

인공위성 화상데이터를 이용한 북한 서해안지역의 농지기반조성 현황조사

Survey for Farmland Development in Western Coast of North Korea Using Satellite Image Data

안기원* · 조병진** · 서두천*** · 이정철****

Ahn, Ki-Won · Cho, Byung-Jin · Seo, Doo-Chun · Lee, Jung-Chul

要 旨

본 연구에서는 북한 서해안 지역의 농지기반조성현황을 조사하기 위하여 Landsat TM, JERS OPS, SPOT PAN데이터를 주로 사용하는 원격탐사기법과 시대별 진척상황을 추적하기 위하여 발행년도가 다른 지도 등을 이용하였다. 농업시설물을 관측하기 위하여 기하보정, 디지털 모자이킹, 영상중합, 선형추출, 토지이용분류 등의 기법을 연구하였으며, 이를 응용하여 북한 서해안지역에 계획되어 있는 간척가능지구, 미완공간척지, 수리계획 등을 조사하였다. 확인된 간척가능 면적은 완공 또는 부분 완공되었거나 방조제노선이 계획된 지구를 합한 총면적이 177,766 ha로서 북한이 발표한 30만 ha의 59%에 해당된다. 또한, 1994년도 「북한의 동향」에서 발표한 제3차 7개년계획기간(1987-1993)에 북한정부가 추진한 총 면적 27,100 ha의 간척지 개발면적을 조사한 결과, 기 개발된 면적 16,555 ha와 미완공 간척지면적 16,826 ha로 나타났다. 이들 간척지구는 해안지역에 위치하고 자체유역이 작아 용수가 부족한 실정으로 서해안으로 흐르는 압록강, 청천강, 대동강, 예성강 등으로부터 용수공급을 받는 2000리 물길사업과 연계되어 있으나 용수의 과부족은 검토를 요한다.

ABSTRACT

The aim of this study was to find out and confirm the project formulation, feasibility, scale and locations on the farmland development projects such as planned and ongoing tideland reclamation and irrigation facilities along the western coast of North Korea using satellite image data, Landsat TM, JERS OPS and SPOT PAN and aged maps. In order to apply to the study, remote sensing technologies such as geometric correction, digital mosaicking, image merging, linear extraction and land cover classification were studied. As the results of the study, the reclaimable tidal flats are recognized at about 178,000 ha equivalent to 59% of announced 300,000 ha, and 16,000 ha of completed, 17,000 ha of ongoing project areas although 27,000 ha were revealed to be completed during 1987-1993. Almost planned projects are appeared to be shortage of water supply due to their small watersheds, however, most projects are connected with 2000 mile canal system.

1. 서 론

FAO의 1997년도 통계에 의하면 북한의 작물별 농지이용면적은 185만ha로서 남한의 250만ha의 74%가 되어 남한 인구의 절반인 북한인구를 감안할 때 인구 1인당 재배면적이 남한에 비하여 결코 적지 않음을 알 수 있

다. 그럼에도 불구하고 식량난으로 고생하는 것을 보면 반당수확량이 턱없이 부족하다는 사실을 알 수 있다. 이는 비료, 농약 등 농자재의 부족, 국영농장의 경영부실, 생산의욕의 저감, 저수확 품종, 비과학적인 농사기술 등을 지적하고 있으나 농공학적인 관점에서 볼 때 관개·배수, 농로, 수자원, 물관리, 무분별한 산지개간, 간척농지의 제염 및 제방관리 등의 불비나 기술부족으로 인하여 노동생산성이 떨어지고, 작은 재해에도 흉년이나 흉수피해가 빈번한원인도 지적되고 있다.

북한의 전체 농지 이용면적 185.3만ha 중 평안남·북도, 황해남·북도, 남포시를 포함하는 서해안 지역에 위

*경상대학교 공과대학 토목공학과 교수
(경상대학교 부속 생산기술연구소 연구원)
**경상대학교 농과대학 농공학과 교수
***경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료
****농업기반공사 농어촌연구원

치한 농경지는 전체의 60% 정도인 100만ha로서, 전체 답면적 58만ha 중 41.9만ha인 70%이상이 서해안에 분포되어 있다. 따라서 관개배수시설, 간척자원, 수자원 이용 시설이 서해안에 집중되어 있다.¹⁾²⁾

본 연구에서는 북한 서해안지역에 대한 농지기반조성 현황을 조사하기 위하여 국경을 초월하여 정보수집이 가능한 인공위성에서 촬영한 영상자료를 분석하는 원격탐사와 지리정보시스템(Remote Sensing/GIS)을 응용하고자 하였다.

인공위성 영상데이터를 지도투영에 맞추고 좌표를 일치시키는 기하보정, 인공위성 데이터간의 편집·결합을 위한 디지털 모자이킹, 영상데이터의 해상도 및 판독력을 향상시키기 위해 중합기법에 의한 중합영상을 생성하였다. 또한 북한과 같은 접근불가지역의 농지기반 시설물은 Landsat TM, SPOT PAN등과 같은 인공위성 데이터에서 판독이 가능하고, 그 체원을 추출하기 위해 접근 가능지역에서 사전 연구를 행하고 그 결과를 접근불가지역에 적용하였다.

이들 연구결과를 기초로 하여 북한서해안 지역의 2000리 물길체계를 포함하는 수자원 현황 및 용수이용체계의 확인, 간척자원조사 및 미완공 간척지의 연대별 변화, 서해안 일부 지역의 토지이용변화를 분석하였다.

2. 인공위성 영상데이터를 이용한 농지기반조성현황 조사 기법

2.1 사용데이터 및 기하보정

본 연구에 사용된 데이터로는 크게 인공위성 데이터와 지도 데이터로 나눌 수 있다. 사용된 인공위성 데이터 및 지도 데이터의 종류와 특성은 표 1과 같으며, 지도 데이터는 필요한 경우 지도를 스캐닝하여 수치 자료화하여 사용하였다.

구입된 위성데이터는 일부 기하보정이 되어 있지만 데이터 수신처리기관 또는 공급기관에서 표준적으로 채택하고 있는 지구타원체와 평면직각좌표 투영법이 우리나라 국토기본도의 경우와 다르기 때문에 기하보정을 실시하여 위성데이터를 지도좌표체계로 맞추어야 한다. 본 연구에서 사용된 기하보정방법은 지상기준점의 지도좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 지상기준점의 선정에 있어서는 수집된 북한 지역의 지도를 참고하여 선정하였으며, 영상기준점은 ERDAS Imagine 8.3.1의 viewer상에

표 1. 사용데이터

	Path/Row	Date of acquisition	Scene
Landsat(TM)	118-032	1996.11.18	Full
	117-033	1996.10.26	Full
	117-034	1993.04.09	Sub(No. 1,2)
	116-034	1997.04.16	Sub(No. 1,2)
SPOT(PAN)	300-272	1994.11.21	Full
	301-273	1994.11.25	Full
	301-274	1994.11.25	Full
	301-273	1994.11.26	Full
	301-274	1994.11.26	Full
	299-272	1995.05.06	Full
	299-273	1995.05.06	Full
	299-273	1995.05.15	Full
	300-272	1995.05.15	Full
	300-272	1995.09. 12	Full
	299-274	1995.11.03	Full
	298-270	1997.04.09	Full
JERS(OPS)	297-270	1997.04.23	Full
	298-270	1997.04.30	Full
	90-237	1997.10.27	Full
	91-237	1997.05.05	Full
	92-234	1998.06.06	Full
	92-235	1998.06.06	Full
	92-236	1994.09.11	Full
	92-237	1993.04.01	Full
지도 데이터	93-234	1997.03.24	Full
	94-234	1997.05.08	Full
	종류	축척	제작년도
	국가기본도	1/250,000	1987 편집
	군용 지도	1/250,000	1978 정보
		1/50,000	1983 편집
행정구역도	1/620,000	1992. 5.	
지형도	1/50,000	1925.	

서 화소단위 이하로 독취하였다.

기하보정에 사용된 변환식은 affine변환식, 재배열방법으로는 공1차내삽법을 주로 사용하였다. 기하보정시 기준점은 최소 6점 이상을 사용하였으며 평균제곱근오차는 ± 1.0 화소 이내가 되도록 하였다. 평면투영식을 위한 평면직각좌표 원점으로는 연구대상지역의 대부분을 차지하는 서부원점(북위: 38°, 동경: 125°)을 사용하였다. 그림 1은 사용된 인공위성 데이터중 대동강 유역의 Landsat TM, SPOT PAN 및 예성강 유역의 JERS OPS의 기하보정된 영상이다.

2.2 디지털 모자이킹

각기 다른 센서와 다른 날짜에 관측 수집된 인공위성

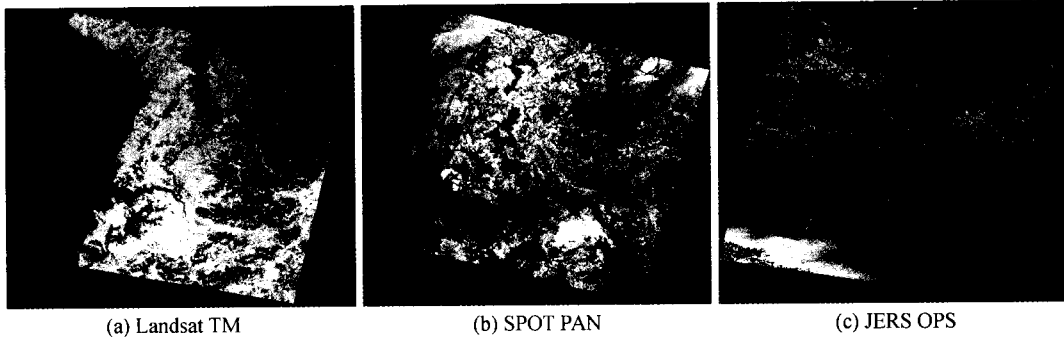


그림 1. Landsat TM, SPOT PAN 및 JERS OPS의 기하보정영상

데이터를 수치적으로 모자이킹(mosaicking)하였다. 디지털 모자이킹에 있어서는 2가지 특성 즉, 방사적인 특성과 기하학적인 특성이 유사하도록 접합되어야만 한다. 즉, 동일한 수치칼라영상과 정밀하게 기하보정된 영상이 작성되어야만 대상물의 피복조사, 형태파악, 특징추출은 물론, 정밀한 위치파악을 위한 유효한 영상데이터가 될 수 있다.³⁾ 따라서 사용되는 데이터들의 영상특성을 감소시키지 않고, 대상물에 관한 다양한 분광반사특성을 크게 손상하지 않는 적절한 방사보정과 기하보정기법의 적용이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 4개의 Landsat TM 위성데이터를 수치적으로 모자이킹하였다.

1차 기하보정된 영상들을 칼라합성 후, 서로 중복되는 지역에서 식별 가능한 지형지물의 좌표를 확인한 결과, 위치점의 좌표들이 상이하였다. 이를 위해 북한 서해안 지역을 대부분 포함하고 있으며 영상의 분광해상력이 다른 3개의 Landsat TM보다 우수한 117-033영상을 중심으로 나머지 3개의 영상을 2차 기하보정을 실시하여 영상의 기하학적 질을 향상시키고자 하였다. 기준점 선정에 있어서는 117-033영상에서 나머지 3개의 영상과 상하에 중복되는 지역에서 선정하였다. 117-033영상과 118-032영상이 중복되는 지역에서의 기준점은 총 12점, 117-034영상과 중복되는 지역에서는 총 12점, 그리고 116-034영상과 중복되는 지역에서는 총 10점을 선정하였다. 선정된 기준점에 대해 나머지 영상에서의 좌표획득은 시각적인 방법이 아닌 117-033 영상데이터를 기준으로 한 자동매칭기법중 하나인 표준상관기법을 적용하였다. 자동매칭에 있어서 윈도우 영역의 크기는 공간해상력 30m 정도 영상의 매칭에 유효한 13×13 화소 크기로 하였으며 탐색 영역의 크기는 중심화소에서 반경 9화소, 상관계수의 임계값은 영상간의 경년변화와 계절차이 및 센서

의 차이점 등을 고려하여 0.6을 택하였다.³⁾

기하보정된 영상들은 관측수집일이 차이가 있기 때문에 분광반사특성이 상이하고 칼라합성을 할 경우, 그 칼라가 상이할 수 있다. 따라서 이러한 합성영상의 칼라를 맞추기 위해 농담변환을 실시하여야 한다. 본 연구에서는 117-033의 TM2, TM3 및 TM4의 파장대별 영상데이터의 평균과 분산에 일치하도록 118-032, 117-034 및 116-034 영상데이터를 히스토그램 매칭(histogram matching) 기법에 의한 농담변환을 실시하였다.

기하보정과 농담조절이 된 영상을 사용하여 모자이크 영상을 작성하였다. 농담조절을 하였더라도 접합되는 지역에서는 시각적으로도 구분할 수 있을 정도의 합성영상 칼라가 다소 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중복지역에 한하여 Albert 등이 적용한 식 (1)을 사용하여 해당 화소가 어느 영상에 가까운가를 경중률을 고려하여 화소값을 다시 할당하는 방법을 적용하였다.³⁾

$$DN_{out} = (TM_i' \times Dist_i / Dist_i + Dist_i) + (TM_i \times Dist_i / Dist_i + Dist_i) \quad (1)$$

여기서,

DN_{out} : 결과 화소값

TM_i' , TM_i : 중복되는역내의 Landsat TM 화소값

$Dist_i$: i 화소로부터 TM_i' 좌측 끝까지의 거리

$Dist_i$: i 화소로부터 TM_i 우측 끝까지의 거리

그림 2는 각기 다른 시기에 관측한 4개의 Landsat TM영상을 식 (1)을 적용하여 작성된 북한 서해안 지역의 모자이킹 영상이다.

2.3 영상중합

인공위성 데이터로 북한 농지기반시설현황을 파악하기

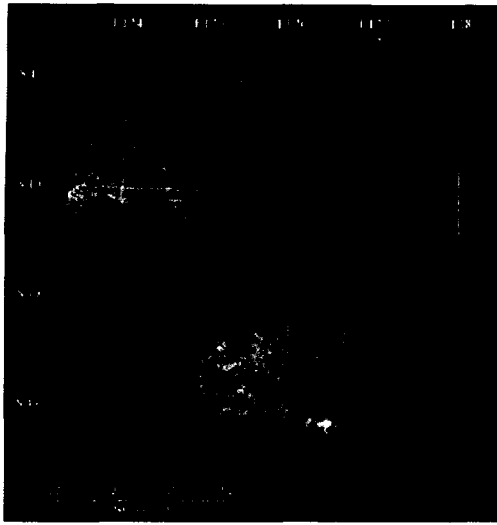


그림 2. 북한 서해안 지역 Landsat TM 영상데이터의 디지털 모자이크 영상

위한 실질적인 데이터로 이용하기 위해서는 보다 유효한 처리와 분석을 행하여 인공위성 데이터의 분석정확도를 향상시켜야 한다. 이러한 분석정확도 향상기술은 크게 3 가지 측면으로 발전하였는데 첫째 두 데이터의 영상 중합(merging)에 의한 해상력 향상부분, 둘째 분광특성을 고찰한 데이터의 질적 개선 부분, 셋째 분류기법의 고도 화부분으로 나누어서 생각 할 수 있다.³⁾⁵⁾

본 연구에서는 공간해상력이 10 m인 SPOT PAN 데이터와 다양한 관측과장대를 갖고 있는 Landsat TM 데이터를 사용하여, 대표적인 영상중합방법인 IHS와 PCA방법으로 중합영상을 작성하였으며, 두 가지 방법으로 중합된 영상을 평가하여, 최적의 기법을 선택한 후 이를 농지기반시설 현황조사에 활용하였다.

2.3.1. IHS 중합

IHS방법은 Haydn 등이 Landsat MSS 데이터와 RBV (return beam vidicon)데이터의 중합에서 처음 사용된 이후, 각기 다른 센서에서 얻어진 영상들의 중합에 가장 널리 사용되는 방법중의 하나이다.³⁾ IHS 변환에 있어서 I(명도 : intensity)는 공간 해상력, H(색상 : hue), 및 S(채도 : saturation)는 분광반사특성을 표현해 주는 역할을 한다. IHS중합에 있어서는 해상력이 낮은 다중과장대 영상을 I, H, S성분의 영상으로 변환한 후, I성분 영상을 고해상도의 panchromatic 영상으로 대체한 다음, 다시 R, G, B 성분영상으로 역변환하여 칼라 합성하는 방법

표 2. Landsat TM 데이터와 SPOT PAN 데이터의 상관계수

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
PAN	0.609	0.682	0.715	0.579	0.612	0.633

표 3. IHS 변환 후, 생성된 Intensity 영상과 SPOT PAN 데이터의 상관계수

	TM123	TM125	TM127	TM234	TM235	TM237
PAN	0.671	0.672	0.700	0.652	0.643	0.692

이다.⁶⁾

Landsat TM 데이터의 7개 밴드 중 IHS 변환에 사용될 3개의 유효밴드의 결정에 있어서는 Landsat TM과 SPOT PAN의 과장대별 중복도, 상관계수 및 Landsat TM의 대표적인 6개의 RGB 칼라조합한 영상을 IHS 변환 후, 생성된 intensity 영상과 SPOT PAN데이터의 상관계수로서 유효 밴드를 선정하였다.

관측과장대가 중복되는 영역은 3개 밴드에 걸쳐 1.60 μm 이며, 이중 TM1, TM2 및 TM3에서의 과장중복도는 각각 12.5%, 50.0% 및 37.5%이다. 표 2에서 보는 바와 같이 상관계수는 TM2, TM3 및 TM7에서 비교적 상관관계가 양호한 것으로 나타났다.

Intensity 영상과 SPOT PAN데이터의 상관계수는 표 3에서 보는 바와 같이 TM127에서 생성한 intensity영상과 SPOT PAN 데이터간의 상관계수가 가장 높게 나타났으나, 과장대별 중복도와 Landsat TM의 각 밴드와 PAN데이터의 중복도 등을 고려하여 Landsat TM237의 밴드조합을 IHS방법에 사용하였다.

본 연구에서 적용한 RGB-IHS 변환과정은 먼저 Landsat TM2, TM3 및 TM7영상을 이용하여 I, H, S 성분의 영상으로 변환한 후, I성분 영상과 분산 및 평균이 비슷하도록 고해상도의 SPOT PAN 영상을 농도변환(contrast stretch)한 다음, 이를 I성분영상으로 대체하고 다시 R, G, B 성분영상으로 역변환하여 칼라 합성하였다.

2.3.2 PCA 중합

PCA방법은 다수의 변량변동을 소수의 지표를 이용하여 표현하는 방법으로서, 필요한 정보를 거의 상실하지 않으면서도 특징공간의 차원 즉, 자료량이나 패턴의 분류처리시간을 줄이기 위하여 많이 사용된다.⁶⁾ PCA방법에 의한 SPOT PAN 데이터와 Landsat TM 데이터의 중합방법과 절차는 IHS방법과 유사하다. 그러나 IHS방법에서는 단지 3개 밴드 영상만을 이용하여 I, H, S 성분영상으로 변환할 수 있는 반면에, PCA방법은 3개 이

표 4. PCA 변환 후, 생성된 제1주성분 영상과 SPOT PAN 데이터의 상관계수

	TM123	TM125	TM127	TM234	TM235	TM237
PAN	0.720	0.620	0.662	0.633	0.624	0.689

상의 영상들을 사용하여 PCA알고리즘에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

표 4에서 보는 바와 같이 TM237의 제1주성분영상과 PAN 데이터간의 상관계수가 가장 높았기 때문에 이 3개 밴드의 TM 데이터를 PCA방법에 사용하였다.

본 연구에서는 먼저 Landsat TM2, TM3 및 TM7을 이용하여 제1, 제2 및 제3주성분 영상을 얻었다. 그리고 제1주성분 영상과 분산 및 평균이 비슷하도록 고해상도의 SPOT PAN 데이터를 농도변환한 다음, 이를 제1주성분 영상으로 대체하고 다시 R, G, B 성분영상으로 역변환하여 칼라 합성하였다.

두 가지의 중합결과를 평가하기 위해서 본 연구에서는 30m 해상력의 참조영상을 생성시켜 분석한 결과 IHS방법이 PCA 방법에 비하여 공간해상력을 잘 보존하고 있었으며, 비교적 선명한 칼라합성영상을 작성할 수 있었다. 따라서 북한의 농지기반조성현황 조사를 위해 사용

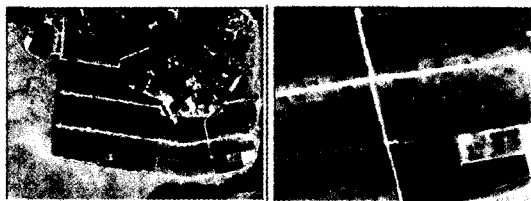


그림 3. 토지이용분류에 사용된 IHS 중합영상 및 일부지역 확대 모습

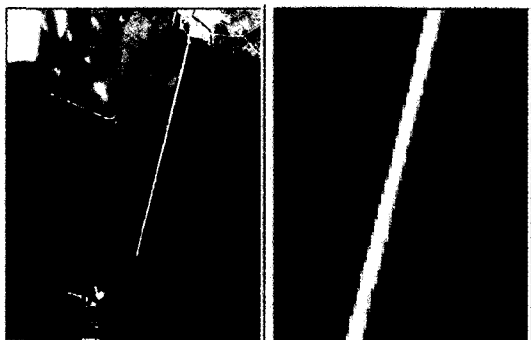
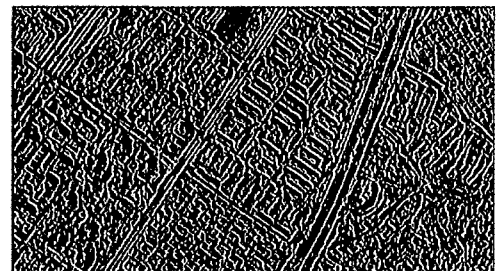


그림 4. 방조제 선형추출 사용된 IHS 중합영상 및 일부지역 확대 모습

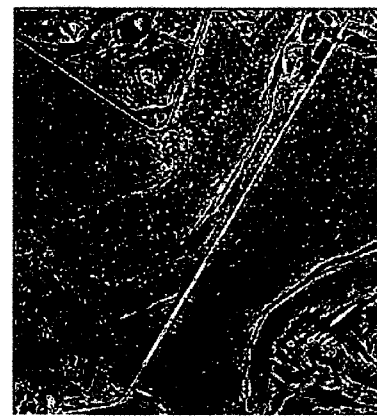
되는 토지이용분류, 스크린 디지털라이징 및 방조제 선형추출 등에 적용될 중합방법으로 IHS기법을 적용하였다. 그림 3은 토지이용분류, 그림 4는 방조제 선형추출에 사용된 IHS 중합 결과 영상이다.

2.4 선형추출

북한과 같은 접근불가지역의 방조제와 같은 선형구조물의 농지기반시설 현황을 파악하기 위해서 접근가능지역에서의 사전 연구를 행하고 그 결과를 접근불가지역에 적용할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서도 우선 방조제의 재질과 모습이 유사한 도로를 대상으로 그 위치와 폭 등 규모를 파악하는 연구를 사전에 행하고, 그 결과를 비접근 북한지역에 적용하여 방조제의 선형을 추출하였다. 접근가능지역의 도로추출에 있어서는 도시지역의 KVR-1000(공간해상력 : 2m) 인공위성 영상데이터를 이용하여 도로망을 추출하였다. 이를 위하여 식 (2)와 같은 경계보호 필터링을 적용하여 경계를 이루는 부분에 있어서는 비교적 동일한 밝기값을 가지는 영역으로 생성할 수 있었다.^{7),8)}



(a) 접근지역



(b) 비접근지역

그림 5. 최종 추출된 경계 후보영상

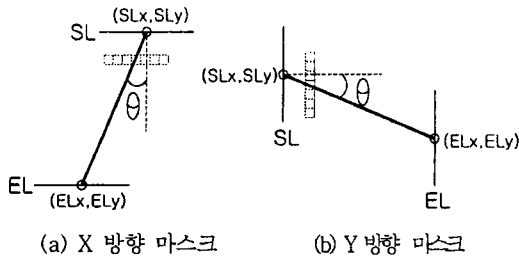


그림 6. 마스크의 종류

$$D_{average} = \frac{1}{N} \times \sum_{k \in A} |\mu - P_k| \quad (2)$$

다음으로 high-pass filter 및 sobel 연산자 등 이용하여 경계 후보 영역을 그림 5와 같이 추출하였다.

추출된 경계 후보 영상을 바탕으로 경계의 경로추적은 그림 6과 같은 x, y방향의 1차원의 마스크를 사용하였으며, 마스크의 진행방향은 식 (3)과 같이 산출하였다.

$$\theta = \frac{SL_y - EL_y}{SL_x - EL_x} \quad (3)$$

여기서, SL_x, SL_y : 도로 시작점 좌표

EL_x, EL_y : 도로의 끝점 좌표

마스크의 종류와 진행방향이 결정되면 경계 영역을 주사해 가면서 이웃하는 경계 화소간에 전입자와 계승자를 선언해 주고 이들 연결 정보를 이용하여 경계를 검출하는 방법을 적용하였다. 경계점의 연결은 아래와 같은 3가지 경우로 나누어 고려하였다.⁹⁾

<경우 1> 하나의 계승자 후보가 존재할 경우에는 그 화소를 계승자로 연결

<경우 2> 두개의 계승자 후보가 존재할 경우에는 식 (4)와 같이 θ 를 계산하여 $\min(\theta)$ 를 계승자로 연결

$$\theta = \frac{Suc_x - Pre_x}{Suc_y - Pre_y} \quad (4)$$

여기서 Suc : 계승자, Pre : 선행자

<경우 3> 계승자 후보가 존재하지 않을 경우에는 앞서 추출된 10개의 선행자와 최종점의 총 11점을 사용하여 최소제곱법으로 직선식을 계산한 후, 계승자로 연결 이상과 같은 방법으로 추출된 경계화소에 대하여 중심 화소의 위치 좌표값을 추출하였다.

1차 추출된 직선성분에서는 장애물인 차량, 가로수, 그림자 등의 영향으로 경계가 일정하지 않은 오추출 경계

부분이 존재한다. 일반적으로 도로, 방조제는 특수한 경우를 제외하고 폭이 일정하며, 각 직선성분의 맞은편 경계와 대칭구조를 형성하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 특성을 이용하여 경계 폭이 일정하지 않은 일부 구간에 대해서, 1차 추출된 각각의 경계점 좌표를 이용하여 도로, 방조제폭을 산정 한 후, 평균 폭, 표준편차를 계산하여 잘못 추출된 경계점을 산출하고, 최소제곱법원리를 적용하여 2차 보정하였다.

2차 보정된 좌표에서 직선 선형을 보정하기 위해서 60m 간격으로 분할 한 후, 이 간격내의 좌표점들을 모두 추출한다. 추출된 좌표점들을 대상으로 최소제곱법 원리를 적용하여 직선식을 계산한 후, 경계점들을 재계산 하였다. 그림 7은 이와 같은 방법으로 도로 선형을 보정한 후, 인공위성데이터와 중첩시켜 나타낸 것이다. 그림 8과 그림 9는 최종 추출된 북한지역의 방조제 직선성분을 1:50,000 지형도와 중첩시켜 나타낸 것이다. 이 그림

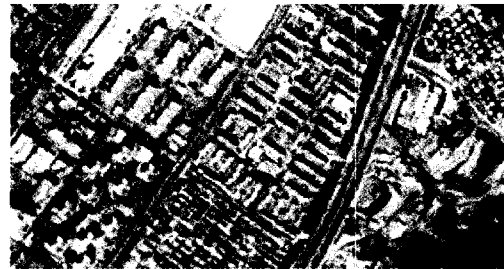


그림 7. 최종 추출된 도로 직선성분

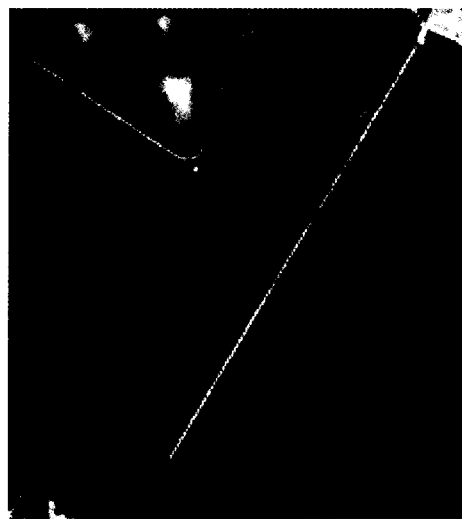


그림 8. 최종 추출된 방조제 직선성분

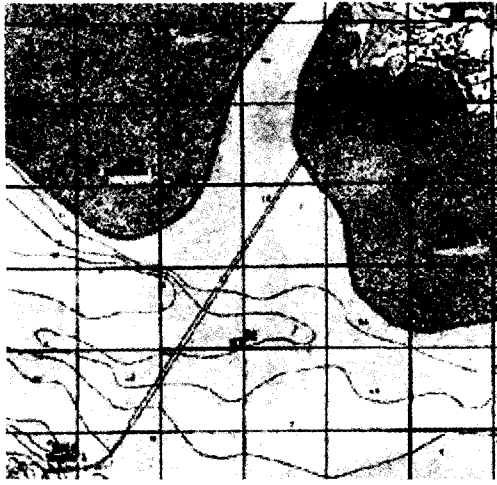


그림 9. 축척 1:50,000 지형도와 추출된 결과의 중첩

을 살펴보면 기존의 지형도에서는 방조제가 표시되어 있지 않다.

2.5 간척지의 토지피복분류

간척지의 토지피복분류에는 ground truth data를 사용

하는 최대우도법(maximum likelihood classifier)을 사용하였다. 이 방법은 training data가 정규분포를 따른다는 가정 하에 데이터의 평균벡터와 공분산행렬(covariance matrix)을 계산한 후 확률밀도함수를 이용하여 각 화소를 확률이 가장 높은 분류항목으로 분류하는 방법이다.

북한 간척지의 분류에 사용될 영상데이터는 그림 3의 IHS 중합영상을 사용하여 토지피복분류 결과의 정확도를 향상시키고자 하였다.

북한 간척지의 분류항목은 크게 간척지역과 비간척지역인 육지의 두 부분으로 구분하여 분류항목을 선정하였으며, 분류항목은 수역, 식생, 산림, 갯벌, 도로 및 도시, 간척된 수역, 간척된 식생의 7개 항목을 선정하였다.

training field를 선정시에는 표 1의 지도데이터와 인공 위성 영상데이터에서 나타나는 토지피복특성을 종합적으로 고려하여 선정하였다. training field에 대한 밴드별 평균 및 표준편차의 값은 표 5와 같다.

분류결과와 신뢰도는 일차적으로 사용된 training field에 대한 confusion matrix에 의해 평가될 수 있다. 그 결과 표 6과 같이 약 92% 정도로 나타나 training field의 선정 및 분류항목간 분리도가 양호함을 알 수 있다.

표 5. Training field의 각 밴드별 평균 및 표준편차

Land Use	Band 1		Band 2		Band 3	
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
수역	14.500	5.792	11.917	5.035	10.667	3.172
식생	80.349	3.848	76.302	4.290	252.767	3.184
산림	28.200	3.338	34.880	2.693	91.960	3.481
갯벌	174.941	2.212	181.088	4.312	149.118	2.718
도시 및 도로	245.860	13.608	254.800	1.073	255.000	0.000
간척된 수역	87.029	2.942	83.265	3.313	40.353	5.246
간척된 식생	127.762	3.809	120.683	3.084	123.698	4.222

표 6. Classification error matrix

	수역	식생	산림	갯벌	도시 및 도로	간척된 수역	간척된 식생	합계	%
수역	92	0	0	0	0	5	0	97	94.8
식생	0	87	0	0	0	2	12	101	86.1
산림	0	0	119	0	0	0	0	119	100
갯벌	0	1	0	6	1	0	3	73	93.2
도시 및 도로	0	0	1	0	170	0	0	171	99.4
간척된 수역	9	0	0	0	0	52	0	61	85.2
간척된 식생	0	6	3	0	0	0	47	56	83.9
합계	101	94	123	68	171	59	62	678	91.8
%	91.1	92.6	96.7	100	99.4	88.1	75.8	92.0	

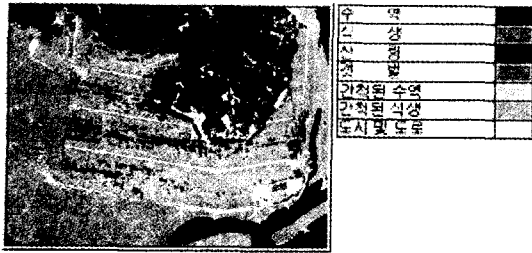


그림 10. 간척지 토지피복분류결과 영상

연구대상영역에 대한 토지피복분류의 최종적인 결과는 그림 10과 같이 수역은 파랑색, 식생은 보라색, 산림은 녹색, 갯벌은 고동색, 도로 및 도시는 노랑색, 간척된 수역은 연녹색, 간척된 식생초록색으로 표현하였다.

3. 북한 서해안 지역의 간척자원

3.1 간척가능면적

북한의 서해안은 비교적 간만의 차가 크고 경사가 완만하여 많은 간척지가 분포되어 있다. 특히 압록강하구에서부터 청천강하구를 거쳐 대동강하구에 이르는 해안지대와 황해남도 웅진만에서 예성강하류에 이르는 해안에는 간척가능한 간척지가 잘 발달되어 있다. 북한은 1954-1956년 사이에 간척지개발에 대한 기초조사를 시행하여 간척가능 면적을 약 30만 ha로 추정하였다. 1981년 10월 『4대 자연개조사업』의 일환으로 『30만 ha의 간척지 개발』을 목표로 세워, 1982-1984년 동안에 매년 3-4만 ha, 1985년 이후에 매년 5만 ha씩 개척하여 1988년까지 30만 ha를 개발하는 계획을 수립한 바 있다.

『30만 ha의 간척지 개발사업』은 1980년대의 『10대 전망목표』 중 하나로 설정, 추진하였으나 1989년말 현재, 6만여 ha(목표의 20%)를 간척하는데 그쳤다. 이 목표는 제3차 7개년 계획기간(87~'93)으로 순연되었다.^{1),2)}

본 조사에서는 북한이 발표한 30만 ha 규모의 간척가능 지구의 위치, 사업내용, 사업계획 수립상의 문제점 등을 검토하기 위하여 앞에서 연구한 인공위성 영상자료를 이용한 원격탐사기법과 발행년도가 다른 북한의 지형도 등을 이용하여 북한 서해안에 위치한 간척가능지구현황을 분석하였다. 그림 11은 평안북도에 위치한 서호, 대계도, 수운도, 가도의 간척계획지구의 분석 예이다.

이 조사에서 확인된 간척가능 지구면적은 표 7에서 보는 바와 같이 기본계획이 수립되었거나 발표이후 방조제

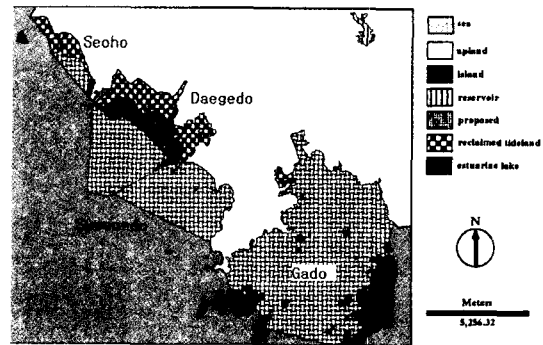


그림 11. 서호, 대계도, 수운도, 가도의 간척계획지구

일부가 완공 또는 진행중인 지구들의 총면적이 177,766 ha임을 확인할 수 있었다. 확인된 면적은 북한이 발표한 30만 ha의 59%에 불과하며, 1994년 통일원이 확인한 113,150 ha와 비교하면 57%가 증가된 면적이다.

간척이 활발히 진행되었던 강령지구(황해남도 웅진군), 용매도 및 반이도지구(황해남도 연백군)에서의 용수원인 담수호의 개발형태는 기존 농지의 말단에 위치시키는 해안담수호로서 상류의 농업용수를 재이용하는 계획으로 해안에 축조하여 장차 개발예정인 간척지에 관개할 목적으로 계획된 것으로 판단된다. 또한 담수호 상류에

표 7. 북한서해안지역의 간척가능면적

Location	Projects	Reclaimable area		Sea-dikes	
		subproj	area(ha)	no.	dike length(km)
평안북도	서호	4	3,151.9	3	8.39
	대계도	5	18,441.8	6	24.21
	수운도	1	10,433.3	1	14.75
	가도	2	37,700.9	5	16.53
	신시도	3	31,550.9	17	36.11
평안남도	정주	5	15,389.9	1	14.42
	청천강	1	5,171.8	3	28.47
	평원	1	2,642.5	4	20.15
	증산	1	2,534.9	3	15.04
	운천	1	1,503.2	3	10.48
황해남도	귀성	2	2,083.2	2	13.87
	은율	3	2,883.4	4	4.91
	대동만	4	8,268.0	2	6.64
	웅진만	9	7,396.4	3	7.06
	강령	17	6,808.3	13	14.91
남포시	해암도	14	4,754.1	7	14.09
	용매도	7	8,919.6	13	40.68
	금성	10	5,112.2	4	14.73
계	남포	3	3,019.2	-	-
	계	93	177,765.5	84	305.44

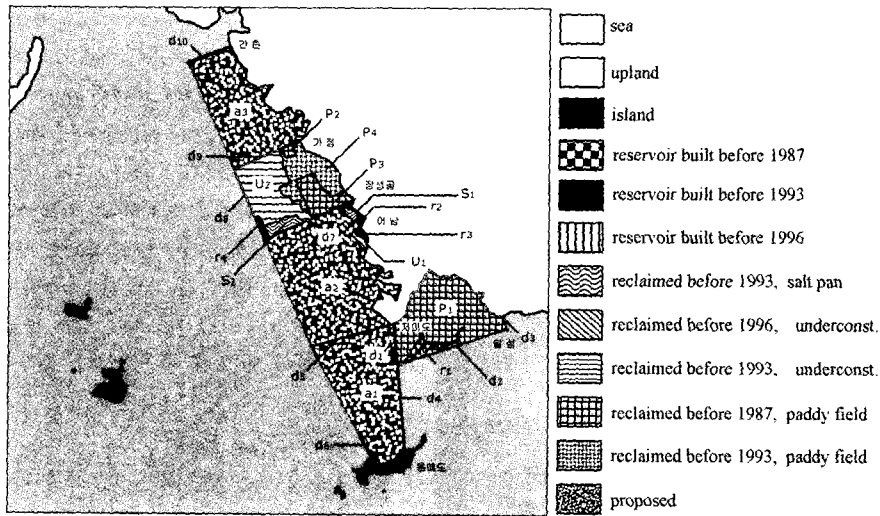


그림 12. 용매도지구 간척계획

위치한 간척농지에는 별도의 저수지를 상류에 축조하여 내리흐림식 관개방법(gravity irrigation)을 채택하고 있다. 남한에서 담수호 주위에 양수장을 건설하여 간척지와 배후지를 관개하는 방법과는 다른 현상이다.

방조제의 위치는 해안과 도시를 연결하는 것이 유리하나 해안이 단조로운 청천강하구에서부터 대동강하구 까지에 계획된 청천, 평원, 증산, 은천, 귀성지구의 간척계획은 주로 3면을 체절하는 폴다형이 대부분으로 방조제의 길이가 길며, 외해를 면하고 있어 방조제 계획에 무리가 있는 것으로 판단된다. 또한 대계도, 수운도, 대도, 신미도 등 도시를 연결하는 사업계획지구는 자체 유역이 작아 압록강과 청천강으로부터 용수공급을 받는 2000리 물길공사와 연계되어 있다.

3.2 미완공간척사업 현황

북한은 전체 국토면적의 18%에 불과한 농경지 면적을 늘림으로써 식량증산을 꾀한다는 목적 하에 1981년 10월 노동당 제6기 4차 전원회의를 통해 『4대 자연개조사업』의 하나로 『30만 ha 간척지 개발』 목표를 제시하였다.

『30만 ha의 간척지 개발사업』은 1980년대의 『10대 전망목표』 중 하나로 설정, 추진하였으나 1989년말까지 목표의 20%에 해당되는 6만여 ha를 간척하는데 그쳤다. 이 목표는 제3차 7개년 계획기간('87~'93)으로 순연되었다. 제3차 7개년계획(1987-1993) 실시 이후 1994년 4월까지의간척지개발 사업실적을 보면, 토목자재, 장비부족

으로 개발목표인 30만ha 중 실제로 추진된 것은 9개 지구 총면적 28,400 ha에 불과하다고 보고되었다.¹⁾²⁾

그러나 사업지구위치, 사업내용 등은 일체 알려지지 않았다. 따라서 이 연구에서는 이들 지구 중에서 서해안에 위치한 8개 사업지구 27,100 ha에 대하여 시대별 사업진척내용과 현재의 토지이용현황, 사업계획수립에 있어서 우리의 경험과 다른점 등을 확인하기 위하여, 발행년도가 다른 지형도에 의한 고찰과 최근에 수집된 인공위성 화상자료를 이용하여 앞에서 연구한 기법들을 동원하여 조사하였다. 특히, 본 조사에서는 높은 해상력의 SPOT PAN 데이터와 다양한 관측파장대를 갖고 있는 Landsat TM 데이터를 사용하여, 대표적인 화상중합방법인 IHS방법과 RGB변환을 사용하는 중합화상을 작성하여 그림 12와 같이 분석하였다.

이들 지구별 면적현황은 개발면적으로 발표된 27,100 ha와는 차이가 있어, 이미 논, 저수지, 염전 등으로 개발된 면적이 16,555 ha, 미완공 간척지면적이 16,826 ha로 나타났다. 일부 방조제의 공사가 중단되어 있거나 이미 계획된 지구로 판단되는 면적 4,724 ha를 포함하면 총 38,105 ha에 이른다.

4. 북한의 수자원 현황

4.1 수자원 개발

북한의 수자원 개발은 국토개발사업과 관련하여 추진

표 8. 북한서해안 미완공간척지현황

Projects	reported (ha)	investigated area (ha)	remarks	
용매도	2,500	completed	1,937.5	sea-dike closed partial sea-dike seen
		under const.	557.4	
		proposed	4,723.5	
		sub-total	7,218.4	
은율	3,200	completed	1,258.4	sea-dike completed
		under const.	1,625.0	
		sub-total	2,883.4	
사현	500	completed	561.3	including reservoir(37.8ha)
강령	5,200	completed	841.2	gate not closed
		under const.	5,967.1	
		sub-total	6,808.3	
청태도	1,000	completed	1,177.5	nampo gate closed
		under const.	54.4	
		sub-total	1,231.9	
금성	3,300	completed	1,572.9	sea-dike closed
		under const.	3,539.3	
		sub-total	5,112.2	
곽산	2,600	completed	2,252.9	sea-dike closed
		under const.	437.0	
		sub-total	2,689.9	
대계도	8,800	completed	6,953.3	sea-dike closed
		under const.	4,646.3	
		sub-total	11,599.6	
Total	27,100	completed	16,555.0	
		under const.	16,826.5	
		proposed	4,723.5	
		total	38,105.0	

되어 왔다. 해방이후 추진되어 온 수자원개발사업 중 치수는 농지부족을 해결하기 위한 토지확장 및 치수사업과 아울러 국토개발사업의 중점사업으로 추진되어 왔다.

북한의 댐 및 대규모 저수지 건설에 대한 체계적인 정보가 없으나, 국제댐회의 (ICOLD)의 world Register of Dams의 1988년도 자료에 의하면 서해갑문을 포함하여 70개 댐의 제원이 수록되어 있다. 그 이후에 알려진 댐 건설 현황은 전무한 상태이다.

1997년 현재 북한의 저수지(자연호 포함)는 총 1,890여 개소이며, 그중 만수면적 5 km² 이상의 인공 저수지가 25개소가 있다. 이 관개용 저수지 수는 남한의 18,000여 개소에 비하여 약 11%에 불과하다. 저수지관개의 기본을 이루는 저수용량 10,000 ha-m이상의 저수지는 은파호, 만풍호, 서흥호, 연풍호, 장수호, 연탄호, 태성호, 구암호 등 8개가 있다. 그중 연풍호와 태성호는 자체

용적이 12,000~15,000 ha-m이지만, 대동강에서 자체용적의 2배나 더 많은 물을 양수저류하기 때문에 관개용수 공급량은 실제로 30,000~35,000 ha-m에 달한다.²⁾

담수호를 '바다저수지'라고 부르며 대표적인 담수호로 서해갑문과 9.18 저수지가 있다. 서해갑문은 남포시 영남리와 황해남도 은율군 송관리를 잇는 대동강 하구쪽에 위치한다. 서해갑문 담수호는 유로연장 397.1 km, 유역면적 15,714.6 km²를 가진 대동강 하구에 8 km의 구간을 방조제와 배수갑문으로 가로막아 만든 인공호수로서 1981년에 착공하여 5년만에 준공되었다. 총저수량은 27억 m³으로서 평안남도와 황해남북도 서해안 일대에 필요한 농업용수를 공급하고 있다.²⁾

9.18저수지 또는 담수호는 방조제를 막아 청단군과 연안군사이의 어사천과 화양천하구에 건설한 담수호로서 1979년에 착공하여 1981년에 완공되었다. 담수호의 저수능력은 5,000 ha-m이며 관개면적은 17,600 ha, 배수면적은 5,000 ha이다.

4.2 이천리물길

1981년 10월 노동당 6기 2차 전원회의에서는 30만 정보의 간척지 개간 20만 정보의 새땅찾기 서해갑문 건설 태천발전소건설을 기본내용으로 하는 「4대 자연개조사업」이 채택되었다. 이 정책사업의 일환으로 1981년 5월 22일에 착공하여 1986년 6월 24일에 준공된 대동강 하구에 위치한 서해갑문 담수호가 건설되었다. 그림 13은 서해갑문 담수호에서 광량만을 잠관으로 횡단하는 구간을 나타내고 있다.

1987년 8월에 송원댐에서 태천 발전소를 연결하는 수로터널이 완공됨에 따라 기존의 관개지구에 안정적 용수공급을 할 수 있는 수자원이 확보되게 되었다. 이 공사가 바로 2천리물길 건설사업의 핵심이다. 2천리물길은 북한 서해안 지역의 평양시, 평안남북도, 황해남북도의 평야지대와 서해안 간척지에 새로 조성될 간척농지의 관개용수를 공급하기 위한 간선수로 1,000리, 지선수로 1,000리로써 압록강과 대령강, 대동강과 재령강 및 예성강을 이용한 광역 관개체계이다.²⁾

2천리 물길체계의 특징은 인접한 물길을 연계시켜 물이 부족할 경우 상호 보완이 가능하도록 되어있다. 2천리 물길공사는 1989년에 시작하여 불과 1년만인 1990년에 완공하였다. 그림 14는 2천리 물길사업 체계를 나타내고 있다.

5. 결 론

북한 서해안 지역의 농지기반조성현황을 조사하기 위하여 국경을 초월하여 정보수집이 가능한 인공위성데이터에 의한 원격탐사기법과 시대별 진척상황을 추적하기 위하여 발행년도가 다른 지도 등을 이용하였다. 농업시설물을 판독하기 위하여 기하보정, 디지털 모자이킹, 영상중합, 선형추출, 토지이용분류 등의 기법을 연구 정리한 후, 이를 응용하여 북한의 농경지 70% 이상이 있고,



그림 13. 서해안문 용수체계



간척계획 95% 이상이 계획되어 있는 서해안지역의 간척가능지구, 미완공간척지, 수리계획 등을 조사하였다. 사용된 위성자료로서는 Landsat TM, JERS OPS, SPOT PAN데이터를 주로 사용하였다. 이들 영상자료는 광역의 조사에는 유효하나 시설물을 정확히 확인하기에는 제한성이 있었으며, 북한의 문헌자료의 부족으로 계속연구가 필요하다. 이 조사를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 확인된 간척가능 면적은 완공 또는 부분 완공된 방조제 일부가 계획된 총면적 177,766 ha를 확인할 수 있었다. 확인된 면적은 북한이 발표한 30만 ha의 59%에 불과하며, 1994년 통일원이 확인한 113,150 ha와 비교하면 57% 이상 증가된 면적이다.

2. 1994년도 『북한의 동향』이란 격월간지에 의하면 북한정부가 제3차 7개년 계획기간(1987-1993) 중 북한지역의 9개 간척사업지구에서 총 면적 28,400 ha의 간척지를 개발한 것으로 발표하였다. 이 연구에서는 이들 지구 중 서해안에 위치한 8개 사업지구 27,100 ha에 대하여 시대별 사업진척내용과 현재의 토지이용현황, 사업계획수립 상 우리 경험과 다른 점등을 확인하였다. 그 결과 발표된 개발면적과 차이가 있어, 기 개발된 면적 16,555 ha와 미완공 간척지면적 16,826 ha로 나타났다.

3. 방조제의 위치는 주로 3면을 체절하는 폴다형이 대부분으로 특히 해안이 단조로운 청천강하구에서부터 대동강하구까지 계획된 청천, 평원, 증산, 온천, 귀성지구의 간척계획은 방조제의 길이가 길며 외해를 면하고 있어 방조제 계획에 무리가 있을 것으로 판단된다. 또한 대계도, 수운도, 신시도 등 도시를 연결하는 사업계획지구는 자체 유역이 작아 압록강과 청천강으로부터 용수공급을 받는 2000리 물길사업과 연계되어 있으나 용수의 과부족은 검토를 요한다.

4. 최근 정보에 의한 간척지구 현황과 용수체계를 조사하기 위하여 기하보정, 디지털 모자이킹, 중합영상, 토지이용분류, 선형추출, 영상중합, 기하보정, 디지털 모자이킹