

## 해도분석을 통한 낙동강 하구 사주 면적의 시·공간 변화

유창일\* · 윤한삼\*\* · 류청로\* · 이인철\*

\*부경대학교 해양공학과

\*\*부경대학교 해양산업개발연구소

### Spatiotemporal Changes of the Sand Barrier using Marine Charts Analysis in the Nakdong River Estuarine

CHANG-ILL YOO\*, HAN-SAM YOON\*\*, CHEONG-RO RYU\* AND IN-CHEOL LEE\*

\*Dept. of ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

\*\*Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

**KEY WORDS:** Nakdong river estuarine 낙동강 하구역, Marine chart 해도, Geomorphologic changes 지형변화, Sand barrier 사주, Historical development 발달사

**ABSTRACT:** This study discusses characteristic of spatiotemporal changes of the sand barrier in the Nakdong estuarine for the last century, focusing on geomorphologic evolution and mobility of sand barriers in the view of coastal engineering. The Nakdong estuarine, the research subject, has a complexly changing natural environment by interaction between ground and marine elements such as ocean wave, tidal current, sediment, etc. Moreover, recently, unnatural geomorphologic changes (e.g., seaside reclamation, new harbor construction, etc.) has been radically increased in this area with increasing desire for coastal development. Because of this, its sand barrier has developed quite unstable condition. Therefore, to identify the development process of geomorphologic changes in this area, required is a close examination on historical characteristics of spatiotemporal changes of the sand barrier in relation to surrounding seaside reclamation and physical environmental changes. This study, based on the marine charts published in between 1927 and 1995 year, analyzes the length and area of the sand barrier for the last hundred years, and investigates the cause of the changes by looking into the change of water depth for the last two years and doing ocean-physical site observations. In conclusion, the sand barrier of the Nakdong estuarine expands toward the open sea by 7.4~26 m in annual average, maintaining a fixed distance of 1,241~1,279 m, and its area is expected to increase about 2.8 km<sup>2</sup> annually. This is characterized by the ocean wave from the open sea and the discharge of Nakdong River.

### 1. 서 론

하구역은 일반적으로 주변 환경의 기후, 강우, 하천유량, 유입토사 등에 의해 육역으로부터 영향 뿐만 아니라, 해역의 파랑 및 조석작용, 하구의 지형적 특징, 하구내부 수심조건, 주변 연안의 개발여건 등에 따라서 하구역내 토사의 이동 및 퇴적작용이 다양하고 복잡하게 이루어진다.

우리나라 대표적인 하구역인 낙동강 하구역의 경우 하중도(예로들어 명지도, 을숙도), 하중도의 전면에 형성된 모래톱(Shoal)이 발달하여 형성되는 사주(대마등, 장자도, 새등 또는 신자도, 백합등, 나무식등, 맹금머리등, 도요등), 위 두 지형을 연결하는 간석지로 이루어져 있다(오건환, 2001). 특히, 낙동강 하구둑 건설 후 하구역의 사주들이 다양하게 변화되었고, 지속적으로 외해방향으로 발달하고 있다(부산광역시, 2004). 이와 같은 인위적인 연안역 개발 공사에 따른 낙동강의 수력학적 특성 및 지형 변화는 낙동강 하구는 물론 인접한 진해만까지 영향을 미치고, 결과적으로 주변해역의 퇴적환경에 상당한 변

교신저자 유창일: 부산광역시 남구 대연3동 599-1

051-620-6222 mc2002@hanmail.net

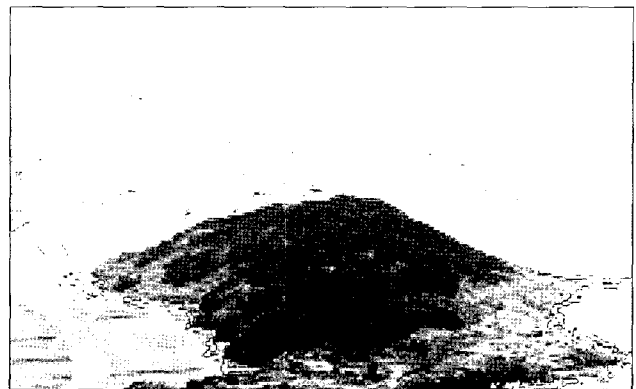


Photo. 1 View of unsteady-state generating sandbar(Dec. 2005)

화가 초래될 것으로 예상된다(김석윤과 하정수, 2001).

이러한 낙동강 하구역의 지형변화와 관련하여 기존 연구결과를 정리해 보면 다양한 학문분야에서 연구가 수행되어졌음을 알 수 있다. 김원형과 이형호(1980)와 김석윤과 하정수(2001)는 지질·지리학적 관점에서 표층퇴적물의 입도분석과 광물분석을 통한 사주군 퇴적물의 기원 분석, 반용부(1986; 1995)은 퇴적물의 기원과 입도분석을 통한 사주 지형의 형성

변천사, 김성환(2005)은 낙동강 하구둑 건설후 연안사주 지형 변화를 연구 수행한 바 있다. 아울러 이와 같은 지형변화를 수치실험으로 모의한 연구결과로는 김상호 등(2003)이 파랑수치모형을 이용한 퇴적지역의 수치예측을, 이종섭과 윤은찬(2003)이 3차원 해수유동모형을 이용하여 하천수의 영향범위를 예측하였다. 또한 김상호 등(2003)은 실제 지형변화와 수치실험의 결과를 분석해, 하구둑의 건설과 같은 인위적인 요소 외에 해빈류의 영향이 크게 작용한다고 보고한 바 있다.

이상의 기존 연구결과를 중심으로 낙동강 하구둑 건설전·후의 사주 지형생성원인을 정리해보면 하구둑 건설전의 경우 본류를 통해 유출된 토사가 해안에서 해수와 혼합되어, 외해로의 유출강도가 높았으나, 하구둑 건설 이후에 수괴의 차단으로 유속 감소와 토사 침강속도 증가에 따른 수심의 감소가 반복되어 토사의 이동 저감 및 퇴적작용 강화를 초래하는 것으로 요약할 수 있다. 또한 낙동강 하구역의 사주 및 조간대는 주변 해역개발 여건에 따라서 내·외부 외력조건들이 상호 작용하여 생성시키는 결과물이라고 할 수 있다.

그러나 기존 연구 결과를 통해 낙동강 하구역의 사주 지형의 생성·발달 원인을 명확히 규명하였다고 판단하기에는 미흡하며, 사주지형 변화의 시·공간적 scale을 단기간의 연구결과를 바탕으로 판단하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다.

따라서 본 논문은 낙동강 하구역에 대한 1927년 이후 최근에 발간된 총 6개의 수치해도(1927년, 1963년, 1972년, 1983년, 1986년, 1995년)를 바탕으로 사주간의 거리 및 수심 분석, 각 연도별 조간대와 사주의 면적을 산출하였다. 이를 통해 최근 1세기 동안의 낙동강 하구 사주의 시·공간 변동특성을 해안공학적인 관점에서 검토하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 과거 수치해도 분석 방법

낙동강 하구 사주의 변화를 기존 발간된 해도를 바탕으로 사주 중심이격 거리와 발생이전의 수심을 조사하였다. 사용되어진 수치해도(No. 202, 1:50,000)는 국립해양조사원(구 수로국)에서 발간한 1927, 1963, 1972, 1983, 1986, 1995년의 총 6개 수치해도이다.

일반적으로 해도에 표기되는 해안선 및 수심자료에 적용되는 기준은 약최저저조면을 기준으로 설정하고 있다. 따라서 본 연구에서 각 해도별로 추출하는 해안선 및 수심 자료는 기준 해수면이 동일한 자료이므로 상호 비교에는 별다른 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 과거 해도의 정확도에 대해서는 논란의 소지가 있을 것으로 판단되나, 신뢰할 수 있는 국가연구기관으로부터의 연구성과 자료이므로 본 연구에서는 고려항목에서 제외하였다.

사용되어진 수치해도는 종이해도와 동일한 내용의 지형도를 AutoCAD파일 형식중 DXF(Drawing exchange file format) 파일로 제공되고 있다. 종이 해도가 하나의 평면위에 모든 정보를 함께 나타낸 것과 달리 수치해도에서는 CAD 프로그램의 Layer 기능을 이용하여 수심, 등수심도, 육지경계

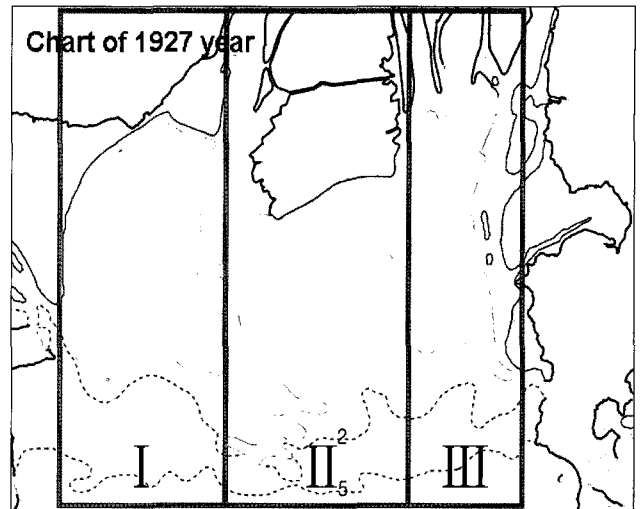


Fig. 1 Definition of representative sand barrier groups in this study area

등 서로 다른 정보를 각각의 Layer에 표현하여 원하는 정보만을 구분하여 나타낼 수 있도록 되어 있다.

수치해도 분석방법은 AutoCAD상에서 각 수치해도별로 사주 중심이격 거리를 UTM 좌표로 획득한 후 각각의 자료들의 상호 거리를 산술적으로 계산하여 정리하였다.

### 2.2 사주간 이격거리 및 단면변화 분석

상술한 6개의 수치해도를 바탕으로 각 연도별 해도에서 사주 중심이격 거리를 산출하였다. 먼저 거리산출 이전에 육상표고와 사주 및 조간대의 표고를 동일한 기준으로 설정할 필요가 있다. 따라서 해도상의 기준수준면상(약최저저조면)을 기준표고 0m로 설정하고, 육상표고는 녹산공단 및 신호공단의 호안 천단고 높이를 기준수준면상으로 환산하였다. 또한, 사주 및 조간대의 표고는 각각 해도상의 대조승의 높이 1.8m, 약최저저조면 0m로 설정하였다. 이러한 조건아래 사주간 이격거리는 기준수준면상(약최저저조면)의 해안선과 해안선 사이의 값으로 정의하고, 각 해도의 연도별로 측정된 거리를 산술평균하여 평균거리를 산출(소숫점 이하 버림)하였다.

또한 각 사주간의 대표단면별로 발달과정을 검토하기 위해 서낙동강 및 낙동강 본류수로를 중심으로 낙동강 하구 사주를 동서 방향으로 3개 영역으로 구분하였다. Fig. 1은 1927년 해도에 3개의 영역을 구분하여 표기한 그림이다. 또한 I~III의 각 영역에 대해서 대표 단면을 설정하였는데, Fig. 2와 같이 서낙동강 및 낙동강 본류수로를 중심축으로 실선으로 구분하였으며, 각 중심축을 바탕으로 1.5km에 해당하는 각 영역별 대표단면을 일점쇄선으로 설정하였다. A-1은 진우도를 포함하는 I영역, A-2 및 B-1은 신자도 및 장자도를 포함하는 II영역, B-2는 을숙도 및 백합등을 포함하는 III영역의 대표단면을 나타내고 있다.

또한 최근 소형어선 통항 장애 및 해조류 양식어장 애로사항의 원인이 되는 부정형적 사주가 급격히 발달하고 있는 지역으로는 Photo. 1과 같이 진우도 및 신자도 전면 해역을 예

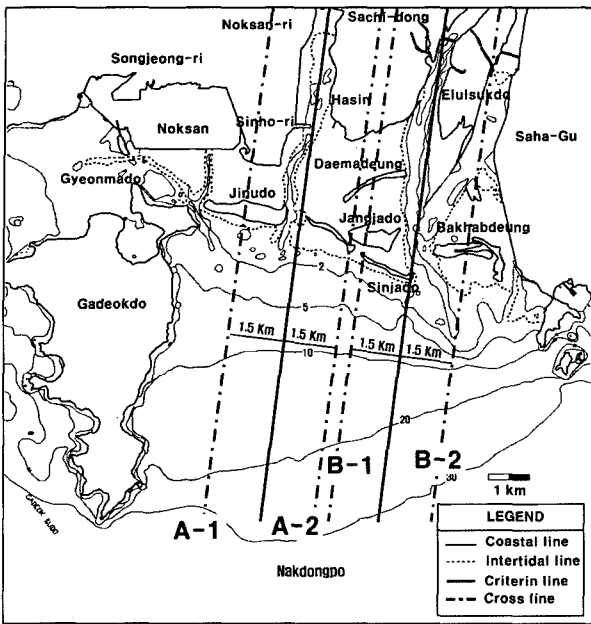


Fig. 2 Definition of reference section for the analysis of sectional depth level variation and two solid lines mean tidal channel

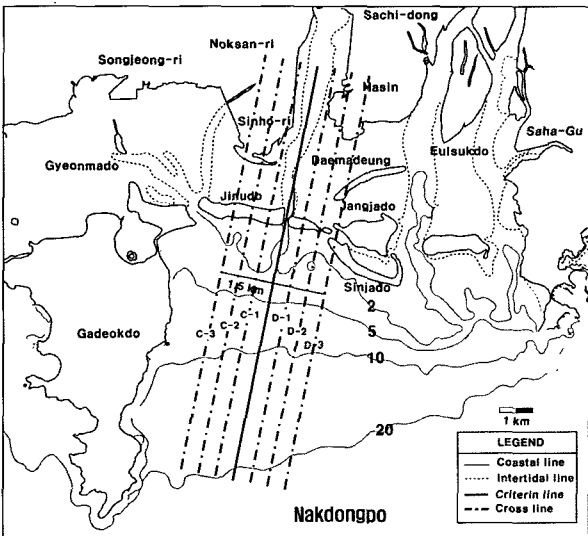


Fig. 3 Definition of representative section for detail analysis of bottom topography from center of tidal channel

로들 수 있다. 이에 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 A-1과 A-2 대표단면을 500m씩 더욱 세분화시켜 과거 해도상에서 현재 생성되어진 부정형적 사주가 존재했는지를 검토해보고자 하였다. 설정되어진 각 대표단면별로 수치해도로부터 연도별 수심자료를 획득하여 그 변천과정을 도식화하였다.

2.3 조간대 및 사주 면적 계산

수치해도로부터 Fig. 1의 I~III 영역의 세 사주군에 대한 조간대와 사주와의 면적 변화량을 계산하였다. 여기서 사주와 조간대의 경계를 명확히 정의하는 것이 중요한데, 사주는 수치해도상에서 실선으로 표기된 영역을 나타내며, 조간대는 약

Table 1 Estimated results for yearly average distance of sand barrier (Unit: meter)

Year	Section		
	I	II	III
1927	1,353	1,272	-
1963	1,322	1,364	-
1972	1,250	1,147	2,989
1983	1,199	1,247	-
1986	1,150	1,319	3,025
1995	1,177	1,326	3,044
Average	1,241	1,279	3,019

최저저조면을 기준으로 사주 고도와의 중간 영역에 해당하는 높이로 정의하였다. 면적 변화량의 계산 방법은 각 영역별 및 연도별 조간대와 사주의 면적을 산출한 뒤 전체 면적을 합산한 후 해도상의 연도를 나누어서 매년 사주 및 조간대의 연간 면적 변화율을 산정하였다. 단, 수치해도상에서 획득되어진 수심자료에서 주변해역의 개발여건(준설 및 매립)에 따른 인위적인 변화량은 고려하지 않았다.

3. 연구 결과

3.1 사주간 이격거리 산정결과

낙동강 하구역의 지형을 연도별로 나열한 것이 Fig. 4와 같으며, 사주간의 이격거리 계산결과는 Table 1과 같다. 산정되어진 값을 살펴보면 III영역인 을숙도~백합등을 제외한 나머지 사주군을 포함한 영역(I, II)간의 사주 평균 이격거리는 각각 1,241m와 1,279m로 나타났다. 각 사주의 해안선이 불규칙성을 가진다고 하더라도 I, II의 두 영역에 존재하는 사주간의 이격거리는 일정한 크기를 가지고 있음을 알 수 있다. 또는 공간상으로도 최근 I영역은 감소추세이며, II영역은 증가함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 낙동강 하구역의 사주 발달 과정이 일정한 거리를 가지면서 외해방향으로 발달한다는 것을 알 수 있다.

3.2 사주 대표단면 변화 특징

낙동강 하구 사주의 변화를 해안공학적 관점에서 시공간 변동추이를 검토하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 대표단면(A-1,2 및 B-1,2)에 대한 하중도와 사주간의 이격거리 및 수심분포를 나타내고 있다.

결과에 따르면 Fig. 5(A-2)에서 진우도 전면에 Multibar의 형상을 가진 모래천퇴(Sandy shoal)가 최근에 급격히 발달하는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 6에서 사주 중심간의 발달 속도를 살펴보면 1927년의 수심 0m인 지점이 1995년에 이동한 거리는 A-1(진우도 전면해역)에서 총거리 약 504m이며 연간 약 7.4m씩 외해방향으로 이동하며, A-2(신자도 전면해역)는 총거리 약 1,770m로서 연간 약 26m씩 이동하였다.

세부 C단면의 경년변화를 나타낸 Fig. 7에서 1972년과 1986년 해도에서 3.5km이내의 해역은 큰 차이를 보이지 않는데 이는 사주 배후지역이 안정화되어가는 과정임을 알 수 있다.

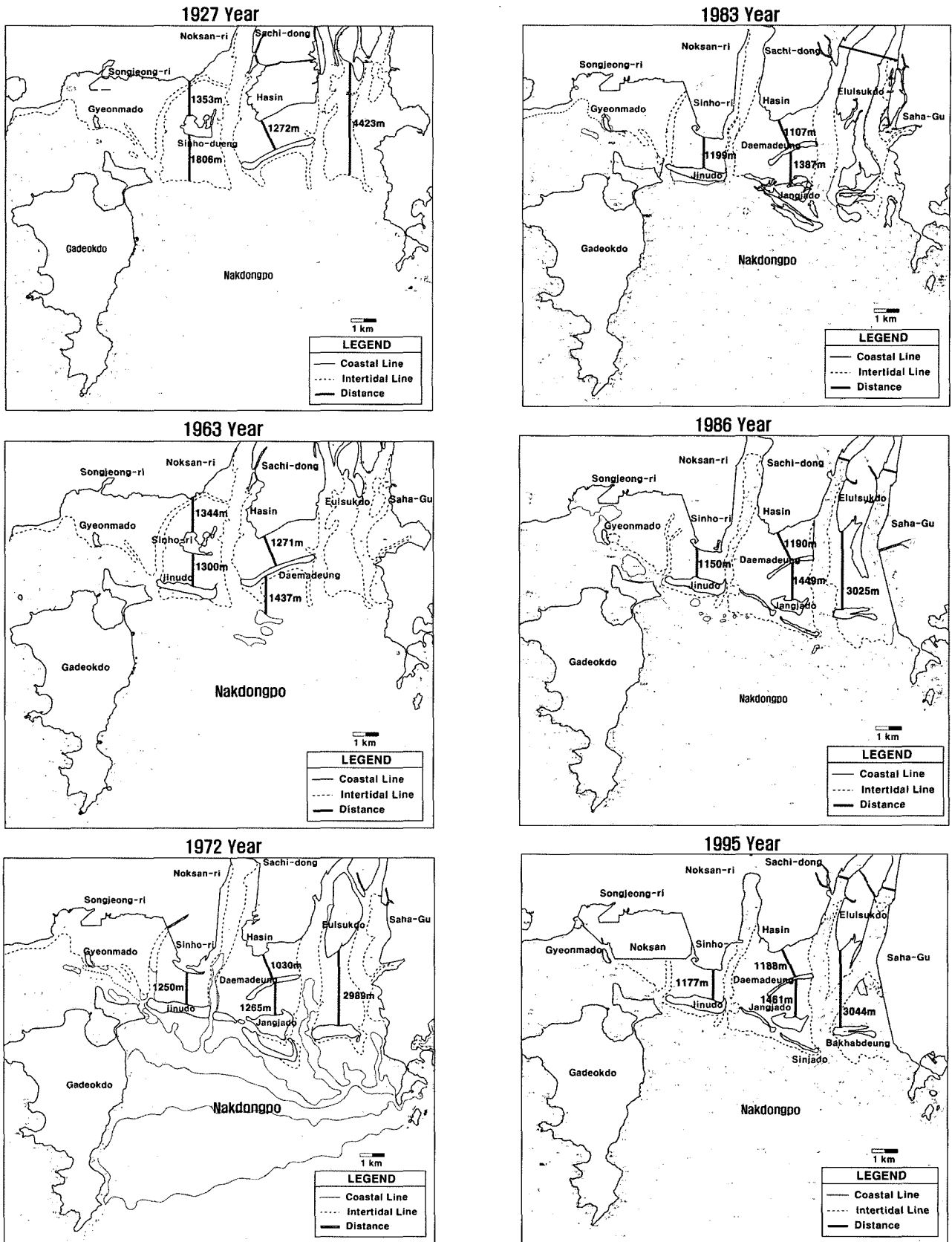


Fig. 4 Spatiotemporal change of the sand barrier in Nakdong river estuary though the six marine charts from 1927 to 1995 year: Number in the figures indicate the distance between the each sand barriers in meter

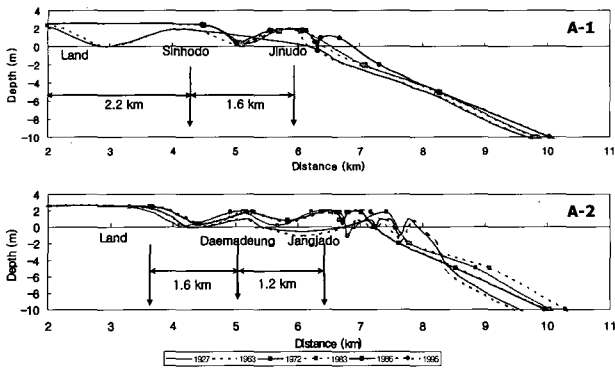


Fig. 5 Spatiotemporal change of topography for the cross-section A-1 and A-2

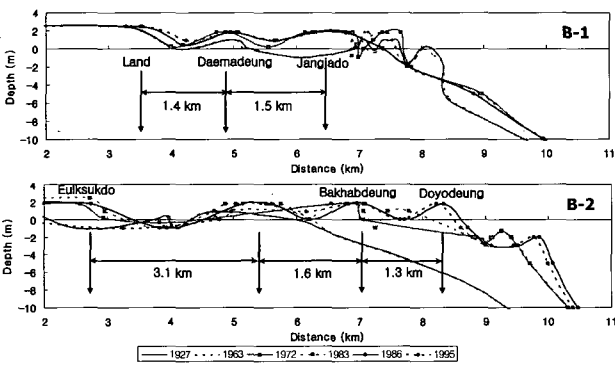


Fig. 6 Spatiotemporal change of topography for the cross-section B-1 and B-2

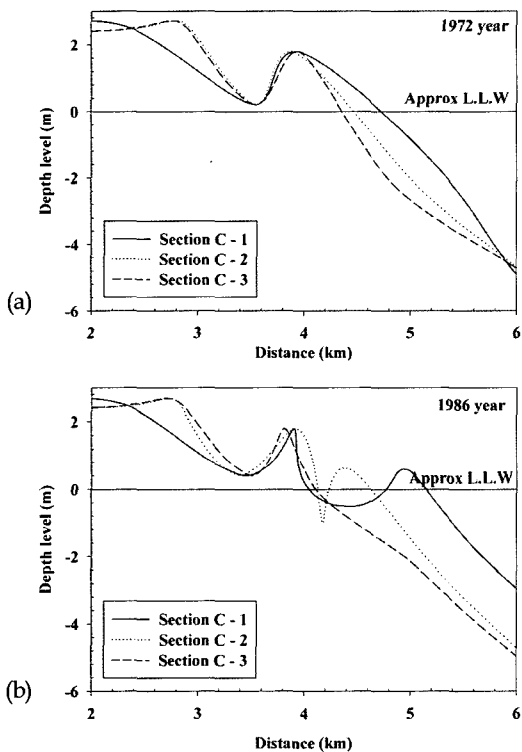


Fig. 7 Change of topography at representative cross section including the Jinudo: (a) 1972 year; (b) 1986 year

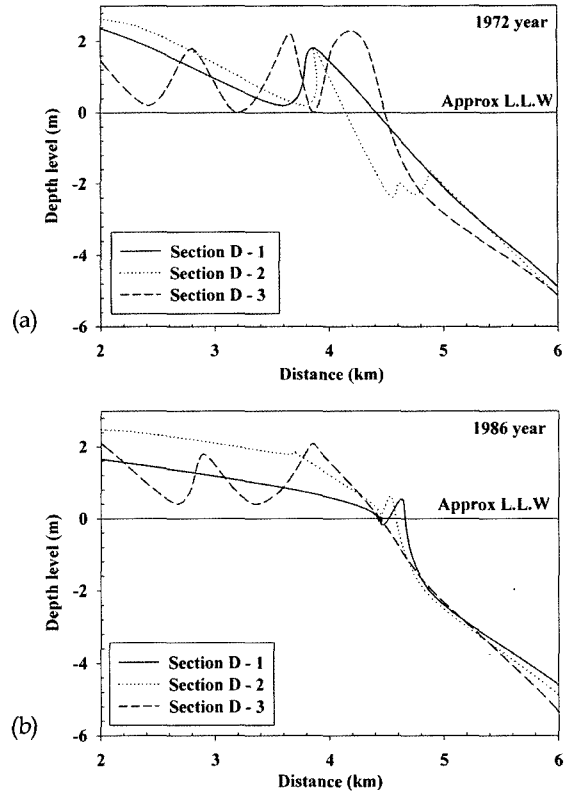


Fig. 8 Change of topography at representative cross section including the Sinjado: (a) 1972 year; (b) 1986 year

그러나 3.8km 해역으로부터 외해방향으로는 급격히 침식 및 퇴적되는 영역이 발생하는데, C-1과 C-2에서는 퇴적이, C-3에서는 침식이 우세하게 발생함을 알 수 있다. 특히, 4.4km 해역에서 약 80cm 정도의 침식작용이 발생하였음을 알 수 있다. 또한 D 단면의 경년변화를 나타낸 Fig. 8의 경우 약 3.6km 이내의 영역에서 D-3는 큰 변화를 나타내지 않았지만 D-1과 D-2는 대체로 평탄해지는 경향을 나타내었다. 그리고 약 4.0km 해역에서는 Multibar가 급격히 변화하는 경향을 나타내었는데 D-1과 D-2는 퇴적이, D-3는 침식이 발생하였다.

이상의 결과를 정리해보면 서낙동강 수로 입구(Inlet)를 중심으로 퇴적현상이 강하고, 외해방향으로 수심변화가 큰 결과를 나타내었다. 즉, 과거로부터 진우도와 신자도 두 사주의 입구(Inlet)가 고착화(사주 안정화)되어 육지화가 진행되었으며 사주의 전면부에 Multibar 형식의 새로운 지형이 발달하고 있음을 나타낸다.

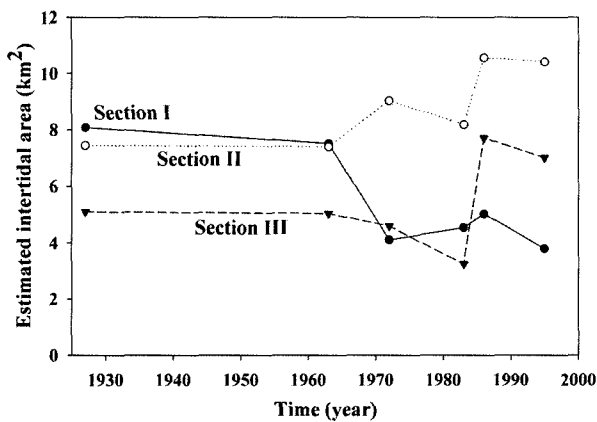
### 3.3 조간대 및 사주 면적변화량 계산 결과

낙동강 본류와 서낙동강 수로를 중심으로 I~III의 사주군 영역에 대한 조간대와 사주의 면적 변화량을 계산하였다. 계산된 결과는 Table 2 및 Fig. 9~Fig. 11과 같다.

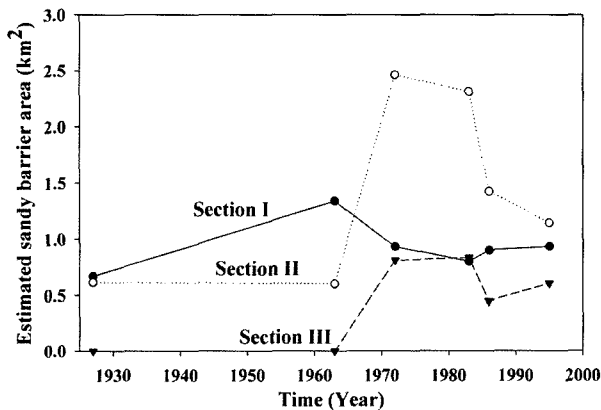
결과적으로 Table 2에서 낙동강 하구역 조간대와 사주를 합산한 면적의 경년변화량은 평균 약 22.6km<sup>2</sup>임을 알 수 있다. 조간대의 평균면적은 약 19.8km<sup>2</sup>이고 사주의 경우 약 2.8km<sup>2</sup>이다.

**Table 2** Estimated results of yearly area for the intertidal zone and sand barrier

Year	Intertidal zone(km <sup>2</sup> )				Sandy barrier(km <sup>2</sup> )				Total sum (km <sup>2</sup> )
	I	II	III	Sum	I	II	III	Sum	
1927	8.1	7.5	5.1	20.7	0.7	0.6	0.0	1.3	22.0
1963	7.5	7.4	5.0	19.9	1.3	0.6	0.0	1.9	21.8
1972	4.1	9.0	4.6	17.7	0.9	2.5	0.8	4.2	21.9
1983	4.5	8.2	3.3	16.0	0.8	2.3	0.8	3.9	19.9
1986	5.0	10.6	7.7	23.3	0.9	1.4	0.5	2.8	26.1
1995	3.8	10.4	7.0	21.2	0.9	1.1	0.6	2.6	23.8
Average				19.8				2.8	22.6



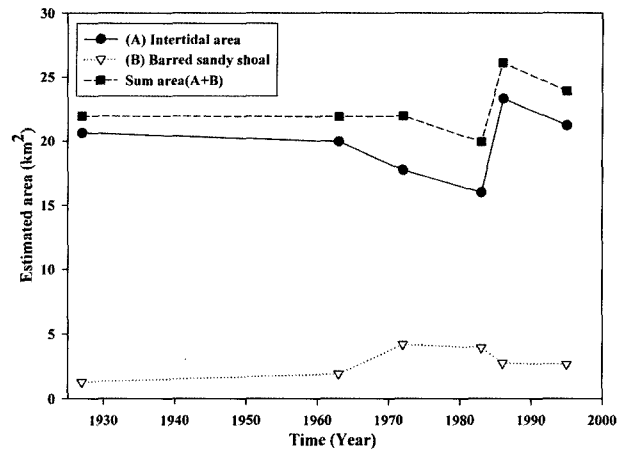
**Fig. 9** The yearly variation of estimated intertidal zone area for each section



**Fig. 10** The yearly variation of estimated sand barrier area for each section

Fig. 9에서 약 1960년도 이전까지는 조간대 면적이 일정하게 분포하다가 이후 급격히 변화하는 것을 알 수 있는데, I단면의 경우 감소 경향임에 비해 II단면은 증가, III단면은 1980년대까지 감소하다가 1990년대 이후 증가하는 경향을 나타내었다.

사주의 면적변화를 나타낸 Fig. 10의 경우에는 I단면에서는 1960년대 이전까지는 증가하다가 이후 감소하며, II와 III단면의 경우 1960년대 이후 증가하다가 1980년대를 기점으로 감소하는 경향을 나타낸다. 특히 1960년대 이후 사주면적의 증가



**Fig. 11** Spatial change of total area for the sand barrier and intertidal zone in the Nakdong river estuarine

원인은 신호도(지금의 신호공단)와 녹산리 사이에 염전지대가 형성되어 유로가 낙동강 남쪽으로 형성되고, 1934년 녹산수문이 건설되면서 동낙동강을 통해 유출되는 하천유출량이 급격히 증가하였기 때문으로 판단된다.

이상의 계산되어진 면적을 합산하여 나타내면 Fig. 11과 같은데 전체 낙동강 하구역의 사주면적은 1960년대를 기점으로 감소하다가 1980년대 이후 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 오건환(2001)이 1983년 9월에 착공하여 1987년 11월에 완공된 낙동강 하구둑 조성 공사시 물막이 공사와 이에 따른 다량의 하상준설토가 하구 밖으로 방출되면서 삼각주 말단에 변화를 일으켰다는 주장과 무관하지 않음을 의미한다.

### 5. 결 론

본 연구는 낙동강 하구역 사주의 최근 1세기 동안의 시·공간 변동특성을 해안공학적인 관점에서 검토하고자 하였다. 이를 위해 1927년 이후 발간된 총 6개의 수치해도를 사용하여 사주간의 이격거리 및 수심 변화, 각 연도별 조간대와 사주의 면적 변화량을 산출하였으며, 연구결과를 바탕으로 사주의 초기 발생조건과 발달과정을 논하고자 하였다.

이러한 연구과정에서 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 낙동강 제 I, II사주군의 사주 평균 이격거리는 각각 1,241m와 1,279m로 나타났으며, 이러한 이격거리는 일정한 크기를 가지면서 외해방향으로 발달한다는 것을 알 수 있다.
- (2) 진우도 전면에서 Multibar의 형상을 가진 Sandy shoal이 발달하는 것을 확인할 수 있었으며, 진우도 전면해역의 경우 연간 약 7.4m씩, 신자도 전면해역의 경우 연간 약 26m씩 외해방향으로 발달하는 것으로 나타났다.
- (3) 낙동강 하구역 조간대와 사주를 합산한 면적의 경년변화량은 평균 약 22.6km<sup>2</sup>임을 알 수 있다. 조간대의 평균면적은 약 19.8km<sup>2</sup>이고 사주의 경우 약 2.8km<sup>2</sup>이다. 전체 낙동강 하구역의 사주면적은 1960년대를 기점으로 감소하다가 1980년대 이후 급격히 증가하였는데 이는 낙동강 하구둑 조성 공사의 영향

으로 생각된다.

한편 본 연구에 사용되어진 과거 6개의 수치해도가 약 1세기의 하구역 전체 지형변화 과정을 대표할 수 있는가의 정확도 및 신뢰도, 사주 생성의 연속성이 고려되지 않은 연구결과로서 실시간 변화 및 상세 공간별 분포 변화양상을 보다 정밀하게 분석하기에는 많은 한계를 가지고 있다고 말할 수 있다. 따라서 이를 개선하기 위해서는 차후 장기적인 현장 모니터링을 통한 사주의 발달과정을 고찰할 필요성이 있다고 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 해양수산부 해양수산개발원의 수산특정연구 “연안 생태환경공간 복원/조성 기술(3차~2006년)” 과제 및 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2006-331-D00700)의 일부 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 본 연구에 참여한 유창일은 [단계 BK21사업]의 지원비를 받았음.

## 참 고 문 헌

김상호, 신승호, 양상용, 이종우 (2003). “낙동강 하구 사주 발

달에 관한 연구”, 한국해양환경공학회지, 제6권, 제3호, pp 26-36.

김석윤, 하정수 (2001). “낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화”, 한국수산학회지, 제34권, 제3호, pp 268-278.

김성환 (2005). “하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안 사주의 지형변화”, 대한지리학회지, 제40권, 제4호, pp 416-427.

김원형, 이형호 (1980). “낙동강 하구지역의 퇴적물 운반 및 퇴적에 대한 고찰”, 지질학회지, 16권 pp 180~188.

반용부 (1986). “낙동강 삼각주의 지형과 표층 퇴적물 분석”, 경희대학교 박사학위논문, pp 115.

반용부 (1995). “낙동강 하구 연안사주 지형의 변화”, 부산여자대학교논문집, 제40권, pp 155-195.

부산광역시 (2004). “낙동강 하구 생태계모니터링”, pp 9-19.

오건환 (2001). “낙동강 하구 갯벌: 지형, 한국의 갯벌: 환경, 생물 그리고 인간”, 서울대 출판부, pp 505-519.

이종섭, 윤은찬 (2003). “낙동강 하천플룸의 3차원 혼합거동해석”, 대한토목학회, 제23권, 제4B호, pp 347-358.

2006년 7월 4일 원고 접수

2006년 11월 15일 최종 수정본 채택