大韓土木學會論文集
第14卷 第1號 · 1994年 1月
pp. 161~170

리모트센싱 기법을 이용한 호소수질 관리방안
-북한강 수계의 환경인자 추출을 중심으로-

The Management of Lake Water Quality by Remote Sensing Technology
-On the Extraction of Environmental Factors in North Han River Basin-

양인태* · 김흥규**
Yang, In Tae* · Kim, Heung Kyoo**

Abstract

Traditional methods for the extraction of the environmental factors of waters in which environmental change is severer than in the land can not examine closely the changed phenomena because of the lack of equipments, manpower, time and cost, etc. Therefore, new practical and efficient methods are required. The research for the method to manage environment of the waters with remote sensing technology was needed. This study examined the interrelations between the data by an on-the-spot survey and Landsat TM data and presented the model for extracting factors of water quality with regression analysis and experimental formula.

요 지

육역과는 달리 환경변화가 심한 수역에 관한 현상을 파악하는 기존의 재래적 환경감지기법은 막대한 장비, 인력, 시간, 경비 등에 의해 수시로 변화하는 현상을 쉽게 파악하지 못하고 있으므로 좀 더 경제적이면서 효율적인 환경인자 추출기법이 요구된다. 따라서 광역성, 신속성, 동시성이 있는 원격탐사 기법을 이용한 수역에서의 환경관리기법에 대한 연구가 요구되고, 그 연구의 일환으로써 Landsat Thematic Mapper(TM) 자료를 이용하여 지상실측값과 Digital Number(DN) 사이의 상관관계를 규명하고, 경험식과 회귀모델을 이용한 수질환경인자 추출기법의 한 모델을 제시하였다.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

원격탐사에 의한 해양이나 내수면 등 수역의 환경조사가 시작된 것은 그리 오래되지 않았다. 항공기를 이용한 원격탐사를 시작으로 근자에 들어서는 위성영상을 이용한 원격탐사가 여러 적용분야에서 활발하게 진행되고 있다. 최근 과학기술의 급속한 발전과 더불어 인간활동의 영역이 넓어짐으로써 자연환경의 파괴나 자원고갈 등의 문제가 전세계적인

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수
** 한국항공 부설 지리정보연구소 연구원

문제로 대두되고 있으나, 그러한 문제들을 재래식의 방법으로 감시, 분석하는데에는 한계를 느끼게 되었다. 내수면 수자원 관리계획은 주로 양적인 면에 치중되어 있었다. 우리나라의 수자원은 세계적으로도 풍부한 지역에 속하며, 수자원을 이용한 각종 산업발전에 큰 어려움이 없었으나, 그동안 급격한 산업화와 도시화로 인하여 수자원의 질적인 면에서 차츰 떨어지고 있는 추세이나 수질의 관리라는 측면에서는 구체적인 목표와 시행계획이 없었던 관계로 도시들이 양질의 상수원 확보에 고심하게 되었다. 수질오염은 일단 그 문제가 심각하게 노출되고 자연생태계가 변화를 가져오게 된 이후에는 이를 원상복구하기 위하여 대단한 노력과 경제적 부담 및 시일이 소요되어야 한다. 이러한 이유로 수자원 오염실태를 보다 광범위하고 동시적이며 경제적으로 분석하고 예측하기 위한 새로운 수자원 실태분석 기술이 요구되게 되었다.

위성자료에 의한 원격탐사는 이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 대안을 제시할 수 있으며, 원격탐사자료의 장점을 이용하여 보다 신속하고 정확하게, 그리고 경제적인 수역의 환경인자를 분석할 수 있다. 그러므로 본 논문은 우리나라 수도권의 상수원이며 막대한 양의 산업용수를 공급하는 북한강수계 중 춘천유역을 중심으로, 1989년과 1991년의 두해에 걸친 원격탐사 자료중 수역에 대한 투과성을 갖고 있으므로 수역의 환경인자 분석에 주로 이용되는 Landsat TM 밴드 1, 3과 온도감지에 용이한 열적외 파장대인 Landsat TM 밴드 6을 이용하여 표층수온, 부유사, 수심 등의 환경인자 추출을 시도하고, 그에 의한 내수면 환경인자 분석을 행하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

1.2.1 연구대상 지역

연구대상 지역은 춘천시를 중심으로 한 춘천 수계로 결정하였다. 이 지역을 연구대상지역으로 설정한 이유는 북한강 수계주변과 수도권의 대부분 생활용수, 공업용수 및 농업용수를 공급하는 수원지로써의 역할이 증대되고 있으며, 북한강의 전체적 수질은 대체로 양호한 편이나 춘천시를 중심으로한 의암호 유역만이 도시하수 및 산업폐수로 인한 문제가 발생할 수 있는 지역이기 때문이다.

1.2.2 사용 자료

1) Landsat TM Data

본 연구에서 이용된 TM Data 는 1989년 10월 25일(중심경위도 : N 37-54-30, E 127-44-45)과 1991년 3월 5일(중심경위도 : 37-54-30, E 127-44-45)에 일본의 RESTEC에서 수신된 영상을 이용하였으며, 그 좌표를 중심으로 400 line×400 pixel로 절취하여 이용하였다. 그 영상은 Landsat-5의 path 15--row 34에 해당하는 지역을 관측, 수신한 영상으로써 BULK 보정후 BSQ(Band SeQuential) 방식으로 포맷되었다. 영상소형태는 두개의 영상소마다 추출한 2X 형태이다.

영상 자료는 본 연구실에서 보유하고 있는 영상처리 체계인 Khoros상에서 처리될 수 있도록, NEC 포맷에서 IBM 포맷으로 변환시켜 이용하였다.

2) 지상검증 자료

본 논문에서 이용된 실측 자료는 1990년에 발간된 환경연감 자료 중 1989년 10월의 북한강 수계 실측자료와 본 연구실에서 1991년 3월 13일에 실시한 현장조사에서 얻어진 실측자료를 이용하였으며, 수심자료는 1993년 7월 22일에 실시한 현장조사 자료를 이용하였다. 좀 더 자세한 자료세목과 자료수집방법은 다음과 같다.

① 자료수집 방법

* 수온(Surface Temperature) : Conductivity Meter(YSI Model 33)의 온도계를 이용하여 현장에서 측정

* 부유 고형물질(Suspended Sediment) : 유리섬유 여과지(Whatman GF/C)로 여과한 후 Gravimetric Method로 측정

* 수심(Water Depth) : 동력보트를 이용하여 Trimble Navigation사의 GPS Pathfinder로 경위도 좌표를 측정함과 동시에 일본 HONDEX사의 HE-720 color echo sounder로 수심측정

② 현장 실측자료

* 춘천댐 수계(1991. 3. 13)

Site / Fea.	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CD6
Temp. (C)	4.00	4.40	5.00	5.80	4.20	4.50
SS (mg/*l*)	1.00		0.00	1.00	3.00	7.00

* 소양댐 수계(1991. 3. 13)

Fea. \ Site	SD1	SD2	SD3	SD4	SD5	SD6
Temp. (C)	4.20	3.50	4.20	5.50	4.50	3.80
SS (mg/l)	2.00		3.00	10.0		

* 환경통계연감 자료(1989. 10)

Fea. \ Site	site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Temp. (C)	16.0	19.0	15.0	14.0	16.0
SS (mg/l)	1.00	1.6	1.8	8.8	18.6

* 수심자료(1993. 7)

Site	Water Dep.	Site	Water Dep.
1	13.4	15	5.2
2	8.2	16	0.7
3	12.5	17	3.8
4	9.0	18	2.7
5	5.0	19	1.0
6	5.1	20	4.2
7	6.1	21	4.7
8	5.2	22	3.5
9	10.2	23	4.2
10	2.7	24	4.4
11	25	25	3.6
12	5.0	26	5.1
13	4.4	27	4.8
14	3.5	단위 (m)	

1.2.3 분석항목 및 연구방법

수질 분석항목은 수질과 퇴적학적 작용에 큰 영향을 미치는 중요 환경인자인 부유 침전물(suspended sediment)과 부유사 등의 정보와 연계하여 상관관계를 이루는 표층수온, 수심 등이다. 연구 진행 방법을 간단하게 기술하면 다음과 같다.

① 지상검증자료의 수집과 영상 자료의 수집

② 지상기준점(Ground Control Point : GCP)을 선택하기 위한 경계추출(Edge Extraction) 처리

③ 영상자료의 전처리(대기보정 및 기하보정)

④ 영상자료에서 수계를 제외한 육역에서 DN이 0이 되도록 매스킹 처리

⑤ 각 분석영상 별로 대표값 필터링 처리

⑥ 각 분석대상별로 분석처리

이 과정에서 TM영상의 DN은 실측값과 일정한 상관도를 가져야 자료로서의 가치가 있다. 따라서 표본조사자료와 상관도를 계산하고 그 상관성을 이용하여 전체지역에 대한 환경인자의 분포를 알 수 있다. 이렇게 상관성이 확인되면 처리된 각 영상별로 지상검증자료와 비교검증하고 평행육면체 분류법(parallelepiped classification)으로 분류처리를 하여 결론을 도출하였다.

2. 전처리

2.1 Edge Extraction

본 논문에서는 춘천유역의 Landsat TM 영상을 기하보정처리에 필요한 GCP(Ground Control Point) 선정의 정밀도 증가를 위해 경계추출 기법을 이용하였다. 경계추출은 GCP나 그 밖의 중요한 특징들이 경계를 포함하거나 경계로 둘러쌓여 있는 경우가 많으므로 좀 더 정확한 GCP 선정을 위하여 이러한 경계를 강조시킴으로써 필요한 형태를 찾거나 분석하는데에 큰 도움이 될 수 있다.[8,14]

그러므로 본 논문에서는 인간의 시각체계와 비슷하여 다른 경계강조 기법보다 자연스러운 결과를 얻을 수 있도록 3×3의 계수 중 네 귀가 모두 0이고 나머지는 모두 −1인 라플라시안 필터를 이용하였다.[4]

0	−1	0
−1	−1	−1
0	−1	0

2.2 기하보정 및 재배열

기하보정을 위한 GCP는 1987년에 제작된 1/50,000 지형도를 참조하여, 경계추출된 영상에서 뚜렷히 식별되는 네개의 점을 선정하였다.

영상의 기하보정은 Pseudo-Affine 변환을 이용하였으며,[14] 그 변환식은 다음과 같다.

$$X' = 55.1529 + 0.8488x + 0.0000968xy - 0.1617y$$
$$Y' = -11.0664 + 0.2939x - 0.0011xy + 1.01y$$

GCP 에 대한 기하보정 처리후, 생성된 수치영상은 자신의 위치만 갖고 원래의 영상소 값은 갖고 있지 않은 단순한 수치영상이므로 원래의 영상소 값을 갖도록 하는 재배열 처리를 하여야 한다. 본 논문에서는 복선형 보간법을 이용하여 영상을 재배열하였다.[8,11,14,16]

2.3 매스킹 처리

수역 환경의 영상분석은 육역과 수역의 대비가 확실한 TM 밴드 4~5와는 달리 육역과 수역의 분광특성이 비슷하여 가시적 대비가 어려운 TM 밴드 1, 3, 6을 이용하였으므로 영상의 가시적 판별도의 증가와 분석 용이성 확보를 위하여 수역과 육역을 분리시키는 매스킹처리를 하였다. 매스킹처리에는 Psudo-coloring 기법과 band compressing 기법을 이용하였다.[8,14]

2.4 필터링 처리

한 영상이 내포하고 있는 정보내용 중 사용자가 관심을 갖고 있는 영상의 어느 부분을 증폭시키거나 강조시키기 위한 기법을 강조라 하며, 강조기법 중 영상에 나타날 수 있는 수평 banding pattern 이나 noise 를 제거하거나 감소시키기 위한 기법을 필터링이라 한다. 본 논문에서는 영상의 blurring 감소, 경계보존, noise제거를 위하여 3×3 median filtering 을 실시하였다.[8,11,14,16]

3. 실제적용

3.1 부유사

전술한 바와 같은 영상의 전처리 과정을 거쳐 원하는 형태의 분석을 위해 영상처리 과정을 실시하였다. 본 논문에서 이용한 1989년 10월 25일과

Table 1. 현장 실측자료와 DN 1989. 10

실측위치	S1	S2	S3	S4	S5
DN	17	18	19	28	31
실측치	1.2	1.6	1.8	8.8	18.6

1991. 3

실측위치	CD1	CD3	CD4	CD5	CD6	SD1	SD3	SD4
DN	36	33	37	39	40	38	38	49
실측치	1.0	0.0	1.0	3.0	7.0	2.0	3.0	10.0

1991년 3월 5일의 두 영상을 가지고 부유사의 분포를 알아보기 위해서는 먼저 실측위치에서의 부유사 농도와 Landsat-5 TM 밴드 3에서의 표본조사 위치에 해당하는 DN과의 상관관계를 알아내는 것이 중요하다.[1,10] Table 1은 1989년 10월과 1991년 3월에 측정한 실측값과 실측위치에 해당하는 영상 DN을 나타낸 것이다.

다음은 1989년과 1991년 각각의 부유 침전물 실측값과 영상 DN 사이의 상관계수(Correalation Coefficient)와 회귀계수(Regressive Coefficient)의 계산과정과 그에 따른 분석결과이다.

3.1.1 1989년 10월 25일에 관측된 영상의 분석결과

1990년 환경연감 자료에 의한 1989년 10월의 춘천유역 부유사 농도자료와 1989년 10월 25일, Landsat-5 TM 밴드 3의 DN 사이의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석 및 회귀분석을 실시하였는데 상관계수 및 회귀계수의 계산과정은 다음과 같다.

$$* \text{상관계수 } r(n=5,\ \sum_{i=1}^{n} x_i = 32,\ \sum_{i=1}^{n} y_i = 113,$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = 430.64,\ \sum_{i=1}^{n} y_i^2 = 2719,\ \sum_{i=1}^{n} x_i y_i = 906.4)$$

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2][n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2]}}$$

$$= 0.948$$

* 회귀계수

$$1)\ \text{기울기}\ b=\frac{n\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\sum_{i=1}^{n}x_i\sum_{i=1}^{n}y_i}{n\sum_{i=1}^{n}x_i^2-(\sum_{i=1}^{n}x_i)^2}=0.811$$

2) y 절편 $a(\bar{x}=6.4,\ \bar{y}=22.6)=\bar{y}-b\bar{x}=17.41$

즉 $y=a+bx=17.41+0.811$

x[x=부유사 농도, y=DN]

이 식을 부유사 농도로 치환하면 $x=123y-21.47$ 이 된다.

위와 같은 상관계수 및 회귀계수의 계산과정을 거쳐 얻어진 회귀분석도는 Fig. 1과 같다.

상관계수는 0.948로 비교적 완전 정상관에 가까운 분포를 보여준다.

이렇게 얻어진 부유사 농도와 관측값과의 상관식을 영상에 적용해 보았을 때 얻어진 영상의 분류결과를 사진 1에 보여준다. Parallelepiped 분류법을 이용하여 분류한 영상은 0~25 mg/liter의 부유사 농도분포를 보여주고 있는데 춘천댐 상류와 소양댐 상류의 부유사 농도는 대부분 1 mg/liter 이하의 비교적 낮은 농도분포를 보이고 있으며, 위도 하류는 대부분 1~4 mg/liter, 춘천댐부터 상중도까지는 4~10 mg/liter의 분포를 보여주고 있다. 가장 높은 부유사 농도분포를 보여주고 있는 지역은 공지천과 하수 종말처리장 부근으로서 10 mg/liter 이상의 높은 부유사 농도분포를 보여주고 있는데, 그 지역의 수질이 타 지역에 비하여 상당히 악화되어 있는 양상을 알 수 있으며, 위도 상류쪽의 모래톱 부근에 나타나는 상당히 높은 부유사 농도분포는 그 모래톱이 빠른 속도로 유실되고 있음을 보여준다.

3.1.2 1991년 3월 5일에 관측된 영상의 분석결과

1991년 3월 13일에 본 연구실에서 실시한 현장 실측 결과와 1991년 3월 5일에 관측된 Landsat-5 TM 밴드 3의 DN과의 상관성을 알아보기 위해 앞에서와 같은 방법으로 상관계수 및 회귀계수를 계산한 결과는 다음과 같다.

상관계수 $r=0.932$

기울기 $b=1.267$

y 절편 $a(\bar{x}=3.375,\ \bar{y}=38.75)=34.474$

즉 $y=a+bx=34.474+1.267$

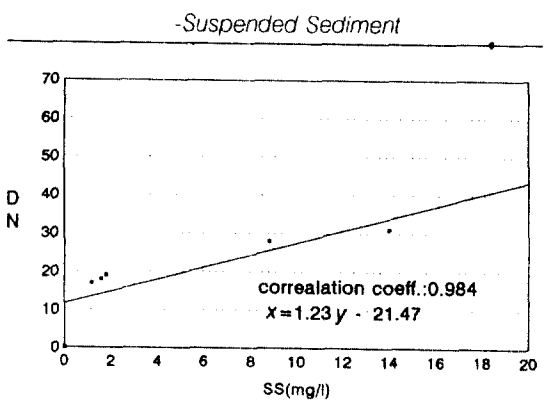

Fig. 1. 1989년 10월 25일의 영상 DN과 실측자료 사이의 회귀 분석도.

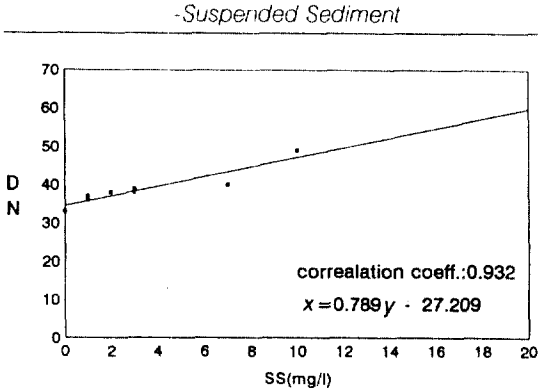

Fig. 2. 1991년 3월 5일 영상 DN과 실측자료 사이의 회귀분석도.

x[x=부유사 농도, y=DN]

이 식을 부유사 농도로 치환하면 $x=0.789y-27.209$가 된다.

위와 같은 과정을 거쳐 얻어진 회귀분석도는 Fig. 2와 같다.

상관계수는 0.932로 89년 10월의 상관계수와 비슷한 결과를 보여주고 있다. 이렇게 얻어진 상관관계식을 영상에 적용해 보았을 때 얻어진 결과를 사진 2에서 보여주고 있다. 분류결과를 보면 0~30 mg/liter의 부유사 농도분포를 나타내는데 소양댐 상류는 1 mg/liter 이하로 비교적 수질조건이 양호하며, 춘천댐 상류는 20 mg/liter 이상의 상당히 높은 부유사 농도를 보여주고 있는데, 그 이유는 춘천댐 상류가 전반적으로 해빙되지 않았기 때문에 얼음의 반사특성 때문인 것으로 보여진다. 춘첨댐 상류유역

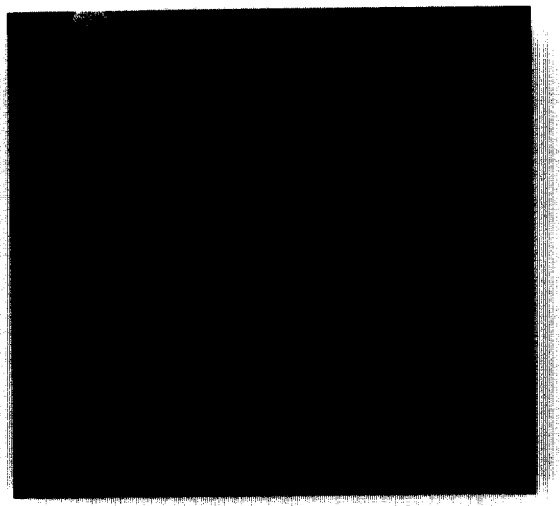

사진 1. 1989년 10월 25일 영상의 부유사 분류결과.

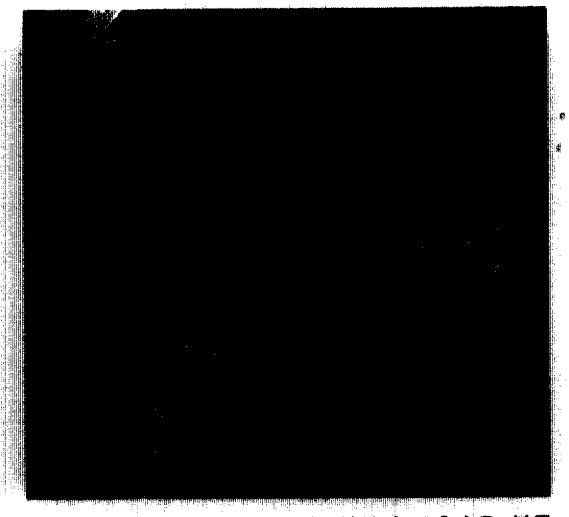

사진 3. 1989년 10월 25일 영상의 표층수온 분류결과.

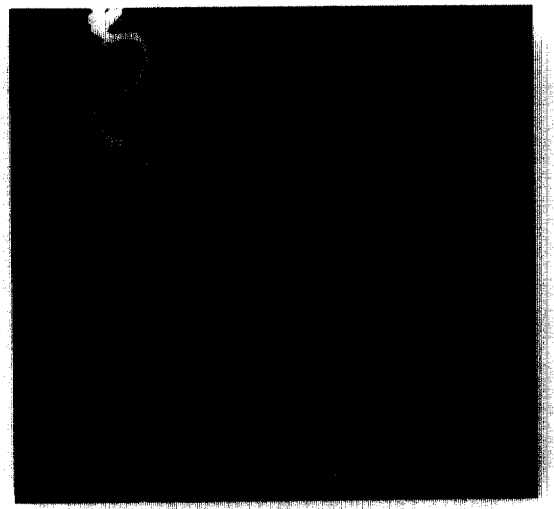

사진 2. 1991년 3월 5일 영상의 부유사 분류결과.

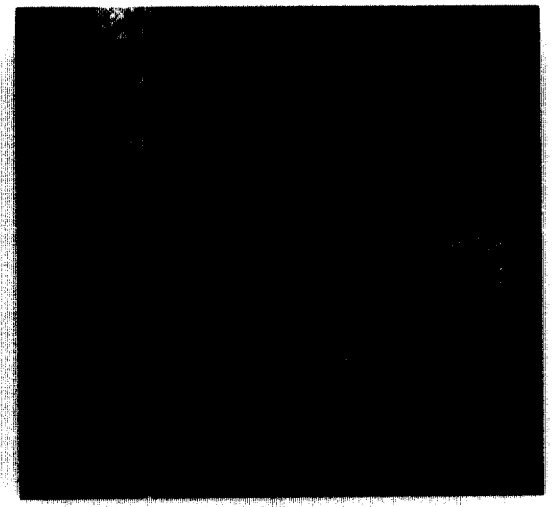

사진 4. 1991년 3월 5일 영상의 표층수온 분류결과.

중 하안선에 가까운 부분은 약 4~10 mg/liter의 부유사 농도를 나타내고 있는데 해빙에 따라 얼어 있던 토사 등과 같은 부유물질에 의한 것으로 생각된다. 소양댐과 춘천댐 하류는 대부분 0~4 mg/liter의 부유사 농도를 보여주고 있으며 공지천 및 하수 종말처리장 부근 지역은 약 10 mg/liter의 높은 부유사 농도를 보여주고 있다. 1989년 10월의 분석 결과와 비교해 보았을 때 전반적으로 낮은 부유사 농도분포를 보이는데 이는 계절적인 영향과 그간의 의암호 환경개선 시책의 결과인 것으로 보여진다. 그러나 공지천 부근의 부유사 농도는 거의 비슷한 농도분포를 보였다.

3.2 표층수온

Landsat-5 TM에서의 7개 파장대 중 10.4~12.5 μm의 열적외 영역(밴드 6)을 이용하여 분석한 춘천유역의 표층수온 분포는 NASA에서 개발된 NASA Model을 이용하여 분석되어졌다. NASA Model의

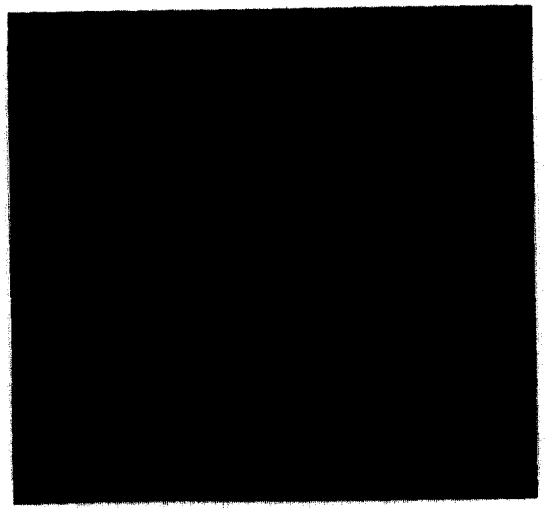

사진 5. 수심 분류결과.

경우 DN을 방사량값으로 변환시키는 과정이 필요하며, 평균오차 범위는 1℃ 미만인 것으로 알려져 있다.[1,5,6,9] 본 논문에서는 NASA Model을 이용하여 절대온도 단위(K)로 분석된 표층수온을 섭씨 온도로 변환시켜 이용하였다. 다음은 Landsat-5 TM 밴드 6의 DN을 방사량으로 치환시키는 과정을 표현한 것이다.

$$L=\left(\frac{LMAX-LMIN}{QCALMAX}\right)\cdot QCAL+LMIN$$

$$=\left(\frac{1.56-0.1238}{255}\right)\cdot DN+0.1238$$

[LMAX : band 6의 최대 Radiance
LMIN : band 6의 최소 Radiance
QCAL : DN
QCALMAX : 최대 DN(255)]

위와 같이 구해진 방사량 L을 다음과 같은 NASA Model에 적용하여 절대단위 온도를 산출한다.

$$Temp(K)=1260.56/Ln(60.776/L+1)$$

L : il1/radiance value in TM band 6 ($mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)

사용영상은 1989년 10월 25일과 1991년 3월 5일의 두 영상을 이용하여 가을철과 봄철 해빙기의 표층수온 분포를 비교하여 보았다. 현장 실측자료는

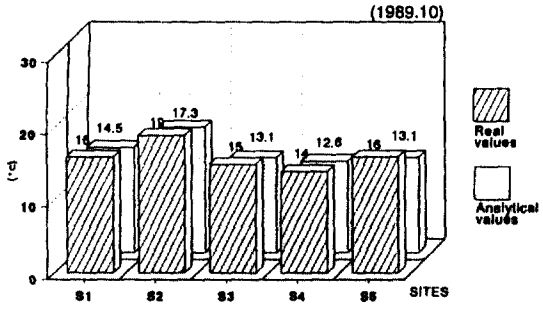

Fig. 3. 1989년 10월 수온자료의 실측값과 분석값 사이의 상관도.

1989년 10월의 환경연감 자료와 1991년 3월 13일에 본 연구실에서 실시한 현장 실측자료를 이용하였다.

3.2.1 1989년 10월 25일 영상의 표층수온 분석결과

1989년 10월의 환경연감 실측자료와 실측위치에 대한 영상의 표층수온 분석값 사이의 상관도를 Fig. 3에 도시하였다.

총 다섯군데의 위치에서 분석값을 대비했을 때 영상분석값이 실측값보다 평균 1.9℃ 정도 낮게 나타나는데, 그 이유는 현장실측자료와 영상자료 사이의 시기차이에 의한 오차가 일차 포함되며, 두번째로 현장실측자료의 표층수온은 수표면에서 약 50 cm 깊이의 수온이고, 영상분석에 의해 얻어진 수온은 표면층의 수온으로 실제로 약 0.6℃ 이상의 차이를 보이며(Pathak, 1982),[12] 세번째로 자료 수집시의 대기중 습도와 기온에 따른 영향과 기하보정 과정에서 생기는 오차 등이 포함되는 것으로 생각된다(Bartolucci et al., 1988).[5]

분석결과를 보면 소양댐 및 춘천댐 상류의 표층수온은 대부분 14~16℃ 의 분포를 보이고 소양댐 및 춘천댐 하류는 약 12~14℃ 의 표층수온 분포를 보이고 있다. 분류결과를 사진 3에 나타내었다.

3.2.2 1991년 3월 5일 영상의 표층수온 분석결과

1991년 3월 5일의 영상분석값과 3월 13일의 현장실측값 사이의 상관도를 Fig. 4에 도시하였다.

총 12개 위치에서 분석 값을 대비했을 때 영상분석 표층수온이 실측값보다 평균 1.1℃ 정도 낮게 나타나는데 1989년의 영상분석 결과와 비교하여 약 0.8℃ 정도의 차이를 보이며, 공통적으로는 실측자료에 비해 영상자료의 표층수온이 평균 1.5℃ 정도 낮게 나타났다.

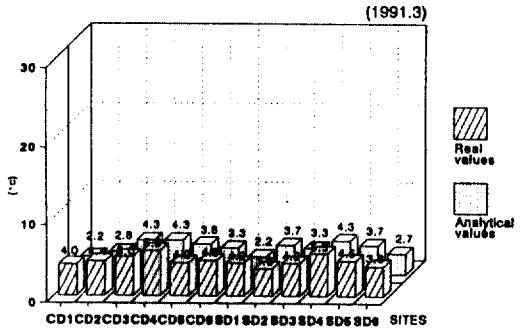

Fig. 4. 1991년 3월 수온자료의 실측값과 분석값 사이의 상관도.

분석결과를 보면 춘천댐 상류지역은 대부분 0℃ 이하의 낮은 수온분포를 보인다. 춘천댐 관리 사무소에 문의해본 결과, 1991년 3월 5일의 춘천댐 상류지역은 동결되어 있었던 것으로 판명되었다. 또 춘천댐 상류의 하안지역은 0~2.5℃ 의 수온분포를 보이는 부분이 많이 나타났는데, 이는 해빙이 하안선을 따라 진행되고 있기 때문인 것으로 보여진다. 소양댐 상류지역은 대부분 4~5℃ 의 비교적 높은 수온분포를 보여주고 있으며, 댐하류 지역들은 대부분 2.5~5℃ 의 표층수온 분포를 나타내고 있다. 분류결과를 사진 4에 나타내었다.

3.3 수심

본 연구에서 이용한 수심추정 방법은 물에 대한 투과성이 높은 0.45~0.52 μm의 파장역을 갖는 Landsat-5 TM 밴드 1을 이용하여 DN 과 실측값과의 상관정도를 알아낸 후 그에 따른 정량적 분석을 행하였다.[7,15] 개괄적 방법은 부유사 분석방법과 동일하며, 실측자료는 1993년 7월 22일에 본 연구실에서 실시한 실측 수심자료를 이용하였고 사용영상은 1989년 10월 25일에 수집된 영상을 이용하였다. 영상 수집시기와 실측시기의 차이에서 오는 분석상의 어려움과 넓은 지역에 대해 동시에 선박으로 조사한다는 것은 쉽지 않았기 때문에 발생하는 문제점이 적지 않았지만 선형 회귀분석을 이용한 수심분석으로 개괄적인 수심의 분포를 알아낼 수 있었다. Table 2는 표본조사 위치에 따른 실측치와 DN을 표현한 것이다.

총 27개 실측위치에서 얻어진 실측값과 Landsat-5 TM 밴드 1의 DN 사이의 상관성을 평가하기 위한

Table 2. 수심실측 위치에 따른 실측값과 DN

Site	Water Dep.	DN	Site	Water Dep.	DN
1	13.4	50	15	5.2	60
2	8.2	57	16	0.7	68
3	12.5	54	17	3.8	62
4	9.0	57	18	2.7	66
5	5.0	61	19	1.0	66
6	5.1	60	20	4.2	63
7	6.1	59	21	4.7	62
8	5.2	60	22	3.5	64
9	10.2	57	23	4.2	63
10	2.7	67	24	4.4	62
11	4.5	62	25	3.6	65
12	5.0	62	26	5.1	61
3	4.4	63	27	4.8	62
14	3.5	63			

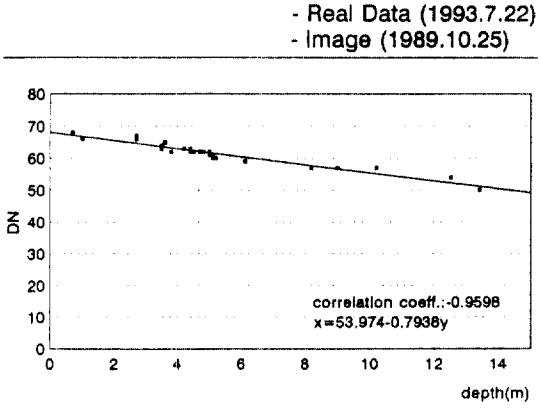

Fig. 5. 수심에 대한 실측값과 영상 DN 사이의 회귀분석도.

상관분석 및 회귀분석 결과는 다음과 같다.

상관계수 $r = -0.9598$

기울기 $b = -1.2597$

y 절편 $a(\bar{x}=5.2852,\ \bar{y}=61.3333) = 67.991$

즉 $y=a+bx=67.991-1.2597$

$x[x=$수심, $y=DN]$

이 식을 수심값으로 치환하면 $x=53.974-0.7938y$가 된다.

위와 같은 과정을 통해 얻어진 회귀 분석도를 Fig. 5에서 보여준다. 위의 회귀분석에서 알 수 있듯이 상관계수는 완전 역상관에 가까운 −0.9598의 상관계수로 나타났으며, 수심과 DN은 반비례하는 양상을 보였다.

분석 결과를 보면 표본조사 지점의 하류 유역은 약 5 m 정도의 평균 수심을 보이며 수상 유원지가 위치한 위도 주변과 공지천 유역은 약 3 m 의 얕은 수심분포를 보인다. 그러나 중도 유역과 붕어섬 유역의 수심은 실측값과 분석값 사이의 오차가 크게 나타나는데 이는 영상 수집시기와 실측 시기 사이에 이루어진 붕어섬 개발공사, 중도 유역의 골재채취에 의한 부유사의 퇴적, 우기 중의 실측에 의한 오차 등이 포함된다고 생각된다.

수심에 대한 분류결과는 사진 5와 같다.

4. 결 론

원격탐사자료를 이용한 수역 환경인자 분석은 주로 해양에 관련한 연구로써 진행되어 왔으나 근래에 들어서 내수면의 환경인자 분석을 위한 원격탐사 자료의 이용이 증대되고 있고, 그에 따른 연구의 일환으로 춘천유역의 환경인자 추출을 시도해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 물에 대해 투과성을 갖는 파장대(0.45～0.70 μm)의 원격탐사 자료를 이용한 수역의 환경인자 추출은 영상의 DN과 환경인자 사이의 상관성을 이용할 수 있으며, 특히 부유사 농도에는 완전정상관에 가까운 분포를 보여주고, 수심측정에는 완전 역상관에 가까운 분포를 보여준다.

② 수온분석 결과는 기존의 여러가지 경험식을 이용해본 결과 평균 1.5℃ 의 오차 분포를 보였다.

③ Landsat TM 밴드 3를 이용한 부유사 농도 분석을 통해 하천수의 전반적 부유사 양상과 시간적, 공간적 변화양상을 광역적으로 추적할 수 있었다.

④ Landsat TM 밴드 6를 이용하여 춘천유역의 표층수온 분포를 정량적으로 비교하고, NASA Model을 이용하여 정량화한 후 실측결과와 비교할 수 있었다.

⑤ 물에 대한 투과성이 강한 Landsat TM 밴드 1을 이용한 단순 선형회귀분석 으로써 수심이 비교적 얕은 내수면의 광역적 수심분포를 알아낼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 "1991년도 대학부설 연구소 연구비 지원" 계획에 따라 수행된 연구로 한국학술진흥재단의 지원에 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국 과학기술원 해양연구소, Landsat TM 자료에 의한 조간대 지형 및 해수탁도 조사연구(III), 과학기술처, 1988.
2. 양인태, 김욱남, 이권중, "수문계획 모델에 있어서 Landsat 영상의 응용(1)", 대한토목학회 논문집, 제 12권, 제 1호, pp. 159～166, 1992.
3. 김용일, 인공위성 원격탐사 데이타의 분석정확도 향상에 관한 연구, 서울대, 1991.
4. 한국과학기술연구원, 국토자원 관리를 위한 통합 지리정보시스템 개발(II), 과학기술처, pp. 96～104, 1990.
5. Bartolicci, L.A., Chang, M., Anuta, P.E. and Graves, M.R., "Atmospheric effects on Landsat TM thermal IR data", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 26, pp. 171～176, 1988.
6. Markham, B.L. and Barker, J.L., Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperature, NASA/Goddard Space Center, 1986.
7. Jun, B., Gotoh, K. and Yang, I., "Investigation of the coastal zone environment using Remote Sensing data acquired from Landsat-5 TM", *Proceedings of The Sixth Imternational* Symposium on River and Lake Environment, 1992.
8. Baxes, G.A., *Digital Image Processing*, Prentice-Hall,Inc., 1983.
9. Lathrop, R.G. and Lillesand, T.M., "Calibration of Thematic Mapper Thermal Data for Water Surface Temperature Mapping", *Remote Sensing*

Environment, Vol. 22, No. 2, pp. 297～307, 1987.
10. Nayak, S.R., "Orbital monitoring of suspended sediments in water bodies", *Proc. Nat. Symp. on Remote Sensing in Development and Management of Water Resources*, pp. 134～147, 1983.
11. Short, N.M., The Landsat Tutorial Workbook, NASA, 1982.
12. Pathak, P.N., "Comparison of TIROS-N and Ships in the North Indian ocean during MONEX(May-July, 1979)", *Remote Sensing Environment*, Vol. 12, No., pp. 363～369, 1982.
13. Curran, P.J., *Principles of Remote Sensing*, Longman, 1985.
14. Mather, P.M., *Computer Processing of Remotely Sensed Images*, John Wiley and Sons, 1987.
15. Polcyn, F.C., Brown, W.L. and Sattinger, I.J., The Measurement of Water Depth by Remote Sensing Techniques, Interin report 8973-26-F, Ann Arbor, Michgan, 1970.
16. Gonzales, R.C. and Wintz, P., *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1987.
17. Hord, R.M., *Remote Sensing(Methods and Application)*, Wiley, 1986.
18. Khorram, S., Cheshire, H., Geraci, A.L. and Rosa, G.L., "Water Quality Mapping of Augusta Bay, Italy from Landsat TM data", *Int. J. RS*, Vol. 12, No. 4, pp. 803～808, 1991.
19. 石井吉德, リモートセンシング, オーム社.

(接受 : 1993. 10. 14)