시계열 분석을 통한 송도해안의 해안사구 이동경로 분석

Analyzing Sand Transfer Path by Songdo Beach Using Time Series Analysis

한충목, 김용석
울산과학대학 공간디자인학부

Chung-Mok Han(cmhan@mail.uc.ac.kr), Yong-Suk Kim(rosekys@hanmail.net)

요약

국토의 형상을 결정하는데 있어 중요한 해안 지역은 그 형태와 특성이 변화하는 모습을 가지고 있다. 대규모매립 공사와 크고 작은 해안 지역 개발 등으로 인하여 적절한 이용계획을 수립하는데 문제점이 발생하고 있다. 그 중에서 해안사구는 관광 및 생태학적 측면에서 아주 중요한 역할을 하고 있으며, 이에 대한 연구가 아직은 부족한 실정이다.

본 논문에서는 연구대상의 지역적 범위를 부산 송도해안으로 결정하였으며, 다년간의 RTK-GPS 측량 자료를 근거로 시계열적 분석을 통하여 해안사구의 이동경로를 분석하고자 한다. 송도해안의 경우, 해안선의 길이는 평균 약 620m, 면적은 약 31,846㎡으로 나타났다. 송도 해안은 좌우측에 방파제가 설치되어 져 있으며, 이로 인해 모래의 유실을 최소화 할 수 있었으며, 매년 일정양의 양빈으로 인하여 꾸준히 해안사구가 퇴적되고 있음을 알 수 있었다. 또한 7회 측정 결과 해안사구는 좌우측면이 침식되고 중앙부분이 퇴적되어 해안 사구가 전반적으로 앞으로 전진되고 있는 것으로 조사되었다.

■ 중심어 : | 해안사구 | RTK-GPS | 이동경로 | 시계열적 분석 |

Abstract

The coastline area, which was the important to decide the shape of the national land, has the characteristics of changing its shapes and features. We have some trouble to make the appropriate use-plan, because of the huge land to be reclaimed from the sea and developing large and small coast areas. Of them the coastal sand dune plays a definite primary role in the side of tourism and ecology. But there is not enough study for that.

Busan Songdo coast is decided as an object of this study. We would analyze transfer path of the coastal sand dune through the time series analysis with RTK-GPS survey for many years.

In case of Song do coast , the mean coastline length is approximately 620m , the area is approximately 31,846㎡. Breakwaters are set up in right and left sides in Song do coast. it can make the sand dune be a minimum. So the coastal sand dune is steadily deposited with a certain beach nourishment of every year.

As a result of 7 times survey, both sides of the coastal sand dune are eroded. It turns out it is going ahead over all as the center of the coastal sand dune is deposited.

■ keyword : | Coastal Sand | RTK-GPS | Transfer Path | Time Series Analysis |

접수번호 : #090406-003
접수일자 : 2009년 04월 06일
심사완료일 : 2009년 07월 22일
교신저자 : 김용석, e-mail : rosekys@hanmail.net

I. 서 론

최근 들어 경제 및 사회분야의 급속한 발달로 인해 레크레이션 및 관광자원으로서 해안의 역할이 중요시 되고 있다. 특히, 80년대부터 급속한 산업발달과 더불어 추진되어진 연안해역의 개발은 직·간접적으로 자연생태계에 많은 피해를 주고 있으며, 해안사구 또한 심한 침식의 현상이 나타나고 있다. 이에 대한 정확한 조사와 연구가 아직은 미비한 실정이며, 그 범위가 전국 해양경계를 대상으로 하기 때문에 기존의 방식으로는 조사가 힘들 실정이다. 최근에는 측량 및 관련 기술의 발달로 인하여 항공사진측량, 위성탐사, LiDAR(Light Detection And Ranging)측량 등의 방식으로 과학적이고, 체계적이며 정밀하게 관측을 할 수 있게끔 되어져 있다.

해안 지역에 대한 측량 관련 연구를 살펴보면, 박원경 등은(2003) 수치모델을 이용하여 인공 연안 사구의 단면 변화에 대하여 연구를 진행하였고, 이는 동해안의 연속적인 사구와 주변의 작은 어항의 건설 등으로 인하여 인근 백사장에는 연안 표사 이동의 변화와 함께 침식과 퇴적의 발생이 심하게 발생하고 있는 것을 조사하였다. 또한 양인태 등은(2002) 해도를 이용하여 해안 지형의 변화에 대하여 다양한 기법을 적용하여 분석하였고, 정승진 등은(2004) 항공사진을 이용한 장기해안선 변화에 대한 조사를 실시한 바 있다. 그리고 위광재 등은(2006) LiDAR 데이터를 이용하여 해안선 추출에 관한 알고리즘을 개발하여 해안선 추출에 있어 보다 용이하고 실용적으로 접근하고자 하였다. 또한, 국외의 연구동향을 살펴보면, Gutierrez 등(2001)은 LiDAR 자료를 이용하여 폭풍 전후의 해안지역의 침식 및 취약지역의 평가에 대한 연구를 수행하였고, Di 등(2003)은 Erie 호수 해안에 대해 IKONOS 영상을 이용하여 해안선 자동추출을 시도하였으며, 최근 들어 Brzank 등(2005)은 항공레이저 스캔을 이용하여 해안선 면적을 자동으로 검출하여 분석하는 연구를 시도하였다.

연안 해역에 대한 정보구축과 활용에 있어서는 장기간의 변화량 분석과 지형적 특징 등에 대한 모니터링 구축이 반드시 수반되어야 하지만, 이 분야에서의 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산 송도 해안에 대하여 다년간의 RTK-GPS(Real Time Kinematic - GPS) 측량 데이터를 바탕으로 해안선의 길이와, 해안 폭, 해안의 면적에 대하여 분석하고 이를 바탕으로 해안사구의 이동경로를 분석하고자 한다.

II. 실험지역 및 실험 기법

1. 실험 지역 및 자료

본 실험의 연구대상지는 부산 송도 해안으로 정하였으며, 이는 송도 백사장이 가지는 관광자원 측면과 보존 가치, 그리고 최근 개발에 따른 백사장의 변화량에 대하여 분석하고자 송도해안을 지정하였다.

송도 해안에 대하여 총 7회에 걸쳐(2005년 9월 ~ 2008년 11월) RTK-GPS 측량 데이터를 수집하고 이를 이용하여 해안사구 분석을 하고자 한다. 본 실험의 대상지역은 [그림 1]과 같이 선정하였으며, [표 1]에서는 RTK-GPS 측량 일시에 대하여 나타내었다.

송도해안에 대한 실험시점은 해수면의 상승과 태풍 등의 자연적인 영향을 많이 받는 8월말에서 11월 초까지가 중요하다고 판단되어지며, 이 시점에 대하여 해안변화 양상에 대하여 실험하고자 한다.

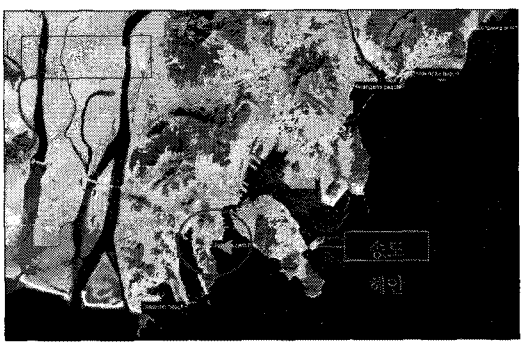


그림 1. 연구 대상 지역(부산 송도 해안)

표 1. RTK-GPS 측량 일시

측정 회수	측정 일자	측정 시간
1차	2005년 09월 10일	12:00~13:20
2차	2005년 12월 20일	13:00~14:40
3차	2006년 03월 15일	12:00~13:30
4차	2006년 08월 28일	13:00~14:30
5차	2007년 10월 28일	09:00~10:20
6차	2008년 09월 22일	08:30~10:00
7차	2008년 11월 11일	11:00~12:40

1.1 RTK-GPS

[그림 2]는 RTK-GPS에 의한 해안선 측량의 흐름도를 나타내고 있으며, 송도 해안의 해안사구 지형분석을 위하여 사용한 RTK-GPS 장비의 주요 제원은 [표 2]와 같다.

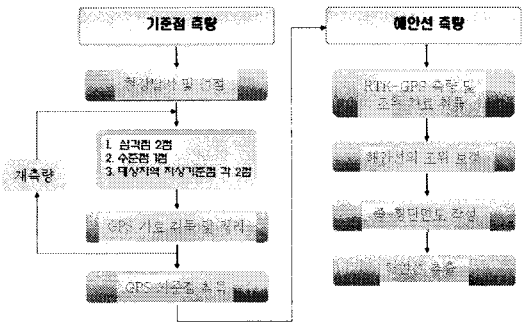
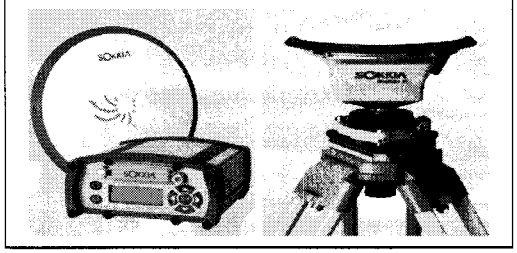


그림 2. RTK-GPS에 의한 해안선측량 방법

표 2. GPS 장비 제원

GSR 2600			
구분	기법	수평	수직
위치 정확도	RTK	1.0cm+1ppm	2.0cm+1ppm
	Static	0.5cm+1ppm	1.0cm+1ppm
	Kinematic	1.0cm+1ppm	2.0cm+1ppm
채널	12 L1/L2 channel pairs		



DGPS 기준국에 사용된 GPS수신기는 SOKK IA Radian IS 및 GRS 2600을 이용하였다.

1.2 조위보정

해안선을 결정하기 위해서는 측량할 당시의 조위 관측 값을 반드시 보정해 주어야 한다. 이를 위해서 부산 영도 검조소의 실시간 조위 값을 근거로 하여 해안선 측량 결과의 높이 값에 대하여 조위를 보정해 주었다. 조위 값은 측량 실시 시간에 대하여 ±1시간의 오차 범위를 두고 적용하였다. 본 연구에서는 RTK-GPS 측량을 통해 취득한 값을 이용하여 종·횡단면도를 작성하고 조위를 보정한 뒤 해안선을 결정하였다. 관측 시 송도 해안의 조위 값은 [표 2]와 같으며 이 값을 적용하여 해안선을 추출하였다.

부산 검측소의 평균해면 및 기본수준면의 높이는 식(1), 식(2)와 같이 계산되었다(국립해양조사원).

$$(A'_o) = (A_o - A_1) + A'_1 \quad (1)$$

- A_0, A_0' : 기준조위관측소 및 측량지역 조위관측소의 연평균해면
- A_1, A_1' : 기준조의관측소 및 측량지역 조위관측소 동일기간의 평균해면

$$(D.L) = A_0 - (H_m + H_S + H' + H_0) \quad (2)$$

- A_0 : 연평균해면
- D.L : Datum Level
- H_m, H_S, H', H_0 : M_2, S_2, K_1, O_1 분조의 반조차

[표 3]은 RTK-GPS 측량 일시와 산술평균한 조위 자료 값을 나타내었다. 실험에서 사용된 조위 데이터는 실험시간에 대하여 ±2시간의 조위 값을 사용하였으며, 식(1), 식(2)를 고려하여 산술평균한 값을 사용하였다.

표 3. 관측시 조위 값

관측일자	시간	조위(cm)
2005년 09월 10일	12:00~13:20	116
2005년 12월 20일	13:00~14:40	89
2006년 03월 15일	12:00~13:30	58
2006년 08월 28일	13:00~14:30	83
2007년 10월 28일	09:00~10:20	126
2008년 09월 22일	08:30~10:00	67
2008년 11월 11일	11:00~12:40	35

III. 실험 및 시계열 분석

1. 해안 사구 측정

실험 지역인 송도해안에 대하여 RTK-GPS 측량을 총 7회에 걸쳐 실시하였으며, [그림 3]은 실험 모습을 나타내었다.

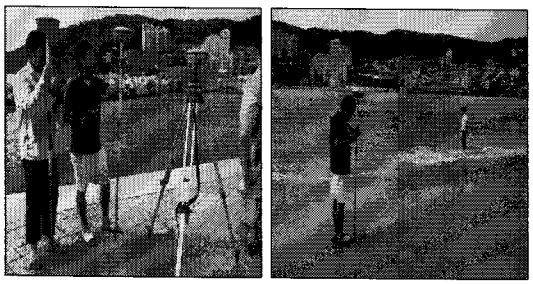


그림 3. 기준점 및 해안 사구 측량

표 4. RTK-GPS 측량 결과(7회 측정 자료)

	X	Y	Z	조위값	M.S.L
1	201550.608	175292.505	-0.684	0.359	-1.043
2	201545.911	175311.483	-0.569		-0.928
3	201545.295	175331.597	-0.549		-0.908
4	201548.709	175350.563	-0.519		-0.878
5	201555.661	175369.778	-0.455		-0.814
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
851	201520.960	175317.388	1.363		1.004
852	201517.910	175293.789	1.561		1.202
853	201528.923	175297.895	1.276		0.917
854	201525.871	175278.358	1.555		1.196
855	201534.551	175280.480	1.324		0.965

[표 4]는 송도 해안에 대하여 RTK-GPS 측량(7회)을 실시한 좌표를 나타내었으며, 평균 조위 값(35.9cm)을 적용하여 조위 보정을 산정하였다.

[그림 4]는 RTK-GPS로 측량한 좌표를 조위보정을 거쳐 수치지도와 중첩한 결과를 나타내고 있으며, [그림 5]에서는 총 7회 측량한 결과에 대해서 해안선 부분만 추출하여 중첩한 결과를 나타내었다. 그리고 5회 때의 해안선 추출 결과를 보면 침식 현상이 발생함을 알 수 있었으며, 이를 분석하기 위하여 해안선 길이, 면적, 해안 폭에 대하여 조사하였다.

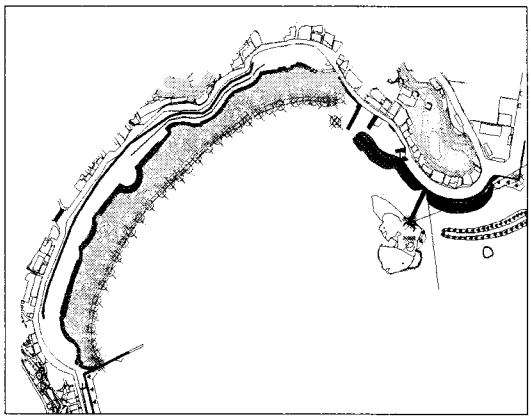


그림 4. 해안 사구 측량

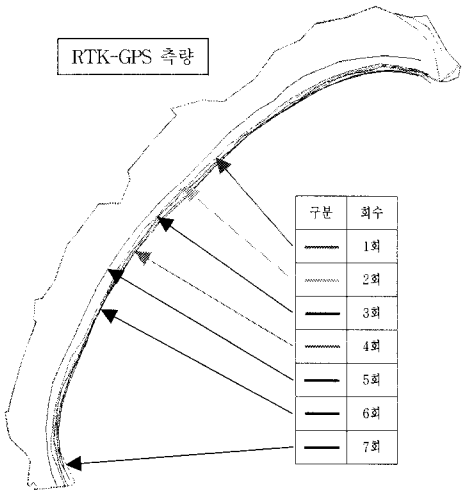


그림 5. 해안 사구 측량 결과 중첩(RTK-GPS)

2. 해안선 길이 분석

해안 사구의 이동경로를 파악하기 위하여 장기간에 걸친 측정 자료를 바탕으로 해안선 길이를 추출하여 [표 5]와 같이 나타내었다. 해안선 길이는 평균 약 620m 정도이며, 시간이 지남에 따라 점진적으로 감소함을 알 수 있었다.

표 5. 해안선 길이 분석

송도 해안선 길이 분석 (단위 : m, %)			
측정기간(횟수)	해안선길이	증감비율	증감길이
05년09월10일(1회)	672.500	7.821	-8.015
05년12월21일(2회)	621.680	0.286	1.779
06년03월16일(3회)	628.283	1.334	8.382
07년08월29일(4회)	618.521	-0.223	-1.380
07년10월06일(5회)	624.678	0.765	4.777
08년09월11일(6회)	599.741	-3.362	-20.161
08년11월06일(7회)	573.905	-8.015	-45.996
평균길이	619.901		

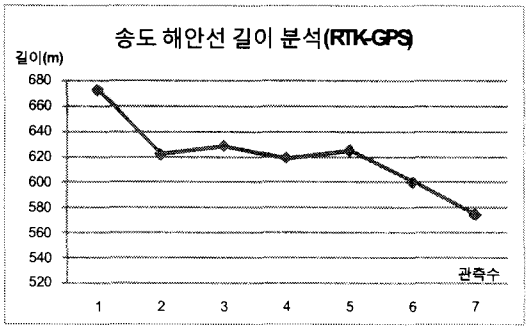


그림 6. 해안선 길이의 변화

3. 해안 면적 분석

[표 6]은 송도 해안에 대한 면적을 나타내었으며, 평균 약 31,846m²로 나타났다. 해안 면적 또한 점진적으로 증가함을 알 수 있었다.

표 6. 해안 면적 분석

송도 해안 면적 분석(㎡)			
측정기간(횟수)	해안면적	증감비율	증감면적
05년09월10일(1회)	31373.118	-1.509	-473.337
05년12월21일(2회)	32520.035	2.071	673.580
06년03월16일(3회)	33517.275	4.985	1670.820
07년08월29일(4회)	33296.312	4.354	1449.857
07년10월06일(5회)	25191.941	-26.415	-6654.514
08년09월11일(6회)	33503.005	4.944	1656.550
08년11월06일(7회)	33523.498	5.003	1677.043
평균면적	31846.455		

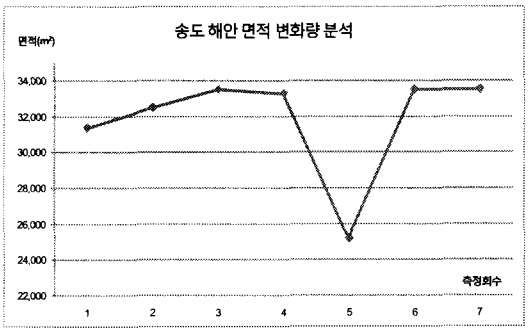


그림 7. 해안 면적의 변화

[그림 7]의 5회 측정 시 해안 면적이 크게 감소 한 것은 태풍의 영향으로 인하여 해안 침식이 크게 발생되고 난 뒤 측정한 결과로 분석된다. 전체적으로 해안 면적이 증가한 요인은 해수욕장 개장에 따른 모래의 인위적인 양빈의 영향이 큰 것으로 파악된다.

4. 해안 폭 분석

송도 해안에 대한 폭을 분석하기 위하여 [그림 8]과 같이 총 10개의 섹션 구역을 정하여 횡단 계획도를 작성하였다. [표 7]은 10개의 횡단도에 대한 해안 폭을 정리하였고, 평균 폭은 약 54m정도로 나타났으며 [그림 9]의 그래프에서 해안 폭은 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가함을 알 수 있었다.

표 7. 해안 폭 분석

송도 해안 폭 분석(m)							
회수 / 횡단	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회
1	43.568	46.242	46.242	52.071	39.040	49.990	52.122
2	47.296	48.171	48.171	51.920	38.501	52.597	53.671
3	50.205	53.982	53.982	54.074	41.503	54.351	55.922
4	55.482	55.482	55.482	57.694	44.650	58.067	58.306
5	53.219	56.988	56.988	57.937	45.620	58.974	59.299
6	53.802	52.280	53.802	57.482	47.223	60.792	61.478
7	58.946	62.651	62.651	64.118	50.482	64.166	64.390
8	37.826	37.826	37.826	41.304	26.647	41.304	41.304
9	45.692	47.683	47.683	49.737	34.175	52.147	52.147
10	54.009	56.128	56.128	56.158	45.314	59.593	60.508
평균폭	50.005	51.743	51.896	54.250	41.316	55.198	55.915

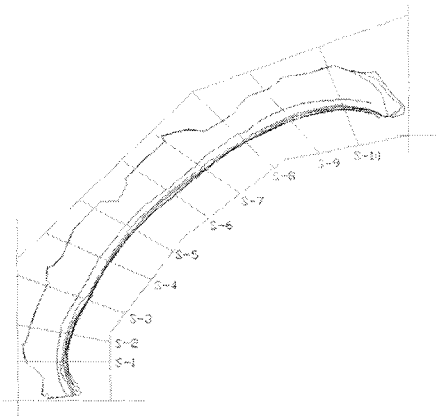


그림 8. 횡단 계획도

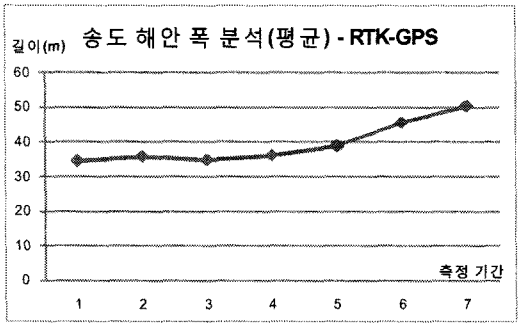


그림 9. 해안 폭의 변화

침식과 퇴적에 대한 분석은 횡단 계획도를 기준으로 나타내었으며, 각 회수의 평균값을 기준으로 분석하였다. [그림 10]에서는 3 ~ 8 섹션에 대하여 분석한 것을 도표로 나타내었으며, 0을 기준으로 전반적인 변화량이 퇴적(+)됨을 알 수 있었다. [그림 11]에서는 침식 변화량을 나타내었으며, 1 · 2섹션과 9 · 10 섹션에 대하여 분석한 결과 전반적으로 침식(-)됨을 알 수 있었다.

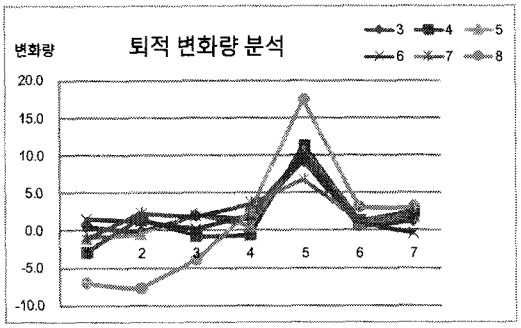


그림 10. 퇴적 변화량 분석

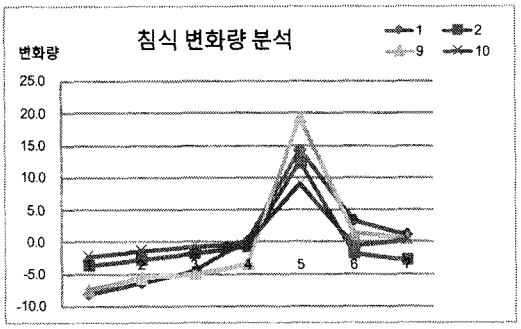


그림 11. 침식 변화량 분석

5. 해안 사구에 대한 회귀분석

조위는 해안 사구의 변화량에 대하여 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 조위에 대한 상관관계를 파악하기 위하여 해안선과 면적, 해안 폭에 대하여 회귀분석을 실시하여 관련 식을 도출하여 보았다. [그림 12]에서는 해안선과 조위, [그림 13]에서는 해안 면적과 조위, 그리고 [그림 14]에서는 해안 폭과 조위간의 관계식을 나타내었다.

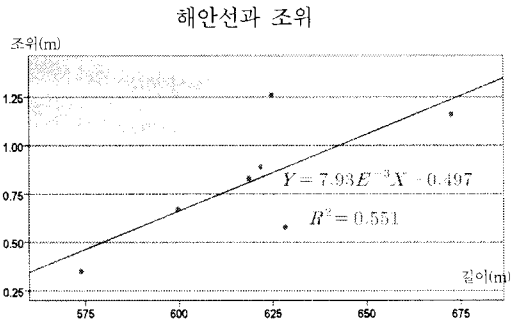


그림 12. 해안선과 조위간의 관계

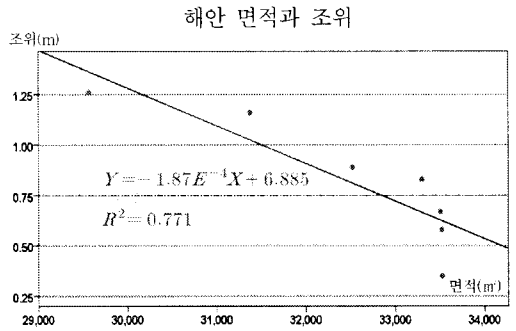


그림 13. 해안 면적과 조위간의 관계

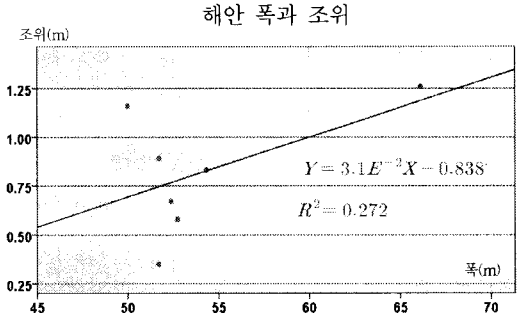


그림 14. 해안 폭과 조위간의 관계

6. 해안 사구 이동경로 분석

[그림 15]에서는 해안선의 길이, 해안 면적, 해안 폭에 대한 분석 결과를 바탕으로 해안 사구가 이동한 경로를 정성적으로 표현하였다. 분석 결과 좌우측 방파제 부근의 사구는 침식 현상을 나타내고 있으며, 중앙 부분은 바다 쪽으로 퇴적되고 있음을 알 수 있었다.

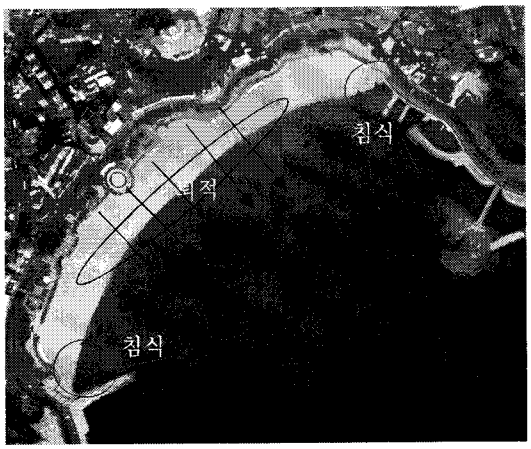


그림 15. 해안사구 이동 경로 분석

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 부산 송도 해안에 대하여 해안 사구의 이동경로를 파악하기 위하여 총 7회의 시계열적 분석을 실시하였다. 그리고 해안선, 해안면적, 해안 폭에 대하여 변화량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 시계열 분석을 통하여 해안선의 길이는 평균 약 620m, 해안 면적은 약 31,846m², 그리고 해안 폭은 51.5m로 조사되었다.

둘째, 해안 사구 변화량에 큰 영향을 미치는 조위와의 상관관계를 분석한 결과 해안선에 대해서는 $Y = 7.93E^{-3}X - 0.497$, 해안 면적에 대해서는 $Y = -1.87E^{-4}X + 6.885$, 그리고 해안 폭에 대해서는 $Y = 3.1E^{-2}X - 0.8387$ 의 관계식을 얻을 수 있었다.

셋째, 7회에 대한 시계열 분석을 통하여 해안 사구는 좌우측 부분이 침식되고, 중앙 부분이 퇴적되는 것을 알 수 있었다. 또한 해마다 해수욕장의 개장과 더불어 많은 양의 양빈을 함으로써 해안선은 변화가 거의 없으나, 해안 면적과 폭이 늘어남을 알 수 있었다.

향후, 해안선 변화량 분석에 있어 해수욕장의 개장 전후에 맞추어 사빈의 이동경로를 보다 정밀하게 파악할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 박원경, 윤재옥, 황준, 이진오, "우리나라의 연안 침식 특성에 관한 연구", 한국해안해양공학회논문집, 제14권, pp.227-232, 2003.

[2] 양인태, 한성만, 최성필, "해도를 이용한 해안 지형의 변화량 산정", 한국측량학회지, 제20권, 제2호, pp.103-110, 2002.

[3] 정승진, 김규한, 편종근, "항공사진을 이용한 장기 해안선변화 조사", 한국해안해양공학회논문집, 제16권, 제1호, pp.10-17, 2004.

[4] 위광재, 정재욱, "LiDAR 데이터를 이용한 해안선 추출 알고리즘 개발", 한국측량학회지, 제11권, 제3호, pp.209-215, 2006.

[5] R. Gutierrez, C. James, C. Rebecca, L. Tiffany, R. John, "Precise Airborne LIDAR Surveying For Coastal Research and Geohazards Applications," *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4 Annapolis, 2001.

[6] D. Kaichang, W. Jue, M. Ruijin, and L. Ron, "Automatic Shoreline Extraction from High-Resolution IKONOS Satellite Imagery," *ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings*, pp.105-115, 2003.

[7] G. Sithole and G. Vosselman, "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds," *ISPRS journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, pp.85-101, 2004.

[8] A. Brzank, P. Lohmann, and C. Heipke, "Automated extraction of pair wise structure lines using airborne laser scanner data in coastal areas," *ISPRS* WG III/3, III/4, V/3 Workshop Laser scanning 2005, Enschede, the Netherlands, pp.12-14, 2005.

[9] T. Kajimura, S. Sato, M. Nakamura, and M. Isobe, "Sand movement and long-term beach evolution in an alluvial system composed of the SAME river and the NAKOASO coast," Japan Soc. of Civil Eng., No.691/II-57, pp.121-132, 2001.

[10] G. Sithole and G. Vosselman, "Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds," *ISPRS journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, pp.85-101, 2004.

[11] 해양수산부 국립해양조사원, *해양지리정보구축 연구*, 2004.

[12] 국립해양조사원, http://www.ngi.go.kr

저 자 소 개

한 충 목(Chung-Mok Han) 정회원

- 1988년 2월 : 부산대학교 토목공학과(공학사)
- 1994년 8월 : 부산대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 현재 : 울산과학대학 공간디자인학부 교수

<관심분야> : 도로계획, 도시계획, GIS

김 용 석(Yong-Suk Kim) 정회원

- 2007년 2월 : 동아대학교 토목공학과(공학박사)
- 2009년 8월 현재 : 동아대학교 건설기술연구소 특별연구원
- 현재 : 울산과학대학 공간디자인학부 겸임교수

<관심분야> : Remote sensing, 공간정보구축, GIS