

다중시기 위성영상을 이용한 임하댐 부유사 변화탐지

정 중 철*

The Suspended Sediment Change Detection of Imha Dam Using Multi-Temporal Satellite Data

Jong-chul Jeong*

요 약

본 연구의 목적은 Landsat과 SPOT 5 위성자료를 이용하여 부유사 알고리즘을 적용한 결과를 바탕으로 임하댐의 수질을 시-공간적으로 평가하는데 연구의 목적이 있다. 임하댐의 부유사 농도 분포를 동시에 관측하기 위해서 위성관측 자료가 분석되었다. 본 연구의 중요한 과정은 위성에서 관측된 반사도와 부유사 농도와의 관계를 파악하는데 있다. 하지만, 부유사 알고리즘은 위성자료에서 계산된 부유사와 동일시점의 현장관측 자료와 비교되어야만 한다는 제한점이 있다. 위성관측 반사도로부터 도출된 상관식을 기초로 한 부유사 알고리즘은 부유사 농도 추정을 위한 경험식으로 유도되고 검증되었다.

주요어 : 임하댐, 부유사 분포, 부유사 알고리즘

ABSTRACT : The purpose of this study is to assess spatio-temporal variation of Imha Dam water quality according to suspended sediment algorithm using Landsat and SPOT 5 data. In order to learn synchronous suspended sediment concentrations(SSC) in Imha Dam waters, the satellite remote sensing data are analyzed. The key procedure of this research is that we should know the relationships between suspended sediment concentrations and satellite-detected reflectance. However, the SSC algorithm has the limitation that it must be compared calculated SSC with synchronous ground-truth data in the Dam water. Based upon the linear response from satellite-detected reflectance, SSC algorithm validated an efficient algorithm to estimate proportional factor and then derived an empirical equation for SSC estimations.

Keywords : Imha Dam, distribution of suspended sediment, suspended sediment algorithm

*남서울대학교 지리정보시스템공학과(Dep. Geoinformatics Eng. Namseoul Univ., jjc1017@paran.com)

1. 서 론

우리나라는 기후 특성상 하계 집중형 강우형태를 이루고 있어서 대규모의 호수와 저수지에는 홍수기에 대부분 탁수가 발생한다. 특히 토지 이용 형태가 다양화되면서 호수와 저수지의 탁수 지속시간이 길어지고 발생농도가 증가하여 수질관리의 문제가 되고 있다. 특히 소양강, 안동, 대청, 섬진강 댐 등 국내의 많은 호수에서 탁수현상이 발생하고 있어서 다목적댐의 수자원 이용 목적을 달성하기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 최근 탁수의 문제가 심각한 임하댐을 위성영상으로 분석하여 시공간적인 탁수의 변화를 관측하는데 연구의 목적이 있다. 임하댐은 1993년 12월에 준공된 다목적댐으로서 준공 후 2001년까지 여름철 집중 강우시 임하호의 연도별 최고 탁도는 100~250 NTU였고, 지속일수는 1~3개월 정도였다. 그러나 2002년 태풍루사와 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 최고 1,221 NTU의 고탁수가 발생하였으며, 지속일수도 최대 315일에 이르렀다(한국수자원공사, 2004a).

대규모의 호수에서 발생하는 탁수의 원인을 분석하고 이에 대한 대응책을 마련하기 위해서는 호수에 유입되는 하천유역의 토지이용과 토양층에 대한 정보를 필요로 한다. 본 연구지역인 임하댐호의 경우 한국수자원공사(2004a, 2004b)에서 유역의 특성을 분석하고 이의 결과를 통해 탁수발생에 원인을 제시한바 있다. 또한, 이근상 외(2004)는 GIS기법을 적용하여

탁수의 원인을 공간자료를 기반으로 규명하였다. 그러나 대규모의 호수에 대한 탁수분포를 위성영상 자료를 기반으로 분석한 연구는 미약한 실정이다. 이는 위성관측과 동일시점의 현장 자료의 생산과 알고리즘의 검증이 어렵기 때문이다. 호수의 경우 저류시간의 효과를 반영한다고 해도 몇 개의 현장관측 자료에 의해 만들어진 위성자료와의 상관식을 알고리즘으로 적용하는데는 문제가 있다. 상관식을 통해 영상자료에서 생산되는 계산값의 보정과 검증이 많은 경우 정량값과 큰 오차를 나타내기 때문이다.

댐 호의 탁수를 위성자료를 이용하여 정량적으로 해석하기 위해서는 위성자료에서 얻어지는 각 밴드별 영상신호와 호수 내에 존재하는 엽록소, 부유물질, 용존유기물 등의 밴드별 흡광과 산란특성을 이해하여야 한다(Kirk, 1995). 이들의 수중분광특성이 상호 영향을 미치기 때문에 단일 항목의 정량적인 농도 추출은 추출하고자하는 수질항목에 최대한 영향이 적은 채널의 특성을 고려하여 알고리즘을 구성하고 이를 바탕으로 정성적, 정량적인 해석이 이루어진다.

호수의 수중 구성물질의 존재 비율에 의한 수중광의 흡광과 산란의 정도를 구분한 연구로는 Morel(1977), Bukata(1995) 등의 연구가 있는데, 이들의 연구를 바탕으로 분광특성에 의한 엽록소와 부유사의 정량화 연구가 지속되었다.

Bukata(1995), Ekstrand(1992)는 순수한 물, 총 부유물질, 엽록소, 용존유기물의 흡광특성과 산란특성을 비교하여 각 구성물질의 정량적인 구성 비율에 따른 분광스펙

트림을 작성하고, 각 파장대별 반사치를 계산하였다. Tassan(1997)은 연안해역에서 엽록소와 부유사 농도를 정량적으로 해석하기 위해 CZCS(Costal Zone Color Scanner)와 Landsat TM을 적용하여 부유사 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서는 임하댐호의 탁수 분포를 시공간적으로 해석하는 알고리즘을 적용하고 이의 적용가능성을 평가하였다.

2. 연구범위 및 방법

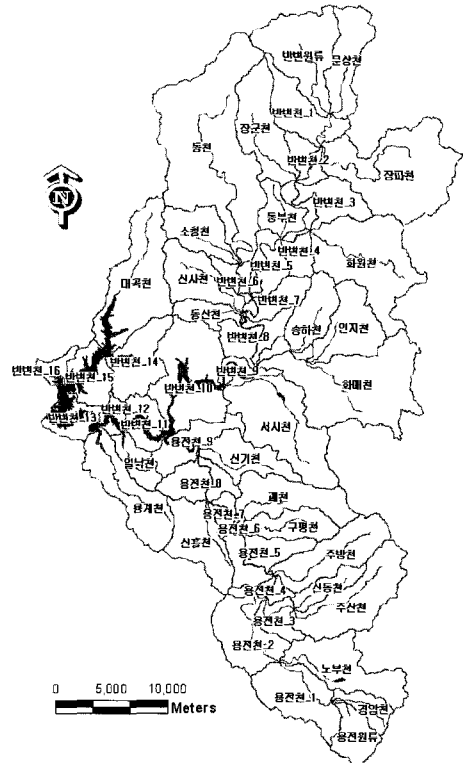
본 연구 대상지인 임하호 유역은 동경 127°29'~129°18', 북위 35°03'~37°13'에 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 경북 안동시, 영양군 그리고 청송군에 걸쳐 있다. 임하호 유역은 [그림 1]과 같이 낙동강 수계 북동쪽에 위치하고 있으며, 유역면적은 1,361km²이고, 유로연장은 반변천을 기준으로 약 98km이다. 임하호 유역은 크게 반변천 유역과 용전천 유역으로 구분된다(한국수자원공사a, 2003).

Tassan(1997)은 CZCS를 이용하여 엽록소 농도를 구분하여 $\log(C) = 0.48 - 1.79 \log(R(443)/R(550))$ 와 $\log(C) = 0.74 - 8.84 \log(R(520)/R(550))$ 의 알고리즘을 적용하였고, 부유사를 정량화하기 위해 $\log(S) = 2.5 + 1.82 \log(R(550))$ 의 알고리즘을 적용하였다. Landsat TM은 $\log(C) = 0.74 - 2.43 \log(R(485)/R(570))$ 와 $\log(S) = 2.55 + 1.79 \log(R(570))$ 의 알고리즘을 적용하였다. 여기서 chlorophyll-a(C, mg/m³), Suspended Sediment(S, g/m³)의 단위를 적용하였다.

본 연구에서는 임하댐의 부유사 농도를

정량화하기 위해 Landsat TM과 ETM+을 이용하였다. 또한 SPOT5 2003년 3월 20일 자료를 분석하여 부유사를 추출하였다. 연구에 사용된 자료는 Landsat TM(1995년 5월 12일, 1996년 9월 3일, 1998년 5월 20일, 1999년 5월 7일) 6개 시점의 자료가 사용되었고, Landsat ETM+(2000년 11월 9일, 2001년 4월 28일) 2개 시점의 자료가 사용되었다.

각 시점의 위성분석결과인 Landsat ETM+과 TM은 동일한 30m의 공간해상력을 바탕으로 분석한 결과이며, 동일한 위치정보에 의해 부유사의 정량적인 해석을 실



[그림 1] Study area and watershed map of Imha Dam.

시하기 위해 UTM zone 52, WGS84 체계로 기하보정하였다. 기하보정의 결과는 0.5 픽셀이하의 오차범위에서 수행되었고, 각각의 영상에서 얻어진 결과는 실측치와 비교하여 정량적인 해석을 수행하였다. 취득된 위성자료의 전처리 단계로서 대기의 영향을 최소화하기 위해 밴드 3과 밴드 4에 의한 대기보정 방법을 적용하여 대기효과를 제거하였다(Jeong, 2001).

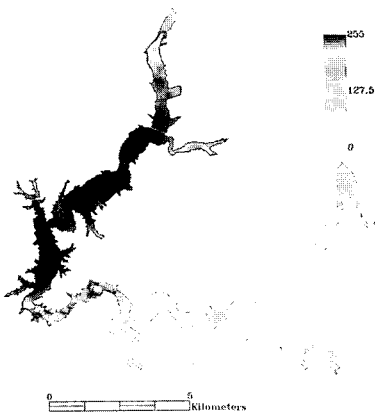
위성영상 분석은 영상신호(Digital Number)를 복사휘도(Normalized water Radiance)로 계산하여 각 수질 항목을 정량적으로 해석할 수 있는 방법을 적용하였으며, 위성자료 분석을 통해 얻어진 결과를 다른 시기의 분석 자료와 비교하였다. 임하댐호의 경우 매우 높은 부유사 농도를 나타내고 있어서 일반적인 댐호나 자연형 호수에서의 연구결과를 적용할 수 없다. 때문에 우리나라 서해연안에서 강 하구의 육상토사가 확산되는 경향분석에 적용한 사례를 통해 임하댐호의 부유사 분석에 적용 가능할 것이다. 본 연구에서는 Jeong(2001)

의 $X = \log[R_{rs}(490/665)]$, $Y = -1.6290 X + 1.690$ 계산식을 적용하였다. 여기서 계산된 SS와 실측치를 7등급의 지수값으로 표준 변환하였다.

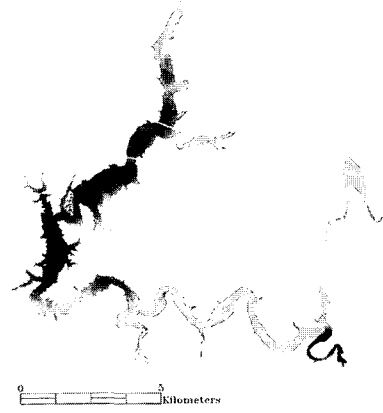
임하댐호의 부유사 알고리즘은 CZCS 알고리즘에서 제시한 $R_{rs}(555)$ 밴드를 이용한 방법과 Liu *et al.*(1988)의 결과를 비교할 수 있다. 부유사는 무기입자로서 농도가 증가함에 따라 반사치를 증가시키며, 이는 부유사의 흡광보다는 산란이 더 커서 부유사 농도 증가와 반사치가 선형적인 관계를 갖는다. 하지만, 수중 구성물질이 부유사와 유기오염물질에 의해 구성된 경우 부유사는 엽록소 농도에 의한 흡광 특성에 영향을 받고 있다.

3. 분석 결과 및 고찰

[그림 2]와 [그림 3]은 태풍 루사가 높은 탁도를 발생시킨 후 임하댐호의 부유사 분포를 green과 red 밴드 영역에서 분석한



[그림 2] Distribution map of SS from near IR and Green band of SPOT 5(Mar 20, 2003).



[그림 3] Distribution map of SS from Red and Green band of SPOT(Mar 20, 2003).

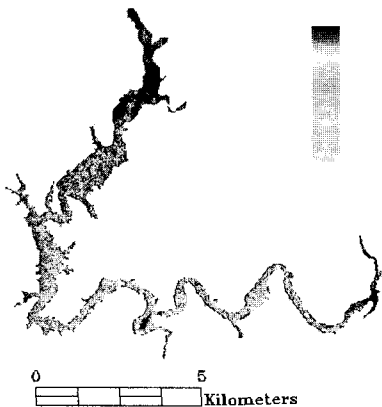
결과이다.

본 연구에서 분석된 이미지에서 반변천 유역의 유량이 대곡천에 비해 9배 가량 크고 탁수의 발생원인이 되는 부유사가 반변천에서 유입되어도 부유사가 침전되는 시간에 비해 수중에 부유되는 기간이 길어 전체 부유사량의 많은 부분이 대곡천 하류부부터 임하댐 입구의 유역까지 분포하는 것으로 나타났다. 또한, 유량은 많고 수심이 얇은 반변천과 용전천의 경우 빠르게 부유사가 임하댐 인근으로 부유사가 이동하여 초기강우 이후의 탁도 감소가 빠르게 나타날 것으로 예상된다.

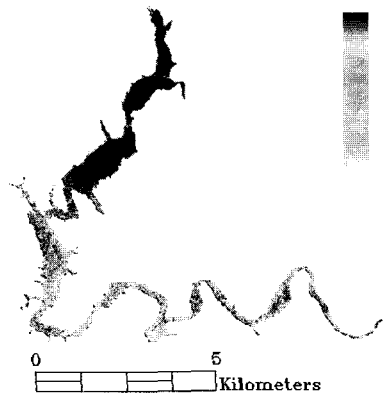
하지만 인공위성영상에서는 수심이 5m 보다 얇은 경우 하천바닥에서 올라오는 바닥 반사(bottom reflectance)의 영향으로 탁도는 낮으나 상대적으로 높은 반사치가 센서에 수신되어 부유사 알고리즘을 적용할 경우 탁도가 높은 것으로 계산될 수 있다. 이는 상류하천의 경우 현장조사치와 위성에서 분석한 부유사 분포의 경향을 보정할 필요가 있는 경우이다. [그림 2]

는 SPOT 자료의 부유사 분석에 가장 민감한 Green 밴드 영역과 수중의 바닥층에 의한 바닥반사의 영향을 제거하여 부유사의 분포를 나타낸 것이며, [그림 3]은 현장관측치가 없는 임하호의 부유사 특성을 고려하여 Green과 Red 밴드 영역에 의해 분석한 결과이다. [그림 3]의 경우 용전천에서 높은 부유사(탁도)가 관찰되고 있는데 이는 두 가지 원인으로 판단된다. 첫째, 수심이 얇은 하천에서의 바닥반사의 영향이 red 밴드에서 제거되지 않은 결과이다. 둘째, 부유사의 특성을 찾기 위해 적용한 Green 영역의 반사치에서 red 영역의 영상신호가 과도하게 반영되어 [그림 2]의 경우 부유사가 상대적으로 반변천에서 낮게 나타나고 있다.

[그림 3]의 용전천에서 부유사가 높게 나타난 이유를 위성자료만으로 분석하는 것은 당시의 상황에 대한 참조자료가 부족한 점을 고려할 때 위의 두 가지 해석이 가장 적합한 것으로 판단된다. 이러한 특성은 [그림 4], [그림 5], [그림 6], [그림



[그림 4] Distribution map of SS from Landsat(May 12, 1995)

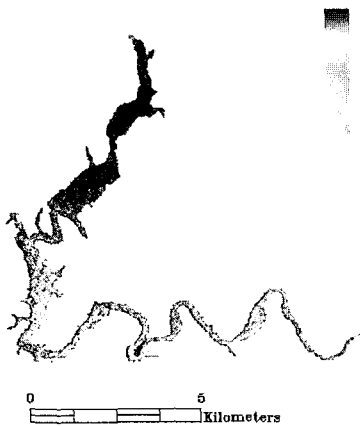


[그림 5] Distribution map of SS from Landsat(Sep 3, 1995)

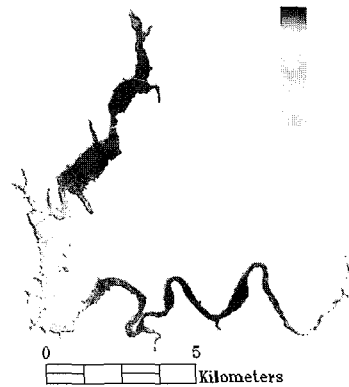
7], [그림 8]과 [그림 9]에서 볼 수 있는 Landsat 영상의 분석결과에서도 동일한 효과가 나타난다.

[그림 2]와 [그림 3]은 SPOT의 각 밴드에서 얻어진 NTU값을 공간적으로 표현하여 제시한 것으로 기하보정과 대기보정이

후 물에서 올라오는 신호의 비교를 나타낸 것이다. 각각의 시기에 얻어진 부유사의 분포를 동일한 농도 스케일에서 비교할 경우 공간적인 분포 특성을 파악하기 어려워 본 연구에서는 실측치와 계산치에 의한 분석을 [그림 10]과 [그림 11]에 반



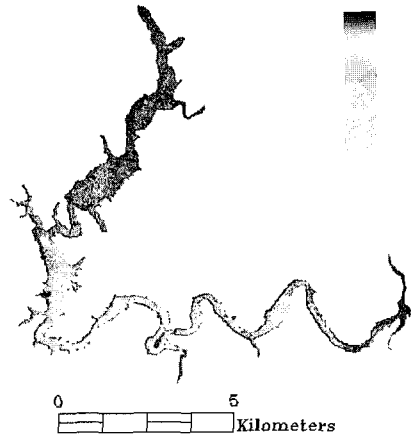
[그림 6] Distribution map of SS from Landsat(May 20, 1998)



[그림 7] Distribution map of SS from Landsat(May 7, 1999)



[그림 8] Distribution map of SS from Landsat(Dec 9, 2000)

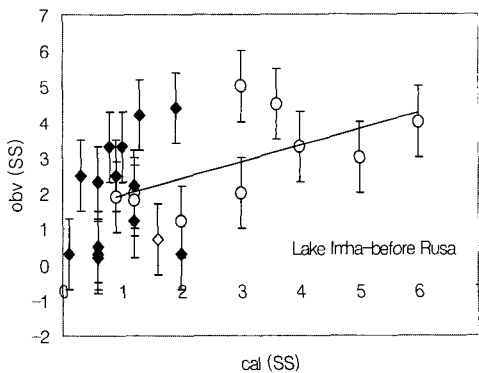


[그림 9] Distribution map of SS from Landsat(Apr 28, 2001)

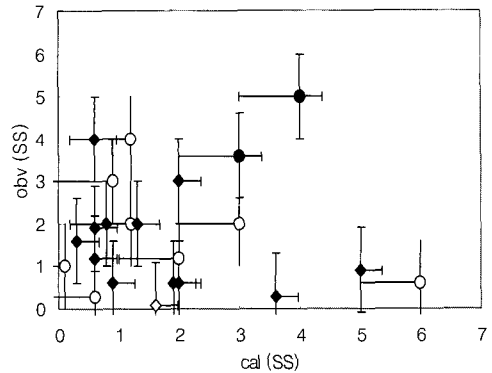
변천과 대곡천 유역으로 구분하여 태풍 루사가 발생한 시기 이전과 이후의 영상 자료를 분석하여 이를 비교하였다.

이론적으로 위성센서의 적외선영역에서는 맑은 수역의 물에서 올라오는 신호가 0의 값을 나타내지만 연구결과와 같이 수중에 높은 농도의 탁도 물질이 포함되어 있다. 따라서 본 연구에서 수중의 탁도 성분만을 고려한 정량적인 해석은 수중 구성물질 중에 탁도 특성에 영향을 미치는 부유사의 정량적, 정성적 특성을 파악하고 이를 고려한 알고리즘을 적용하였다. 위성영상에서 획득된 영상 신호의 채널별 값을 탁도가 높은 연안부유사 알고리즘 Tassan(1997)의 $\log(S) = 2.55 + 1.79 \log(R(550))$ 의 식을 적용하고 이를 NTU와 20개 정점에 대한 보정 계수치를 적용하여 [그림 10]과 [그림 11]의 비교 인덱스를 산출하였다. 산출된 인덱스는 임하댐의 유입유량을 결정하는 반변천과 대곡천

의 관측점에 대해 비교 가능한 20정점을 구분하여 제시하였다. 여기서 태풍 루사가 발생한 2002년 이전과 이후를 비교하여 2002년에는 본 연구에서 Landsat 자료(30m 공간해상력)에 의한 공간적 구분을 수행하였고, 2002년 이후는 SPOT(10m 공간해상력)의 자료를 비교하였다. 2002년 5월 표층수의 탁도는 10.9 NTU이고 최고 탁도는 44.6 NTU이었으며, 2002년 8월에는 댐축에서 도연교까지 300 NTU의 농도를 나타내다가 8월 20일 경에는 취수탑 부근에서만 고탁수의 농도를 나타내었다. [그림 10]을 통해 반변천의 부유사 분포가 태풍 루사 이전에 적용 가능한 오차 범위($\pm 5\%$)를 나타내고 있으나, 대곡천은 실측값의 범위보다 낮은 계산치 범위를 나타내고 있다. [그림 11]에서는 대곡천의 부유사 분포가 태풍 루사 이후에 적용 가능한 오차 범위($\pm 5\%$)를 나타내고 있으나, 반변천은 상대적으로 실측치와 계산치의



[그림 10] Scatter plot between observation and calculation SS index from SPOT and Landsat data before RUSA(○;Banbun stream, ●;Daeguk stream)



[그림 11] Scatter plot between observation and calculation SS index from SPOT data after RUSA(○;Banbun stream, ●;Daeguk stream)

양의 상관성을 찾을 수 없다. SPOT 영상에서 획득된 공간해상력과 정량적 분석의 결과는 위성자료를 통해 부유사의 정량적인 해석을 적용하기 어렵다는 결과를 얻었다.

이는 안동댐과 임하댐의 SS와 NTU의 상관성을 분석한 정세웅(2003)의 연구에서도 부유물질(SS)의 양이 동일한 경우라도 임하댐에서 NTU가 더 높게 나타나고 침강시간도 차이가 나는 것으로 보고하였고, 붉은색의 점토광물과 입자의 크기에 따른 영향이 나타나는 것을 설명하였다. 하지만, [그림 2]와 [그림 3]의 결과와 같이 각각의 영상에서 얻어진 부유사의 분포는 정성적인 공간 분포를 파악하는데 적용 가능하지만 본 연구에서는 2003년의 SPOT 영상이 10m의 공간해상력으로 부유사의 분포 경향이 대곡천보다 반변천에서 높게 나타나는 경향을 파악할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 위성영상과 임하댐호 유역의 지형 및 지질학적 특성을 참조하여 호수의 탁수에 대한 시공간적인 분포를 파악하였다. SPOT과 Landsat 영상에 의한 탁수의 정량적인 분포와 공간범위를 파악함으로써 위성영상 자료에 기반한 호수의 탁수방지대책을 제안할 수 있는데, 유역 측면에서의 경작지 및 주변산지 정비, 사방댐에 대한 공간적 분포와 호수에서의 탁수 발생을 검증할 수 있었다.

본 연구에서는 위성자료에 의한 호수의 탁수발생 지역을 발생 지수의 평가결과로

분석하고 이를 바탕으로 배수유역의 특성을 고려하여 반변천과 대곡천에서의 탁수 발생과 저감에 대한 전략을 Landsat과 SPOT의 위성자료를 통해 토지피복과 호수에서의 탁수분포에 의한 정량적인 해석으로 공간적인 탁수분포의 경향을 파악하고 이를 고려한 저감방안을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 한국수자원공사 수자원연구원 이근상님과 채효석님의 도움으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이근상·조기성(2004), 탁수자료를 이용한 GIS 기반의 토사유실량 평가, *한국지형공간정보학회지*, 제12권 제4호, pp. 75-81.
- 정세웅(2003), 저수지 탁수의 밀도류 유동특성 조사와 모의기법에 관한 연구, 한국수자원공사 물관리센터, 제19회 한일기술교류회의, pp. 1-24.
- 정종철(2001), 연안해역의 투명도 추정을 위한 밴드비율 알고리즘 검증, *한국지리정보학회지*, 제4권 1호, 27-33.
- 한국수자원공사, 2004a, 임하호 탁수층의 혼합 거동해석, 수자원연구원, pp. 23-87.
- 한국수자원공사, 2004b, GIS를 이용한 임하호 유역의 토사거동 해석, 수자원연구원, pp. 53-93.
- Bukata, P. 1995, Optical properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters, CRC pres, pp. 126-236.

- Ekstrand, S., 1992, Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 13, No. 10, 1913-1926.
- Kirk, J. T., 1995, *Light and photosynthesis in aquatic ecosystem*, Cambridge unv press. pp. 142-223.
- Liu, W. Y., Klemas, V., 1988, Quantitative analysis of distribution of suspended sediments in the Yellow River estuary from MSS data, *Geocarto International*, Vol. 1, 51-62.
- Morel, A., and Prieur, L., 1977, Analysis of variation in ocean color, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 22, No. 4, 709-722.
- Tassan, S. 1997, A numerical model for the detection of sediment concentration in stratified river plumes using Thematic Mapper data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, No. 12, 2699-2705.