

회야강 하구방사제 건설에 따른 진하해수욕장 해안선 변화분석 및 예측

김성득*, 강경호*, 박해성*

*울산대학교 건설환경공학부

Coastline Evolution Analysis and Forecast due to the Construction of Groyne at Heoya-River Mouth Area

SEONG-DEUK KIM*, KYUNG-HO KANG*, HAE-SUNG PARK*

*Dept. of Civil and Environmental ENG., Ulsan University, Ulsan, Korea

Keywords : Heoya-river 회야강, Jinha beach 진하해빈, Blockade of river mouth 하구폐색, Groyne 방사제, Erosion 침식, Tombolo 톱블로, Submerged breakwater 잠제군

ABSTRACT: From the 1997 to January, 2004, a groyne 156m long was constructed at the mouth of the Heoya river-mouth as a protection and barrier. To understand the changes to Jinha beach from the blockade of the river mouth, several aerial photographs, etc., were compared, which showed that the changes were significant. Comparing these results to the state of the area before construction of the groyne, the blockade of the river was relaxed, but the formation of the tombolo, in the middle groyne area was accelerated and the total Jinha beach erosion and especially the erosion of the southern part of Jinha beach was developed. But according to statements by residents and some current documents, the blockade of the Heoya-river mouth is still underway at the surrounding areas of the groyne and chronic dredged sand has been used for littoral nourishment at the northern part of the middle groyne and on Jinha beach. The result of numerical simulation based on the present state shows that if this sort of dredging is stopped, the sand accumulation will progress near the river mouth groyne and the existing tombolo at the middle groyne will progress to the north and severe erosion will occur at the southern coastline near the middle groyne and the farthest southern part of Jinha beach, and Jinha beach itself will experience a gradual erosion. The main reason for these erosions should be the typhoons that are happening during the summer season. To provide protection from these kinds of undesirable erosions, a total of 23 numerical simulations have been done. It has been shown that submerged breakwaters at the front area of the beach will be efficient to protect from main beach erosion, but there should be alternative proposals for the influence of the river mouth blockade.

1. 서 론

토목기술이 발전함에 따라 연안역 또는 관련된 지역에 다양한 구조물이 설치되어 인간은 바다와 더욱 가까운 곳에서 삶을 영유하게 되었다. 하지만 인위적인 구조물은 다양한 현상과 원인이 존재하는 연안역에 변화를 가져왔고, 1년을 주기로 나타났던 해안선 변화의 평형에도 이상 현상이 발생했다.

해안선 변형에 관한 구체적인 연구방법으로 수치시물레이션과 수리모형실험, 그리고 현장조사 등이 있으며 이 세가지 방법을 동시에 이용한다면 가장 합리적인 결과를 도출할 수 있을 것이다(Maruyama and Takagi, 1988).

울산광역시 서생면 진하리에 위치하고 있는 진하해수욕장 일대는 회야댐 건설 이후 회야강의 유량 감소로 인해 하구폐

색이 진행되어 어선출입이 용이치 않게 되었다. 이를 개선하기 위해 1997년부터 2004년 1월 7일까지 총 연장 156m의 '진하방사제'를 축조하였으나, 이후에도 계속되는 폐색현상으로 정기적, 장기적 준설은 계속 시행되고 있을 뿐만 아니라, 해변침식 중앙에 톱블로 형성 등 이상 현상이 지속적으로 발견되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 현지에서 1996년부터 촬영한 사진 및 항공사진 등의 사진 자료를 이용하여 방사제 축조 이전 상황과 현재의 상황을 비교 분석했다. 국내에서 김재진(1999)은 투수잠제의 반사율 등에 관한 연구를 하였고, 더 나아가 박경립(2001)은 잠제주변의 파랑장에 관해 해석을 하여 어떠한 조건의 파랑일 때 잠제가 효율적이 될 수 있는가에 대해 제시하였다. 수치해석을 통해 해변의 특성을 분석하고, 방사제 축조 전의 상황과 현 상황으로 해변발전 양상을 시물레이션 하여 상호 비교하였으며, 대안으로 잠제군 설치 타당성여부를 수치해석을 통해 23개의 case로 해석한 결과, 잠제군은 진하해빈

교신저자 김성득: 울산광역시 남구 무거2동 산29

052-259-1676 sdkim1@ulsan.ac.kr

보호에 상당한 효과가 있음을 보였으나 하구폐색 등에 대비하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

2. 사진자료와 항공사진 분석

2.1 사진자료 분석

Fig. 1에 보이는 바와 같은 사진자료는 1997년부터 2004년까지 진행된 회야강 하구 남측 방사제 공사가 실시되기 이전부터 현재까지 정기적으로 촬영되었고, 이로부터 방사제 축조 이전의 심각한 하구 폐색 정도와 축조 후 이상 퇴적과 침식으로 변화된 진하해변 일대의 모습을 확인 할 수 있었다. Fig. 1의 세 번째 그림에서 중앙팔각정 맞은편에 위치한 명선도는 표사의 이상퇴적을 보여 도보로도 출입이 가능하게 되었고, 현재에도 북으로 굽어진 활모양으로 퇴적이 진행 중이다.

2.2 항공사진 분석

Fig. 3의 사진을 보면 회야강 하구가 폐색되어 가는 것이 보이고 계절적 요소를 감안하더라도 토사퇴적이 많이 진행된 것을 알 수 있다. Fig. 4의 사진은 2001년 방사제 공사가 진행 중인 모습이다. 전면의 명선도와 팔각정 사이엔 전에 없었던 돌출부가 형성되기 시작했고, 팔각정 바로 아래 부분에도 침식이 시작되었다. 2004년에 촬영된 Fig. 5를 보면 1997년 하구 폐색이 심각했던 곳에서는 양호한 모습을 보이지만 동쪽으로 약간 벗어난 지역에서는 표사퇴적이 진행 중이고 현재 준설공사가 정기적으로 시행되는 곳이기도 하다.

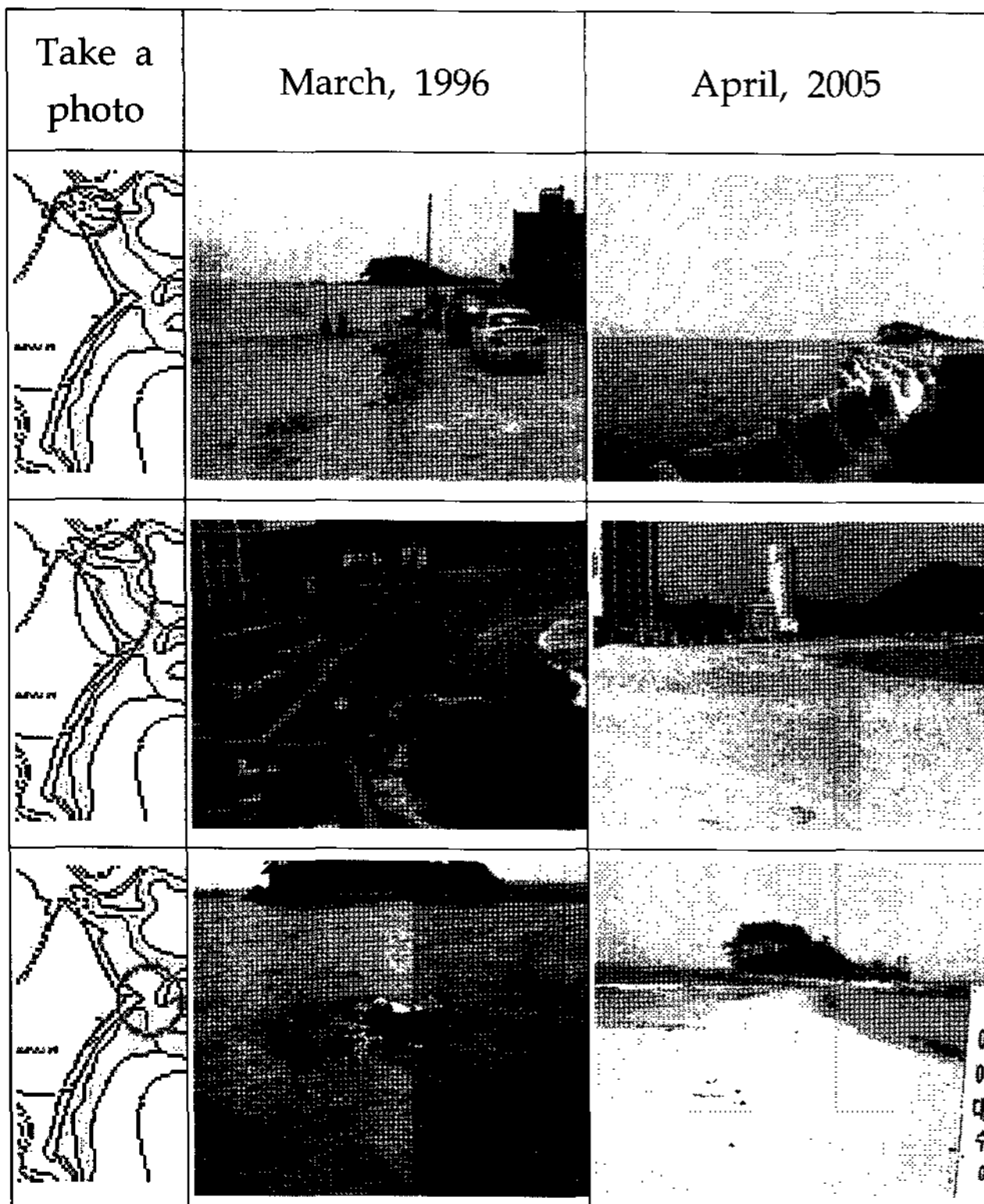


Fig. 1 Photograph data (1996, 2005)

명선도와 팔각정 사이에는 해안 돌출부의 발전이 확연히 보이며 진행양상은 호가 북측으로 더욱 굽어지면서 이동을 같이하고 있다. 기존의 호안이었던 구간은 준설된 토사를 다시 양변 하여 새로운 해변이 조성되었으나 기존진하해변의 평균 폭은 상당히 감소하였고, 팔각정 바로 아래 부분과 최남단의 해안선 일대는 심각한 침식을 보이고 있다.

하단의 Table 1은 Fig. 2에 보이는 바와 같은 항공사진에서 추출한 연도별 전사구역을 지상 기준점과 일치시키는 작업과 1/1,000의 대상지역 수치지도와 병합하는 기하보정한 후 대상 구간을 '하구폐색구간', '중앙방사제북측구간', '진하해빈구간'으로 3구간으로 나누어 넓이와 둘레를 측정하였다. 1997년 진하방파제 축조 전·중·후를 비교해 보면 중앙방사제 북측구간의 해변은 양변의 성과와 진하방파제 공사로 인한 표사퇴적으로 인해 공사 전인 1996년과 비교하여 7,902.02m²가 늘어났고 지속적으로 증가하고 있는 반면에, 진하해빈구간은 전사구역의 면적이 1996년과 2001년 사이에는 7,725.92m², 2001년과 2004년 사이에는 12,199.85m²가 감소하여 총 19,925.77m²가 침식되어 면적이 크게 감소되었다.

Table 1 Transition of Jinha beach area

year	blocked zone of river mouth	north area of middle groin	Jinha beach area	total	
1996	area (m ²)	8,871.42	8,878.08	52,593.81	70,343.31
	girth (m)	495.79	999.45	2,211.44	3,706.68
2001	area (m ²)	2,748.03	10,384.19	44,867.89	58,000.11
	girth (m)	346.34	990.86	2,105.53	3,442.73
2004	area (m ²)		16,780.10	32,668.04	49,448.14
	girth (m)		1,047.96	2,206.30	3,254.26

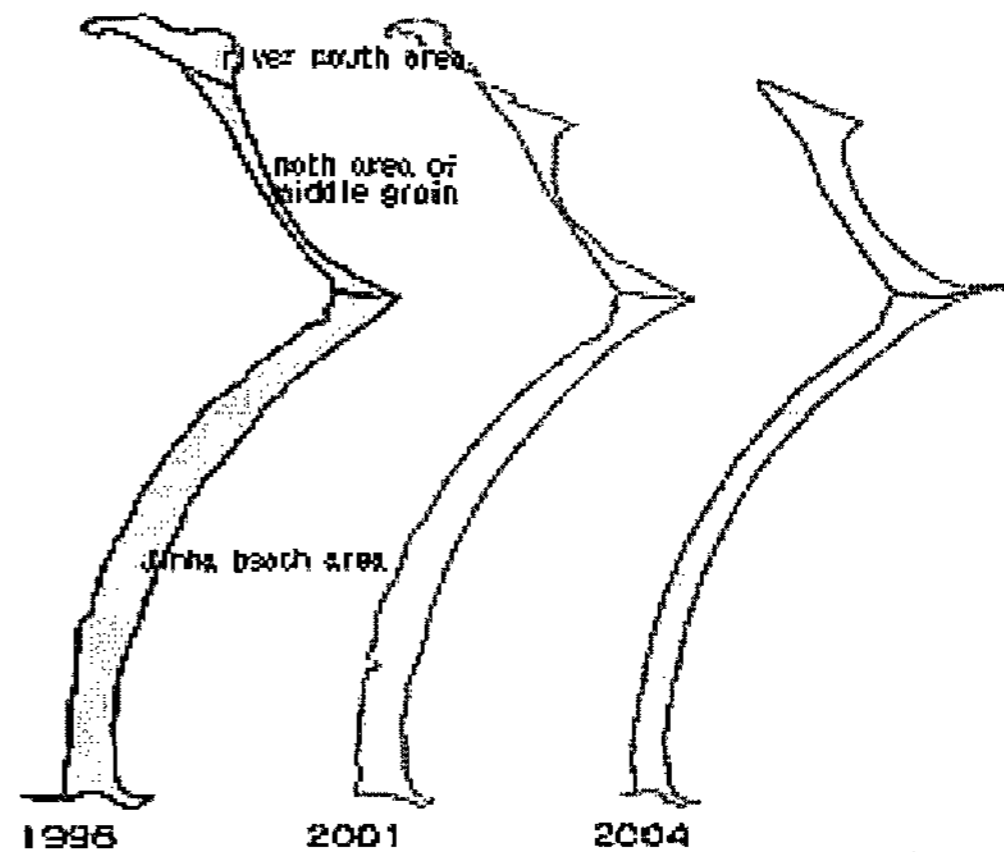


Fig. 2 Sand area from air photograph in each year



Fig. 3 Air photograph before groin constructing (November, 1996)



Fig. 4 While groin constructing (November, 2001)



Fig. 5 After groin construction completion (November, 2004)

3. 수치모형실험

3.1 수치모델

DHI가 개발한 LITPACK은 MIKEZERO를 기초로 한 파랑과 해류에서 점착력 없는 표사이동, 연안표사, 해안선 변형의 시뮬레이션을 위한 통합 모델링 시스템이다.

LIT-LINE의 주요 식은 표사체적량(Sediment volume)에 대한 연속방정식이다. 해빈의 변형을 다루는 경우, 해안선에 직각인 방향의 변형과 해안선에 평행인 방향의 변형을 별개로 생각하는 것이 보통이다. 해안선에 직각인 방향의 변형은 계절적인 변화이며, 따라서 1년을 경과하면 거의 원래의 상태로 되돌아간다고 생각해도 좋다. 이에 대해서 해빈의 침식이나 퇴적은 대국적으로 해안선에 평행하여 이동하는 연안 표사량이 장소적으로 똑같지 않음에 기인한다고 생각할 수 있다. Tanimoto and wagaki(1972)는 연안방향표사의 장소적인 변동만에 의해 지형변동이 일어나는 경우를 고려하여 다음 식을 유도했다.

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} = \left(1 - \frac{\bar{h}}{h_i}\right) \frac{\partial h_i}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_x}{\partial x} \quad (1)$$

여기서, B 는 표사대(Littoral region)의 폭, Q_x 는 표사대 전역에서의 연안 표사량, \bar{h} 는 평균 수심, h_i 는 표사의 이동 한계수심, λ 는 모래의 공급률, x 는 해안선 방향으로 잡은 좌표축이다. 위 수식에 의하면 해빈 변형은, $\partial Q_x / \partial x$ 곧 해빈에 따라 전체 표사량이 장소적으로 변화하는 것에 기인하는 것과, $\partial h_i / \partial t$ 곧 모래 입자의 이동 한계 수심이 시간과 함께 변화하는 것에 기인하는 것으로 되어 있음을 알 수 있고, 해안 구조물의 설치에 수반되는 해빈 변형을 정성적으로 예측하는데 응용할 수가 있다.

활동단면(Active profile)의 총 높이 h_{act} 는 다음의 세 가지 사항을 포함한다.

- (1) 평균해면(MWL)에 따라 변하는 활동수심(Active depth).
- (2) 해안선 위치를 앞·뒤로 움직이는 평균해면 위의 해빈의 높이.
- (3) 만약 그 해안선이 침식 중에 Dune의 위치까지 도달한다면 Dune은 침식은 하겠지만 다시 생성되지는 않는다. 하지만 본 연구에서는 Dune을 제외하였다.

3.2 대상지역 수치모델링

본 연구에서는 1-line 모형의 기본가정으로 현지해안과 같이 지형변화의 예측이 어려운 복잡한 지형에 대해 수치모형 실험을 수행함에 있어 다음의 사항을 가정한다.

- (1) 회야강 상류에 건설된 댐의 영향으로 인해 하구에서 해안으로 토사수송이 없다고 가정하여 회야강 하구부분을 육지로 움푹하게 들어간 바다로 본다.
- (2) 해변에 평행한 등수심으로 해안선은 길게 단순화 되어 있다. 해안을 따라 특색을 이루는 Cross-shore profile은 특정 구간의 단면을 대표하고, Dune은 존재하지 않는다.

- (3) 침전물은 비점착성이다.
- (4) 2003년 측정된 time series(파랑, 바람, 조류)는 1일 대표치를 사용하고, 이 자료들은 이후 10년간의 자료를 대표할 수 있다. (단, 태풍 조건은 수정한다.)
- (5) 팔각정 북측 양빈한 해변은 육지 측에 호안이 설치되어 있고, 팔각정 남측에는 호안이 없는 것으로 가정한다.
- (6) 해저의 어떤 부분이 암반이라 하더라도 균질하다고 가정한다. 단, '명선도'는 평균입경 1m 이상으로 어떠한 외력에도 이동이 없다.
- (7) 파랑은 규칙파이다.

LITPACK은 Output으로 Longshore current, Longshore sediment drift, Annual sediment drift를 얻을 수 있는 단면 해석인 LITDRIFT와 해안선 변화를 평면적으로 해석하는 LITLINE으로 나뉜다.

먼저 LITDRIFT에 필요한 파랑조건을 구하기 위해 대상지역에 큰 영향을 주는 4개의 파향(E, S, SSE, S10°W)에 대하여 SWAN 모델을 통해 파랑변형 실험 후 가장 큰 영향을 주는 E파향을 채택하여 해석하였고, 결과는 Fig. 6과 같다. 입사파고는 입력 값으로 필요한 수심20m를 기준으로 2.7m였고, 수위는 울산항 기준을 사용 삭망평균만조위인 (+)0.66m, 조속은 울산항 최강창조류 1.08m/sec를 사용하였다.

LITLINE은 LITDRIFT에 의해 산출된 각 Profile에 대한 결과값 외에 1년간의 파랑과 바람의 변화 조건이 필요하다. 파랑자료는 2003년 1월 1일부터 2003년 12월 31일 까지 온산항 북방파제를 기점으로 북동쪽으로 1km 정도 떨어진 해상의 부이형파고계를 통해 취득한 자료이고 기후자료는 간절곶에

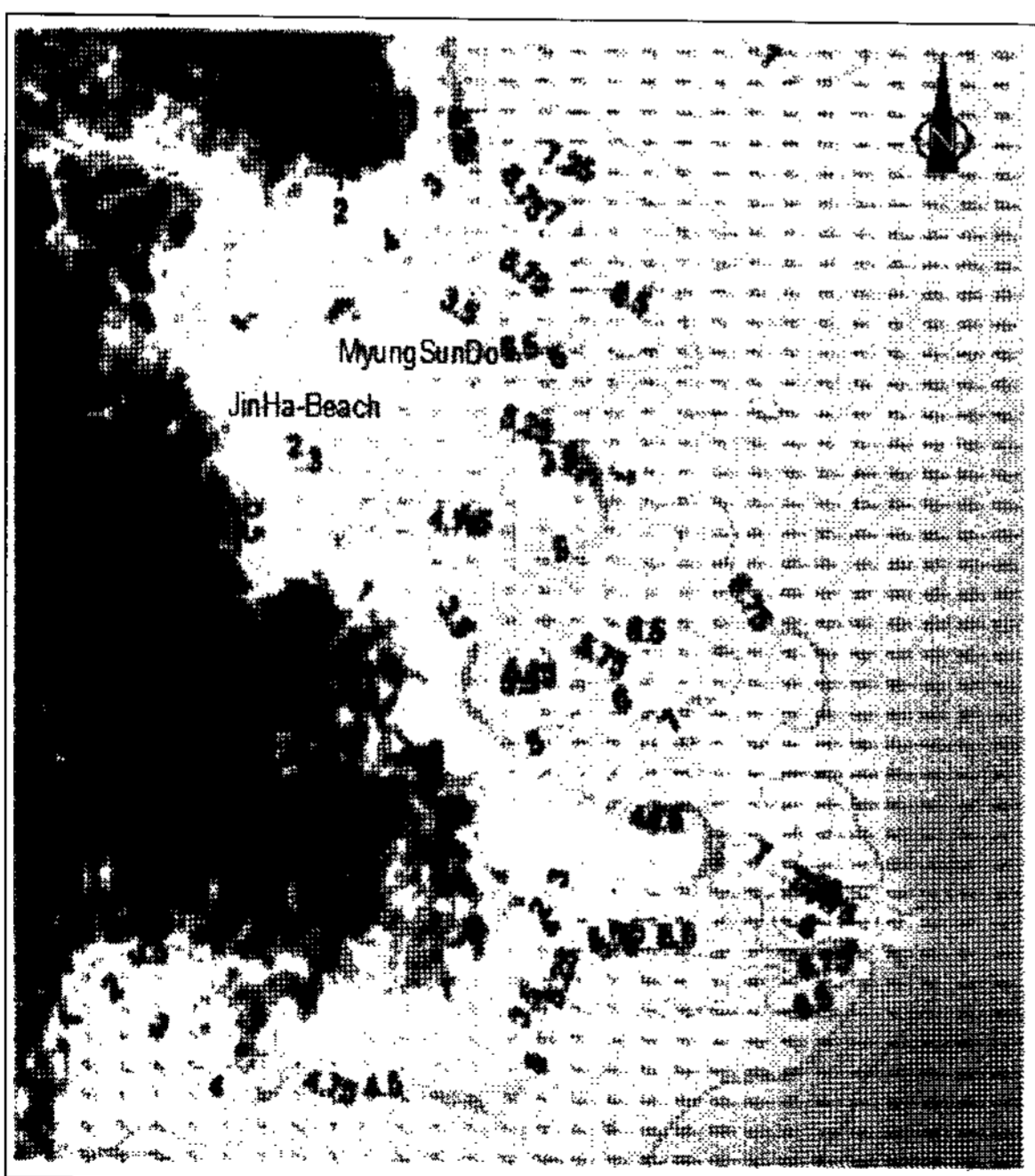


Fig. 6 Wave height and wave vectors (East: E, $H_0 = 7.59m$, $T_0 = 11.28$ sec, by SWAN)

서 관측된 2003년 기상연보를 발췌하였고, 이를 정리하면 Fig. 7과 같으며, 이 외에 지형조건 등에 각각의 7개의 profile을 대입하면, 아래의 Fig. 8과 같다.

3.3 연간 표사량

2003년 대상지역의 LITPACK을 통한 해석 후 연간 표사이동을 보면 Fig. 9와 같다. 단위시간당 이동되는 최고 표사량은 $0.433m^2/sec$ 이고, 최저는 $-2.550m^2/sec$ 였다. (+)는 해변 측으로의 이동이므로 9월 11일, 12일, 13일, 20일, 22일 대상지역이 전반적으로 크게 침식했다는 것을 알 수 있다. 평균표사량은 최고 $2,467.18m^2$ 이었고, 최저 $-12,484.2m^2$ 이었다. 누적 표사량은 최고 $26,012.7m^2$ 이었고, 마찬가지로 9월 11일, 12일, 13일, 20일, 22일을 기해 (-) 값을 가진다. 전체적인 양상은 6월 3일 태풍 이후로 회야강 하구의 유량이 늘어나면서 표사량이 줄어들며, 내습시에 큰 침식을 보이고 11월 20일을 이후로 다시 퇴적이 이루어지고 있다.

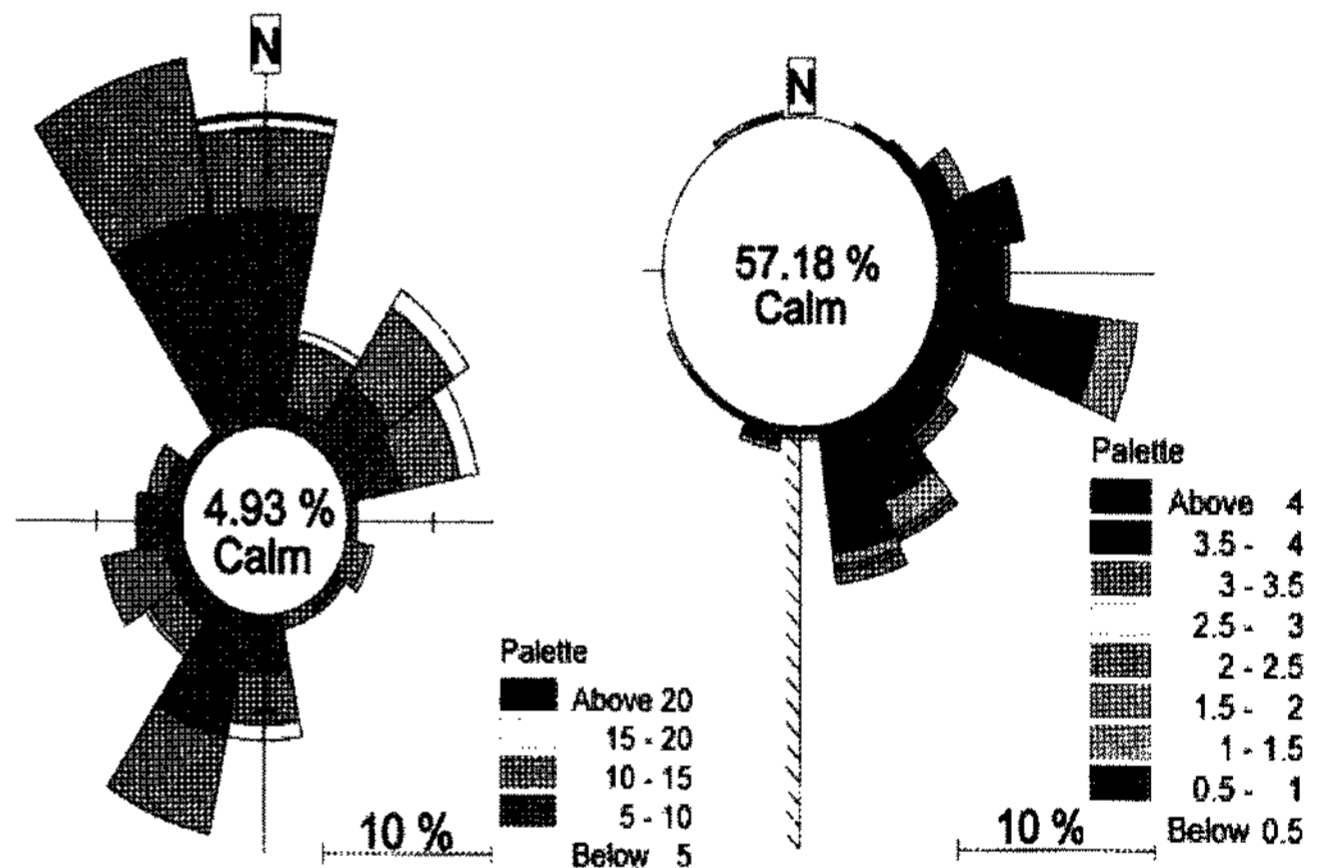


Fig. 7 The wind-rose(left) and wave-rose(right) of the year of 2003

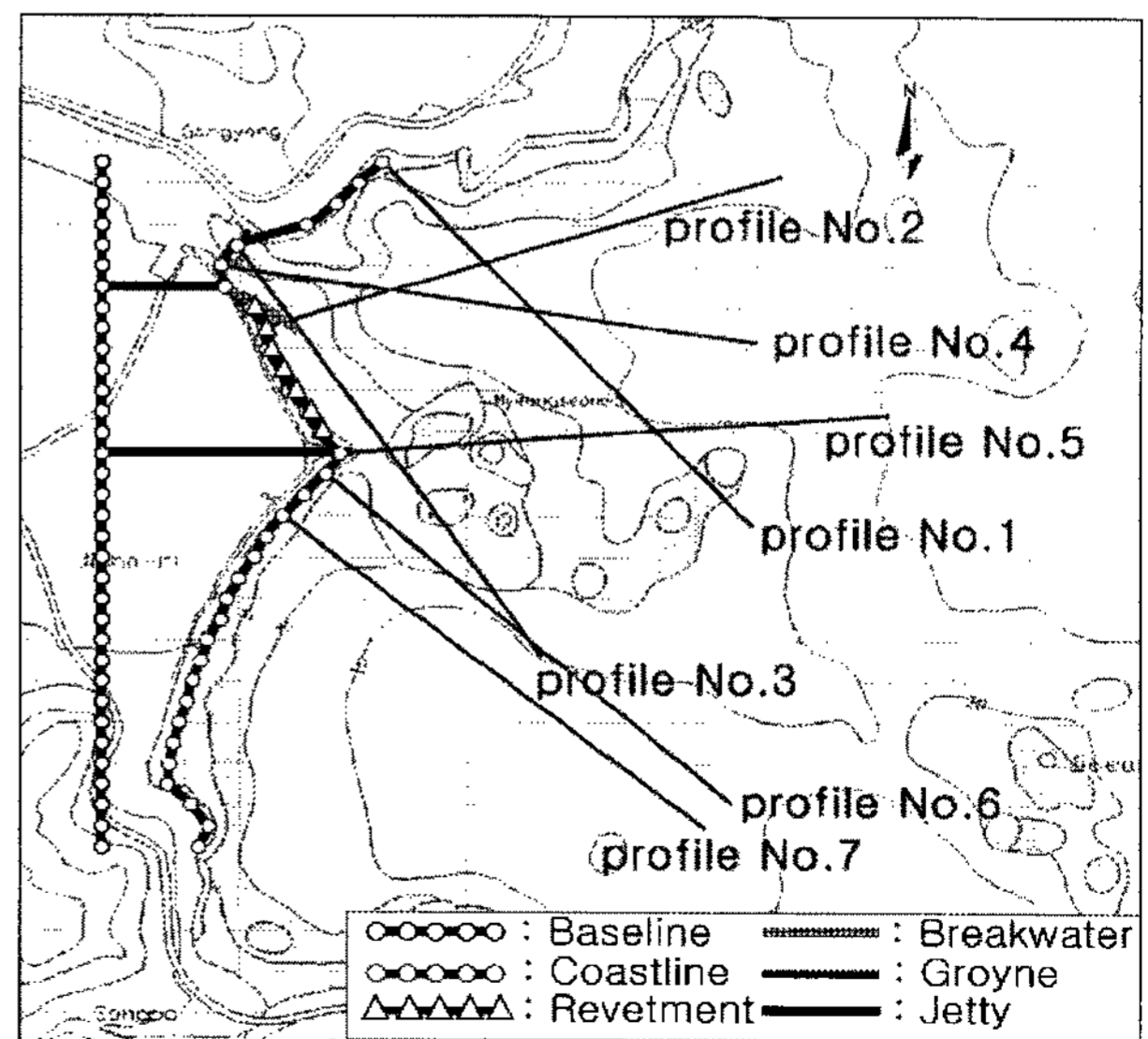


Fig. 8 The subject area of numerical modeling

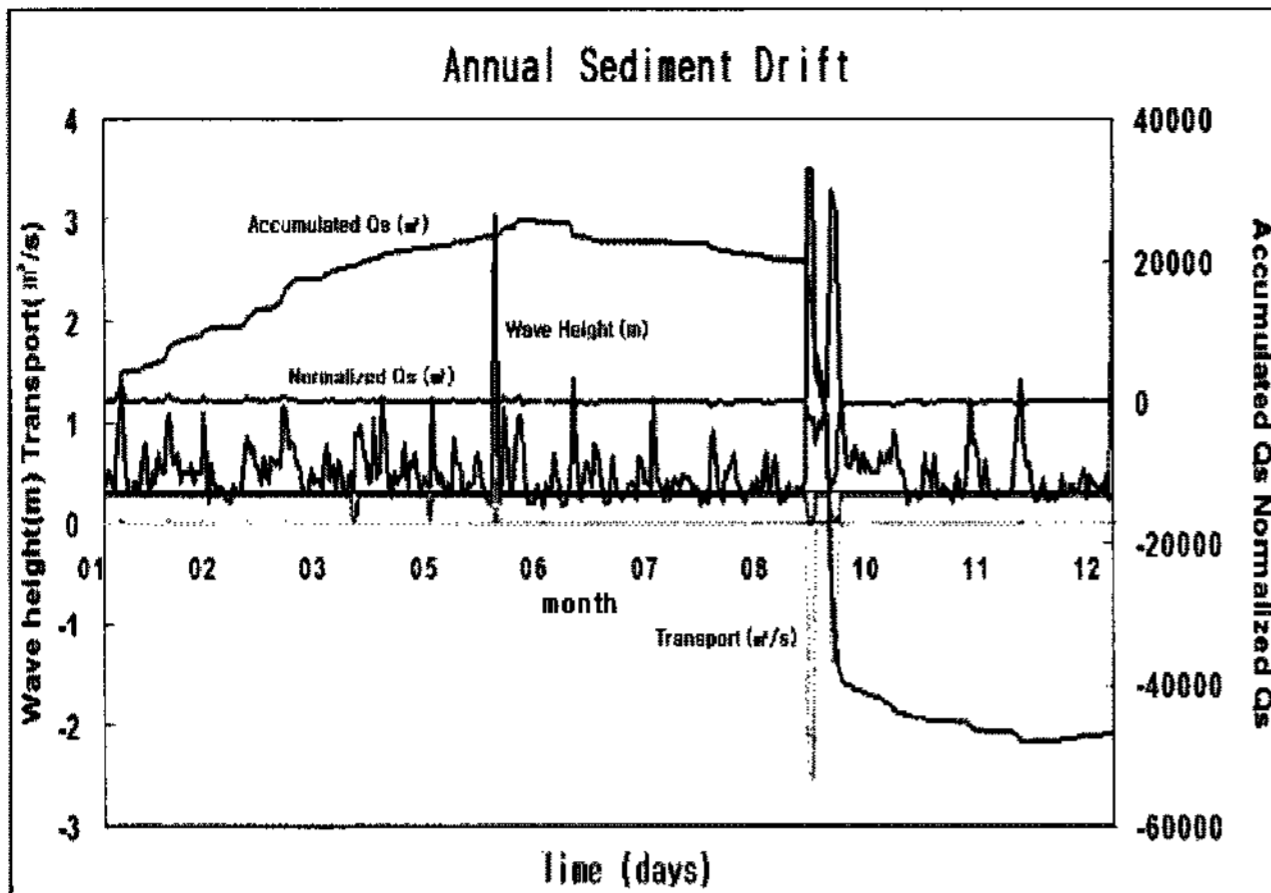


Fig. 9 The amount of sediment of one year accumulated, averaged, transported per time and wave height

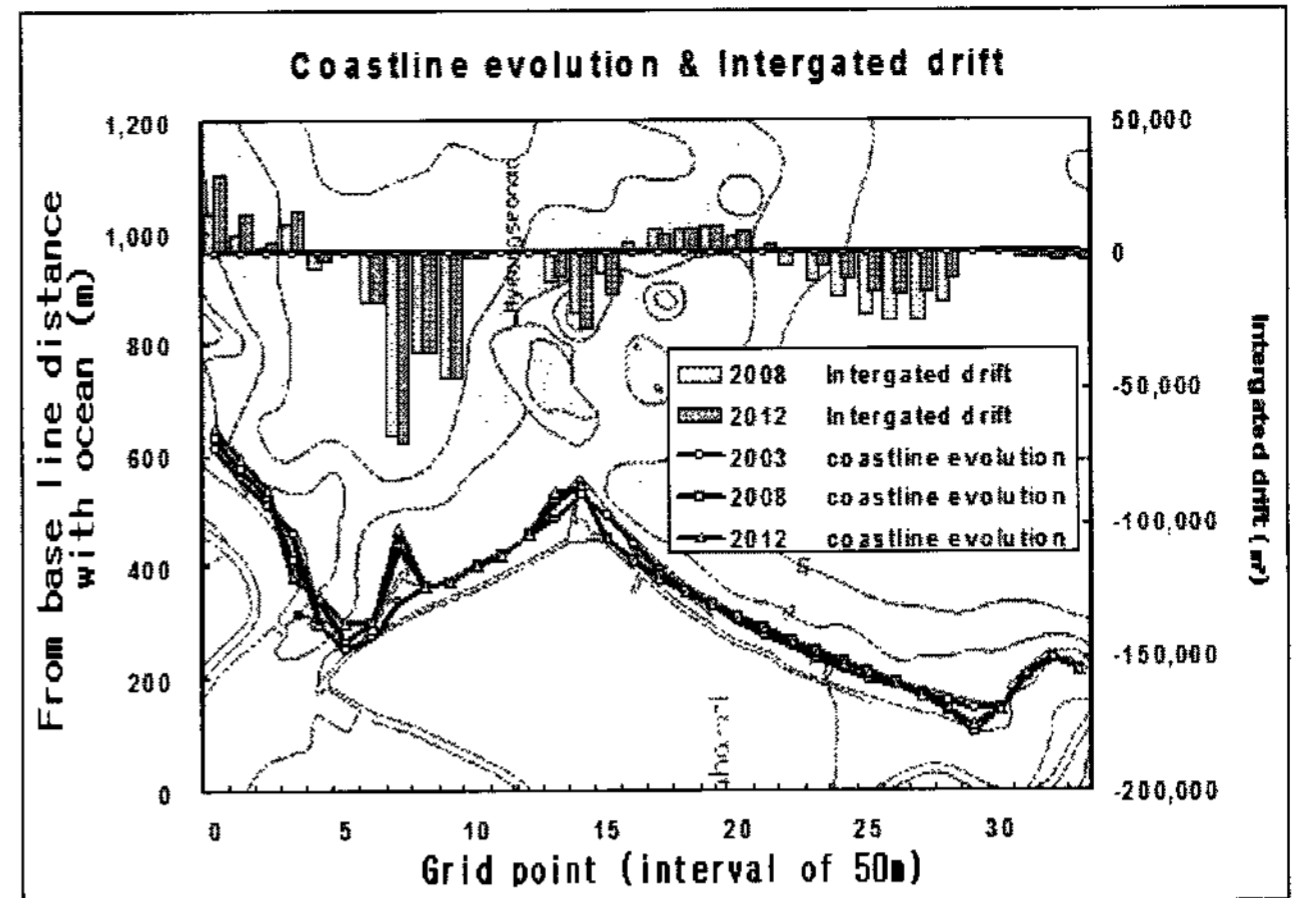


Fig. 11 The shoreline change simulated under the condition of present time

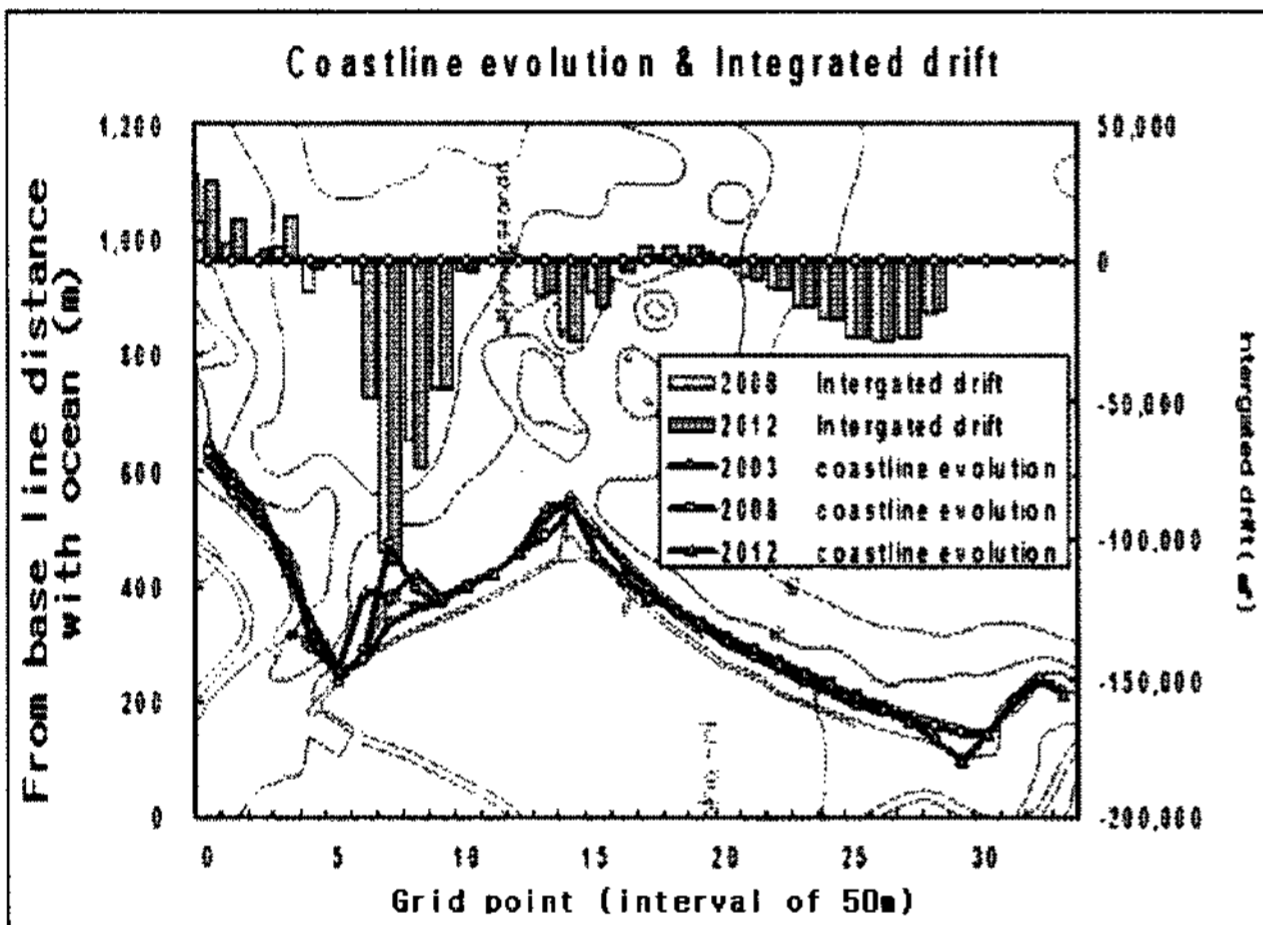


Fig. 10 The shoreline change simulated under the condition of before the year of 1997

3.4 해안선 변화 예측

하구 방사제가 축조되기 전인 1997년 이전의 가정된 상황에서는 Fig. 10에 보이는 바처럼 회야강 하구, 중앙부방사제 및 진하해빈의 남측구간을 보면 진하해빈의 남측구간은 대체로 침식이 예상되고, 회야강 하구일대는 지속적인 퇴적이 예상되었다.

반면 현재 하구방사제가 축조된 상황 Fig. 11에서 계산한 수치해석 결과를 보면 중앙방사제 일대에서는 크게 달라지지 않지만 회야강 하구 일원의 폐색 양상은 그 위치를 약간 달리할 뿐 퇴적 현상이 일어나고 있음을 보여주고 있어 하구폐색을 막기 위해서는 지속적인 유지 준설이 필요함을 알 수가 있다.

3.5 잠제군 설치시의 해안선 변화

Fig. 12와 같은 잠제군을 설치한다고 가정했을 경우에 대하여 수치실험을 해본 결과는 대체로 예상한바 대로 진하해빈의 보호에는 좋은 결과를 보여주고 있고 중앙방사제 부근 일대의

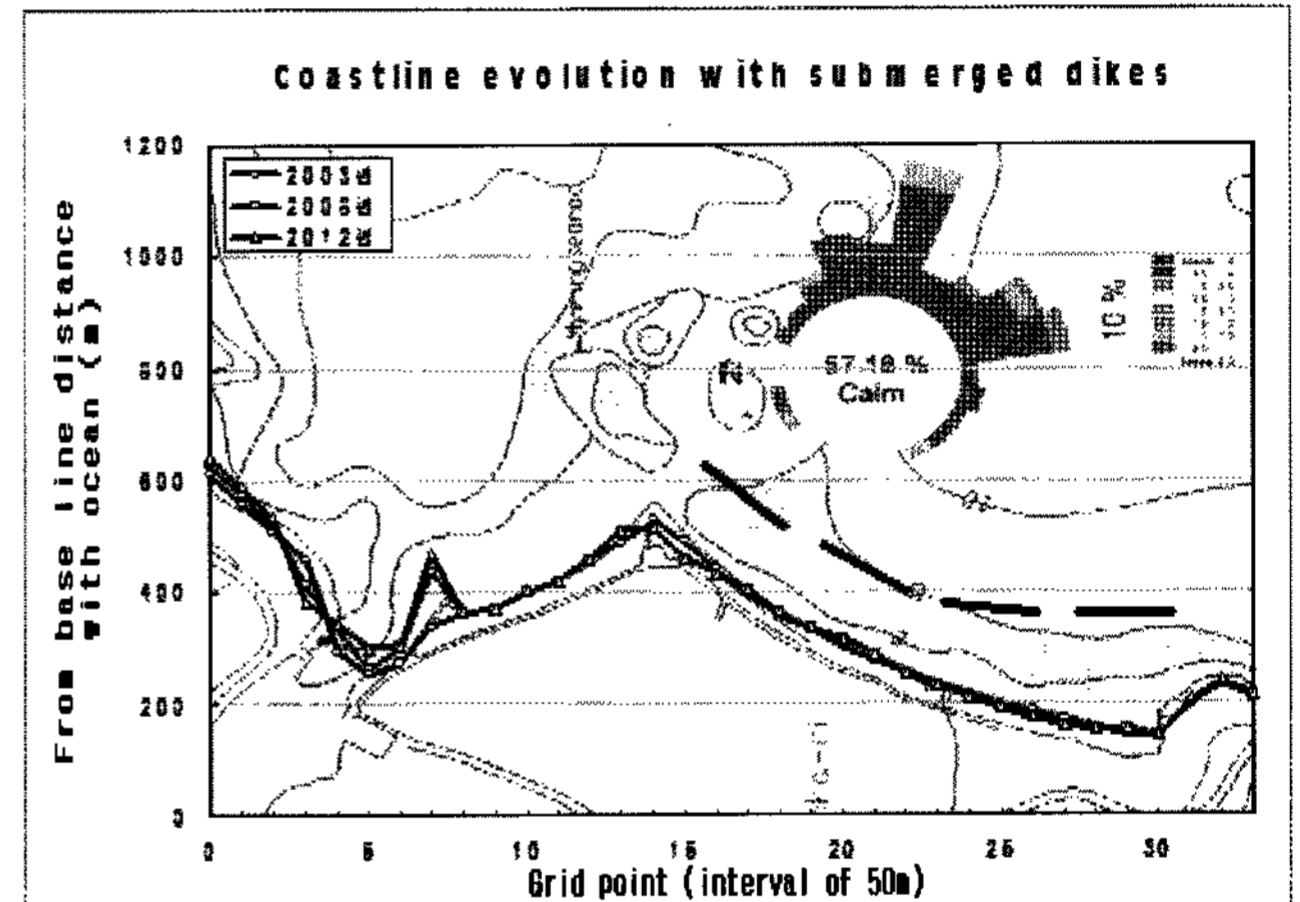


Fig. 12 The shoreline change simulated under the condition of submerged breakwaters

툽볼로의 진행도 진정시키고 있다. 그러나 하구폐색의 대책이 된다고는 보기가 어려운 결과를 제시하고 있다.

4. 결 론

울산시 진하해수욕장 및 그 일대의 해변발전 양상 및 추이를 분석한 본 논문의 결과는 다음과 같다.

첫째, 과거 사진기록과 근래에 촬영한 사진 자료 및 주민 설문을 통해 변화 정도를 상호 비교해보았다. 회야강 하구의 폐색은 하구방사제를 둘러싸고 현재에도 계속 진행 중이고, 따라서 조사된 바와 같이 매년 상당량의 준설에 의해서 하구 폐색에 대처하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 1996년, 2001년, 2004년에 촬영된 항공사진으로 대상 지역 일대의 변화양상을 '하구폐색구간', '중앙방사제북측구간', '진하해빈구간'으로 3구간으로 나누어진 전사구간의 면적과 둘레의 변화를 조사한 바, 진하해빈 면적은 지속적으로 감소했고, 3구간을 포함하는 전체구간의 면적 또한 2004년에는

크게 감소되었다. 하구방사제 공사가 진행됨에 따라 중앙 방사제 구간이 톱볼로 또한 함께 형성되어 가는 것을 확인 할 수 있었다.

셋째, 장래 정성적인 해빈발전 경향을 파악하기 위해 수치 모델링을 실시하였다. 그 결과 만약 이러한 준설을 멈출 경우 하구방사제를 둘러싸고 표사 퇴적이 진행될 것으로 예측되며, 현재 중앙 방사제에 존재하는 톱볼로는 규모가 확장되면서 북측으로 진행되고, 중앙 방사제 남측에 접한 해빈과 진하해빈 최 남측은 심각한 침식을, 진하해빈도 점진적인 침식을 보일 것으로 예상 되었으며, 침식의 주요 요인은 여름철 태풍으로 인한 것으로 나타났다. 이러한 진하해빈 침식 보호를 진하해빈 전면 5m 지점에 4개의 잠제군을 설치할 경우 진하해빈 보호에는 긍정적이었으나 진하방파제 주위의 표사 퇴적 등 하구폐색에는 큰 영향을 주지 않아 또 다른 추가 대안이 필요할 것으로 판단되었다.

결론적으로 1990년대 중반부터 회야강 하구 폐색은 관심의 초점이 되어왔다. 하구폐색 진행을 완화하기 위해 1997년부터 2004년 까지 3차에 걸쳐 총 연장 156m로 하구방사제가 완공 되었으나 본 지역에 대한 논의는 계속되어져 오고 있다. 하구방사제가 준공되었음에도 불구하고 정기적인 준설이 계속되고 있고, 중앙방사제와 명선도 사이에는 톱볼로가 형성되었으며, 눈으로 확인 할 수 있을 정도의 진하해빈의 침식이 진행되고 있다. 따라서 진하해빈의 보호와 하구폐색등에 종합적으로 대처하기 위해서는 회야강 하천 특성을 포함한 수치해석뿐만 아니라 수리모형 실험 등을 병행한 종합적인 접근의

연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2004년 울산대학교 교내연구비 지원사업으로 이루어진 것으로 학교당국에 감사드립니다.

참고문헌

- 김재진 (1999). 울산 회야강 하구 표사이동 해석을 위한 수치 해석적 연구, 울산대학교, 석사학위논문.
- 박경립 (2001). 잠제에 의한 침식해안 보호공법에 관한 연구, 울산대학교, 석사학위논문.
- Maruyama, K. and Takagi, T. (1988). "A Simulation of Nearshore Sediment Transport for the Coupling of the Seabottom Topography, Waves and Currents, IAHR Symp", On Mathematical Modeling of Sediment Transport in the Coastal Zone, pp 300-309.
- Denmark (2002). DHI software, LITPACK 2000.
- Tanimoto, K. and Iwakagi, (1972). "A Method of Numerical Analysis of Wave Propagation -Application to Wave Diffraction and Refraction", Proc. 13th Coastal Eng. Conf., ASCE:503-522.

2008년 9월 12일 원고 접수

2008년 3월 24일 최종 수정본 채택