

GIS를 이용한 북한지역 산업단지 적지분석

A GIS Approach to Select a Suitable Sites for Industrial Complex in North Korea

이근수*, 정종철**, 류청로***

Keunsoo Lee, Jongchul Jeong, Cheongro, Ryu

* 한국토지공사 대외사업단 과장

** 남서울대학교 지리정보공학과 교수

*** 부경대학교 해양공학과 교수

요 약

북한의 개방정책과 남한의 대북사업의 추진으로 대북한의 효율적인 국토개발과 지속 가능한 환경보전의 전략을 수립하는 것은 매우 의미 있는 일이다.

본 연구에서는 특히 산업단지 개발사업 도중의 토양유출량을 추정하여 인근하천이나 연안해역의 개발전과 개발 이후의 토양유출량과 비교하고, 토양유실 추정구역의 지형분석 등을 통하여 기존의 적지선정방식에서 고려되지 못한 개발사업 중 연안해역의 환경변화를 저감하기 위한 인자를 도출하였다. 이를 위성영상 자료처리에 적용함으로써 북한과 같은 접근이 불가능한 지역에 있어서 자연환경 변화를 저감할 수 있는 친환경적인 산업단지 적지분석 기법을 도출하였다.

1. 서론

북한지역의 국토개발과 관련한 연구들은 독일통일과 구 사회주의 체제의 전환이 이루어진 1990년대 초반부터 많이 진행되었으나, 대부분이 지리적 근거가 미흡한 자료를 이용한 계획으로서 단순한 형태론적 제시에 불과한 실정이다.

이는 현장조사나 통계자료의 접촉이 어려운 북한지역의 특성에 기인한 것으로, GIS기법을 이용한 산업단지 선정방법은 이러한 점을 극복할 수 있으며, 선정된 산업단지의 환경 정도를 평가하기 위해 재해영향평가기법의 하나인 토양유출량 산정 공식(USLE: Universal Soil Loss Equation)을 이용하는 것은 의미 있

는 방법이다.

본 연구에서는 특히 산업단지 개발사업 도중의 토양유출량을 추정하여 인근하천이나 해역의 개발전의 토양유출량과 비교하고, 토양유실 추정구역의 지형분석을 통하여 기존의 적지선정에서 고려되지 못한 개발사업 중 연안해역의 환경변화를 저감하기 위한 인자를 도출하였다. 이를 자료처리에 적용함으로써 북한과 같은 접근이 불가능한 지역에 있어서 자연환경 변화를 저감할 수 있는 친환경적인 산업단지 적지분석 기법을 도출하였다.

2. 이론적 고찰 및 분석기법

2.1. GIS를 이용한 산업단지 적지분석

적지선정에 있어 어떠한 조건을 어떻게 적용하느냐에 따라 적지의 우선순위가 좌우된다(국토연구원, 1997). 전통적인 공업입지론의 경우는 공업의 입지를 정하는 가장 큰 요인으로 입주기업의 최대이윤이 발생하는 지역을 선정하였으나(황명찬, 1992), 최근에는 자연환경 보존에 대한 사람들의 욕구에 따라 적지선정이나 단지 개발에 있어 자연환경 변화가 적은 인자 선정에 대한 비중이 점차 커지고 있는 실정이다.

적지분석의 인자선정을 위한 국토연구원의 설문조사 결과를 보면, 입지선정의 중요인자로서 교통(91.3%), 지형(90.3%), 토지이용(87.5%) 등으로 나타나고 있으며, 야생동물(15.4%), 기상(26.6%), 식생(45.6%), 수질(46.2%) 등 자연환경은 아직까지 그 비중이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 대부분의 경우 비용 최소화나 이윤 극대화를 위한 편리성을 선호하고 있고(김영 등, 2001), 친환경적인 요소에 대하여는 경제성을 이유

로 후차적인 요인으로 간주하고 있음을 보여준다.

Table 1은 북한지역 산업단지 적지를 분석할 수 있는 인자와 인자별 가중치를 나타낸 것으로 국토연구원의 설문조사 결과를 감안하여 경제성을 고려하기 위해 인문사회 환경 인자를 자연환경 인자보다 많이 하였으며, 자연 및 거주 환경 변화를 최소화하기 위한 인자를 동시에 반영하였다.

인자별 등급 분류 정도를 정밀하게 하기 위한 민감도 분석은 검증의 어려운 북한지역의 특수성을 감안하여 대부분의 선행연구들과 같이 4등급으로 인자의 등급을 구분하였다.

2.2. USLE를 이용한 토양유출량 산정

개발사업에 따른 재해영향 평가 등 환경성 평가가 계획 당시에 선행되는 것이 최근 모든 개발이론의 적용에서 논의되는 지속 가능한 개발의 개념에 부합된다.

Table 1. Phenomena Ranks of Optimum Location for Industrial Sites

Data type	Data Element	Coding Schemes (4 Classes)
Natural Environment	<ul style="list-style-type: none"> · Slope · Elevation · Aspect · NDVI 	0-5(4), 5-10(3), 10-30(2), 30% above(1) 0-10(4), 10-50(3), 50-100(2), 100m above(1) SE-SW(4), E-W(3), NE-NW(2), N(1) 1st-2nd(4), 3rd(3), 4th(2), 5-6th(1)
Socio-economic Environment (Accessibility)	<ul style="list-style-type: none"> · Distance to Highways · Distance to 1st Roads · Distance to 2nd Roads · Distance to 4th Roads · Distance to Railroads (Double Line) · Distance to Railroads (Single Line) · Distance to Residential Districts · Distance to Airport · Distance to River & Stream 	500 m(4), 1 km(3), 3 km(2), 5 km(1) 500 m(4), 1 km(3), 3 km(2), 5 km(1) 300 m(4), 500m(3), 1 km(2), 3 km(1) 300 m(4), 500m(3), 1 km(2), 3 km(1) 500 m(4), 1 km(3), 3 km(2), 5 km(1) 300 m(4), 500 m(3), 1 km(2), 3 km(1) 500 m(4), 1 km(3), 3 km(2), 5 km(1) 500 m(4), 1 km(3), 3 km(2), 5 km(1) 200 m(4), 500m(3), 1km(2), 3km(1)
Exclusionary Condition	<ul style="list-style-type: none"> · CBD (Central Business District) · Residential District · Forest · High-tension Wire 	CBD(0), Non-CBD(1) RD(0), non-RD(1) Forest(0), Non-Forest(1) High-tension Zone(0)

그러나, 북한은 이러한 평가를 수행할 수 있는 환경관련 자료를 외부에 발표한 바 없으며, 현지를 방문하여 관련 자료를 습득할 수 없는 어려운 점이 있다. 따라서 당초 목적인 접근이 불가능한 지역을 대상으로 한 국토계획의 수립임을 감안, USLE 공식을 이용하여 개발예상지역의 토양유출량을 추산하여 개발사업 중의 환경변화를 추정함으로써, 전술한 산업단지 적지분석 기법에서 고려되지 못한 개발사업 도중의 환경변화를 고려하였다.

본 연구에 적용한 USLE를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \text{ or,}$$

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot VM$$

- A: Soil Loss (t/ha)
- R: Rainfall Erosion Index (107J/ha·mm/hr)
- K: Soil Erodibility Factor
- L: Hillslope-Length Factor
- S: Hillslope-Gradient Factor
- C: Cropping-Management Factor
- P: Erosion-Control Practice Factor
- VM: Soil Erodibility-Control Factor

평균 강우량을 이용한 R 값은 건설현장에서 단일호우에 의한 토양유출량 추정에 직접 사용하기는 곤란하여 공사 현장의 재해예방 목적으로 사용하는 5~10년 빈도의 24시간 지속설계 강우를 적용하여 R 값을 산정하였다(한국토지공사, 2000).

토양침식인자 K는 토양이 강우에 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. K 값은 Wischmeier의 K 값 추정도표(1971)를 이용하여 추정하였다.

토양구성비는 개성공단 조성사업을 위

하여 한국토지공사가 개성지역에서 2000년 11월 실시한 토질조사 자료를 이용하여 토지피복별 토양구성비를 산정하였다.¹⁾ 토질시추자료는 원격탐사에 의한 토지피복 항목별로 분류하여 크기가 왜곡되었다고 생각되는 값들은 제거한 후, 나머지 값들을 산술 평균하여 토지피복 항목별 대표값으로 사용하였다. 또한, 토양의 유기물함량, 토양구조, 투수도 등은 개성지역의 현장에서 취득한 시료의 실내 시험자료로 유추하였다.

지형인자인 L과 S 인자는 보통 LS라는 하나의 인자로 표현되며, LS 값은 Wischmeier (1975) 및 Wischmeier 와 Smith (1973, 1975) 가 개발한 관계식을 이용하여 산정 하였다.

토양침식조절인자 VM은 원 공식의 경작인자(C)와 토양보전 대책인자(P)를 결합한 것으로 식생특성과 침식방지대책을 대표하는 값으로 값의 범위가 0.0에서부터 1.0이상까지 넓기 때문에 값의 선정에 세심한 주의가 요구되며, VM은 우리나라 공사현장 실정에 유용한 Israelson (1980) VM 산정표에 근거하여 선정하였다

3. 산업단지 적지분석 기법의 응용

선정된 인자별로 버퍼링을 수행한 후, 접근성 분석을 요하는 인자는 각 4등급으로 분류하여 등급별 값을 부여하고, 제

1) 공개된 북한지역의 토질조사 자료는 KE00 사업지역(신포)과 개성공단 지역뿐으로 대상지역(남포)과 같이 서해안에 인접한 개성공단 지역의 토질조사 자료를 활용하였으며, 한반도 지질분포도(한국자원지질연구원 제작)를 이용한 남포와 개성지역의 지질분포 현황을 검토한 결과 두 지역이 동일한 퇴적암층으로 본 논문의 토양 구성비로 활용

외 지역은 버퍼링된 지역을 제외시켰다. 이러한 과정을 Table 1의 각 인자 순으로 수행하여 인자별 수치주제도를 제작한 후 (Fig. 1~4 참조) 중첩하여 일반적인 산업단지 적지를 도출하였다.

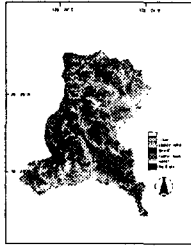


Fig. 1. Land Cover Classification Map of Nampo

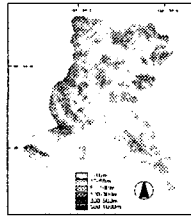


Fig. 2. Elevation Map of Nampo

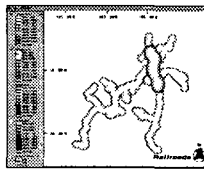


Fig. 3. Buffer Map for Proximity Analysis (Yellow: Two Railroads, Green: One Railroads)

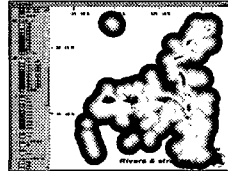


Fig. 4. Buffer Map for Proximity Analysis (River and Stream)

3.1. USLE 분석결과를 이용한 환경성 평가 적용

(1) 토양유출량 산정

일반적인 GIS 중첩기법을 이용하여 선정된 산업단지 각 적지(Site)에 산정된 변수들을 적용, USLE를 이용하여 추정된 개발전과 개발도중의 각 Site별 토양유출량은 Table 2와 같다. 개발 전에는 토지피복분류에 의하여 농경지, 나지, 산림으로 각각 구분하였으나 개발도중에는 예정지역을 공사에 따른 벌개제근 및 토공사 등을 감안 토지피복상태를 나지 상태로 가정하여 토양유출량을 산정하였다

Table 2. Soil Loss Estimation between Before and After the Industrial Site Construction

	Site 1	Site 2	ite 3
Area	62.5 ha	48.9 ha	58.8 ha
Before Develop	2.96 (t/ha-yr)	46.646 (t/ha-yr)	34.713 (t/ha-yr)
Under Develop	64.547 (t/ha-yr)	151.440 (t/ha-yr)	234.143 (t/ha-yr)
Soil Loss/Unit Area	3,849 (t/yr)	7,177 (t/yr)	11,726.6 (t/yr)

(2) USLE 결과의 적용

자연 상태에서 입경 0.25mm 미만의 실트질의 경우는 침전이 거의 일어나지 않고, 유체와 동일하게 연안해역으로 유입되지만 대부분의 토립자는 유역면적(또는 유역거리)에 반비례하여 침전한다(한국토지공사, 2000).

산업단지 개발중의 토지피복 형태는 나지로 분류되며, 토양구성비 분석결과 80%가 0.25 mm 이상의 입경을 가지는 것으로 추정되며(Table 3), 이 입경의 토립자들은 해안선까지 도달거리가 어느 정도 유지된다면 상당부분 침전하게 된다.

Table 3. The Soil Erodibility Index(K) for the Study Area (Nampo)

Classification of Soil	Gravel	Silt Sand	Silt	Clay	Total
Grain size(mm)	≥ 2.0	0.05~1.0	0.02~0.05	0.002	
paddy (%)	0	36	47	17	100
	46	40	14	0	100
	4	76	16	4	100
Organic Containing Ratio (%)					1
Soil Structure Code					3
Permeability					3

입경 0.25 mm 이상의 토립자의 침전을 요하는 유역면적은 약 1,000 acre로(한국토지공사, 2000) 약 4 km(MKS 단위로 환산시)의 이송거리내에서 입경 0.25 mm 이상의 토립자는 대부분 침전하게 되며, 개

발대상 지역이 해안선과 약 4 km를 거리를 유지할 경우, 해당사업으로 발생하는 토양유출량의 상당부분이 연안해역에 도달하지 않고 침전된다.

해양연구소(1985)는 “ 한국 연안역 종합개발 연구” 를 수행하면서 연안역의 육역의 범위를 해안선으로부터 8 km이내 지역으로 선정하였다. 이는 연안해역의 종합적인 관리를 위하여 최소단위 행정구역 범위를 육역으로 구분함으로써 효율적인 연안해역 관리를 꾀할 수 있다고 판단하였기 때문이다.

따라서 육역의 범위를 설정하여 해안선에서 육지쪽으로 8 km까지의 지역에 유사전달률²⁾이 현격히 감소하는 거리 4 km를 포함하여 12 km 이격 거리를 확보한 경우를 USLE에 의한 연안해역의 환경적 피해를 저감할 수 있는 최적의 위치로 선정하였다. 등급 분류는 Table 1과 같이 4 등급으로 분류하였다(Table 4).

Fig. 6은 Table 1의 인자에 의한 산업단지 적지분석 결과에 Table 4의 인자를 버퍼링 한 결과로 해안선에서 12km 거리에는 기존의 방법에 의하여 선정된 산업단지가 위치하지 않아 기존의 분석된 산업단지의 면적이나 위치에는 영향이 없음을 알 수 있다.

그러나, 각 Site에 인접하여 대동강이 지나고 있어 하천에 미치는 영향을 간과할 수가 없다.

Site별 대동강과 연접한 유역의 직선

2) 유사전달률(SDR: Sediment Delivery Ratio)이란 원 지점에서 침식된 토립자들은 흐름에 연행·이송되어 하류로 내려가다가 경사가 완만해지는 곳이나 움푹 파인 지점 또는 장애물 등에 의해 중간에 퇴적될 수 있으며, 이렇게 원 지점에서 침식된 토립자들 중 하류 일정지점까지 내려오는 입자들의 비를 말함.

거리를 보면 Site 1은 1.73 km, Site 2는 4.57 km, Site 3은 0.59 km로 Site 2를 제외하고는 상당부분의 토사가 대동강으로 유입될 것으로 예상된다. Fig. 6은 남포지역의 유사전달률이 현격히 감소하는 4 km² 규모의 유역을 GIS의 지형분석 기법으로 분석하여 Site 별 홍수시 물의 흐름을 도식화 한 것이다.

Table 4. Phenomena Ranks of Optimum Location for Industrial Sites

Data type	Data Element	Coding Schemes (4 Classes)
Natural Environment	Distance to Shoreline	> 12 km(4), 9 km(3), 6 km(2), 3 km(1)

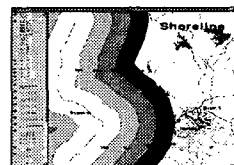


Fig. 5. Buffer Map for Proximity Analysis (Shoreline).



Fig. 6. Runoff Processes Chart of the Study Area

공사도중 각 Site에서 발생한 토사는 홍수시 물의 흐름과 같이 대동강으로 일단 유입되어 연안해역으로 유출하기 때문에 선정된 산업단지의 공사로 인하여 연안해역에 미치는 직접적인 영향은 미미하지만, 인근에 위치한 대동강은 공사로 인한 환경변화 발생이 예측된다.

그러나, Fig. 6에서 Site 1과 3의 경우 대동강과 연계되는 유역이 동서로 양분되어 있음을 알 수 있다. 이는 Site의 하천 연계 직선거리는 유사전달률에 의한 토사 침전이 가능한 거리에 도달되지 않지만, 토사 유출이 양방향으로 진행되고 유역면적은 유출된 토사를 침전시킬 수 있는 충분한 면적임을 뜻한다.

3.2. 산업단지 적지분석 결과

자연환경분야와 인문사회 환경 분야 그리고 USLE를 이용한 환경성 평가를 적용한 인자들을 분석하여 구축된 자료들을 중첩한 결과 대상지역(남포)의 산업단지 적지를 1차 적지(Most Suitable)와 2차 적지(Suitable)로 구분하여 선정해보았다 (Fig. 7).

분석결과 세 지역에 걸쳐 적지가 선정되었으며, 2차 적지를 포함하여 전체 약 17,025,000 m² (약 515 만평) 규모의 산업단지가 개발이 가능함을 알 수 있다 (Table 5).

Table 5. Land suitability area for Industrial Site in Case Study Area (Nampo, unit:km²)

Land Suitability		Total	Site 1	Site 2	Site 3
Study Area (Nampo)	Most Suitable	5,058	2,711	760	1,587
	Suitable	1,1967	3,537	4,132	4,298

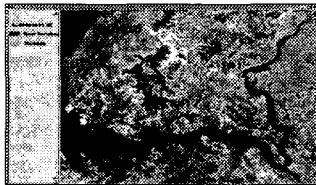


Fig. 7. Suitability Analysis Result OF Optimum Location for the Industrial Site (Nampo)

4. 결론

산업단지 적지분석에 필요한 인자선정에 있어 접근이 불가능한 지역인 북한 의 특성을 고려하여, 원격탐사와 GIS의 지형 분석을 이용 자연환경인자를 도출하였으며, 산업단지 조성 시 가장 중요시되는 입주기업의 비용절감 및 편리성 인자 등을 GIS 접근성 분석기법으로 인문사회 환경인자로 도출하였다.

또한, USLE를 이용하여 환경분석 및 연안해역 환경변화 저감인자를 도출, 산업단지 적지분석기법에 Feed-back하여 접근이 불가능한 지역에서 산업단지 입지계획 수립 시 간과하기 쉬운 사업종의 환경변화를 최소화 할 수 있는 친환경적인 산업단지 적지분석 기법을 제시하였다.

이 기본틀을 남포지역에 적용한 결과, 3개 지역에 걸쳐 17,025 천m²의 산업단지가 선정되었으며, 단지의 확장과 효율적인 개발이 가능한 대동강 인근의 구릉성 지역으로 선정되었다.

선정된 적지의 인근유역과 연계한 환경성을 검토한 결과, GIS와 USLE를 종합하여 산업단지 적지를 분석할 경우, 친환경적인 산업단지 적지 선정 및 인근 자연환경의 변화를 최소화할 수 있는 단지계획의 수립이 가능함을 입증하였다.

참 고 문 헌

- Booch, G., 1994. Object-Oriented Analysis and Design with Applications, 2nd ed. Wesley Publishing Company.
- Dunne, T. and Leopold, L., 1995. Water in Environmental Planning. pp. 493-586.
- 김승근, 1994, 택지개발 가능지 분석을 위한 GIS응용에 관한 연구 (한양대 석사논문).
- 김상욱, 1995. 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구 (서울대 석사논문).
- 김영표, 최용복, 박성미, 1997. 입지선정을 위한 GIS 활용방안 연구. 국토연구원 보고서.
- 박은관, 최병남, 김대중, 1998. 토지이용계획을 위한 GIS 활용방안 연구. 국토연구원보고서.
- 박종화, 1998. 생태도시계획개념을 적용한 서울시 토지이용 적지분석.