

항공사진측량에 의한 해안선 변화 조사

Investigation of Shoreline Change by Photogrammetric Method

이창경* · 김백운** · 김남용***

Lee, Chang Kyung · Kim, Baek Oon · Kim, Nam Yong

要 旨

본 논문은 해안매립 이전과 이후에 촬영한 한 쌍의 항공사진을 이용하여 매립지에 대한 해안선 변화 분석을 제시한다. 해석도화기와 수치도화기의 두 가지 방법으로 조위, 즉 약최고고조면으로 정의된 해안선을 도화하였다. 과거의 해안선을 수치지적도에 중첩하여 포락지와 해안빈지의 면적을 계산하였고, 과거와 현재의 해안선 사이의 면적을 측정함으로써 해안선 변화량을 추정하였다. 면적에 근거한 해안선 변화 비교 결과, 두 사진측량 방법은 대체로 일치함을 보여주었다. 그러나 수치사진측량에 있어서 복잡한 지형을 보이는 하구지역의 해안선 도화는 1200dpi보다 높은 해상력의 수치영상상이 요구된다.

핵심용어 : 해안선 변화, 포락지, 해안빈지, 항공사진, 해석도화기, 수치도화기

Abstract

This paper presents a shoreline change analysis on a reclaimed land, using a pair of aerial photographs taken before and after the reclamation. Shorelines that are defined by a tide datum, i.e. Approximately Highest High Water Level, were mapped by both analytical and digital photogrammetric methods. The past shorelines were overlapped with digital cadastral map from which areas of retracted and protruded lands were computed. Magnitude of shoreline changes was estimated by calculating areas between the past and present shorelines. Comparisons in terms of areas showed a fairly good agreement between the two methods. However, particularly in the estuary of complex morphology, shoreline mapping by digital photogrammetric method requires images to be scanned at a resolution higher than 1200 dpi.

Keywords : Shoreline change, Retracted land, Protruded land, Aerial photographs, Analytical plotter, Soft copy plotter

1. 서 론

해안선은 육지와 바다의 경계이며, 국제법에 의한 국가의 통치 영역을 정하는 기준이다. 해안선은 태고로부터 자연적 또는 인위적 영향을 받아 지속적으로 변화하고 있는데, 특히 대규모 매립공사와 같은 연안 개발은 해안선 변화에 직접적인 영향을 주고 있다. 해안선 변화는 해안에 포락지나 해안빈지를 발생시키는데, 기준시점의 해안선보다 비교시점의 해안선이 육지 쪽으로 후퇴한 부분을 포락지라 하고, 바다 쪽으로 진출한 부분을 해안빈지라 한다. 과거시점의 해안선은 그 당시에 제작한 지도에 표기되어 있으나, 국가 기본도인 지형도의 경우 그 축척이 1:5,000

이하이고 해안선이 일종의 등고선으로 취급되어 묘사되었으므로, 분쟁지역인 경우 지형도상에 그려진 해안선보다 정확한 해안선이 필요하다. 해안선이 변화된 경우 과거시점의 해안선을 재래식 육상측량 방법으로 조사하는 데는 한계가 있다. 항공사진은 촬영될 당시의 지형정보를 담고 있는 일종의 데이터베이스이므로, 과거 시점의 해안선은 그 당시에 촬영된 항공사진을 이용하여 측정 할 수 있다.

해안의 지형변화를 수치사진측량방법으로 모니터링하기 위하여 Hapke & Richemond(2000)는 Cessna 182 비행기에 Hasseblad 553 ELX 카메라를 장착하여 축척 1:7,500 컬러사진(70mm×70mm)을 촬영하고, 그 투영양화 필름을 1,200dpi로 스캐닝하여 수치사진측량기법으로 해

2007년 3월 27일 접수, 2007년 4월 30일 채택

* 정회원·군산대학교 토목환경공학부 교수 (leeck@kunsan.ac.kr)

** 군산대학교 새만금환경연구센터 교수 (bkim@kunsan.ac.kr)

*** 군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (kimny@kunsan.ac.kr)

안의 DEM을 구축하여 해안 단면과 퇴적량 및 침식량을 계산하였다.

항공사진 또는 위성영상을 이용한 해안선조사 연구는 국내에서도 2000년대 이후에 수차례 발표된 바 있다. 조주환 등(2001)이 함평만 해안선변화량을 단사진을 이용하여 측정하고 이를 현장관측자료와 비교하였다. 3차원 입체 모델을 구성할 수 없는 단사진에서도 일종의 등고선을 찾을 수 있는데, 그것은 수애선(water line)이다. 단사진에 찍힌 해안의 수애선은 동일 표고에 위치한다 하더라도 조위에 따라 그 위치가 변하므로, 경사가 완만한 간사지를 일정시 간격으로 촬영한 단사진으로부터 간사지 지형을 도화하는데 이용된다. 김백운 등(2005)은 모자이크 항공사진을 이용하여 낙동강하구의 해안선변화를 조사한 바 있다.

최철용·김형식(2001)은 스테레오 항공사진 양화필름을 스캐닝한 수치항공사진을 이용하여, 1947년부터 2000년 사이의 부산 광안리 해수욕장 해안선 변화를 조사하였고, 김충철(2006)은 고해상도 위성영상(IKONOS)을 수치지도에서 추출한 DEM을 이용하여 정사보정 영상을 제작하여 해안선 조사의 정확도를 높이는 연구를 수행하였다.

이와 같은 사진측량 및 위성영상을 이용하는 방법은 항공사진의 축척이나 위성영상의 해상도에 따라 위치정확도가 기대에 미흡한 경우도 있었으나, 국립해양조사원(2005)에서는 표고정확도 15cm를 확보할 수 있는 항공 LiDAR를 이용하여 함평만부근의 해안선 조사를 수행하였다. 이 경우는 정확하고 세밀한 지형자료는 획득할 수 있으나 과거의 지형자료는 획득할 수 없다.

본 연구는 중복 촬영된 한 쌍의 항공사진을 이용하여 매립전후의 해안선을 도화하고, 해안선의 변화로 발생된 포락지와 해안빈지의 위치 및 면적을 정량적으로 측정하는데 목적이 있다. 매립공사 이전에 촬영한 한 쌍의 중복 항공사진으로부터 도화한 해안선을 지적도와 중첩하여 매립공사 당시의 해안빈지 및 포락지의 면적을 산정하였다. 또한 매립 공사 후의 항공사진으로부터 도화한 해안선과 매립 이전의 해안선을 비교하여 해안선변화를 조사하였다. 항공사진측량의 정확도 향상을 위하여 GPS에 의한 지상기준점측량을 수행하였으며, 해석도화기 및 수치도화기로 해안선을 도화하여 해안선조사에 있어 원시자료 및 사용 장비에 따른 정확도를 비교분석하였다. 연구대상지역으로는 최근에 매립된 경남 통영시 광도면 안정리 안정국가공단해안으로 정하였으며, 그 위치는 그림 1과 같다.

2. 사진측량에 의한 해안선 조사

2.1 해안선측량 방법

우리나라에서는 약최고고조면을 해안선으로 규정하고



그림 1. 연구대상 지역

있다(수로업무법 제5조 5항). 약최고고조면(Approximate Highest High Water Level)은 4대 주요 분조 즉, M_2 (主太陰半日週潮), S_2 (主太陽半日週潮), K_1 (太陽太陰合成日週潮), O_1 (主太陰日週潮)에 의한 최고 조위상승치가 동시에 발생했을 때의 조위를 말한다(이석우, 1984). 본 연구에서는 국립해양조사원 통영검조소 약최고고조면을 조사해안의 해안선으로 하였다.

국토지리정보원에서는 전국을 대상으로 주기적으로 항공사진촬영을 촬영하여 왔으며, 연구대상지역에 대해서도 2차례(1994년, 2001년) 항공사진촬영을 수행한 바 있었기에 본 연구에서는 각각 양화필름과 수치영상의 형태로 항공사진을 입수하였다. 항공사진도화에 필요한 지상기준점은 GPS정지측량에 의해 그 위치좌표를 구하였으며 해석도화기와 수치도화기를 이용해 내부·상호·절대 표정을 거쳐, 실제 대상지역의 지형과 상사형이 되는 입체 모델을 구성하였다. 도화기의 입체 모델 상에서 해안선과 해안선 주변의 지형에 부점(floating mark)을 위치시켜 지물의 경계선 및 등고선을 도화하였다.

즉, 통영검조소 약최고고조면의 높이 값으로 부점을 고정하여, 부점이 모델 상의 지면과 만나서 이루는 선을 대상지역의 해안선으로 정하였다. 본 연구에서는 해석도화기 Zeiss P-33 analytical plotter와 수치도화기 Z/I ImageStation (Intergraph, 2004)을 사용하여 해안선을 도화하였다.

2.2 지상기준점측량

1) 좌표변환 파라미터 산출

항공사진의 표정에 필요한 지상기준점 위치 좌표는 정지 GPS측량으로 구하였다. GPS측량에서 기준면변환 파라미터 산출을 위해 국가삼각점 3점을 평면기준점으로 이용하였고, 표고기준점은 대상지역 인근에 배치된 국토

지리정보원 2등 수준점 2점(15-02-05-07, 15-02-04-11)외에 해안선 확정과 밀접한 관련이 있는 국립해양조사원의 통영 검조소의 TBM을 포함시켰다. 이와 같이 선정한 기준 삼각점 및 수준점, 통영 검조소 TBM을 3셀의 GPS 수신기로 관측하였으며, 기준점망은 그림 2와 같다. 표 1은 본 연구의 기준점 측량 및 지형측량에 사용된 장비의 목록 및 규격이고, 표 2는 기준점으로 사용된 삼각점 및 수준점, 검조소 TBM의 고시성과이다.

지상기준점 측량은 먼저 GPS수신기 3셀을 3점의 기준

점에 정치하여 한 세션 당 30분 이상 관측한 이후에, 이 중 한 대의 GPS수신기를 다른 기준점으로 옮겨 세워 30분 이상 관측하는 방식으로 수행하였다. 그림 3은 기준점에서의 GPS 관측시간이다.

기준점에서 수신된 GPS 관측 자료는 GPS Data Processing S/W중의 하나인 LGO(Leica Geosystems, 2005)를 이용하여 GPS 관측자료의 입력 및 정리, 기선해석, 망 조정, 기준면변환 파라미터 산출 순서로 처리되었다. 기준면 변환 시 one step방식을 적용할 경우 두 점 이상의 평면 기준점과 한점 이상의 표고 기준점이 필요하다. 본 연구에서는 2개의 국가수준점 및 통영 검조소 TBM 중 1점을 기준점으로 하고 나머지 표고 기준점은 측점으로 간주하여 차례로 표고를 구해 본 결과, 수준점과 TBM간에 최대 8.5cm의 차이가 있었다. 본 연구의 목적이 조위로부터 정해지는 해안선의 측정에 있는 만큼 검조소의 TBM과 밀접한 관련이 있으므로, 표고기준점 중 TBM No.10을 표고기준점으로 최종 선정하였다.

2) 지상기준점 측량

항공사진도화를 위한 지상기준점은 본 연구에서 이용하려는 연도별 항공사진(1994년, 2001년)에 공통으로 촬영된 지점 중 그 식별이 용이하면서도 GPS수신에 지장이 없는 건물의 슬라브 모서리에 8점을 선정하였다. 이와 더불어 지적도와 지형도의 중첩 시 두 지도간의 절대좌표차이를 조사하기 위해 조사지역내에 지적 도근점 2점을 지상기준점에 포함시켰으며, 그 성과를 통영시로부터 발급 받았다. 이들 지상기준점의 배치는 그림 4와 같다.

기준점으로 채택한 2등 및 4등 삼각점에 2셀의 GPS수신기를 설치하고, 지상기준점에 1셀의 GPS수신기를 설치하여 20분 이상 관측하였으며, GPS 수신 자료를 LGO(V2.0)에서 기선해석 및 망조정을 실시한 후, GPS 기준점 측량에서 구한 기준면변환 파라미터를 적용하여, 지상기준점의 평면위치좌표 및 표고를 산정하였다. 표 3은 최종 계산된 지상기준점의 평면위치좌표 및 표고이다.



그림 2. 기준점 망

표 1. 사용 장비 규격

장비명	모델명 / 제작사	수 량	규 격
GPS	System 300 / Leica	2set	<ul style="list-style-type: none"> 수신 주파수: L1, L2 거리측량 정확도: ±0.005m + 1ppm
	System 500 / Leica	1set	
Total Station	TC2002 / Wild	1set	<ul style="list-style-type: none"> 각 측량 표준오차: ±0.5" 거리측량표준오차: ±0.001m + 1ppm
Digital Level	SDL30 / Sokkia	1set	<ul style="list-style-type: none"> Bar code reading
GPS S / W	LGO V2.0 / Leica	1set	<ul style="list-style-type: none"> Baseline Processing Loop Computation / Network Adjustment Datum / Map

표 2. 평면 및 표고 기준점 고시 성과

구 분	점의 부호 및 명칭	평면위치		표고(m) MSL기준	관리기관
		East(m)	North(m)		
평면기준점	22동 13 벽방산(통영)	143602.033	161255.139	650.570	국토지리정보원
평면기준점	23동 17 매일봉(통영)	148696.738	150175.887	148.310	국토지리정보원
평면기준점	25 망학산(함안)	150233.798	169036.893	432.136	국토지리정보원
표고기준점	통영TBM No.10 (TY_TBM_No.10T)*			2.152 (2.072)	국립해양조사원
표고기준점	15-02-05-07 (15-02-05-07T)*			43.7550 (42.182)	국토지리정보원
표고기준점	15-02-04-11 (15-02-04-11T)*			29.2040 (29.393)	국토지리정보원

* 이심점(구조물 또는 수목으로 상방이 가려진 수준점에서의 GPS측량을 위해 이심 측정한 수준점)

Point Id	Point Class	Start	End	Duration	Type	Height	21	28	Us
TY424	Navigated	06/17/2006 15:34:16	06/17/2006 16:00:01	25' 45"	St...				
TY22	Averaged	06/17/2006 15:35:01	06/17/2006 16:49:16	1h 14' 15"	St...				
TY416	Measured	06/17/2006 15:35:16	06/17/2006 16:48:46	1h 13' 30"	St...				
TY424	Navigated	06/17/2006 16:16:16	06/17/2006 16:48:16	32' 00"	St...				
BM15020411T	Measured	06/17/2006 18:19:01	06/17/2006 18:49:16	30' 15"	St...				
TY424	Navigated	06/17/2006 18:23:01	06/17/2006 18:52:16	29' 15"	St...				
TY22	Averaged	06/17/2006 18:24:01	06/17/2006 18:51:01	27' 00"	St...				
BM15020411T	Measured	06/18/2006 09:42:31	06/18/2006 10:26:46	44' 15"	St...				
TY22	Averaged	06/18/2006 09:55:16	06/18/2006 10:27:16	32' 00"	St...				
TY-TBM-NO10T	Navigated	06/18/2006 09:55:31	06/18/2006 10:30:31	35' 00"	St...				
HA25	Reference	07/07/2006 09:52:46	07/07/2006 17:20:01	7h 27' 15"	St...				
TY23	Measured	07/07/2006 09:54:46	07/07/2006 10:55:31	1h 00' 45"	St...				
TY22	Averaged	07/07/2006 09:55:46	07/07/2006 12:00:01	2h 04' 15"	St...				
BM15020411T	Measured	07/07/2006 11:25:46	07/07/2006 11:57:31	31' 45"	St...				
TY22	Averaged	07/07/2006 13:14:31	07/07/2006 13:37:16	22' 45"	St...				
TY416	Measured	07/07/2006 13:15:01	07/07/2006 13:36:01	21' 00"	St...				
BM15020507T	Measured	07/07/2006 14:43:16	07/07/2006 15:13:46	30' 30"	St...				
TY22	Averaged	07/07/2006 14:51:01	07/07/2006 15:12:31	21' 30"	St...				

그림 3. GPS 기준점측량 관측시간(LGO V2.0)

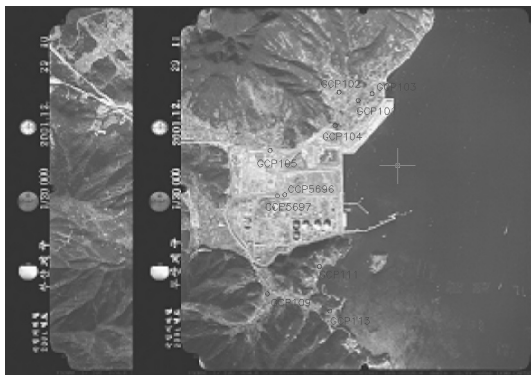


그림 4. 지상기준점의 배치

표 3. 지적도근점 및 지상기준점의 위치좌표

구 분	측점명	E(m)	N(m)	표고(m)
지적도근점	CCP5696	146987.721	161603.496	9.386
	CCP5697	146880.366	161588.897	10.095
지상기준점	GCP101	147996.058	163043.808	17.883
	GCP102	147716.025	163166.515	29.352
	GCP103	148199.307	163114.806	10.400
	GCP104	147659.379	162681.584	12.313
	GCP105	146711.968	162316.941	21.138
	GCP109	146669.649	160228.201	29.265
	GCP111	147479.817	160606.959	7.327
	GCP113	147581.919	159977.912	7.780

2.3 해안선 도화

1) 항공사진

본 연구에 이용된 항공사진은 국토지리정보원에서 축척 1:5,000 지형도 제작을 위해 1994년 및 2001년에 촬영한 흑백사진 양화필름과 그 수치영상이다(그림 5). 사진 크기는 23cm×23cm이며, 축척은 1:20,000 촬영고도 3,000m이다. 표 4는 본 연구에 이용된 항공사진 목록과 촬영시의 통영검조소 조위를 국립해양조사원 검조자료로부터 환산한 수애선 표고이다.

2) 표정

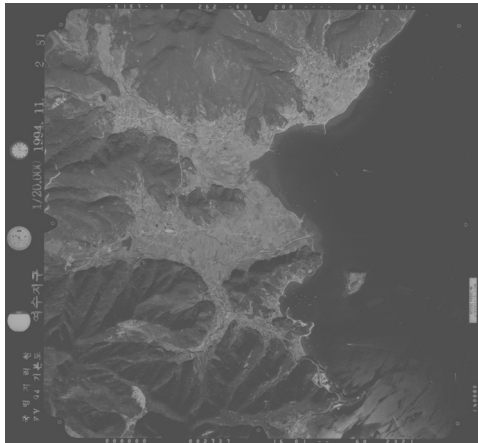
① 내부표정

본 연구에 이용된 수치영상의 스캐닝 해상력은 1200dpi로 사진 한 장을 스캐닝한 파일 크기는 약 130Mb이다.

수치사진측량 시스템 내에서 영상의 효율적인 운용을 위해, Z/I Image Station의 Raster Utilities를 이용하여 Over-Views 와 Tile을 생성함으로써, 영상의 메모리 관리와 디스플레이가 효율적으로 수행되도록 하였다. 여기서 Over Views 란 일정한 방법에 의해 원 영상의 각 픽셀들을 제

표 4. 항공사진 목록 및 촬영 시 조위

촬영 일시	촬영 지역	코스 번호	사진 번호	카메라		조위(m) (MSL기준)
				I.D	Lense No.	
94/11/08 11:18	여수 지구	2	81, 82	RC20	13084	0.827
01/12/08 12:11	부산 지구	29	10, 11	RC30	13230	0.101



(A1) 1994년 좌측사진(C2-81)



(A2) 1994년 우측사진(C2-82)



(B1) 2001년 좌측사진(C29-10)



(B2) 2001년 우측 사진(C29-11)

그림 5. 대상지역 항공사진(축척 1:20,000)

거해 가면서 얻어지는 영상 피라미드이다. 수치영상의 모든 표정은 Z/I Image Station의 ISDM에서 이루어졌으며, 표 5는 내부표정의 결과이다.

표 5. 수치도화 항공사진 내부표정 결과

A) 1994년 항공사진(카메라: RC20)

Photo No.	ID	Residual	
		X(mm)	Y(mm)
Srtip No. - 02 Photo No.- 81 [Left Photo]	1	-0.006	0.000
	2	0.001	-0.002
	3	-0.006	0.000
	4	0.002	0.005
	5	0.005	0.000
	6	0.000	0.006
	7	0.005	-0.007
	8	-0.001	-0.002
Srtip No. - 02 Photo No.- 82 [Right Photo]	1	-0.006	-0.002
	2	-0.002	-0.001
	3	-0.008	0.002
	4	0.005	-0.002
	5	0.004	-0.001
	6	0.008	0.001
	7	0.000	-0.003
	8	-0.000	0.007

B) 2001년 항공사진(카메라: RC30)

Photo No.	ID	Residual	
		X(mm)	Y(mm)
Srtip No. - 29 Photo No.- 10 [Left Photo]	1	0.001	-0.004
	2	0.000	0.003
	3	0.002	-0.002
	4	0.005	0.003
	5	0.005	0.000
	6	-0.004	0.000
	7	-0.002	-0.002
	8	-0.008	0.002
Srtip No. - 29 Photo No.- 11 [Right Photo]	1	-0.001	-0.003
	2	0.004	0.004
	3	-0.003	-0.002
	4	0.004	0.003
	5	-0.005	-0.005
	6	0.003	0.004
	7	-0.003	-0.005
	8	0.000	0.005

② 상호표정

수치도화기에서의 상호표정은 왼쪽영상에 대한 오른쪽 영상의 공액점을 검색하는 일을 수치영상정합기법(Digital Image Matching Method)으로 자동화되어, 작업이 신속하다. 또한 그 결과를 같은 화면에서 실시간으로 확인할 수 있으며, 그 정밀도에 따라 상호표정점의 추가/삭제가 가능하다. 표 6은 수치영상의 상호표정 결과이다.

③ 절대표정

정지 GPS측량으로 구한 지상기준점(GCP)의 위치좌표와 상호표정으로 구성된 입체모델상의 해당 GCP좌표간의 좌표변환은 Z/I ImageStation의 ISDM 모듈을 이용하였다. 절대표정에는 표 3의 지상기준점 중 1994년 항공사

표 6. 수치도화 항공사진 상호표정 결과

A.1) 항공사진(1994년) 상호표정 잔여 Y-시차

상호표정 점 번호	Left Photo		Right Photo		잔여시차 (mm)
	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	
1	-14.335	51.547	-88.943	50.610	0.002
2	-18.872	-1.935	-94.678	-2.119	0.008
3	-29.027	-63.266	-106.599	-62.701	0.002
4	46.451	80.873	-28.561	78.182	0.002
5	19.055	-6.528	-57.314	-7.482	0.003
6	19.348	-59.808	-58.423	-60.324	0.002

A.2) 항공사진(1994년) 상호표정 회전요소

구 분	κ (radian)	ϕ (radian)	ω (radian)
Left Photo(02-81)	0.000	0.000	0.000
Right Photo(02-82)	1.254	0.001	0.310

B.1) 항공사진(2001년) 상호표정 잔여 Y-시차

상호표정 점 번호	Left Photo		Right Photo		잔여시차 (mm)
	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)	
1	-3.196	35.489	-85.015	33.387	0.002
2	-12.707	-22.173	-96.604	-23.969	0.000
3	15.827	-78.202	-69.458	-81.015	0.001
4	65.987	70.875	-15.319	67.087	0.003
5	84.672	-11.380	1.998	-15.240	0.001
6	66.038	-77.609	-18.165	-81.558	0.000

B.2) 항공사진(2001년) 상호표정 회전요소

구 분	κ (radian)	ϕ (radian)	ω (radian)
Left Photo(29-10)	0.000	0.000	0.000
Right Photo(29-11)	1.211	0.169	0.663

진 모델상에서 위치가 명확한 7점을 이용하였으며, 2001년 항공사진에서는 GCP 6점을 이용하였다. 표 7은 절대 표정 결과로 얻은 각 지상기준점의 정확도이다.

3) 도화

위와 같이 표정된 입체모델에서 해안선 상하부의 등고선과 주요 도로, 제방, 수로, 전담 경계를 도화하였고, 지적도와 지형도의 중첩 시 일치 정도를 확인하기 위해 GCP 부근 도로 및 시설물 등을 도화한 수치 지형도를 제작하였다. 수치 지형도는 국토지리정보원의 수치지도작성작업내규에 의거하여 제작 하였으며, 해안선은 통영검조소의 약최고조조면의 높이인 평균해면상 1.41m의 등고선이다. 그림 6은 해석도화기와 수치도화기에 의해 도화된 조사대상 지역의 수치지형도이다.

3. 결과 및 분석

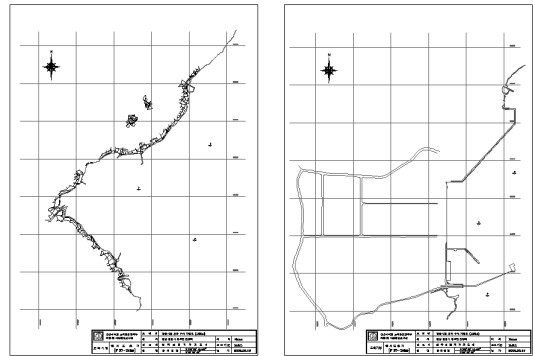
3.1 수치지적도와 수치 지형도의 중첩

본 연구에서는 지적 도근점 2점의 위치좌표를 GPS 기준점측량으로 구하였으며, 이 위치좌표를 통영시 지적과의 지적기준점 성과와 비교한 결과 두 지적도근점 모두 평면거리 약 0.98m의 차이가 있었다(표 8). 이를 근거로 지적 도근점 통영5697점을 기준으로 항공사진도화 수치 지형도를 E축 방향으로 -0.89m, N축 방향으로 -0.44m만

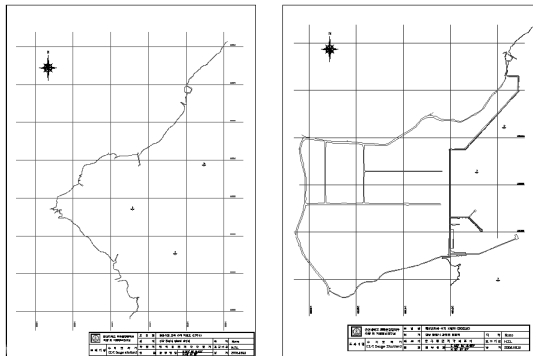
큼 평행 이동시켜 수치연속지적도와 항공사진도화 수치 지형도를 중첩시켰다.

그림 7에서 안정국가공단 매립이전(1994년)의 지적도 해안선과 지형도 해안선을 볼 수 있는데 대부분의 지역에서 차이가 거의 없었으나, 선착장 및 하치장의 인공시설부분과 홍수시 퇴적된 모래와 자갈로 해안빈지가 넓게 형성된 안정천 하구(그림 7의 ○표 부분) 지역은 그 차이가 확실하였다.

3.2 포락지 및 해안빈지 면적 산출



(A) 해석도화(1994년 사진) (B) 해석도화(2001년 사진)



(C) 수치도화(1994년 사진) (D) 수치도화(2001년 사진)

그림 6. 항공사진 도화 수치지형도

표 7. 수치도화 항공사진 절대표정 정확도

A) 항공사진(1994년)

ID	dE(m)	dN(m)	dH(m)
GCP101	0.314	0.107	-0.284
GCP102	0.210	0.023	-0.210
GCP104	-0.046	-0.068	0.321
GCP105	0.119	0.197	0.487
GCP109	-0.100	-0.171	-0.223
GCP111	-0.327	-0.212	0.401
GCP113	0.010	0.124	-0.491

B) 항공사진(2001년)

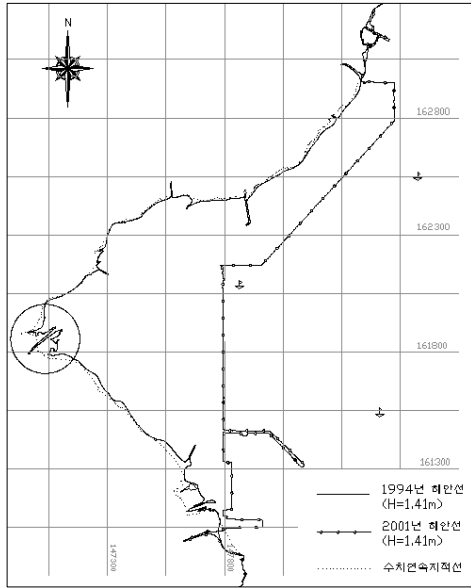
ID	dE(m)	dN(m)	dH(m)
GCP102	0.342	0.328	-0.437
GCP103	-0.105	-0.251	0.056
GCP105	-0.324	-0.378	0.362
GCP109	-0.180	0.089	-0.458
GCP111	0.248	0.344	0.781
GCP113	0.022	-0.132	-0.303

표 8. 지적 도근점의 평면 위치좌표 차이

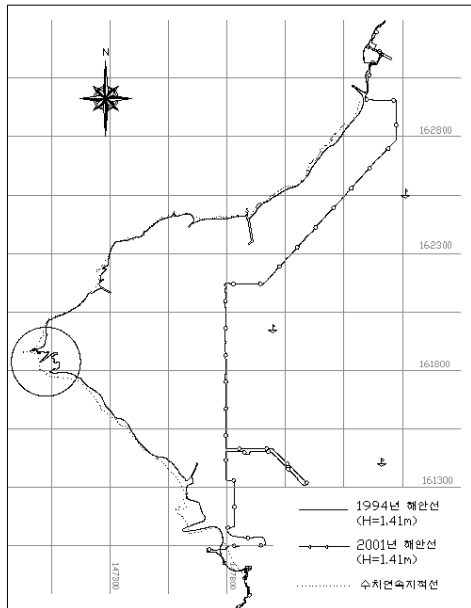
구 분	점번호	E(m)	N(m)
① GPS 기준점측량	CCP5696	146987.721	161603.496
	CCP5697	146880.366	161588.897
② 통영시 지적과	CCP5696	146986.84	161603.07
	CCP5697	146879.48	161588.46
좌표 차이 ①-②	CCP5696	0.88	0.43
	CCP5697	0.89	0.44

해안빈지는 해안선(약최고고조위)보다 표고가 높으나 토지대장에 등록되어 있지 않은 토지이며, 포락지는 토지대장에 등재된 토지 중 해안선보다 표고가 낮은 토지이다. 따라서 그림 7에서와 같이 해안선과 지적경계선으로 포락지와 해안빈지를 구분할 수 있다. 단, 동일한 항공

사진을 이용하더라도 해석도화기로 도화한 해안선과 수치도화기로 도화한 해안선은 그 위치가 다를 수 있으며, 그 차이를 정량적으로 분석하기 위해 포락지와 해안빈지의 면적을 측정하였다. 표 9에서 보는 바와 같이 해안빈지의 면적은 해석도화기로 도화한 해안선을 기준한 경우와 수치도화기로 도화한 해안선을 기준한 경우 간에 전체 해안빈지 면적의 약 0.5%의 근소한 차이를 보였다. 반면에 포락지의 면적은 그 차이가 전체 포락지 면적 대비 약 10%로 크게 나타났다. 이것은 해안빈지가 조성된 경우 해안선이 경사가 완만한 지점에 위치하나, 포락지의 경우 기존의 육지가 침식된 경우이므로 급경사면에 해안선이 위치하게 된다. 따라서 수치도화와 해석도화에서 동일지점에 부점(floating mark)을 위치시키지 못하는데 그 원인이 있을 것으로 사료된다.



(A) 해석도화 해안선(1994년과 2001년)과 지적도



(B) 수치도화 해안선(1994년과 2001년)과 지적도

그림 7. 지적도와 지형도의 중첩

3.3 해안선변화 측정

도화에 이용된 항공사진의 촬영일시가 다르더라도 표정시 동일한 GCP를 이용하였으므로, 해석도화기와 수치도화기로 도화한 수치지형도의 좌표계는 동일하다. 그림 7에 1994년 및 2001년에 촬영한 항공사진을 도화한 수치지형도가 중첩되어 있으며, 2001년 매립으로 인한 해안선의 변화를 볼 수 있다.

수치도화기와 해석도화기로 각각 도화한 해안선의 위치 정확도는 어느 한 지점에서 해안선의 위치를 비교하는 것보다 조사대상지의 전체적인 해안선 위치를 비교하는 편이 더 의미 있을 것이다. 즉, 매립전의 해안선과 매립후의 해안선으로 포워딩 폐곡면의 면적은 해안선 변화의 결과이므로 해석도화기와 수치도화기로 도화한 매립전·후의 해안선을 중첩하여 만들어진 폐곡면의 면적을 AutoCad를 이용하여 측정 하였다. 표 10에서 보는 바와 같이 해석도화기와 수치도화기로 작성된 수치지형도의 해안선 변화면적 차이는 약 3,916m²으로써 평균 해안선 변화면적 (835,925 m²)의 약 0.5%이다. 이 차이는 동일한 원리를 적용하여 측정한 해안빈지 면적측량 차이와 같다.

표 9. 도화기별 포락지와 해안빈지 면적

구 분	① 해석도화기 (m ²)	② 수치도화기 (m ²)	③ 차 이 (①-②)
해안빈지	45,436	45,652	-216
포락지	5,298	4,771	+527

표 10. 도화기별 해안선 변화 면적

구 분	해석 도화기	수치 도화기	차 이
면적(m ²)	833,967	837,883	3,916

즉, 본 연구에서 사용한 1:20,000 항공사진을 1,200dpi로 스캐닝한 수치영상을 사용한 경우 급격한 지형변화가 없는 해안의 도화 정확도는 수치사진측량과 해석사진측량 간에 큰 차이는 없었다.

4. 결 론

본 연구에서는 양화필름을 사용하는 해석도화기와 수치영상을 사용하는 수치도화기를 병용하여 대상지역의 해안선을 묘사하고, 이로부터 해안선의 변위와 해안빈지 및 포락지 면적을 측정하여 두 사진측량도화기의 해안지형도화 정확도를 평가하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 해석 및 수치 도화기에 의해 도화된 해안선의 평면 위치는 다른 지역에 비해 상대적으로 해안선이 모호한 하구에서 가장 큰 차이를 보였다. 이는 양화필름과 수치영상에 의한 입체영상의 해상력 차이 및 대상지역의 촬영조건에 기인한다고 사료된다. 특히, 사진축척이 1:20,000 인 경우 수치영상은 현재 국토지리정보원의 표준 스캐닝 해상도인 1,200dpi 이상이 바람직하다.
- (2) 수치도화기와 해석도화기로 도화한 해안선을 기준하여 측정한 포락지 및 해안빈지의 면적 및 매립전후의

해안선변화 면적은 측정면적대비 0.5%이내의 차이를 보였다. 즉, 해안의 지형도화 정확도는 수치사진측량과 해석사진측량사이에 큰 차이가 없었다.

참고문헌

1. 국립해양조사원, 2005, "함평만 부근 해안선 항공라이다 측량 시범사업 결과 보고서" .
2. 국토지리정보원, 1995, 수치지도작성작업내규.
3. 김백운, 김부근, 이상룡, 2005, "낙동강하구 해안선변화연구를 위한 모자이크 항공사진의 구축", Ocean and Polar Research, Vol. 27, No. 4, pp. 497-507.
4. 김종철, 2006, "고해상도 위성영상을 활용한 해안선조사 품질 향상", 군산대학교 산업대학원 석사학위논문.
5. 이석우, 김근식, 1984, *해양측량학*, 집문당, pp. 329-370.
6. 조주환, 임동일, 김백운, 2001, "항공사진을 이용한 서남해 함평만의 해안선 변화관측", *한국지구과학회지*, Vol. 22, No. 4, pp. 317.
7. 최철웅, 김형석, 2001, "수치항공사진기법을 이용한 광안리 해수욕장 해안선 변화에 관한 연구", 한국수산자원학회지, 제4권, pp. 73-85.
8. Cheryl Hapke & Bruce Richmond, 2000, Monitoring Beach Morphology Changes Using Small-Format Aerial Photography and Digital Soft Copy Photogrammetry, Environmental Geosciences, Vol. 7, No. 1, pp. 32-37.
9. Leica Geosystems, 2002, "GPS System 500 (User Manual)",
10. Z/I Imaging Corporation, 2004, "Z/I Imaging Document Library (User's Guide)"