

동해안 해안선과 해변의 계절적 변화

김대식* · 이광률**

Seasonal Changes of Shorelines and Beaches on East Sea Coast, South Korea

Dae Sik Kim* · Gwang-Ryul Lee**

요약 : 본 연구는 동해안의 8개 해변을 대상으로 2012년 3월부터 2014년 2월까지 2년 동안 지형 측량을 실시하여, 해안선과 해변의 계절적 변화 특성과 경향을 파악하였다. 동해안의 해안선은 계절적 변화량이 연간 변화량보다 크게 나타났고, 강원도와 경상북도 해안의 계절적 변화 양상에는 지역적인 차이가 다소 존재하였다. 동해안 8개 해변의 계절적 변화를 종합하면, 여름철에는 해안선의 후퇴와 해변의 침식이, 가을철에는 해안선의 전진과 해변의 퇴적이 뚜렷하게 나타났다. 이러한 결과는 세계의 여러 중위도 해안의 계절적 변화 경향과는 다르지만, 우리나라 서해안 및 동해안의 선행 연구와는 대체로 일치한다. 여름철에 우세하게 발생하는 침식 현상은 태풍에 의한 폭풍파가 가장 큰 요인이며, 폭풍파에 의한 해안 침식은 늦겨울에도 잘 나타난다. 그리고 가을철에 우세한 해변의 퇴적 현상은 여름철의 강한 침식 이후에 발생하는 해안 평형 작용의 결과로 판단된다.

주요어 : 해안선 변화, 해변 단면, 단기적 변화, 해안 침식, 동해안

Abstract : This study analyzed characteristics and tendencies of seasonal change on shoreline and beach with 8 beaches at East Sea coast by topographical survey for 2 years from March 2012 to February 2013. The shorelines of East Sea coast appeared that amount of seasonal change was bigger than amount of annual change. The seasonal change tendencies between Gangwon-do and Gyeongsangbuk-do coast areas existed some regional differences. To synthesize seasonal changes on 8 beaches of East Sea coast, shoreline advance and beach deposit showed clearly in summer and shoreline retreat and beach erosion showed clearly in autumn. This result is different from tendencies of seasonal change in many mid-latitude coast areas of the world, but generally corresponds with reference studies in west coast and east coast. The major factor of beach erosion showing mostly in summer is storm wave caused by typhoon. The beach erosion by storm wave also occurred in late winter. And it assumes that the beach deposit showing mostly in autumn is result of equilibrium processes of coast area against strong erosion in summer.

Key Words : shoreline change, beach profile, short-term change, coastal erosion, East Sea coast

이 논문은 2012년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012S1A5A2A01014799)

* 경북대학교 대학원 사회교육학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Social Studies Education, Graduate School of Kyungpook National University), geokds@gmail.com

** 경북대학교 사범대학 지리교육과 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University), georiver@knu.ac.kr

1. 서론

1) 연구 배경 및 목적

해안(coast)은 육지와 바다가 대기와 만나면서 서로 영향을 미치는 좁고 긴 지대를 가리킨다. 특히, 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서 바다와 육지가 만나는 자연환경 조건을 가진 해안 지역에 대한 연구는 지리학적으로 매우 중요하다. 해안에서도 모래, 자갈 등의 퇴적물이 쌓여 있는 곳을 해변(beach)이라고 하며, 세계 전체 해안선의 약 40%를 차지한다(Bird, 2008). 해변은 생태적, 사회적, 경제적인 측면에서 인간 생활과 밀접한 관련이 있으며, 우리나라에서는 상당 부분이 해수욕장으로 이용되고 있는 매우 낮은 공간이다.

해빈은 순간의 파랑, 하루 동안의 폭풍, 계절에 따른 파랑과 바람의 변화부터 수십~수백년 동안의 기후 및 해수면 변화 등 다양한 시간 범위에 걸쳐 퇴적물의 공급과 운반 사이의 상호작용을 통해 발달한다(Davidson-Arnott, 2010). 특히, 해변에서 폭풍 발생이나 계절 변동에 따른 단기적 변화는 수십 년간의 장기적 변화와 거의 유사하거나 오히려 더 크게 나타나므로(Guillen *et al.*, 1999), 자연적인 해변의 형성과 변화에 있어 계절의 영향은 매우 중요한 요인이라고 볼 수 있다. 해변에서는 일반적으로 낮은 파랑 에너지가 작용하는 여름철에 보통 범(fair weather berm)이 형성되면서 범의 규모가 확장하여 넓은 해변이 형성되고, 파랑 에너지가 큰 겨울철에는 범 전면의 퇴적물이 침식되어 외해 쪽으로 운반되면서 수중에 근해 바(nearshore bar)가 발달하여 상대적으로 고도가 높은 폭풍 범(storm berm)과 좁은 해변이 형성되는 것으로 알려져 있다(Masselink and Pattiaratchi, 2001; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Bierman and Montgomery, 2014).

이러한 여름철 해변 확장과 겨울철 해변 축소의 일반적인 경향은 미국 대서양의 Delaware 해안(Dubois, 1988)과 태평양의 캘리포니아 남부 해안(Yates *et al.*, 2009), 유럽 북해의 네덜란드 해안(Quartel, 2008),

모로코 북부의 대서양 해안(Taouati *et al.*, 2011) 등 세계 여러 해안에 대한 연구에서 이미 확인되었다. 그리고 이러한 계절적 변화의 원인으로는 여름보다 겨울에 폭풍의 빈도가 잦고 규모가 커져서 고에너지의 파랑이 형성되기 때문으로 해석하고 있다(Bird, 2008). 즉, 해변의 계절적 변화 원인으로 폭풍파(storm wave)의 영향이 강조되어 왔는데, 국외의 여러 연구(Larson and Kraus, 1994; Robertson V *et al.*, 2007; Frihy *et al.*, 2008; Roberts *et al.*, 2013)에서 태풍이나 폭풍이 발생하는 동안에 해안선은 육지 쪽으로 급격히 후퇴하고, 태풍이나 폭풍이 지나간 이후에 해안선은 바다 쪽으로 천천히 전진한다고 설명되고 있다.

한편, 자연적이고 단기적인 해안 변화의 주요 원인을 계절이나 폭풍에 두지 않고 다른 요인에서 찾고자 한 연구도 상당수 있다. 대표적으로, 바가 형성되고 폭풍파가 유입하는 근해의 상태(Guillen *et al.*, 1999; Turki *et al.*, 2013), 해풍의 방향과 해안선의 형태(Masselink and Pattiaratchi, 2001), 하천의 영향(Pranzini *et al.*, 2013) 등이 해안 변화의 주요 요인이라고 보고한 연구들도 있다. 또한 대규모 해변 내에 연속으로 위치한 각 구역에서 침식과 퇴적 양상은 번갈아 나타난다는 연구(Norcross *et al.*, 2002)도 있다.

우리나라에서도 해변이나 해안선의 변화에 대한 연구는 그동안 상당수 이루어졌다. 그러나 대부분의 연구는 수년 또는 수십 년간의 중·장기적인 해안선 변화 경향에 대해 분석했거나(김기홍 등, 2005; 김용석·홍순현, 2007; 이형석·김인호, 2007; 이재원 등, 2009; 최철용 등, 2009b; 엄진아 등, 2010; 장동호 등, 2010; 김대식·이광률, 2013; 김대식, 2013; 김백운 등, 2013), 해안의 개발, 정비사업, 인공 구조물 설치로 인한 해안선 변화를 주제로 삼아(이창경 등, 2007; 김성득 등, 2008; 김인호·이성대, 2008; 최철용 등, 2009a; 강윤구 등, 2010; 김명규·윤종성, 2010; 김인호·송동섭, 2012; 장동호 등, 2012) 왔으며, 해안의 계절적 변화를 분석한 연구는 추용식 등(1996), 성효현·방경화(2005), 우한별·장동호(2010), 김장수·장동호(2011), 윤정수·김태정(2011), 방현주·이광률(2012), 채승철·이광률(2014)

등의 연구가 있다. 그러나 해안선의 계절 변화와 대한 이들 연구는 충청남도 태안군과 경상북도 중부 해안에 집중되어 있어, 선행 연구를 통해 우리나라 해안의 계절적 변화 특성을 일반화하고 외국의 여러 해안과 비교하기에는 아직 연구 자료가 빈약한 편이다.

한편, 우리나라에서 해안선 변화에 대한 연구는 대부분 동해안의 사빈을 대상으로 진행되었다. 동해안은 서·남해안에 비해 파랑과 연안류(longshore current)의 작용으로 모래와 자갈로 이루어진 해빈의 발달이 탁월하며, 조차가 작아 해안선의 평균적인 상태가 보다 명확하게 구분되므로, 자연적인 해안선 변화를 조사하고 분석하기에 유리한 조건을 가지고 있다. 게다가 최근에는 해안 지역의 개발로 인해 비정상적이고 국지적인 해안 침식 및 퇴적 현상도 심각하게 나타나고 있다.

본 연구에서는 우리나라에서 해안선과 해빈의 변화를 연구하기 유리한 동해안을 대상으로, 해안선과 해빈의 단계적 변화에 있어 가장 중요한 원인인 폭풍 파의 영향을 중심으로, 우리나라 동해안 해안선과 해빈의 계절적 변화 특성과 경향을 연구하고자 한다. 우리나라 동해안의 대표적인 8개 해빈을 대상으로 약 2년간 계절마다 지형 측량을 통해 해안선의 위치 및 해

빈 단면의 변화를 분석하여, 계절과 파고에 따른 해안선과 해빈의 변화 특성을 파악하고 동해안의 계절적 해안 변화 경향을 일반화하였다.

2) 연구 지역 및 방법

계절에 따른 해안선과 해빈의 변화를 조사하기 위해, 우리나라 동해안 내에서 지리적 위치와 해안 조건을 고려하여 야외 조사에 적합한 해빈을 탐색한 결과, 강원도 강릉시 순긋, 동해시 망상, 삼척시 원평, 경상북도 울진군 망양정, 영덕군 고래불, 포항시 조사, 포항시 대진, 경주시 봉길의 총 8개 해빈을 연구 대상 지역으로 선정하였다(표 1). 이들은 각 지역을 대표하는 대체로 규모가 큰 해빈으로, 야외 조사가 용이하며 해안선과 해빈 퇴적물의 공간 분포에 있어 인위성이 크지 않고 해빈 사이의 거리 간격이 대체로 일정하여, 동해안 해빈의 계절적 변화에 대한 시·공간적 경향을 일반화하기에 유리한 해빈들이다(그림 1).

야외 조사는 2012년 3월부터 2014년 2월까지 2년 동안 총 16회를 진행하였다. 사계절의 경계와 중앙에 해당하는, 1월 15일, 3월 1일, 4월 15일, 6월 1일, 7월 15일, 9월 1일, 10월 15일, 12월 1일 무렵에 매년마다

표 1. 연구 대상 지역의 해안 조건과 조사 내용

해빈명	위치(행정 구역)	해안 향	연안 해류 (출처: 국립해양조사원)	조사 구역 (m)	조사 내용
순긋	강원도 강릉시 안현동	NE	11~4월: 정체 5~10월: 남류	1,000	해안선 위치, 해빈 단면
망상	강원도 동해시 망상동	NE	10~5월: 정체(북류) 6~9월: 남류	1,100	해안선 위치
원평	강원도 삼척시 근덕면 매원리, 초곡리	NE	10~6월: 북류 7~9월: 정체	1,100	해안선 위치, 해빈 단면
망양정	경북 울진군 근남면 수산리, 삼포리	ENE	연중: 북류	1,300	해안선 위치
고래불	경북 영덕군 병곡면 병곡리~덕천리, 영해면 대진리	ENE~E	연중: 북류	4,600	해안선 위치, 해빈 단면
조사	경북 포항시 송라면 방석리, 조사리	ENE	연중: 북류	870	해안선 위치
대진	경북 포항시 장기면 모포리, 대진리	E~ESE	연중: 북류	1,100	해안선 위치, 해빈 단면
봉길	경북 경주시 양북면 봉길리	ENE	연중: 북류	760	해안선 위치

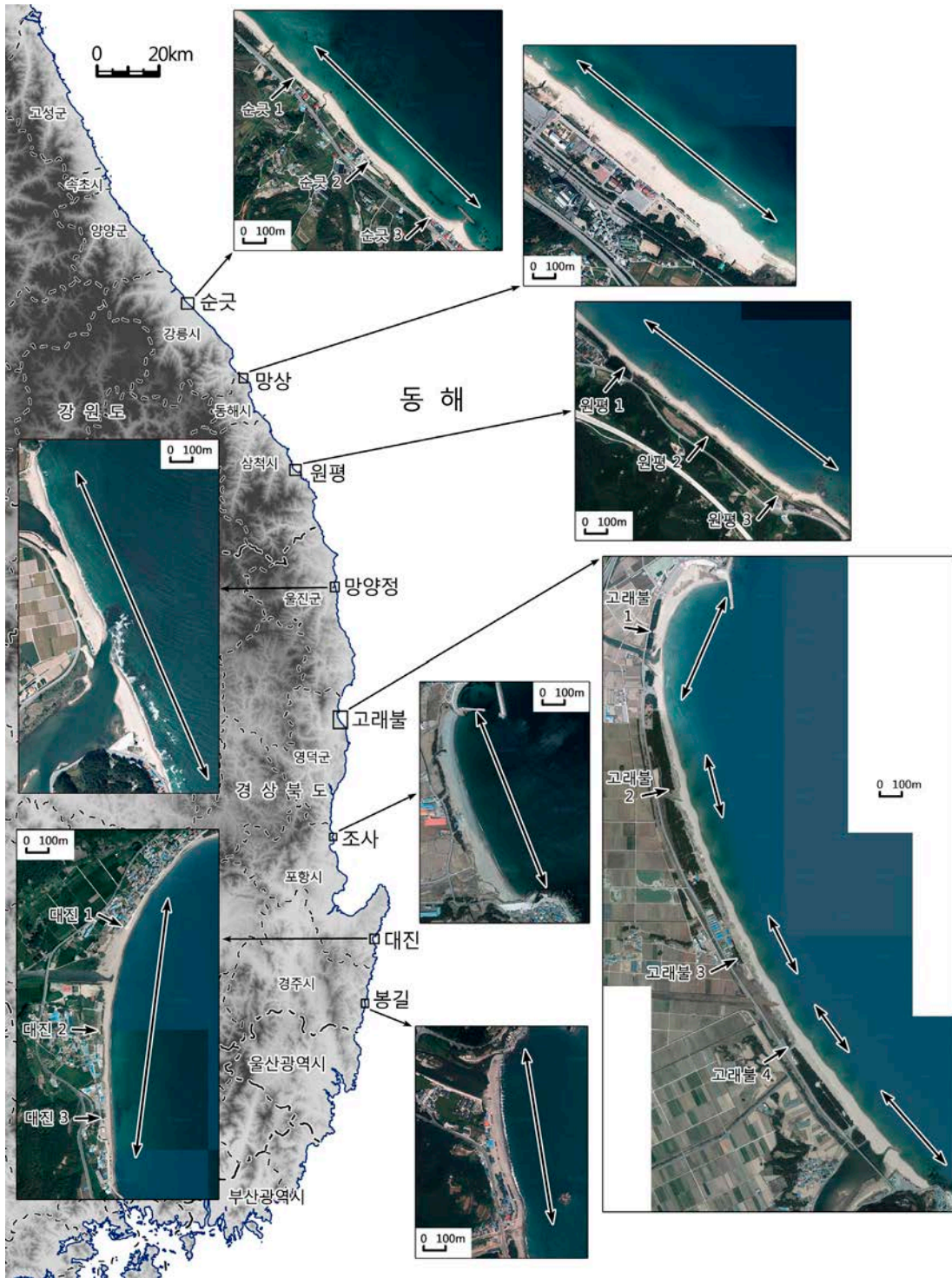


그림 1. 연구 지역

주: 지역 내에 표시된 양끝 화살표는 해안선 변화 조사 구역이며, 한끝 화살표는 해변 단면 조사 지점임(영상 출처: 다음 지도)

지형 측량을 실시하였다.

야외 조사에서는 해안선의 위치를 파악하기 위해서 휴대용 GPS 측량을, 해빈의 단면을 분석하기 위해서 수준 측량을 실시하였다. 해안선 위치 측량은 최대 오차 3m의 휴대용 GPS인 Magellan Triton 400을 착용하고, 위치 확인과 측정 작업이 용이한 비치페이스의 상부를 따라 이동하면서 해안선의 위경도 좌표를 취득하였다. 그리고 ArcGIS 프로그램을 통해 이들 점 자료를 선 자료로 변경한 후, USGS(United States Geological Survey)에서 제작된 해안선 분석 프로그램인 DSAS 4.3(Digital Shoreline Analysis System 4.3)을 이용해서 각 해빈 해안선의 계절별 진퇴 거리를 측정하여 계절별 변화량과 변화 특성을 분석하였다.

수준 측량은 순긋, 원평, 고래불, 대진 해빈 내에 정해진 3개(고래불 해빈은 4개) 단면에서 측량을 통해 해발고도를 확인한 육지의 고정된 기준점으로부터 동일 방향의 측선을 따라 해안선을 향해 2m 간격으로 이동하면서 Sokkia C4-1II를 이용하여 실시하였다. 수준 측량 결과를 도태로, 각 계절별 해빈의 단면을 그래프로 표현하고, 계절에 따른 해빈의 체적 변화를 계산하여, 계절별 해빈의 단면 변화와 침식 및 퇴적 양상을 종합적으로 분석하였다.

그리고 강원도 동해시에 위치한 대진 등대와 울산광역시에 위치한 간절곶 등대에서 관측된 해안의 파고 자료를 토대로, 해당 기간 동안의 파고 변화와 해안선 및 해안 변화 사이의 관계를 분석하였다. 또한 규모가 컸던 폭풍파에 대해서는 해당 시기의 날씨 정보와 일기도, 동해 연안의 부이 자료를 통해 기상 및 해양의 상태와 해빈 지형 변화와의 관련성에 대해 검토하였다.

2. 동해안의 해안선 변화

1) 강원도 지역의 해안선 변화

8개 해빈을 대상으로 2012년 3월부터 2014년 2월까지 2년 동안 GPS를 이용하여 해안선의 위치를 측량한 결과, 강원도 순긋 해빈의 해안선은 2년 동안 3.34m 후퇴하였다(그림 2, 표 2). 봄철(3~5월)의 해안선은 유지 또는 약한 전진으로 나타나며, 여름철(6~8월)의 해안선은 2012년 -8.02m, 2013년 -4.74m로서, 강한 후퇴 경향을 보이고 있다. 가을철

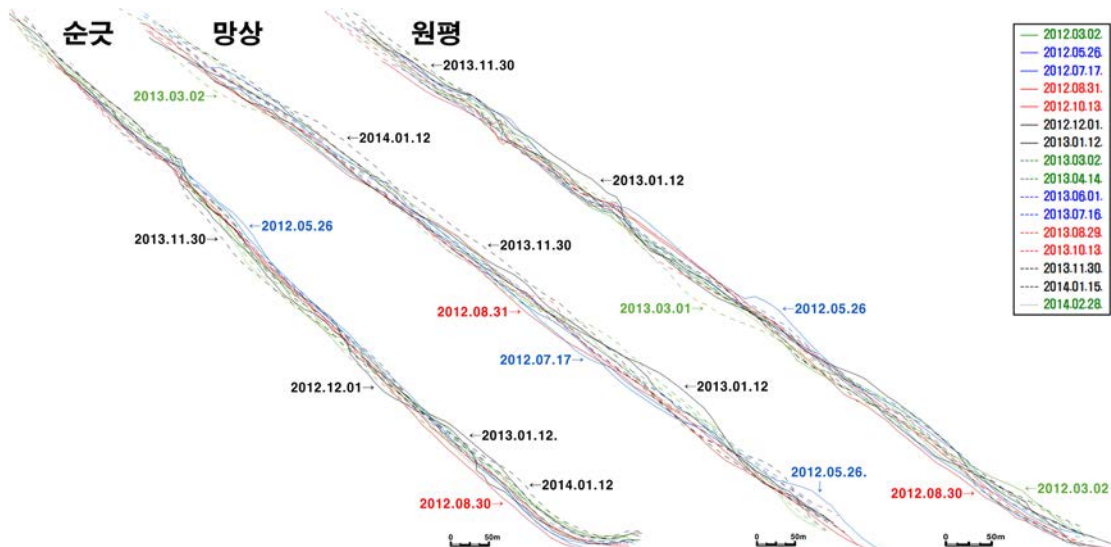


그림 2. 강원도 해빈의 시기별 해안선 변화

표 2. 강원도 해변의 시기별 해안선 진퇴 거리(m)

기간	12.03. 02 ~ 12.05. 26	12.05. 26 ~ 12.07. 17	12.07. 17 ~ 12.08. 31	12.08. 31 ~ 12.10. 13	12.10. 13 ~ 12.12. 01	12.12. 01 ~ 13.01. 12	13.01. 12 ~ 13.03. 02	13.03. 02 ~ 13.04. 14	13.04. 14 ~ 13.06. 01	13.06. 01 ~ 13.07. 16	13.07. 16 ~ 13.08. 29	13.08. 29 ~ 13.10. 13	13.10. 13 ~ 13.11. 30	13.11. 30 ~ 14.01. 15	14.01. 15 ~ 14.02. 28	계
순긋	0.70	-1.97	-6.05	4.96	-3.61	9.70	-7.91	5.17	0.33	-2.17	-2.57	1.75	-1.74	7.98	-7.91	-3.34
망상		-6.04	-1.64	4.84	3.07	7.25	-8.12	1.45	2.52	-2.15	-3.49	1.59	9.75	-6.27	0.87	3.63
원평	6.10	-10.34	-1.26	6.24	-0.59	4.92	-10.63	8.37	-1.01	-2.72	0.40	-3.38	4.87	-0.70	-3.88	-3.61
평균	3.40	-6.12	-2.98	5.35	-0.38	7.29	-8.89	5.00	0.61	-2.35	-1.89	-0.01	4.29	0.34	-3.64	0.03

(9~11월)과 겨울철(12~2월)의 해안선은 전진과 후퇴가 매년 반복적으로 나타나는데, 주로 계절 초에 전진하고 계절 말에 후퇴하는 경향을 보인다. 특히, 겨울철에는 약 ±7m 이상의 큰 변화량을 보이며 해안선이 전진 또는 후퇴하고 있다.

망상 해변의 해안선은 순긋 해변과는 반대로 2년 동안 3.63m 전진하였다. 계절별로 보면, 봄철에는 약 4m, 가을철에는 7~12m 범위에서 해안선이 전진하는 경향을 보였다. 그러나 여름철의 해안선은 5~8m 범위에서 후퇴하였고, 겨울철에는 유지 또는 후퇴하는 경향으로 해안선의 변화가 나타나고 있다.

원평 해변의 해안선은 순긋 해변과 유사하게 2년간 3.61m 후퇴한 것으로 측정되었다. 계절별로 보면, 봄철의 해안선은 6~8m 범위에서 전진하였고, 가을철의 해안선은 유지 또는 전진하는 경향으로 나타났다. 이와 반대로, 여름철의 해안선은 다른 해변과 마찬가지로, 2012년 -11.60m, 2013년 -2.32m로서 뚜렷한 후퇴를 보이며, 겨울철에도 4~6m 범위에서 해안선의 후퇴가 나타났다.

강원도 3개 해변을 종합하면, 각 지역 및 시기별로 이동 거리에는 어느 정도 차이가 있지만, 전체적으로 봄철과 가을철에는 해안선이 유지 또는 전진하는 경향으로, 겨울철에는 유지 또는 후퇴하는 경향으로 나타난다. 그러나 여름철에는 해안선이 후퇴하는 경향이 뚜렷하게 나타난다.

2) 경상북도 지역의 해안선 변화

경상북도의 망양정 해변은 2년간 해안선이 5.11m

전진하였다(그림 3, 표 3). 계절별로 보면, 봄철의 해안선은 전진하는 경향이 강하지만, 여름철에는 3~10m의 범위에서 뚜렷한 후퇴가 나타난다. 가을철의 해안선은 전진과 후퇴가 모두 나타나지만 결과적으로 전진하는 경향을 보이며, 겨울철에는 상대적으로 큰 범위에서 해안선의 전진과 후퇴가 반복적으로 나타나고 있다.

고래불 해변의 해안선은 2년간 25.02m 전진한 것으로 측정되어, 연구 대상 8개 해변 중 가장 큰 변화량을 나타냈다. 고래불 해변에서 봄철과 가을철의 해안선은 대체로 전진하는 경향이 강하며, 겨울철에는 약 20~30m의 큰 폭의 전진과 후퇴가 반복적으로 나타나고 있다. 여름철의 해안선은 2012년에 -21.43m로 강한 후퇴를 보였으나, 2013년에는 4.30m로 다소 전진하는 경향을 보인다.

조사 해변의 해안선은 2년간 11.63m 전진하였다. 봄철의 해안선은 대체로 전진하는 경향이 나타나며, 여름철에는 작은 폭에서 해안선이 유지 또는 후퇴하는 경향으로 나타났다. 가을철과 겨울철의 해안선은 작은 폭의 전진과 후퇴가 반복해서 나타나고 있다.

대진 해변의 해안선은 2년간 2.36m 전진으로, GPS의 최대 측정 오차 내에 해당하여 총 변화량은 유의한 결과를 보이지 않았다. 봄철과 가을철의 해안선은 작은 폭의 전진과 후퇴를 반복하며 대체로 전진하는 경향을 보이지만, 이와 반대로 여름철과 겨울철에는 작은 폭의 전진과 후퇴를 반복하며 대체로 후퇴하는 경향을 나타내고 있다.

봉길 해변은 해안선이 2년간 1.29m 후퇴하여, 대진 해변과 마찬가지로 유의한 변화가 나타나지 않았

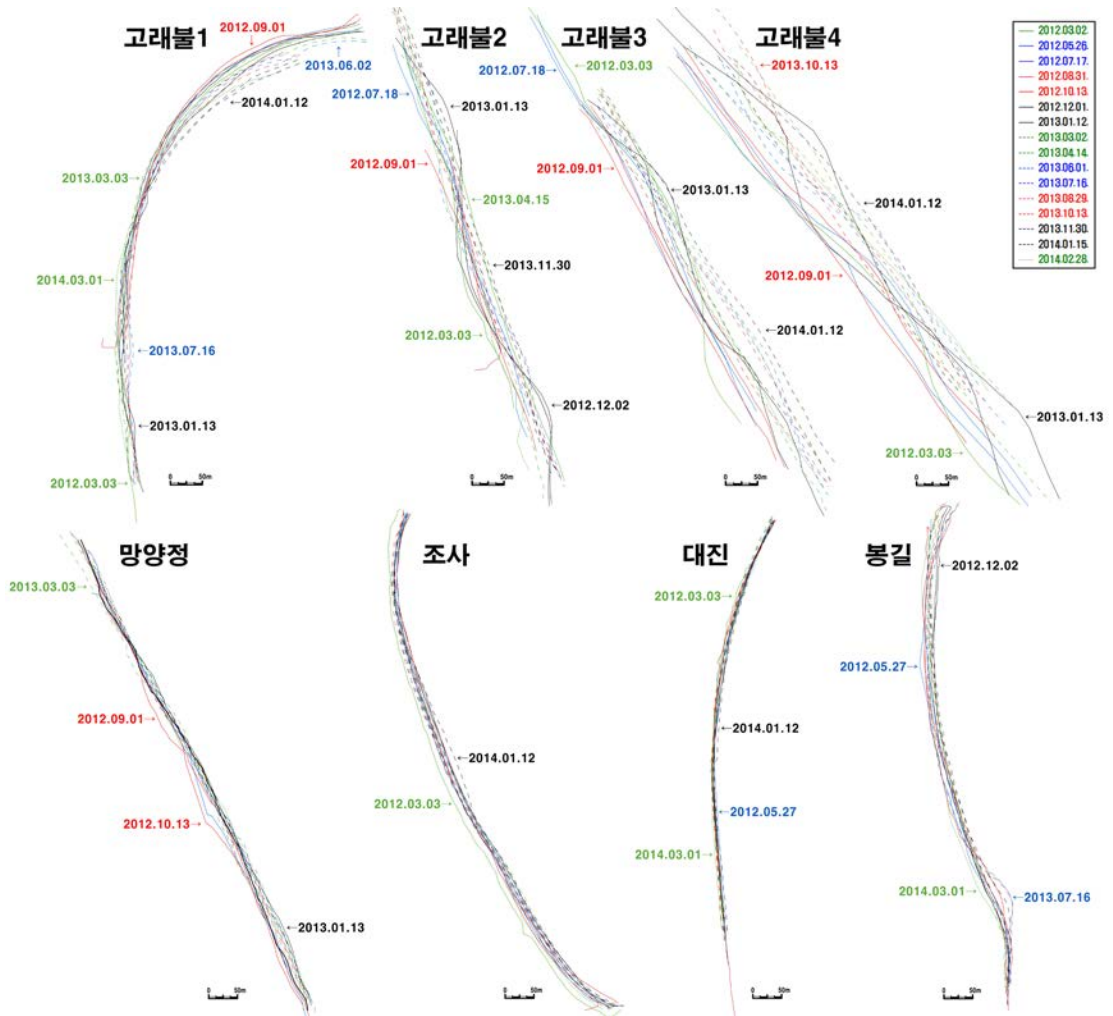


그림 3. 경상북도 해빈의 시기별 해안선 변화

표 3. 경상북도 해빈의 시기별 해안선 진퇴 거리(m)

지역	기간	12.03.02 ~ 12.05.26	12.05.26 ~ 12.07.17	12.07.17 ~ 12.08.31	12.08.31 ~ 12.10.13	12.10.13 ~ 12.12.01	12.12.01 ~ 13.01.12	13.01.12 ~ 13.03.02	13.03.02 ~ 13.04.14	13.04.14 ~ 13.06.01	13.06.01 ~ 13.07.16	13.07.16 ~ 13.08.29	13.08.29 ~ 13.10.13	13.10.13 ~ 13.11.30	13.11.30 ~ 14.01.15	계	
	망양정			-7.87	-2.19	-0.22	9.43	8.88	-14.50	12.54	-0.35	-2.81	-0.73	-0.76	1.10	3.48	-0.89
고래불	3.59	-13.74	-7.69	19.34	3.51	25.96	-22.48	33.81	-13.77	2.49	1.81	-8.53	13.13	20.43	-32.84	25.02	
조사	15.58	-4.75	2.17	1.11	-2.91	6.62	-4.93	3.00	-4.80	2.62	-1.73	-2.27	6.19	1.55	-5.82	11.63	
대진	7.21	-1.40	-2.98	-1.14	4.24	1.00	-4.79	2.07	-2.17	1.62	-2.33	1.54	2.09	6.36	-8.96	2.36	
봉길		5.94	-2.93	3.37	-0.90	3.03	-1.59	2.39	-3.38	4.08	-0.50	-2.08	6.03	-1.52	-13.23	-1.29	
평균	8.79	-4.36	-2.73	4.49	2.68	9.10	-9.66	10.76	-4.89	1.60	-0.70	-2.42	5.71	6.06	-12.35	12.09	

다. 계절별로 보면, 봄철의 해안선은 거의 변화 없이 전진과 후퇴를 반복하고 있으며, 여름철과 가을철에는 소규모의 전진과 후퇴를 반복하면서 전체적으로 다소 전진하는 경향을 보인다. 겨울철의 해안선도 전진과 후퇴를 반복하지만, 2013년에는 -14.75m로서 크게 후퇴하였다.

이상의 경상북도 5개 해빈을 종합해보면, 강원도 지역처럼 각 지역 및 시기별로 전진과 후퇴 거리에 차이를 보이지만, 대체로 봄철과 가을철은 전진하는 경향이 우세하고, 겨울철에는 전진과 후퇴가 모두 나타나며, 여름철에는 후퇴하는 경향이 우세하다.

3) 동해안의 해안선 변화

2년간 동해안의 해안선 변화 경향을 종합해 보면, 먼저 강원도와 경상북도 해빈 모두 계절에 따른 해안선 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 대체로 봄철과 가을철에는 해안선이 유지 또는 전진하는 경향을 보이지만, 겨울철에는 유지 또는 후퇴하는 경향을 보이며, 여름철의 해안선은 후퇴하는 경향으로 나타나고 있다. 특히, 2012년 봄, 여름, 초가을, 겨울, 2013년 초봄, 늦가을, 늦겨울은 강원도와 경상북도 해빈의 해안선 진퇴 양상이 거의 일치한다. 특정 계절을 거치는 동안 반복적으로 발생하는 해안선의 이러한 전진과 후퇴 경향은 연 변화량이 계절 변화량보다 더 작은 규모로 나타나는 결과를 초래한다. 방파제 건설과 해수욕장 개발로 인해 급격한 해안선 변화를 보이는 고래불 해빈과 대규모 군사 작전으로 인해 2012년 봄에 해안선 변화가 심하게 나타났던 조사 해빈을 제외한, 6개 해빈에서는 2년간 해안선 변화량이 6m 이하의 범위인데 반해, 계절 내 변화량은 대체로 2~7m, 최대 약 15m까지 나타나고 있다. 따라서 계절 내의 변화량이 연간 변화량과 유사하거나 더 크게 나타나고 있어서, 동해안의 해안선 변화에 있어 계절의 변화가 매우 중요한 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다.

한편, 2013년 늦봄, 초여름, 초가을, 초겨울에는 강원도와 경상북도 해빈의 해안선 진퇴 양상이 다소 차이를 보인다. 특히 2013년 초여름에 강원도 해빈은 후퇴하였지만, 경상북도 해빈은 대체로 전진하여 정

반대의 경향이 나타나기도 한다. 이는 결국, 해안선의 진퇴에 영향을 미치는 가장 큰 요인인 파랑, 연안류, 바람과 같은 연안의 해황이 계절별로 어느 정도의 지역성을 가지며, 이에 따라 강원도와 경상북도 해빈의 지형 변화 요인과 결과가 모두 일치하지 않고 계절에 따라 어느 정도 공간적인 차이가 존재함을 의미한다.

3. 동해안의 해빈 단면 변화

1) 강원도 지역의 해빈 단면 변화

강원도의 순긋과 원평 해빈을 대상으로, 2012년 3월부터 2014년 2월까지 2년 동안 수준 측량을 실시하여 해빈 단면의 시계열 변화를 분석한 결과와 같다(그림 4, 표 4). 강원도 순긋 해빈의 단면 변화를 계절별로 살펴보면, 초봄에는 퇴적, 늦봄에는 침식이 우세한 경향을 보이며, 여름에는 2년 모두 침식이 강하게 발생하였다. 가을에는 2년 모두 퇴적이 우세하였고, 겨울에는 대체로 침식이 우세하게 나타났다. 구역별로 보면, 순긋 해빈의 북쪽에 위치한 1구역의 해빈 단면에서는 2년간 3.28m²의 퇴적이 발생하였고, 중앙에 위치한 2구역은 2년간 9.68m²의 퇴적이 발생하였으며, 남쪽에 위치한 3구역은 2년간 3.90m²의 침식이 발생하였다. 따라서 순긋 해빈 단면의 평균 변화율은 3.02m²/년으로서, 해안선 변화 분석 결과와는 달리, 해빈 단면에서는 퇴적이 다소 우세한 것으로 측정되었다. 조사 대상인 순긋 해빈의 길이가 1,000m임을 고려하면, 순긋 해빈 전체의 연간 총 퇴적량은 3,020m³으로 계산된다.

원평 해빈에서는 계절별로 보면, 2012년 봄에는 침식이, 2013년 봄에는 퇴적이 우세하였으며, 여름에는 2년 모두 침식이 발생하였고, 가을에는 전체적으로 퇴적이, 겨울에는 침식이 우세하게 나타났다. 원평 해빈에서 2년간 1구역에서는 -7.66m³, 2구역은 -25.96m³, 3구역은 -39.20m³의 변화량이 계산되어, 해안선 변화 결과와 마찬가지로 모든 구역에서 침식

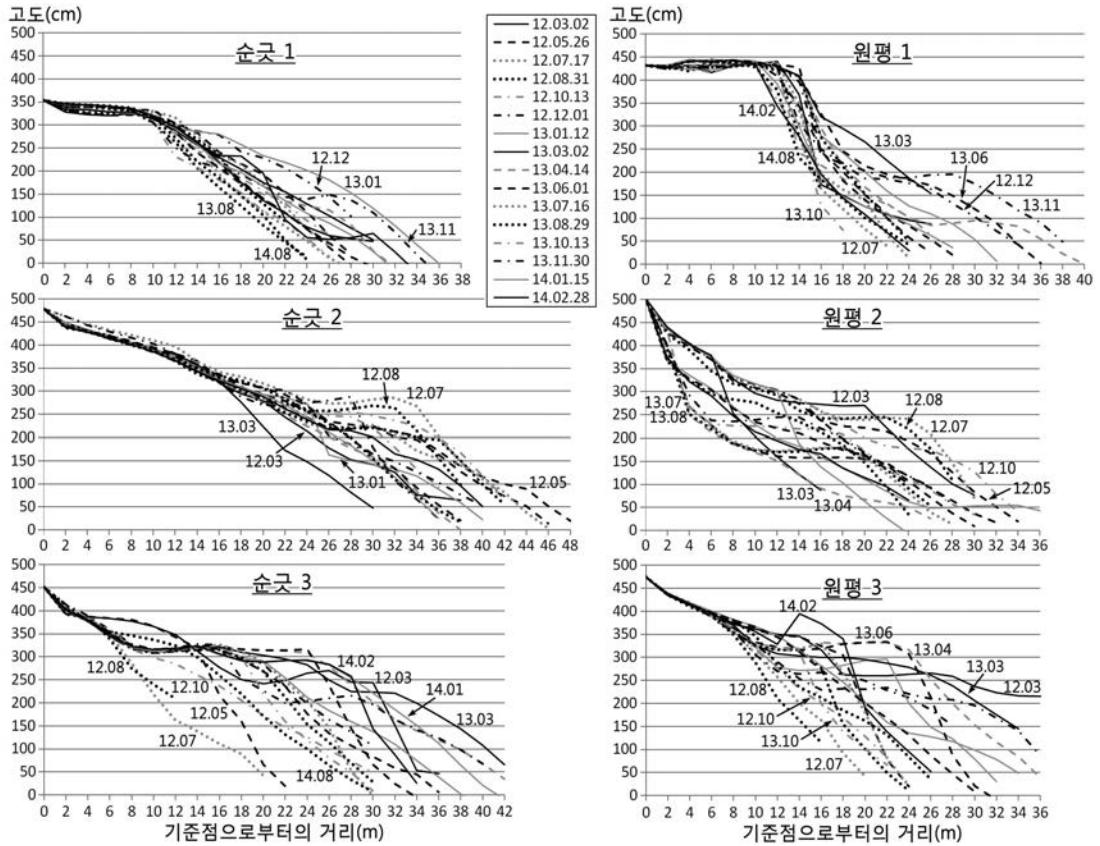


그림 4. 강원도 순곶, 원평 해빈의 단면 변화

표 4. 강원도 순곶, 원평 해빈의 단면적 변화량(㎡)

지역	기간	12.03.02	12.05.26	12.07.17	12.08.31	12.10.13	12.12.01	13.01.12	13.03.02	13.04.14	13.06.01	13.07.16	13.08.29	13.10.13	13.11.30	14.01.15	14.02.28	계
	지역	12.05.26	12.07.17	12.08.31	12.10.13	12.12.01	13.01.12	13.03.02	13.04.14	13.06.01	13.07.16	13.08.29	13.10.13	13.11.30	14.01.15	14.02.28		
순곶1	2.92	-1.96	-5.72	3.70	12.12	7.20	-13.50	-2.10	-3.52	-4.72	-4.92	3.00	15.08	-4.56	0.26	3.28		
순곶2	21.60	4.40	-9.98	-8.50	0.92	-4.60	-19.26	15.50	16.78	-0.80	-0.12	4.52	-16.34	-3.48	9.04	9.68		
순곶3	-36.50	-17.20	-6.70	30.90	15.92	5.92	20.64	-4.08	-17.24	-9.10	-3.10	-4.00	23.58	6.78	-9.72	-3.90		
평균	-3.99	-4.92	-7.47	8.70	9.65	2.84	-4.04	3.11	-1.33	-4.87	-2.71	1.17	7.44	-0.42	-0.14	3.02		
원평1	3.54	-10.70	-6.46	13.14	16.26	-4.54	3.58	-0.50	6.40	-25.20	5.96	-15.62	38.36	-26.12	-5.76	-7.66		
원평2	0.78	2.62	-4.42	4.18	-15.92	-11.88	-12.96	3.52	12.56	-2.72	0.08	8.38	0.94	-4.58	-6.54	-25.96		
원평3	-45.32	-18.54	-5.88	12.90	19.84	4.18	16.56	-0.08	-10.14	-21.50	-6.06	-1.62	31.06	-9.12	-5.48	-39.20		
평균	-13.67	-8.87	-5.59	10.07	6.73	-4.08	2.39	0.98	2.94	-16.47	-0.01	-2.95	23.45	-13.27	-5.93	-24.27		

이 매우 크게 발생하는 것으로 나타났다. 3개 단면의 평균 변화율은 $-24.27\text{m}^3/\text{년}$ 이며, 총 길이 1,100m인 원형 해빈 전체의 연간 총 침식량은 $26,700\text{m}^3$ 로 계산된다.

강원도에 위치한 순긱 해빈과 원평 해빈의 단면 변화를 종합하면, 봄철에는 침식과 퇴적이 모두 나타나지만 전체적으로는 침식이 다소 우세하고, 여름철에는 두 지역 모두 2년 동안 침식이 강하게 나타났다. 반면, 가을철에는 퇴적이 우세하게 나타나며, 겨울철

은 침식과 퇴적이 모두 발생하지만, 전체적으로는 침식이 우세하였다.

2) 경상북도 지역의 해빈 단면 변화

경상북도의 고래불과 대진 해빈에서도 2012년 3월부터 2014년 2월까지 해빈 단면의 계절적 변화가 뚜렷하게 나타났다(그림 5, 표 5). 고래불 해빈에서는 봄에는 대체로 퇴적이 우세하게 나타났고, 여름에

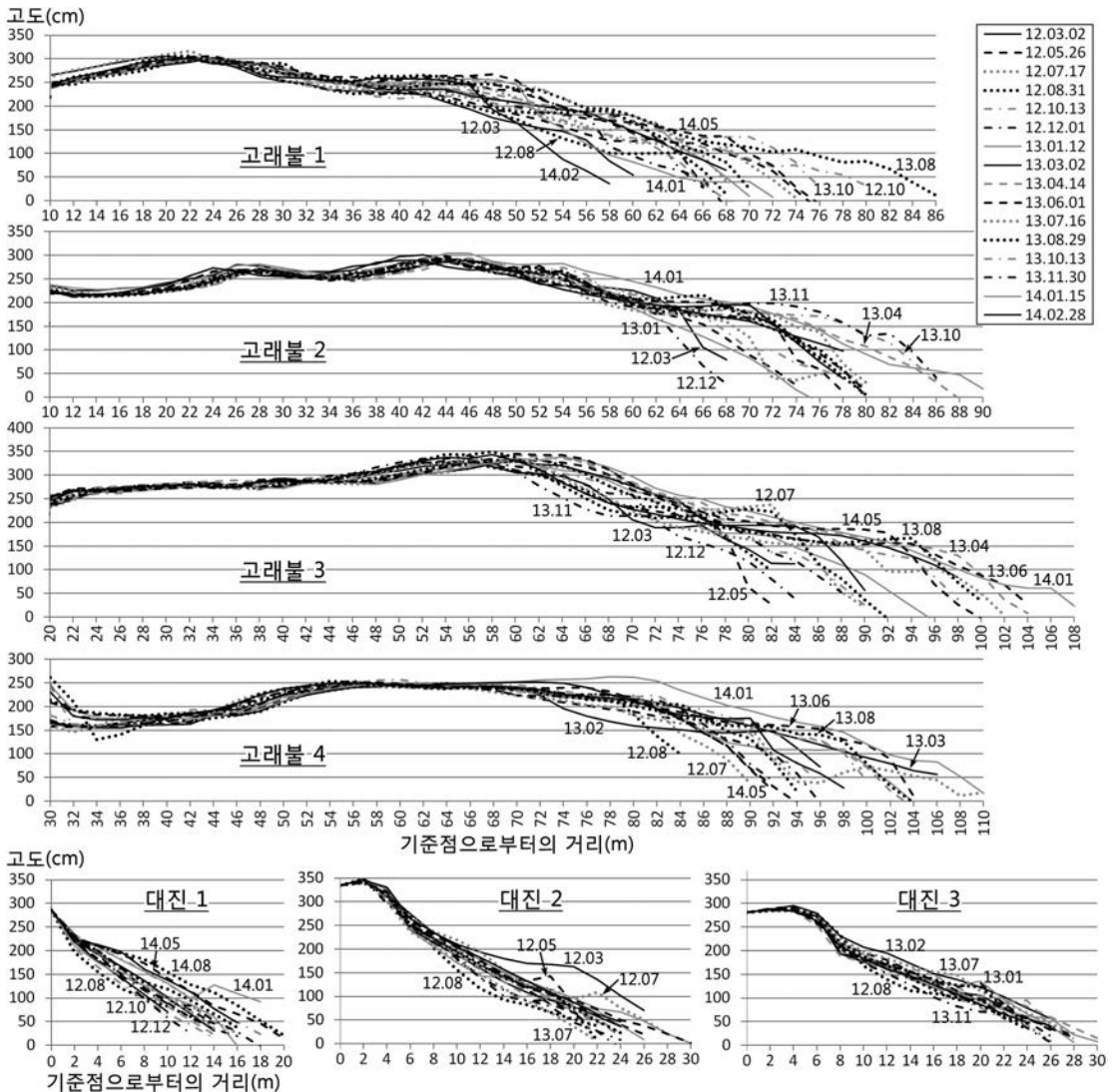


그림 5. 경상북도 고래불, 대진 해빈의 단면 변화

표 5. 경상북도 고래불, 대진 해빈의 단면적 변화량(㎡)

지역	기간	12.03.02 ~ 12.05.26	12.05.26 ~ 12.07.17	12.07.17 ~ 12.08.31	12.08.31 ~ 12.10.13	12.10.13 ~ 12.12.01	12.12.01 ~ 13.01.12	13.01.12 ~ 13.03.02	13.03.02 ~ 13.04.14	13.04.14 ~ 13.06.01	13.06.01 ~ 13.07.16	13.07.16 ~ 13.08.29	13.08.29 ~ 13.10.13	13.10.13 ~ 13.11.30	13.11.30 ~ 14.01.15	14.01.15 ~ 14.02.28	계
	지역	12.05.26	12.07.17	12.08.31	12.10.13	12.12.01	13.01.12	13.03.02	13.04.14	13.06.01	13.07.16	13.08.29	13.10.13	13.11.30	14.01.15	14.02.28	
고래불1	9.14	5.44	-7.94	18.98	-12.72	4.18	-1.18	-2.66	8.88	-3.80	18.50	-9.80	-15.60	-2.04	-14.10	-4.72	
고래불2	3.66	14.74	-4.46	-3.56	-14.26	5.74	14.44	9.52	-13.06	-5.56	6.94	13.78	1.88	1.72	-17.30	14.22	
고래불3	-3.28	18.30	-15.02	10.70	-13.60	17.30	13.48	7.94	-4.32	-11.18	6.56	0.12	-20.92	33.66	-26.58	13.16	
고래불4	-5.80	-0.54	-7.22	17.88	-6.00	9.84	8.36	-4.28	4.14	-9.80	5.72	0.16	-11.50	29.06	-22.90	7.12	
평균	0.93	9.49	-8.66	11.00	-11.65	9.27	8.78	2.63	-1.09	-7.59	9.43	1.07	-11.54	15.60	-20.22	7.45	
대진1	3.14	1.56	-2.88	-1.18	-0.56	3.96	-0.42	-1.30	1.32	-0.26	2.52	2.14	-4.12	7.60	-3.22	8.30	
대진2	-7.72	2.94	-9.86	3.80	-2.70	4.02	-0.84	-0.48	-0.14	-3.36	3.04	0.74	-2.96	7.54	-2.14	-8.12	
대진3	-3.00	2.62	-6.84	5.32	-1.36	1.36	-2.06	2.96	-3.20	-0.32	1.08	-3.92	-0.08	4.16	-2.20	-5.48	
평균	-2.53	2.37	-6.53	2.65	-1.54	3.11	-1.11	0.39	-0.67	-1.31	2.21	-0.35	-2.39	6.43	-2.52	-1.77	

는 해에 따라 변화가 커서, 2012년에는 초여름에 강한 퇴적, 늦여름에 강한 침식이 발생하였으나, 2013년에는 반대로 초여름에 강한 침식, 늦여름에 강한 퇴적이 발생하였다. 그리고 초가을에는 퇴적이, 늦가을에는 침식이 우세하게 나타났고, 겨울에는 2013년 늦겨울을 제외하면 퇴적이 주로 발생하였다. 구역별로 보면, 가장 북쪽에 위치한 1구역의 해빈 단면에서는 2년간 -4.72㎡로서 침식이 다소 우세했다. 그러나 2구역과 3구역에서는 2년간 단면 변화량이 각각 14.22㎡, 13.16㎡으로 퇴적이 크게 나타났고, 4구역도 7.12㎡로서 퇴적이 우세하게 나타났다. 고래불 해빈 4개 구역의 평균 해빈 단면 변화율은 7.45㎡/년으로 해안선 변화와 마찬가지로 퇴적이 우세하며, 총 길이 4,600m인 고래불 해빈의 연간 총 퇴적량은 34,247㎡로 계산된다.

대진 해빈은 다른 3개 해빈에 비해 상대적으로 계절에 따른 단면 변화가 미약한 편이다. 사계절 모두 약한 침식과 퇴적이 반복되고 있으나, 대체로 봄, 여름, 가을에는 침식이 약간 더 우세한 것으로 나타나고, 겨울에는 퇴적이 다소 우세하게 나타난다. 2년 동안 대진 해빈 1구역의 단면에서는 8.30㎡의 퇴적이, 반대로 2구역에서는 8.12㎡의 침식이, 3구역에서는 5.48㎡의 침식이 발생하였다. 대진 해빈 3개 구역의 평균 단면 변화율은 -1.77㎡/년으로 침식이 약간 우

세한 것으로 계산되었다. 총 길이 1,100m인 대진 해빈의 연간 총 침식량은 1,947㎡로 나타났다.

경상북도의 고래불과 대진 해빈의 단면 변화를 종합하면, 두 지역에서 매 해마다 서로 다른 변화가 교대로 나타나서 계절에 따른 침식과 퇴적의 경향성을 판단하기 어렵다. 그렇지만, 45일 주기로 보면, 초가을에는 대체로 퇴적이 우세하였으며, 늦가을에는 침식이 강하게 발생하였고, 이어지는 초겨울에는 퇴적이 강하게 발생한 것으로 나타나고 있다.

3) 동해안의 해빈 단면 변화

2년 동안 동해안 4개 해빈의 단면 변화를 종합해보면, 강원도 해빈에서는 계절별 단면 변화가 어느 정도 확인되지만, 경상북도 해빈은 계절별 경향성을 파악하기 어려워서 시공간적 차이가 크게 나타난다. 강원도 지역의 해빈 단면에서는 봄철에는 유지 또는 약한 침식, 여름철에는 침식, 가을철에는 퇴적, 겨울철에는 유지 또는 침식의 경향이 나타났다. 그러나 경상북도 지역의 해빈 단면에서는 해마다 서로 다른 변화가 교대로 나타나서 계절에 따른 침식과 퇴적의 경향성을 판단하기 어렵다.

45일 주기로 판단할 때, 동해안 4개 해빈 단면에서 침식과 퇴적의 경향이 2년간 완전하게 일치되는 시

기는 나타나지 않는다. 단지 각 해에 4개 해빈에서 공통적인 변화가 나타나는 시기로, 2012년 늦여름, 2013년 초여름, 늦겨울에는 모두 침식이 우세하였고, 2012년 초가을, 2013년 초봄에는 모두 퇴적이 우세하였다.

강원도의 순긋 및 원평 해빈에서 3개 구역의 변화 경향이 모두 일치하는 경우는 순긋 해빈이 3회, 원평 해빈이 6회로서 그리 많지 않다. 즉, 강원도의 순긋과 원평 해빈은 해빈 내의 각 구역별로 침식과 퇴적이 서로 다른 양상으로 나타나는 경향이 있으며, 이는 해빈의 변화를 주도하는 요인이 해빈에 광역적으로 영향을 미치는 파랑 및 바람과 같은 조건보다는 전안의 해저 지형과 수심, 해빈의 방향과 경사와 같은 해안의 미세한 환경 조건 차이가 변화 패턴의 지역성을 유발하는 것으로 볼 수 있다.

이에 비해, 경상북도의 고래불과 대진 해빈에서 각 구역의 변화 양상이 완전히 일치하는 경우는 4개 구역으로 이루어진 고래불 해빈이 6회, 3개 구역인 대진 해빈이 10회로서, 경상북도 해빈은 강원도에 비해 시기별 해빈 내 각 구역의 변화 양상이 거의 유사한 경향이 있다. 따라서 경상북도 해안은 강원도 해안과 같이 국지적이고 미세한 환경 조건의 차이에 의한 영향보다는, 파랑, 연안류, 바람 등 계절별로 다르게 나타나는 보다 광역적인 요인에 의해 주로 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

4. 동해안 해안선과 해빈의 계절적 변화

1) 해안선과 해빈의 연 변화

2012년 3월 2일부터 2014년 2월 28일까지 2년간 동해안의 평균적인 해안선 및 해빈 단면 변화를 살펴보면 다음과 같다(표 6). 동해안 8개 해빈의 평균 해안선 변화량은 7.43m로서, 동해안의 해안선은 연 평균 3.72m 전진하는 것으로 계산되었다. 반면, 같은 시기 4개 해빈의 평균 단면적 변화량은 -3.89㎡로서, 동해안의 해빈 단면에서는 연 평균 1.95㎡가 침식되는 것으로 계산되었다. 이는 동해안의 해안선은 대체로 전진하는 추세를 보이지만, 해빈은 침식에 의해 규모가 약간 축소되었음을 의미한다. 또한 해빈의 규모 축소에도 불구하고 해안선이 전진하였다는 것은 동해안 해빈의 고도와 경사가 전체적으로 낮아졌을 가능성을 의미하기도 한다.

그러나 이러한 평균적인 변화 경향은 강원도와 경상북도 해빈에서 서로 다르게 나타난다. 강원도 해빈은 2년간 평균 해안선 변화량이 0.03m로서 거의 변화가 없지만, 평균 해빈 단면 변화량은 -10.63㎡로 상당한 침식을 경험했던 것으로 계산되었다. 이는 2년 평균 해안선 변화량 -3.61m, 평균 해빈 단면 변화량 24.27㎡로서, 8개 해빈 중 해안선 후퇴와 해빈 침식이 가장 크게 나타난 원평 해빈에 의한 영향으로 판단된다.

표 6. 동해안의 해안선과 해빈 단면의 평균 변화

유형, 지역	기간	12.03.02	12.05.26	12.07.17	12.08.31	12.10.13	12.12.01	13.01.12	13.03.02	13.04.14	13.06.01	13.07.16	13.08.29	13.10.13	13.11.30	13.11.30	14.01.15	14.02.28	계
		~12.05.26	~12.07.17	~12.08.31	~12.10.13	~12.12.01	~13.01.12	~13.03.02	~13.04.14	~13.06.01	~13.07.16	~13.08.29	~13.10.13	~13.11.30	~14.01.15	~14.02.28			
해안선 (m)	강원	3.40	-6.12	-2.98	5.35	-0.38	7.29	-8.89	5.00	0.61	-2.35	-1.89	-0.01	4.29	0.34	-3.64	0.03		
	경북	8.79	-4.36	-2.73	4.49	2.68	9.10	-9.66	10.76	-4.89	1.60	-0.70	-2.42	5.71	6.06	-12.35	12.09		
	평균	6.64	-5.02	-2.82	4.81	1.53	8.42	-9.37	8.60	-2.83	0.12	-1.14	-1.52	5.18	3.91	-9.08	7.43		
해빈 단면 (㎡)	강원	-8.83	-6.90	-6.53	9.39	8.19	-0.62	-0.82	2.04	0.81	-10.67	-1.36	-0.89	15.45	-6.85	-3.03	-10.63		
	경북	-0.80	5.93	-7.59	6.82	-6.59	6.19	3.83	1.51	-0.88	-4.45	5.82	0.36	-6.96	11.02	-11.37	2.84		
	평균	-4.81	-0.48	-7.06	8.11	0.80	2.78	1.51	1.78	-0.04	-7.56	2.23	-0.27	4.24	2.09	-7.20	-3.89		

다. 한편, 경상북도 해빈은 2년간 평균 12.09m의 해안선 전진, 평균 2.84m²의 해빈 퇴적이 발생한 것으로 계산되어, 강원도 해빈과는 다르게 퇴적이 우세한 것으로 나타났다. 특히 경상북도에서도 고래불 해빈은 2년 평균 해안선 변화량 25.02m, 평균 해빈 단면 변화량 7.45m²로서, 8개 해빈 중 전진과 퇴적이 가장 큰 것으로 계산되었다.

2) 해안선과 해빈의 계절적 변화 경향

우리나라 동해안의 해안선과 해빈 단면은 계절에 따라 전진과 후퇴, 침식과 퇴적을 거듭하면서 변화하고 있다. 8개 해빈의 해안선 변화와 4개 해빈의 단면 변화 분석 결과를 토대로, 강원도와 경상북도에서 시기별 해안선과 해빈 단면의 평균 변화를 산출하였다(그림 6). 그 결과, 우리나라 동해안은 여름철에는 침식이, 가을철에는 퇴적이 뚜렷하게 나타나고, 봄철과 겨울철은 해에 따라 다양한 변화가 나타나는 것으로 분석되었다.

봄철에는 평균 해안선 변화량이 6.21m, 평균 해빈 단면적 변화량이 -1.54m²로서, 평균적으로 해안선이 전진하였지만 해빈은 약하게 침식으로 축소되는 경향이 나타났다. 그러나 봄철의 이러한 평균적인 경

향은 해에 따라 다소 차이가 있어서, 2013년 봄에는 전체적으로 해안선의 전진과 해빈의 퇴적이 발생하였다.

여름철에는 평균 해안선 변화량이 -4.43m로 해안선은 후퇴하였고, 평균 해빈 단면적 변화량은 -6.44m²로 해빈이 침식으로 축소되었다. 여름철의 이러한 해안 침식 경향은 2012년 여름에 강원도와 경상북도 해빈 전체, 2013년 여름에 강원도 해빈에서 모두 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히 2012년 늦여름에는 8개 해빈 모두에서 해안선의 후퇴와 해빈의 침식이 발생하였다.

가을철에는 평균 해안선 변화량이 5.00m, 평균 해빈 단면적 변화량이 6.44m²로서, 여름과 반대로 해안선의 전진과 해빈의 퇴적이 매우 뚜렷하게 나타났다. 가을철 변화량의 시공간적 패턴은 여름철과 마찬가지로, 2012년 강원도와 경상북도, 2013년 강원도 해빈에서 퇴적이 뚜렷하게 발생하였다.

겨울철에는 -3.06m의 평균 해안선 변화, -0.41m²의 평균 단면적 변화가 계산되어, 해안선의 후퇴와 해빈의 침식이 발생하였다. 특히, 해안선의 후퇴 규모에 비해 해빈의 축소 규모가 상대적으로 작아서, 겨울철의 해빈은 다른 계절에 비해 고도가 높은 비치 플랫폼과 급경사의 비치 페이스가 형성되는 것으로 추정되

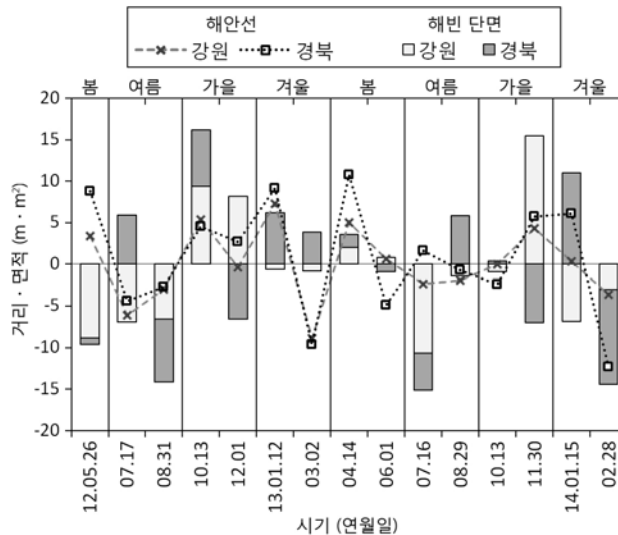


그림 6. 동해안 8개 해빈의 해안선 및 해빈 단면의 평균 변화

어, 겨울 범의 형태를 짐작할 수 있다. 한편, 겨울철의 변화 또한 봄철과 마찬가지로 해에 따라 차이가 크게, 2012-2013년 겨울에는 평균 경향과는 다르게 해안선의 약한 전진과 해빈의 약한 퇴적이 전체적으로 나타났다.

3) 해안선과 해빈의 계절적 변화 요인

강원도 3개 해빈과 경상북도 4개 해빈을 대상으로 동해안 해안선과 해빈의 계절 변화를 분석한 결과, 우리나라 동해안에서는 여름철에 후퇴 및 침식이, 가을철에 전진 및 퇴적이 우세한 것으로 분석되었다. 중위도에 위치한 세계의 많은 해안에서는 대체로 여름철에 해빈이 확장하고 겨울철에는 해빈이 축소되는 경향을 보이지만(Dubois, 1988; Quartel, 2008; Yates *et al.*, 2009; Taaouati *et al.*, 2011), 우리나라 동해안에서는 여름철에 해빈이 뚜렷하게 축소되었다. 본 연구 지역에 해당하는 포항 조사리 해빈에 대한 선행 연구(채승철 · 이광률, 2014)에서도 강력한 태풍이 영향을 미치는 여름철에 해빈의 침식 작용이 뚜렷하다고 제시하였다. 또한 이러한 여름철 침식 우세 경향은 서해안에서도 나타나는데, 태안반도에서도 태풍의 영향으로 다른 기간에 비해 여름철에 해식의 후퇴가 급격하게 진행되었다(우한별 · 장동호, 2010).

서해안과 마찬가지로, 동해안에서도 태풍이나 강

한 저기압에 의한 폭풍파로 인해 여름철에 침식이 집중되는 것으로 보인다. 특히, 총 12개 해안선 및 해빈 단면 조사 지역 중 조사 해빈의 해안선 변화를 제외한 11개 지역에서 침식이 뚜렷하게 나타났던 2012년 늦여름은 태풍에 의한 영향이 매우 컸던 시기이다. 2012년 늦여름에 해당하는 2012년 8월 28일에는 조사 기간 2년 동안 우리나라에 영향을 미친 가장 강한 태풍이었던 볼라벤(Bolaven)에 의해 강원도 동해시 대진 등대와 울산광역시 간절곶 등대에서 모두 파고 4m 이상의 폭풍파가 발생하였다(그림 7).

이러한 폭풍파에 의한 해안의 침식은 여름철뿐만 아니라 겨울철에도 나타났다. 2012-2013년 늦겨울에는 8개 해빈 모두에서 해안선의 후퇴가 발생하였는데, 이 시기에 해당하는 2013년 2월 1일에는 동해 북부 해상으로 이동하는 저기압의 영향으로 남해안에 많은 비가 내렸고(기상청, 2013), 간절곶 등대에서는 파고 4m 이상의 폭풍파가 발생하였다. 또한 2013-2014년 늦겨울에도 망상 해빈의 해안선을 제외한 7개 해빈 해안선과 4개 해빈 단면에서 모두 침식이 발생하였는데, 이 시기인 2014년 2월 6일에서 2월 14일까지는 북고남저형 기압 배치로 인해 동해안에 강한 동풍이 계속 발생하였고(기상청, 2014), 간절곶 등대에서는 2월 7일, 8일, 10일, 14일, 18일에 파고 4m 이상의 폭풍파가 지속적으로 발생하였다.

그러나 강력한 태풍이나 저기압이 거의 영향을 미



그림 7. 동해안의 대진 등대와 간절곶 등대의 파고 변화

자료 출처: 기상청

치지 않아서 2년 동안 가장 파고가 낮았고 풍속이 약했던 기간인, 2013년 초여름에는 4개 해빈 단면에서 모두 침식이 크게 발생하였다. 따라서 태풍에 의한 폭풍파 발생이 동해안의 여름철 침식 우세 현상의 가장 큰 원인이긴 하지만, 여름철 침식 현상이 모두 폭풍파에 의한 것만은 아니라고 할 수 있다. 2013년 초여름과 마찬가지로, 2012년 4, 5, 6월도 강원도 해안에서는 상대적으로 파고가 매우 낮은 상태가 오랫동안 지속되었으나, 순긋과 원평 해빈의 단면에서는 침식이 매우 크게 발생하였다. 1~2개월 이상의 오랜 기간 동안 폭풍파가 발생하지 않고 파랑이 매우 약하게 지속될 때에는 해안의 기상 이벤트에 의한 영향보다는 일반풍에 의한 영향이 상대적으로 크게 나타날 가능성이 높다. 이로 인해, 동해안에서 오랫동안 해황이 매우 조용한 시기에는 바다를 향해 발생하는 편서풍의 영향으로 해빈의 모래가 꾸준히 근해 쪽으로 이동 및 제거되어, 비치플랫과 범의 고도가 다소 낮아지면서 해빈 단면이 축소되는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

한편, 동해안에서 해안선의 전진과 해빈의 퇴적이 우세하게 나타나는 계절은 가을철로서, 서해안에서는 김장수·장동호(2011)에 의해서 가을철 해빈의 퇴적 현상이 제시되었다. 동해안에서 가을철에 해빈의 퇴적은 여름철의 강한 침식 현상 이후에 발생하는 해안의 평형 작용이라고 볼 수 있다. 실제로, 해빈 단면의 증가가 가장 컸던 2012년 초가을은 침식이 매우 컸던 2012년 늦여름에 직후이며, 12개 지역에서 모두 전진과 퇴적이 발생한 2013년 초봄도 침식이 강했던 2012-2013년 늦겨울 직후의 시기이다. 따라서 동해안에서는 침식이 강하게 발생한 시기 이후에 기상 이벤트가 없는 해황이 지속되면, 근해로 제거되었던 퇴적물이 파랑과 연안류의 작용으로 해안으로 재이동 및 퇴적되면서 해안선의 전진과 해빈의 단면 증가를 발생시키며, 특히 이러한 퇴적 현상은 침식이 우세한 여름철 직후인 가을철에 보다 뚜렷하게 나타나는 것으로 해석된다.

5. 결론

최근 우리나라의 동해안 지역에서는 해안의 개발로 인해 비정상적인 해안의 침식이나 퇴적 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 동해안은 해빈의 발달이 탁월하며 조차가 작아서 장·단기적인 해안 지형의 변화를 분석하기 유리하다. 그러나 동해안 전체를 대상으로 하여 해안의 장·단기적인 변화 경향을 일반화한 연구 성과는 아직까지 없다. 본 연구는 동해안의 8개 해빈을 대상으로 2012년 3월부터 2014년 2월까지 2년 동안 지형 측량을 실시하여, 해안선과 해빈 단면의 계절적 변화 특성과 경향을 파악하였다.

동해안 8개 해빈의 해안선 변화를 분석한 결과, 계절 내의 변화량이 연간 변화량과 유사하거나 더 크게 나타나고 있어서, 동해안의 해안선 변화에 있어 단기적인 계절 변화가 매우 중요한 요인이라고 할 수 있다. 해안선 변화 경향은 계절별로, 봄철과 가을철에는 대체로 해안선이 유지 또는 전진하는 경향을 보이지만, 겨울철에는 유지 또는 후퇴하는 경향을 보이며, 여름철의 해안선은 후퇴하는 경향으로 나타났다. 해빈 단면 측량이 실시된 강원도의 순긋과 원평, 경상북도 고래불과 대진 해빈에서는 2012년 늦여름, 2013년 초여름, 늦겨울에 해빈 단면적이 모두 축소되어 침식이 우세했고, 2012년 초가을, 2013년 초봄에는 4개 해빈 모두 단면적이 증가하여 퇴적이 우세했던 시기로 분석되었다.

계절에 따라 강원도와 경상북도 해안의 변화 양상은 서로 다르게 나타나기도 하여, 동해안의 해안선 변화는 계절에 따라 공간적인 차이가 존재하고 있다. 특히, 강원도의 순긋과 원평 해빈은 해빈 내의 각 구역별로 침식과 퇴적이 서로 다른 양상을 띠는데 반해, 경상북도의 고래불과 대진 해빈은 각 구역의 변화 양상이 거의 유사하게 나타났다. 이로보아, 강원도 해안은 상대적으로 국지적인 지형 및 환경 조건이, 경상북도 해안은 계절별로 나타나는 광역적인 요인이 해안 변화에 주로 영향을 미치는 것으로 보인다.

동해안 8개 해빈에서 해안선의 전진 및 후퇴와 해빈 단면의 퇴적 및 침식 경향을 종합하면, 우리나라

동해안의 해빈에서는 후퇴 및 침식은 여름철에, 전진 및 퇴적은 가을철에 우세한 것으로 분석되었다. 이는 세계의 중위도 지역 해안의 계절적 변화 양상과는 다르지만, 국내의 서해안과 동해안에서의 선행 연구와는 대체로 일치하는 결과이다. 한편, 봄철과 겨울철은 해에 따라 다양한 변화가 나타나고 있다. 여름철에 우세하게 발생하는 해안선의 후퇴와 해빈의 침식 현상은 태풍에 의한 폭풍파가 가장 큰 요인이다. 이러한 폭풍파의 영향은 늦겨울에도 해안의 침식을 유발하고 있다. 또한 파고가 낮은 시기가 수개월 이상 지속될 때에도 침식이 우세하였는데, 이는 편서풍이 해빈의 단면 변화에 영향을 미치는 것으로 보인다. 그리고 가을철에 우세한 해안선의 전진과 해빈의 퇴적 현상은 여름철의 강한 침식 이후에 나타나는 해안의 평형 작용의 결과로 추정된다.

해안선과 해빈의 변화를 보다 정확하게 분석하고 일반화하기 위해서는 연구 대상 지역 전체를 대상으로 오랜 기간 동안 관찰과 측정을 실시하여 얻어진, 다양하고 풍부한 자료를 토대로 경향성을 파악하는 것이 가장 바람직하다. 그렇지만 본 연구에서는 8개의 대표 해빈 지역만을 대상으로 2년 동안 45일 주기로 지형 측량을 실시하였기 때문에, 본 연구의 분석 결과는 동해안의 해안 변화 경향을 일반화하는데 어느 정도의 한계도 존재한다. 그러나 본 연구는 지리학 분야에서 최초로 동해안을 대상으로 실측을 통해 해안선과 해빈의 계절적 변화 양상과 경향을 분석하고 일반화하였다는 점에서 의의를 갖는다. 또한 본 연구의 결과는 동해안의 지형 형성과정과 해안 변화를 주제로 한 후속 연구에도 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

강운구 · 박효봉 · 윤한삼, 2010, “속초 영랑해안 해빈침식 대책 인공구조물 건설에 기인하는 해안선 변화,” 한국해양환경공학회지, 13(4), 296-304.
 기상청, 2013, 기상연보 2013.
 기상청, 2014, 기상연보 2014.

김기홍 · 최승필 · 육운수 · 송영선, 2005, “CORONA 위성 영상을 이용한 동해안 해안선 변화탐지,” 한국측량학회지, 23(4), 419-426.
 김대식, 2013, “우리나라 동해안 해안선의 장기적 변화 2-남부 동해안,” 한국지형학회지, 20(3), 27-39.
 김대식 · 이광률, 2013, “우리나라 동해안 해안선의 장기적 변화 1-중부 동해안,” 한국지형학회지, 20(2), 1-13.
 김명규 · 윤종성, 2010, “부산 송도해수욕장의 해안선변화 특성 분석,” 한국해양공학회지, 24(1), 53-59.
 김백운 · 윤공현 · 이창경, 2013, “항공사진을 이용한 방포항 인근 해빈의 장기간 해안선 변화 분석,” Korean Journal of Remote Sensing, 29(5), 477-486.
 김성득 · 강경호 · 박해성, 2008, “회야강 하구방사제 건설에 따른 진해해수욕장 해안선 변화분석 및 예측,” 한국해양공학회지, 22(2), 28-33.
 김용석 · 홍순현, 2007, “항공사진을 이용한 해안선 변화에 대한 시계열 분석,” 한국콘텐츠학회논문지, 7(3), 160-167.
 김인호 · 송동섭, 2012, “거진항 일대의 해안 침식 현황 조사 연구,” 한국측량학회지, 30(1), 67-73.
 김인호 · 이성대, 2008, “도류제 건설 후 남대천 하구의 해안선 생성 및 변화,” 대한토목학회논문집, 28(3), 315-321.
 김장수 · 장동호, 2011, “항공사진과 기준목 측정 자료를 이용한 안면도 바람아래 해빈의 시계열 변화 분석,” 한국지형학회지, 18(2), 39-51.
 방현주 · 이광률, 2012, “영덕 고래불 모래해안의 지형 특성과 변화,” 한국지형학회지, 18(3), 83-92.
 성효현 · 방경화, 2005, “만리포 해빈퇴적물의 동절기 퇴적환경,” 한국지형학회지, 12(2), 87-98.
 엄진아 · 최중국 · 유주형 · 원중선, 2010, “위성영상 및 항공사진을 이용한 해안선 변화 모니터링: 울진군 죽변면 연안을 대상으로,” Korean Journal of Remote Sensing, 26(5), 571-580.
 우한별 · 장동호, 2010, “다중시기 항공사진과 현장조사를 통한 해안침식 변화 연구: 태안반도를 사례로,” 한국지형학회지, 17(4), 71-83.
 윤정수 · 김태정, 2011, “제주도 서부 하모와 협재 해빈 퇴적물의 계절 변화,” 한국지구과학회지, 32(3), 265-275.
 이재원 · 김용석 · 이인수, 2009, “해운대 해안의 시기별

- 해안선 변화량 분석,” 한국토목학회논문집, 29(5), 655-662.
- 이창경·김백운·김남용, 2007, “항공사진측량에 의한 해안선 변화 조사,” 한국공간정보학회지, 15(2), 15-23.
- 이형석·김인호, 2007, “DGPS를 이용한 해안선 변화 조사 및 분석-강원도 강릉시 연안을 중심으로,” 한국지리정보학회지, 10(2), 1-10.
- 장동호·김장수·백승균, 2012, “다중시기 원격탐사 자료를 이용한 부산 송정해수욕장의 해안선 변화 분석,” 한국지형학회지, 19(4), 59-71.
- 장동호·김장수·윤정미, 2010, “지형도와 위성영상 자료를 이용한 태안반도 지역의 해안선 변화 분석,” 한국사진지리학회지, 20(1), 57-70.
- 채승철·이광률, 2014, “포항 조사리 해변의 형성 과정과 계절적 변화,” 한국지형학회지, 21(1), 121-131.
- 최철웅·이창현·오치영·손정우, 2009b, “수치항공사진을 이용한 해안선 침퇴적 변화에 관한 연구,” 한국지형공간정보학회지, 17(3), 23-31.
- 최철웅·오치영·이창현, 2009a, “공간정보를 이용한 광안리 해안선 변화에 관한 연구,” 한국지형공간정보학회지, 17(1), 13-19.
- 추용식·권수재·박장준·박용한, 1996, “한국 서해중부 해변에서의 퇴적작용의 계절변화,” Ocean Research, 18(1), 37-45.
- Bierman, P. R. and Montgomery, D. R., 2014, *Key Concepts in Geomorphology*, Freeman, London.
- Bird, E., 2008, *Coastal Geomorphology - An Introduction*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Davidson-Arnott, R., 2010, *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Springer, New York.
- Dubois, R. N., 1988, Seasonal changes in beach topography and beach volume in Delaware, *Marine Geology*, 81, 79-96.
- Frihy, O. E., Hassan, M. S., Deabes, E. A. and A. Badr, A. E. M., 2008, Seasonal wave changes and the morphodynamic response of the beach-inner shelf of Abu Qir Bay, Mediterranean coast, Egypt, *Marine Geology*, 247, 145-158.
- Guillen, J., Stive, M. J. F. and Capobianco, M., 1999, Shoreline Evolution of The Holland Coast on A Decadal Scale, *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 517-536.
- Larson, M. and Kraus, N. C., 1994, Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina, *Marine Geology*, 117, 75-94.
- Masselink, G. and Pattiaratchi, C. B., 2001, Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia, *Marine Geology*, 172, 243-263.
- Norcross, Z. M., Fletcher, C. H. and Merrifield, M., 2002, Annual and interannual changes on a reef-fringed pocket beach: Kailua Bay, Hawaii, *Marine Geology*, 190, 553-580.
- Pranzini, E., Rosas, V., Jackson, N. L. and Nordstrom, K. F., 2013, Beach changes from sediment delivered by streams to pocket beaches during a major flood, *Geomorphology*, 199, 36-47.
- Quartel, S., Kroon, A. and Ruessink, B. G., 2008, Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach, *Marine Geology*, 250, 19-33.
- Roberts, T. M., Wang, P. and Puleo, J. A., 2013, Storm-driven cyclic beach morphodynamics of a mixed sand and gravel beach along the Mid-Atlantic Coast, USA, *Marine Geology*, 346, 403-421.
- Robertson V, W., Zhang, K. and Whitman, D., 2007, Hurricane-induced beach change derived from airborne laser measurements near Panama City, Florida, *Marine Geology*, 237, 191-205.
- Taaouati, M., Nachite, D., Benavente, J. and Elmrini, A., 2011, Seasonal changes and morphodynamic behavior of a high-energy mesotidal beach: case study of Charf el Akab beach on the North Atlantic coast of Morocco, *Environ Earth Sci*, 64, 1225-1236.
- Turki, I., Medina, R., Gonzalez, M. and Coco, G., 2013, Natural variability of shoreline position: Observations at three pocket beaches, *Marine Geology*, 338, 76-89.
- Yates, M. L., Guza, R. T. and O'Reilly, W. C., 2009, Equilibrium shoreline response: Observation and modeling, *Journal of Geophysical Research*, 114, C09014, doi:10.1029/2009JC005359.
- 국립해양조사원, <http://www.khoa.go.kr/>

김대식 · 이광률

교신: 이광률, 702-701, 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: georiver@knu.ac.kr)

Correspondence: Gwang-Ryul Lee, Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Buk-gu, Daegu, 702-701, Korea (e-mail: georiver@knu.ac.kr)

최초투고일 2015. 3. 22

수정일 2015. 4. 15

최종접수일 2015. 4. 15