

GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류 기법 연구

- 감포지역을 사례로 -

박한산* · 윤순옥** · 황상일***

Development of the GIS Method for Extracting a Specific Geomorphic Surface of Coastal Terrace at Gampo Area, Southeastern Coast in Korea

Han-San Park*, Soon-Ock Yoon** and Sang-Il Hwang***

요약 : 지형면 분류도는 지형학 연구에 있어서 가장 기본적인 자료이다. 최근까지 이루어지고 있는 항공사진, 지형도 및 현지조사에 의한 지형면 분류 방법은 많은 시간과 높은 숙련도를 요구하며, 항공사진 획득에도 어려움이 있다. 현재 우리나라는 수치지도가 거의 완성되었으므로, GIS를 이용하여 해안단구 지형이 갖는 해발고도와 경사도의 특성을 정량적으로 분석하면, 적합한 지형면을 찾아낼 수 있다. 본 연구에서는 이미 전통적인 방법에 의해 해안단구 연구가 다수 이루어진 한국 남동해안 경주시 감포읍 지역에서, GIS를 이용하여 보다 효율적이고 객관적인 해안단구 지형면 분류 기법을 제시하였다. 이를 위하여 해안단구 지형면 분류 과정을 설계하였으며, 지형면 분류에 적합한 분류요인을 선정하고, 최적분류기준을 추출하여 지형면을 분류한 후, 부합율 및 오류율을 통하여 이러한 방법에 대한 효율성과 문제점을 검토하였다.

주요어 : 해안단구, 지형면 분류도, GIS, 지형면 추출, 최적분류기준

Abstract : The classified map of geomorphic surfaces is the most basic data for the geomorphological research. Up to recent days, the traditional methods extracting specific geomorphic surfaces are accomplished by analyzing the aerial photographs and topographical maps, and field works. Also it needs a lot of time and expertness. Furthermore it is difficult to gain the aerial photographs in Korea. Since digital maps in Korean Peninsula are almost completed recently, we tried to extract specific surfaces by analyzing the characteristics of marine terraces based on the level of paleoshoreline and slope analysis on the terrace surface using GIS. However, research used GIS was hardly found up to date, therefore many problems are not be solved yet. The aim of this study is to develop the more efficient and objective method for the extraction and classification of specific geomorphic surfaces by using GIS in Gampo-eup, Gyeongju city, Southeastern Coast in Korea, where a lot of traditional research has already accomplished. For this aim, we have designed the process of extracting specific geomorphic surfaces, chosen the factors that was suitable for classification of specific geomorphic surface, and presented method of setting up optimum criteria of extraction. As last, effectiveness and problems of these methods were investigated through coincidence rate and error rate.

Key Words : marine terrace, the classified map of geomorphic surfaces, GIS, extraction of specific surface, optimum criteria of extraction

1. 서론

1) 문제 제기 및 연구 목적

해안단구는 제4기 지반 운동 및 해면 변동의 영

향과 파랑의 침식 및 퇴적작용이 복합적으로 영향을 미쳐 형성된 계단상의 지형으로서 시간이 지남에 따라 지형면이 개석되고 원면이 변형된다. 우리나라 동해안에는 고도를 달리하는 여러 단의 해안

* 경희대학교 지리학과 박사과정(Graduate Student in Doctoral Program, Department of Geography, Kyunghee University).

** 경희대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyunghee University).

*** 경북대학교 지리학과 전임강사(Full-time Lecturer, Department of Geography, Kyungpook National University).

단구가 해안선을 따라 발달되어 있다. 특히 한반도 남동부의 장기곶에서 울산만에 이르는 지역은 그 발달이 현저하며, 연구지역으로 선정된 경주시 감포읍 일대에는 해안단구 고위, 중위, 저위면의 구분이 매우 뚜렷하다.

해안단구 연구의 목적은 일반적인 지형 연구와 마찬가지로 지형 특성과 지형 발달을 규명하는 것이다. 이를 위하여 일반적으로 실내 예비 조사와 야외 조사를 통하여 지형면 분류도를 작성하고, 각 지형면의 특성과 수평·수직적 분포 패턴을 바탕으로 지형 발달을 추정하게 된다. 특히, 해안단구 지형면 분류도는 지형면 별 분포 특성을 나타내며, 지형 발달을 추정하는 근거가 되기 때문에 해안단구 연구 결과에서 차지하는 비중은 매우 높다. 이러한 지형면 분류도는 먼저 실내 예비 조사 단계에서 지형도 및 항공사진 판독을 통하여 예비 지형면 분류도가 작성되며, 야외 조사에서 측량, 퇴적상 조사, 그리고 지형면 특성을 바탕으로 예비 지형면 분류도를 수정·확인하는 과정을 거쳐 작성된다(그림 1).

실내 예비 조사의 대표적인 방법 중 하나인 항공사진 판독은 비교적 넓은 지역을 실내에서 입체적으로 관찰할 수 있어 해안단구 지형면을 분류하는데 유용하다. 그러나, 항공사진은 실제지형에 비해 상대적으로 소축적이며, 연구자의 숙련도와 경험에 따라 판독의 결과가 달라질 수 있다. 또한, 야외조사는 실내작업에서 얻어진 연구 결과를 확인하고 수정하는 대단히 중요한 과정이지만, 시간적·경제적으로 많은 투자가 필요하다. 그리고, 조사지점이나 지형면의 경계를 지도화함에 있어서

정확도의 문제가 제기되기도 한다.

이상과 같은 문제점들은 요즘 그 효용성을 인정 받고 있는 GIS의 정량적인 분석과 3차원 지형분석을 이용하여 보완될 수 있을 것으로 기대된다. 즉, DEM(Digital Elevation Model)을 바탕으로 해안단구 지형면에 대한 정량적인 분석을 행하며, 이를 토대로 객관적인 기준에 따라 해안단구 지형면 분류도를 작성할 수 있다. 이는 실내 작업의 많은 부분을 대체할 수 있으며, 야외 조사의 기초자료와 정량적인 자료를 제공할 수 있어 지형학자에게 충분한 도움을 줄 것으로 기대된다. 또한, 국립지리원에서 구축·공급하는 1:5,000 수치지형도를 이용할 수 있게 됨에 따라 수치 자료를 구축하는데 소요되는 시간·경제적인 노력을 상당부분 줄일 수 있다.

그러나, DEM만을 바탕으로 분석할 경우에는 지형면의 풍화 및 개석정도를 고려하여 검증·보완하는 작업이 필요하다. 따라서, 해안단구 연구의 모든 부분을 GIS를 이용하여 대체하는 것은 무리이며, 본 연구에서는 실내에서의 예비 조사와 정밀 지형면 분류도를 작성하는데 있어서 GIS를 적용하고자 한다(그림 1).

해안단구 지형연구에서 GIS를 응용하고자 하는 시도들이 이루어지고 있으나(정혜경, 1999: 황상일 등, 2000), 종단면도를 작성하여 해안단구 지형면의 특성을 설명하는데 초점이 맞추어졌고, 지형면 분류는 평균 경사도와 같은 경직된 분류기준을 적용하여, 지형면이 매우 단편적으로 나타났다.

본 연구는 감포지역에서 GIS를 이용하여 해안단구 지형면 분류 기법을 제시하고, 해안단구 지형연구에 있어서의 효용성과 문제점을 검토하고자 한다.

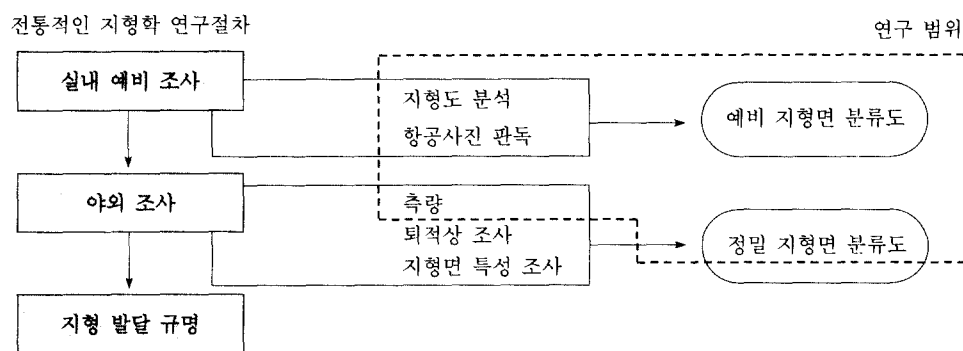


그림 1. 해안단구 지형연구 개략도와 연구 범위

2) 연구 방법

GIS를 이용하여 해안단구 지형면 분류 과정을 설계하기 위하여, GIS의 일반적인 분석 과정을 참고하였으며, 분류요인을 선정하기 위하여 기존의 해안단구 연구들을 검토하였다. 또한, 선행연구에 의해 분류된 지형면을 Vectorizing하여, 분류기준을 설정하고 작업의 결과를 검토하기 위한 기초자료로 사용하였다. 연구에 사용된 DEM은 국립지리원 1:5,000 수치지형도를 바탕으로 생성되었다.

본 연구과정은 크게 다섯 단계로 이루어 졌다 (표 1).

첫 번째는 해안단구 지형면 분류에 사용할 DEM을 생성하는 단계로, DEM 생성 시 발생할 수 있는 문제점을 검토·보완하며, 해안단구 지형면 분류에 적합한 정밀도와 정확도를 고려하였다. 본 연구에서는 1:5,000 수치지형도의 등고선과 표고점을 입력자료로 하여 TIN을 생성한 후 DEM으로 변환하였다¹⁾.

두 번째는 해안단구 지형면 분류에 영향을 주는 분류요인들을 선정하는 단계로, 전통적인 해안단구 지형면 분류 과정을 검토하였다.

세 번째는 분류요인들에 대한 분류기준을 설정하는 단계이다. 이를 위하여 연구지역 가운데 지형면의 연속성과 보존정도가 가장 좋은 지역을 표본 지역으로 설정하였다. 즉, 지형학적으로 동해안 일

대 해안단구의 기준면일 가능성이 가장 높은 지역을 표본지역으로 설정함으로써, 설정된 분류기준의 대표성을 확보하고자 하였다. 다음으로, 설정된 표본지역의 해안단구 지형면에 대한 통계분석을 행하였으며, 분석된 통계값을 바탕으로 고위, 중위, 저위면 별로 다양한 분류기준의 CASE를 설정하였다. 그리고, 분류기준 CASE를 표본지역에 적용한 후, 기존 연구 결과와의 일치정도를 나타내는 부합율을 기준으로 각 지형면 별 최적분류기준을 설정하였다.

네 번째는 표본지역에서 설정된 각 지형면 별 최적분류기준을 해안단구 지형면 분류에 적용하는 단계로, 연구지역 전체에 적용하였다.

다섯 번째는 분류 결과에 대한 검토 단계로서, 연구지역 전체에 적용한 해안단구 분류 결과를 부합율과 오류율의 관계에서 검토하였다.

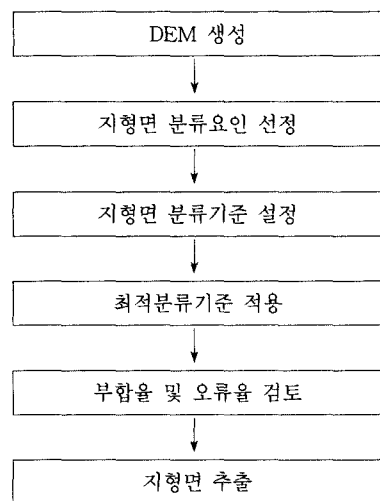
통계분석은 S-Plus 2000을 사용하였으며, GIS분석에는 INTERGRAPH사의 MGE(Modular GIS Environment) 7.01을 사용하였다. DEM생성과 경사도 분석은 3차원 지형 분석 모듈(module)인 MTA(MGE Terrain Analyst)에서 처리하였으며, 중첩 분석은 Grid 분석 모듈인 MGGA(MGE Grid Analyst)에서 처리하였다.

3) 연구지역 개관

경상북도 경주시 감포읍 일대의 해안에는 해안단구가 모식적으로 분포하므로, 지형학자들에 의해 다수의 선행연구가 이루어졌다. 그 가운데 윤순옥 등(1999)은 항공사진을 판독하여 해발고도 50m~80m에서 폭넓게 분포하는 고위면을 추가하여 지형면을 분류하였다. 더우기, 해안선에서부터 배후산지까지 해안단구의 종단면을 따라 hand level로 지형면을 실제 측량함으로써, 항공사진 판독으로 분류된 지형면을 수정·보완하여 정밀 지형 분류도를 작성하였다. 따라서, 감포지역을 연구지역으로 선정하였으며, 이 지역의 해안단구 지형면 분류도를 분류기준 설정과 결과 검토를 위한 기초자료로 이용하였다(그림 2).

그림 2에서 고위면은 해발고도 약 50~80m에 걸쳐 폭넓게 분포하고, 중위면은 약 30~40m, 저위면은 약 4~20m에 나타난다. 고위면의 경우 곳에 따라서 1면과 2면으로 세분되기도 하며, 저위면의

표 1. GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류 단계



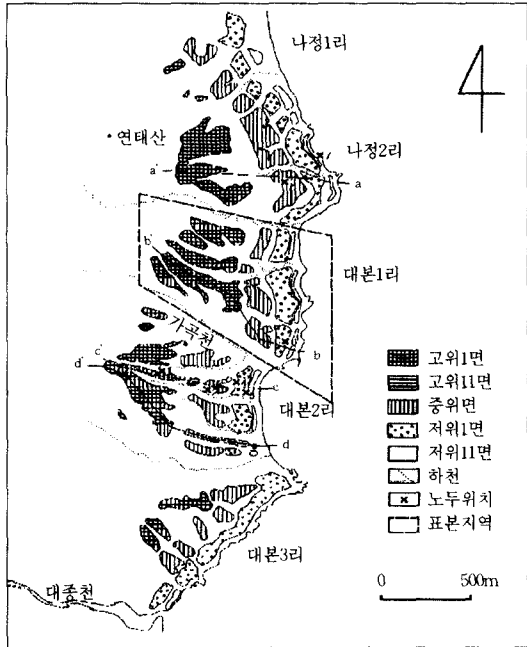


그림 2. 연구지역의 해안단구 지형면 분류도
출처: 윤순옥 등, 1999.

경우 저위1면(10~20m)과 저위2면(4~7m)으로 뚜렷이 구분된다.

연구 지역 북쪽에 해당하는 나정리에는 감재(300m) 능선에서 발원한 소하천이 동류하여 동해로 유입하면서 하구 부근에 해안충적평야를 형성하고 있으며, 해안과 평행하게 beach ridge가 분포한다. 대본 3리 남쪽에는 토함산(745m)에서 발원한 대종천이 흐르고 있어 연구 지역의 북쪽과 남쪽은 이들 두 하천에 의해 경계지워 진다. 연태산(213.5m)을 비롯한 200~230m의 낮은 산지에서 발원하여 동해로 유입하는 짧은 하천들이 해안을 따라 분포하는 해안단구면을 개석하고 있다. 이 해안은 전체적으로 외해를 향해 돌출한 headland로 볼 수 있으므로, 해안단구가 만들어질 수 있는 지형 조건이 잘 갖추어져 있다. 소하천이 바다로 유입하는 하구부에는 소규모의 모래 해안이 좁게 펼쳐진다.

연구 지역의 지질은 크게 셋으로 구분된다. 연구 지역의 북쪽인 나정리와 대본1리 해안은 중생대 백악기 석영반암, 대본2, 3리 해안은 중생대 백악기 불국사 화강암, 불국사 화강암지역보다 서쪽은 중생대 백악기 퇴적암으로 되어 있다(그림 3).

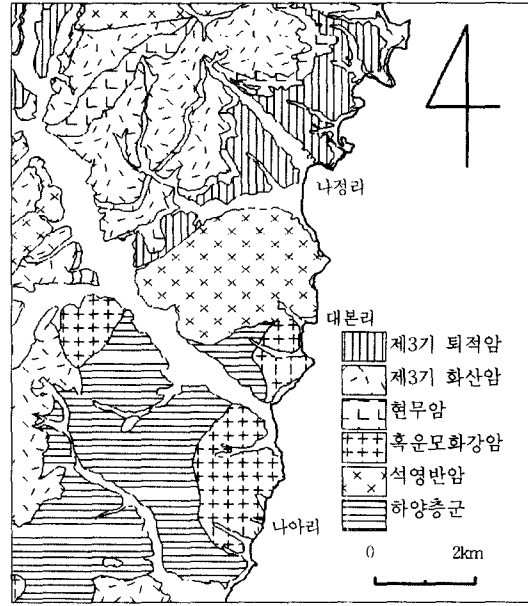


그림 3. 연구 지역 지질도

2. 분류요인 선정

해안단구 지형면은 간빙기 동안 안정된 해면에서 장기간 파랑의 침식과 퇴적작용으로 형성되어 지반의 용기에 의해 해면과 고도차를 가지게 된다. 따라서, 육상에 노출된 시간이 길어짐에 따라, 지형면의 고도는 높아지고, 개석이 진행되어 경사가 커지며, 지형면을 덮고 있는 역의 풍화가 많이 진행된다.

이러한 특성을 가지는 해안단구의 지형면은 평탄면인 단구면과 이들 사이의 급경사면인 단구애로 구분된다. 해안단구면은 배후 산지의 사면 경사에 비해 상대적으로 매우 완만하며, 일정한 고도에서 해안선과 평행하게 연속적으로 분포한다. 반면, 단구애는 단구면 사이에 나타나는 급경사의 사면으로, 형성된 지 오래된 단구애는 배후 산지의 사면과 그 경사가 비슷하여 구분하기 어렵다.

전통적인 해안단구 지형면 분류는 항공사진 또는 지형도를 이용하여 해안을 따라 나타나는 완만한 경사를 가지는 면들을 찾아 지도화 하고, 야외 조사를 통하여 확인·수정하는 과정을 거쳐 이루어진다. 지도화된 완경사면은 해발고도를 기준으로 분류하며, 비고, 개석정도, 퇴적상 등을 고려하여

수정한 후, 고위, 중위, 저위면 등으로 명명된다.

따라서, 해안단구 지형면 분류 과정에 있어서 실질적으로 기준이 되는 것은 항공사진판독에 의해 지도화된 예상 단구면이며, 예상 단구면은 해발고도와 경사도를 기준으로 선정된다. 이에 본 연구에서 해안단구 지형면을 분류하기 위한 분류요인으로 경사도와 고도를 선정하였다.

3. 분류기준 설정

해안단구 지형면은 장소에 따라서 지질, 형성시기, 지형면의 개석정도가 다르므로, 고도와 경사도 분포에서 다소 차이가 있다. 따라서, 특정 지점 또는 종단면의 자료를 바탕으로 분류기준이 설정되면, 분류 결과도 단편적으로 나타날 수 밖에 없다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여, 선행연구에 의해 분류된 해안단구 지형면에 대한 통계적 분석을 바탕으로 고도 분류기준과 경사도 분류기준을 설정하였다. 이를 위하여, 연구지역 중 해안단구 지형면이 뚜렷하게 나타나는 부분을 표본지역으로 선정하여(그림 2), 선행연구에 의해 분류된 지형면의 고도와 경사도에 대한 기술적(記述的) 통계분석을 행하였다. 통계분석 결과를 검토하여 다양한 분류기준 CASE를 설정하여 표본지역에 적용한 후, 선행연구에서 분류된 지형면과의 일치도가 가장 높은 CASE를 최적분류기준으로 선정하였다.

1) 표본지역 해안단구 지형면의 통계분석

통계분석을 위하여 표본지역의 지형면 경계를 고위, 중위, 저위1, 저위2면 별로 벡터라이징하였으며, 이를 이용하여 앞서 생성된 고도GRID와 경사도GRID에서 해안단구 지형면을 추출하였다. 추출한 고도와 경사도 격자들에 대하여 각 단구면 별 최소값, 제1분위수, 평균, 중위수(median), 제3분위수, 백분위수(percentile) 95%, 최대값, 범위(range), 표준편차, 왜곡도(skewness), 첨도(kurtosis), 면적을 계산하였다(표 2).

각 해안단구 지형면을 이루는 격자들의 고도와 경사도 분포 특성을 용이하게 파악하기 위하여 Boxplot과 밀도 그래프(density plot)를 작성하였다(그림 4, 5). Boxplot의 Box내부 중앙선은 중위수를 의미한다. Box의 상·하한은 제3분위수와 제1분위수를 나타내며, Box는 전체값의 50%에 해당하는 분포 범위를 의미한다. Boxplot은 또한 상·하위 한계선 바깥쪽으로 이상점(異常點, outlier, 형태에서 벗어난 자료)을 표현할 수 있기 때문에, 자료 분포의 중심과 분산 정도를 일목요연하게 파악할 수 있다. 밀도 그래프(density plot)는 총 빈도수(격자)에 대한 각 구간별 빈도수(격자)의 비율인 밀도로 나타낸 히스토그램으로서 곡선으로 표현된다. 따라서, 여러 자료의 중첩·비교가 가능하여, Boxplot과 유사하게 자료의 분포를 쉽게 파악할 수 있다.

표 2. 표본 지역 해안단구 지형면의 고도(m)와 경사도(°) 통계값

	고위면		중위면		저위1면		저위2면	
	고도	경사도	고도	경사도	고도	경사도	고도	경사도
최소값	46.63	0.51	28.63	2.00	5.85	2.50	1.81	4.00
제1분위수	61.89	6.83	34.94	6.05	12.01	5.66	3.52	5.17
평균	70.44	12.43	37.45	8.41	14.55	7.29	4.20	5.92
중위수	69.47	9.72	37.26	7.33	14.53	6.67	4.17	6.00
제3분위수	77.73	15.72	39.97	9.33	17.03	8.33	4.89	6.37
백분위수 95%	88.62	29.15	44.18	16.19	19.79	12.00	5.62	7.49
최대값	99.00	55.41	48.64	44.79	24.74	43.36	6.26	11.12
표준편차	10.19	7.68	3.83	3.89	3.25	2.83	0.88	0.85
왜곡도	0.35	1.39	0.17	2.72	0.05	2.71	0.00	0.43
첨도	-0.74	1.60	-0.22	10.99	-0.60	15.50	-0.70	0.11
면적(m ²)	171,732		68,464		88,824		17,848	

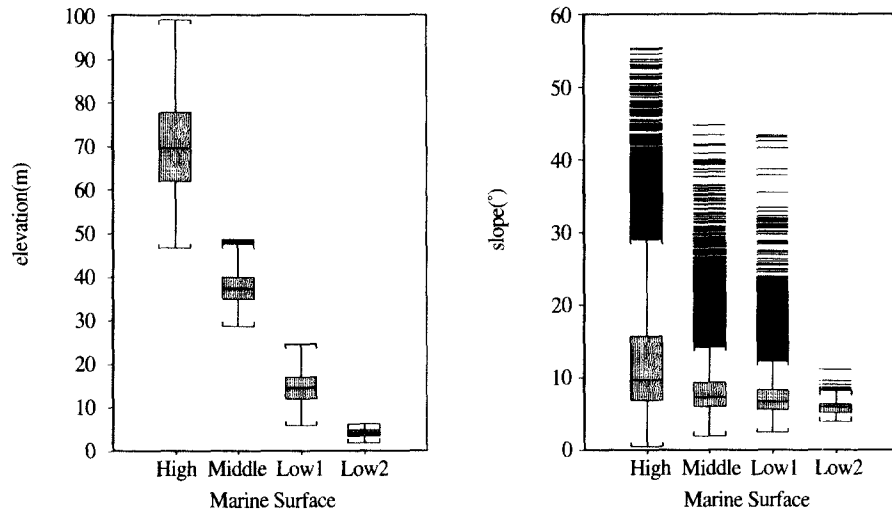


그림 4. 표본 지역 해안단구 지형면의 고도(m)와 경사도(°)에 대한 Boxplot

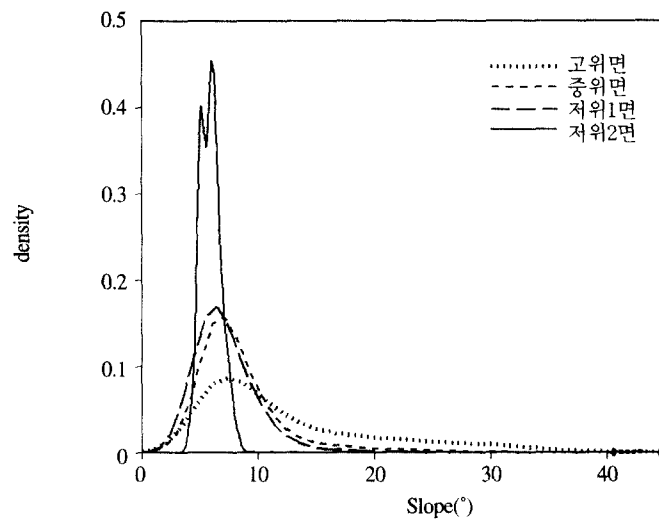


그림 5. 표본 지역 해안단구 지형면 별 경사도(°)의 밀도 histogram

그림 4의 고도 Boxplot을 살펴보면, 각 단구면들 간의 고도 분포가 뚜렷히 구분되며, Box와 중위수가 최대값과 최소값의 중앙에 위치하는 것으로 볼 때, 분포의 정규성(normality)은 양호하다. 그리고, 고위면으로 갈수록 해안단구 지형면이 나타나는 고도의 범위(range)가 커지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 고위면일수록 형성시기가 오래되어 산지 쪽으로는 사면퇴적물이 운반되어 고도가 높아지고, 말단부에서는 개석이 진행되어 고도가 낮아지기

때문이다.

그림 4의 경사도 Boxplot을 살펴보면, 각 단구면들의 Box가 비슷한 경사도에 분포한다. 즉 경사도는 해안단구 지형면의 인정 여부를 결정짓는 기준으로는 적합하지만, 고위, 중위, 저위면의 분류기준으로는 변별력이 다소 떨어짐을 의미한다. 그러나 경사도 Boxplot에서 Box 범위는 고도 분포의 경우와 마찬가지로 고위면으로 갈수록 커진다.

경사도의 경우 고도와는 다르게 고위면, 중위면,

저위1면에서 예외적으로 높은 이상점들이 많이 나타난다. 그리고, Box와 중위수가 낮은 경사도 쪽에 치우쳐 있어 정규성이 대단히 낮다. 이는 표 2에서 고위면, 중위면, 저위1면의 왜곡도가 각각 1.39, 2.71, 2.72를 나타내는 점에서도 확인된다²⁾.

각 해안단구 지형면 간의 분포 특징을 비교하기 위하여 작성한 그림 5를 살펴보면, 고위면의 경우 상대적으로 낮은 첨도를 가지며, 높은 경사도를 가지는 격자가 비교적 많이 나타난다. 중위면과 저위1면의 경우 고위면보다 높은 첨도를 가지지만, 고위면과 마찬가지로 높은 경사도의 격자도 많이 포함한다. 저위2면의 분포는 낮은 경사도에 뚜렷하게 집중되어 있으나, 고위, 중위, 저위1면에서는 높은 경사도를 가지는 이상점들이 확인된다.

이상점들은 지형면 형성 이후 경과된 기간동안 이루어진 퇴적과 개석정도에 따라 자연적으로 발생하는 높은 경사면이거나, 1:20,000 항공사진에 의한 해안단구 지형면 분류 결과를 1:25,000 지형도에 도화하는 과정 또는 1:25,000 지형도에서 1:5,000 수치지형도로 vectorizing 하는 과정에서 발생한 오류일 수 있다.

이와 같이 표본지역의 해안단구 지형면에 대한 고도와 경사도 통계분석 결과를 종합하면, 시기를 달리하여 형성된 해안단구 지형면은 고도에 있어서 분명한 차이를 보이나, 지형면 별 경사도의 차이는 크지 않다. 그러나, 저위면에서 고위면으로 갈수록 경사도의 중위수와 Box의 범위도 커지고, 이상점들이 많이 나타난다. 따라서, 각 지형면 별로 고도와 경사도의 특성이 상이하므로, 분류기준 또한 각 지형면 별로 설정하여야 한다. 특히, 경사도 분류기준을 설정할 경우, 퇴적과 개석정도에 따라 자연적으로 발생하는 높은 경사면과 상이한 축척의 자료를 도화하는 과정에서 발생할 수 있는 높은 경사면을 구별하여야 한다. 이를 위하여, 이상값을 제거하는 수준에 따라 다양한 분류기준 CASE를 설정하였다.

2) 분류기준 CASE 설정

고도 분류기준은 표본지역에서 분석된 지형면 별 최소값과 최대값으로 설정하였다(표 3). 이와 같은 고도 분류기준을 적용하면 실제로 지형면이 아닌 부분이 포함될 수 있다. 그러나, 각 단구면 고도의 최대값 부분은 배후산지 또는 상위단구면의 애면과 만나는 부분이므로 경사가 급하고, 최소값 부분은 역시 개석을 받아 경사가 급하므로, 이러한 부분은 경사도 분류기준에 의해 제외된다.

경사도의 분류기준은 각 지형면 별로 최소값을 평지인 0 로 하고 최대값을 백분위수 95%, 90%, 85%, 80%, 75%, 70%, 65%에 해당하는 7가지 범위로 구분하여, 고위면, 중위면, 저위1면, 저위2면을 CASE-1부터 CASE-7까지 나누어 설정하였다(표 4). 즉 CASE-1에서 CASE-7로 갈수록 분류기준의 범위가 작아져, 오류에 의한 급경사면이 제외되는 비율이 높아지도록 설정하였다.

이렇게 하여 설정된 고도 분류기준과 7개의 CASE로 구분된 경사도 분류기준을 표본 지역에 적용하여, 각 해안단구 지형면 별 가장 적절한 CASE를 선택하여 최적분류기준을 도출하고자 하였다.

이를 위하여, 표본지역의 고도 GRID와 경사도 GRID를 고도와 경사도 분류기준에 따라 중첩 분석하여 해안단구 지형면을 분류하였고, 분석 결과를 용이하게 검토하기 위하여 선행연구에 의한 지형면을 검은선으로 함께 나타낸 것이 그림 6에서 그림 12까지이다.

3) 최적분류기준 선정

선행연구에서 항공사진과 현지답사로 분류된 해안단구 지형면과 GIS를 통해 분류된 CASE 별 지형면을 비교하면, 그 분포가 대체로 잘 일치한다. 그러나, 후자의 방법으로 분류된 지형면에서는 하곡을 따라 분포하는 곡저평야와, 표본지역인 대본1

표 3. 고도 분류기준

(단위: m)

항목 \ 지형면	고위면	중위면	저위1면	저위2면
최소값	46.63	28.63	5.85	1.81
최대값	99.00	48.64	24.74	6.26

표 4. 표본 지역 CASE 별 경사도 분류기준 (단위: °)

CASE	항목	백분위수	고위면	중위면	저위1면	저위2면
1		백분위수 95%	29.15	16.19	12.00	7.49
2		백분위수 90%	24.33	12.33	10.48	7.01
3		백분위수 85%	21.00	10.96	9.52	6.83
4		백분위수 80%	18.02	10.00	9.00	6.63
5		백분위수 75%	15.72	9.33	8.33	6.37
6		백분위수 70%	14.00	8.83	7.97	6.33
7		백분위수 65%	12.50	8.33	7.50	6.00

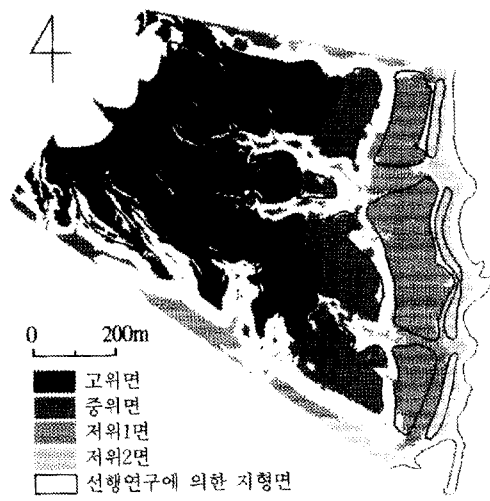


그림 6. 표본 지역 CASE1 해안단구 지형면 분류도

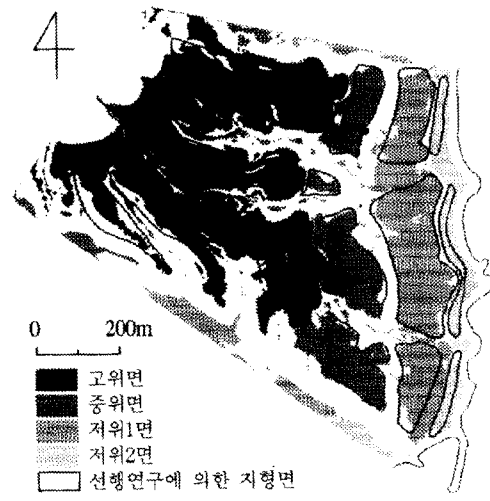


그림 7. 표본 지역 CASE2 해안단구 지형면 분류도

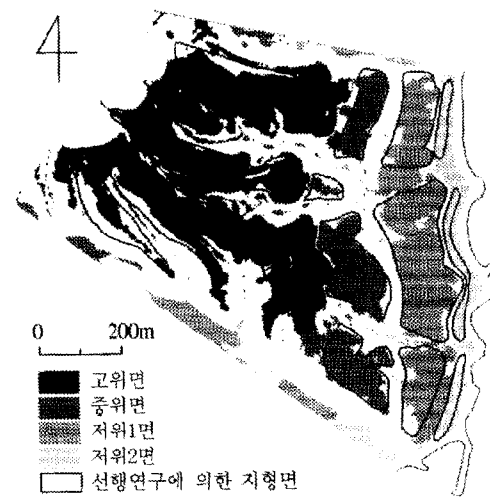


그림 8. 표본 지역 CASE3 해안단구 지형면 분류도

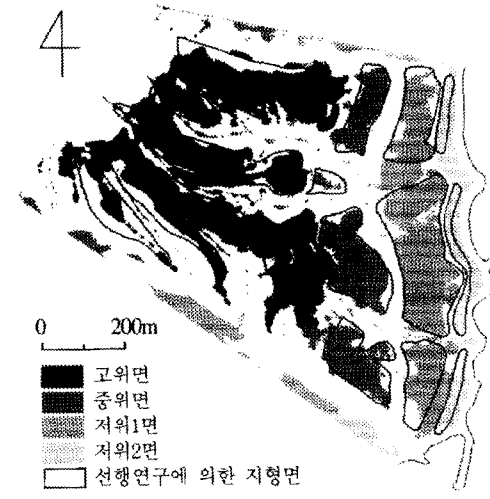


그림 9. 표본 지역 CASE4 해안단구 지형면 분류도

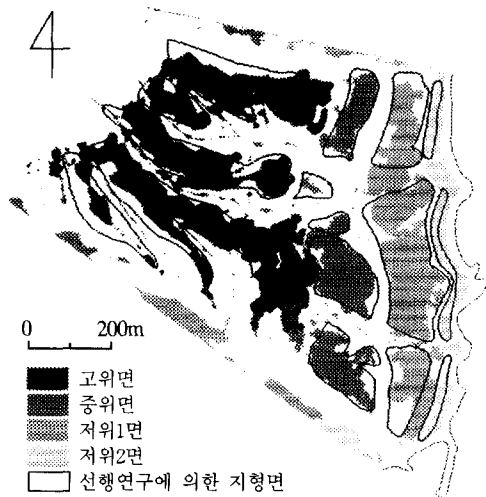


그림 10. 표본 지역 CASE5 해안단구 지형면 분류도

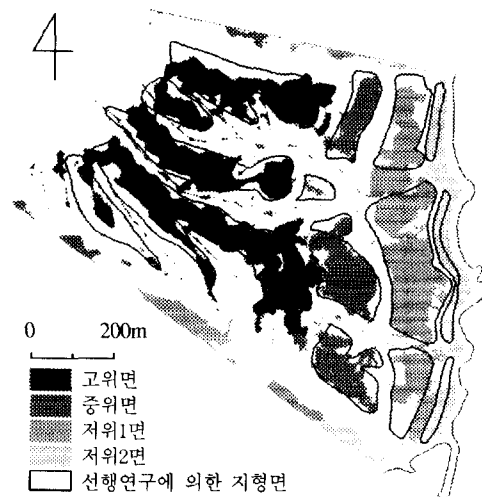


그림 11. 표본 지역 CASE6 해안단구 지형면 분류도

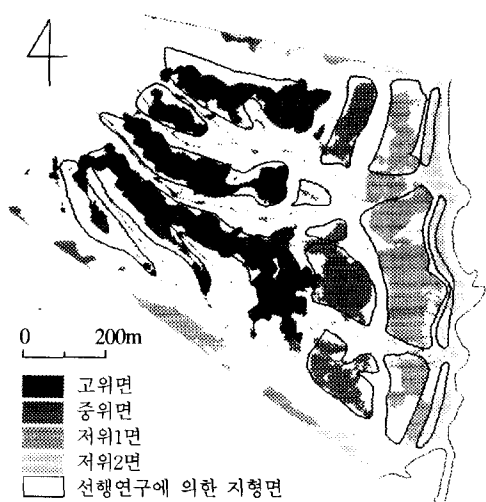


그림 12. 표본 지역 CASE7 해안단구 지형면 분류도

리의 남쪽과 북쪽에 흐르는 비교적 큰 하천의 범람원들이 지형면으로 분류되는 오류가 나타난다.

분류기준의 설정 의도대로, CASE1에서 CASE7로 갈수록 지형도 축척의 차이에서 발생하는 오류에 의한 급경사면의 제외 비율이 높아지므로, 분류되는 지형면도 축소된다. 이 제외면적이 넓어짐에 따라 선행연구에 의해 분류된 지형면까지 제외되는 경우도 발생한다. 그러므로, 선행연구에 의한 지형면과 GIS 분석에 의한 지형면의 중첩 면적은

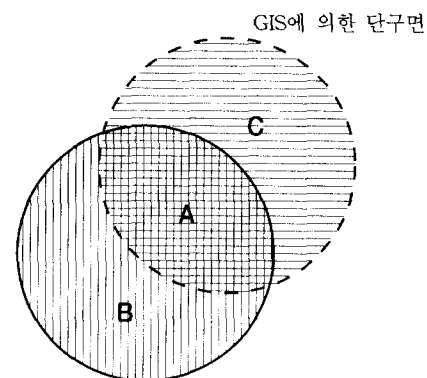


그림 13. 부합면(A), 오류면(B), 외부오류면(C)의 모식도

최대가 되고, 중첩되지 않는 면적은 최소가 되는 CASE를 최적분석기준으로 선정하여야 할 것이다.

선행연구와 GIS에 의한 각 지형면이 서로 중첩되는 면을 '부합면(附合面)'(그림 13 A)으로, 서로 중첩되지 않는 면을 '오류면(誤謬面)'으로 하였다. 오류면이 선행연구에 의한 지형면의 내부에 있으면 '내부 오류면'(그림 13 B), 외부에 있으면 '외부 오류면'(그림 13 C)로 구분하였다.

이들 A, B, C 세 면적의 합에 대한 각 면적비율이 각각 '부합율', '내부 오류율', '외부 오류율'이며, 내부 오류율과 외부 오류율의 합이 해당 지형면의 전체 '오류율'이다. 따라서, 선행연구에 의한

지형면과 GIS에 의해 분류한 지형면이 완전히 중첩되면 부합율은 100%, 오류율은 0%가 되며, 두 면이 중첩되지 않으면 부합율은 0%, 오류율은 100%가 된다.

각 CASE 별로 분류된 고위, 중위, 저위1, 저위2면의 부합율, 내부 오류율, 외부 오류율을 선행연구에 의한 지형면과 GIS에 의해 분류한 지형면을 중첩(overlay)하여 분석한 결과를 표 5에 정리하였으며, 그림 14~17은 이를 그래프로 표현한 것이다.

CASE에 따른 각 단구면 별 부합율을 살펴보면, 저위2면을 제외하면 모두 50~65% 정도의 값을 가진다. 저위2면의 경우 부합율이 27~35%이며, 부합율, 내부 오류율, 외부 오류율 모두 CASE에 따른 다소 차이를 보인다. 오류율 중에서는 외부 오류율이 27.37%로 전체 오류율의 대부분을 차지한다. 이는 저위2면과 최근 형성된 사빈 및 개석곡저 총적평야의 대부분이 해발고도 5m 이내에 분포함에 따라, 모두 비슷한 경사도를 가지게 됨으로서 고도

와 경사도만으로 홀로세 지형면인 저위2면을 효과적으로 구분하기는 어렵다는 것을 의미한다.

해안단구 지형면 별 최적분류기준은 부합율이 가장 높은 경우의 CASE로 선정하였다. 즉 고위면은 부합율 58.52%인 CASE5, 중위면은 65.38%인 CASE3, 저위1면(60.94%)과 저위2면(36.69%)은 CASE1이 채택되었다(표 5).

이와 같이 추출된 최적분류기준에 해당하는 각 CASE의 부합율은 저위2면의 경우를 제외하면 60% 내외이며, 부합율을 감소시키는 40%내외의 오류율 원인에 대해 검토하였다.

첫째, 개석곡인 곡저평야가 해안단구 지형면으로 포함되었기 때문이다. 그러나 지형학자에게 있어서 분류된 지형면(그림 6~12) 또는 지형도의 등고선만으로도 곡저평야를 쉽게 판별할 수 있어, 최적분류기준에 의한 지형면 분류도를 해안단구 연구에 이용하는데 크게 문제되지 않는다.

둘째 원인은 분류기준 설정과 평가의 기준으로

표 5. 표본지역의 CASE 별 부합율·오류율과 최적분류기준

지형면 \ CASE	항목	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7
고위면	부합율	53.13	54.91	56.11	57.84	58.52	57.96	56.33
	내부 오류율	2.79	6.10	9.87	14.44	19.50	24.51	30.33
	외부 오류율	44.07	39.00	34.02	27.72	21.98	17.53	13.34
	오류율	46.87	45.09	43.89	42.16	41.48	42.04	43.67
중위면	부합율	55.90	63.43	65.38	64.96	63.11	60.66	57.89
	내부 오류율	2.94	6.76	11.19	15.38	20.42	25.05	29.43
	외부 오류율	41.16	29.80	23.43	19.66	16.47	14.29	12.68
	오류율	44.10	36.57	34.62	35.04	36.89	39.34	42.11
저위1면	부합율	60.94	60.87	59.46	57.80	54.41	51.81	49.27
	내부 오류율	3.11	6.77	10.48	13.13	18.13	22.19	26.14
	외부 오류율	35.96	32.36	30.06	29.08	27.45	26.00	24.59
	오류율	39.06	39.13	40.54	42.20	45.59	48.19	50.73
저위2면	부합율	36.69	35.66	34.93	33.56	32.21	31.71	26.69
	내부 오류율	1.76	3.74	5.30	7.80	9.94	10.67	17.57
	외부 오류율	61.55	60.61	59.77	58.64	57.85	57.62	55.73
	오류율	63.31	64.34	65.07	66.44	67.79	68.29	73.31
전체면	부합율	54.19	56.25	56.72	56.94	55.88	54.36	51.98
	내부 오류율	2.81	6.18	9.86	13.69	18.44	22.71	27.86
	외부 오류율	43.00	37.57	33.42	29.37	25.68	22.93	20.16
	오류율	45.81	43.75	43.28	43.06	44.12	45.64	48.02

주: 각 해안단구면에서 부합율이 가장 높은 CASE를 음영처리하였으며, 이것들이 연구지역의 각 지형면별 최적분류기준이다.

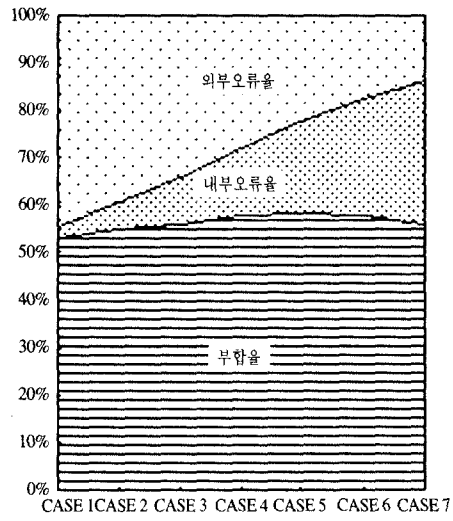


그림 14. 고위면의 CASE 별 부합율 · 오류율

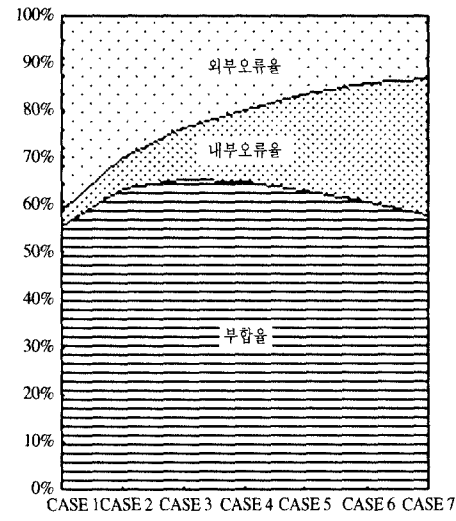


그림 15. 중위면의 CASE 별 부합율 · 오류율

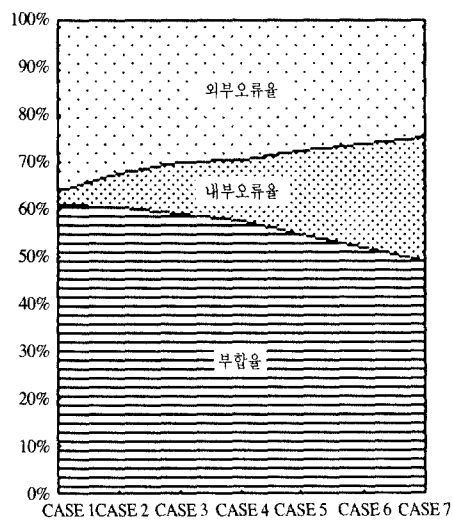


그림 16. 저위1면의 CASE 별 부합율 · 오류율

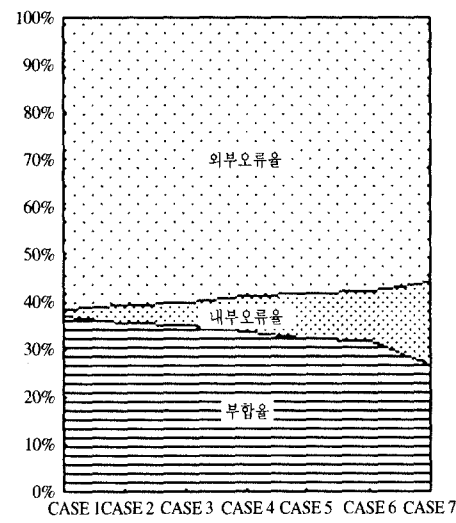


그림 17. 저위2면의 CASE 별 부합율 · 오류율

삼은 선행연구의 지형면 분류도상의 오류이다. 즉, 본 연구에서는 기존연구 결과를 평가 기준으로 삼았기 때문에 실제로 오류가 아닌 부분이 오류로 계산되어 부합율이 낮아지게 된다. 이러한 오류는 선행연구에 의한 고위면의 범위가 개석곡을 포함하고 있는 것에서 확인할 수 있다(그림 10).

이렇게 볼 때 최적분류기준으로 얻은 부합율 58.52~65.38% 는 지형학연구에 있어 상당히 가치 있는 값이라고 생각된다.

4. 최적 분류기준의 적용 및 부합율과 오류율 검토

표본지역에서 설정된 최적분류기준을 연구지역 전체에 적용하고, 선행연구에서 얻어진 지형면과의 부합율과 오류율을 계산하여 지형면 분류에 있어서 이와 같은 방법의 가능성과 문제점을 검토하였다.

1) 최적분류기준 적용

그림 18은 최적분류기준을 연구지역 전체에 적용한 것이다. 그 결과 분류된 해안단구 지형면의 분포 특징은 가곡천(A-A')을 경계로 상당히 대조적이다. 가곡천의 북쪽에는 지형면이 넓고 연속성이 좋으나, 남쪽에서는 지형면이 좁고 연속성이 떨어진다. 이와 같은 차이는 연구 지역의 지질과 수문 특징을 반영하는 것으로 생각된다. 가곡천의 남쪽은 석영반암으로 구성된 북쪽에 비해 침식에 대한 저항력이 약한 중생대 백악기 불국사화강암으로 이루어져 있다. 따라서, 상대적으로 하계 밀도가 높고, 지형면은 개석을 많이 받아 원면의 보존도가 낮다.

선행연구에서 분류된 고위면에는 하곡이 포함되어 있으나, GIS 분석에 의하면 고위면에는 하곡이 포함되지 않는다. 이는 앞에서 기술하였듯이 선행연구에서의 오류로서, 고위면 경계를 도화하는 과정에서 원자료들의 축척 차이로 인해 불가피하게 발생하기도 하고, 항공사진으로 개석을 많이 받은 복잡한 지역을 분류할 때 역시 나타난다. 따라서, GIS 기법을 적용하여 이러한 오류를 보정할 수 있다는 가능성을 제시하고 있다.

2) 부합율과 오류율의 검토

연구지역 전체에 적용한 최적분류기준으로 분류된 지형면을 정량적으로 검토하기 위하여 가곡천 북쪽, 가곡천 남쪽, 연구지역 전체에 대한 부합율, 내부 오류율, 외부 오류율을 각 지형면 별로 계산하였다(표 6).

연구지역 전체의 부합율은 34.50%로 나타난다. 가곡천 북쪽의 부합율은 43.74%로 남쪽의 25.68%에 비하면 거의 1.7배로 높다. 특히 중위면의 경우 가곡천 북쪽과 남쪽의 부합율이 각각 63.28%, 27.01%로 약 3배 정도 높고, 고위면은 1.7배, 저위1면은 1.5배, 저위2면은 1.5배 정도이다. 이렇게 볼 때, 가곡천의 남쪽지역에서의 낮은 부합율이 연구지역 전체의 부합율을 낮추는데 많은 영향을 주었다. 이는 최적분류기준이 석영반암을 기반암으로 하는 가곡천 북쪽에서 추출되었으므로, 화강암으로 이루어진 가곡천 남쪽의 지질과의 차이에서 기인된 것이다.

외부 오류율은 가곡천 북쪽에서 43.92%, 남쪽에서 61.66%이며, 전체의 외부 오류율 53.13%로 내부 오류율의 4배 이상을 차지하여 전체 오류율의 대부분을 점하고 있다. 또한, 대부분의 외부 오류율은 가곡천 남쪽의 각 지형면과 가곡천 북쪽의 저위1면과 저위2면에서 발생했다. 가곡천 남쪽 중위면의 경우 외부오류율이 47.24%로 가곡천 북쪽 중위면의 18.00%에 비해 약 2.6배 정도이며, 고위면의 경우도 남쪽이 약 1.6배 정도 높게 나타난다. 저위1면과 저위2면의 경우에는 가곡천 남쪽과 북쪽 간의 차이가 크지 않다. 이것은 저위1면 및 저위2면이 해발고도가 낮은 지형면이므로, 비슷한 해발고도의 곡저평야가 저위1면과 저위2면에 많이 포함되었기 때문이다.

그러나, 가곡천 남쪽의 고위면과 중위면의 경우 곡저평야 외에 다른 요인도 고려해야 할 것이다. 즉, 가곡천 남쪽의 지형면은 개석을 대단히 많이 받아 그 형태가 매우 복잡하며, 항공사진 판독 시

표 6. 최적분류기준을 연구지역에 적용하여 분류한 해안단구 지형면의 부합율과 오류율(%)

		고위면	중위면	저위1면	저위2면	합
가곡천 북쪽	부합율	44.90	63.28	44.53	16.65	43.74
	외부오류	38.06	18.00	48.01	80.11	43.92
	내부오류	17.04	18.72	7.47	3.24	12.34
가곡천 남쪽	부합율	25.84	27.01	28.95	10.62	25.68
	외부오류	59.60	47.24	65.21	87.31	61.66
	내부오류	14.55	25.75	5.84	2.07	12.66
연구지역 전체	부합율	35.40	44.49	35.37	14.42	34.50
	외부오류	48.88	33.21	58.19	82.77	53.13
	내부오류	15.72	22.29	6.45	2.81	12.37



그림 18. 최적분류기준을 연구지역 전체에 적용한 해안단구 지형면 분류도

에 이와 같이 지형면의 미세한 형태를 관측하지 못하였을 가능성이 있다. 또한, 이 경우 해안단구 지형면 분류 결과를 1:25,000 지형도에 옮기는 과정에서 생기는 오류도 크다.

내부 오류율은 연구지역 전체에서 12.37%, 가곡천 북쪽에서 12.34%, 가곡천 남쪽에서 12.66%이며, 대체로 20% 이하이다. 고위면과 중위면이 저위1, 2면에 비해서 상대적으로 높은 편이다. 이것은 고위면과 중위면의 보존상태가 상대적으로 불량하며,

형성된지 오래되어 중력에 의해 해발고도가 더 높은 곳에서부터 운반된 물질에 의해 피복되거나 개석된 부분이 상대적으로 넓기 때문으로 생각된다. 아울러 항공사진 관독시의 부정확한 지형면의 분류와 지형도로 옮기는 과정에서의 오류, 그리고 지형도들의 축척사이에서 발생한 것으로 생각된다.

즉, 연구지역 전체의 부합율을 낮추는 주요 요인은 꼭지평야를 저위1면과 저위2면으로 분류되어 발생한 외부 오류율이라고 할 수 있다. 이러한 의

부 오류율도 가곡천의 북쪽보다는 남쪽이 더 크게 나타나 지질적 차이에 따른 지형면의 특성을 크게 반영하고 있다.

5. GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류 방법의 효용성

최적분류기준을 적용하여 분류된 지형면(그림 18, 표 6)의 평균 부합율이 가곡천 북쪽에서는 43.74%이지만, 가곡천의 남쪽에서는 25.68%로 낮은 수치를 보이고 있다. 이러한 낮은 부합율 값은 곡저평야가 단구면으로 포함되었기 때문이다. 그러나, 앞에서 기술하였듯이 곡저평야와 해안단구를 구분하는 일은 지형학자에게 있어 매우 쉬운 작업이다. 즉, 지형학자가 최적분류기준을 적용하여 분류된 지형면 중 곡저평야를 제거한다면, 그 부합율은 상당히 향상될 수 있다. 따라서, 최적분류기준에 의해 분류된 지형면은 수치적인 부합율이 낮아도, 지형학연구에 있어서는 유용하다고 할 수 있다.

한편, 최적분류기준의 부합율은 곡저평야 등에 의한 오류가 반영된 수치이며, 최적분류기준을 적용한 결과의 부합율도 이러한 오류가 비슷한 비율로 포함되었다고 볼 수 있다. 이에 최적분류기준의 부합율에 대한 적용 결과의 부합율의 비를 나타내는 상대부합율을 계산하였다. 상대부합율이 연구 결과에 대한 효용성을 평가할 수 있는 절대적인 척도는 아니지만, 곡저평야 등의 오류를 제거하지 않은 상태에서의 상대적 평가는 가능할 것으로 보인다.

가곡천 북쪽의 지형면별 상대부합율을 계산해보면, 고위면이 76.73%³⁾, 중위면이 96.79%, 저위1면이 73.07%, 저위2면이 45.38%으로 현생사빈 곡저평야와의 구분이 어려운 저위2면을 제외하면 모두 70%를 넘는 수치를 보이고 있다. 즉, 곡저평야를 제거한 상태에서 본 기법을 적용한다면 70%이상의 부합율을 가지는 해안단구 지형면 분류도를 얻을 수 있을 것이다.

그러나, 가곡천 남쪽의 각 지형면별 최적분류기준에 대한 상대부합율은 고위면이 44.16%, 중위면이 41.31%, 저위1면이 47.51%, 저위2면이 28.95%으로 낮다. 이와 같이 낮은 값은 가곡천 남쪽이 불국

사화강암으로 되어 있어, 석영반암으로 이루어진 최적분류기준을 추출한 표본지역과 기반암이 다르기 때문일 것이다. 즉, 최적분류기준을 추출한 표본지역에 비해 이를 적용한 가곡천 남쪽의 지질이 침식에 대한 저항력이 약하므로 그 부합율이 낮아졌다. 그러므로, 본 연구의 최적분류기준은 석영반암 및 이와 유사한 침식에 대한 저항력을 갖는 기반암으로 된 지역에서 해안단구 지형면 분류기준으로 적합하고 할 수 있다.

이상과 같은 논의를 바탕으로, 본 연구에서 제안한 GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류기법의 긍정적인 측면과 문제점을 다음과 같이 정리하였다.

긍정적인 측면으로 표본지역으로 선정한 가곡천 북쪽과 유사한 기반암 지역은 저위2면을 제외하면 73%에서 96% 정도의 최적분류기준에 대한 상대부합율을 가지는 해안단구 지형면 분류가 가능하다. 이렇게 작성된 해안단구 지형면 분류도는 지형학자에게 항공사진판독의 부담을 덜어주고, 야외조사를 위한 중요한 기초자료가 된다.

또한, 항공사진과 지형도로 작성된 해안단구 지형면 분류도의 오류를 보정할 수 있다. 지형면에 개석곡이 포함되는 것은 연구자의 오류로 볼 수 있으므로, 내부 오류면에 대한 검토를 통하여 수정할 수 있다. 즉, 선행연구에 의한 지형면 중 최적분류기준에 의해 분류된 지형면으로부터 제외된 면은 전반적인 고도·경사도 특성을 벗어난 경우로, 선행연구자의 오류에 의한 면일 가능성이 높다는 것을 의미한다. 따라서, 이러한 내부오류면에 대한 추가적인 검토가 필요하며, 이를 통하여 선행연구의 오류를 상당수 보정할 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로, 연구결과에 대한 정량적 자료 제시가 가능하다. 즉, 지형면에 대한 고도와 경사도의 분포 특성에 대해 정량적 자료를 바탕으로 논의가 가능하며, 이는 연구의 객관성을 향상시키는데 많은 도움을 줄 것이다.

문제점으로는 지질별로 표본지역을 선정하여 최적분류기준을 추출하여야 한다는 것이다. 지질이 다른 경우, 한 지역에서 설정된 분류기준을 다른 지역에 그대로 적용하는데는 무리가 있으므로, 그 지역의 지질 특성에 맞는 최적분류기준을 각각 설정해야 할 것이다.

다음으로, 곡저평야의 오류를 본 연구에서 제안

한 GIS 기법에서는 제거할 수 없다는 점이다. 최적 분류기준의 부합율과 연구지역 전체의 부합율을 낮추는 외부 오류율의 대부분이 곡저평야가 해안단구 지형면에 포함되었기 때문이다. 비록 지형학자는 쉽게 구분할 수 있지만, 객관적인 기준을 적용하여 제거할 수 있다면 부합율을 상당히 높일 수 있다. 추후 연구에서는 곡저평야를 해안단구 지형면과 구분할 수 있는 GIS 기법의 개발이 요구된다.

6. 결론

본 연구는 해안단구가 전형적으로 분포하고, 분석에 필요한 선행연구 자료가 충분히 축적된 동해안 감포 지역을 대상으로 하여, GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류 기법을 제시하고, 제시된 기법에 대한 해안단구 지형연구에 있어서의 효용성과 문제점을 검토하였다. 이를 위하여, DEM생성, 분류요인 선정, 최적분류기준 설정과 적용, 부합율과 오류율의 검토 과정을 거쳤다. 분류요인은 경사도와 고도로 선정하였으며, 최적분류기준은 지형면별 특성을 바탕으로 다양한 기준의 CASE를 설정·적용한 후, 지형면 별 부합율이 가장 높은 CASE로 정하였다. 최적분류기준은 연구지역 전체에 적용하여 부합율 및 오류율과 상대부합율을 검토하였다.

본 연구로, GIS를 이용한 해안단구 지형면 분류 기법에 대한 효용성과 해안단구 지형면 특성이 지질의 영향을 많이 받음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제시된 기법의 효용성은 다음과 같다. 첫째로, 예비 해안단구 지형면 분류도를 제공함으로써 지형학자에게 항공사진판독의 부담을 덜어주고, 야외조사를 위한 중요한 기초자료를 제공할 수 있다. 둘째로, 내부오류면의 검토를 통하여 선행연구에 있어서 상대적으로 소축척인 1:20,000이나 1:25,000 자료에서 분류해 내기 어려운 개석곡에 의한 오류를 보정할 수 있다. 셋째, 연구 과정 및 결과에 대한 정량적 자료를 제공할 수 있어 연구의 객관성을 높일 수 있다.

해안단구 지형면 특성에 있어서 지질의 영향은 최적분류기준에 의해 분류된 해안단구 지형면의 형태가 가곡천을 경계로 대조적이며, 부합율 및 상대부합율에서도 대조적으로 나타남을 통하여 확인

하였다. 즉, 침식에 대한 저항력이 강한 석영반암으로 된 가곡천의 북쪽에서는 지형면의 규모가 크고 연속성이 양호하며 곡저평야의 면적도 좁아 부합율이 상대적으로 높게 나타나는 반면, 화강암으로 된 가곡천 남쪽의 지형면은 개석을 심하게 받았고, 곡저평야가 넓어 부합율이 상대적으로 매우 낮다. 이러한 점은, 표본지역에서 추출된 최적분류기준은 석영반암과 이와 유사한 침식에 대한 저항력을 갖는 암석으로 된 지역에서 해안단구 지형면을 찾아내는데 유효한 기준이 될 수 있으나, 침식에 대한 저항력이 다른 지질로 된 지역에 적용하는 것은 무리가 있음을 의미한다.

한편, 연구 결과에서 확인된 대표적인 문제점은 곡저평야의 지형면으로 분류되는 오류이다. 이는 최적분류기준의 부합율 뿐만 아니라, 최적분류기준을 적용하여 얻은 지형면 분류도의 부합율까지 낮추는 원인이 되고 있다. 따라서, 곡저평야로 인한 오류를 제거할 수 있는 기법 개발에 대한 추후 연구가 뒤따라야 할 것이다.

註

- 1) DEM은 등고선과 같은 원자료의 내삽(interpolation)에 의해 생성된다. 그러나, 내삽방법에 따라 단구화 현상(terrace effect), 경사도 줄무늬 현상(tiger trip) 등과 같은 오류가 발생할 수 있다. 또한, 해안단구면이나 단구애의 기복이 0.5~15m까지 나타나기 때문에, 1:5,000 수치지형도에서 DEM을 생성할 경우 유효격자 크기 이하의 작은 격자크기를 필요로 한다. 박한산 · 윤순옥 · 황상일(1999)은 이러한 문제점을 보완하기 위하여 1:5,000 수치지형도를 기초자료로 하여 DEM을 생성할 때 발생할 수 있는 오류와 보완 기법을 제안하였다. 주요 문제점으로는 ① 능선 및 계곡의 평탄화, ② 저밀도 등고선, ③ 경사도의 분절 현상, ④ 경사도 최소 단위 한계를 지적하였으며, 보완 기법으로 능선 및 계곡의 평탄화를 제거할 수 있는 IBL 기법, 저밀도 등고선의 문제점을 보완하기 위한 SC 기법, 경사도 분절 현상을 완화시킬 수 있는 중첩경사도 기법, 그리고, 경사도 최소 단위를 감소시키기 위한 정밀경사도 기법을 제안하였다. 제안된 기법들은 해안단구 지역에 적용하여 기술적 통계를 통하여 비교·검증하였으나, 다소 GIS 소프트웨어에 종속적이며 다양한 검증방법으로 객관성 확보가 필요하다. 그러나, 해안단구 연구 특성을 고려한 보완기법으로 이를 적용하지 않은 DEM보다는 정확도 및 정밀도에서 조금이라도 향상되었다고 볼 수 있다. 따라서, 본 연구의 첫 번째 단계는 위의 네가지 보완기법을 적용하여 DEM을 생성하였

- 다. 분석에 사용될 GRID의 격자(cell, pixel) 크기는 2m이며, 고도 자료의 최소단위는 0.01m 이고, 경사도의 최소단위는 0.01°이다.
- 2) 왜곡도(歪曲度, skewness): 분포유형의 비대칭정도를 측정하는 지표로 -3에서 +3까지의 값을 가진. 정대칭형분포일 경우 0이 되며, 0.25이면 왜곡도가 미미하다고 할 수 있음.
정규성(定規性, normality): 정규분포와 일치정도. 정규분포일때 왜곡도는 0, 첨도는 3이 됨.
- 3) 고위면의 최적분류기준 CASE5의 부합율이 58.52%(표 5)이고, 최적분류기준을 연구지역에 적용한 부합율이 44.90%(표 6)이므로, 최적분류기준에 대한 상대부합율은 $44.90 / 58.52 = 0.7673$ (76.73%)가 된다.

文 獻

- 권혁재, 1994, 지형학(제3판), 법문사, 서울.
- 김원주 · 박종화 · 김원명, 1998, "멧돼지 서식지 적합성 분석 모형 개발 : 점봉산, 설악산 지역을 대상으로," 한국GIS학회논문집, 6(2), 247-256.
- 나종화 · 김정숙, 2000, S-PLUS 사용법 및 프로그래밍, 자유아카데미, 서울.
- 류승택 · 안충현 · 윤경현, 1998, "지형 단면을 이용한 의미점 추출에 관한 연구," 한국지형공간정보학회논문집, 6(2), 133-141.
- 박한산 · 윤순옥 · 황상일, 1999, "해안단구의 지형분석을 위한 DTM 보완 기법 개발," 지리학총, 27, 55-76.
- 신진민 · 이규석, 1999, "GIS Software를 이용한 한국 산악 지형의 경사도 산출 정확도에 관한 연구 -원자료의 등고선 간격과 해상력을 중심으로-", 한국GIS학회지, 7(1), 1-12.
- 윤순옥 · 황상일 · 정혜경, 1999, "韓國 南東海岸 甘浦 羅亭里-大本里의 海岸段丘 地形發達," 한국지형학회지, 6(2), 99-119.
- 이희연, 1989, 지리계량학, 법문사, 서울.
- 이희연, 2000, "공공시설물 입지선정에 있어서 다기준평가기법의 활용에 관한 연구," 대한지리학회, 35(3), 437-454.
- 정승현 · 임승현 · 김태근 · 주기성, 1997, "공항입지 선정에 있어서 GIS의 활용에 관한 연구," 한국지형공간정보학회논문집, 5(1), 21-40.
- 정혜경, 1999, "한국 남동해안 감포일대 해안단구의 지형분석과 GIS의 활용," 경희대학교 대학원 석사학위논문.
- 황상일 · 윤순옥, 1996, "한국 동해안 영덕 금곡지역 해안단구의 퇴적물 특성과 지형발달," 한국지형학회지, 3(2), 99-114.
- 황상일 · 정혜경 · 윤순옥, 2000, "경주 감포지역 해안단구의 지형면분석을 위한 GIS의 적용," 한국지리정보학회지, 3(2), 48-60.
- 황철수 · 구자용, 1999, "국가 수치지형도를 이용한 DEM 생성," 대한지리학회지, 34(3), 319-336.
- 5萬分の1 地質圖幅「朝陽」, 朝鮮總督府地質調査所(1924).
- Bonham-Carter, G. F., 1994, *Geographic Information System for geoscientists: modelling with GIS*, PERGAMON, New York.
- Bruce, E. D., 1996, *GIS: A Visual Approach*, ONWORD, New Mexico.
- Burrough, P. A. and McDonnell, R. A., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*, OXFORD, New York.
- Carrara, A., Bitelli, G. and Carla, R., 1997, Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines, *International Journal of Geographical Information Science*, 11, 451-473.
- Johansson, M., 1999, Analysis of digital elevation data for palaeosurfaces in south-western Sweden, *Geomorphology*, 26, 279-295.
- Takashi Oguchi, 1996, Factors affecting the magnitude of post-glacial hillslope incision I Japanese mountains, *Catena*, 26, 171-186.

(2001년 8월 2일 접수)