한국측량학회지, 제 29권 제 5호, 2011. 10 : pp. 527~534

항공영상을 이용한 을숙도 지형의 정량적 변화 분석

Analysis of Quantitative Topographical Change in Eulsuk-Island Using Aerial Images

이재원[1] · 송유진[2] · 김용석[3] · 박홍주[4]
Lee, Jae One · Song, Yu Jin · Kim, Yong Suk · Park, Hong Joo

Abstract

This paper describes an analysis of topographical changes to the Eulsuk-Island at the Nakdong River Estuary using a long-term dataset of high resolution aerial images from 1983 to 2007. Ground control surveying was performed at some feature points using GPS(Global Positioning System) to accomplish AT(Aerial Triangulation) for past aerial images. Even if some still existing feature points appeared on old aerial images were used as GCPs(Ground Control Points) for past aerial images in AT, its accuracy reached at 1m level. Since then, a quantitative analysis of topographical changes was conducted on digital orthophotos produced by a series of aerial images taken by different years. The change volume of total area, construction, vegetation, buildings and roads could be extracted per each period in study area. The total area decreased from 1983 to 1992, but it has not almost changed since 1992. According to the continuous development, the area of vegetation has steadily decreased, while that of buildings and roads has generally increased. The result of this study can provide us with invaluable base data for further topographical change monitoring in Eulsuk-Island and Nakdong River estuary caused by continuous development in this area.

Keywords : Eulsuk-Island, Past Aerial Images, Aerial Triangulation, Quantitative Topographical Change Analysis

초 록

본 연구에서는 낙동강하구 을숙도 지역에 대하여 1983년부터 2007년까지 장기간의 고해상도 항공영상을 이용한 지형변화 분석을 최초로 실시하였다. 먼저, 과거 항공사진의 사진기준점 측량을 위해서는 과거부터 존재하고 있는 특정점에 대하여 GPS를 이용하여 지상기준점(GCP : Ground Control Point) 측량을 실시, 이후 이를 이용한 과거 항공영상의 사진기준점 작업 수행 시 1m 정도의 정확도를 얻을 수 있었다. 이후 사진기준점측량 결과를 바탕으로 정사영상을 제작하여 과거부터 최근까지의 지형변화에 대한 정량적 분석을 수행하였다. 이로부터 연구 대상지에 대한 각 연대별 변화요인에 따른 전체면적, 건설현장, 식생, 건물과 도로의 면적 변화량을 알 수 있었다. 전체 면적의 경우 1983년부터 1992년까지 감소하다가 이후 변화가 거의 일어나지 않았다. 개발이 진행됨에 따라 식생은 지속적으로 감소하였고, 건물과 도로의 경우 그 면적이 전반적으로 증가함을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 인위적, 자연적 영향으로 인하여 변화가 예상되는 을숙도와 낙동강 하구의 지형변화 모니터링을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

핵심어 : 을숙도, 과거 항공영상, 사진기준점 측량, 정량적 분석

1. 서 론

하구(河口)란 해수와 담수가 만나 혼합되는 전이수역으로 조석, 파랑 및 하천 유량의 영향을 동시에 받는 매우 역동적인 곳이다. 하지만 우리나라의 경우 이러한 가치가 인식되기도 전에 국토개발계획에 따른 하구둑 건설 또는

1) 정회원 · 동아대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejo@dau.ac.kr)
2) 교신저자 · 동아대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:songyj1985@naver.com)
3) 동아대학교 토목공학과 박사(E-mail:rosekys@hanmail.net)
4) Ph.D. Candidate, School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales(E-mail:hj.park@unsw.edu.au)

매립 등으로 크게 훼손되었다(노백호 등, 2006). 국내의 하구지역 중 을숙도가 포함된 낙동강 하구는 1999년 환경부 장관이 지정한 습지보호지역으로 34.20㎢의 면적에 여러 생물들과 식물들이 존재하여 철새도래지로서의 역할이 아주 크다(환경부, 2009). 이러한 낙동강 하구역에 대한 관련연구로 김성환(2005)은 항공사진을 이용하여 낙동강 하구둑 건설 이후 하구역 삼각주에 대하여 지형변화 양상을 분석하였다. 윤한삼 등(2005)은 수심측량과 육상측량을 통하여 진우도 주변의 퇴적환경변화에 대한 연구를 수행하였으며, 유창일 등(2006)은 수치해도를 이용하여 하구의 사주 중심간 이격 거리를 계산하여 분석하였다. 김백운 등(2007)은 낙동강 하구 울타리 섬에 대하여 1975년부터 2001년까지의 항공사진을 구축하여 이를 이용, 해안선 변화율을 산정하는 연구가 진행되었고, 윤한삼 등(2007)은 낙동강 하구역에 대하여 과거 수행된 연구자료를 이용하여 과거 100년에 걸친 삼각주 발달 과정에 대하여 연구하였다. 오치영 등(2010)은 위성영상과 GIS tool을 이용하여 낙동강 하구의 진우도, 신자도, 도요등, 다대포 해안의 지형 변화율 산정에 대하여 연구하였다. 본 연구의 연구대상지인 을숙도에 관한 연구로는 이재원 등(2009)은 복원습지를 대상으로 항공 Lidar자료를 이용하여 3차원 습지 구분도를 제작하였고, 과거 항공영상을 이용하여 을숙도 지역의 정성적 변화에 대한 연구(이재원 등, 2010)가 이루어 졌다.

낙동강 하구지역 전반에 대하여 1:20,000의 항공영상 또는 위성영상을 이용한 변화 분석, 또는 과거의 기록 등을 이용하여 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 1987년 낙동강 하구둑 건설, 이후 부산시 쓰레기 매립장으로의 이용, 2000년대 시행된 복원습지 사업 등의 인위적 영향과 홍수, 태풍 등 자연적 영향에 따른 변화 관측에 1:6,000의 고해상도 항공영상을 이용하여 을숙도 지역을 중심으로 하여 정량적 분석을 실시, 향후 4대강 수문건설에 따른 지형형태 및 환경변화 연구 시 기초자료로 활용하고자 한다.

본 연구는 1983년부터 2007년까지 을숙도지역의 고해상도 항공영상을 이용하여 사진기준점측량(AT : Aerial Triangulation)수행시 현존하는 특정점의 좌표를 이용하여도 약 1m 수준의 정확도를 얻을 수 있음을 확인하였고, 이후 정사영상을 제작하여 연구대상지의 특성에 맞는 해안선 기준을 설정하여 수치도화를 실시, 과거부터 최근까지의 을숙도 지형변화에 대한 정량적인 분석을 실시하였다.

2. 연구 방법

을숙도 지형의 정량적인 지형변화 분석을 실시하기 위하여 본 연구에서는 과거 각 시기별로 촬영된 6개년도의 아날로그 영상을 이용하였다. 항공영상 전용 스캐너인 UltraScan5000을 이용하여 스캔을 실시하였다. 촬영 당시의 GCP(Ground Control Point)자료가 존재하지 않아 스캔한 영상과 실제 지형에 대한 비교를 통하여, 현존하는 특정점들을 대상으로 VRS(Virtual Reference Station)-GPS로 측량한 좌표를 사진기준점 측량시 GCP로 이용하였다. SOCETSET S/W를 이용하여 AT처리 후 정사영상을 제작하여 이를 바탕으로 수치도화를 실시하였다.

한편 연구대상지는 하구에 위치한 관계로 조위의 영향으로 인한 해안선의 위치가 끊임없이 변하고 있다. 따라서 해안선 결정을 위하여 조위보정을 실시한 후 다른 기준의 경계들과 비교를 통하여 지형적 특성을 고려한 을숙도만의 해안선의 기준을 설정하여, 전체면적, 식생 및 건물 등에 대한 정량적 분석을 수행하였다. 각 단계별 연구 진행 과정을 그림 1에 나타내었다.

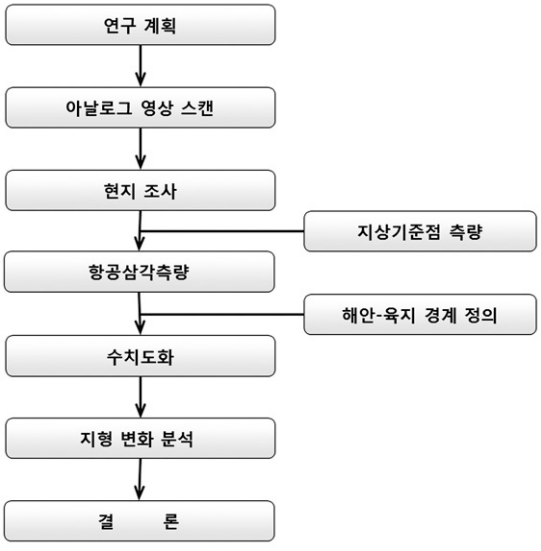

그림 1. 연구 흐름도

3. 자료취득 및 처리

3.1 연구대상지

본 연구의 대상지는 낙동강하구 삼각주에 위치한 을숙

도 하단부인 하구둑 남쪽지역에 해당한다. 연구대상지인 을숙도는 가로 약 1.3km, 세로 약 3km이며, 그림 2에 나타내었다.

그림 2. 연구대상지

3.2 자료 취득

양화로 존재하는 과거 6개년도 아날로그 항공영상의 처리를 위하여 우선 항공영상전용 스캐너인 UltraScan 5000을 이용하여 총 96매의 아날로그 영상을 21㎛의 해상도로 스캔하였다. 1983년부터 2002년까지 5개년도의 경우는 흑백영상, 2007년 영상은 컬러영상이다. 1983년과 1987년 사이 4년, 이후 5년 간격의 영상을 취득하여 거의 동일한 주기로 변화양상을 분석하고자 하였다. 사진 축척은 1:6000으로 동일하며, 스캔 후 취득된 2002년도 흑백영상과 2007년도 컬러영상 각각 한 매씩을 그림 3에 나타내었

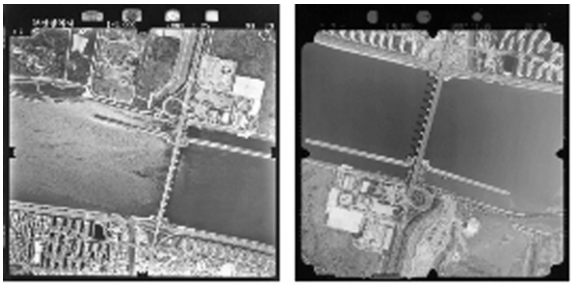

그림 3. 흑백영상(좌), 컬러영상(우)

표 1. 아날로그 영상의 촬영일자 및 제원

촬영일자	코스번호	매수	Camera Type	중복도	초점거리	촬영축척
1983.5.31	23	5	RC 8	P=65% Q=45%	152.036 ㎜	1: 6000
	24	5				
	25	6				
1987.5.31	23	5	RC 8	P=60% Q=40%	152.036 ㎜	1: 6000
	24	5				
	25	8				
1992.5.19	23	4	RMK A 15/23	P=65% Q=45%	153.100 ㎜	1: 6000
	24	4				
	25	5				
1997.5.25	33	5	RC 20	P=60% Q=40%	153.580 ㎜	1: 6000
	34	5				
	35	6				
2002.5.25	33	5	RMK A 15/23	P=65% Q=55%	152.592 ㎜	1: 6000
	34	6				
	35	6				
2007.11.28	33	5	RC 20	P=65% Q=45%	153.580 ㎜	1: 6000
	34	5				
	35	6				
	총	96매				

고, 스캔한 아날로그 영상의 촬영일자 및 카메라 등 촬영 제원은 표 1과 같다.

3.3 GCP 측량

본 연구의 사진기준점측량 작업을 수행하기 위해 연구대상지역에 GCP 측량을 실시하였다. 과거 아날로그 사진의 경우 GCP 자료가 존재하지 않아 현지답사 시 과거영상과의 비교를 통하여 현재까지 존재하는 도로나 교량 등의 구조물 모서리를 선점하여 VRS-GPS 측량을 실시, 총 18점의 평면좌표(X, Y)와 정표고(H)를 측정하였다. 그림 4는 VRS-GPS를 이용한 GCP 측량현황을 나타내었으며, 그림 5에는 GCP 배치를, 표 2에는 GCP 좌표를 수록하였다.

그림 4. GCP 측량

표 2. GCP 좌표 (단위 : m)

No.	X	Y	H
1	196064.066	278986.848	4.913
2	195232.352	279178.124	8.163
3	195175.219	279153.127	2.957
4	194418.843	279183.555	0.794
5	193801.960	279312.373	12.313
6	193563.398	278756.975	5.746
7	193191.847	277914.232	1.049
8	192976.029	277583.267	0.130
9	192980.629	277291.062	2.982
10	195157.042	278971.937	3.084
11	195137.203	277854.438	4.026
12	194891.950	276955.077	2.629
13	194882.830	277726.821	4.119
14	196123.605	279202.285	4.955
15	196016.356	278436.045	4.335
16	195952.941	277776.956	4.284
17	195680.787	277245.635	3.972
18	195531.787	276402.249	4.307

그림 5. GCP 분포 현황

3.4 자료처리 및 결과분석

3.4.1 사진기준점 측량

본 연구의 사진기준점 측량은 BAE SYSTEMS사의 SOCETSET 프로그램을 이용하였다. 사진기준점 측량을 수행하기 위하여 카메라 기종별 검정자료(Calibration Data)를 이용하여 내부표정을 실시하고, Tie Point 설정 후 GCP 자료를 입력하여 사진기준점 측량을 수행하였다. 사진기준점 측량 후 모자이크 영상을 제작하여 수치도화를 통한 변화양상의 정량적 분석을 수행하였다.

3.4.2 항공영상자료 처리 결과

연구대상지역 6개년도의 항공영상 처리 후 AT 정확도를 판단할 수 있는 GCP 잔차에 대한 RMSE(Root Mean Square Error)값을 그림 6에 나타내었다.

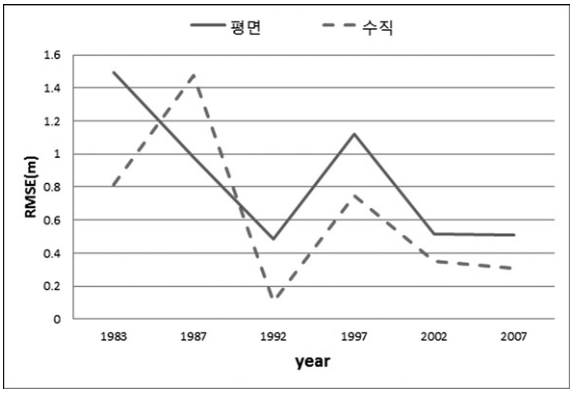

그림 6. GCP의 잔차에 대한 RMSE

과거의 영상일수록 전반적으로 RMSE값이 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 1980년대 영상의 경우 과거 지형에서 현재까지 남아있는 특정점들 중 명확하게 구분할 수 있는 점들이 거의 남아있지 않아 평면좌표의 경우 1992년도 정사영상 으로부터 추출하여 사용하였다. 높이값의 경우 현 시점에서 과거의 정확한 지표의 표고값을 아는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 시간의 경과에 따라 토지의 이용형태가 변화하더라도 표고값은 거의 동일하다는 가정 하에 GCP측량을 실시한 지점의 좌표 중 평면좌표는 제외하고 정표고 만을 사용하여 AT를 수행한 결과, 1980년대 RMSE값이 대체적으로 높게 나타나는 것을 확인하였다.

3.4.3 수치도화 및 조위보정

AT 수행 후 2007년도 항공 Lidar자료를 이용하여 만든 DEM을 이용하여 정사영상을 제작하였다. 제작된 정사영상을 바탕으로 하여 면적, 경작지, 건물 및 도로에 대하여 국토지리정보원의 수치지형도 작업규정에 준하여 수치도화를 실시하였다. 정사영상을 이용하여 해안에 접한 부분의 수치도화를 통한 정량적 변화 탐지 시 경사가 크거나 조위차가 0.3m 이내로 매우작은 경우 조위에 의한 영향을 크게 고려하지 않지만, 이러한 경우를 제외한 대부분 조위변화를 고려하여 해안선을 결정하여야한다(김기홍 등, 2005 ; 최철웅 등, 2005). 해안선의 결정에 있어 항공영상의 취득 시점과 약최고고조면의 시점이 일치하는 경우에는 해안선 추출에 문제가 없지만, 대부분 이들 시점이 일치하지 않아 조위의 변동에 따른 해안선의 보정이 필요하다. 본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하는 가덕도 조위관측소의 조위자료를 이용하여 자연경계인 을숙도 서편에 대하여 조위보정을 실시하였다. 동편지역의 경우 인공호안으로 제방을 쌓아 조위차의 영향을 받지 않기 때문에 제외하였다. 조위보정 방법으로는 정승진 등(2004)과 류성훈 등(2009)이 그림 7과 식 (1)에 나타낸 바와 같이 지표면의 경사(θ)가 일정하다는 가정하에 지표경사를 이용하여 조위차(l)의 영향에 따른 수평방향의 해안선 보정거리(S)를 결정한 사례를 참고로 하였다.

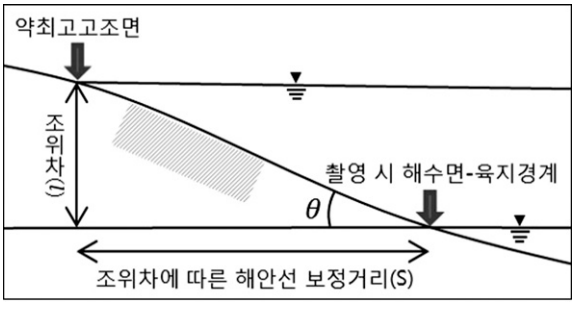

그림 7. 조위보정 방법 예시

$$S = \frac{l}{\tan\theta} \quad (1)$$

지표경사는 2007년도 컬러영상과 거의 동일한 시기(2007.12.25)에 측정된 항공 Lidar자료를 이용하여 그림 8과 같이 을숙도 서편에 대하여 약 250m 간격의 8개 단면에 대하여 표고변화로부터 경사도를 계산하였다. 과거 30년간 약최고고조면의 평균값이 +201cm이며 2007년의 경우 촬영당시의 조위가 +136cm로 63cm의 조위차가 있음을 알 수 있다. 이에 대한 각 단면의 경사도와 식 (1)을 이용한 해안선 보정량(S)를 표 3에 나타내었다.

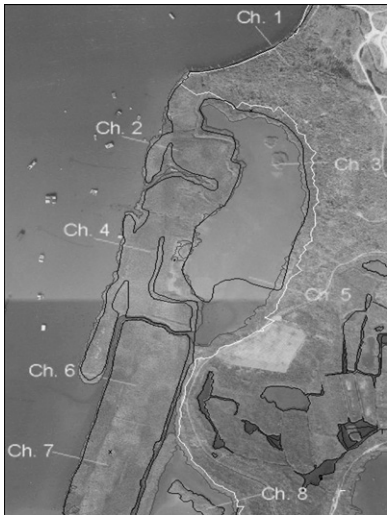

그림 8. 을숙도 서편의 각 단면

표 3. 2007년 각각의 단면 경사 및 해안선 보정거리

단 면	지표경사(θ)	해안선 보정량(S)
Ch. 1	10.769°	4.42m
Ch. 2	0.088°	544.29m
Ch. 3	2.367°	20.32m
Ch. 4	0.080°	604.61m
Ch. 5	2.448°	19.65m
Ch. 6	0.149°	323.65m
Ch. 7	0.457°	105.32m
Ch. 8	5.624°	8.53m

조위보정 실시 후 결과 비교를 위해 1:5000 수치지도를 정사영상과 중첩하여 그림 8에 나타내었다. 붉은색 선은 식생의 최 외곽을 기준으로 한 경계, 푸른색 선은 수치지도의 경계, 노란색 선은 조위보정을 실시한 해안선이다. 조위보정을 수행한 결과 을숙도 서편의 실제 해안선은 영상에서 판독 가능한 식생의 최 외곽 경계로부터 최대 306.1m, 수치지도상의 해안선 경계로부터 최대 295.7m의 차이를 보였다. 이렇게 큰 차이를 보이는 을숙도 서편은 조위가 최대로 상승 할 때를 제외하면 하루 중 대략 20시간 이상이 육지와 같이 드러나 있다. 또한 갈대와 같은 식생으로 인하여 만조 시에도 육지처럼 보이는 지역이므로 측량 · 수로조사 및 지적에 관한법률상의 해안선 정의에 따라 명확하게 구분하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 지역적 특성과 을숙도 내부의 식생에 대한 변화 관찰 및 관리의 목적 등을 고려하여 육지와 해안의 경계를 영상에서 명확히 판독 가능한 식생의 최 외곽으로 정의하여 연구를 수행하였다.

4. 결과 분석

정량적 분석에 앞서 을숙도의 각 시기별 변화 양상에 대하여 그림 9에 나타내었다.

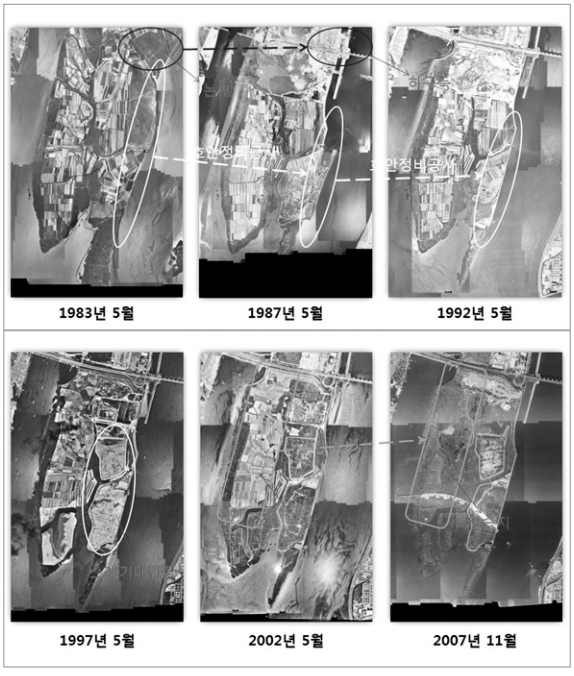

그림 9. 다중시기 정사영상

이러한 변화요인에 따른 변화들을 정량적으로 분석하여 아래에 나타내었다. 먼저 앞서 결정한 해안선 기준에 따른 을숙도 면적을 그림 10에 나타내었다.

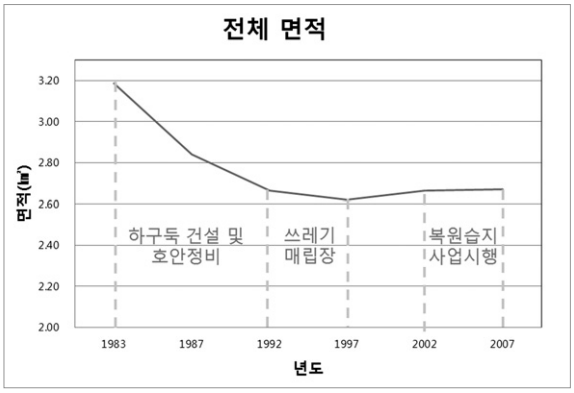

그림 10. 연도별 을숙도 면적 현황

분석 결과에 따르면 1983년부터 1992년 사이에 면적에 대한 변화가 가장 크게 나타남을 확인 할 수 있었다. 이는 낙동강 하구둑 공사와 준설로 인하여 면적이 크게 감소하였다가, 1990년대부터 큰 변화 없이 약 2.66㎢로 유지 된 것을 확인 할 수가 있다.

그림 11에서는 논 · 밭과 같은 경작지, 그림 12에는 건물, 그림 13에는 도로에 대한 면적을 순차적으로 나타내었다.

경작지 면적의 경우 개발로 인한 토지이용 형태가 변화하여 1983년과 1987년 사이에 건설된 낙동강 하구둑 공사로 인하여 약 0.5㎢가 감소하였고, 1992년과 1997년 사이에는 부산시 쓰레기 매립장으로 이용됨에 따라 약 0.6㎢가 감소, 2002년과 2007년 사이에는 복원습지 사업 시행의 결과로 을숙도 내 경작지는 더 이상 존재하지 않고 있다.

건물의 경우 1983년과 1987년 사이 하구둑 건설로 인하여 면적이 감소하였다가 1992년과 1997년 사이 쓰레기 매립장 조성으로 인한 관리시설의 건설로 그 면적이 크게 증가하였고, 2002년부터 2007년 사이 복원습지사업 시행 시 생태공원 조성 및 낙동강하구에코센터의 건설에 따른 면적증가로 전체적 시간의 흐름에 따라 증가하는 추세로 나타났다. 도로 또한 개발이 진행됨에 따라 계속 증가하였으나 2000년대 들어서면서 낙동강하구에코센터 건설 등 필요에 따른 도로는 계속 생성되었지만, 복원습지 사업 때 경작을 위하여 존재하던 도로가 습지로 변경되어 습지화되는 도로의 면적이 더 큼에 따라 약 0.02㎢정도가 감소하였다.

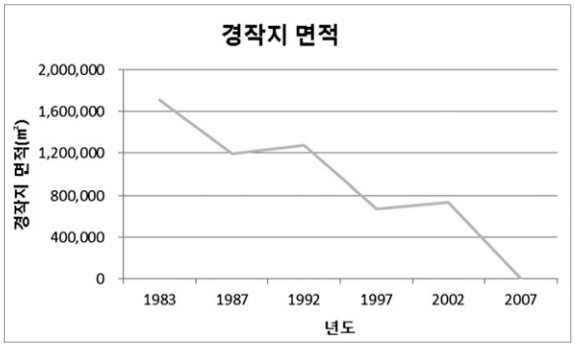

그림 11. 경작지 면적

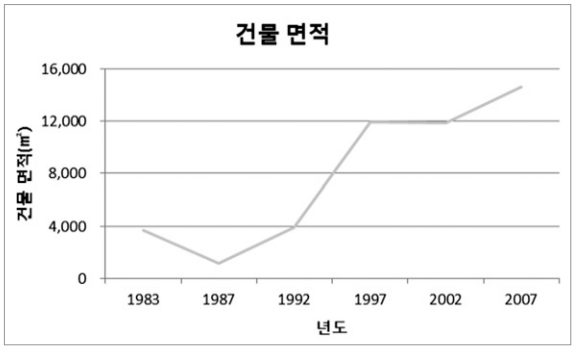

그림 12. 건물 면적

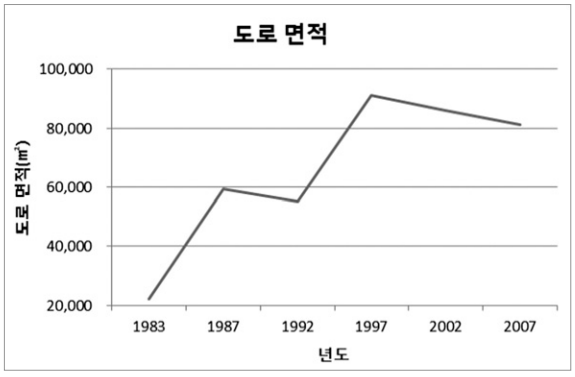

그림 13. 도로 면적

5. 결 론

본 연구에서는 낙동강 하구 을숙도 지역에 대하여 과거 약 24년간의 아날로그영상 자료를 이용하여 AT분석 후 수치도화를 실시, 정량적 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 과거 항공영상의 촬영당시 GCP자료가 존재하지 않을 경우, 과거부터 현재까지 존재하는 특정점의 좌표를 이용하여 AT를 수행하여도 약 1m수준의 정확도를 얻을 수 있다.

둘째, 수치도화를 통하여 을숙도 전체면적은 1983년부터 1992년까지 감소 추세를 보이다 이후 큰 변화가 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.

셋째, 모자이크 영상을 통하여 을숙도의 과거 토지이용이 시간의 흐름에 따라 진행된 개발에 의해 전체에 걸쳐 그 이용형태가 확연하게 변화한 것을 확인 할 수 있었다.

넷째, 경작지 면적의 경우 시간이 지남에 따라 개발로 인하여 감소 추세, 건물과 도로 면적의 경우 증가 추세인 것을 알 수 있었다.

향후 디지털 항공영상, Lidar자료와 기존 자료를 연계하면 더욱 정밀한 3차원적 변화양상 및 예측이 가능할 것이며 복원습지 관리 기초자료로의 이용되어 질 것이다. 또한, 을숙도 서쪽 해안선에 대한 지속적 분석을 통하여 4대강 사업으로 인한 변화 양상 및 피해분석 예측이 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임.(No.2010-0025177)

참고문헌

김기홍, 최승필, 육운수, 송영선 (2005), CORONA 위성영상을 이용한 동해안 해안선 변화탐지, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제 23권, 제 4호, pp. 419-426.

김백운, 김부근, 이상룡 (2007), 낙동강 하구역 울타리 섬의 해안선 변화율, **한국해안해양공학회지**, 한국해안해양공학회, 제 19권, 제 4호, pp. 361-374.

김성환 (2005), 하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화, **대한지리학회지**, 대한지리학회, 제 40권, 제 4호, pp. 416-427.

노백호, 이창희 (2006), **지속가능한 하구역 관리방안 Ⅲ-1**, 한국환경정책평가연구원, pp. 1-2.

류성훈, 이인철, 박소영 (2009), 낙동강 하구역 진우도내 지형변동에 따른 식생면적의 변화, **한국해양공학회지**, 한국해양공학회, 제 23권, 제 4호, pp. 19-24.

오치영, 박소영, 최철웅, 전성우 (2010), 위성영상과 GIS를

이용한 낙동강하구 지형변화탐지, **한국지형공간정보학회지**, 한국지형공간정보학회, 제 18권, 제 1호, pp. 21-29.

유창일, 윤한삼, 류청로, 이인철 (2006), 해도분석을 통한 낙동강 하구 사주 면적의 시 · 공간 변화, **한국해양공학회지**, 한국해양공학회, 제 21권, 제 2호, pp. 54-60.

윤한삼, 유창일, 강윤구, 류청로 (2007), 낙동강 하구역 삼각주 발달에 관한 문헌 고찰 연구, **한국해양공학회지**, 한국해양공학회, 제 21권, 제 2호, pp. 22-34.

윤한삼, 유창일, 류청로, 이인철 (2005), 낙동강 하구역 진우도 주변의 퇴적환경변화, **추계학술대회 논문집**, 한국해양환경공학회, pp. 44-49.

이재원, 김용석, 위광재 (2010), 다중시기 영상자료를 이용한 을숙도 습지 지역의 정성적 변화분석, **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제 13권, 제 2호, pp. 64-73.

이재원, 이기철, 김용석, 위광재 (2009), LiDAR 자료를 이용한 을숙도 지역의 3차원 습지 구분도 제작, **한국측량학회지**, 한국측량학회, 제 27권, 제 6호, pp. 639-647.

정승진, 김규한, 편종근 (2004), 항공사진을 이용한 장기해안선변화 조사, **한국해안해양공학회지**, 한국해안해양공학회, 제 16권, 제 1호, pp. 10-17.

최철웅, 김연수, 서용철 (2005), 정사항공사진과 해양조사 측량을 이용한 해안선변화 탐지에 관한 연구, **한국해안해양공학회지**, 한국해안해양공학회, 제 17권, 제 2호, pp. 61-69.

환경부 (2009), **환경백서**, pp. 286-287.

(접수일 2011. 09. 28, 심사일 2011. 10. 21, 심사완료일 2011. 10. 25)