

조석과 하천수 유입을 고려한 낙동강 하구역의 퇴적특성

진용호* · 류청로** · 이인철** · 김헌태**

*부경대학교 해양공학과 대학원, **부경대학교 해양공학과 교수

The Characteristic of Deposition in Nakdong estuary considering Tide and River discharge

Yong-ho Jeon · Cheong-Ro Ryu** · In-Cheol Lee** · Heon-Tae Kim**

*Graduate school of Ocean Engineering, Pukyong National University

**Professor, Ocean Engineering, Pukyong National University

Key Word : 퇴적특성(Characteristic of Deposition), 낙동강 하구역(Nakdong estuary), 조석(Tide), 하천수(River discharge)

ABSTRACT: *Nakdong estuary is located at south-eastern coast of the Korea. A lot of sediment from upper river were deposited at this area. It has cause many problem such as changes in topography and tidal current. Changes of characteristic of deposition were cause by topographic change of nakdong estuary. Analyzing and evaluating data, we could predict the direction of movement of the sand bar and the growth toward south-eastern of Nakdong estuary. It was caused by decreasing river discharge after construction of Nakdong-kang barrage.*

1. 서 론

하구역에서의 퇴적환경은 담수와 해수의 물리적, 화학적, 생물학적인 복잡한 작용에 의해서 일어난다. 이는 주변 환경의 기후, 강수량, 하천수량 등에 따라서 육지로부터 공급되는 퇴적물의 양이 변동 할 뿐만 아니라, 주기적인 조석작용, 파랑, 하구의 지형적 특성 및 하구내의 흐름등에 따라 다양한 물질순환특성을 가진다. 이러한 하구역자체의 독특한 퇴적특성은 한반도 주변하구역에서 쉽게 찾을 수 있으며, 부유퇴적물의 분포특성에 관하여 비교적 많은 연구가 수행되었다.

그중 우리나라의 대표적인 감소하천인 낙동강의 경우 대규모의 하구언 공사, 인근 연안역의 간척 및 매립공사로 인하여 하구지형의 변화, 하구에서의 수질오염 및 저질오염 등과 같은 문제를 야기하게 되었다. 또한 낙동강 하구주변의 연안역은 가덕도 신항만 개발, 택지조성 등 각종 산업시설 및 주거시설이 건설 중이거나 예정되어 있어 연안 환경에 커다란 변화가 예상되는 지역이다. 실제로 낙동강 하구일대

의 지형은 1934년 녹산수문의 건설과 1987년 하구둑 완성으로 인하여 하구역의 해수유동현상 뿐만 아니라, 하구의 퇴적환경이 크게 변화하였다.

낙동강 하구언 건설전의 퇴적특성에 관한 기존의 연구로서는 김과 이(1980)가 낙동강 하구지역에 분포하는 표표층퇴적물의 입도분석과 광물분석을 통하여 낙동강 하구 전면의 사주군 퇴적물의 기원을 밝혀서 퇴적물 운반 및 퇴적과정을 고찰하였으며, 박(1985)은 낙동강 하구 진우도 일원의 퇴적물에 대한 입도분석을 통하여 이 지역의 퇴적환경을 구분한 바 있다. 또한 반(1986)은 낙동강 하구 연안사주지형에 대하여 조사하고 가장 변화가 심한 사주에 초점을 맞추어 퇴적물의 기원과 입도분석을 통하여 그 사주지형의 형성기구를 고찰 하였다. 하구둑 건설후의 연구에는 김(1988)이 낙동삼각주 일대의 퇴적구조를 기초로 하여 낙동강 하구언을 따라 boring-core를 채취하여 퇴적환경을 분석하였고, 이와 김(1990)은 낙동강 하구역에서 중금속 분포와 입도분포 특성을 통해 퇴적작용에 대한 연구를 하였다. 그리고 오와 조(1992)는 낙동강 하구역에서 4개의 새로운 사주가 발

달함을 지적하였으며, 이(1993)는 낙동강 하구역의 표층퇴적물에 대해 실시한 입도분석과 유기물 및 탄산염 함량 등을 분석하여 낙동강 하구역의 퇴적영역에 대한 연구를 한 바 있다.

이처럼 낙동강 하구역은 대규모 공사로 인해 퇴적환경의 변화가 지속적으로 일어나고 있으므로 앞으로의 퇴적 및 그 규모예측에 필요한 조사와 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 특징적인 퇴적환경의 변화를 나타내고 있는 하구 및 주변 연안역에 대한 과거의 퇴적물에 대한 입도 자료 및 지형도를 바탕으로 하구둑에 의한 퇴적환경특성의 기원 및 원인에 대하여 고찰한다. 또한 하구주변의 연안개발에 따른 유동환경변화와 특성을 파악하여 퇴적환경변화를 예측하고자 한다.

2. 본 론

2.1 대상해역의 개황

(1) 기상

부산지방은 한반도의 동남쪽 끝의 해안에 접해 있어서 여름철에는 내륙지방보다 기온이 상대적으로 낮으며 겨울철에는 바다와 북쪽 산악지형의 영향으로 기온이 비교적 높은 편이기 때문에 연간 기온의 차이가 그리 크지 않다.

기상청의 기후관측자료(1971년~2000년)를 정리한 부산지방의 기상개요는 Fig. 2.1에서 보는 바와 같이 연평균 기온은 14.5 °C이며, 1월의 평균기온은 2.2 °C로 최저이고, 8월의 평균기온은 25.7 °C로서 연중 가장 높다.

또한 연평균 강수량은 1,491.5 mm로 전체 강수량의 60% 이상이 6월에서 9월 사이에 집중되어 여름철의 우기와 겨울철의 건기가 명확히 구분되는 지역이다.

연평균 증발량은 1187.8 mm로 5월중에 가장 높고, 12월 중에 가장 낮은 값을 보인다.

연평균 풍속은 4.0 m/sec이고 계절별로 보았을 때 3~5월의 봄철에 가장 풍속이 강하게 나타나고 12월 현저히 작아지는 값을 가진다.

풍향은 겨울철에 북서풍이, 여름철에 남서풍이 우세하며 연평균 2~3회 정도로 태풍의 영향을 받는다.

수평면 일사량의 경우 연 평균 12.9 MJ/m²의 일사량을 보인다. 일사량이 가장 높은 시기는 절기 중 하지가 포함되어 있는 6월이 가장 높고 동지가 포함된 12월이 가장 낮다.

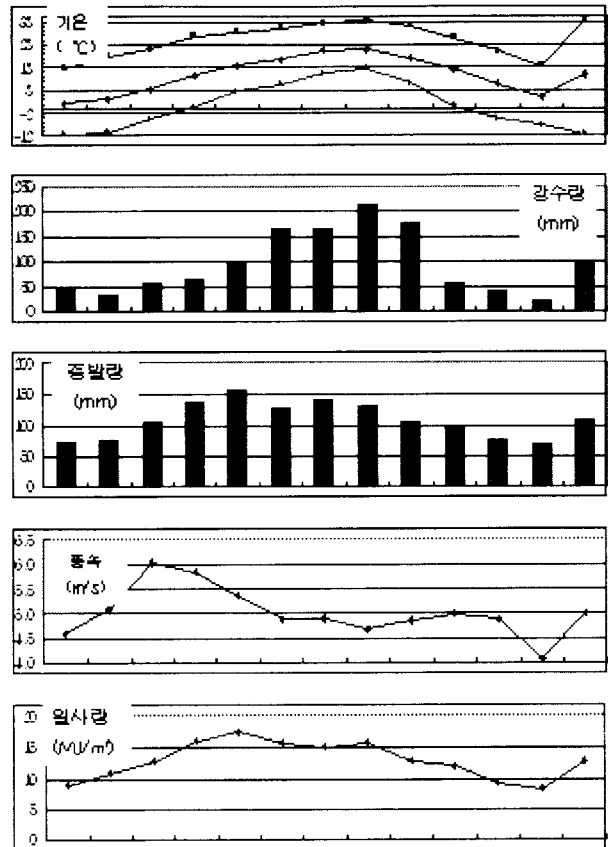


Fig. 2.1. Monthly variation of meteorological phenomena.

(2) 지형

본 연구의 대상지역은 낙동강 하구 삼각주의 말단으로서 낙동강과 그 지류인 서낙동강이 흘러드는 2개의 하구 전면에 발달한 하중도, 사주, 갯벌(간석지)의 퇴적미지형으로 이루어져 있다.

낙동강 하구 해역의 퇴적미지형은 해안선에 평행하게 동·서로 배열, 분포하는 것이 일반적이며, 하중도와 사주, 그리고 사주와 사주 사이 갯벌이 외해로 향해 발달하여 있다.

하중도는 2개 이상의 사주가 합성되어 나타난 퇴적지형으로 명호도를 중심으로 좌·우에 신호도와 을속도가 배열되어 있다. 하중도의 대부분이 매립되어 저서 농경지·주거지·산업단지등의 용도로 이용되고 있는데, 조사지역의 미지형 중에서 가장 오래된 것으로 갯벌로 이어지는 주변부에는 갈대가 군락을 이루고 있다.

사주는 고조시에는 물에 잠기지 않으나 일시적인 홍수 또는 태풍이 내습할 때는 그 형태가 변하면서 인접하는 사주와 쉽게 합성되기도 한다. 그러나 시간의 경과에 따라 식생이 정착, 서식함에 따라 그 이후에는 쉽게 지형이 변하지 않는 특징을 보이고 있다. 그러한 특징을 보이는 사주가 예가 진우도와 대마등이다. 외해와 접해 있으면서 최근에 합성된 도요등은

식생이 서식단계에 있는데다 거친 외해 환경조건에 때문에 정착단계에 이르기까지 여러 면에서 다양한 변화가 앞으로 발생할 것으로 보인다.

사주의 형태는 해안선에 평행하게 발달된 「동-서」이 가장 많으며, 도요등·새등·진우도·장자도가 이에 속한다. 대마등은 「북동-남서」형이고, 백합등은 「자형」, 그리고 뱀금머리등은 △형이다.

낙동강 하구 일대의 갯벌은 수로 방향에 거의 직각으로 분포하는 것이 특이하다. 이는 갯벌을 이루는 입자들이 조류에 의해 운반된 뒤 하구사주에 가로막혀 외해로 뺄어나가지 못하는 상태이기 때문에 이러한 지형이 형성되고 있는 것이라 할 수 있을 것이다.

따라서, 낙동강 하구 해역 일대의 갯벌은 타 해역의 갯벌 지형과는 달리 해안에 형성되어 있는 크고 작은 사주의 미지형과 밀접한 관계가 있을 것으로 여겨진다.

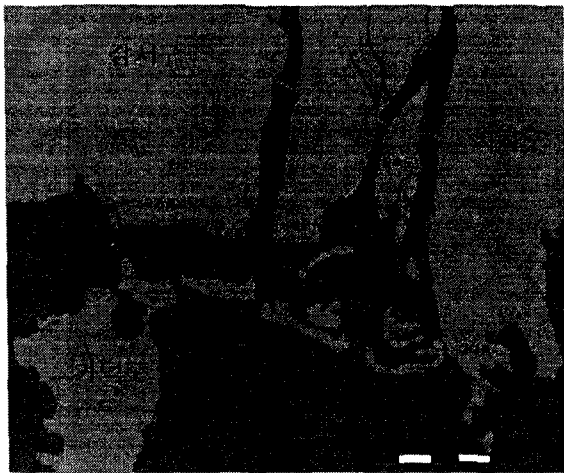


Fig. 2.2. Topography of the Nakdong estuary.

(3) 해양

남해안 동부의 조석특징은 일조부등이 매우 적고 규칙적인 승강을 한다. 그리고 조석의 부등은 저조에는 크고 고조에는 거의 없다. 이에 반하여 두 저조의 높이에는 거의 부등은 없으나, 두 고조의 높이에는 다소 부등이 있다. 그리고 통상적으로 고고조는 봄철에는 오전에, 여름철에는 야간에, 가을철에는 오후에, 겨울철에는 주간에 일어난다. 고·저조 모두 거의 같은 조시 및 조고의 부등이 있고 저저조 다음에는 고고조로 된다. 이 고고조가 일어나는 시간은 남해안의 서부는 거의 같다.

낙동강 하구역의 조화상수 및 비조화 상수는 Table 2.1과 같다.

조류는 조석과 관련되어 일어나는 해수의 흐름으로 일반적으로 연안해수유통의 대부분을 차지한다. 이는 조석과 직접적으로 관련되어 생기는 흐름이기 때문에 조석과 같은 방법으로 분석이나 예보가 행하여

진다.

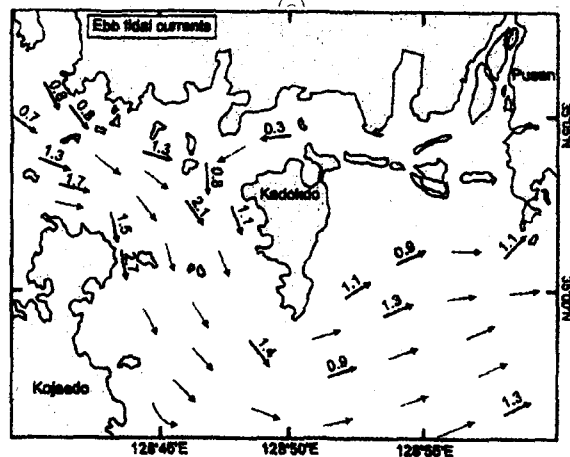
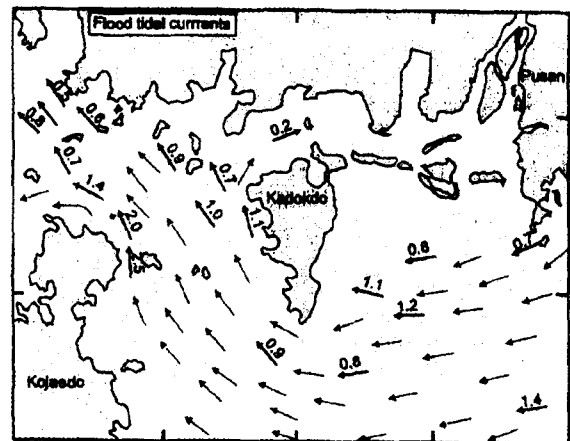
Table 2.1 Harmonic constant and non harmonic constant in Nakdong estuary

조화 상수				약최고	대조평균	평균	소조평균
M ₂ (Hm)	S ₂ (Hs)	K ₁ (H ₁)	O ₁ (H ₀)	만조위	만조위	만조위	만조위
47.8	22.3	7.0	4.9	163.8cm	152.0cm	129.7cm	107.5cm

평균	소조평균	평균	대조평균	대조차	평균조차	소조차	평균
해면	간조면	저조위	저조위				만조간격
81.9cm	56.4cm	34.1cm	11.8cm	140.2cm	95.6cm	51.1cm	8.17cm

*관측지점 : N36°06' 00", E128°57' 12"

부산 근해 10마일 부근에 있어서 조류는 북동 및 남서로 흐르고, 북동류(남서류)는 부산이 거의 고조(저조)시로부터 거의 저조(고조)시까지 흐르며, 대조기에 있어서의 최강유속은 1~2kn에 달한다. 그러나 이 부근에서 항시 북동쪽으로 흐르는 해류가 있으며, 그 유속은 끊임없이 변화함으로서 해수의 유통은 매우



(b)

Fig. 2.3. Tidal diagram in Nakdong estuary((a) flood, (b) ebb)

복잡하다. 해류가 강할 시에는 조류를 압류하고 해류는 항시 북동쪽으로 흐르며, 유속은 부산이 고조조후 약3시에 최강, 고조시에 최약으로되나 해류가 약할 때에는 고조시와의 중간에 m서 단시간 남서쪽으로 흐르는 경우도 있다.

가덕도 부근의 창조류(북서류)는 진해항 저조후 약 50분부터 고조전 약 40분까지 흐르며 최강유속은 1.3kn에 달하고 낙조류(남동류)는 고조전 40분전에 전류하여 고조후 2시 20분에 최강유속이 되며, 창조류보다 약1시간 길게 흐르며, 그 최강유속은 2kn에 달한다.

기 조사된 국립해양조사원 발행 조류도에 나타난 가덕도 주변해역 창·낙조시 최강유속은 0.1~1.1m/sec정도이다.

2.2 지형변화

본 연구에서는 과거의 문헌자료 및 위성화상에 의한 년 자료를 비교 활용하여 낙동강 하구역의 지형 변화에 대하여 연구하였다. 이 비교용 사진들은 위성화상과 같이 조위에 따라 해수면 위로 노출되는 시기가 다르기 때문에 간·만조 시기의 형태는 알수

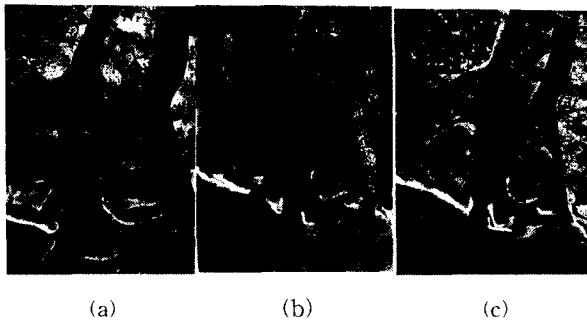


Fig. 2.4. Topography of Nakdong estuary ((a)1991, (b)1996 (c)1999).

없으나 전반적으로 볼 때 사주(모래톱)형성과정을 파악하는데 있어서 좋은 자료가 되었다. 그림에서 보는 바와 같이 새등은 앞바다 쪽으로 사주가 발달되어 가고 있고, 도요등은 점차로 다대포 쪽으로 모래톱이 확대 진행되고 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 사주의 미지형 발생 순위를 보면 그림에 나타나 있는데 이를 정리하면 다음과 같다.

- 1861년 ----- 명호도
- 1916년 ----- 신호도·을숙도·진우도·대마등
- 1955년 ----- 장자도
- 1970년 ----- 새등·백합등
- 1984년 ----- 나무씻등
- 1989년 ----- 땡금머리등
- 1990년 ----- 도요등·다대등

- 1992년 ----- 백합등과 나무씻등 그리고 도요등과 다대등이 각각 합성
- 1996년 ----- 백합등과 도요등 사이 신사주
- 1998년 ----- 1996년의 신사주 북쪽에 신사주 등장했다.

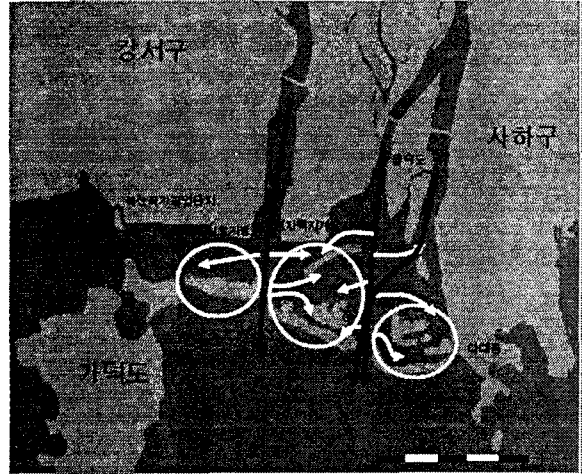


Fig. 2.5. Distribution of sand bar in Nakdong estuary.

2.3 해수유동의 변화

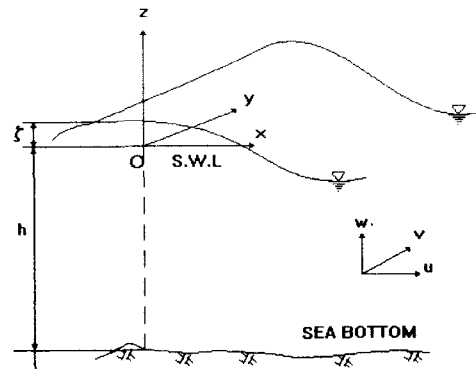


Fig. 2.6 Grid system.

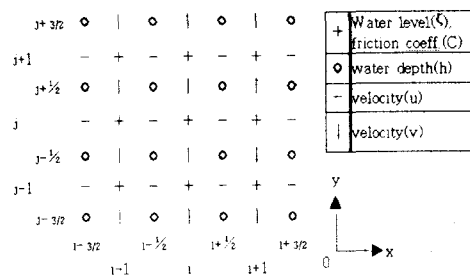


Fig. 2.7. Definition of variable.

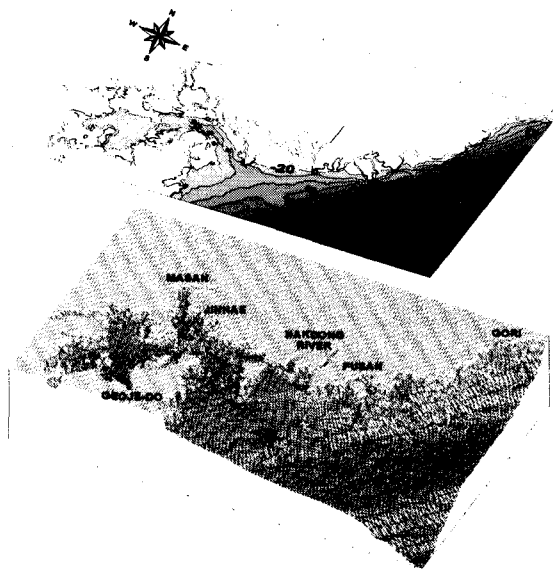


Fig. 2.8 Bottom topography of study area(wide)

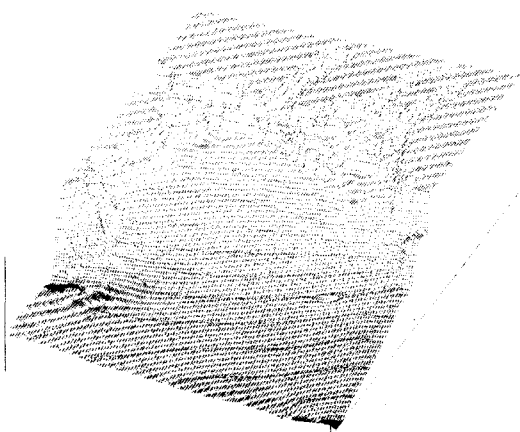


Fig. 2.9. Bottom topography of study area (narrow)

본 해수유동모형은 보다 양호한 현장 재현성을 위하여 광역 및 협역 모형으로 구축하였으며, 이들의 계산영역은 낙동강 하구역을 중심으로 각각 $91.5 \times 58.0 \text{ km}$, $14.0 \times 21.4 \text{ km}$ 로 설정하였다(Fig. 2.8~2.9). 또한 계산격자망은 각각 $\Delta x = \Delta y = 500 \text{ m}$, $\Delta x = \Delta y = 200 \text{ m}$ 인 등격자망으로 구축하였으며, 모형의 수심은 해도(No. 202, 229)와 기존 조사자료를 참고하여 입력하였다.

광역모형에서의 경계치의 추정에 사용된 관측값과 경계치는 수로국과 이(1992)의 관측치와 추정된 개경계 조건을 각 지점별로 나타낸 것이고, 대표적인 4대 분조(M2, S2, K1, O1)의 값을 나타내고 있다.

계산에 필요한 제반 물리계수 등 기타 입력조건은 Table 2.2와 같다.

Table 2.2 Computation conditions of the tidal current model

제 원	입력치 또는 입력방법	비고
계산시간 간격(Δt)	광역 모형: 20 sec 상세역 모형: 5 sec	CFL조건 만족치
Coriolis factor(f)	$f = 2\omega \sin \phi$, $\omega = 2\pi / (24 \times 60 \times 60)$, $\phi = 35.05^\circ$	f-plane 근사
Chezy 계수(C_h)	$C_h = 19.4 \ln \{0.9(\bar{h} + \eta)\}$ \bar{h} : 주변 4점평균 수심 η : 수위	

수치모형의 검증은 광역계산영역에 추정된 개경계의 값을 입력했을 때, 관측점에서의 관측된 조위값과 본 수치실험을 통해 재현된 조위를 비교한 것이 그림 2.10이다. 4대 분조를 고려하여 초기의 대조기에서 소조기를 거쳐 다음 대조기까지 15일간의 경시

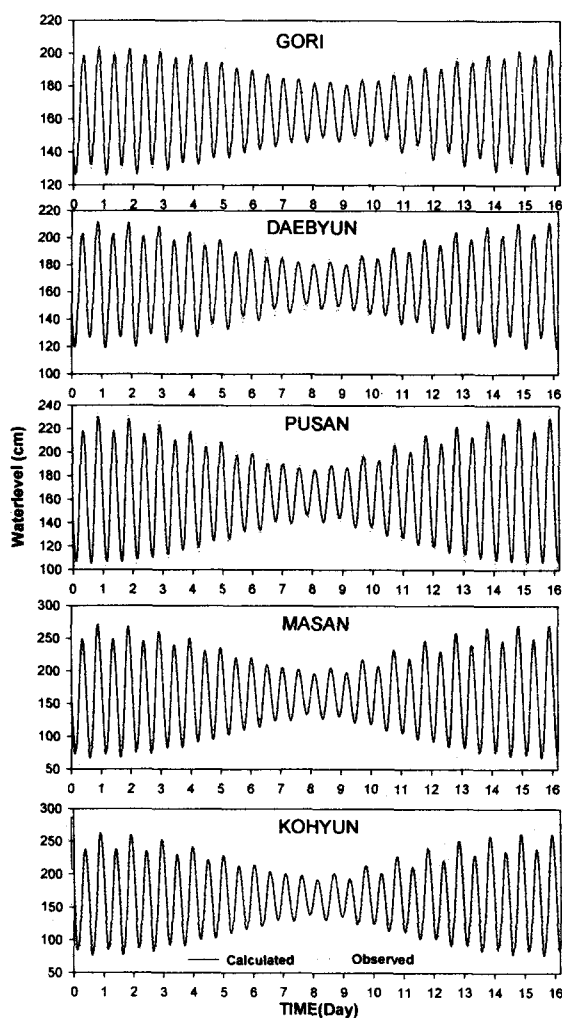


Fig. 2.10. Verification of numerical model.

변화를 나타낸 것이다. 이러한 결과로 볼 때 본 계산에서 관측치와 계산치의 조위값의 차이는 매우 미소하여 본 수치실험이 본 사업대상해역 인근의 유동을 잘 표현하고 있다고 볼 수 있다.

홍수시 최강 창조류 및 낙조류시의 유속벡터는 각각 Fig. 2.11과 같다. 그림에서 부산남부해역 및 감천항 전면해역으로부터 유입하여 가덕도의 남쪽 끝단으로 진행하고 일부는 낙동강 상류로 유입한다. 대체로 낙동강 하구연에서의 사주 뒷부분에서는 유속이 크지 않게 나타나는데 이는 사주 주변의 수심이 낮은 상태이고 낙동강 하천수의 유입으로 인해 유속이 감소하기 때문으로 생각된다.

홍수시의 유속벡터도를 보면 낙동강 하수에서 내려온 하천수가 수심이 장자등과 나뭇섬 사이를 빠져나가 남동쪽으로 많이 나아가는 것을 볼 수 있다. 이는 낙동강 하구의 지형변화에 하천수 유입이 큰 비중을 차지하므로 앞으로의 지형변화가 장자등, 나뭇섬 부근에서 이루어 질 것이라는 것을 알 수 있다. 즉 낙동강 하구의 동남쪽으로 사주가 발달할 것이라

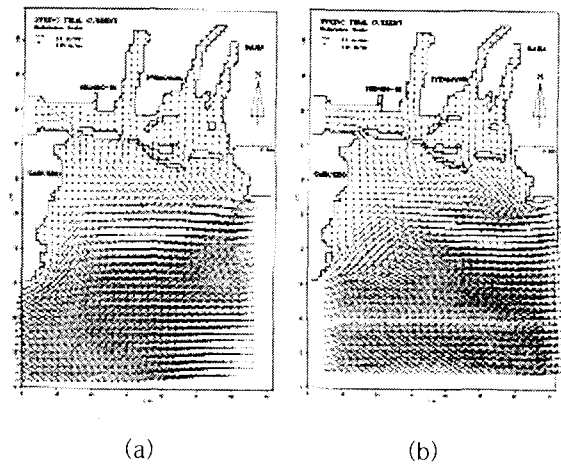


Fig. 2.11. Current velocity field at flood((a) flood, (b) ebb).

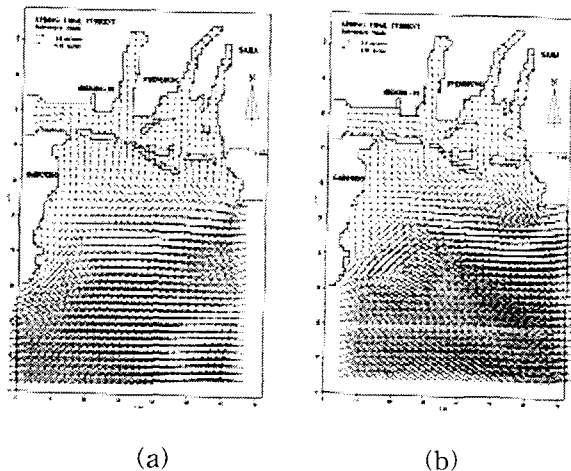


Fig. 2.12. Current velocity field at dry((a) flood, (b) ebb).

것을 알 수 있다. 즉 낙동강 하구의 동남쪽으로 사주가 발달할 것이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 2.13은 각각 갈수시 최강류 창·낙조류시의 유속벡터를 나타낸 것으로 홍수시와는 유속성분의 크기에 차이는 있을 뿐 전체적인 흐름경향은 유사하게 나타났다.

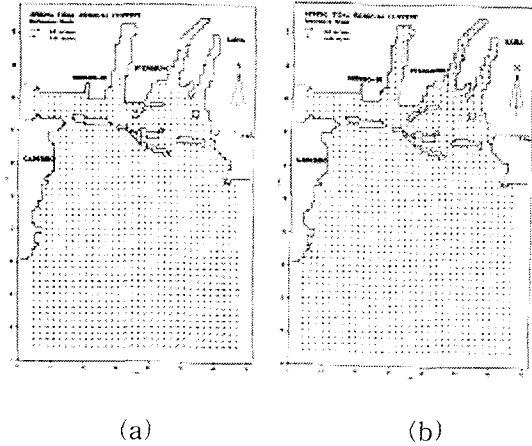


Fig. 2.13. Residual current velocity field ((a)flood, (b) dry).

3. 결과 및 고찰

(1) 낙동강 하구역 삼각주 말단에서의 지형은 하구둑 건설시 발생한 토사로 인하여 급격하게 변화였으며, 하구둑 건설후 수문조작으로 인하여 조석위상에 따라 유출수와 입사파랑의 상대적 크기가 크게 변하여 삼각주 말단의 사주가 크게 발달하는 것으로 나타났다.

(2) 낙동강 하구역의 지형적인 변화는 하구둑 건설 이전까지 서편지역에서 사주가 발달하다가 하구둑 건설이후에는 동남쪽으로 발달함을 알 수 있었다. 이는 하구둑 건설후 낙동강에서 유입되는 하천수의 양이 줄어들어 주 수로방향이 변하였기 때문이다.

(3) 수치실험 결과 홍수시에 낙동강 하구연에서 흘러나온 하천수가 장자등과 나뭇섬 사이를 빠져나가 훨씬 남쪽까지 영향을 미침을 알 수 있는데, 이는 하구연에서 지형변화가 홍수시에 가장 크게 이루어지므로 앞으로 장자등과 나뭇섬 부근의 즉, 낙동강 하구 동남쪽에서 사주가 발달함을 예측할 수 있었다.

참고 문헌

- 1) 김원형, 이형호, 1980. 낙동강 하구지역의 퇴적물 운반 및 퇴적에 대한 고찰, 지질학회지, 16: 180~188