

**Landsat TM 영상으로부터
수질인자 추출을 위한 대기 보정 방법의 선정**
A Selection of Atmospheric Correction Methods
for Water Quality Factors Extraction from Landsat TM Image

양 인 태* 김 응 남** 최 윤 관*** 김 욱 남****
Yang, In-Tae Kim, Eung-Nam Choi, Youn-Kwan Kim, Uk-Nam

要 旨

강과 호수와 같은 넓은 지역을 대상으로 수질조사를 실시할 경우, 주기적이고 동시적인 관찰과 분석이 요구되고 있으며 인공위성 영상을 이용한 원격탐사 기법은 이러한 측면에서 매우 유용한 것으로 평가되고 있다. 그러나 인공위성 영상으로부터 수질인자를 추출하고자 할 때, 대기 산란의 영향이 포함된 위성영상의 화소값은 분석의 정확도를 감소시키는 주된 원인이 된다.

본 연구에서는 원격탐사 기법을 이용하여 수질 인자를 분석하고자 할 때, 대기의 산란에 의한 영향을 제거하기 위한 대기 보정방법을 선택하고자 하였다. 또한 대기 보정방법 중 클로로필-a, 부유물질, 투명도에 대한 상관성이 가장 높은 밴드의 조합을 선정하였다. 이러한 대기 보정방법과 밴드 조합을 사용하여 1984년, 1989년, 1993년, 1995년에 각각 관측된 인공 위성 영상으로부터 수질 인자간의 시계열 변화를 분석하고자 하였다.

ABSTRACT

Recently, there are a lot of studies to use a satellite image data in order to investigate a simultaneous change of a wide range area as a lake. However, in many cases of the water quality research there is one problem occurred when extracting the water quality factors from the satellite image data, because the atmosphere scattering exert a bad influence on a result of analysis.

In this study, an attempt was made to select the relative atmospheric correction method, extract the water quality factors from the satellite image data. And also, the time-series analysis of the water quality factors was performed by using the multi-temporal image data.

키워드 : 원격탐사, 수질, 대기보정

Keywords : remote sensing, water quality, atmospheric correction

1. 서 론

갈수록 열악해지는 환경 중에서 특히 수질에 대한 관심도는 다른 무엇보다도 크다. 우리 주위의 인공호나 천연호의 오염은 날로 확산되고 있으며 심각해지

고 있다. 그러나, 이러한 수질 현상을 관측하는 수단으로 사용되고 있는 기존의 관측선과 부표에 의한 방법들은 관측에 긴 시간이 필요할 뿐 아니라 분석에 상당한 시간이 소요되며, 관측 지점별 정보만을 제공하기 때문에 시·공간적으로 복잡한 변화를 보

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 인하공업전문대학 지형정보과 전임강사, 공학박사

*** 한동대학교 건설환경연구소 조교, 공학석사

**** 신구대학 지적과 부교수, 공학박사

이는 호소수질 현상을 파악하는데는 한계를 가지고 있다.

한편, 인공위성을 이용한 원격탐사 기법은 동시에 넓은 지역의 수질 상태를 측정할 수 있고, 주기적으로 동일지점을 관측할 수 있다는 장점을 가지고 있다.1)

그러나 수질인자 추출의 목적으로 사용하고 있는 인공 위성 자료에는 다량의 오차가 포함되어 있으며, 이러한 오차는 각 밴드의 픽셀 값에 의존하여 행해지는 수치영상의 분류 및 분석 결과에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 보다 정확한 분류와 분석을 위해서는 사용 목적에 맞는 처리 방법으로 오차를 제거해야 한다. 특히, 수역에서의 클로로필-a2), 부유물질 3)등과 같은 생태물리학적 정보를 추출하고자 하는 경우, 대기 산란의 영향에 의해 주요 수질인자들 간의 미묘한 반사율이나 방사를 차이를 식별하지 못하는 경우가 있다.4)

지금까지 원격탐사 기법을 이용하여 수질인자의 분석 정확도를 향상시키기 위한 기존의 연구들은 수질인자와 위성 자료들간의 상관관계를 분석하여 최적 밴드를 선정하거나, 회귀식을 유도하여 수질인자별 분포도를 작성1)5)하는데 그치고 있다. 따라서 본 연구에서는 원격탐사 기법을 이용하여 수질 인자를 분석하고자 할 때, 대기의 산란에 의한 영향을 제거하기 위한 대기 보정방법을 선택하고자 하였다. 또한 대기 보정방법 중 클로로필-a, 부유물질, 투명도에 대한 상관성이 가장 높은 밴드의 조합을 선정하였다. 이러한 대기 보정방법과 밴드 조합을 사용하여 1984년, 1989년, 1993년, 1995년에 각각 관측된 인공위성

영상을 사용하여 다시기 분석을 통한 수질 인자간의 시계열 변화를 분석하고자 하였다.

본 연구의 대상지로는 소양호를 선정하였고 소양호는 1973년에 건설된 인공호로써 북한강 지류인 소양강 상류에 위치하고 있다. 소양호는 그림-1에 나타내고 있는 바와 같이 수지상(樹枝狀)의 매우 길고 좁은 호수로써 상류와 하류간의 수질이 매우 다르며 수심별로도 수질이 매우 다르다는 특징이 있다.6) 소양호는 수도권의 이수과 치수에 매우 중요한 역할을 하는 인공호로서, 유역면적은 2,675.3km²이며 집수역 전체 인구는 약 6만명이다. 이 지역을 연구 대상지로 선정한 이유는 수도권 생활용수, 공업용수의 공급과 홍수 조절 및 전력 생산 등 수자원으로서 매우 중요한 기능을 가지고 있기 때문이다. 그러나 1990년대에 들어서 수질 오염에 대한 문제점이 지적되고 있는 가운데 호수 전역에 걸친 광범위한 수질 감시 방법이 필요하게 되었다.

2. 이론적 배경

인공위성 영상과 같은 수치 영상을 이용한 분류 및 분석은 각 밴드의 화소값에 의존하여 행해지기 때문에 복사량에 존재하는 오차는 분류 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 보다 정확한 분류와 분석을 위해서는 사용 목적에 맞는 처리 방법을 선정하여 오차를 제거해야 한다. 특히 수역의 분석에 있어서 대기 복사의 영향은 크게 작용하므로 복사량 보정은 매우 중요하다.

위성 센서에 의하여 취득된 인공위성 영상은 센서 자체의 기계적인 응답 특성, 태양의 고도각, 대기의 산란(흡수)효과 및 지형의 기복 등 자료획득 당시의 여러 조건에 따라 왜곡될 수 있다. 이러한 왜곡에 의하여 발생하는 오차를 보정하는 것을 방사보정 또는 전자기적 보정이라고 한다. 특히, 방사상의 왜곡에서 가장 유의해야 할 것이 대기의 산란에 의한 왜곡이다. 클로로필-a, 부유물질, 수온 등과 같은 생태물리학적 정보를 수역으로부터 추출하고자 하는 경우, 주요 구성 요소들의 미세한 반사율과 방사율 차이는 대기의 감쇄작용의 영향하에서는 식별하기 곤란하기

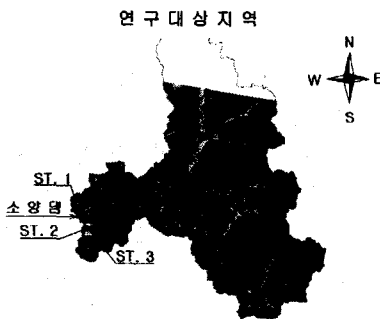


그림-1 연구 대상지의 인공위성 영상

때문이다.

이러한 왜곡을 보정하는 방법으로는 절대 복사량 보정 방법과 상대복사량 보정 방법이 있으며, 보통 상대 복사량 보정 방법은 자료 수집 당시에 측정된 대기정보를 필요로 하지 않는다. 오랜 시간이 경과된 인공위성 영상자료를 이용하고자 할 때, 그 때의 대기 정보를 얻는다는 것은 어려운 일이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 상대 복사량 보정 방법으로 연구를 진행하였다.7)

상대 복사량 보정 방법으로는 다음의 두 가지 방법이 있다.

첫째, Histogram 조정 기법을 이용한 단일 영상 정규화 방법은 가시광선 영역이 대기 산란에 민감하게 반응하는 반면, 0.7 μ m 이상의 적외선 영역은 대기 산란의 영향을 별로 받지 않는다는 사실에 기초한 것으로 원격탐사 자료의 개개 밴드들 내의 히스토그램(Histogram)을 계산하는 것과 관련되어 있다8). 일반적으로 가시광선 영역에서 수집된 data는 이 파장 내에서 대기 산란의 영향이 증가하기 때문에 상대적으로 높은 최소 화소값을 가진다. 그러나 장파장 영역으로 갈수록 대기 흡수의 영향을 크게 받기 때문에 상대적으로 0에 가까운 최소 화소값을 가진다. 만일 가시광선 영역에서 0에 가까운 값을 갖게 하기 위해 Histogram을 왼쪽으로 Shift 시킨다면 대기 산란의 영향은 다소 줄어들 것이다. 이러한 단일 영상 정규화 방법은 대기 산란이나 Haze의 영향을 받은 영상의 보정방법 중 가장 손쉽게 이용될 수 있다.

또한 이 방법은 개개 분광 밴드에 대해 계산된 편의치(bias)를 뺀으로써 이루어질 수 있다. 편의치는 모든 밴드들 중 수심이 깊은 물과 같은 reference target의 휘도값(brightness value)에 대한 Histogram을 계산함으로써 측정할 수 있으며, 계산식은 식(1)과 같다.

$$\text{Output BV}_{ijk} = \text{Input BV}_{ijk} - \text{bias} \quad (1)$$

여기서, Input BV_{ijk} = 밴드 k의 column j와 line i의 입력 화소값

Output BV_{ijk} = 동일 위치에서의 조정된 화소값

둘째, 회귀식을 이용한 Multi-date 영상의 정규화 방법으로 다시기간의 원격탐사 자료를 이용한 변화 추출은 관측일의 태양 고도각, 대기 조건, 토양 습윤 조건 등이 다르기 때문에 분석결과의 상대적 비교가 어렵다. 분석 결과들 간의 정량적 비교를 위해서는 정규화에 의해 대기 감쇄를 제거하거나 감소시켜야만 한다. 이러한 방법으로서 한 영상을 기준 영상(reference image)으로 하여 보정하는 방법이 이용되고 있다.

3. 연구 방법

3.1 사용 DATA

수질 실측 데이터는 강원대학교 자연과학대학 환경학과 환경생태실험실에서 제공받았다. 인공위성 영상은 일본의 RESTEC에서 구입하였으며 표-1과 표-2에는 본 연구에서 사용한 수질 실측 DATA와 인공위성 DATA에 대해 나타내고 있다.

표-1 수질 실측 DATA

항목 조사일	지 점	수 온 ($^{\circ}$ C)	클로로필-a (mg/m^3)	S S (mg/l)	투명도 (m)
10월20일	2	16.0	5.1	1.0	4.3
	3	18.1	4.5	1.5	3.0

표-2. 인공위성 DATA

관 측 일	84.11.12	89.10.25	93.10.20	95.11.27
위성/센서	L A N D S A T 5 호 / T M			
PATH-ROW	1 1 5 - 0 3 4			
보청 MODE	B U L K			
지도투영법	U T M			
RESAMPLING	NEAREST NEIGHBOUR			
FORMAT	B S Q	B I L		

3.2 인공위성 영상의 처리

인공 위성에서 관측된 지표면 DATA는 높은 고도, 지구의 자전 등에 의해 위치적으로 왜곡되어 있기 때문에 영상 내의 좌표값을 지도에서 사용되는 실제 좌표값과 일치시키는 작업이 필요하다.

본 연구에서는 인공위성 영상과 1:50,000 지형도 상에서 식별이 가능한 6점의 지상기준점(GCP)을 선정하고 영상자료를 지도상의 좌표체계와 일치시키는 기하보정을 본 연구에서 사용하고 있는 전 다시기 영상에 대하여 수행하였다. 좌표 변환식은 Affine 변환식을 이용하였고 이때의 RMSE는 0.55화소 이었다.

기하보정을 마친 전 영상 중 수질 실측 DATA 수집일과 같은 날에 관측된 1993년 10월 20일 영상에 대하여 3.2.1에 나타난 방법으로 대기 보정을 우선적으로 실시하고 3.2.2의 밴드 조합을 통한 밴드간 비연산을 실시하였다. 즉, 수질 실측일과 같은 날에 관측된 인공위성 영상에 대하여 각각의 대기보정 방법별 보정을 실시하고, 밴드 조합 및 밴드간 비연산식을 적용함으로써 어떠한 대기보정 방법과 밴드 조합 및 비연산 방법이 수질 인자 실측값과 가장 높은 상관관계를 보이는 가를 검토하였다. 이들 결과중 가장 높은 상관관계를 보이는 대기보정법과 밴드간 조합 및 비연산식을 이용하여 시계열별 수질인자 추출을 위한 일반식을 결정하였다.

이렇게 결정된 수질인자별 일반식을 이용하여 수질 인자에 대한 실측 데이터가 없는 1984년, 1989년, 1995년의 영상으로부터 수질인자를 추출하고 다시기 간의 수질변화를 추출하고자 하였다.

3.2.1 대기 보정법의 선정

대기 보정방법으로는 상대 복사량 보정 방법의 히스토그램 조정기법을 적용하였으며 그림-2는 상대적 대기 보정방법의 선정과 밴드 조합법 선정 과정을 순서도로 나타낸 것이다.

본 연구에서는 다음의 세 가지 대기 보정 방법을 적용하여 비교하였으며, 상관성 분석을 위한 화소값은 인공위성 영상에 표시된 실측지점을 중심으로 3×3의 화소값을 취득하여 평균한 값을 사용하였다.

① Bulk 보정 방법

기준 밴드(밴드 4)에서 구해진 최소 화소값을 기준

으로 하여 밴드 5, 6, 7을 제외한 밴드 1, 2, 3, 4에 대하여 빼줌으로써 보정을 한다.

② 표준화 방법

각 밴드의 화소값에 그 밴드의 평균 화소값과 표준 편차를 고려하여 식(4)에 의해 보정하는 방법이다.

$$Z_i = ((B_i - M_i) / sd(i)) \times 30 + 127 \quad (4)$$

여기서, Z_i : 표준화 후의 i 밴드의 화소값

B_i : i 밴드의 화소값

M_i : i 밴드의 화소값의 평균치

$sd(i)$: i 밴드의 화소값의 표준편차

③ 최소값 보정 방법

각 밴드의 최소 화소값을 확인하고 식(5)를 이용하여 최소 화소값을 각각 보정하는 방법으로 각 밴드의 최소 화소값은 0으로 보정된다.

$$\text{Output BV} = \text{Input BV} - \text{BVmin} \quad (5)$$

여기서,

Output BV : 밴드 보정 후의 대상 밴드의 화소값

Input BV : 밴드 보정 전의 대상 밴드의 화소값

BVmin : 대상 밴드의 최소 화소값

3.2.2 밴드 조합법의 선정

Landsat TM의 경우 밴드 1, 2, 3, 4가 수역에 관계된 인자들과 상관성이 높은 것으로 연구 보고되고 있다.9) 따라서 본 연구에서는 표-3에 나타난 바와 같이 이러한 밴드들을 조합해 다음의 일곱 가지 연산식으로부터 각각의 수질인자를 추출하였으며, 이들 결과와 실측데이터(1993년 10월 20일 관측)와의 상관관계를 조사하였다.

표-3 밴드 연산식 및 밴드 조합

밴드 연산식						
㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗
A+E	A-E	A×B	A÷B	(A-B)÷(A+B)	(A×B)÷(A-B)	(A-B)÷(A×B)
밴드 조합						
	①	②	③	④	⑤	⑥
A, E	1, 2	1, 3	1, 4	2, 3	2, 4	3, 4

이상의 밴드 조합 방법은 ㉠~㉡의 밴드간 연산식에 대하여 ①~⑥까지의 밴드 조합을 실시하였다. 즉, 하나의 연산식에 대하여 6가지의 밴드 조합이 실시되었으며, 이러한 밴드 조합 및 밴드간 비연산 처리는 대기 보정방법과 병행하여 실시함으로써 1993년 위성 영상으로부터 수질인자를 추출하였다. 추출된 수질인자와 실측 데이터와의 상관성을 분석한 결과를 표-4, 5, 6에 나타내고 있다. 그림-3, 4, 5는 각각의 방법별, 위성 위성영상으로부터 추출한 수질인자와 실측데이터 간의 상관계수가 가장 높은(표상의 표시부분) 경우의 회귀곡선을 나타낸 것이다.

4. 결과 및 분석

4.1 수질인자의 추출

수질인자별 실측 data와 밴드 조합별 연산 결과값과의 상관계수를 대기보정방법별로 정리해보면 다음과 같다.

(1) 클로로필-a

클로로필-a에 대한 상관성은 대부분의 밴드 조합 방법에 대하여 상관성이 높게 나타났다. 특히, 밴드 1과 밴드 4를 조합하였을 때 상관성이 높게 나타났으며, 대기 보정을 실시하지 않은 raw data의 밴드(1×4)/밴드(1-4)와 밴드(1-4)/밴드(1×4)일 때의 상관계수값이 각각 0.999906과 0.999957로 대기 보정을 실시한 경우의 상관계수값 보다 높게 나타났다.

- ① BULK 보정 : 밴드(1+4)일 때 0.993569, 밴드(1-4)일 때 0.971101, 밴드(1×4)일 때 0.997633, 밴드(1/4)일 때 0.999859, 밴드(1-4)/밴드(1+4)일 때 0.999405로 상관계수값이 0.99이상의 높은 상관성을 나타내는 것으로 분석되었다. 이 때 가장 높은 상관계수값을 나타낸 밴드의 조합은 밴드(1/4)이었다.
- ② 최소값 보정 : (A-B)/(A×B)의 경우를 제외한 각각의 연산식에 대하여 밴드 1과 밴드 4를 조합하였을 경우의 상관계수값이 높게 나타났으며, 밴드(1-4)/밴드(1×4)일 때 0.999802로 가장 높은 상관

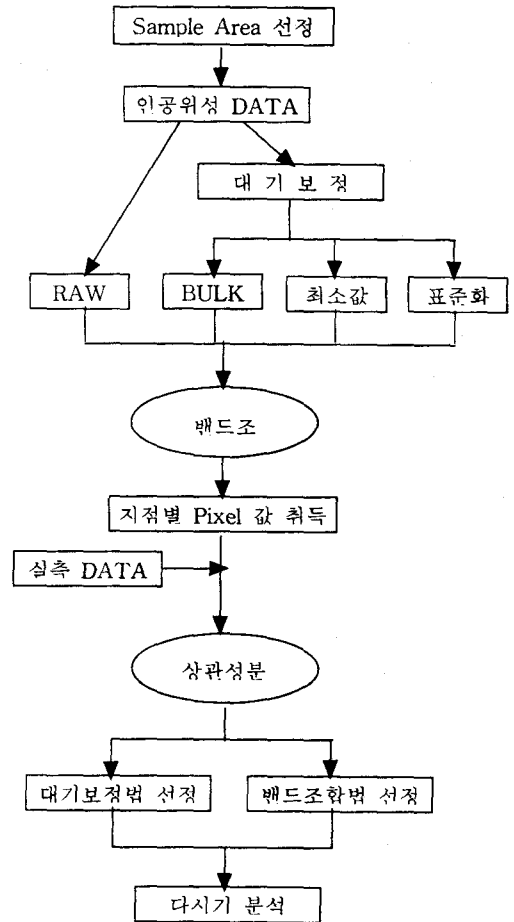


그림-2 대기 보정 방법 선정과 밴드 조합 방법 선정의 순서도

계수값을 나타냈다.

- ③ 표준화 보정 : 각각의 연산식에 대하여 전체적으로 밴드 1과 밴드 4의 경우가 상관계수값이 높게 나타났으며, 특히 밴드(1/4)일 때 0.999343의 높은 상관계수값을 나타냈다.
- (2) 부유물질
부유물질에 대한 상관성은 전체적으로 좋지 않게 나타났으나 BULK 보정을 실시한 밴드 3과 밴드 4를 조합하였을 경우에는 상관성이 높게 나타났다.
- ① BULK 보정 : 밴드(1-3)일 때 0.931256, 밴드(3/4)일 때 0.998032, 밴드(3-4)/밴드(3+4)일 때 0.998848

의 높은 상관계수값을 나타냈다.

- ② 최소값 보정 : 밴드(1-3)일 때 0.962012, 밴드(1-4)/(1+4)일 때 0.964286, 밴드(2-4)/(2×4)일 때 0.992881로 이상의 세 경우에 대해서만 0.9이상의 높은 상관성을 나타냈다.
- ③ 표준화 보정 : 밴드(2-3)/(2×3)의 조합일 때

0.964286의 높은 상관계수값을 나타냈으나 전체적으로는 상관성이 좋지 않게 나타났다.

- (3) 투명도
투명도에 대한 상관성은 전체적으로 좋지 않게 나타났다으나 BULK 보정을 실시한 밴드(3/4)의 경우에

표-4. 대기보정 방법 및 밴드 조합별 연산결과와 실측 수질자료와의 상관계수 비교(클로로필-a)7

	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소값 보정 DATA	표준화 보정 DATA
A+B	1, 2	0.952482	0.952482	0.952482	0.949303
	1, 3	0.937756	0.937756	0.937756	0.957107
	1, 4	0.993569	0.993569	0.993569	0.990174
	2, 3	0.831001	0.831001	0.831001	0.837438
	2, 4	0.940582	0.831001	0.940582	0.875110
A-B	3, 4	0.918036	0.918036	0.918036	0.883740
	1, 2	0.929350	0.929350	0.929350	0.877519
	1, 3	0.511188	0.579975	0.511188	0.969908
	1, 4	0.511188	0.971101	0.969838	0.989236
	2, 3	0.794967	0.794967	0.794967	0.832043
AXB	2, 4	0.181081	0.181081	0.181080	0.778823
	3, 4	0.487217	0.487217	0.487217	0.758875
	1, 2	0.912441	0.904270	0.929207	0.950152
	1, 3	0.882760	0.872491	0.895421	0.949099
	1, 4	0.996960	0.997633	0.992066	0.989789
A/B	2, 3	0.841336	0.844665	0.857931	0.844923
	2, 4	0.964762	0.974623	0.951385	0.882326
	3, 4	0.942189	0.955193	0.924331	0.888496
	1, 2	0.494845	0.597475	0.104201	0.813328
	1, 3	0.655698	0.665597	0.387627	0.880757
(A-B) ÷ (A+B)	1, 4	0.999548	0.999548	0.951221	0.999548
	2, 3	0.819763	0.270394	0.754717	0.658547
	2, 4	0.626845	0.903247	0.030673	0.793372
	3, 4	0.015344	0.278606	0.349816	0.805228
	1, 2	0.309647	0.494845	0.064433	0.064433
(AXB) ÷ (A-B)	1, 3	0.680781	0.728589	0.494845	0.742809
	1, 4	0.995582	0.999405	0.505155	0.977075
	2, 3	0.381036	0.728588	0.713797	0.861096
	2, 4	0.737708	0.889454	0.010238	0.757950
	3, 4	0.004182	0.351264	0.064433	0.064433
(A-B) ÷ (AXB)	1, 2	0.783534	0.807444	0.533652	0.903215
	1, 3	0.811039	0.821958	0.817886	0.823041
	1, 4	0.999906	0.999723	0.972196	0.986756
	2, 3	0.822433	0.835666	0.663489	0.880193
	2, 4	0.935102	0.990272	0.667124	0.642749
(A-B) ÷ (AXB)	3, 4	0.395632	0.897241	0.064433	0.494534
	1, 2	0.680781	0.805228	0.615650	0.795007
	1, 3	0.714603	0.762094	0.639599	0.160958
	1, 4	0.999548	0.995582	0.999802	0.987779
	2, 3	0.831393	0.746725	0.633871	0.505155
(A-B) ÷ (AXB)	2, 4	0.974392	0.998547	0.400181	0.680780
	3, 4	0.618964	0.948399	0.064433	0.786621

표-5. 대기보정 방법 및 밴드 조합별 연산결과와 실측 수질자료와의 상관계수 비교(부유물질)

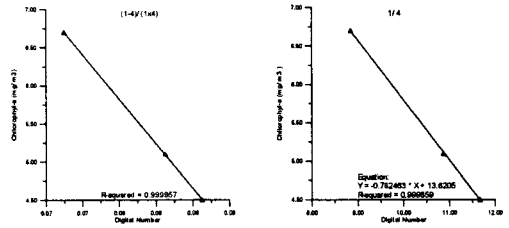
	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소값 보정 DATA	표준화 보정 DATA
A+B	1, 2	0.138048	0.138048	0.138048	0.133013
	1, 3	0.116470	0.116470	0.116470	0.145819
	1, 4	0.247015	0.247015	0.247015	0.230809
	2, 3	0.030924	0.030924	0.030924	0.033991
	2, 4	0.120291	0.120291	0.120291	0.056146
A-B	3, 4	0.093102	0.093102	0.093102	0.062402
	1, 2	0.583668	0.583668	0.583667	0.669166
	1, 3	0.962012	0.931256	0.962012	0.489382
	1, 4	0.173478	0.173478	0.170663	0.226901
	2, 3	0.016938	0.016938	0.016938	0.031408
AXB	2, 4	0.256276	0.256276	0.256276	0.012227
	3, 4	0.038600	0.038600	0.038600	0.007273
	1, 2	0.087346	0.079515	0.105688	0.134335
	1, 3	0.061667	0.054344	0.071722	0.132697
	1, 4	0.268994	0.274771	0.239369	0.229182
A/B	2, 3	0.035940	0.037663	0.045083	0.037799
	2, 4	0.160053	0.181766	0.136283	0.061342
	3, 4	0.122525	0.142536	0.100002	0.066073
	1, 2	0.035714	0.007526	0.358253	0.750000
	1, 3	0.000709	0.000261	0.086381	0.664483
(A-B) ÷ (A+B)	1, 4	0.339206	0.330343	0.537689	0.343340
	2, 3	0.026005	0.168902	0.006756	0.884793
	2, 4	0.905061	0.629824	0.830456	0.016433
	3, 4	0.560631	0.998032	0.109653	0.020408
	1, 2	0.137755	0.035715	0.428571	0.428571
(A-B) ÷ (A+B)	1, 3	1.02E-13	0.002747	0.035714	0.428571
	1, 4	0.382654	0.296703	0.964286	0.187970
	2, 3	0.090225	0.002747	0.001291	0.046992
	2, 4	0.824175	0.651544	0.770933	0.007387
	3, 4	0.617347	0.998848	0.428571	0.004693
(AXB) ÷ (A-B)	1, 2	0.013511	0.021208	0.022715	0.629876
	1, 3	0.022546	0.026924	0.025235	0.027384
	1, 4	0.310221	0.303814	0.482562	0.217424
	2, 3	0.027125	0.033128	0.000339	0.665304
	2, 4	0.572363	0.414248	0.000212	0.001615
(A-B) ÷ (AXB)	3, 4	0.993641	0.639475	0.428571	0.035830
	1, 2	2.77E-13	0.020408	0.004652	0.769723
	1, 3	0.001356	0.008241	0.001890	0.279954
	1, 4	0.313141	0.382653	0.332418	0.221198
	2, 3	0.031106	0.005327	0.002443	0.964286
(A-B) ÷ (AXB)	2, 4	0.475754	0.355263	0.992386	2.10E-14
	3, 4	0.909774	0.544130	0.428571	0.014392

표-6. 대기보정 방법 및 밴드 조합별 연산결과와 실측 수질자료와의 상관계수 비교(투명도)

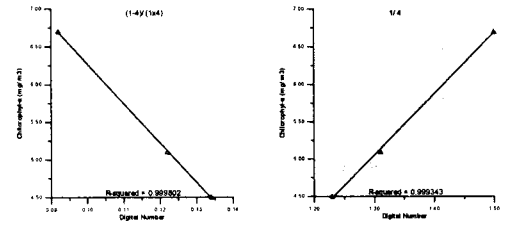
	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소값 보정 DATA	표준화 보정 DATA
A+B	1, 2	0.068958	0.068958	0.068958	0.065277
	1, 3	0.053455	0.053455	0.053455	0.075707
	1, 4	0.155385	0.155385	0.155385	0.141866
	2, 3	0.003815	0.003815	0.003815	0.004957
	2, 4	0.056146	0.056146	0.056146	0.015362
	3, 4	0.037587	0.037587	0.037587	0.018792
A-B	1, 2	0.469122	0.469122	0.469121	0.557483
	1, 3	0.906287	0.862244	0.906287	0.375737
	1, 4	0.095773	0.095773	0.093590	0.138636
	2, 3	0.000242	0.000242	0.000242	0.003989
	2, 4	0.362186	0.362186	0.362186	1.72E-05
	3, 4	0.094645	0.094645	0.094645	0.000773
AXB	1, 2	0.033859	0.028924	0.045999	0.066240
	1, 3	0.018380	0.014407	0.024188	0.065047
	1, 4	0.174013	0.178964	0.148983	0.140520
	2, 3	0.005730	0.006442	0.009768	0.006499
	2, 4	0.085437	0.102250	0.067664	0.018199
	3, 4	0.057731	0.072269	0.042157	0.020879
A/B	1, 2	0.090226	0.040184	0.471259	0.644737
	1, 3	0.019917	0.017101	0.161290	0.552546
	1, 4	0.235540	0.227617	0.423071	0.239249
	2, 3	0.002208	0.263002	0.001066	0.801904
	2, 4	0.827597	0.516365	0.907275	0.000184
	3, 4	0.672145	0.995027	0.191135	0.000805
(A-B) ÷ (A+B)	1, 2	0.225832	0.070226	0.543233	0.543233
	1, 3	0.013157	0.003903	0.090225	0.543233
	1, 4	0.274974	0.197947	0.909774	0.107143
	2, 3	0.166304	0.003904	0.006230	0.010684
	2, 4	0.728889	0.538966	0.859575	0.000835
	3, 4	0.725027	0.977989	0.543233	0.002151
(AXB) ÷ (A-B)	1, 2	2.36E-06	0.000972	0.069232	0.090404
	1, 3	0.001278	0.002485	0.001985	0.002628
	1, 4	0.209792	0.204165	0.369139	0.130852
	2, 3	0.002547	0.004626	0.017685	0.553411
	2, 4	0.457708	0.304242	0.016683	0.023884
	3, 4	0.962534	0.526377	0.543233	0.090404
(A-B) ÷ (AXB)	1, 2	0.013157	0.000805	0.033197	0.666676
	1, 3	0.006091	0.000578	0.024897	0.388067
	1, 4	0.212364	0.274973	0.229468	0.133944
	2, 3	0.003880	0.001755	0.026787	0.909774
	2, 4	0.362575	0.250000	0.960749	0.013157
	3, 4	0.833696	0.429463	0.543233	2.80E-05

는 0.995027의 높은 상관계수값을 나타냈다.

- ① BULK 보정 : 밴드(3/4)일 때 0.995027, 밴드(3-4)/밴드(3+4)일 때 0.97789의 높은 상관계수값을 나타냈다.
- ② 최소값 보정 : 밴드(1-3)일 때 0.906287, 밴드(2/4)일 때 0.907275, 밴드(1-4)/밴드(1+4)일 때 0.909774, 밴드(2-4)/밴드(2×4)일 때 0.960749의

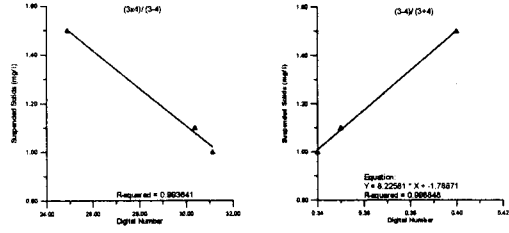


(a) RAW DATA (b) BULK 보정 DATA

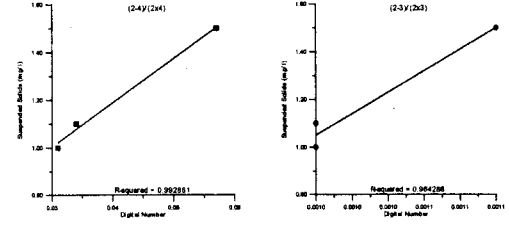


(c) 최소치 보정 DATA (d) 표준화 보정 DATA

그림-3. 클로로필-a에 대한 상관성 비교 그래프



(a) RAW DATA (b) BULK 보정 DATA



(c) 최소치 보정 DATA (d) 표준화 보정 DATA

그림-4. 부유물질에 대한 상관성 비교 그래프

- 높은 상관성을 나타냈다.
- ③ 표준화 보정 : 밴드(2-3)/밴드(2×3)일 때의 상관계수값 0.909774를 제외하고는 전체적으로 상관성이 좋지 않은 것으로 나타났다.

4.2 다시기 영상의 분석

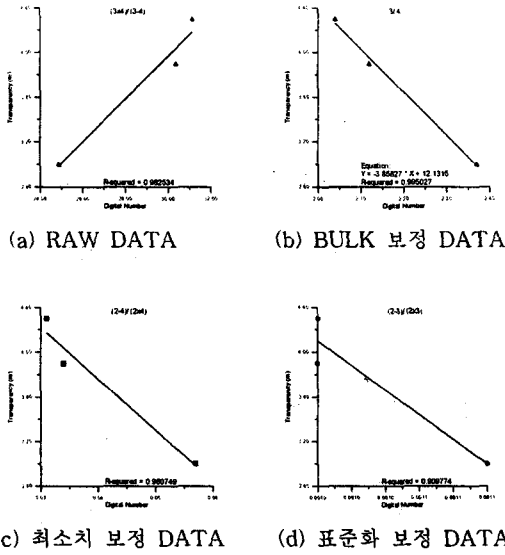
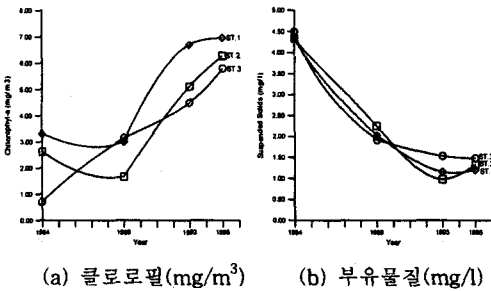
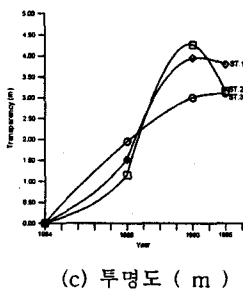


그림-5. 투명도에 대한 상관성 비교 그래프



(a) 클로로필(mg/m³) (b) 부유물질(mg/l)



(c) 투명도 (m)

그림-6. 다시기 영상에 의한 조사 지점별 수질인자 변화 곡선

실측 수질데이터와 1993년 10월 20일 관측 위성영상으로부터 추출한 수질인자간의 비교를 통해 얻어진 상관식을 이용하여 실측 수질데이터가 없는 '84년, '89년, '95년 관측의 영상으로부터 수질 인자를 추출하였다. 표-7에 본 연구에서 추출한 수질 인자별 일

표-7. 다시기 영상에 의한 수질 인자의 시기별 변화 분석

구분	실측자료	93	84	89	95	비고	
클로로필-a (mg/m ³)	ST. 1	6.7	6.69	3.3	2.99	6.69	대기 보정법 : BULK 보정 밴드 조합법(X) : 밴드(1/4) 회귀식 : $Y = -0.782463 \times (X) + 13.6205$ 상관계수 : 0.999859
	ST. 2	5.1	5.11	2.62	1.66	6.27	
	ST. 3	4.5	4.49	0.7	3.15	5.79	
부유물질 (mg/l)	ST. 1	1.1	1.15	4.34	2.02	1.2	대기 보정법 : BULK 보정 밴드 조합법(X) : 밴드(3-4)/(3+4) 회귀식 : $Y = 8.22581 \times (X) - 1.78871$ 상관계수 : 0.998848
	ST. 2	1.0	0.98	4.33	2.25	1.33	
	ST. 3	1.5	1.53	4.49	1.91	1.48	
투명도 (m)	ST. 1	3.9	3.9	0	1.6	3.8	대기 보정법 : BULK 보정 밴드 조합법(X) : 밴드(3/4) 회귀식 : $Y = -3.85827 \times (X) + 12.1315$ 상관계수 : 0.995027
	ST. 2	4.3	4.3	0	1.2	3.2	
	ST. 3	3.0	3.0	0	2.0	3.1	

반식과 각 조사지점별 계산 결과값을 나타내고 있다. 각 지점별 수질인자의 시계열적인 변화를 그림-6에 나타내고 있으며, 이들 지점에서의 수질인자의 변화 현상을 정리하면 다음과 같다.

(1) 클로로필-a

1984년과 1989년의 영상을 분석한 결과 클로로필-a의 농도는 전체적으로 3.5mg/m³이하로 나타났으나, 1993년과 1995년의 영상에서는 4.0 mg/m³ 이상의 농도값을 나타냈다. 특히, 1995년의 ST.1에서는 7 mg/m³의 농도값을 나타냈다. 즉, 클로로필-a에 대한 시계열 분석의 결과는 전체적으로 농도가 증가한 것으로 나타났다.

(2) 부유물질

부유물질의 농도는 1984년이 4mg/l 이상으로 가장 높았으며, 1993년과 1995년에는 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 1993년과 1995년의 부유물질 농도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

(3) 투명도

1984년의 투명도는 세 조사지점에 대해서 0m 의 값으로 나타났는데 이것은 인공위성 영상이 관측되기 약 1주일 전에 소양호 주변의 폭우로 인해 흙탕물이 유입됨으로써 나타난 현상으로 생각된다. 한편, 1993년과 1995년의 영상에서는 3m 이상의 투명도를 나타냈다. 이것으로 볼 때 투명도는 1990년대 이후 좋아진 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수질 실측일과 같은 날에 관측된 인공위성 영상에 대하여 각각의 대기보정 및 밴드조합과 밴드간 비연산을 실시함으로써 수질인자를 추출하고 실측 데이터와의 비교를 통해 수질인자 추출의 일반식을 도출하였다. 또한 이러한 일반식을 이용하여 실측의 데이터를 가지고 있지 않은 다시기 위성 영상에 적용함으로써 다시기간의 수질 변화를 모니터링하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 수질인자 추출을 위한 대기 보정 방법과 밴드 조합의 선택을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 클로로필-a

BULK 보정에 의한 대기보정과 밴드(1/4)의 조합이 상대적으로 높은 상관관계를 갖는다.

(2) 부유물질

BULK 보정에 의한 대기보정과 밴드(3-4)/밴드(3+4)의 조합이 상대적으로 높은 상관관계를 갖는다.

(3) 투명도

BULK 보정에 의한 대기보정과 밴드(3/4)의 조합이 상대적으로 높은 상관관계를 갖는다.

둘째, 이상의 결과로부터 얻어진 회귀식에 의해 처

리된 다시기 영상으로부터 수역 내의 인자별 변화를 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 클로로필-a

네 시기를 비교해 볼 때, 전체적으로 1984년에 비해서 증가하였으며, 1995년의 ST.1의 농도가 6.96로 가장 높았다.

(2) 부유물질

부유물질의 농도는 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 1993년의 ST.2의 농도가 0.98로 가장 낮았다.

(3) 투명도

1984년의 경우에 호수 전역에 걸쳐서 투명도 0m인 지역이 넓게 분포하고 있다. 이러한 현상은 위성 관측일 전에 소양호 주변 지역에 집중된 폭우에 의해 흙탕물이 유입되었기 때문으로 판단된다. 네 시기간의 전체적인 경향은 좋아진 것으로 나타나고 있으며, 특히 1993년의 ST.2의 투명도는 4.3m로 가장 좋았다.

한편, 본 연구를 통해서 다음과 같은 사항이 향후 연구되어야 할 것으로 판단되었다.

첫 째, 본 연구에서는 세 지점에 대한 실측자료만을 사용하고 있다. 더욱 신뢰성 있는 수질인자 추출 회귀식을 제안하기 위해서는 앞으로 더욱 많은 실측 지점의 수질조사 자료가 확보되어야 할 것이다.

둘 째, 본 연구에서는 소양호 자체에 대한 수질인자 분포만을 분석하였는데 향후 소양호 주변의 오염원에 대한 연구가 진행되어서 GIS와 연계된 연구가 진행된다면 보다 효과적이고, 정확한 분석이 가능하게 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 양인태, 김홍규, "리모트센싱 기법을 이용한 호수 수질 관리방안: 북한강 수계의 환경인자 추출을 중심으로", 대한토목학회 논문집, 제14권, 제1호, pp.161 -170, 1994
- 2) Harding, L.W. Jr., E.C. Itsweire, and W.E.

- Esaias, "Algorithm Development for Recovering Chlorophyll Concentrations in the Chesapeake Bay Using Aircraft Remote Sensing", PE & RS, Vol. 61, No. 2, pp.177-185, 1995
- 3) Jeffrey Liedke, Arthur Robers, and John Lutermauer, "Practical Remote Sensing of Suspended Sediment Concentration", PE & RS, Vol. 61, No. 2, pp.167-175, 1995
- 4) Bartolucci, L.A., Chang, M., Anita, P.E., and Graves, MR., "Atmospheric effects on Landsat TM thermal IR data", IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, Vol. 26, pp.171-176, 1988
- 5) 김태근, "LANDSAT TM 영상자료를 이용한 호수 수질 평가에 관한 연구", 전북대 토목공학과 박사학위 논문, 1997
- 6) 김윤희, "홍수시 소양호에서 중층탁류의 이동 및 영향에 관한 연구", 강원대 환경학과 석사학위 논문, 1997
- 7) John R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Second Edition", Prentice Hall, 1996.
- 8) Song-Hak, Choung, "Radiometric Correction of Digital Remote Sensing Data", Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol. 10, No. 1, pp.15-29, 1994
- 9) 後藤惠之輔 등, "大村湾の水質汚濁の遠隔監視", 海洋開發論文集, Vol. 6, pp.53-58, 1990