

자연 해안표착물과 배후 식생대 전선의 상호 작용에 관한 연구

윤한삼^{1,†} · 유창일²

¹부경대학교 생태공학과

²부경대학교 해양공학과

Interaction between Coastal Debris and Vegetation Zone Line at a Natural Beach

Han Sam Yoon^{1,†} and Chang Ill Yoo²

¹Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Division of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약

본 연구는 낙동강 진우도 자연 해변에 내습하는 해양파랑, 해안표착물(해양쓰레기), 배후 식생대 전선의 변화 과정에 대한 상호작용에 대해서 고찰하고자 하였다. 이를 위해 해변단면 측량, 입사파랑 수치모의실험, 해안표착물 분포 현장 조사, 자연해빈 식생대선 현장 조사 등을 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 진우도 자연해빈의 지반고는 상승하고 있으며 이에 따라서 해안사구 식생대 전선도 전진하는 경향을 나타내고 있다. 지반고가 표고 1.5 m 이상이 되는 상황에서 대체적으로 식생대의 전선이 외해방향으로 발달하는 경향이 강하게 나타났다. (2) 진우도 전면 수심에 의해 파랑변형된 입사파랑이 공간상으로 상이하고 소상대에서의 처오름 현상도 공간상으로 복잡한 변화를 야기할 것으로 생각할 수 있다. 해양쓰레기는 파의 처오름이 큰 경우 배후 식생대 전선에 표착물이 도달하고 그렇지 못한 경우에는 해변상에 독립적인 섬의 형태로 표착물을 침적/퇴적시킬 가능성이 있다. 따라서 이렇게 침적된 표착물은 배후 식생대 전선의 전진과 후퇴를 결정짓게 하는 요인이라 할 수 있다. 최종적으로 본 연구에서는 조사결과를 바탕으로 해안표착물과 식생대 전선의 상호작용에 대한 개념적 모식도를 제시하였다.

Abstract – Changes in the interactions among incident ocean water waves, coastal debris (marine debris), and the back vegetation zone line on a natural sandy beach on the island of Jinu-do in the Nakdong river estuary were investigated. The study involved a cross-sectional field survey of the beach, numerical modeling of incident ocean water waves, field observations of the distribution of coastal debris, and vegetation zone line tracking using GPS. The conclusions of this study can be summarized as follows: (1) The ground level of the swash zone (sandy beach) on Jinu-do is rising, and the vegetation zone line, which is the boundary of the coastal sand dunes, shows a tendency to move forward toward the open sea. The vegetation zone line is developing particularly strongly in the off-shore direction in areas where the ground level is elevated by more than 1.5 m. (2) The spatial distributions of incident waves differed due to variations in the water depth at the front of the beach, and the wave run-up in the swash zone also displayed complex spatial variations. With a large wave run-up, coastal debris may reach the vegetation zone line, but if the run-up is smaller, coastal debris is more likely to deposit in the form of an independent island on the beach. The deposited coastal debris can then become a factor determining which vegetation zone line advances or retreats. Finally, based on the results of this investigation, a schematic concept of the mechanisms of interaction between the coastal debris and the coastal vegetation zone line due to wave action was derived.

Keywords: Jinu-do(진우도), Coastal debris(해안 표착물), Vegetation zone line(식생대선), Field survey(현장조사), Interaction(상호작용)

[†]Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

1. 서론

낙동강하구역 해역과 같은 반폐쇄성 하구 및 사주의 지형적 조건은 파랑에너지의 진행 과정에서 천해파랑 변형을 초래하고 변형된 파랑은 해안과정(Coastal process)의 주요 외력인자로서 해빈류 및 표사이동 현상의 원인으로 기여하게 된다(Park *et al.*, 2009). 낙동강 하구 사주 지형 변화의 원인은 해양파랑의 영향력이 크게 작용한 결과로(Kim, 2005; Yoo, 2006; Yoon *et al.*, 2007) 이는 해안표착물(Coastal debris) 거동과 배후 식생대 전선(Vegetation zone)의 변화 과정에 영향을 미치게 된다.

Song *et al.*(2001)은 해양폐기물에 대한 수면 체류시간과 침강속도에 대한 실험연구를 수행하고 이들 물적, 형상적 특성에 따른 침강속도의 특성에 대해서 고찰하였다. Nott *et al.*(2005)는 해안쓰레기 전선(Debris line)과 태풍시의 침수고(Inundation height)에 대해서 현장 조사와 수치모의를 통해서 조사하고 그 관계가 매우 밀접함을 제시한 바 있다. 또한 Ryu *et al.*(2009)는 항공사진을 이용하여 진우도 지형변화가 식생면적 변화에 미치는 영향에 대해서 검토하였는데, 그 결과로서 지형면적과 식생면적간의 상관계수가 0.97로

서 매우 높은 상관성을 보인다고 보고하였다. Je *et al.*(2011)와 Je(2012)는 파랑(쓰레기)에 의해 해빈상에 이송/침적된 해안표착물은 상술한 부정적 요소뿐만 아니라 배후 식생대 전선의 외해로의 발달을 유도하는 안전공간을 제공하고 비사포집을 통한 독립사구로서 발달시키는 기작으로 작용할 것으로 제안하였다. 이상과 같이 해안표착물은 해안공학적 측면에서 해빈 안정화 및 배후 식생대 전선 발달에는 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

일반적인 해양수질오염 중에서 분해성 물질의 경우 해양의 자정 능력만으로도 초기에 일부 해결될 수 있었으나, 비분해성이며 고착성인 해양쓰레기와 같이 해저면 또는 해안에 침적한 표착물(쓰레기)은 또 다른 문제를 초래하고 있다(Koo *et al.*, 2000). 최근 낙동강 하구역의 경우 이를 수거 및 처리하기 위한 비용 문제로 주변 지자체 간에 갈등을 초래하고 있으며, 그 처리 비용은 2009년 29.7억원, 2010년 29.8억원, 2011년 30.9억원, 2012년 29.8억원, 2013년 29.1억원이었다(Yonhapnews, 2014).

Fig. 1은 2010년 진우도 해변 2개 지점에서 해변상의 표착물의 출현을 사진 촬영한 것이다. 9월에 소상대에 넓게 분포하던 해안표착물이 10월에는 모래에 의해서 묻혀 버리거나(PL-2 지점) 모두 사라지고 없어



Fig. 1. This study area (left) and photographs of coastal debris and morphological changes on Jinu-do beach taken over 10 months (right).

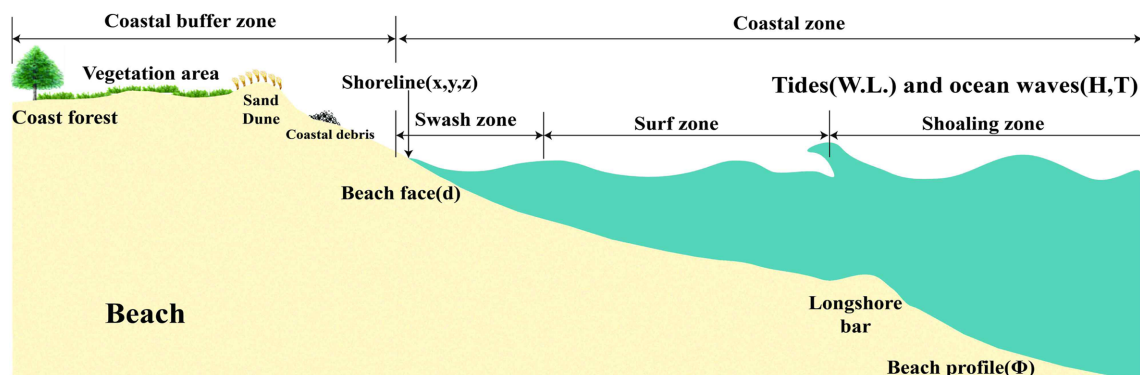


Fig. 2. Schematic cross-profile diagram of the physical processes operating in the coastal environment, including deposition of coastal debris.

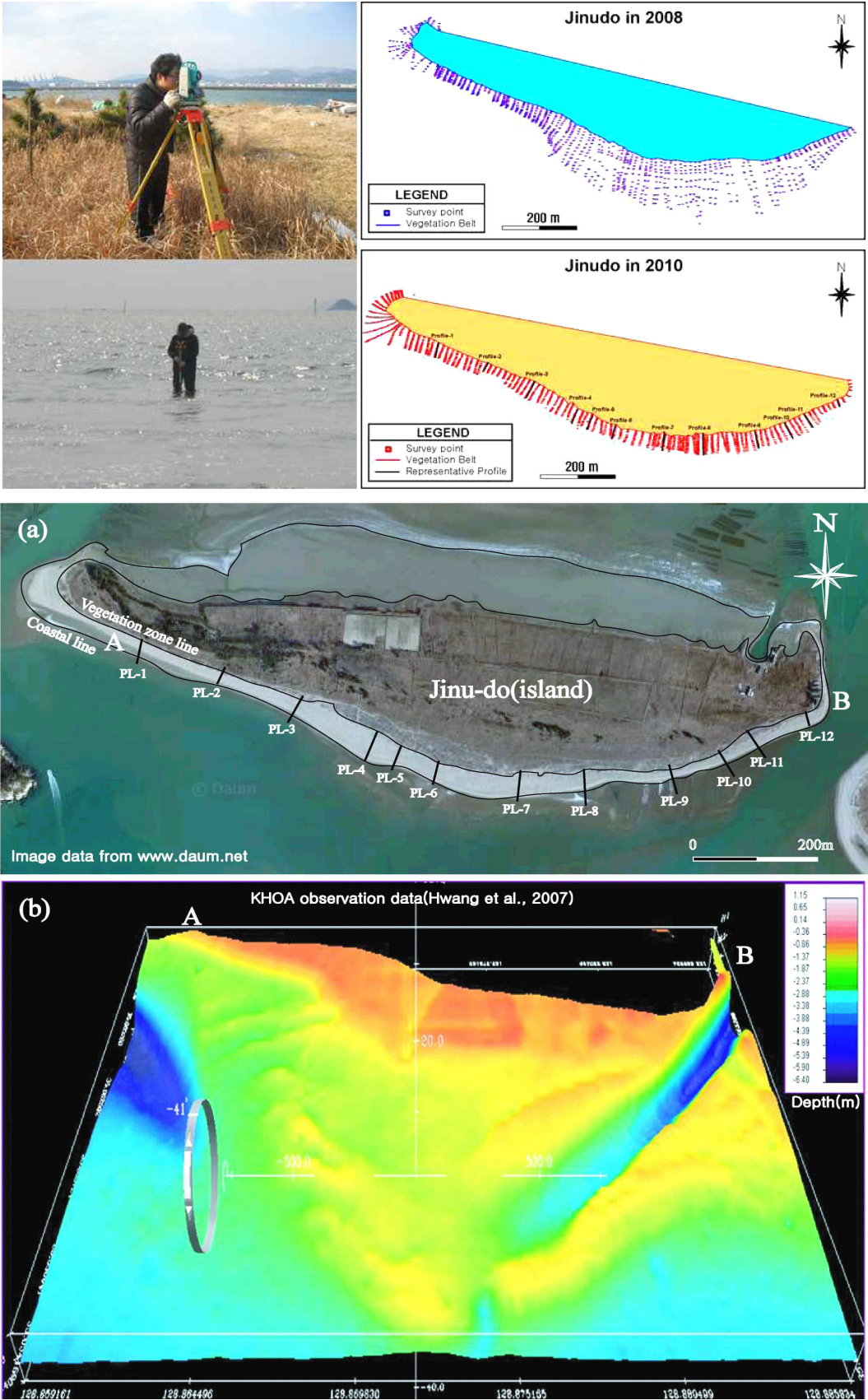


Fig. 3. (a) Aerial photograph of the island of Jinu-do (Busan, Korea) indicating the location of the survey transect lines (PL-1 to PL-12). (b) 3D map of morphological variations in the nearshore region of the study area.

진(PL-6 지점) 상황에 해당한다. 이러한 경우는 하계 태풍 또는 고파랑 내습시에 쉽게 발견할 수 있으며(PL-2 지점) 육상으로부터의 홍수에 의해서 하천 방류량이 증가하는 경우(PL-6 지점)에도 찾아 볼 수 있다.

본 연구는 현장에서 관찰된 현상을 바탕으로 내습하는 해양파랑과 해변상에서의 해안표착물 거동과 퇴적현상 및 배후 식생대 전선의

변화과정에 대한 상관성을 고찰하고자 하였다. 이러한 현상에는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 해양파랑(파고와 주기), 조석 현상(Tidal waterlevel), 해변경사, 물가선(Shoreline), 해안표착물의 종류, 바람과 비사의 퇴적강도 등 다양한 주변 환경조건에 따라 결정된다고 할 수 있다. 하지만 해양파랑과 해변상에서의 해안쓰레기 거동 및 배후 식생대 전

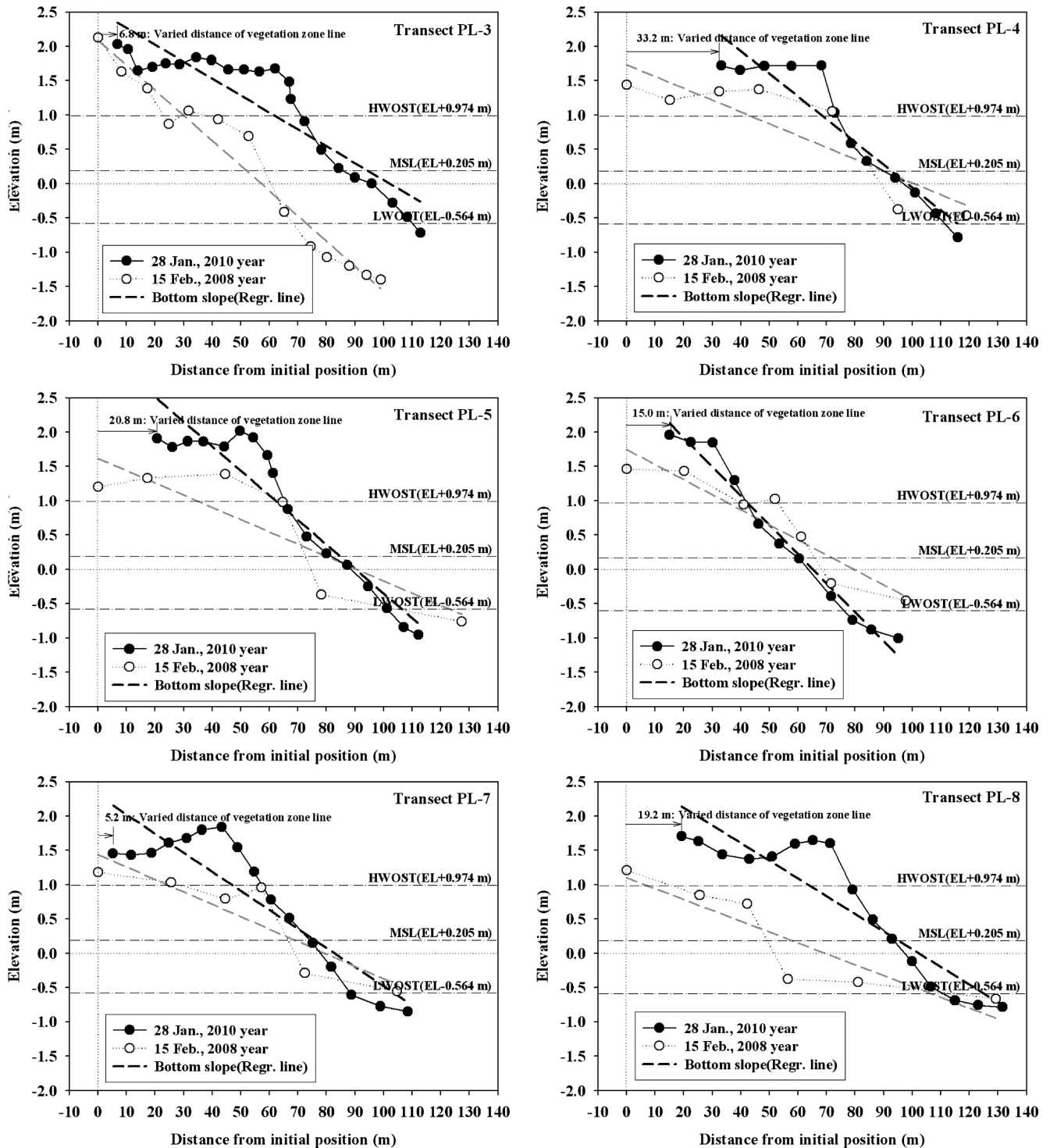


Fig. 4. Superimposed beach profiles (ground level) over the period February 2008 to January 2010 for survey lines PL-3 to PL-8, indicating the highest water of spring tide (HWOSt), lowest water of spring tide (LWOSt), and mean sea level (MSL).

선의 변화과정에 대한 상호작용을 연구한 결과는 매우 미미한 실정이며, 이들의 상호기작을 밝힌 연구 결과도 찾아 보기 힘든 상황이다.

이에 본 연구에서는 진우도를 대상으로 해변단면 측량, 수치모의를 통한 입사파랑 분포 특성 실험, 임의 시험구를 대상으로 한 해안표착물 분포 및 종류 조사, 광파측거의와 DGPS를 사용하여 약 3년간의 자연해빈 식생대선의 변화 조사 등을 수행하고 최종적으로 자연 해안표착물과 배후 식생대 전선의 상호 작용에 대한 상호기작에 대해서 고찰하고자 하였다.

2. 진우도 해빈 환경특성 조사

본 연구에서는 진우도 전면해빈을 대상으로 2회의 해변단면 측량(2008.02.15., 2010.01.28.), 대표 단면의 해저질 채집 및 입도 분석(2006.10.26), 임의 시험구를 대상으로 한 총 4회의 해안표착물 분포 및 종류 조사(2007.05.19., 06.19, 07.30, 10.11), 광파측거의와 DGPS를 사용하여 자연해빈 식생대선의 변화 조사(2008.05, 2010.02, 2010.11, 2011.09, 2012.01) 등을 수행하였다.

2.1 해빈 단면과 저질 조성

대표 해변단면의 변화를 살펴보기 위해 광파측거의를 사용하여 Fig. 3(a)의 12개 대표단면에 대해서 2008년과 2010년에 2회에 걸쳐 해변단면을 관측하였다(Yoon *et al.*, 2010). Fig. 3(b)는 Hwang *et al.*(2007)에 의해 조사된 진우도 전면의 해저지형도를 나타내고 있으며, 진우도 동측(B) 서낙동강으로부터 하천수에 의한 수로와 신자도 서측으로부터 발달한 해저 사취(Sand spit)가 발달하여 있음을 알 수 있다.

해빈단면 관측 결과를 나타낸 것이 Fig. 4이다. 그림에서 검은 원

(●)은 2010년 관측 결과를, 흰 원(○)은 2008년 관측 결과를 나타내고 있으며 점선(Regr. line)은 각 시점에서 관측된 결과에 대한 1차 회귀곡선으로 해변단면의 대표단면 경사로 간주할 수 있다. 또한 해수면을 나타낸 대조평균만조위(HWOST), 평균해면(MSL), 대조평균간조위(LWOST)는 국립해양조사원(KHOA, 2014)에서 고시한 용원(291.5(D.L))의 장기간 관측자료를 기준으로 적용하였다.

우선 Fig. 4의 단면 PL-3과 단면 PL-8의 경우를 살펴보면 해빈의 상부 및 하부에서 1차 회귀곡선이 평행되게 외해 방향으로 일정하게 전진하였으나, 단면 PL-4부터 PL-7까지는 평균해면 상부에서는 퇴적이, 하부에서는 침식이 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 2008년의 경우 해빈 지반고가 약 1.0~1.5 m의 범위를 가지나 2010년의 경우 해빈 퇴적현상에 의해 지반고가 약 2.0 m에 달하는 것을 알 수 있다. 이때 해안사구의 식생대선의 변화양상을 살펴보면 단면 PL-4에서 33.2 m로서 가장 큰 값, 단면 PL-6의 경우 약 15.0 m 정도로 일차사구 식생대 전선이 전진하였음을 알 수 있다. 결과적으로 자연해빈의 지반고는 상승하고 있으며 이에 따라서 해안사구 식생대 전선도 전진하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

해빈단면의 모래 입경의 분포 특성을 살펴보기 위해 Fig. 3(a)의 PL-6 대표단면에 대해서 해저퇴적물을 수집하여 입도분석을 수행하였다. 실험 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다. 그림에서 식생대 인근은 중앙입경(d_{50})이 0.205~0.213 mm, 소상대 물가선 인근에는 중앙입경(d_{50})이 0.253~0.276 mm의 값을 가지는 것으로 나타났다. 아울러 연안사주가 있는 800 m 지점을 중심으로 전면의 경우 0.177~0.190 mm, 배후의 경우 0.203~0.256 mm, 초기 식생대로부터 1,000 m이상의 외해방향으로는 중앙입경(d_{50})이 0.170~0.178 mm의 값을 나타내었다. 이는 쇄파대가 존재하는 연안사주(800 m 지점) 배후에 쇄파로 인해 가는 모래는 부유 또는 소류함으로써 이동하여 다

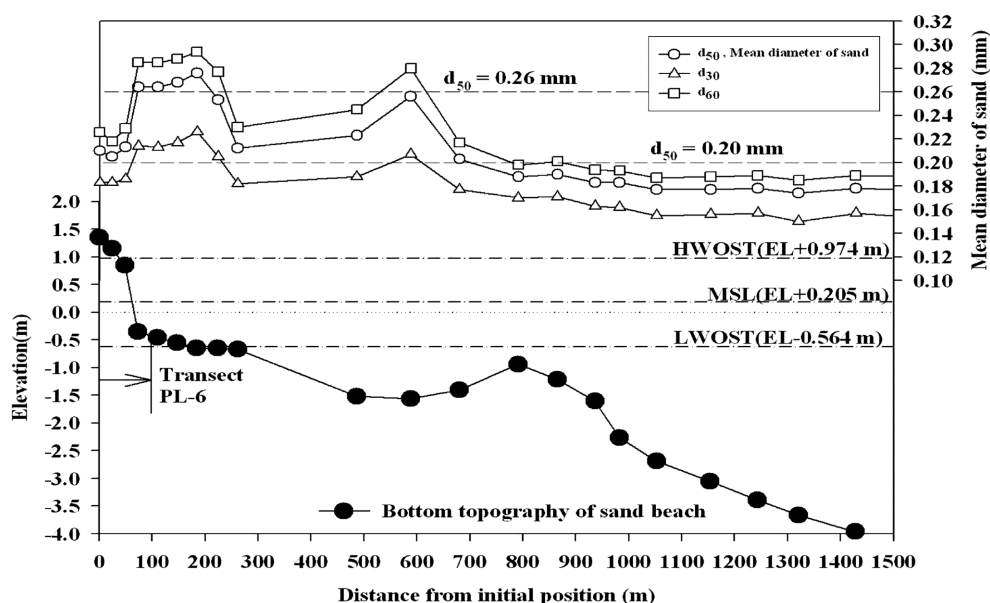


Fig. 5. Distribution of the mean diameter of sand (d_{50}) from the initial position in the vegetation zone line to a specific depth/distance in the nearshore region on transect PL-6.

소 굵은 모래가 분포한다. 이는 Park *et al.*(2009)이 제시한 바와 같이 S 및 SSW, SSE 파향이 탁월한 경우 사주섬 전면의 극천해역까지 파랑에너지가 전달되어 높은 파고가 발생하며, 이는 해빈류의 발생에 의해 하구의 토사이동, 입경 분포, 부정형적인 사주의 형성/말달 등에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 생각된다. 아울러 물가선의 대조평균만조위(HWOST)으로부터 대조평균간조위(LWOST)까지의 해빈에는 파랑의 침오름이 발생하여 굵은 모래($d_{50}=0.26$ mm)가 분포하는 것으로 조사되었다. 하지만 식생대가 있는 지역의 경우 평균 d_{50} 가 약 0.25 mm의 값으로 조사되었다. d_{30} 과 d_{60} 의 경우도 d_{50} 와 거의 유사한 패턴을 가지며 해빈단면상에 분포한다는 것을 알 수 있다.

2.2 해빈 입사파랑 공간분포

일반적으로 해안수리학적 측면에서 자연해빈은 입사파랑에 대응한 안정한 평행해빈단면(Equilibrium beach profile)을 형성하는데, 바람, 강우 등의 육상 기상조건, 하천 영향, 퇴적물 정도, 외해 입사파랑 및 조석작용, 그리고 Fig. 3(b)와 같이 해빈 저면의 해저/해안지형과 지형에 의해 발생하는 다양한 동수력학적 특성 변화 등에 의해 이러한 안정한 평행단면은 항상 불확정적으로 변화하게 된다(Dean, 1977). Je(2012)은 진우도 전면해역에 대해서 파랑변형모델(STWAVE model)을 사용하여 진우도 전면 입사파랑을 산출하고 식생대선의 변화조사 결과와의 상관성을 고찰하였다. 이중 진우도 전면에서의 탁월 파향별 입사파고 공간 분포를 살펴보면 Fig. 6과 같다. 그림에서 가로축은 진우도 서측으로부터의 거리를, 좌측 세로축은 계산되어진 파고분포(그림 상단 dot 표시)를, 우측 세로축은 물가선으로부터 전면 30 m지점의 수심 분포(그림 하단 굵은 실선)를 제시한 것이다. 결과적으로 진우도 서측은 대체적으로 파고가 낮고 중앙부로 갈수록 커지는 경향을 나타내며 특이하게도 중앙부 1,100~1,600 m 영역에서 파랑의 침수효과에 의해서 파랑이 급격히

낮아짐을 알 수 있다. 결과적으로 내습 파랑이 천해역의 파랑변형에 의해 공간상으로 상이하고 자연 해빈 소상대에서의 침오름 현상도 공간상으로 복잡한 변화를 야기할 것으로 생각할 수 있다.

2.3 해안표착물 침적 현장조사

Lee *et al.*(2007)은 낙동강 하구역 진우도 사주 전면해역을 대상으로 50×50 m($=0.0025$ km²) 영역을 설정하고 태풍 내습전과 내습후의 영역내 모든 해안표착물을 수거하여 종류별로 분리한 뒤 무게를 측정하였다. 이를 바탕으로 해안표착물의 공간적 분포를 살펴보고 해양으로부터 유입되는 표착물의 조성분석을 실시한 뒤, 낙동강 하구역 사주(진우도, 신자도, 도요등) 전면해안의 전체 해안표착물 발생량을 추정하였다.

그 결과에 따르면 Fig. 7과 같으며 총 4회에 걸쳐서 수행된 현장조사 결과를 시간경과에 따른 퇴적량으로 도식화한 결과이다. 조사 기간중에 태풍 우사기(2007년 8월)와 태풍 나리(2007년 9월)가 내습하였다. 4차 조사기간(73일) 동안에 수거된 해안표착물을 종류별로 살펴보면 가장 많은 양을 차지하는 것이 목재로서 85.86%, 폐그물 및 폐부이를 포함하는 어구가 5.13%, 플라스틱류가 4.78%, 생활쓰레기가 2.34%, 유리류가 0.94%, 음료수캔을 포함하는 철재류가 0.27%를 나타내었으며, 일일 단위면적당 발생하는 해안표착물은 약 400.0 kg/km²/day의 퇴적속도로 퇴적되는 것으로 산정되었다. 한편 2003년 태풍 매미 내습 후 진우도 해빈에서 수거된 해안표착물량은 총 1,800 ton에 달한다(Park *et al.*, 2007). 이중 가장 많은 양을 차지하는 것이 목재로서 85.86%이었다.

2.4 식생대 전선 현장조사

본 연구에서는 광파측거의와 DGPS를 사용하여 약 3년간의(2008년 3월~2012년 2월, 총 5회) 자연해빈 식생대 전선의 변화를 관찰

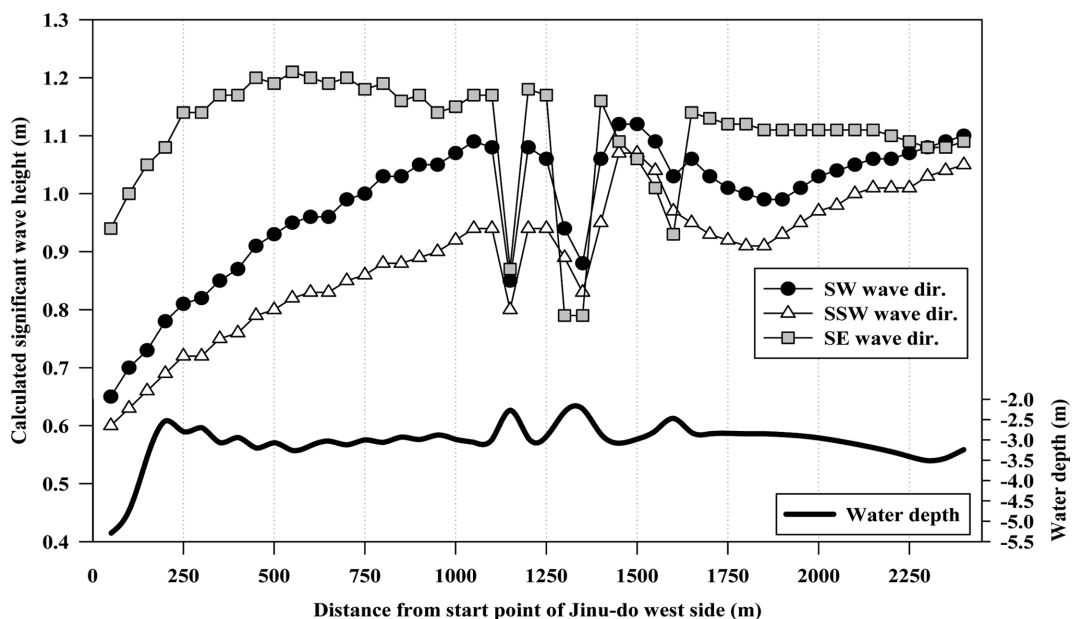


Fig. 6. Spatial distribution of significant wave heights calculated using a numerical model for the coast of Jinu-do (Je, 2012).

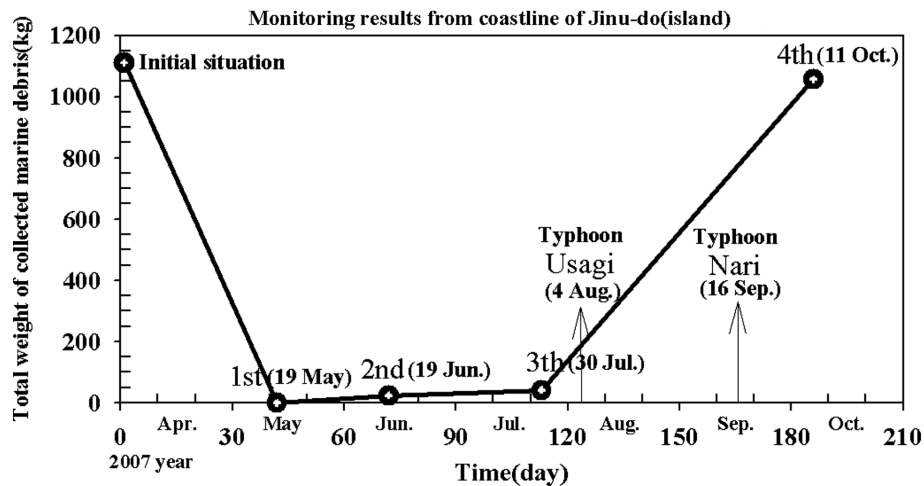


Fig. 7. Coastal (Marine) debris monitoring results for the sandbar coastline (PL-6) of Jinu-do (Lee *et al.*, 2007).



Fig. 8. Spatio-temporal variability in the foreshore vegetation line.

하였다. 현장조사 방법은 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 식생대선을 따라서 진우도 서측에서 동측으로 이동하면서 위성좌표를 획득하였으며 이를 25 m간격으로 분할하여 연간 변화를 비교하였다. Fig. 8은 식생대 추적선을, Fig. 9는 2008년 조사시의 초기치인 O점으로부터 식생대선의 시공간적인 변화 과정을 조사하기 위한 정의를 나타내었다.

결과적으로 Fig. 10에서 시간 경과에 따라서 식생대선의 변화가 급격하게 발생하는 지역은 진우도 서측과 중앙부에서 발달하고 있음을 알 수 있다. 즉, 2008년, 2010년과 2011년에 관측되어진 진우도 전면해빈 식생대선의 변화는 대체적으로 시간이 지날수록 외해 방향으로 전선이 이동하였으나 반대로 진우도 동쪽 지역에서는 식생대선의 변화가 없거나 북측으로 후퇴하는 경향을 나타내었다. 외해 방향으로 최대 전진하는 지점은 진우도 서측으로부터 약 1,100 m 부근으로 약 45 m 전진하였으며 1,250~1,750 m 부근에서는 전진과 후퇴를 반복하는 양상을 나타내었다.

결과적으로 Fig. 6과 Fig. 10을 통해서 입사파랑이 작은 서측의 경우 식생대가 전진하고 일정한 외력환경을 받는 동측은 전선의 변

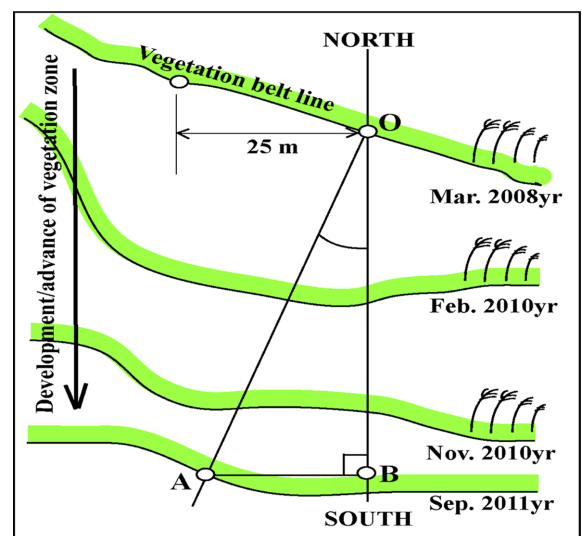


Fig. 9. Definition of the development /advance of the foreshore vegetation line.

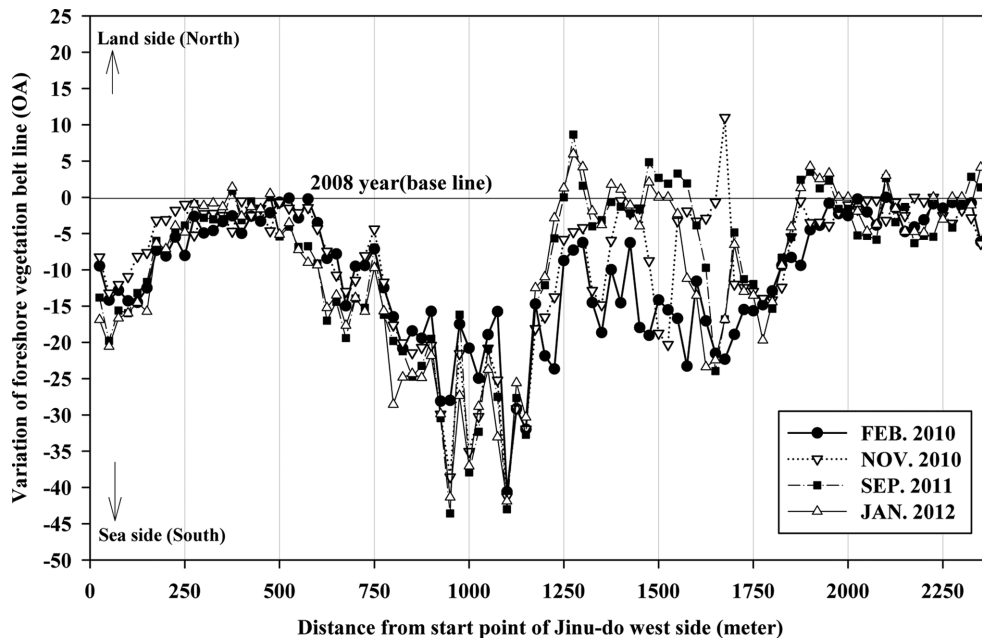


Fig. 10. Spatio-temporal variation in the foreshore vegetation belt line along the Jinu-do coast.

화가 크지 않다는 것을 알 수 있다. 또한 식생대선의 전진과 후퇴가 반복되거나 꾸준히 외해방향으로 전진하는 진우도 중앙부의 경우 외해 입사파랑의 공간적인 변화가 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 입사 파랑이 큰 해변 단면에서는 식생대선이 전진 및 후퇴를 반복하는 반면에 입사파랑이 작은 해변 단면에서는 식생대선이 지속적으로 외해 방향으로 발달하는 경향을 나타내었다. 이는 파랑의 입사에 의해 모래로 구성된 해변지반이 침식됨으로써 식생 서식지가 파괴되어 식생대선이 후퇴한다고 할 수 있다. 결과적으로 해양파랑에 의해 식생대 환경이 영향을 받고 있음을 나타낸다.

2.5 해변과 식생대선의 변화

Table 1과 Fig. 11은 2008년과 2010년에 관측되어진 식생대선의

초기 지점의 변화와 Fig. 3(a)의 12개 대표단면에 대해서 동일 기간에 해변단면 관측결과를 바탕으로 지반 표고의 침식과 퇴적을 계산하고 함께 표기한 것이다. 결과에서 volume은 동일 지점에서의 지반고 차이와 관측 지점간의 길이를 곱하여 대표단면의 퇴적 및 침식량을 산정하고 이를 대표단면의 길이로 나누어 산정하였다.

그림에서 식생대선의 외해 방향으로 이동량이 가장 큰 지점은 PL-4로서 33.17 m이며, 다음으로 PL-5, 8, 6의 순이었으며, 반대로 후퇴한 경우도 PL-9와 PL-12에서 각각 7.15 m, 8.61 m의 값을 나타내었다. 이를 해변단면의 지반 표고와 비교해 보면 식생대선이 외해 방향으로 이동하는 경향이 강한 단면의 경우 전체적으로 소상대 배후의 표고가 높아졌으며, 소상대의 해변경사는 PL-6을 제외하고는 관측 전·후의 값이 일정하였으며, 일정한 경사를 가진 해변이 외해

Table 1. Results of survey data, duration time of survey, volume change and average velocity of sand for the specific survey lines(Transect PL-1~PL-12) in the study area

Location	TM Coordinate (Initial condition)			Observation day [day]	Total	
	X	Y	Z		Volume change [cu. m/m]	Average velocity [cu. m/m/day]
PL-1	174393.560	187352.038	1.504	713	21.958	0.031
PL-2	174278.950	187605.672	1.758	713	22.102	0.031
PL-3	174184.348	187855.586	2.130	714	100.142	0.140
PL-4	174061.536	188085.665	1.440	714	20.275	0.028
PL-5	174023.253	188161.993	1.199	714	33.045	0.046
PL-6	173957.494	188289.411	1.464	708	-9.183	-0.013
PL-7	173905.712	188540.414	1.179	694	34.413	0.050
PL-8	173912.912	188746.933	1.208	718	94.152	0.131
PL-9	173904.531	189022.670	0.983	718	97.403	0.136
PL-10	173957.832	189172.939	1.341	718	75.428	0.105
PL-11	174003.527	189275.167	1.146	718	61.507	0.086
PL-12	174069.664	189453.413	0.761	718	23.971	0.033

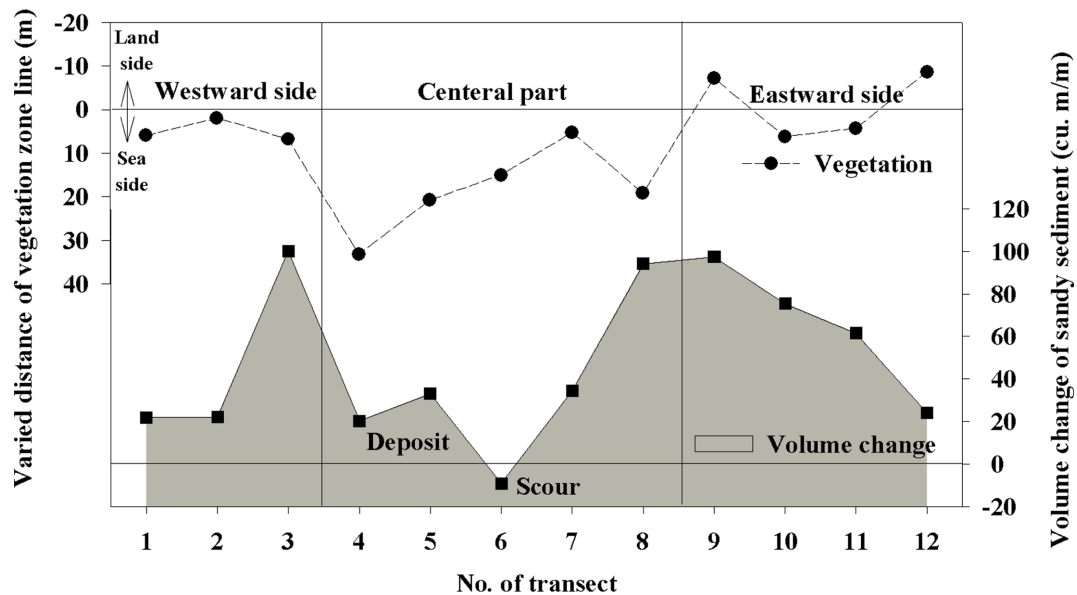


Fig. 11. Changes in the vegetation belt distance and sandy sediment volume over the period from February 2008 to January 2010 for survey transect lines PL-7 to PL-12.

방향으로 전진하는 양상을 보여주고 있다. 따라서 단면형상의 큰 변화없이 일정한 양의 퇴적물이 지속적으로 소상대에 퇴적되고 소상대 배후로 이동하였을 것으로 사료된다.

결과적으로 진우도 해변단면의 퇴적량과 식생대의 이동거리를 비교하면 모래 퇴적량과 식생대 이동거리는 상호관계가 그리 크지 않은 것으로 볼 수 있다. 그러나 약 800일 동안 식생대의 이동거리가 최대 33.17 m이고 PL-9와 PL-12를 제외한 나머지 단면에서 식생대가 외해방향으로 발달하였음을 볼 때, 진우도의 해변 발달과 무관하지 않을 것으로 판단된다. 즉, 해변단면에 파랑의 내습에 의해서 소상대에 연안사구가 발생하고 퇴적되는 지반고가 표고 1.5 m 이상이 되는 상황에서 대체적으로 식생대선이 외해방향으로 발달하는 경향이 강하게 나타난다. 이는 파랑에 의해 영향을 받지 않는 지반고를 가진 상태에서 식생대선이 이루어지는 것을 의미하며 진우도 전면해역의 경우 대조평균평만조위(EL+1.1 m)에서부터 약 EL+1.5 m의 지반고가 그 경계인 것으로 생각된다.

2.6 해안표착물 침적 메커니즘

진우도 해변에서는 Fig. 12와 같이 식생기반의 바르한(Barchan)이 자주 발견된다. 이는 시간경과에 따른 소규모 지형변화를 사진관찰한 결과이다. 즉, 고파랑에 의해 해변에 도달/침적된 해안표착물(특히 목재 종류)은 배후면에 안전공간을 제공하고 비사포집을 통한 독립사구로서 발달시키는 기작으로 작용할 것이다. 또한 식생의 성장에 영양분을 제공하는 역할도 할 수 있을 것이다.

상술한 해양파랑, 식생대선을 조사한 결과로부터 시간경과에 따른 해안표착물 침적으로부터 해변 지형 및 식생대선의 발달 과정을 개념화하면 Fig. 13과 같이 평면상의 해안표착물 침적 메커니즘을 도시화할 수 있다. 즉, 소상대에서 해양파랑의 초오름 크기에 의해



Fig. 12. Photographs of morphological changes in a barchan on Jinu-do beach taken over 10 months.

해빈상에 표착물(쓰레기)의 거동은 결정될 것으로 생각할 수 있다. 따라서 파의 초오름이 큰 경우 배후 식생대선에 표착물이 도달하고 그렇지 못한 경우에는 해빈상에 독립적인 섬의 형태로 침적시킬 가능성이 있다. 따라서 이렇게 침적된 표착물은 바르한의 형태로 배후 식생대선의 전진과 후퇴를 결정짓게 만드는 요인이라 할 수 있다.

또한 Fig. 13의 AA'단면에서 일어나는 시간경과가 Fig. 14의 과정이라 할 수 있다. 이는 해양파랑의 해안 초오름(Wave runup) 현상에 의한 해안표착물의 침적에 따른 메커니즘을 간략히 모식화한 것으로 해수중에 부유하던 해양쓰레기(Marine debris)가 파랑의 처

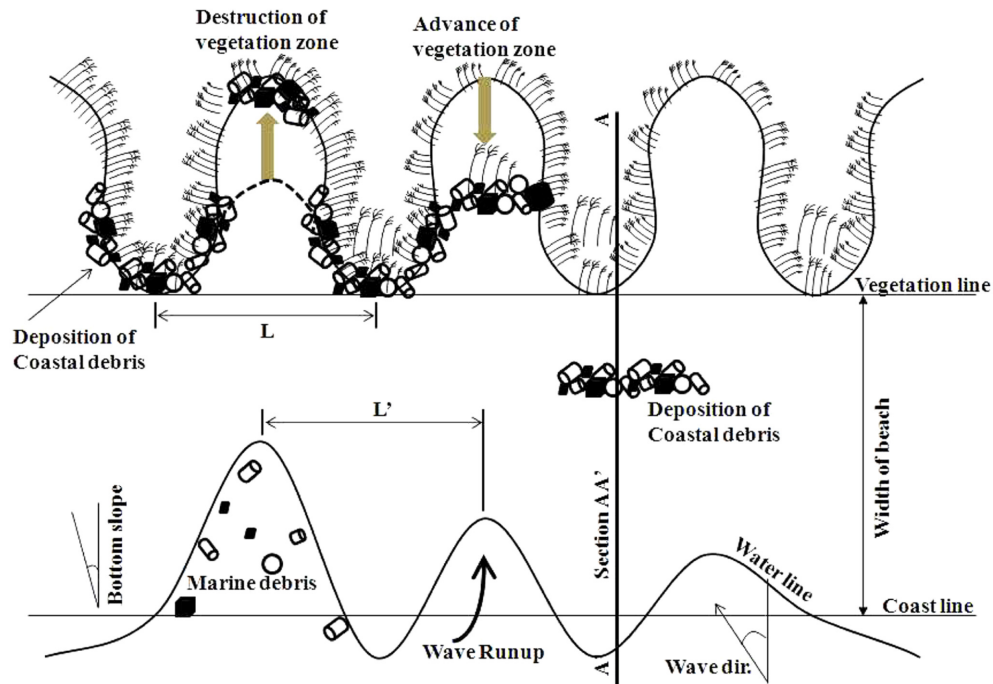


Fig. 13. Mechanism of interaction between coastal debris and coastal vegetation due to wave action (Je, 2012).

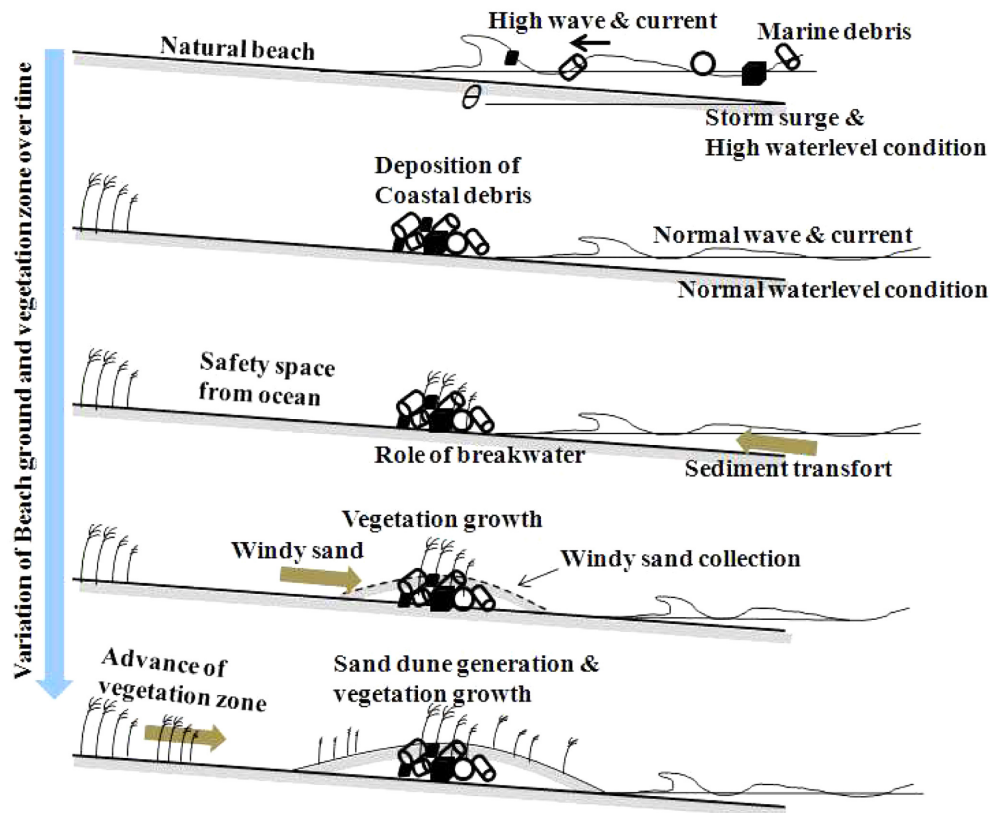


Fig. 14. Interactions among high waves/current, coastal debris, windy sand and vegetation over time.

오름에 의해 해변상에 침적/퇴적되며 이것이 주변 비사를 포집하여 독립적인 섬(바르한)의 형태로 발달하게 될 가능성이 있다. 이는 배

후 안전공간을 제공하고 배후 식생대 전선의 전진과 후퇴를 결정짓게 하는 요인이라 할 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 진우도 자연해빈에 내습하는 해양파랑과 해빈상에서의 해안표착물 거동과 퇴적현상 및 배후 식생대선의 변화과정에 대한 상관성을 고찰하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 진우도를 대상으로 해빈단면 측량, 수치모의를 통한 입사파랑 분포 특성 실험, 임의 시험구를 대상으로 한 해안표착물 분포 및 종류 조사, 광파측거의와 DGPS를 사용하여 약 3년간의 자연해빈 식생대선의 변화 조사 등을 수행하였다. 본 연구를 통해 획득되어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 해빈단면 측량에 따르면 자연해빈의 지반고는 상승하고 있으며 이에 따라서 해안사구 식생대선도 전진하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

(2) 진우도 서측은 대체적으로 파고가 낮고 중앙부로 갈수록 커지는 경향을 나타내며 특히하게도 중앙부 1,100~1,600 m 영역에서 파랑의 천수효과에 의해서 파랑이 급격히 낮아짐을 알 수 있다. 결과적으로 내습 파랑이 천해역의 파랑변형에 의해 공간상으로 상이하고 자연 해빈 소상대에서의 치오름 현상도 공간상으로 복잡한 변화를 야기할 것으로 생각할 수 있다.

(3) 진우도 해빈에서의 일일 단위면적당 발생하는 해안표착물(쓰레기)은 약 $400.0 \text{ kg/km}^2/\text{day}$ 의 퇴적속도를 가지며, 이중 가장 많은 양을 차지하는 것이 목재로서 85.86%이었다.

(4) 진우도 전면해빈 식생대선의 변화는 대체적으로 시간이 지날수록 외해방향으로 전선이 이동하였으나 반대로 진우도 동쪽 지역에서는 식생대선의 변화가 없거나 북측으로 후퇴하는 경향을 나타내었다. 외해 방향으로 최대로 전진하는 지점은 진우도 서측으로부터 약 1,100 m 부근으로 약 45 m 전진하였으며 1,250~1,750 m 부근에서는 전진과 후퇴를 반복하는 양상을 나타내었다.

(5) 해빈단면에 파랑 내습에 의해서 소상대에 연안사구가 발생하고 퇴적되는 지반고가 표고 1.5 m 이상이 되는 상황에서 대체적으로 식생대선이 외해방향으로 발달하는 경향이 강하게 나타난다. 이는 파랑에 의해 영향을 받지 않는 지반고를 가진 상태에서 식생대선이 이루어지는 것을 의미하며 진우도 전면해역의 경우 대조평균만조위(EL+1.1 m)에서부터 약 EL+1.5 m의 지반고가 그 경계인 것으로 생각된다.

(6) 해양파랑, 식생대선을 조사한 결과로부터 시간경과에 따른 해안표착물 침적으로부터 해빈 지형 및 식생대선의 발달 과정을 도시화하였다. 이는 파의 치오름이 큰 경우 배후 식생대선에 표착물이 도달하고 그렇지 못한 경우에는 해빈상에 독립적인 섬의 형태로 표착물을 침적/퇴적시킬 가능성이 있다. 따라서 이렇게 침적된 표착물은 배후 식생대선의 전진과 후퇴를 결정짓게 하는 요인이라 할 수 있다.

(7) 본 연구는 기존 지속적인 현장모니터링 결과를 바탕으로 해안표착물과 식생대선의 상호작용에 대한 개념적 모식도를 제시하였다. 특히 자연 해빈에 침적되는 해안표착물이 목재인 경우 이를 수거하고 처리하기 위해 비용을 지불하기보다 자연 상태로 두어 해빈의 건

강성(지반 안정 또는 식생대선 발달)을 유지하도록 '방치'하는 차원의 선순환적 인식의 전환이 요구된다고 할 수 있다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(C-D-2013-0614)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Dean, R.G., 1977, "Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts", Ocean Engineering Rep. No.12, Dept. of Civil Eng., Univ. of Delaware, Newark, DE.
- [2] Hwang, C.S., Kong, S.K., Ko, I.N., Shim, M.B. and Kim, Y.C., 2007, "The study on the coast change around the jinudo nakdongpo estuary", Proceeding of the Korean Society of Marine Engineering, Autumn, 97-98.
- [3] Je, Y.J., Yoo, C.I. and Yoon, H.S., 2011, "Studies on its mechanism of marine debris and vegetation zone in the coastal area", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Fall Symposium, p.102.
- [4] Je, Y.J., 2012, "A Study on the correlation between marine debris and coastal vegetation zone", Pukyong National Univ., Master's thesis.
- [5] Kim, S.H., 2005, "The morphological changes of deltaic barrier islands in the Nakdong river estuary after the construction of river barrage", Journal of Korean Geographical Society, Vol.30, No.4, 416-427.
- [6] KHOA, 2014, <http://www.khoa.go.kr/>.
- [7] Koo, B.S., Kang, H. and Hur, S.H., 2000, "Study on the marine debris on the seabed in chinhae bay, korea", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.3, No.4, 91-98.
- [8] Lee, Y.B., Park, S., Ryu, C.R., Kim, H.T. and Yoon, H.S., 2007, "Characteristics of marine debris collected from the coastline of sandbar in the nakdong river estuary", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.10, No.3, 148-154.
- [9] Nott, J. and Hubbert, G., 2005, "Comparisons between topographically surveyed debris lines and modelled inundation levels from severe tropical cyclones Vance and Chris, and their geomorphic impact on the sand coast", Australian Meteorological Magazine, 54, 187-196.
- [10] Park, S. and Yoon, H.S., 2007, "Distribution of marine debris collected from the sandbar coastline of nakdong river estuary after the typhoons' passage", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol.13, No.4, 1-7.
- [11] Park, S., Yoon, H.S., Park, H.B., Ryu, S.W. and Ryu, C.R., 2009, "Analysis of wave distribution at nakdong river estuary depending on the incident wave directions based on SWAN model simulation", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.12, No.3, 188-196.

- [12] Ryu, S.H., Lee, I.C. and Park, S.Y., 2009, "Variation in vegetation area caused by topographical change at jinudo in the nakdong estuary", *Journal of the Korean Society and Ocean Engineers*, Vol.23, No.4, 19-24.
- [13] Song, M.S., Lee, J.M., Lee, M.J. and Yu, J.S., 2001, "An experimental study on drifting and sinkage of marine debris", *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol.4, No.1, 47-62.
- [14] Yonhapnews, 2014, "The local self-organizations 'conflict' to the processing cost of marine debris of nakdong river estuary", <http://www.yonhapnews.co.kr> (2014.04.08).
- [15] Yoo, C.I., 2006, "A study on the generation and development of the shoal in nakdong river estuary, busan", Pukyong National Univ., Master's thesis.
- [16] Yoon, H.S., Yoo, C.I., Kang, Y.K. and Ryu, C.R., 2007, "Delta development in nakdong river estuary: a literature survey", *Journal of the Korean Society and Ocean Engineers*, Vol.21, No.2, 22-34.
- [17] Yoon, H.S., Je, Y.J. and Yoo, C.I., 2010, "Wind sand mobility observation on jinu island beach during spring season by using in-suit sand collector", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Fall Symposium, 275-278.

Received 19 June 2014

1st Revised 28 July 2014, 2nd Revised 11 August 2014

Accepted 11 August 2014