

Note

낙동강 하구 해안선변화 연구를 위한 모자이크 항공사진의 구축

김백운^{1*} · 김부근² · 이상룡²

¹군산대학교 새만금환경연구센터
(573-701) 전라북도 군산시 미룡동 산 68
²부산대학교 자연과학대학 해양학과
(609-735) 부산시 금정구 장전동 산 30번지

Development of Mosaic Aerial Photographs for Shoreline Change Study in Nakdong Estuary

Baek-Oon Kim^{1*}, Boo-Keun Khim², and Sang-Ryong Lee²

¹SERC, Kunsan National University
Kunsan 573-701, Korea

²Department of Marine Sciences, College of Natural Science
Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Abstract : This paper presents a method for obtaining mosaic aerial photographs that are useful for a long-term shoreline change study in the Nakdong estuary. Although this method involves digital photogrammetry software off the shelf, its usage can be simplified to accommodate the shoreline change study. Ground control points, which are common in aerial photographs, were measured from digital maps. Block triangulation was highly affected by land-based GCPs. Extension of tie points near the shoreline to vertical control points gave more reliable results for the block triangulation. A constant Digital Elevation Model (DEM), close to mean sea level, was employed to produce ortho-rectified photographs, from which mosaic photographs were made. Accuracy of photographs were found to be acceptable for the analysis of long-term shoreline change, and the promising construction of a shoreline change database in the Nakdong estuary.

Key words : 모자이크 항공사진(mosaic aerial photograph), 해안선변화(shoreline change), 항공삼각측량(triangulation), 낙동강하구(Nakdong estuary)

1. 서 론

낙동강 하구는 우리나라에서 유일한 삼각주 지형을 보이는 연안환경이며, 특히 다양한 생물들의 서식처와 철새 도래지를 제공함으로써 천연보호구역으로 지정되어 있다. 지난 수십 년 동안 부산항이 국제무역 중심지로 발전함에 따라 녹산공단, 하구둑, 신항만 건설 등 대규모 연안개발이 낙동강 하구 연안역에서 이루어진 결과 낙동강 하구의

자연환경은 급격하게 변하였다(이 등 1999; 김과 하 2001).

삼각주 하구의 퇴적환경은 하천으로부터 공급되는 퇴적물의 양, 조석과 입사파랑의 해수유동 작용 등에 의하여 지배된다(Wright 1985). 퇴적환경의 평형상태는 인위적인 해안선의 형성에 의하여 교란될 수 있으며 이로부터 지형변화가 초래된다. 이러한 지형변화는 조위변화, 하천수 유출문제, 항로매물 및 하구 생태계 변화 등 여러 가지 환경문제의 직접적인 원인이다. 따라서 친환경적 연안개발을 위해서는 체계적인 연안관리와 환경영향평가가 요구되며, 이를 위한 기초자료로서 과거의 지형변화(해안선변화)에

*Corresponding author. E-mail : bkim@kunsan.ac.kr

대한 자료구축이 필요하다.

일반적으로 축척 1:20,000(지상영역 4 km×4 km) 또는 그 이상의 항공사진이 장기적인 해안선변화 연구에 사용된다. 낙동강 하구의 일부분에서 이루어진 연안개발은 국지적인 해안선뿐만 아니라 멀리 떨어진 해안선(예를 들면, 울타리섬)에도 영향을 미치기 때문에 낙동강 하구 전체가 하나의 연안환경 시스템으로 파악되어야 한다. 지상거리 10 km가 넘는 낙동강 하구의 해안선을 도화하기 위해서는 여러 경로(strip)로 중첩되어 촬영된 항공사진 블록(block)으로부터 모자이크 항공사진이 제작될 필요가 있다. 사진측량학적 관점에서 항공사진 블록의 장점은 단일 항공사진 보다 적은 수의 지상기준점으로 항공사진 표정(orientation)을 수행할 수 있다는 것이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 지상기준점(GCP)은 육지에 편재하고 있으며, 더구나 시간적으로 변하지 않은 지상기준점을 발견하기는 쉽지 않다. 블록 항공삼각측량(triangulation)은 중첩된 항공사진의 접합점(tie point)을 항공사진 표정에 이용하기 때문에 이러한 지상기준점의 부족과 육지편중 분포의 문제점을 극복할 수 있다(Thieler and Danforth 1994a).

단일 항공사진을 이용한 해안선변화 연구(조 등 2001; 정 등 2004)에 비하여 모자이크 항공사진을 이용하는 연구(최 등 2005)는 최근에 가능하게 되었다. 이것은 컴퓨터와 주변기기 그리고 수치사진측량(소프트카피 사진측량) 분야의 발전에 힘입은 바 크다(이 등 2000; Moore 2000). 본 연구는 상용화된 수치사진측량 소프트웨어를 활용하여

1975년과 2001년 항공사진으로부터 낙동강 하구의 모자이크 항공사진을 제작하고 이에 대한 정확도를 제시하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 항공사진 분석방법은 소규모 연구실에서 저렴한 비용으로 운용될 수 있는 것이며, 해양학자, 연안공학자 등이 항공사진과 수치지도 자료만으로 해안선변화 정보를 획득할 수 있는 방법이다.

2. 모자이크 항공사진 제작

본 연구에서 Leica Geosystems사의 Leica Photogrammetry Suite(LPS)의 핵심(core) 소프트웨어(Leica Geosystems, 2003)를 사용하여 모자이크 항공사진을 제작하였다. Fig. 2는 항공사진 분석 방법의 전체적인 흐름도를 도시한 것이다. 항공사진, 지상기준점 및 DEM 등 외부 입력 자료와 LPS의 작업과정을 구분하여 기술하고자 한다.

입력자료

항공사진

본 연구는 1975년과 2001년에 국토지리정보원에서 낙동강 하구의 육상연안과 울타리섬 지역을 촬영한 1:20,000 항공사진을 이용하였다. 항공사진의 촬영경로는 연도별로 동일하지 않았다(Fig. 1). 따라서 항공사진 블록은 연도별로 다른 코스와 매수의 항공사진들로 구성되었다(Table 1).

항공사진은 Panasonic사의 KV 시리즈 고속 스캐너를

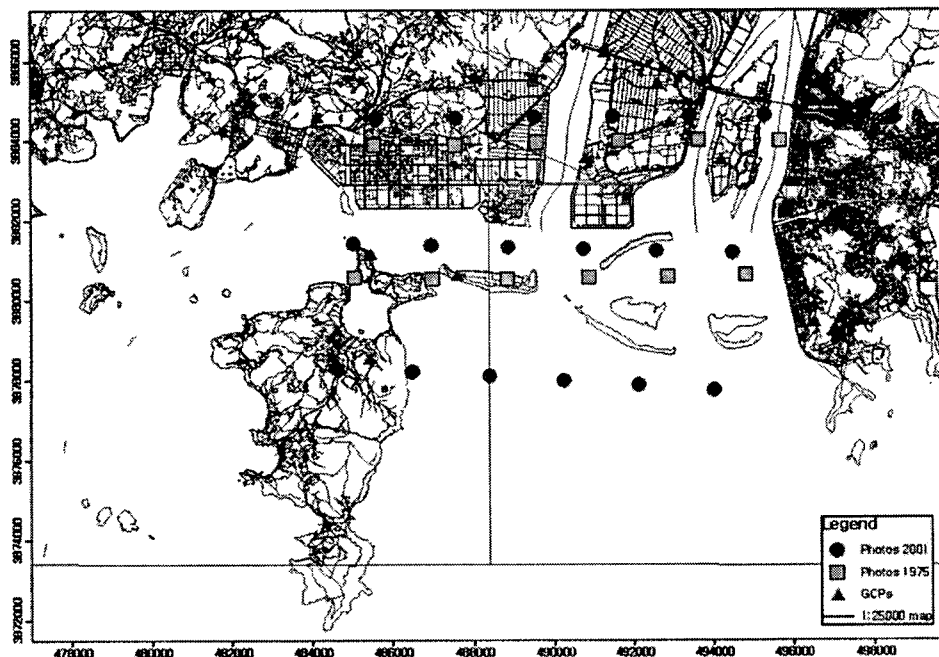


Fig. 1. Map showing study area, positions of aerial photographs and GCPs.

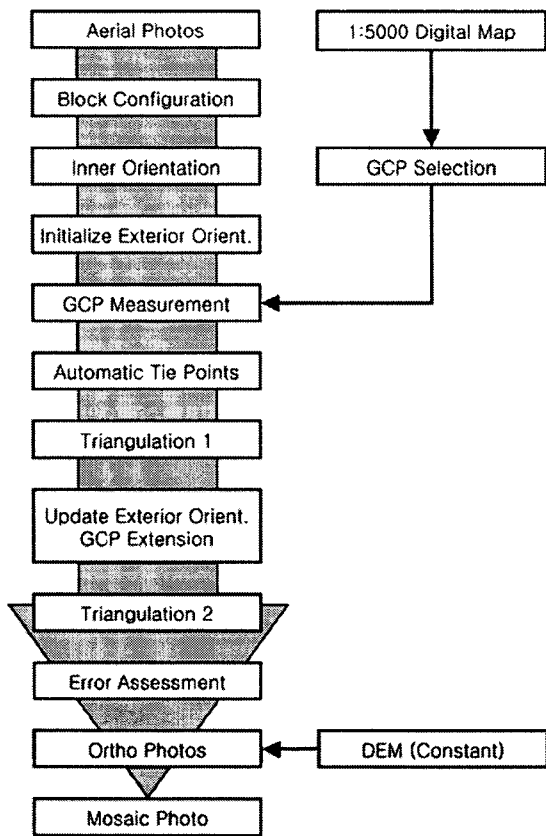


Fig. 2. Flowchart of method.

이용하여 수치영상으로 변환되었다. 해상도는 600 dpi로서 수치영상화소(pixel)의 크기는 약 42 μm이다. 수치영상

은 무손실(unformatted) TIFF 파일 형식으로 저장하였다.

지상기준점

일반적으로 지상기준점은 지도, 야외조사, 측지기준점 표(geodetic control table) 등에서 획득된다. 지도에서 구한 지상기준점을 2차적인 또는 부가적인 지상기준점(secondary or supplemental control point)이라고 한다(Thieler and Danforth 1994a). 본 연구에서는 국토지리정보원 발행 1:5,000 수치지도 20장을 이용하였다(Table 2). 1:5,000 수치지도(Fig. 3)는 1:25,000 수치지도(Fig. 1)와 달리 울타리섬 해역에 대한 지형정보를 제공하지 않고 있다. 두 종류의 수치지도는 국가좌표변환계수(국토지리정보원 고시 제2003-497호, 2003)에 준하여 WGS84 UTM 좌표계로 변환되었다(Table 2).

지상기준점은 1975년과 2001년 항공사진을 비교하여 시간적으로 변하지 않은 도로의 교차점, 건물 모서리 등을 대상으로 총 18점을 선정하였다. 수치지도에서 3차원의 지상좌표값이 명시된 지상기준점(full GCP)은 15점, 2차원의 평면좌표값을 가지는 것(horizontal GCP)은 3점이었다. 지상기준점은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 주로 육상에 분포하고 있으며, 울타리섬에서는 오직 하나의 지상기준점이 발견되었다.

DEM

항공사진은 지형 고저차에 의한 기복변위(relief displacement)가 있으며, 이를 보정하기 위해서는 수치표고모형(Digital Elevation Model; DEM)을 필요로 한다. DEM은

Table 1. Information on aerial photographs.

Year title	Course No.	Photo No.	Total No. of photos	Camera	Focal length	Data strip
1975	18	18~23	12	N/A	N/A ¹⁾	N/A ²⁾
Kyungsang	19	17~22				
2001	24	18~23	18	WILD UAG-F	152.85 mm	Available
Busan	25	17~22				
	26	8~13				

¹⁾Default value of WILD camera, 153.23 mm, is used.

²⁾ $\kappa = 0^\circ$ is applied to all photographs.

Table 2. Information on digital maps.

Scale	Title	Number	Coordinate	Transformed coordinate
1:25,000	Dongsun 358163 Dadae 358164	2	Tokyo TM	
1:5,000	35816053~35816059 35816063~35816069 35816073~35816075 35816079 35816083 35816084	20	GRS80 TM	WGS84 UTM

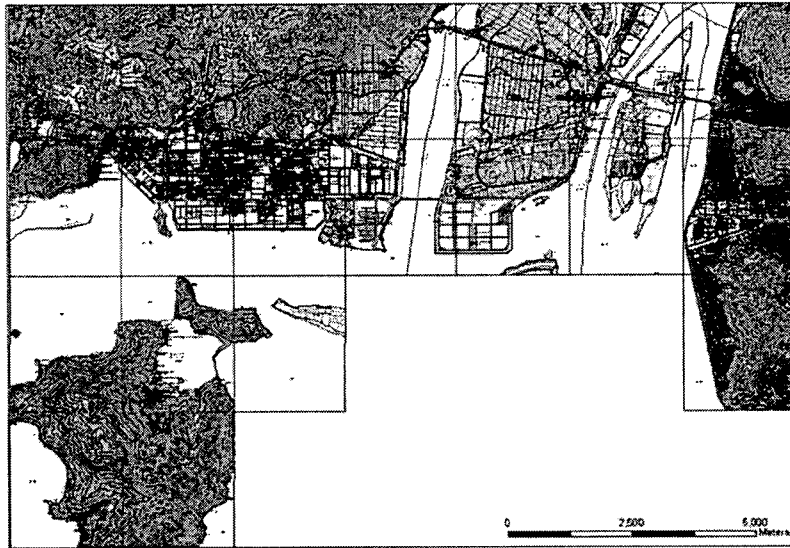


Fig. 3. 1:5,000 digital map of study area.

수치지도 또는 항공사진의 입체사진으로부터 작성될 수 있다(Moore 2000; 최 등 2005). 그러나 본 연구지역은 장기간에 걸쳐 지형변화가 급격하게 발생하였기 때문에 어느 한 시기에 존재했던 지형에 근거하여 작성된 수치지도로부터 만들어진 DEM은 모든 년도의 항공사진에 동일하게 적용될 수 없다. 또한, 년도별 항공사진을 이용하여 DEM을 제작하는 경우에도 조간대 지역, 울타리섬과 같이 고도 정보가 충분하지 못한 지형에 대하여는 높은 수준의 정확도를 확보하기 어렵다. 게다가 본 연구의 주 목적은 정확한 지형도 제작 보다는 해안선 추출에 있으므로 복잡한 DEM 제작 대신 해안선 고도 또는 평균해면과 같은 상수를 사용하는 것이 효율적이라고 할 수 있다(Thieler and Danforth 1994a; 조 등 2001).

본 연구에서 DEM은 임의의 상수로서 1m를 사용하였다. 이러한 DEM이 적용된 정사항공사진은 모든 지형에 대한 기복변위가 제거된 것이 아니다. 특히 육상의 산지 지형에 대한 기복변위는 매우 크게 나타날 수 있기 때문에 산지 지형 정보의 이용에는 한계가 있다. 반면 평균해면을 0m라고 가정할 때, 이로부터 수 미터 정도의 고도차를 가지는 해안선 및 울타리섬 지형에 대한 기복변위는 미미할 것으로 생각된다.

LPS 작업 과정

LPS의 작업은 수치영상을 입력하고, 좌표계, 카메라 정보 등 항공사진 블록의 특성을 설정하면서 시작되며 최종으로 모자이크 항공사진을 출력한다. 모자이크 항공사진의 제작과정은 연구의 목적과 정확도 수준에 따라 다양하게 구성될 수 있다. 여기에 해안선변화 연구를 위한 모자

이크 항공사진 제작과 관련하여 LPS의 편리한 기능과 중요한 사항을 기술한다.

외부표정변수 초기화

항공사진 블록의 표정에서 카메라 노출점의 지상좌표값과 회전각에 대한 근사값이 요구된다. 카메라 노출점은 항공사진 촬영 당시의 항법시스템 자료를 이용하거나, 항공사진의 주점 위치를 지도에서 추출하여 사용한다. 그러나 본 연구지역과 같이 항공사진의 주점이 바다에 위치하는 경우에는 주점에 대한 명확한 지형지물이 정의되지 못하므로 외부표정변수의 근사값을 지도에서 구할 수 없다(Fig. 1).

외부표정변수의 근사값 대신 항공사진의 상대적인 위치를 사용할 수 있다. 항공사진의 축척, 초점거리, 촬영고도, 필름의 크기 및 항공사진의 중복도(overlap)를 이용하여 상대적인 외부표정변수의 초기값을 산정할 수 있다. 2001년 항공사진 블록에 대한 외부표정변수의 초기값을 Table 3에 제시하였다. 항공기의 진행 방향과 관련된 지표 방향은 카메라의 회전각 k 를 결정한다. 그러나 1975년의 항공사진에서는 이러한 지표방향에 대한 정보가 누락되어 있기 때문에(Table 1 참조) 회전각 k 의 값을 모두 0°로 입력하였다.

접합점 자동추정

항공사진 블록은 접합점을 항공삼각측량에 활용할 수 있다. LPS에는 지상기준점과 외부표정변수의 초기값으로 접합점을 자동으로 추출하는 영상처리 기능이 있다. Fig. 4는 1975년과 2001년 항공사진 블록에서 항공사진 1매당

Table 3. Initialization of exterior orientation.

Photo (course-No.)	Orientation of image coordinate	X _o (m)	Y _o (m)	Z _o (m)	ω ($^{\circ}$)	ϕ ($^{\circ}$)	κ ($^{\circ}$)
24-18	Left+X	0	0	3040	0	0	180
24-19	Left+X	1828	0	3040	0	0	180
24-20	Left+X	3656	0	3040	0	0	180
24-21	Left+X	5484	0	3040	0	0	180
24-22	Left+X	7312	0	3040	0	0	180
24-23	Left+X	9140	0	3040	0	0	180
25-17	Right+X	0	-3200	3040	0	0	0
25-18	Right+X	1828	-3200	3040	0	0	0
25-19	Right+X	3656	-3200	3040	0	0	0
25-20	Right+X	5484	-3200	3040	0	0	0
25-21	Right+X	7312	-3200	3040	0	0	0
25-22	Right+X	9140	-3200	3040	0	0	0
26-08	Right+X	0	-6400	3040	0	0	0
26-09	Right+X	1828	-6400	3040	0	0	0
26-10	Right+X	3656	-6400	3040	0	0	0
26-11	Right+X	5484	-6400	3040	0	0	0
26-12	Right+X	7312	-6400	3040	0	0	0
26-13	Right+X	9140	-6400	3040	0	0	0

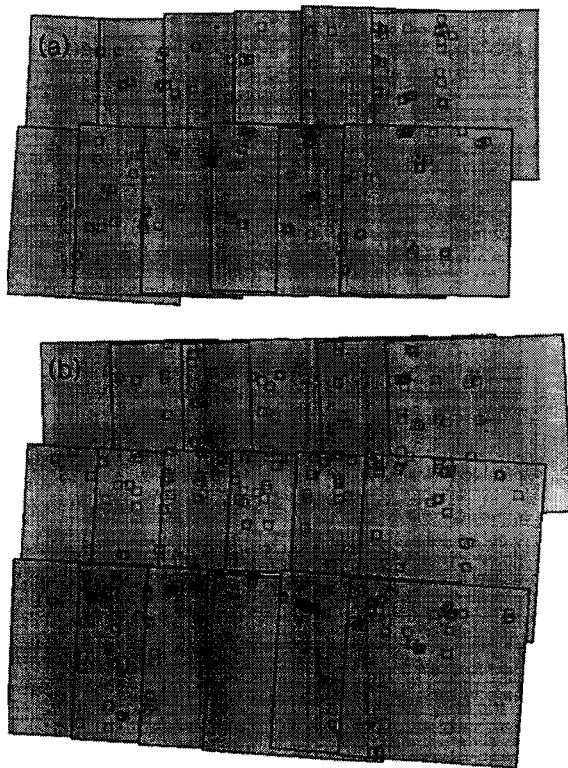


Fig. 4. Distribution of tie points in the block of aerial photographs: (a) 1975, (b) 2001.

15점의 접합점이 추출되도록 한 접합점 자동추정 결과를 도시한 것이다. 1975년 블록에서 접합점은 약 180개로서 접합점 요구량을 충족하였으나, 2001년 블록에서는 요구

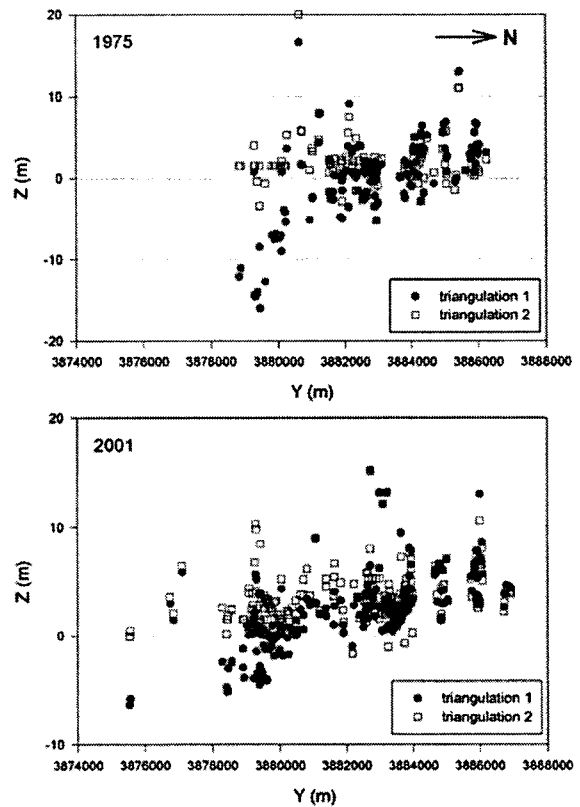


Fig. 5. Ground coordinates of tie points calculated after triangulation 1 and 2.

량 270개에 미치지 못하는 240개의 접합점이 추출되었다. 이는 3번째 코스의 일부 항공사진에서 접합점의 요구량이

충족되지 못한 것에 기인한다(Fig. 4b). 이러한 항공사진은 주로 바다가 포함된 것으로서 접합점을 생성해 줄 지형지물이 존재하지 않기 때문이다.



Fig. 6. Configuration of ortho-rectified aerial photographs.

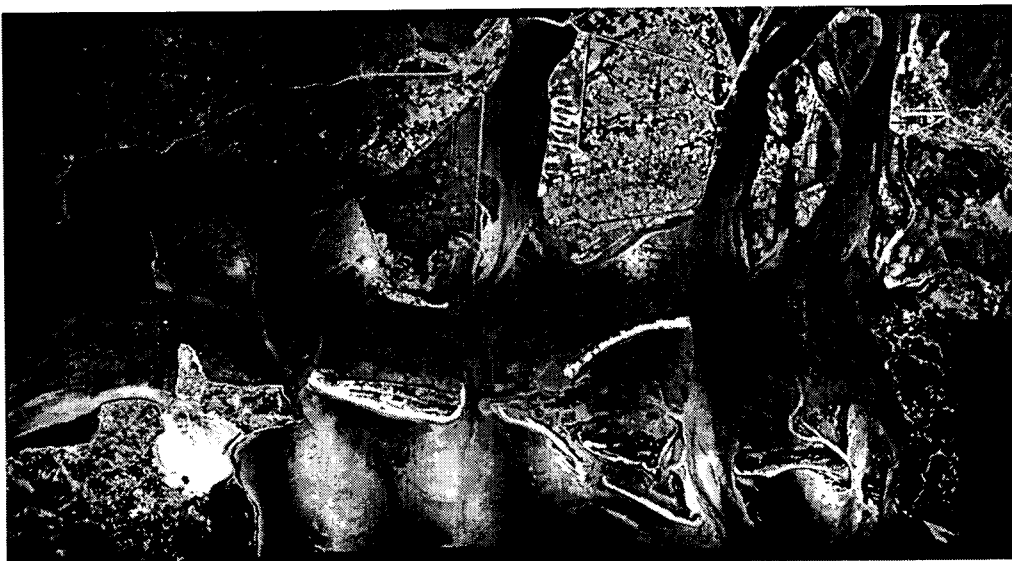


Fig. 7. Mosaic aerial photograph, 1975.

항공삼각측량

본 연구에서 항공사진 블록의 절대표정을 위하여 2차례의 항공삼각측량을 수행하였다. 1차 항공삼각측량은 지상기준점과 접합점을 사용하여 항공사진의 외부표정변수와 접합점의 지상좌표값을 계산한다. Fig. 5는 고도값이 20 m 이하인 접합점 분포를 도시한 것이다. 1975년과 2001년도에서 접합점의 고도는 북(육지)에서 남(바다)쪽 방향으로 감소하는 경향이 있으며, 특히 남측에서의 고도는 평균해면 이하로서 음의 값을 가진다. 이러한 음수는 울타리섬과 조차가 2 m 정도인 조간대 지형을 나타내기에는 비현실적이다. 이는 항공사진 블록에서 지상기준점이 육상에 편재한 까닭에 항공사진의 수평면이 북에서 남쪽으로 경사지게 해석된 결과이다. 이를 보완하기 위하여 울타리섬의 고조선(high water line) 근처에 분포한 접합점을 수직좌표값만 가지는 지상기준점(vertical GCP)으로 변환하였다. 수직 좌표값은 1.5 m로 입력하였다.

2차 항공삼각측량은 1차에서 계산된 외부표정변수와 확장된 지상기준점을 사용하여 항공사진의 표정을 수행한다. 이 결과, 접합점 고도 분포의 경향이 어느 정도 제거된 것을 볼 수 있다(Fig. 5).

모자이크 항공사진

항공삼각측량으로 획득된 외부표정변수와 DEM을 이용하여 항공사진은 정사항공사진으로 변환되었다(Fig. 6). 항공사진을 정사항공사진으로 재배열하는 과정에서 수치영상 화소의 크기는 지상좌표를 기준으로 1.5 m로 정하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 LPS의 모자이크 틀에 의하여 정사항공사진이 합성된 모자이크 항공사진을 도시한 것이다.



Fig. 8. Mosaic aerial photograph, 2001.

3. 모자이크 항공사진의 정확도

본 연구에서 모자이크 항공사진의 정확도는 두 가지 방법으로 파악되었다. 첫째, LPS에서 제공하는 항공삼각측량의 오차분석 결과를 이용하는 것(Thieler and Danforth 1994b)으로서 Table 4에 3종류의 오차분석 결과를 제시하였다. 표준오차는 총 영상단위가중치 RMS 오차(total image unit-weight RMSE)로서 상좌표의 잔차와 지상좌표의 잔차에 근거한 영상좌표 단위가중치의 표준편차를 나타낸다. 이는 항공삼각측량 해의 전체적인 품질을 지시한다. 일반적으로 단위가중치의 표준편차가 감소할수록 관

측치의 잔차가 작다는 것을 의미한다. 1975년과 2001년도에서 2차 항공삼각측량의 표준오차가 1차에 비하여 감소한 것을 보여주었다. 이와 달리 지상기준점의 RMS 오차와 정확도 산정에 대해서는 1차와 2차의 항공삼각측량에서 별다른 차이가 없었다. 연도별 항공사진에서 지상좌표의 오차는 0.5~1.5 m의 범위에 있는 것으로 판단된다.

두 번째 방법은 연도별 항공사진에서 동일한 영상 접합점에 대한 지상좌표 계산값을 상호 비교하는 것이다. 1975년과 2001년도 항공사진에서 시간적으로 변하지 않은 진우도 북측점과 진우도 남측점(Fig. 9)은 1:5,000 수치지도에서 지상좌표값이 미지인 접합점이다. 이들 접합점

Table 4. Summary of error analysis for various triangulation parameters.

Category	Ground coordinate	1975		2001	
		Triangulation		Triangulation	
		1	2	1	2
Standard error (pixel)		0.52	0.46	0.66	0.57
RMSE of GCPs (m)	X	0.83	1.04	0.73	1.46
	Y	1.15	1.05	0.62	0.91
	Z	0.66	0.63	0.65	0.87
Estimated accuracy of GCPs and tie points (m)	X	0.48	0.55	0.51	0.66
	Y	0.52	0.58	0.55	0.68
	Z	1.25	1.05	1.19	1.05

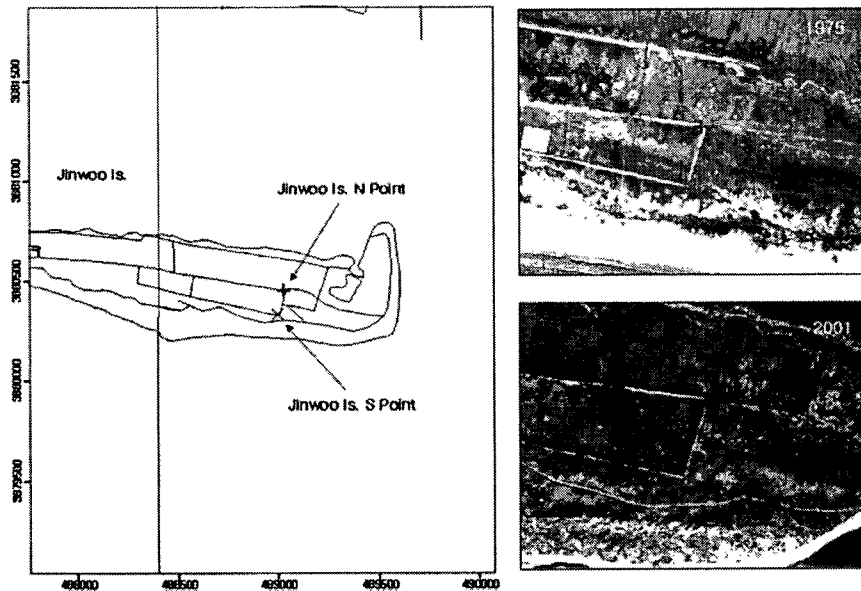


Fig. 9. Location of two unknown tie points both in 1:5,000 digital map and aerial photographs.

Table 5. Comparison of calculated ground coordinates of unknown tie points.

ID	Year	Triangulation	X (m)	Y (m)	Z (m)
Jinwoo Is. N point	1975	T1	489037.47	3880460.87	-4.14
		T2	489037.87	3880461.74	1.15
		T1 - T2	0.40	0.87	5.29
	2001	T1	489041.24	3880461.50	0.34
		T2	489042.20	3880461.53	2.68
		T1 - T2	0.96	0.03	2.34
1975 T2 - 2001 T2			5.20	0.21	1.53
Jinwoo Is. S point	1975	T1	489002.56	3880333.04	-3.90
		T2	489002.95	3880333.93	1.63
		T1 - T2	0.39	0.85	5.53
	2001	T1	489005.01	3880333.43	0.20
		T2	489005.87	3880333.22	2.99
		T1 - T2	0.86	0.21	2.79
1975 T2 - 2001 T2			2.92	0.71	1.36

에 대한 지상좌표값을 Table 5에 제시하였다. 동일년도에서 1차와 2차 항공삼각측량 결과 평면좌표값(X, Y)의 차이는 1 m 이내인 반면 고도값 차이는 2.3~5.5 m 범위를 보였다. 특히 1975년의 경우 고도값이 음에서 양으로 변하였다. 이것은 접합점의 고도 분포(Fig. 5) 변화와 일치하는 결과라고 할 수 있다. 한편 년도간의 지상좌표값을 비교할 경우 X 좌표값이 3~5 m의 차이를 보였으며, Y와 Z 좌표값의 차이는 최대 1.5 m 정도였다.

4. 해안선변화

1975년과 2001년 모자이크 항공사진으로부터 울타리섬

해안선을 추출하여 1:25,000 수치지도에 도시하였다(Fig. 10). 수치지도의 울타리섬 해안선은 1987년의 항공사진에서 보이는 울타리섬 지형과 유사하기 때문에 1987년의 해안선으로 간주하였다. 본 연구에서 해안선은 고조선을 따라 추출되었다(Crowell et al. 1991). 신자도와 도요등과 같은 울타리섬과 진우도의 남측 해안은 주로 급경사의 해변이 발달하고 있기 때문에 고조선은 비교적 쉽게 인식이 되었다. 그러나 장자도와 백합등과 같은 울타리섬과 진우도의 북측 해안은 경사가 완만한 조건대 지역에 있으며, 식생이 발달하고 있기 때문에(이 등 1999) 고조선을 뚜렷하게 인식할 수 없었다. 따라서 본 연구에서 장기간의 해안선변화 파악은 해변의 발달이 우세한 진우도, 신자도 및

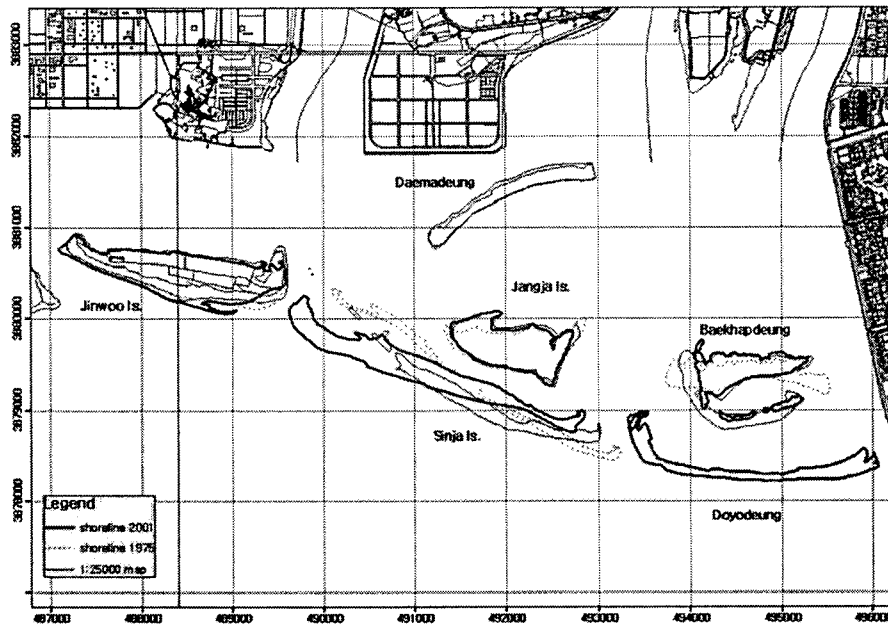


Fig. 10. Map showing barrier island shorelines in 1975 and 2001. Shorelines of Daemedeung as well as a new island appeared in the northern part of Baekhapdeung in 2001 are excluded.

도요등의 해안선에 한정하였다.

Fig. 10에 도시된 바와 같이 진우도의 해안선변화는 뚜렷하지 않은 반면 신자도와 도요등의 변화는 매우 크게 나타난다. 신자도는 1975년에 두개의 섬으로 분리되어 있다가 1987년부터 하나의 섬으로 합쳐진 형태를 보인다. 이러한 과정에서 신자도의 서측 해안선은 바다쪽으로(남서방향) 전진하였고 동측 해안선은 육지쪽으로(북서방향) 후퇴하였다. 전체적으로 신자도의 중심을 기준으로 반시계방향으로 회전한 양상을 보인다. 이러한 해안선변화의 규모는 약 30년에 걸쳐 500 m 이상인 것으로 관측된다. 백합등 남측에 발달한 도요등은 1987년까지 존재하지 않았음을 보여준다. 1993년 항공사진을 참조하면 도요등의 위치에 소규모의 울타리섬들이 나타나기 시작하였다. 이로 미루어 도요등의 출현시기는 1993년 이전으로 판단된다.

5. 토 의

장기간 해안선변화 연구와 관련하여 대상 연안의 규모와 정확도 수준에 따라 다양한 항공사진해석 방법이 소개되어 왔으며 현재까지 표준화되어 있지 않다(Moore 2000). 본 연구에서 제시한 모자이크 항공사진 제작 방법은 Moore(2000)에서 분류된 최고 수준의 분석방법인 소프트웨어 사진측량의 방법과 유사하다. 그러나 비전문인이 해안선변화 자료를 간편하게 획득할 수 있도록 외부표

정변수 초기화 및 상수 DEM과 같이 작업 모듈을 단순화한 것과 고가의 항공사진전용 장비 대신 저렴한 장비를 사용한 것에서 차이가 있다. 또 다른 특징은 자동추출된 접합점 중 해안선 근처에 있는 접합점을 수직적인 지상기준점으로 확장하여 항공삼각측량을 수행한 것이다. 이러한 방법으로 육지편중 지상기준점의 문제가 보완될 수 있음을 보여주었다.

본 연구에서 제작된 모자이크 항공사진의 정확도는 장기간의 해안선변화를 파악하기에는 충분한 수준이라고 평가할 수 있으나, 일반적인 지형도 제작에서 요구되는 수준에 비하여 떨어지는 것은 사실이다. 그러나 정확도 하락의 주 원인이 작업의 단순화와 일반용장비의 사용에 있다고 볼 수 없다. 우선 장기간의 해안선변화 연구에 사용되는 항공사진자료의 품질에는 불가피한 문제점이 있다. Table 1에 제시된 바와 같이 1975년도의 항공사진은 2001년도와 달리 카메라 정보, 초점거리, 사진의 방향을 지시하는 data strip과 같은 정보가 누락되어 있다. 이로 인하여 내부표정과 영상좌표 오차가 일반적으로 허용될 수 있는 영상화소 크기의 1/2(약 20 μm) 보다 크게 발생할 수 있다.

모자이크 항공사진 정확도의 수준 향상과 관련하여 주목할 점은 지상기준점의 분포 양상과 품질이다. 낙동강 하구의 경우 장기간에 걸쳐 시간적으로 변하지 않은 지상기준점은 많지 않으며, 더구나 육지에 편중하여 분포한다. 이러한 지상기준점 분포의 문제는 장기간의 해안선변화

연구를 위한 항공사진해석에서 일반적으로 고려해야 할 중요한 요소라고 할 수 있다(McBride et al. 1991). 이와 관련하여 항공사진 블록 구성을 위한 항공사진의 배치도 고려해야 할 사항이다. 2개의 코스로 구성된 1975년 항공사진 블록은 3개의 코스로 구성된 2001년 항공사진 블록에 비하여 해상 부분이 상대적으로 작다. 따라서 년도별 지상 기준점은 동일하더라도 지상기준점의 분포 양상에는 차이가 있다. 이러한 차이로 인하여 Table 4에 제시된 바와 같이 자료의 품질이 매우 저조한 1975년 항공사진이 2001년 항공사진 보다 약간 높은 수준의 정확도로 분석된 것으로 판단된다.

본 연구에서 추출된 해안선의 정확도에 관한 문제는 다루지 않았다. McBride et al.(1991)은 장기간의 해안선 변화 연구에서 가장 큰 오차발생 요인은 해안선 인식이라고 지적하였다. 일반적으로 항공사진에서 인식하기 가장 좋은 해안선은 고조선으로 알려져 있다(Crowell et al. 1991). 그러나 고도차가 적은 저지대 해변에서는 berm의 발달이 미약하거나 수륙경계선(water line)의 이동이 매우 크기 때문에 고조선의 구분이 어렵게 된다. 이러한 경우 수 십미터의 수평오차가 발생할 수 있다. 해안절벽으로 이루어진 해안선에서는 절벽의 상부선이 더 좋은 지시자가 될 수 있다. 경사가 매우 완만한 조간대 해역 또는 습지의 경우 수륙경계선이 사용될 수 있으며(Jimenez et al. 1997), 조차가 큰 연안환경에서는 항공사진 촬영당시의 조석 정보가 요구된다. 그러나 오래된 항공사진에서 이러한 정보가 누락된 경우가 많기 때문에 수륙경계선 대신 고조선을 사용할 필요가 있다.

6. 결 론

낙동강 하구와 같이 규모가 큰 연안환경시스템에서 장기간의 해안선변화 연구를 위해서는 항공사진 블록으로부터 모자이크 항공사진이 제작될 필요가 있다. 특히 지형변화가 매우 급격하게 이루어진 지역에서는 시간적으로 변하지 않은 지상기준점 확보와 지리적 분포 양상을 신중히 고려하여야 한다. 지상기준점의 품질은 항공사진 자료의 품질 또는 본 연구에서 단순화한 수치사진측량 방법의 적합성에 비하여 모자이크 항공사진의 정확도에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

1975년과 2001년 모자이크 항공사진은 지난 30년간 낙동강 하구 울타리섬 지형변화가 매우 뚜렷함을 보이고 있다. 항공촬영이 수행된 모든 년도에 대하여 모자이크 항공사진을 구축함으로써 장기간의 지형변화 과정이 보다 상세하게 파악될 수 있으며, 장·단기 해안선 변동량을 정량화하는 자료가 생산될 수 있다.

사 사

이 논문은 해양수산부의 “해양한국발전프로그램(Korea Sea Grant Program) 연구개발사업(산업공단화 조성에 따른 낙동강 하구의 연안지형변화 및 예측기술)”의 지원으로 수행되었습니다. 원고를 세밀하게 심사하시고 조언을 해주신 정경태 박사님과 임동일 박사님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- 국토지리정보원 고시 제2003-497호. 2003. <http://www.ngi.go.kr/sub06/sub06_11.jsp>.
- 김석윤, 하정수. 2001. 낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화. *한국수산학회지*, 34(3), 268-278.
- 이기철, 윤해순, 김승환, 남춘희, 옥진아. 1999. GIS와 원격탐사를 이용한 낙동강 하구 습지 데이터베이스 구축에 관한 연구. *한국지리정보학회지*, 2(3), 1-15.
- 이현직, 이승호, 박홍기. 2000. 영상데이터베이스 구축을 위한 항공사진의 최적해상도. *한국지형공간정보학회논문집*, 8(2), 89-99.
- 정승진, 김규한, 편종근. 2004. 항공사진을 이용한 장기해안선변화 조사. *한국해양해양공학학회지*, 16(1), 10-17.
- 조주환, 임동일, 김백운. 2001. 항공사진을 이용한 서남해 합평만의 해안선변화 관측. *한국지구과학회지*, 22(4), 317-326.
- 최철웅, 김연수, 서용철. 2005. 정사항공사진과 해양조사측량을 이용한 해안선변화 탐지에 관한 연구: 포락지 중심으로. *한국해양해양공학학회지*, 17(2), 61-69.
- Crowell, M., S.P. Leatherman, and M.K. Buckley. 1991. Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *J. Coastal Res.*, 7(3), 839-852.
- Jimenez, J.A., A. Sanchez-Arcilla, J. Bou, and M.A. Ortiz. 1997. Analysing short-term shoreline changes along the Ebro Delta (Spain) using arial photographs. *J. Coastal Res.*, 13(4), 1256-1266.
- Leica Geosystems. 2003. Leica Photogrammetry Suit OrthoBASE & OrthoBASE Pro User's Guide. Atlanta, 490 p.
- McBride, R.A., M.W. Hiland, S. Penland, S.J. Williams, M.R. Bymes, K.A. Westphal, B.E. Jaffe, and A.H. Sallenger. 1991. Mapping barrier island changes in Louisiana: Techniques, accuracy, and results. p. 1011-1026. In: *Coastal Sediments '91*. ed. by N.C. Kraus. ASCE, New York.
- Moor, L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *J. Coastal Res.*, 16(1), 111-124.
- Thieler, E.R. and W.W. Danforth. 1994a. Historical shoreline

-
- mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors. *J. Coastal Res.*, 10(3), 549-563.
- Thieler, E.R. and W.W. Danforth. 1994b. Historical shoreline mapping (II): 1 of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *J. Coastal Res.*, 10(3), 600-620.
- Wright, L.D. 1985. River deltas. p. 5-68. In: *Coastal Sedimentary Environments*. ed. by R.A. Davis. Springer-Verlag, New York.
-

Received Nov. 17, 2005

Accepted Dec. 8, 2005