m, 북쪽으로 약 200 m 이동한 것을 알 수 있다. 이는 Park et

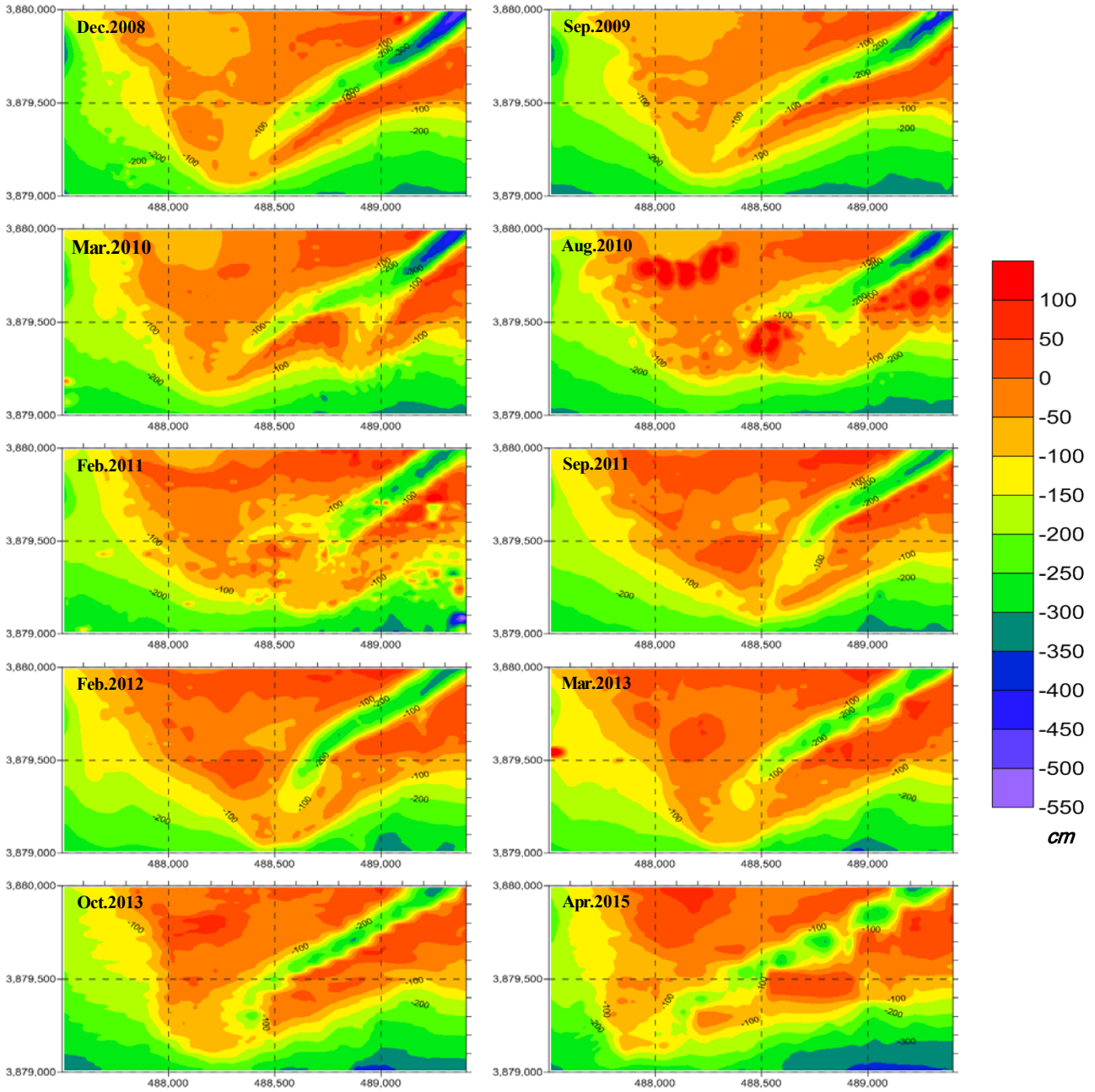


Figure 5: Bathymetric contours showing the changes of shape in the main channel.

al. [6] 의 대상 해역에서의 퇴적지형이 서쪽으로 이동하고 있다는 연구결과와 일치한다.

Figure 5는 연구 지역의 등수심도를 나타낸 것으로 진우도 동쪽에 주수로 (진우도와 신자도 사이의 협수로 연장) 모습이 잘 나타나 있다. Figure 3과 Figure 4에서 확인한 수로 골의 북서 방향의 점진적 이동 양상을 보여주지만 수로 끝단은 침식에 의한 변화-퇴적에 의한 회복-침식에 의한 변화의 양상을 반복하여 보여주고 있다. 2009년까지 주수로는 남서 방향의 단일수로 형상이었으나, 2010년부터 남쪽 방향으로의 수로 분리로 양 방향의 끝단이 나타나는데 2011년 9월부터는 위쪽의 수로는 퇴적되어 없어지고 남쪽 방향의 단일 수로로

회복된다. 이후 2013년 3월에는 다시 수로 방향이 서쪽으로 확장, 발달하면서 2009년 남서 방향의 수로 형상과 비슷한 형상을 보여주지만 2013년 10월부터 다시 남쪽 방향의 굴절을 나타낸다.

4. 결 론

낙동강 하구역의 진우도 남측 해역의 해저 지형변화를 2006년 6월부터 2015년 4월까지 총 16회에 걸쳐 취득한 수심측량 자료를 통하여 분석하였다.

연구지역에서의 퇴적 경향은 침식 또는 퇴적의 일방 진행이 아니라 일정 단계 후 회귀하는 경향을 보이고 있었다.

2013년 10월의 경우 제 24호 태풍 ‘다나스’(Danas)의 영향으로 퇴적량의 급격한 감소가 있었는데, 이는 태풍에 의해 토사가 외해로 상당수 유출된 결과로 판단된다.

연구지역에 위치한 주수로 (진우도와 신자도 사이)의 최대 수심의 위치를 분석한 결과 서쪽으로 100 ~ 130 m, 북쪽으로 약 200 m 이동하였고, 이러한 결과는 기존의 연구와 본 연구에서의 정선별 단면 변화를 분석한 결과와도 일치한다.

연구지역의 수심 분포도를 분석한 결과 주수로의 방향은 2009년까지 남서 방향, 이후 2011년까지 남쪽 방향의 수로 분리 이후, 서쪽 방향으로의 수로 연장과 끝단에서의 남쪽 방향으로의 굴절현상을 알 수 있었다.

본 연구는 2006년 6월부터 2015년 4월까지 총 16회에 걸쳐 취득한 장기간의 자료를 분석하여 낙동강 하구 울타리섬 주변의 지형 변화의 경향성을 파악하는데 목적을 두었다. 낙동강 하구둑에서의 방출수량의 변화, 조류, 파랑, 태풍 등에 의한 지형 변화 경향성의 정성적, 정량적 특성 분석은 앞으로의 연구과제이다.

References

- [1] Busan Development Institute, Ecological Monitoring of the Nakdong River Estuary (2007~2008),” 2008 (in Korean).
- [2] M. L. Stutz and O. H. Pilkey, “Global distribution and morphology of deltaic barrier island systems,” Proceedings of 6th International Coastal Symposium, pp. 25-29, 2002.
- [3] Y. E. Kim, “Hydrologic investigations around the Nakdong river barrier,” In: Environment Research Note No.1, Inje University, pp. 77-86, 1992 (in Korean).
- [4] M. O. Hayes, “Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: Leatherman SP (ed)Barrier Islands,” Academic Press, New York, pp. 1-27, 1979.
- [5] K. C. Kim, J. J. Kim, Y. E. Kim, K. M. Han, K. K. Choi, and S. T. Jang, “Outflow characteristics of Nakdong river plume,” Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, vol. 8, no. 4, pp. 305-313, 1996.
- [6] J. K. Park, B. K. Khim, H. J. Lee, and S. R. Lee, “Recent morphological changes off the shoreface of Jinwodo and Sinjado in the Nakdong river estuary,” Ocean and Polar Research, vol. 36, no. 2, pp. 87-101, 2014 (in Korean).
- [7] Y. H. Jeon, H. S. Yoon, and K. S. Lee, “Spatiotemporal variations of coastal sediment transport at barrier islands in the Nakdong river estuary,” Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 16, no. 2, pp. 161-168, 2010 (in Korean).
- [8] E. C. Yoon and J. S. Lee, “Characteristics of seasonal variation to sedimentary environment at the estuary area of the Nakdong,” Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, vol. 20, no. 4, pp. 372-389, 2008 (in Korean).
- [9] S. H. Jung, B. K. Khim, B. O. Kim, and S. R. Lee, “Shoreline-change rates of the barrier islands in Nakdong river estuary using aerial photography and SPOT-5 image,” Ocean and Polar Research, vol. 35, no. 1, pp. 1-14, 2013 (in Korean).
- [10] J. H. Park, H. S. Yoon, C. I. Yoo, and C. R. Ryu, “Video monitoring of shoreline changes of an offshore bar in the Nakdong River Estuary, South Korea,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 575-584, 2010 (in Korean).
- [11] B. O. Kim, B. K. Khim, and S. R. Lee, “Development of mosaic aerial photographs for shoreline change study in Nakdong estuary,” Ocean and Polar Research, vol. 27, no. 4, pp. 497-507, 2005 (in Korean).
- [12] M. Mahapatra, R. Ratheesh, and A. S. Rajawat, “Shoreline change analysis along the coast of south Gujarat, India, using digital shoreline analysis system,” Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 42, no. 4, pp. 869-876, 2014.
- [13] Korea Meteorological Administration (KMA), <http://typ.kma.go.kr/>, Accessed November 2, 2015 (in Korean).