韓國地形空間情報學會誌 第18卷 第1號 2010年 3月 pp. 21-29

연구논문

위성영상과 GIS를 이용한 낙동강하구 지형변화탐지

Change Detection at the Nakdong Estuary Delta Using Satellite Image and GIS

오치영* · 박소영** · 최철웅*** · 전성우****

Oh, Che Young · Park, So Young · Choi, Chul Uong · Jeon, Sung Woo

要 旨

낙동강 하구는 세계적 철새 서식지로 부산의 관광명소인 해운대와 광안리의 모래 공급지로 다양한 역할을 하고 있다. 본 연구는 낙동강 하구(진우도, 신자도, 도요등, 다대포) 해안의 장기간 지형변화를 탐지·해석 하였다. 34년간의 위성영상 분석 결과 진우도의 전면과 후면의 중간부분이 증가하고, 신자도는 1970년 띠 형태로 양분, 80년대 이후 하나의 섬으로 형성하여 서쪽 방향으로 길게 형성된다. 1990년대 이후 백합등 전면의 소규모 섬들이 급격히 발달하여 90년대 후반 도요등을 형성하여 성장하고 있었다. 낙동강 하구역 해안지도 제작을 위해 1975년부터 2009년간 Landsat 영상 112매 중 조위가 99±13㎝인 영상 12매를 선택하고 NDVI값을 이용해 수역과 육역을 구분하였다. 그리고 GIS의 DSAS 4.0(Digital Shoreline Analysis System)과 MATLAB을 이용해 EPR(End Point Rate), LRR(Linear Regression Rate)등 해안선 변화율을 산정하였다. 지형변화탐지결과 EPR은 진우도 전면과 후면은 -0.93~2.56m/yr로 남진하고 해안선과 면적변화는 적고 안정적이며 신자도 전면과 후면은 1~4m/yr로 북진하나 서측은 2~3m/yr로 안정되고 동측은 10m/yr이상 북진하고 있다. 도요등 전면과 후면은 18~27m/yr로 북진, 면적은 증가하고 다대포해안은 7m/yr로 서진하며 확대되었다. LRR 또한 EPR과 유사한 경향을 나타내었다. 위성영상과 GIS 분석을 통해 지형변화 탐지와 자연현상의 정량적 분석이 가능하였지만 자연현상의 지속적인 관찰과 다양한 분석 방법이 필요함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 낙동강 하구, Landsat, 지형변화 탐지, DSAS

Abstract

Nakdong Estuary Delta plays various roles of worldwide habitat for migratory birds and a sand supplier to Haewoondae Beach and Gwanganri, which are tourist attractions of Busan. In this study, long-term topographical changes of Nakdong Estuary (Jinwoo Islet, Sinja Islet, Doyodeung, Dadae Beach) coast were detected and interpreted. Through the analysis of 34 years' satellite images, it was found out that a part in between front side and back side of Jinwoo Islet increased, Sinja Islet was divided into two belts in 1970, and has formed an islet since the 1980s and extended westward. Due to the rapid development of small islets in front of Baekhabdeung since 1990s, Doyodeung formed in the late 1990s and is still growing. To make coastal map of Nakdong Estuary area, 13 images, of which the tide level was 99±13㎝, from the 112 Landsat images of the period from 1975 to 2009 were selected to section into water zone and land zone using NDV. And the rates of coastal line change such as MATLAB EPR(End Point Rate) and LRR(Linear Regression Rate) were calculated using DSAS 4.0(Digital Shoreline Analysis System). Through detecting topographical changes, EPR showed that the front(south) and back side(north) of Jinwoo Islet moved southward at -0.93~2.56m/yr, and changes in costal line and area of Jinwoo Islet were low and stable. The front and backside of Sinja Islet moved northward at 1~4m/yr, whereas the west side of Sinja Islet was stable at 2~3m/yr and east side of Sinja Islet moved northward at 10m/yr or faster. The front and back side of Doyodeung moved northward at 18~27m/yr, causing the increase of area, while the coastal line of Dadae Beach moved westward at 7m/yr, causing the expansion of the beach. LRR also demonstrated a similar trend to EPR. Although analysis of satellite images and GIS could enabled detection of topographical changes and quantitative analysis of natural phenomena, we found that continuous observation of natural phenomena and various analytical methods are required.

Keywords : Nakdong Estuary Delta, Landsat, Change Dection, DSAS

2009년 12월 1일 접수, 2009년 12월 30일 채택

* 정회원 · 부경대학교 위성정보과학과 석사과정(leeieel@nate.com)

** 부경대학교 위성정보과학과 박사과정(yac1000@nate.com)

** 정회원 · 부경대학교 위성정보과학과 부교수(cuchoi@pknu.ac.kr)

** 교신저자 · 한국환경정책 평가연구원 팀장(swjeon@kei.re.kr)

1. 서 론

본 연구지역인 낙당강 하구 주변지역은 그림 1과 같이 문화재보호구역(Cultural preservation Belt : 철새도래지역 : 1966.07 문화관광부 231.9㎢), 특별관리해역(Special Ocean Area, 1982.10 해양수산부), 생태·경관보전지역·습지보호지역(Eco, landscape & wetland preservation area : 환경부), 자연환경보전지역(Natural Environmental Preservation : 1988.12 건설교통부)으로 지정, 법적 보호를 받고 있으며 세계적인 자연유산으로도 보호하고 있다(부산광역시, 2008).

자연적 · 인위적인 영향을 받는 해안선은 동적으로 변화하며 장기변화로 해수면상승, 하천의 수위변화 등에 영향을 받고 단기변화로 조석, 지진, 태풍에 영향을 받는다. 낙동강하구 연안의 사주, 습지, 섬 또한 자연적, 인위적 요인으로 끊임없이 변하고 있다.

다년간의 위성영상을 중첩하여 판독결과 그림 2와 같이 매립(A) : 14,472,550㎡, 굴착(B) : 1,286,016㎡의 인위적인 변화가 파악되었다. 매립과 굴착은 침식과 퇴적을 반복하는 낙동강하구 지역의 하류 흐름을 변화시키는 주된 원인으로 예상된다.

해안선 변화탐지 · 예측에 관한 국내연구는 토지이용 변화에 따른 해운대 해안의 상관성 분석을 하였고(양지연, 2006), 김상호 등(2003)은 수치해석기법을 도입하여 파랑의 변화로 인한 해빈류를 계산 후 3차원 지형변화를 예측 하였다. 국외의 경우 130년간(1858~1983년)의 장기간에 걸친 침퇴적에 관한연구(Amy et al, 2004)와 위성영상을 이용하여 인도 뱅갈만 지역의 해안선변화와 예측(Sabyasachi et al, 2009)등이 수행되었다.

낙동강 하구 지형변화관련 연구로 김성환(2005), 김백운 등은(2007) 낙동강 하구둑 건설이후 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화 관측을 위해 항공사진과 해석도화기를 이용 1987~2001년 중 3회, 1975~2001년 중 6회 관측을 통해 낙동강 하구 울타리 섬의 지형변화를

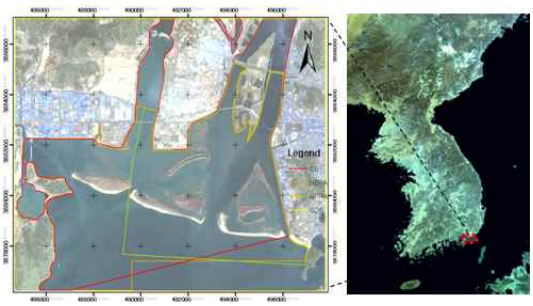


그림 1. 낙동강하구 보전지역

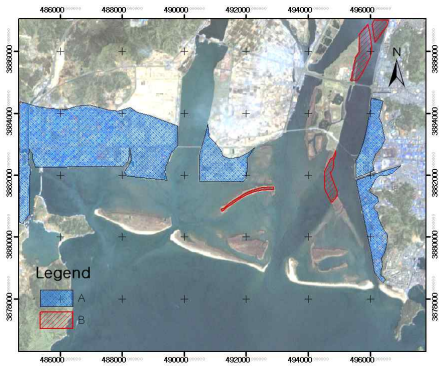


그림 2. 매립(A) 및 굴착(B) 탐지

탐지하였고, 윤은찬 등(2008)은 낙동강 하구에서 격자망을 구성 후 표층 퇴적물을 계절별로 채취해 계절적 퇴적환경 변화특성을 파악하였다. 낙동강 하구의 선행연구들은 자료 구축의 어려움과 단 시기적 자료로 인해 자연 현상 분석에 다소 어려움이 있는 것으로 파악된다.

전통적인 해안선 변화결정 방법은 고수위를 기준한 항공사진과 지형도로 해안선 변화를 탐지추출하고 EPR(End point rate), AOR(Average of rate)과 LR(Linear regression), JK(Jackknife)를 이용하여 통계적 방법으로 자료를 비교 분석하는 것이다(Fenster et al, 1993).

본 연구는 해안선 측정오차의 최소와 객관적인 분석을 위해 RS와 GIS을 이용하였다. 해안선 추출시 반자동 결정(Ryu et al, 2002)방식을 응용하였고, 고정밀 기하보정 후 조위와 파고에 의한 해안선의 단기적 변화성 감소를 위해 Landsat 위성영상 112장 중 조위는 99±13㎝이내, 파고는 1m이하인 영상을 선별 후 활용하였고, 측정시간의 비균일성 감소를 위해 2000년 이전은 5년 혹은 10년 주기로, 2000년 이후는 1년 단위로 구축하였다. 또한 해안선 변화량은 최대해안선 변화량(Shoreline change envelope), 순해안선 변화량(Net shoreline movement)으로 산정하고 해안선 변화율은 년해안선 변화율(End point rate), 최소자승법(Least median of squares), 선형회귀법(Linear Regression)으로 산정하여 각 변화량과 변화율의 통계적 정확도를 비교 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구 자료

본 연구는 USGS에서 제공되는 1975년부터 2009년간 촬영된 Landsat영상을 사용하였고, Path 114, Row

표 1. 위성영상 종류 및 조위

No.	Date	조위 (cm)	센서	해상도 (m)	조위	RMSE (Pixel)
1	1975.02.03	110	MSS	57.00	썰물	0.23
2	1985.10.07	87	TM	28.50	밀물	0.35
3	1999.12.09	94	ETM	14.25	썰물	0.28
4	2000.08.05	109	ETM	14.25	밀물	0.21
5	2001.08.24	124	ETM	14.25	만조	0.13
6	2002.03.20	89	ETM	14.25	만조	0.24
7	2003.01.18	92	ETM	14.25	썰물	0.48
8	2005.10.06	113	ETM	14.25	썰물	0.35
9	2006.09.07	84	ETM	14.25	썰물	0.22
10	2007.04.03	92	ETM	14.25	썰물	0.27
11	2008.10.30	101	ETM	14.25	썰물	0.32
12	2009.05.10	103	ETM	14.25	썰물	0.24

36 지역의 영상 112매 중 조위가 99±13㎝ 이며 RMSE가 0.5이하인 영상 12매를 사용하였다. 위성영상의 정보와 촬영된 영상의 조위 정보는 표 1과 같다.

2.2 해안선 탐지 및 추출

RS 기법을 이용한 다중시기의 영상에서 추출된 해안선은 조위보정이 필요하고(Ryu et al, 2002: Pajak et al, 2002), 기상학적 조건의 다양성(Singh, 2002) 때문에 어렵다. 또한 자동 또는 수동해안선 추출기법을 이용한 해안선 탐지는 수역과 육역 경계근처의 조간대지역 때문에 복잡하다 (Loos et al, 2002). 일반적으로 수역과 육역을 구별하기위해 사용되는 740-2400㎚ 파장대 사이의 근적외 및 중적외 영역을 사용하였고(John, 2000), NDVI에서 식생은 0이상의 값을 가지나 수역과 빙하와 같은 비식생은 0값으로 구별 가능하다(Lillesand et al, 1994). 이를 이용하여 그림. 3과 같이 NDVI를 산정하고 무감독분류(Unsupervised Classification) 후 최대우도법(Maximum likelihood)으로 수역과 육역을 구분하였다. 이를 ArcGIS의 Raster to Vector로 shp 파일을 제작하였다(그림 3).

2.3 수치해안선분석시스템

본 연구에서는 수치해안선분석시스템 4.0(DSAS 4.0 : Digital Shoreline Analysis System 4.0)을 적용하여 진우도, 신자도, 도요등, 다대포 해변에 대한 장기간 해안선 변화율을 산정하였다. 그림 4 와 같이 영상에서 추출한 해안선과 DSAS 4.0을 이용해 섬과 해변의 전면에 기준선(baseline)을 설정하고, 기준선에 수직인 횡단측선(transect)을 생성한다. 기준선 설정시 해안선과

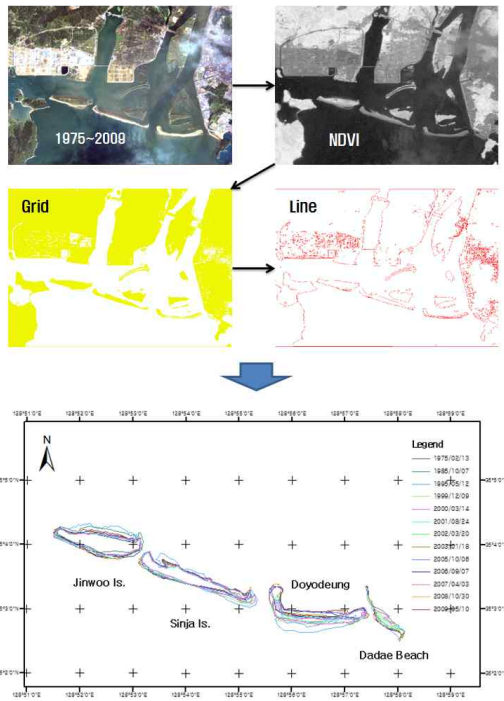


그림 3. 해안선 추출

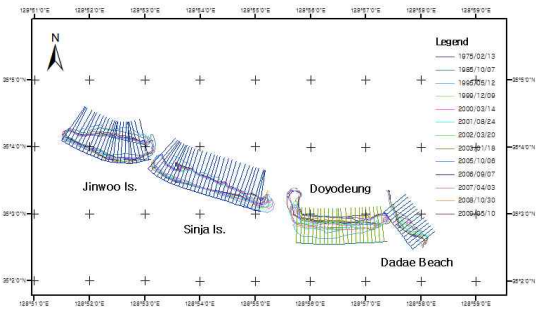


그림 4. DSAS 분석을 위한 횡단측선 구축

비슷한 형태를 가져야 한다. 각 섬들의 전면(남쪽) 분석과 후면(북쪽) 분석을 동시에 실시하기 위해 횡단측선간의 교차를 고려하여 생성하였다. 그리고 정확한 분석을 위해 각각 작업을 달리하였다. 횡단측선 길이는 섬의 후면이 포함되는 800m(진우도, 신자도, 도요등), 500m(다대포)이고, 측선간격은 110m(진우도, 신자도, 도요등), 80m(다대포)로 설정하였다.

3. 수치해안선분석

DSAS 4.0으로 분석한 결과를 SPSS 13.0으로 통계

분석 하였다. 분석 결과는 그림 5와 표 2~6과 같다. 수치는 절대 값으로 +값은 북, 동(다대포) 방향을, －값은 남, 서(다대포) 방향의 변화를 나타낸다. 전면은 남쪽 해안선을 후면은 북쪽 해안선을 의미 한다.

3.1 최대해안선 변화량 (SCE)

Shoreline change envelope(단위 : m)는 년도와 무관하게 베이스 라인으로부터 가장 가까운 해안선과 가장 먼 해안선까지의 거리를 나타내어 해안선 최대 변화량을 나타낸다. 최대해안선 변화량의 통계분석 결과 표 2와 같고 SCE의 평균은 진우도가 143.6(전면), 266.1(후면)으로 전면보다 후면의 변화가 크며 신자도는 111.7(전면), 137.2(후면)으로 가장 적은 변화를 보였다. 도요등은 363.3(전면), 296.5(후면)으로 전면의 변화가 크며 전체 섬들중 가장 큰 변화를 보였다. 다대포 해변은 196.3로 나타났다.

3.2 순해안선 변화량 (NSM)

Net shoreline movement(단위: m)은 각 transect에서 가장 오래된 해안선과 가장 최근의 해안선 사이의 거리를 나타낸다. 순해안선 변화량의 통계분석 결과 표 3와 같다. NSM의 평균은 도요등이 348.2(전면), 293.4(후면)로 나타났고 신자도는 63.0(전면), －14.0(후면)으로 최대해안선 변화량의 분석결과와 상이하다. 이는 신자

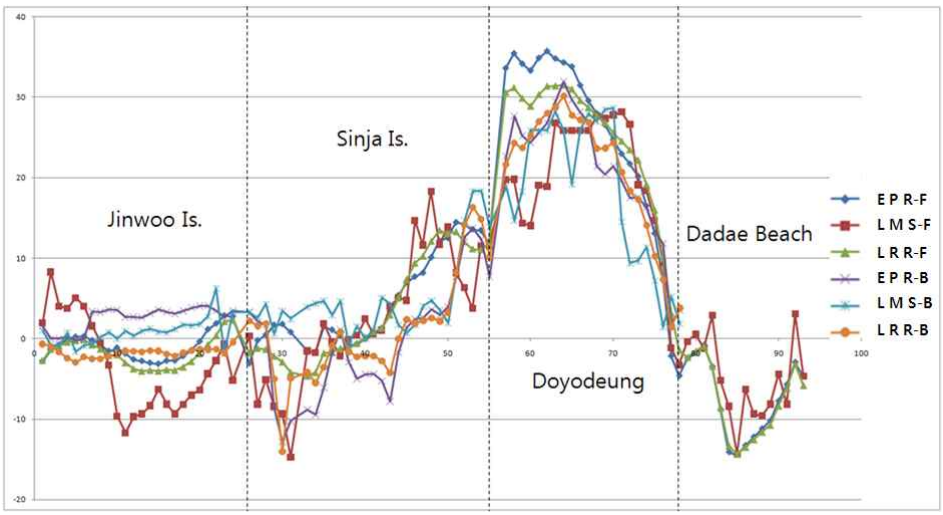
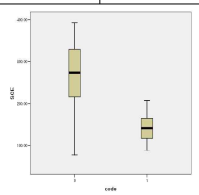
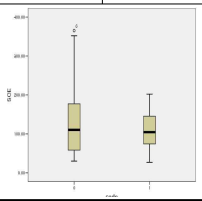
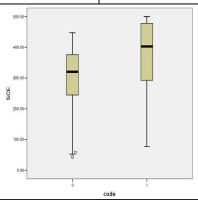
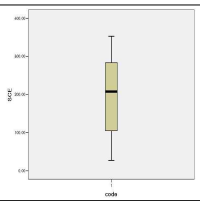


그림 5. EPR & LRR & LMS 결과 값

표 2. 최대해안선 변화량 (SCE:Shoreline Change Envelope)

SCE	진우도		신자도		도요등		대다표
	후면	전면	후면	전면	후면	전면	전면
Mean	266.05	143.61	137.23	111.72	296.54	363.28	196.34
95% M.l.	230.38	128.94	101.25	92.12	247.73	303.14	134.80
95% M.u	301.72	158.28	173.22	131.32	345.34	423.42	257.87
5% T.M.	269.52	143.14	130.58	111.45	302.38	371.50	197.07
Median	274.36	141.80	110.27	104.48	320.07	402.56	207.81
Std. Dev	84.46	34.75	96.36	52.49	110.07	135.65	111.12
Min	76.81	87.95	30.04	26.82	43.00	76.73	26.90
Max	392.97	207.01	365.23	202.27	446.86	499.86	352.57
Dispersion							

도가 반시계 방향으로 년 0.36도 회전하며 동측 및 서측이 북진 증가하였기 때문으로 판단된다. 진우도는 -32(전면), 87.7(후면)로 전면은 남진, 후면은 북진하고 있으며 최근 10년간 크기가 약 25% 확대되었다.

3.3 년 해안선 변화율(EPR)

End point rate(단위: m/yr)은 가장 오래된 해안선과 가장 최근 해안선 사이의 경과된 시간과 해안선 거리차의 비로 계산된다. 변화율 분석결과(표 4) 진우도는 −0.9(전면), 2.6(후면)으로 전면은 남진하고 후면은 북진하면서 섬 중앙부위의 면적이 확대되고 있다. 그러나 최근의 변화 비율은 낮고 일정하게 나타나 주변 해수 흐름의 변화가 없다면 진우도의 큰 변화는 예측되지 않는다. 신자도 또한 4.5(전면), −0.7(후면)으로 전면은 남진하고 후면은 북진하는 것으로 나타났다. 신자도의 동측은 반시계 방향으로 회전하고 서측이 우세한 경향을 나타낸다. 신자도 동측의 변화는 현재 낙동강의 주된 수로의 역할로 인해 변하고 있는 것으로 추정된다. 다대포는 -7.6로 서진하고 도요등 또한 북측으로 전진하여 하구의 다대포와 도요등 사이 바다폭은 감소하고 있다. 도요등은 24.8(전면), 21.1(후면)로 전체 폭은 작아지고 있으나 섬의 서동측으로 확대되며 북진하여 실제 면적은 증가하고 있다. 도요등은 다른 섬들에 비해 년 평균 20m라는 큰 변화율을 나타낸다. 이러한 변화가

표 3. 순해안선 변화량(NSM : Net Shoreline Movement)

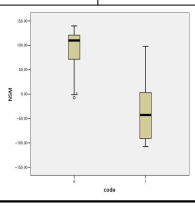
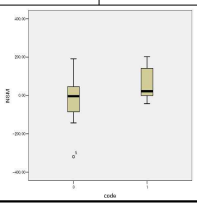
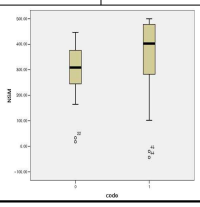
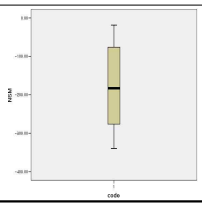
NSM	진우도		신자도		도요등		대다표
	후면	전면	후면	전면	후면	전면	전면
Mean	87.73	-31.95	-14.04	63.04	293.39	348.21	-178.94
95% M.l.	66.85	-57.74	-55.54	32.99	242.58	274.82	-241.51
95% M.u	108.61	-6.17	27.46	93.09	344.21	421.60	-116.37
5% T.M.	90.09	-34.96	-11.50	60.90	300.26	361.45	-178.93
Median	109.93	-42.97	-4.19	22.35	308.45	402.56	-183.12
Std. Dev	49.45	61.07	111.13	80.48	114.61	165.52	112.99
Min	-7.46	-107.57	-319.29	-43.14	17.82	-43.54	-339.60
Max	139.76	97.79	191.49	202.27	446.86	499.86	-18.54
Dispersion							

표 4. 년 해안선 변화율(EPR : End Point Rate)

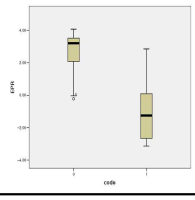
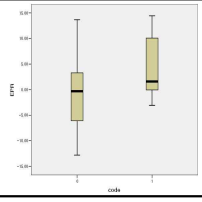
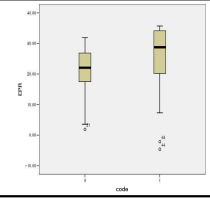
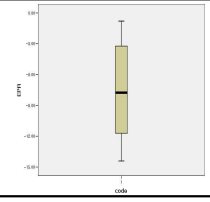
E P R	진우도		신자도		도요등		대다표
	후면	전면	후면	전면	후면	전면	전면
Mean	2.56	-0.93	-0.67	4.50	21.05	24.78	-7.59
95% M.l.	1.95	-1.69	-3.35	2.36	17.50	19.43	-10.24
95% M.u	3.17	-0.18	2.01	6.65	24.59	30.14	-4.93
5% T.M.	2.63	-1.02	-0.82	4.35	21.51	25.80	-7.59
Median	3.22	-1.26	-0.30	1.60	22.04	28.77	-7.76
Std. Dev	1.44	1.78	7.17	5.75	8.00	12.07	4.79
Min	-0.22	-3.14	-12.82	-3.08	1.89	-4.62	-14.40
Max	4.08	2.86	13.68	14.45	31.93	35.72	-0.79
Dispersion							

표 5. 선형회귀법 변화율(LRR : Linear Regression Rate)

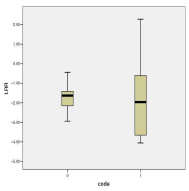
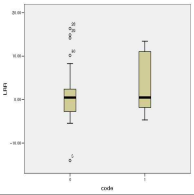
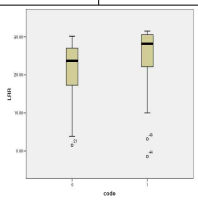
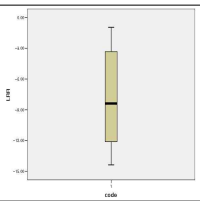
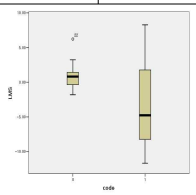
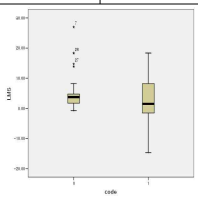
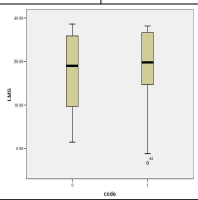
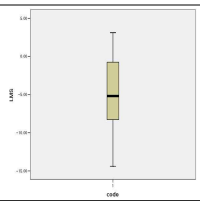
LRR	진우도		신자도		도요등		대다표
	후면	전면	후면	전면	후면	전면	전면
Mean	-1.70	-1.80	1.04	3.42	20.73	24.15	-7.79
95% M.l.	-1.95	-2.59	-1.39	0.98	17.04	19.99	-10.42
95% M.u	-1.45	-1.01	3.47	5.85	24.42	28.32	-5.16
5% T.M.	-1.70	-1.90	0.89	3.30	21.27	25.14	-7.80
Median	-1.64	-1.97	0.46	0.51	23.71	28.20	-8.39
Std. Dev	0.59	1.88	6.50	6.52	8.32	9.40	4.75
Min	-2.95	-4.06	-14.00	-4.67	1.50	-1.45	-14.38
Max	-0.44	2.28	16.36	13.45	30.17	31.50	-0.95
Dispersion							

표 6. 최소 자승법(LMS : Least Median of Squares)

LMS	진우도		신자도		도요등		대다표
	후면	전면	후면	전면	후면	전면	전면
Mean	0.82	-3.42	5.58	2.68	18.26	19.61	-4.90
95% M.l.	0.10	-5.85	3.18	-0.22	14.10	15.66	-7.70
95% M.u	1.54	-0.99	7.97	5.57	22.41	23.56	-2.11
5% T.M.	0.69	-3.60	4.89	2.74	18.61	20.40	-4.82
Median	0.81	-4.78	3.74	1.48	19.03	19.80	-5.20
Std. Dev	1.70	5.76	6.42	7.75	9.37	8.92	5.05
Min	-1.80	-11.69	-0.75	-14.71	1.48	-3.29	-14.40
Max	6.23	8.28	26.99	18.33	28.64	28.19	3.10
Dispersion							

계속된다면 향후 백합등과 결합 또는 다대포 해안의 연결로 인해 하구 폐색의 주된 원인이 될 수 있다.

3.4 선형회귀법 변화율(LRR)

Linear regression rate (단위: m/yr)은 전체 해안선 자료를 이용하는 선형회귀식으로 계산된다(표 5). 이 방법에서 R^2 값은 선형회귀식이 자료의 분산을 어느 정도로 평가하는지에 대한 척도로 사용될 수 있다. 즉, 시간과 해안선 위치 사이의 상관관계가 선형으로 설명될 수 있는지를 반영한다(김백운 등, 2007). LRR의 통계분석 결과 표 6과 같이 진우도는 −1.8(전면), −1.7(후면)로 전면, 후면이 북진하는 것으로 나타났다. 신자도는 3.4(전면), 1.0(후면)으로 전면과 후면이 모두 남진하는 것으로 나타났다. 다대포는 −7.8로 서진하고 진우도 또한 동측으로 전진하고 있어 다대포와 진우도 사이의 바다폭은 감소하고 있다.

3.5 최소 자승법(LMS)

Least Median of Squares (단위: m/yr)는 최적의 선이 구획된 나머지의 합을 최소화하는 식으로 점을 통과하여 놓여진다. 데이터가 평균 차감을 계산하는데 이용되는 선형회귀방법과 선의 방정식은 입력한 점이 회귀선과 가능한 가까이 위치하도록 하기위해 이 값을 최소화함으로서 결정된다. 이 방법은 포괄적인 회귀방정식

에 대한 outlier의 영향을 최소화한다. DSAS에서 데이터 점에 선을 맞추는 과정은 LRR방법과 같은 논리를 따른다. LMS는 Rousseeuw와 Leroy(1987)의 접근법에 따라 제한된 범위 내에 경사도(변화율)의 모든 가능한 값들을 계산한다. 분석 결과는 표 6과 같다. 진우도는 평균 0.8(전면), −3.4(후면)로 전면은 북진을 후면은 남진으로 나타났고, 신자도는 2.7(전면), 5.6(후면)으로 전·후면이 남진을 나타내었다. 도요등은 19.6(전면), 18.3(후면) 전·후면이 남진하고 폭은 작아지고 있고 서·동측으로 확대되어 실제 면적은 증가하고 있다.

4. 위성영상 분석

4.1 1970년대 지형변화

1970년 중반 낙동강 서측 신호도와 녹산도를 연결하여 산업단지와 택지조성을 위한 매립이 확인되었다. 당시 낙동강의 주수로는 현재의 사상공단측과 달리 명지측으로 형성되어있고 신자도는 띠형으로 양분되어 있으며 도요등은 아직 출현하지 않았다(그림 6). 을숙도 북단 사상지역과 매우 인접한 위치에서 을숙도내 농경지가 추정되며, 아직은 맹금부리가 을숙도에 포함되어 있었다.

4.2 1980년대 지형변화

1980년대 초반 일웅도 일부를 제거하였고, 1980년대 중반에는 하구언 공사를 시작하였고 사상공단건설을 위한 매립공사를 실시하여 사상지역 습지를 매립하였다. 을숙도 남측도 인공 수로 공사를 실시해 을숙도와 맹금부리가 분리되었으며 1980년 후반 도요등의 일부가 출현하기 시작하고 사하공단 건설을 실시하였다(그림 7).

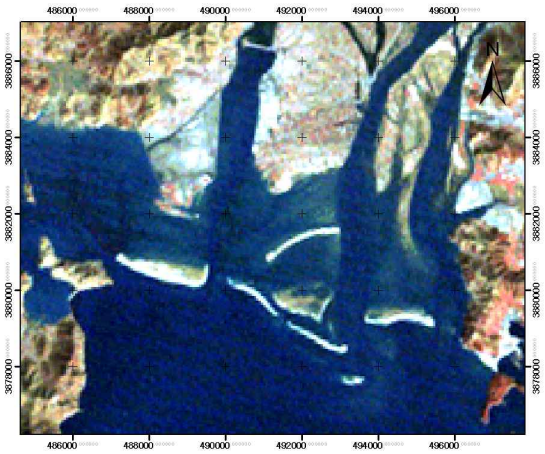


그림 6. Landsat MSS, 1975.02.03

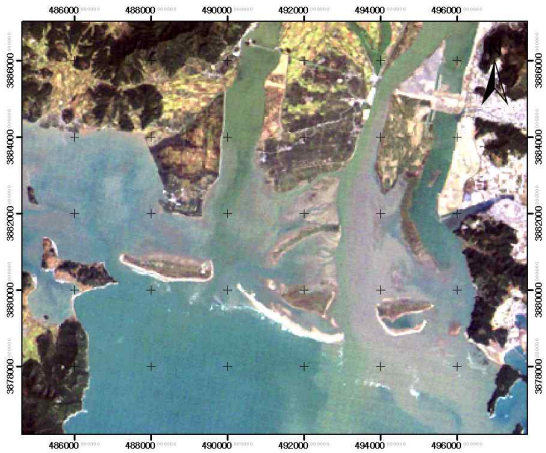


그림 7. Landsat TM, 1985.10.07

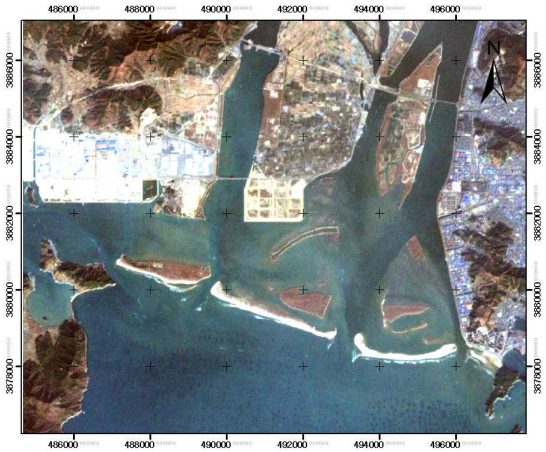


그림 8. Landsat ETM, 1999.12.09

4.3 1990년대 지형변화

1990년대 지형변화는 그림 8과 같이 1990년 초반 명지택지조성 공사로 인한 대규모 매립공사를 시행하였고 1990년대 중반 부산신항만 건설과 녹산공단 건설을 위해 대규모 매립공사가 시작되었으며, 1990년대 후반 신호대교가 건설되어 낙동강하구 지역의 대규모 지형변화가 시작되었다.

4.4 2000년대 지형변화

그림 9와 같이 2000년대 초반 을숙도 정비 사업을 실시하였고, 2000년대 중반 명지대교 교량공사의 시작과 다대포 지역에 대규모 아파트 공사가 나타났다. 1990년대에 비해 2000년대는 상대적으로 그 변화가 적으나 도요등이 상대적으로 북진하고 있었고, 다대포 지역이 서진하여 확대되고 있었다.

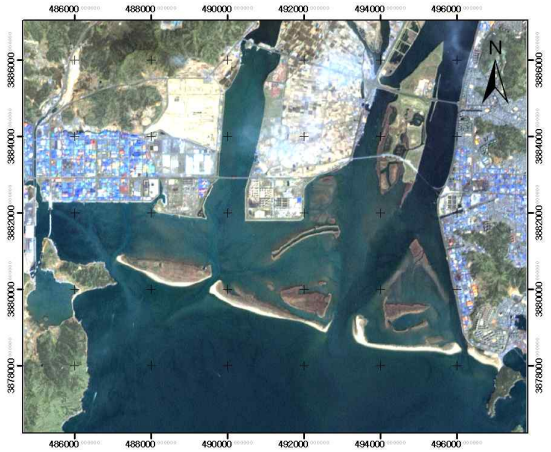


그림 9. Landsat ETM, 2009.05.10

표 7. 섬들의 면적 변화량(단위 : ㎡)

DATE	진우도	신자도	도요등
1975/02/13	983,160	423,845	Non
1985/10/07	989,212	481,867	Non
1999/12/09	990,417	897,448	515,919
2000/08/05	989,131	773,871	395,175
2001/08/24	991,303	792,419	451,763
2002/03/20	980,585	773,946	422,250
2003/01/18	1,107,392	920,992	602,555
2005/05/15	1,097,347	912,721	578,868
2006/09/07	1,135,765	904,964	461,079
2007/04/03	1,056,884	817,696	494,049
2008/10/30	1,086,885	847,706	518,075
2009/05/10	1,238,131	920,958	686,081

4.5 면적변화분석

최근 34년간 낙동강 하구섬의 면적은 불규칙 적인 증가를 나타내었다. 표 7에서 진우도, 신자도, 도요등은 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, 신자도는 1975년 대비 2배 이상 증가를 보였고, 진우도는 소규모 증가, 도요등은 서서히 증가함이 나타났다.

5. 비교 고찰

낙동강 하구와 같이 인위적·자연적 변화를 많이 받는 지형은 지속적인 모니터링과 다양한 모니터링 방법의 필요성으로 인해 많은 연구가 실행되고 있다. 기존의 낙동강 하구에 관해 시행된 많은 연구들 중 수치해안선 시스템 분석을 이용한 김백윤(2007)의 연구와 비교해 보았다. 기본적으로 연구에 사용된 자료와 방법에 관한 차이는 표 8과 같다.

표 8. 연구 자료 및 방법 비교

	사용 영상	해안선 추출 방법	기간	tool
김백윤 등 (2007)	항공사진	DEM	1975～2001 (6회)	DSAS 3.0
본 연구 (2009)	Landsat image	NDVI	1975～2009 (12회)	DSAS 4.0

표 9. 연구결과 통계 비교표

Barrier Is / Statistics		진우도		신자도		도요등	
		A	B	A	B	A	B
E	Max	4.2	2.9	21.0	14.5	47.5	35.7
P	Min	-5.8	-3.1	-21.6	-3.1	33.8	-4.6
R	Mean	0.9	0.9	3.6	4.5	39.9	24.8
L	Max	3.8	2.3	22.9	13.5	53.9	31.5
R	Min	-6.4	-1.8	-24.1	-4.7	25.0	-1.5
R	Mean	0.6	-4.1	3.2	3.4	43.5	24.2
L	Max	Non	8.3	Non	18.3	Non	28.2
M	Min		-11.7		-14.7		-3.3
S	Mean		-3.4		2.7		19.6

* A: 김백윤 등(2007) B: 연구 결과(Front)

김백윤(2007) 등은 1975, 1982, 1987, 1993, 1996, 2001년 항공사진으로 수치사진 측량을 이용해 모자이크 항공사진을 구축하고, 6회 해안선 자료를 영상을 이용한 DEM 생성후 고조선을 기준으로 해안선 추출후 DSAS 3.0을 이용해 EPR, JKR (Jackknife Rate), LRR과 같은 3종류의 해안선 변화율을 산정하였다. 김백윤(2007)등이 실행한 연구의 경우 Landsat 영상의 해상도가 최대 15m, 항공사진 최대 1.5m 라는 해상도 측면에 있어 우수하지만 항공사진의 모자이크 처리를 위한 지상 기준점 설정으로 인한 자료 구축의 어려움이 있다. 그러나 본 연구에서는 영상 취득이 용이한 Landsat image를 사용하였고, Image Enhancement 기법을 이용해 다수의 영상을 쉽고 객관적인 판단을 통해 해안선을 추출할 수 있었다. 또한 섬의 전면분석을 통한 해안선 변화 연구와 달리 섬 전체의 변화 분석을 통해 하구섬 들의 변화를 파악할 수 있다.

표 9는 A와 본 연구 결과의 전면부 만을 비교한 표이다. (A)에서 EPR의 경우 도요등이 년 39.9 m/yr 남진하는 것으로 산출되어 있으나 본 연구 결과 도요등은 북진 평행이동하고 서측으로 확대되고 있는 것으로 나타났다. 방향의 차이는 저자의 실수로 판단되며 변화율의 차이는 도요등이 타 섬에 비해 경사가 완만하여 조위의 영향이 많이 발생한 것으로 사료된다. 진우도와 신자도는 각각 년 0.9m/yr, 3.6m/yr로 유사하였다. LRR의 경우 (A)는 1975년~2001년 사이 6회의 항공사

진을 사용했고 (B)는 Landsat 영상 12매 등을 사용해 분석 자료와 시기의 차이로 다른 결과를 나타내었다. (A)는 통계적 분석에 JKR 분석을 하였으나 (B)에서는 분석하지 못했다. 그 이유는 본 연구에 사용된 DSAS 4.0은 JKR 기법이 빠져 있었으며 JKR 분석의 특성상 10개 이상의 데이터 연산에 무리가 있어 장기 해안선 변화 탐지에 미흡하여 제외된 것으로 판단된다.

6. 결 론

첫째, 장기간의 위성영상을 이용해 낙동강 하구의 토지이용변화 분석결과 70년대와 80년대 대규모 매립과 수로 정비를 위한 굴착 등 인위적인 개발이 크게 나타났고, 이후 90년대 섬들의 변화는 수로 변경과 해수의 흐름에 의한 반 인위적인 자연변화로 신자도와 도요도가 증가하면서 북진을 나타내었고 다대포 해안 또한 증가 추세를 보였다.

둘째, 수치해안선분석시스템을 이용해 낙동강 하구 울타리 섬 과 다대포 해안의 변화율을 산정하였다. 해안선 변화율은 통계분석 기법과 관측 대상의 주변 환경에 따라 다양하게 나타났으나 공통적으로 진우도는 전면 중앙부위의 증가, 신자도는 섬의 동측 부분의 북진, 도요등은 성장과 북진양상을 보였고 다대포의 경우 북쪽해안이 서쪽으로 확장되는 것을 알 수 있었다.

셋째, 항공사진을 이용한 김백윤 등(2007)의 연구 비교 결과 도요등의 진행 방향에 의한 방향 착오를 제외하면 전체적인 해안선 변화율은 비슷하게 나타나 연구방법에 의한 해상도와 해안선 추출의 차이점으로 인한 해안선 변화율은 차이가 작게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구는 위성영상과 GIS 분석을 통해 낙동강 하구 울타리 섬과 다대포 해안의 변화를 정량적으로 분석하였다. 그러나 급격히 변화하는 하구의 다양한 특성에 대한 분석은 불가능하였다. 그러므로 하구 섬들의 개별적 특성 파악을 위해 지속적인 모니터링과 관찰이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 영남씨그랜트 연구개발사업 지원으로 수행되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김백운, 김부근 이상룡, 2007, “낙동강 하구역 울타리 섬의 해안선 변화율, 한국해양공학회”, *해양공학회지*, 2007, 제 19권 4호, pp.361−374
2. 김상호, 신승호, 양승용, 이중우, 2003, “낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구”, *한국해양환경공학회지*, 제6권 3호, pp.26−36
3. 김성환, 2005, “하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화”, *대한지리학회지*, 제40권 4호, pp.416−424
4. 부산광역시, 2008, 낙동강하구 생태계모니터링(2007~2008).
5. 양지연, 2006, “GIS/RS를 이용한 해운대 해수욕장의 해안지형 및 토지피복 변화 분석”, 부경대 일반대학원 석사논문, p.55.
6. 윤은찬, 이종섭, 2008, “STA 기법에 의한 낙동강 하구역의 토사이동경로 예측”, *한국해안공학회 논문집*, 해양공학회, 제20권 6호, pp.540−552.
7. Amy C Foxgrover, Shawn ahiggins, Melissa K. ingraca, 2004, "Deposition, Erosion, and Bathymetric Change in south san francisco bay:1858−1983", USGS, No.1192, pp.10−20.
8. Fenster, M.S., Dolan, R., Elder, J.F., 1993. “A new method for predicting shoreline positions from historical data”. J. Coast. Res. Vol. 9, No.1, pp.147-171.
9. John Jensen, 2000, Remote Sensing of the environment, Prentice hall, pp.400−430.
10. Loos, E.A., Niemann, K.O., 2002. Shoreline feature extraction from remotely sensed imagery. Geoscience and remote sensing symposium, 2002. IGARSS '02. IEEE Int. 6 (24-28), pp.3417-3419.
11. Lillesand T.M. and Kiefer R.W., 1994, Remote Sensing and Image Interpretation, Third Edition, Wiley and Sons. p.506.
12. Pajak, M.J., Leatherman, S., 2002. “The high water line as shoreline indicator”. J. Coast. Res. 18, pp.329-337.
13. Rousseeuw, P.J and Leroy, A.M, 1987, “Robust regression and outlier detection” John Wiley and Sons, New York, Vol. 6, No. 4, pp.254−255.
14. Ryu, J.−H., Won, J.−S., Min, K.D., 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: a case study in Gosmo Bay, Korea. Remote Sens. Environ. 83, 442-456.
15. Sabyasachi Maiti, Amit K. Bhattacharya, 2009, “Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics vased approach”, Marine Geology 257, 2009, pp.11−23.
16. Singh, O.P., 2002, Inter annual variability and predictability of sea level along the Indian coast. Theor. Appl. Climatol. 72, pp.11-28.