

Landsat TM data로부터 수질인자 추출을 위한 상대적 대기 보정 방법

A Relative Atmospheric Correction Methods for Water Quality Factors Extraction from Landsat TM data

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

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, many cases of a water quality research occur a problem when we try to extract the water quality factros from the satellite image data, because of 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 for the water quality factors extraction 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. 서론

갈수록 열악해지는 환경 중에서 특히 수질에 대한 관심도는 다른 무엇보다도 크다. 우리 주위의 인공호나 천연호의 오염은 날로 확산되고 있으며 심각해지고 있다. 그러나, 이러한 수질 현상을 관측하는 수단으로 사용되고 있는 기존의 방법-관측선과 부표에 의한 방법-들은 관측에 긴 시간이 필요할 뿐 아니라 분리에 상당한 시간이 소요되며, 점으로서의 정보만을 제공하기 때문에 시·공간적으로 복잡한 변화를 보이거나 호소수질 현상을 파악하는데는 한계를 가지고 있다.

한편, 인공위성을 이용한 원격탐사 기법은 동시에 넓은 지역의 수질 상태를 측정할 수 있고, 주기적으로 일정지점을 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-A[2], 부유물질[3] 등과 같은 생태물리학적 정보를 추출하고자 하는 경우, 대기 산란의 영향에 의해 주요 수질인자들 간의 미묘한 반사율이나 방사율 차이를 식별하지 못하는 경우가 있다.[4]

하지만 원격탐사 기법을 이용하여 수질인자의 분석 정확도를 향상시키기 위한 기존의 연구들은 수질인자와 위성 자료들간의 상관관계를 분석하여 최적 밴드를 선정하거나, 회귀식을 유도하여 수질인자별 분포도를 작성하는데 그쳤다.[1][5]

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 조합

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 토목공학과 박사 후 과정, 공학박사

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

을 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.

연구 대상지로 선정된 소양호는 1973년에 건설된 인공호로써 북한강 지류인 소양강 상류에 위치하고 있고, 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 수도권외 이수과 치수에 매우 중요한 역할을 하는 인공호로서, 유역면적은 2,675.3km²이며 집수역 전체 인구는 약 6만명이다. 이 지역을 연구 대상지로 선정된 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.

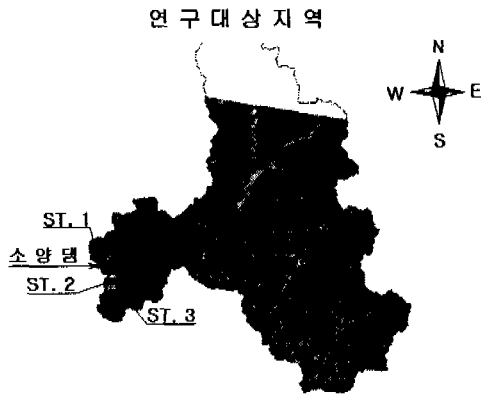


그림 1. 연구 대상지의 인공위성 영상

2. 이론적 배경

인공위성 영상과 같은 수치 영상을 이용한 분류 및 분석은 각 밴드의 픽셀값에 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 영향이 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 의

하여 발생하는 오차를 보정하는 것을 방사보정 또는 전자기적 보정이라고 한다. 특히, 방사상의 왜곡에서 가장 유의해야 할 것이 대기의 산란에 의한 왜곡이다. 엽록소-a, 부유물질, 수온 등과 같은 생태물리화적인 정보를 수역으로부터 추출하고자 하는 경우, 주요 구성 요소들의 미세한 반사율과 방사율 차이는 대기의 감쇄작용의 영향하에서는 식별하기 곤란하기 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 있다.[8] 일반적으로 가시광선 영역에서 수집된 data는 이 과정 내에서 대기 산란의 영향이 증가하기 때문에 상대적으로 높은 최소 픽셀값을 가진다. 그러나 장파장 영역으로 갈수록 대기 흡수의 영향을 크게 받기 때문에 상대적으로 0에 가까운 최소 픽셀값을 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 뺌으로써 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 픽셀값

Output BV_{ijk} = 동일 위치에서의 조정된 픽셀값

표 1은 히스토그램 조정기법을 이용하여 픽셀값을

조정하기 전과 그 후의 픽셀값을 비교한 예를 나타낸 것이다.

표 1. 조정 전·후의 픽셀값 비교예

(a) 조정 전			(b) 조정 후		
밴드	최소값	최대값	밴드	최소값	최대값
1	46	209	1	0	165
2	13	97	2	0	84
3	11	128	3	0	117
4	5	119	4	0	114
5	1	180	5	0	179
7	0	118	7	0	118

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 방법으로는 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 2와 표 3에 본 연구에서 사용한 수질 실측 DATA와 인공위성 DATA에 대해 나타내고 있다.

표 2. 수질 실측 DATA

항목 조사일	지 점	수 온 (°C)	클로로필-A (mg/m ³)	SS (mg/l)	투명도 (m)	비고 (탁도)
	2	16.0	5.1	1.0	4.3	0.9
	3	18.1	4.5	1.5	3.0	2.0

표 3. 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			
보정 MODE	B U L K			
지도투영법	U T M			
RESAMPLING	B I L I N E A R C O N V O L U T I O N			
FORMAT	B S Q	B I L		

3.2 인공위성 영상의 처리

3.2.1 기하 보정

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. 그렇기 때문에 영상자료를 지도상의 좌표체제와 일치시키는 기하보정을 수행하였다.

기하보정의 일반 과정은 그림 2에 나타낸 바와 같고, 표 4에는 기하보정을 수행한 결과를 정리하고 있다.

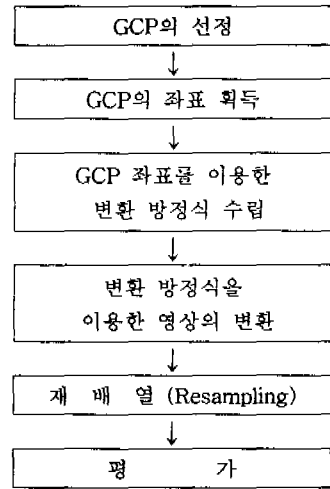


그림 2. 기하보정의 순서

1) GCP(Ground Control Point)선정과 좌표 획득

본 연구에서는 1:50,000 지형도를 사용하여 6점의 GCP를 선정하였으며 각 지점의 경위도 좌표와 평면 직각좌표는 표 4에 나타낸 바와 같다.

표 4. 사용 GCP에 대한 정보

도엽 명	경·위도 좌표		평면직각좌표	
	어른	37° 59' 33.08"	128° 03' 27.76"	499695.0774
내평	37° 56' 40.70"	127° 48' 58.37"	494167.7804	271481.9115
속초	39° 12' 09.73"	128° 36' 15.92"	524709.8206	340265.9482
강릉	37° 49' 53.48"	128° 52' 53.67"	482965.0889	365373.8967
인제	38° 13' 05.19"	128° 02' 55.10"	524724.1156	291568.2008
양구	38° 06' 50.76"	127° 47' 00.41"	512951.2356	268444.1857

2) 변환 방정식 계산

변환 방정식은 GCP를 통하여 계산되며, 좌표 변환을 위하여 KGKD 방정식에 이용되는 계수들로 구성

된다. 변환 방정식의 계수를 계산하는 목적은 좌표 변환 오차를 최소화하기 위한 것이다.

대표적인 기하모델로는 Affine 변환, Pseudo-Affine 변환, Helmert 변환 등이 있으며 본 연구에서는 Affine 변환식을 사용하였다. 다음의 식 (2), (3)은 Affine 변환의 기본식이다.

$$X = a_0x + a_1y + a_2 \quad (2)$$

$$Y = b_0x + b_1y + b_2 \quad (3)$$

좌표변환의 정확도를 평가하는 기준으로 사용되는 RMSE(Root Mean Square Error)는 30m 해상도를 가진 Landsat TM 영상의 경우 그 허용 기준치는 1픽셀 정도이다. 본 연구에서 얻어진 RMSE는 0.55 픽셀이었으며 허용 기준치 이내이었다.

3) 재배열 (Resampling)

재배열은 rectification 처리를 했을 때 어느 점에 해당하는 휘도값(Brightness Value)을 원래의 휘도값과 같게 하거나 그 주변의 휘도값으로 평균하여 Enhancement 또는 Classification시에 착오가 없게 해주는 처리를 말한다. Affine 변환식을 통해서 변환된 좌표들은 휘도값이 동일하게 이동하지 않고 단지 좌표만 이동한 것이기 때문에 이것을 맞춰주기 위해서 내삽법(Interpolation)이 필요하게 된다. 내삽법으로는 Nearest Neighbour(최근린 내삽법), Bilinear Interpolation(공일차 내삽법), Cubic Convolution의 세 가지 방법이 가장 일반적으로 사용되며 본 연구에서는 Bilinear Interpolation(공일차 내삽법)을 사용하였다.

이상과 같은 과정을 거쳐서 기하보정을 수행하였으며, 다음의 표 5는 기하보정을 수행한 결과들을 정리한 표이다.

표 5. 기하보정의 결과

구분	내용	비고
GCP	6점	경위도→TM 좌표 (1:50,000지형도)
변환식	AFFINE 변환	
RMSE	0.55 픽셀	16.5238m/30m
RESAMPLING	BILINEAR INTERPOLATION	

3.2.2 대기 보정법의 선정

대기의 보정방법으로는 상대 복사량 보정 방법의 히스토그램 조정기법을 적용하였으며 그림 3은 상대적 대기 보정방법의 선정과 밴드의 조합법 선정 과정을 순서도로 나타낸 것이다.

본 연구에서는 다음의 세 가지 대기보정 방법을 적

용하여 비교하였다.

① Bulk 보정 방법

: 기준 밴드(밴드 4)에서 구해진 최소 DN값을 기준으로 하여 밴드 5, 6, 7을 제외한 밴드 1, 2, 3, 4에 대하여 빼줌으로써 보정을 한다.

② 표준화 방법

: 각 밴드의 픽셀 DN값에 그 밴드의 평균 DN값과 표준편차를 고려하여 식 (4)를 이용하여 보정하는 방법이다.

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

여기서, Z_i : 표준화 후의 i 밴드의 DN값

B_i : i 밴드의 DN값

M_i : i 밴드의 DN값의 평균치

$sd(i)$: i 밴드의 DN값의 표준편차

③ 최소값 보정 방법

: 각 밴드의 최소 DN 값을 확인하고 식 (5)를 이용하여 최소 DN값을 각각 보정하는 방법으로 각 밴드의 최소 픽셀값은 0으로 보정된다.

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

여기서, Output BV: 밴드 보정 후의 대상 밴드의 픽셀값

Input BV: 밴드 보정 전의 대상 밴드의 픽셀값

BV_{\min} : 대상 밴드의 최소 픽셀값

표 6은 각각의 대기 보정을 위해 필요한 밴드별 통계값을 나타낸 것이다.

대기 보정을 위한 픽셀값은 위성 영상에 표시된 실측지점의 픽셀값을 취득하였다.

표 6. 다시기 인공위성 영상의 분석을 위한 통계값

(a) 84년 11월 12일

밴드	최소	최대	평균	표준편차
1	47	217	61.01	6.38
2	14	110	22.48	5.01
3	11	133	23.72	8.96
4	6	87	27.90	15.99
5	2	146	42.21	31.39
7	0	84	17.73	14.18

(b) 89년 10월 25일

밴드	최소	최대	평균	표준편차
1	48	128	60.12	4.94
2	14	69	22.19	3.95
3	11	99	23.79	7.99
4	5	110	31.26	17.8
5	2	166	43.36	29.44
7	0	104	16.64	12.59

(c) 93년 10월 20일

밴드	최소	최대	평균	표준편차
1	46	209	59.28	4.99
2	13	97	20.14	4.34
3	11	128	20.91	20.91
4	5	119	26.93	18.92
5	1	180	34.18	29.61
7	0	118	13.02	12.62

(d) 95년 11월 27일

밴드	최소	최대	평균	표준편차
1	36	169	47.15	6.56
2	10	79	15.78	4.21
3	7	114	17.15	7.91
4	1	99	20.05	13.60
5	0	133	27.74	24.17
7	0	81	11.68	11.17

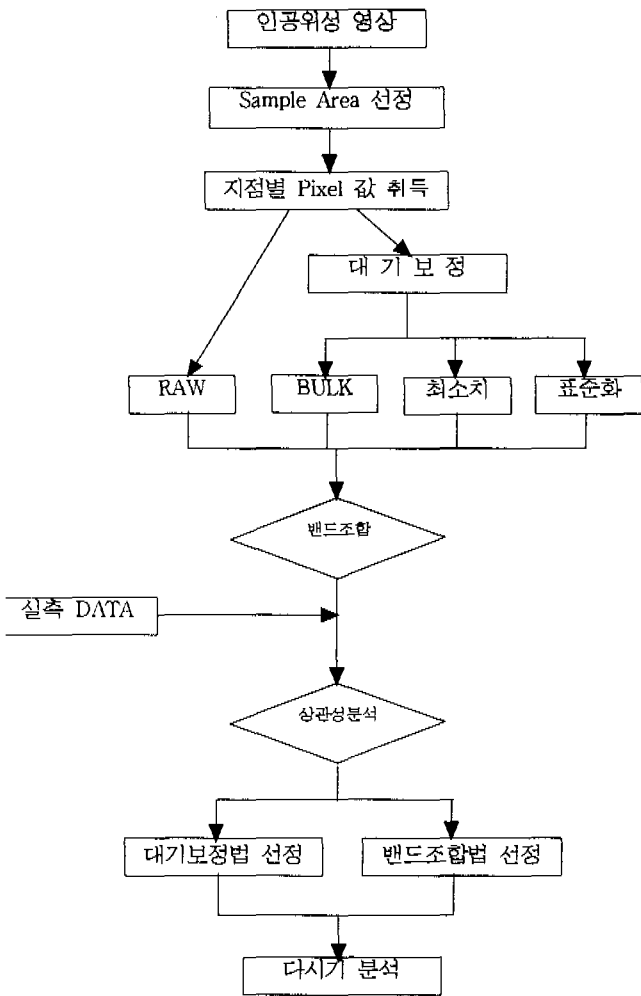


그림 3. 대기 보정 방법 선정과 밴드 조합법 선정의 순서도

표 7에는 지점별 수질 data를 실측한 일시와 동일한 일시에 관측된 영상을 각각의 대기 보정방법으로 보정하여 얻은 결과를 나타내고 있다.

7. 93년 10월 20일 영상의 픽셀값 비교

(a) RAW DATA

지점 밴드	1	2	3
1	64	60	59
2	22	19	20
3	19	16	16
4	12	10	10

(b) BULK 보정 DATA

지점 밴드	1	2	3
1	60	56	55
2	17	14	15
3	15	11	11
4	7	5	5

(c) 최소값 보정 DATA

지점 밴드	1	2	3
1	18	14	13
2	9	6	7
3	8	5	5
4	7	5	5

(d) 표준화 보정 DATA

지점 밴드	1	2	3
1	153	131	126
2	138	120	123
3	121	107	109
4	103	100	100

3.2.3 밴드 조합법의 선정

Landsat TM의 경우 밴드 2, 밴드 3, 밴드 4가 수역에 관계된 인자들과 상관성이 높은 것으로 연구 보고되고 있다.[9]

따라서 본 연구에서는 이러한 밴드들을 조합해 다음의 일곱 가지 연산식으로부터 각각의 수질인자를 추출하였으며, 이들 결과와 실측데이터와의 상관관계를 조사하였다.[10]

- ① $A+B$ ② $A-B$ ③ $A \times B$
- ④ $A \div B$ ⑤ $(A-B) \div (A+B)$
- ⑥ $(A \times B) \div (A-B)$ ⑦ $(A-B) \div (A \times B)$

한편, 위에서 제시된 일곱 가지 연산식에 대하여 표 8에 나타낸 것과 같이 A와 B 밴드에 각각 2, 3, 4 밴드를 대입하였다. 즉, 하나의 연산식에 대하여 3가지 경우의 밴드 조합이 실시되었으며, 이러한 밴드 조합 방법을 통하여 앞에서 제시되었던 세 가지 대기 보정 방법과 병행하여 수질인자를 추출하였다.

표 8. A, B 밴드 조합

A 밴드	B 밴드
2	3
2	4
3	4

4. 결과 및 분석

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 클로로필-A

전체적으로 밴드2와 밴드4의 조합에 대한 상관성이 높게 나타났으며, BULK 보정 후 (밴드2×밴드4)의 경우가 0.999802로 상관성이 가장 좋은 것으로 분석되었다.

① BULK 보정

: 2+4일 때 0.994109, 3×4일 때 0.930412의 높은 상관계수값을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

② 최소치 보정

: 2+4일 때 0.94109, 2×4일 때 0.990917의 높은 상관성을 나타냈다.

③ 표준화 보정

: 2+4일 때 0.948696, 2-4일 때 0.903187, 2×4일 때 0.950974, 2/4일 때 0.901410의 높은 상관성을 나타내는 것으로 분석되었다.

(2) 부유물질

전체적으로 밴드2와 밴드4의 조합에 대한 상관성이 높게 나타났으며, BULK 보정을 실시하였을 경우의 상관계수값이 0.999825로 가장 높게 나타났다. 이 때 적용된 밴드 조합은 (밴드2 / 밴드4)의 방법을 사용하

였다.

①BULK 보정

: (3-4)/(3×4)의 조합일 때 0.999581, (2-4)/(2+4)일 때 0.991758, (3×4)/(3-4)일 때 0.989410의 높은 상관성을 나타냈다.

②최소치 보정

: 전체적으로 상관성이 나빠지는 것으로 분석되었다.

③표준화 보정

: (2×3)/(2-3)일 때 0.999298의 높은 상관성을 나타냈다.

(3) 투명도

전체적으로 밴드3과 밴드4의 조합에 대해서는 역상관성이 아주 좋은 것으로 분석되었으며, 표준화 보정 후 ((밴드2-밴드3) / (밴드2×밴드3))의 경우가 0.999997로 상관성이 가장 높은 것으로 분석되었다.

①BULK 보정

: 2/4일 때 -0.989685, (2-4)/(2+4)일 때 -0.999422, (3-4)/(3×4)일 때 -0.981770으로 역상관성이 아주 좋은 것으로 분석되었다. 반면, (3×4)/(3-4)일 때는 0.999859로 정상관성이 좋은 것으로 분석되었다.

②최소치 보정

: 전체적으로 상관성이 나빠지는 것으로 분석되었다.

③표준화 보정

: 2/3일 때 0.909774, (2-3)/(2+3)일 때 0.919774로 정상관성이 좋은 것으로 나타났으며, (2×3)/(2-3)과 (3×4)/(3-4)의 경우는 각각 -0.980124와 -0.924958로 역상관의 관계가 있는 것으로 분석되었다.

표 9, 10, 11과 그림 4, 5, 6은 수질 실측 data와 영상 픽셀값과의 상관성을 대기 보정 전·후에 대하여 나타낸 것이다.

(4) 다시기 영상의 분석

표 12는 다시기 영상을 이용하여 수질 인자의 시기별 변화를 분석한 것이며, 그림 7은 수질 인자별 시계열 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

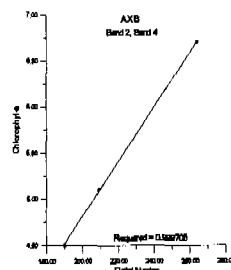
각각의 수질인자를 가지고 네 시간간의 수질을 비교해 볼 때 1993년의 수질이 가장 좋은 것으로 나타났다.

한편, 1984년 수질은 특히 좋지 않은 것으로 나타났으며 이는 인공위성 영상이 관측되기 약 1주일 전에 소양호 주변의 폭우로 인한 흙탕물이 소양호에 유입됨으로써 나타난 현상으로 사려된다.

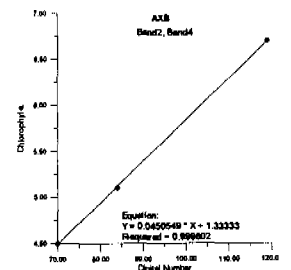
표 9. 대기보정 전·후의 밴드 연산치와 수질 데이터와의 상관계수

비교(클로로필-A)

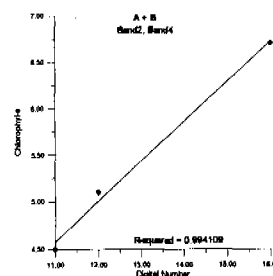
	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소치 보정 DATA	표준화 보정 DATA	비고
A+B	2, 3	0.762094	0.762094	0.762094	0.817886	
	2, 4	0.994109	0.994109	0.994109	0.948698	
	3, 4	0.831393	0.831393	0.831393	0.714603	
A-B	2, 3	0.494845	-0.064433	-0.064433	0.711494	
	2, 4	0.229183	0.494845	0.494845	0.903187	
	3, 4	-0.006443	0.229183	0.229183	0.494845	
AXB	2, 3	0.766465	0.767976	0.796529	0.820396	
	2, 4	0.999705	0.999802	0.990917	0.950974	
	3, 4	0.897066	0.930412	0.840890	0.726105	
A/B	2, 3	-0.064433	-0.147603	-0.064433	0.505155	
	2, 4	-0.069586	-0.306957	0.286355	0.901410	
	3, 4	0.064433	-0.010443	0.145000	0.456430	
(A-B) ÷ (A+B)	2, 3	-0.143910	-0.172380	-0.064433	0.505155	
	2, 4	-0.069588	-0.237907	0.249320	0.848777	
	3, 4	0.030092	-0.009720	0.118841	0.412998	
(AXB) ÷ (A-B)	2, 3	0.373762	0.460571	.	-0.344165	
	2, 4	0.555446	0.818920	.	-0.841267	
	3, 4	0.006230	0.227613	0.080144	-0.042636	
(A-B) ÷ (AXB)	2, 3	-0.122899	-0.179106	-0.064433	0.216327	
	2, 4	-0.505155	-0.732491	0.064433	0.878900	
	3, 4	-0.053316	-0.338451	0.064433	0.406299	



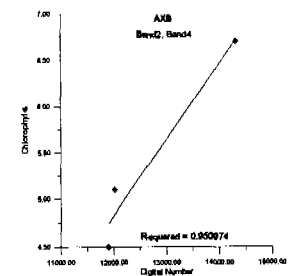
(a) RAW DATA



(b) BULK 보정 DATA



(c) 최소치 보정 DATA



(d) 표준화 보정 DATA

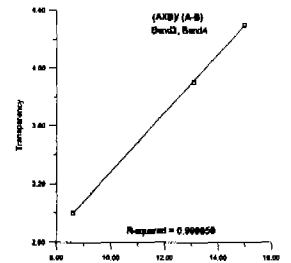
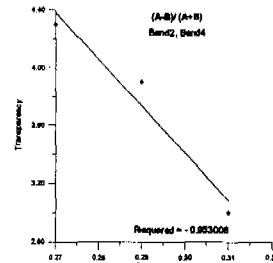
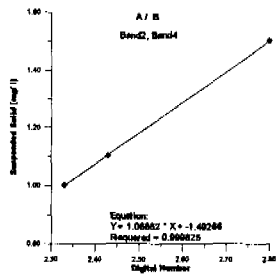
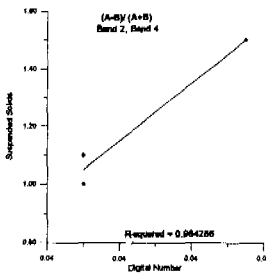
그림 4. 클로로필에 대한 대기 보정법 및 밴드 조합별 상관성 비교 그래프

표 10. 대기보정 전·후의 밴드 연산치와 수질 데이터와의 상관계수 비교 (부유물질)

	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소치 보정 DATA	표준화 보정 DATA	비고
A+B	2, 3	-0.008242	-0.008242	-0.008242	-0.025236	
	2, 4	-0.250000	-0.250000	-0.250000	-0.132079	
	3, 4	-0.031106	-0.031106	-0.031106	-0.001356	
A-B	2, 3	-0.428571	-0.428571	-0.428571	-0.845949	
	2, 4	0.035714	0.035714	0.035714	-0.078525	
	3, 4	0.206044	0.206044	0.206044	0.035714	
A×B	2, 3	-0.009199	-0.009544	-0.017442	-0.026268	
	2, 4	-0.303317	-0.332418	-0.234050	-0.135631	
	3, 4	-0.073121	-0.107143	-0.035714	-0.002463	
A÷B	2, 3	-0.428571	-0.296703	-0.428571	-0.964286	
	2, 4	0.892857	0.999825	0.156771	-0.076923	
	3, 4	0.428571	0.771783	0.299408	0.051353	
(A-B) ÷ (A+B)	2, 3	-0.330235	-0.266297	-0.428571	-0.964286	
	2, 4	0.964286	0.991758	0.187284	-0.039867	
	3, 4	0.870968	0.768738	0.336103	0.072394	
(A×B) ÷ (A-B)	2, 3	0.094571	0.049534	.	0.999298	
	2, 4	-0.943252	-0.743724	.	0.035906	
	3, 4	-0.751889	-0.989410	0.398656	0.853732	
(A-B) ÷ (A×B)	2, 3	-0.301495	-0.258522	-0.428571	-0.986450	
	2, 4	0.892857	0.828654	0.428571	-0.058832	
	3, 4	0.510618	0.999581	0.428571	0.075964	

표 11. 대기보정 전·후의 밴드 연산치와 수질 데이터와의 상관계수 비교(투명도)

	밴드	RAW DATA	BULK 보정 DATA	최소치 보정 DATA	표준화 보정 DATA	비고
A+B	2, 3	-0.000578	-0.000578	-0.000578	0.001985	
	2, 4	0.157895	0.157895	0.157895	0.064599	
	3, 4	0.003881	0.003881	0.003881	-0.006091	
A-B	2, 3	0.543233	0.543233	0.543233	0.754573	
	2, 4	-0.090226	-0.090226	-0.090226	0.028312	
	3, 4	-0.305957	-0.305957	-0.305957	-0.090226	
A×B	2, 3	-0.000357	-0.000293	0.000306	0.002286	
	2, 4	0.203729	0.229468	0.144554	0.067187	
	3, 4	0.025024	0.046993	0.005640	-0.004260	
A÷B	2, 3	0.543233	0.406160	0.542233	0.909774	
	2, 4	-0.953008	-0.989685	-0.247475	0.027328	
	3, 4	-0.543233	-0.860277	-0.409066	-0.113460	
(A-B) ÷ (A+B)	2, 3	0.411304	0.373184	0.543233	0.919774	
	2, 4	-0.953008	-0.999422	-0.284427	0.007388	
	3, 4	-0.624263	-0.857758	-0.448070	-0.142705	
(A×B) ÷ (A-B)	2, 3	-0.171929	-0.110838	.	-0.980124	
	2, 4	0.878860	0.637814	.	-0.005717	
	3, 4	0.843695	0.999859	-0.512908	-0.924958	
(A-B) ÷ (A×B)	2, 3	0.441884	0.634657	0.543233	0.999997	
	2, 4	-0.909774	-0.734129	-0.543233	-0.147503	
	3, 4	-0.937606	-0.981770	-0.543233	0.016814	

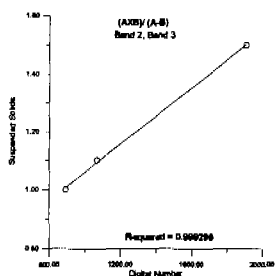
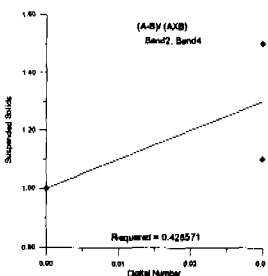


(a) RAW DATA

(b) BULK 보정 DATA

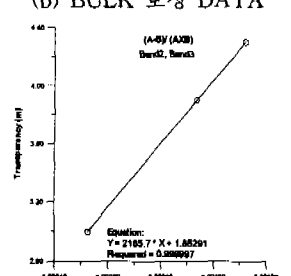
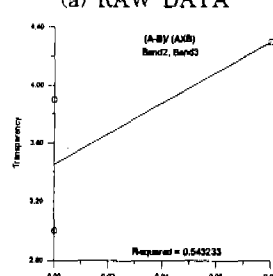
(a) RAW DATA

(b) BULK 보정 DATA



(c) 최소치 보정 DATA

(d) 표준화 보정 DATA



(c) 최소치 보정 DATA

(d) 표준화 보정 DATA

그림 5. 부유물질에 대한 대기 보정법 및 대기 보정법별 상관성 비교 그래프

그림 6. 투명도에 대한 대기 보정법 및 밴드 조합법별 상관성 비교 그래프

그림 7. 다시기 영상에 의한 조사 지점별 수질인자 변화 곡선

표 12. 다시기 영상에 의한 수질 인자의 시기별 변화 분석

구 분	시 점	수 질 인 자			비 고		
		83	84	89		95	
클 로 로 필 -A mg / m ³	ST.1	6.7	6.7	8.9	3.8	5.1	대기 보정법: BULK 보정 밴드 조합법 :밴드 2 × 밴드 4 회귀식 :Y=0.0450549*X+1.33333 상관계수 : 0.999802
	ST.2	5.1	5.1	8.5	4.0	4.4	
	ST.3	4.5	4.5	7.1	4.0	4.4	
부 유 물 질 mg / l	ST.1	1.1	1.1	5.7	2.2	1.0	대기 보정법: BULK 보정 밴드 조합법 :밴드 2 / 밴드 4 회귀식 :Y=1.06852*X-1.49266 상관계수 : 0.999825
	ST.2	1.0	1.0	5.3	2.5	1.4	
	ST.3	1.5	1.5	7.0	2.5	4.1	
투 명 도 m	ST.1	3.9	3.9	3.6	2.9	2.7	대기 보정법: 표준화 보정 밴드 조합법 :(밴드2-밴드3)/(밴드2*밴드3) 회귀식 :Y=2185.7*X+1.85291 상관계수 : 0.999997
	ST.2	4.3	4.3	3.9	4.4	4.2	
	ST.3	3.0	2.9	4.4	5.3	5.0	

5. 결론

(1) 수질인자 추출을 위한 대기 보정 방법과 밴드 조합을 선정한 결과는 다음과 같다.

- ① 클로로필-A : BULK 보정 방법과 (밴드2 / 밴드4)의 조합이 0.999802의 상관계수값으로 가장 좋았다.
- ② 부유물질 : BULK 보정 방법과 (밴드2 × 밴드 4)의 조합이 0.999825의 상관계수값으로 가장 좋았다.
- ③ 투명도 : 표준화 방법과 ((밴드2-밴드3) / (밴드 2×밴드3))의 조합이 0.999997의 상관계수값으로 가장 좋았다.

(2) 다시기 영상으로부터 수역 내의 인자별 변화를 분석해 본 결과는 다음과 같다.

- ① 분석된 수질 인자 항목에 대해 1984년의 경우가 가장 좋지 않은 것으로 분석되었는데, 이는 인공 위성 영상 취득 직전에 소양호에 유입된 흙탕물의 영향에 의한 것으로 판단된다.
- ② 대상 수역의 최하류인 조사지점 1의 경우, 다른 지점에 비해서 수질이 나쁜 것으로 분석되었다.

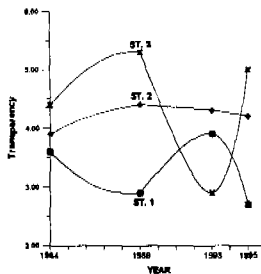
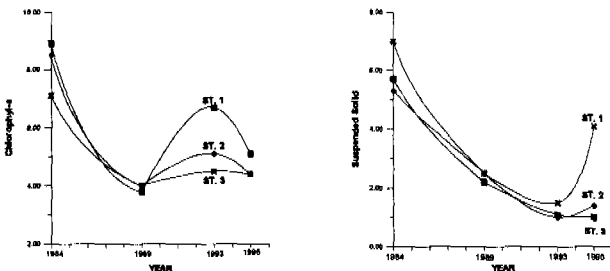
한편, 본 연구를 통해서 다음과 같은 사항이 향후 연구되어야 할 것으로 판단되었다.

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

둘째, 본 연구에서는 소양호 자체에 대한 수질인자 분포만을 분석하였는데, 향후 소양호 주변의 오염원과 연계한 연구가 진행된다면 보다 효과적인 분석이 가능하게 될 것으로 사려된다.

참 고 문 헌

- [1] 양인태, 김홍규, "리모트센싱 기법을 이용한 호소수질 관리방안: 북한강 수계의 환경인자 추출을 중심으로", *대한토목학회 논문집*, 제14권, 제1호, pp.161-170, 1994
- [2] L.W.Harding, 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] Jefftey Liedke., Arthur Robers., and John Luterna-
-uer, "Practical Remote Sensing of Suspended
Sediment Concentration", *PE & RS*, Vol.61, No.2,
pp.167-175, 1995
- [4] Bartolicci, L.A., Chang, M., Anuta, P.E., and Grav-
-es, M.,R., "Atmospheric effects on Landsat TM
thermal IR data", *IEEE Trans. Geosci. Remote
Sensing*, Vol.26, pp.171-176, 1988
- [5] 김태근, "LANDSAT TM 영상자료를 이용한 호수
수질 평가에 관한 연구", 전북대 토목공학과 박사학
위 논문, 1997
- [6] 김윤희, "홍수시 소양호에서 중층탁류의 이동 및 영
향에 관한 연구", 강원대 환경학과 석사학위 논문,
1997
- [7] John R. Jensen, "Introductory Digital Image Proce-
-ssing, A Remote Sensing Perspective, Second
Edition", *Prentice Hall*, 1996.
- [8] Song-Hak, Choung, "Radiometric Correction of Di-
-gital Remote Sensing Data", *Journal of the
Korean Society of Remote Sensing*, Vol.10, No.1,
pp.15-29, 1994
- [9] 김용남, 최윤관, 양인태. "수질인자추출을 위한 인공
위성영상의 대기보정 방법의 선택", *대한토목학회,
학술발표회 논문집(VI)*, pp.439-442, 1998
- [10] 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