

LANDSAT TM 영상을 이용한 호소의 클로로필 *a* 및 투명도 해석에 관한 연구

이건희, 전형섭, 김태근*, 조기성

전북대학교 토목·환경공학부

국립환경연구원 금강수질검사소*

The Interpretation Of Chlorophyll *a* And Transparency In A Lake Using LANDSAT TM Imagery

Gern-Hee Yi, Hyeong-Seob Jeon, Tae-Geun Kim*, Gi -Sung Cho

Faculty of Civil & Environment Eng., Chonbuk National Univ.

Kum River Water Quality Research Laboratory, National Institute of Environmental Research*

Abstract

In this paper, remote sensing is used to estimate trophic state which is primary concern in a lake. In using remote sensing, this study estimated trophic state not with conventional method such as regression equations but with classification methods. As eutrophication is caused by the extraordinary proliferation of the algae, chlorophyll *a* and transparency are applied to remote sensing data. Maximum Likelihood Classification and Minimum Distance Classification which are kinds of classification methods enabled trophic state to be confirmed in a lake. These are obtained as the result of applying remote sensing to classify trophic state in a lake.

First, when we evaluate trophic state in a large area of water body, the application of remote sensing data can obtain more than 70% accuracies just in using basic classification methods.

Second, in the aspect of classification, the accuracy of Minimum Distance Classification is usually better than that of Maximum Likelihood Classification. This result is caused that samples have normal distribution, but their numbers are a few to apply statistical method. Therefore,

classification method is required such as artificial neural networks which are not influenced by statistical distribution.

Third, this study enables the trophic state of water body to be analyzed and evaluated rapidly, periodically and visibly. Also, this study is good for forming proper countermeasure accompanying with trophic state progress extent in a lake and is useful for basic-data.

Key Words : Classification, Trophic state, Chlorophyll *a*, Transparency

요 약

본 연구에서는 호소 수질오염의 중요한 관심대상인 영양상태를 평가하기 위해 원격탐사기법을 적용하였다. 원격탐사기법을 적용하는데 있어서 기존의 회귀식을 이용한 방법과는 달리 분류기법을 사용하여 영양상태를 평가하였다. 부영양화는 조류의 이상증식에 의해 유발되므로, 수체의 조류농도와 밀접한 항목인 클로로필 *a*와 투명도를 원격탐사 데이터에 적용하였다. 본 연구에서 영양상태의 분류는 최대우도법과 최소거리법을 이용하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 광역수계의 영양상태 평가시 원격탐사 데이터를 적용함에 있어 기초적인 분류기법만을 수행하여도 70% 이상의 정확도를 얻을 수 있었다.

둘째, 분류정확도면에서 최소거리법이 최대우도법에 비하여 양호하게 나타났다. 이것은 샘플이 정규분포를 이루고는 있으나 통계적인 기법을 적용하기에는 샘플수가 너무 적은 것에 기인한 것으로 차후 통계적 분포에 영향을 받지 않는 인공신경망을 이용한 분류기법의 도입이 요구된다.

셋째, 본 연구결과를 이용하면 수계의 영양상태를 신속하고 주기적이며 가시적인 분석평가를 할 수 있어 호소의 영양상태 진행정도에 따라 적절한 대응책을 수립하는데 기초자료로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서 론

수자원의 안정적인 확보와 공급의 일환으로 수계에 많은 저수지와 댐을 건설하였으나 최근에는 이들 수자원의 수질오염이 가중되고 있어 이에 따른 새로운 수질관리 방안이 요구되고 있다. 그러나 현재의 호소 수질평가 방법은 수계특성상 중요하다고 생각되는 몇 개의 조사지점을 선정·측정하여 대상수역의 수질을 평가하고 있기 때문에 장비, 인력, 시간 및 많은 경비가 소요됨에도 불구하고 오염물질의 분포 상태와 그 이동을 지속적으로 관측하기가 어렵고, 광역수계의 수질관리상 동시성과 반복성에 어려움이 따른다. 따라서 일부 선진국에서는 광역수계의

동시관측과 반복관측이 가능한 원격탐사기법을 도입하여 종합적인 수질상태를 신속하고 정확하게 파악하여(Novo *et al.*, 1989; Serwan, 1993), 이에 따른 적절한 조치를 취하고 있다. 원격탐사는 지표상의 물질이 구성원자나 분자구조에 따라 다르게 발생하는 태양에너지의 흡수·반사량이나, 물질자체의 내부 에너지 방사량을 탑재된 센서에서 감지하여 대상물체나 현상에 대한 정보를 획득하는 것(Tadakuni, 1986)으로서, 이 정보는 화소단위의 디지털 영상으로 지상에 전송되어 지상수역의 오염물질 분포가 불규칙하다 할지라도 특성이 뚜렷한 수질인자에 대해서는 감지할 수 있고, 광역의 수질분포도를 작성할 수 있어 과거 재래식 방법보다는 수질평가에 있어서 보다 종합적인 분석을 할 수 있다.

원격탐사에 의한 수질평가는 클로로필이나 부유물질 같이 광학적 특성이 뚜렷한 수질인자와 열적외선 파장으로 정확하게 감지할 수 있는 수온에 관한 연구들이 대부분이다. 특히 클로로필은 호소와 해양에서 부영양화나 적조발생의 원인이 되는 조류 생체량의 지표로서 클로로필의 측정에 대한 정확도를 향상시키는데 많은 관심을 보이고 있다.

Richard와 Mary(1988)와 Catts *et al.*(1985)은 클로로필을 측정할 때 탁도가 많은 영향을 주지만 클로로필의 흡수파장인 적색파장과 근적외선 파장으로 실측치와 높은 상관성을 얻을 수 있다고 하였고, Gordon *et al.*(1983)은 가시광선 영역 중 클로로필의 흡수에 영향을 받지 않는 녹색파장과 청색파장의 반사도 비를 이용하여 클로로필 농도를 예측하였다. Forster *et al.*(1993)은 하수가 유입되는 해안 지역에서 클로로필의 반사파장과 흡수파장 및 근적외선 파장을 같이 이용하여 다중회귀분석한 결과, 높은 상관결정계수를 얻을 수 있다고 하였으며, 그는 또 클로로필 *a* 와 클로로필 *b* 및 페오파이틴 색소의 스펙트럼 특성이 약간 다른 점을 착안하여 각각의 회귀모형을 성공적으로 개발한 바 있다.

본 연구에서는 호소의 주요 관심사인 부영양화를 평가하는데 있어서 기존의 회귀식을 이용한 방법과는 달리 분류기법을 적용시켜 영양상태를 평가하였다.

기존의 연구에서는 원격탐사 데이터와 수질인자 사이의 관계를 회귀식을 통해 정의하고, 정의된 회귀식에 의거하여 원격탐사 데이터를 변환시킨 후, 다시 원격탐사 데이터를 조사해 수질을 측정하는 연구가 주로 이루어졌다.

본 연구에서는 이와 같이 다소 번잡한 과정을 거치지 않고 기초적인 처리를 통하여 개략적인 수질을 평가하기 위해 분류기법을 실시하였다.

부영양화는 조류의 이상증식으로 인하여 발생하는 현상으로 조류농도와 밀접한 수질항목인 클로로필 *a*과 투명도를 원격탐사 데이터에 적용하였다. 이들 수질항목과 분류기법의 일종인 최대우도법 및 최소거리법을 이용하여 호소의 영양상태분포를 파악하였다. 또한 분류시 발생하는 오차를 산정하기 위해 분류오차행렬을 사용하여 분류 방법에 따른 분류정확도를 평가하였다.

II. 대상지역 적용 및 분석

1. 연구대상지역

본 연구의 대상지역인 대청호는 금강수계의 수자원을 이용할 목적으로 1980년에 축조된 인공 호로서 금강 중류부에 위치하고 있으며 유역면적 4,133.6km², 총저수용량 1,490×10⁶m³, 유효저수용량 790×10⁶m³, 연평균 유입량 3,220×10⁶m³, 저수면적 72.8km², 저수지 길이 86km인 하천형 호수이다. 대청호의 주요 기능은 홍수조절, 전력생산, 금강 중 하류지역에 하천 유지용수와 관개용수 공급, 대전광역시와 충청남 북도 일부지역에 생활용수와 공업용수 공급 등 수자원으로서 매우 중요한 기능을 가지고 있다.

2. 분석자료

본 연구의 분석자료는 수질측정지점의 위치 자료, 수질인자 자료, 위성영상 자료가 사용되었다.

1) 위치 자료

위성영상을 분석할 때 위성영상 좌표와 실측지점을 정확히 일치시키기 위한 데이터로서 시료채취시 GPS장비(GARMIN SRVY 100, U.S.A)와 대상지역을 포함하는 1/5,000지형도를 이용하여 채수지점의 좌표를 획득하였다.

2) 수질인자 자료

수질인자분석을 위한 시료 채취는 1995년 6월 20일과 1996년 3월 18일에 LANDSAT 5호 위성의 대청호 상공 통과시간인 오전 10시 20분을 전후로 하여 오전 9시부터 오전 12시 사이에 15개 지점과 30개 지점에서 실시하였다.

분석항목은 부영양화 관련 수질인자 중 투명도와 클로로필 *a*를 대상으로 하였으며, 시험방법은 Standard Method(APHA *et al.*, 1992)와 수질오염공정시험법(환경처, 1991)에 의해 실시하였다.

3) 위성영상 자료

본 연구에서 사용된 위성영상은 Landsat 5호의 TM 데이터로서 path115, row35에 해당하는 지역중 대청호를 포함한 1087×913(sample×line)의 BSQ format의 영상이다.

3. 전처리

1) 기하보정

Affine 변환을 이용하여 기하보정을 수행하였으며 기하보정으로 생성된 이미지는 화소값을 가지고 있지 않기 때문에 화소재배열을 위해 Cubic convolution법을 사용하였다. 또한 기하보정 시 이미지는 실제계좌표계인 경위도로 변환하였다.

2) 수역분리

수역과 같이 특정지역에 대해 원격탐사기법을 도입할 경우, 효율적인 통계관리 및 분류처리를 하기 위해서는 육지와 수역을 분리하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 수역이 가장 잘 나타나는 4밴드를 사용하여 masking file을 생성, 각 밴드 공히 수역부분만 DN값을 가지게 하였다.

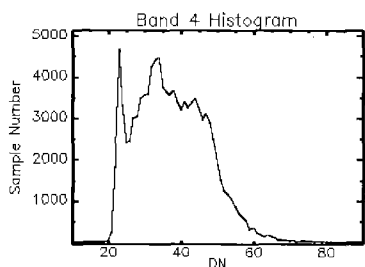


Fig. 1. Histogram of band 4(before masking).

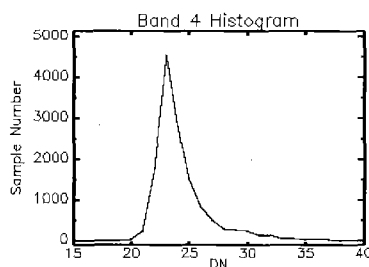


Fig. 2. Histogram of band 4(after masking).

4. 분류 및 비교분석

1) Correlation matrix

투명도와 클로로필 *a*의 상관관계를 알기 위해 본 연구에서는 열적외선 밴드인 TM 6밴드를 제외한 6개 밴드와 김(1997)의 연구에서 이들 수질인자와 상관성이 높게 나타난 TM 2밴드 / TM 1밴드의 DN값과 실측값과의 상관관계를 산정하고 Table 1과 같이 correlation matrix를 작성하여 상관관계를 분석하였다.

2) Training data 선정

Training 데이터의 선정은 분석자가 디스플레이 모니터 상에서 식별할 수 있는 화소나 항공

사진, 지도 또는 지상데이터로서 확인할 수 있는 화소를 각 분류항목별로 샘플링 하여야 한다. 본 연구에서는 호소 영양상태 파악의 분류항목 설정에 있어 투명도보다는 클로로필 *a* 농도를 기준으로 작성한 Aizaki 영양상태지수(Aizaki's Trophic State Index, ATSI)(Aizaki, 1981)를 이용하여 3가지 영양상태 즉 빈영양, 중영양, 부영양상태로 분류항목을 정하고 수질인자별로 샘플링 지점의 영양상태를 판단, training 데이터로 선정하였다.

Table 1. Correlation Matrix

	6월 Tr.	6월 Chl.	3월 Tr.	3월 Chl.
B1	0.33	-0.19	-0.78	0.56
B2	-0.63	0.71	-0.76	0.68
B3	-0.58	0.78	-0.68	0.48
B4	-0.71	0.93	-0.58	0.60
B5	-0.09	0.52	-0.38	0.25
B7	-0.19	0.63	-0.30	0.04
B2/1	-0.81	0.80	-0.71	0.59

(B=Band, Tr.=Secchi depth, Chl.=Chlorophyll *a*)

3) 클로로필 *a*에 대한 분류

1995년 6월 20일 이미지에서 클로로필 *a*와 상관계수가 높게 나타난 3, 4, 2/1밴드와 1996년 3월 18일 이미지에서 클로로필 *a*와 상관계수가 높게 나타난 2, 4밴드를 이용하여 두 개의 이미지 각각에 최대우도법과 최소거리법을 실시한 결과는 Fig. 3~Fig. 4과 같으며, Richard 등(1988)의 연구에서 제시된 1, 2, 3, 4밴드를 이용한 결과와 비교하였다.

4) 투명도에 대한 분류

1995년 6월 20일 이미지에서 투명도와 상관계수가 높게 나타난 4, 2/1밴드와 1996년 3월 18일 이미지에서 상관계수가 높게 나타난 1, 2, 2/1밴드를 이용하여 두 이미지 각각에 최대우도법과

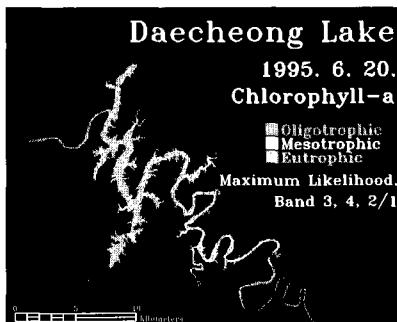


Fig. 3. The classification of chlorophyll *a* using maximum likelihood(20, June, 1995, band 3,4,2/1).

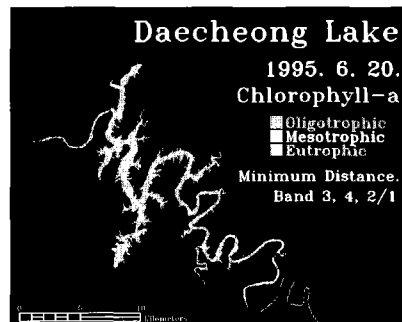


Fig. 4. The classification of chlorophyll *a* using minimum distance(20, June, 1995, band 3,4,2/1).



Fig. 5. The classification of chlorophyll a using maximum likelihood(18, March, 1996, band 2,4).

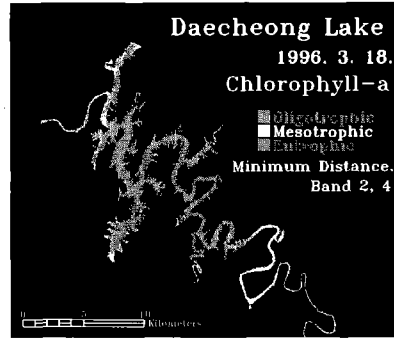


Fig. 6. The classification of chlorophyll a using minimum distance(18, March, 1996, band 2,4).



Fig. 7. The classification of transparency using maximum likelihood(20, June, 1995, band 4,2/1).

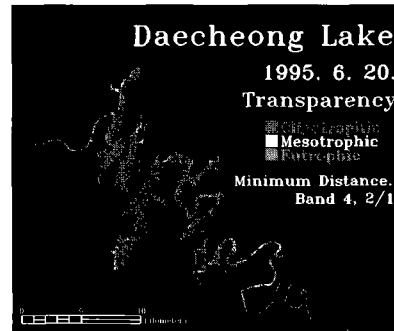


Fig. 8. The classification of transparency using minimum distance(20, June, 1995, band 4,2/1).



Fig. 9. The classification of transparency using maximum likelihood(18, March, 1996, band 1,2,2/1).



Fig. 10. The classification of transparency using minimum distance(18, March, 1996, band 1,2,2/1).

최소거리법을 실시한 결과는 Fig. 7 ~ Fig. 10과 같으며, Siamak 등(1991)의 연구에서 제시된 1, 2밴드를 이용한 결과와 비교하였다.

III. 결과 및 종합고찰

대청호의 클로로필 a 농도와 ATSI, 투명도와 ATSI를 이용하여 분류를 수행하여 본 결과는 Table 2와 같다.

이와 같은 각 이미지에 대한 수질항목별, 분류기법별 분류정확도를 도시해 보면 Fig. 11, Fig. 12와 같다. 분류된 정확도는 그림에서와 같이 대부분 70%이상의 정확도를 얻었다.

본 연구에서는 분류를 16회를 수행하여 최대우도법과 최소거리법의 정확도를 8회 비교하였는데 그 중 최대우도법이 최소거리법보다 양호한 경우는 3회, 동일한 경우는 2회, 최소거리법이 양호한 경우는 3회로 나타났다. 일반적으로 정확도가 높은 것으로 알려진 최대우도법이 최소거리법과 같은 결과를 나타낸 것은 샘플이 정규분포를 이루고는 있으나 통계적인 기법을 적용하기에는 샘플수가 너무 적은 것에 기인한 것으로 사료된다. 따라서 향후 정확한 분류를 하기 위

Table 2. Classification Result

날짜	분류대상	사용 band	분류기법	영양상태 백분율(%)		
				빈영양	중영양	부영양
95. 6. 20.	클로로필 a	3,4,2/1	최대우도법	69	25	6
			최소거리법	71	16	13
		1,2,3,4	최대우도법	72	27	1
			최소거리법	64	21	14
	투명도	4,2/1	최대우도법	56	15	29
			최소거리법	71	9	20
		1,2	최대우도법	54	20	26
			최소거리법	54	20	26
96. 3. 18.	클로로필 a	2,4	최대우도법	55	45	0
			최소거리법	71	29	0
		1,2,3,4	최대우도법	62	38	0
			최소거리법	70	30	0
	투명도	1,2,2/1	최대우도법	0	55	45
			최소거리법	0	39	61
		1,2	최대우도법	0	61	39
			최소거리법	0	49	51

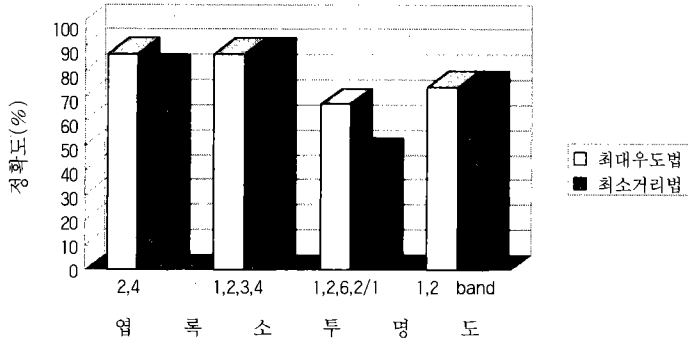


Fig. 11. The comparative figure of classification accuracy over water quality items and classification methods in image on 20, June, 1995.

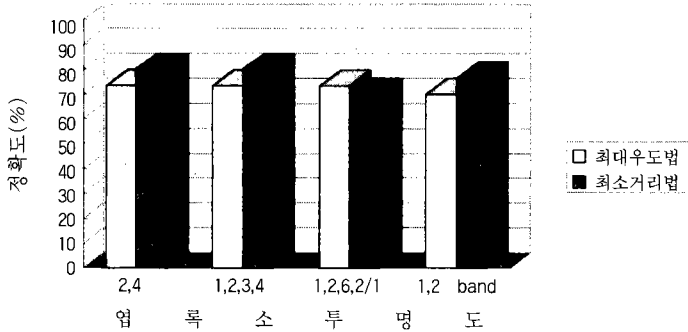


Fig. 12. The comparative figure of classification accuracy over water quality items and classification methods in image on 18, March, 1996.

해서는 통계적 분포에 영향을 받지 않는 인공신경망을 이용한 분류기법의 도입이 요구된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 호소 수질인자와 원격탐사기법을 이용하여 최대우도법과 최소거리법으로 호소의 영양상태를 분류하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 광역수계의 영양상태 평가시 원격탐사 데이터를 적용함에 있어 기존의 회귀식을 이용하여 평가하는 방법에 비해 기초적인 분류기법만을 수행하여도 70% 이상의 정확도를 얻을 수 있었다.

둘째, 분류정확도면에서 최소거리법이 최대우도법에 비하여 양호하게 나타났다. 이것은 샘플이 정규분포를 이루고 있는 있으나 통계적인 기법을 적용하기에는 샘플수가 너무 적은 것에 기인한 것으로, 통계적 분포에 영향을 받지 않는 인공신경망을 이용한 분류기법을 적용할 경우 보

다 정확한 분석이 기대된다.

셋째, 본 연구결과를 이용하면 수계의 영양상태를 신속하고 가시적으로 분석·평가 할 수 있어 호소의 영양상태 진행도에 따라 적절한 대응책을 세우는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김태근, 1997. LANDSAT TM 영상자료를 이용한 호수 수질 평가에 관한 연구, 전북대학교 대학원, 박사학위논문.
- 환경처, 1991. 수질오염공정시험방법.
- APHA, AWWA and WEF, 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18th Ed., Washington, D.C.
- B. C. Forster, Sha Xingwei, and Xu Baide, 1993. Remote Sensing of Sea Water Quality Parameters Using Landsat-TM, *I.J. Remote Sensing*, 14(15):2759~2771.
- E. M. M. Novo, J. D. Hansom, and P. J. Curran, 1989. The Effect of Sediment Type on the Relationship between Reflectance and Suspended Sediment Concentration, *I.J. Remote Sensing*, 10(7):1283~1289.
- G. P. Catts, S. Khorram, J. E. Cloern, A. W. Knight, and S. D. DeGloria, 1985. Remote Sensing of Tidal Chlorophyll *a* Variations in Estuaries, *I.J. Remote Sensing*, 11:1685~1706.
- H. R. Gordon, D. K. Clark, J. W. Brown, O. B. Brown, R. H. Evans, and W. W. Broenkow, 1983. Phytoplankton Pigment Concentrations in the Middle Atlantic Bight: Comparison of Ship Determinations and CZCS Estimates, *Appl. Opt.*, 22:20~36.
- M. Aizaki, 1981. Application of modified Carlson's Trophic State Index to Japanese Lake and its Relationships to other Parameters related to Trophic State, *Kogai Kenkyusho Kenkyu Hokoku, Res. Rep. Natl. Envir. Study in Japan*, 23:13~31.
- Richard G. Lathrop, Jr., and Thomas M. Lillesand, 1988. Use of Thematic Mapper Data to Assess Water Quality in Green Bay and Central Lake Michigan, *PE & RS*, 52(5):671~680.
- Richard P. Stumpf and Mary A. Tyler, 1988. Satellite Detection of Bloom and Pigment Distributions in Estuaries, *Remote Sensing of Environment*, 24:385~404.
- Serwan M. J. Baban, 1993. Detection Water Quality Parameters in the Norfolk Broads, U.K., Using Landsat Imagery, *I.J. Remote Sensing*, 14(7):1247~1267.
- Siamak Khorram, Heater Cheshire, Alberto L. Geraci, Guido La Rosa, 1991. Water quality mapping of Augusta Bay, Italy from Landsat-TM data, *I.J. REMOTE SENSING*, 12(4):803~808.
- Tadakuni Miyazaki, 1986. Measuring the Water Quality of Lake Kasumigaura by LANDSAT Remote Sensing, 國立公害研究所研究報告書 第89號, Japan, 20~55.