

홍수기 하구로 유입된 담수로 인한 만에서의 염분분포 변화에 관한 연구

Study on Salinity Distribution Change by the Fresh Water at the Bay in Flood

이 현 석* / 이시가와 타다하루** / 김 영 성*** / 채 호 석****

Lee, Hyun Seok / Ishikawa, Tadaharu / Kim, Youngsung / Chae, Hyo Sok

Abstract

Any significant inflow of fresh water due to flood or snow melting can rapidly reduce salinity at the bay. In such a case, the habitat environment in the sea near river mouth can be partly destroyed. Therefore, research to understand the salinity distribution quantitatively at the bay for the utilization of natural environment and for the inhabitant conservation must be very important. In this study, the investigation on the relationship between satellite image and turbidity is carried out first, and then the salinity distribution at the bay using the relationship between turbidity and salinity is derived. The main results are as follows. First the reappearance ability of RGB bands respectively of the satellite image is investigated, and then it was confirmed that the combination of band2 and band3 expressed best the movement characteristics of turbid water at the bay is chopped up into 4 small areas. Second the turbidity of river mouth is estimated using the travel time from the upward monitoring station to the river mouth. Finally the satellite image is converted into the salinity distribution by the correlation of salinity and turbidity. It is confirmed that the salinity distributions obtained from above three investigation methods are quite reasonable and clear.

Keywords : satellite image, turbidity, salinity, flood, snow melting, fresh water

요 지

홍수 혹은 용설로 인한 대량의 담수유입은 만에서의 염분농도를 급격히 저하시키며, 그러한 변화는 근해 생물들의 서식환경을 파괴하는 경우도 있다. 그러므로 자연환경의 적절한 활용 및 생물들의 보호를 위해 만에서의 염분분포를 정량적으로 파악하는 연구는 매우 중요하다. 본 연구에서는 1차적으로 위성영상과 탁도와와의 상관성을 조사하고, 2차적으로는 탁도와 염분농도와의 상관성을 이용하여 만에서의 염분분포를 구하였다. 본 연구의 주요 성과는 다음과 같다. 첫째 위성영상의 RGB밴드와 탁수와의 변별력 평가를 위해 만을 4개 구역으로 분할하여 비교하였으며, Band2와 Band3의 조합이 탁수거동 재현에 가장 효과적임을 규명하였다. 둘째 관측소로부터 하구까지의 도달시간을 계산한 후 상류에서 관측된 탁도로부터 하구의 탁도를 추정하였다. 셋째 하구에서의 탁도와 심해의 염분농도와의 관계를 이용하여 위성영상을

* 교신저자, 한국수자원공사 K-water연구원 위촉선임연구원 (e-mail: leehs2005@kwater.or.kr)

Corresponding Author, Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon, Korea

** 일본 T.I.Tech (동경공업대학) 환경이공학창조과 교수

Professor, Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan

*** 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원 (e-mail: yskim@kwater.or.kr)

Principal Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon, Korea

**** 한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원 (e-mail: chaehs@kwater.or.kr)

Head Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon, Korea

염분분포로 변환하였다. 본 연구에서 제시된 만에서의 염분분포 조사방법은 대상지역의 공간적 특성을 고려해 볼 때 비교적 신뢰할 만하다고 사료된다.

핵심용어 : 위성영상, 탁도, 염분농도, 홍수, 용설, 담수

1. 서론

담수와 염수가 혼합되어있는 만에서는 굴, 가리비 그리고 미역 등 다양한 생물에 대한 양식이 활발히 이루어지고 있다. 하구를 통한 적절한 담수의 유입이 만에서 서식하는 생물들에게 최상의 서식환경을 제공해 주기 때문이다. 그러나 간혹 홍수기 하천을 통하여 유입되는 대량의 담수는 급격한 염분농도의 저하를 초래하며, 그러한 변화는 만에서 서식하는 생물들의 서식환경을 파괴하는 결과로 나타나기도 한다. 그러므로 자연환경의 적절한 활용 및 자연재해의 예방을 위해 만에서의 정량적인 염분분포의 파악은 그 중요성이 매우 높다.

본 연구에서는 만에서의 염분분포를 분석하기 위하여 위성영상을 활용하였다. 현지관측과 마찬가지로 위성영상도 구름이 두꺼운 날에는 적용에 제약이 따르지만, 간혹 현지관측이 어려운 시기에도 구름 사이로 촬영된 영상을 확보할 수 있으며, 이러한 영상은 광역의 대상지점에 대한 동일한 시간대의 2차원적 공간자료를 제공한다.

최근에는, 하구, 근해, 습지뿐만 아니라 하천 등 다양한 지역에서 위성 및 항공영상을 활용한 연구결과가 보고되고 있다. 박근애 등 (2004)은 과거 경년별 항공사진을 이용하여 경안천의 하천형태 변화 및 토지이용변화를 평가하였으며, 이민부 등 (2005)은 위성영상 및 지형도를 함께 연계하여 시계열 분석에 의한 북한 대동강 및 재령강의 하도변화를 분석하였고, 장동호 (2005)는 IKONOS와 Quickbird 영상을 이용하여 태풍루사 전후의 하도내 미지형 분류 및 홍수에 따른 퇴적물 분포와 퇴적량을 산정하였다. 그리고 조명희 (2005)는 위성영상과 GIS를 이용하여 북한 서한만 지역의 간석지 분광특성 및 변화 탐지 연구를 수행하였다. 또한 이현석과 이근상 (2008)은 위성영상 및 항공사진의 활용방안으로서 도시하천의 지형태 자료와 영상정보를 이용한 수체적 평가 기법을 제시하고 적용 결과를 보고하였다. 국외 연구로서, Fonstad and Marcus (2005)는 수리학적 모델을 연계한 하천수심의 원격탐측기법을 제안하였으며, Handcock et al. (2006) 및 Lee et al. (2008)은 하천에서의 수온에 관련된 조사 및 분석에 열화상을 도입하였고, Marcus et al. (2003)은 고 분광 영상정보로부터 산지하천에서의 서식지, 수심 그리고 나무잔해를 맵핑하는 방법을 제안하였다. 또한 Kudo et al. (2002)

은 하구로부터 만으로 유입되는 용설수의 거동을 조사하였으며, Ishikawa et al. (2004)은 용설수의 유입으로 인한 만에서의 염분농도의 저하에 대한 연구결과를 발표하였다.

비록 하구와 가까운 근해라고는 하나 만에서의 현지관측은 강한 바람, 높은 파도 그리고 뜻하지 않은 호우 등 많은 자연 여건에 의한 제약이 따른다. 또한 이러한 조사에 병행되는 인력, 금전 및 시간적 손실은 우리에게 좀 더 안전하고 효율적인 방법을 강구하도록 요구하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 기존의 현장조사 자료를 충분히 활용하고 신뢰성이 향상된 대상지역에서의 위성영상과 탁도와의 상관관계를 도출하였으며, 염분과 탁도와의 상관성 파악에 필요한 현장조사를 피하기 위하여 하구로부터 약 30 km 상류에 위치한 관측소에서 지속적으로 모니터링 한 탁도 자료의 활용성을 검토하였다. 그 결과 위성영상이 제공하는 3개의 RGB 밴드별 탁도와의 상관성 분석 결과를 토대로 위성영상을 탁도분포로 변환하였으며, 하구로부터 원해로 흘러가는 담수의 유입특성을 응용하여 탁도와 염분농도의 상관식을 도출하고, 그 결과를 이용하여 대상지역의 탁도분포를 염분분포로 변환하였다.

2. 대상지역

본 연구의 대상지역인 오펜만은 일본 동북부의 삼륙연안에 위치해 있다. 하구를 기준으로 내륙지역은 곡창지대로서 농업이 발달되었으며, 하구로부터 바다 쪽으로의 근해에는 양식업이 잘 발달되어 예로부터 많은 사람들이 모여 도시가 발전하였으나, 해마다 반복되는 수해에 취약한 지역이기도 하다. 만의 집수면적은 약 30 km² 이상이고, Fig. 1에 보이듯이 하구로부터 태평양쪽으로 폭이 증가하는 삼각형의 형태를 취하고 있다. 특히, 만에 담수를 공급하는 신기타가미강은 홍수기 및 대량의 용출수가 유입되는 시기에는 방수로의 역할을 수행한다. 그러므로 이 시기에는 신기타가미강을 통하여 자연 상태보다 많은 양의 담수가 만으로 유입된다. 유입된 담수는 바닷물과 섞이면서 저염분화를 초래하고, 저염분 상태의 장기화는 만에서 생활하고 있는 많은 생물들의 생태계에 심각한 영향을 끼치기도 한다.

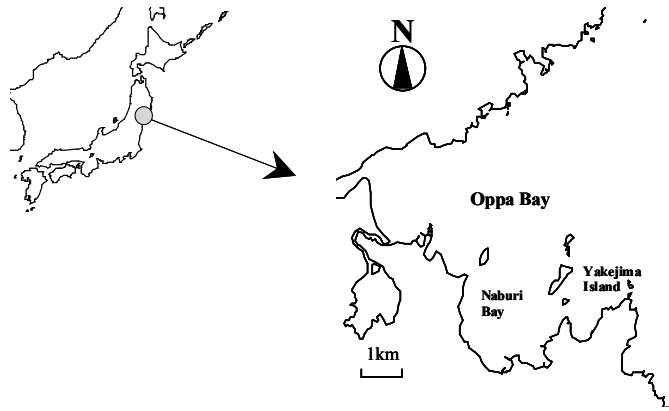


Fig. 1. Location Map of the Oppa Bay

3. 전처리 과정

3.1 하구에서의 탁도 추정

Ishikawa et al. (2004)는 Oppa만에서 다양한 현장조사를 수행하였으며, 특히 염분과 탁도의 상관성 분석을 위한 자료 취득에 있어서 많은 양의 담수가 유입되는 홍수기 및 용출수 유입기의 어려운 상황을 보고하였다. 이러한 현장조사의 어려움을 개선하기 위하여 본 연구에서는 신기타가미강 하구로부터 상류 약 30 km 지점에 위치한 Tome 관측소의 탁도 자료를 이용하여 하구에서의 탁도를 산정하고 만에서의 염분분포를 추정하는 기법을 개발하였다. 즉 만에서의 염분분포는 염분과 탁도가 선형관계를 가지며 하구에서의 탁도 절편 값에 의존하고 있다는 보고 (Ishikawa et al.(2004))를 토대로, 상류로부터 하구까지의 도달시간을 추정한 후 상류에서 관측된 탁도를 하구에서의 절편값으로 활용하였다.

상류의 수위관측소로부터 하구까지 하천수가 도달하는 시간은 홍수의 규모에 따라 다르다. 그러므로 매닝(Manning)식을 변형하여 도달시간과 유량의 관계를 Eq. (1)과 같이 유량에 따른 도달시간의 관계로 정의할 수 있다.

$$T = \alpha Q^{-2/5} \quad (1)$$

여기서, T는 Tome 관측소로부터 하구까지의 도달시간이고, α 는 하상특성을 나타내는 계수이며, Q는 하천유량을 나타낸다.

Eq. (1)에 보여 지듯이, 하구까지의 도달시간 T는 유량 Q에 의존하고 있으며, 하상계수 α 는 현지관측 결과들로부터 취득한 탁도 절편값과 취득시간 전후로 조사한 탁도와의 상관성을 조사하여 결정하였다. Fig. 2는 α 를 결정하

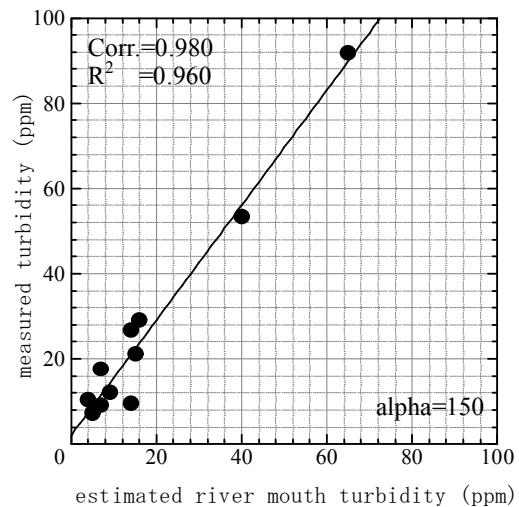


Fig. 2. Estimation of Turbidity

기 위한 실측탁도 자료와 추정 탁도 자료의 상관성 분석 결과이다. 분석결과 그림에 제시한 바와 같이 α 가 150일 때의 실측값과 추정치의 상관도는 0.98로서 가장 양호하였다. Fig. 3은 2002년 7월 18일에 관측된 유량과 탁도의 도달시간 추정 결과이다. Y축은 각각 유량과 탁도를 나타내고 있으며, X축은 일반적으로 위성 자료가 촬영되는 오전 10시 30분을 기준으로 한 하구까지의 도달시간을 보여주고 있다. 즉, Fig. 3에 나타난 굵은 실선은 하구까지 도달시간이 약 8.2시간 소요됨을 의미한다. 이러한 방법을 통하여, 과거 위성사진이 촬영된 시점에서의 하구탁도에 대한 추정이 가능하였다. 이렇게 추정된 하구에서의 탁도는 염분과의 상관식을 산출함에 있어서 X절편 값으로 활용되며 현장조사 없이도 손쉽게 탁도와 염분의 상관관계식을 도출할 수 있다.

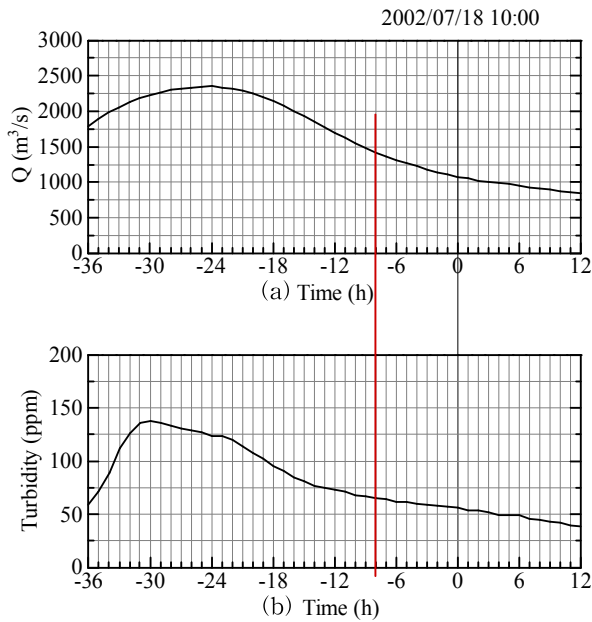


Fig. 3. Data of Tome Measuring Station

3.2 위성자료의 기준화

본 연구에서는 LANDSAT-7/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)에 의하여 취득된 대상지역의 영상을 분석하였다. 영상의 선별은 Landsat-7이 촬영을 시작한 때부터 2003년 5월까지의 기간 중, 양호한 화질이 확보되고 하구에서 대량의 담수의 유입으로 인한 출수가 보이는 영상을 선별하였다. 그 결과 총 11개의 영상을 확보하였다.

위성영상의 처리과정은 다음과 같다. 우선, 구입한 영상을 연구대상 지역을 포함한 임의의 크기로 자른 후 기하보정을 실시한다(본 연구에서는 가로 10 km × 세로 10 km인 정사각형 형태로 추출하였다). 그 후, 공기 중의 먼지나 미세 알갱이로 인한 노이즈 제거를 위하여 메디안 필터를 이용한 노이즈 제거 작업을 실시한다. 참고로, 본 연구에서는 Landsat-7의 전 가시영상을 활용할 계획이므

로 밴드1, 밴드2 그리고 밴드3에 대한 자료를 분석하였다.

끝으로 각각의 이미지에 대한 개별적인 전처리를 수행한 후에는 각기 다른 날에 촬영된 영상들의 기준화를 위하여 기후조건과 카메라 각도 차이 등의 보정작업을 수행한다. 즉, 각 밴드의 CCT값을(본 논문에서는 각각의 밴드가 가지고 있는 256단계의 색도를 CCT값이라고 칭하였다) 기상변화나 카메라 앵글의 차이에 영향을 받지 않는다고 판단한 기준점들 간의 상관식에 따라 특정 기준일에 맞게 그 외의 모든 영상을 변환한다.

Fig. 4는 2002년 7월18일에 촬영되어진 영상의 밴드1, 밴드2 및 밴드3의 CCT값을 2003년 5월9일에 촬영되어진 영상의 각각의 밴드를 기준으로 기준화하기 위한 상관관계를 보여준다. 이와 동일한 방법을 다른 9개의 영상에도 적용함으로써 촬영일이 다른 위성영상의 해석이 가능하였다.

Fig. 5는 Landsat-7이 2002년 7월 18일에 제공한 위성영상의 각각 밴드별 탁수와와의 상관성을 파악하기 위하여 수행한 RGB 밴드별 상관관계 분석결과이다. 분석을 위하여 연구 대상지역을 하구부근, 하구근해, 바다근해 그리고 심해부분의 4구역으로 분리하였다. 분석 결과 Fig. 5의 가장 우측 그림에 나타낸 바와 같이 밴드2와 밴드3의 조합이 탁수의 거동 표현에 가장 적합함을 알게 되었다. 이러한 결과에 따라 본 연구에서는 각 영상의 밴드2 와 밴드3을 활용한 영상 해석을 수행하였다.

3.3 위성영상과 탁도와의 상관관계 도출

앞 절에서 결정한 방법으로 위성영상을 탁도 분포로 변형하기 위해서는 위성영상의 밴드2와 밴드3과 만에서의 현장조사를 통하여 축적한 탁도와의 관계 규명이 필요하다. 본 연구에서는 최소 자승법을 이용하여 Eq. (2)와 같이 3차 함수 형태의 위성영상과 탁도와의 관계를 유추하였다.

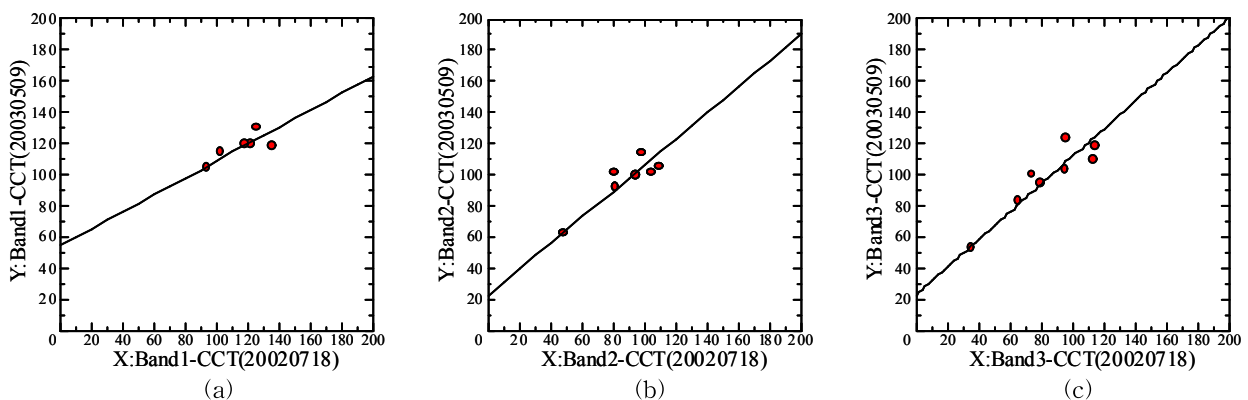


Fig. 4. Normalization of CCT Values

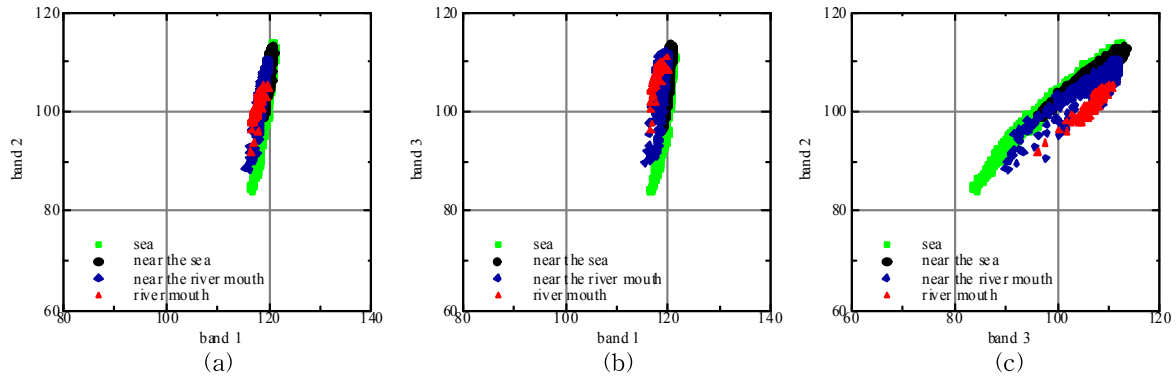


Fig. 5. Relationship between Band1, Band2 and Band3

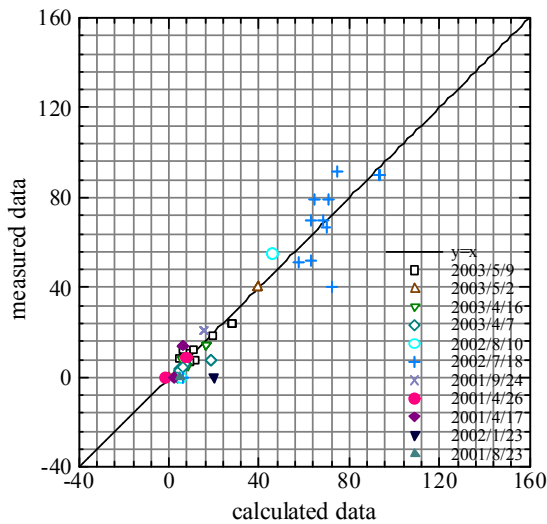


Fig. 6. River Mouth Turbidity Estimated by the Regression Equation

$$\begin{aligned}
 Trb. = & C + a_1 \cdot B_2 + a_2 \cdot B_3 + a_3 \cdot B_2 \cdot B_3 + \\
 & a_4 \cdot B_2^2 + a_5 \cdot B_2^2 \cdot B_3 + \\
 & a_6 \cdot B_2 \cdot B_3^2 + a_7 \cdot B_3^2 + \\
 & a_8 \cdot B_2^2 \cdot B_3^2 + a_9 \cdot B_2^3 + a_{10} \cdot B_3^3
 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, Trb.는 탁도, B2는 밴드2의 CCT값, B3은 밴드3의 CCT값, C는 상수 그리고 a1~a10은 각항의 계수이다.

최소 자승법으로 구한 정수 및 계수는 각각 $C=3232.79$, $a_1=55.82$, $a_2=-246.04$, $a_3=7.58$, $a_4=-3.54$, $a_5=-0.087$, $a_6=0.029$, $a_7=-0.23$, $a_8=9.26 \times 10^{-5}$, $a_9=0.039$, $a_{10}=-0.012$, $a_3=7.58$, $a_3=7.58$ 이다. 현지 관측이 수행된 지점에 대한 CCT값을 탁도로 변환한 결과와 실측자료를 비교한 결과는 Fig. 6과 같다. 각 영상에서 추정된 계산 값과 현지관측으로부터 얻은 측정값이 매우 좋은 일치를 보여주고 있으며, 이러한 결과로부터 본 연구에서 제안한 위성영상의 밴드2와 밴드3을 이용한 영상 해석의 기법은 신뢰성이 높다고 사료된다.

4. 위성영상 변환

4.1 기준화 식에 의한 위성영상의 변환

앞장에서의 전처리 과정을 통하여 위성영상을 만에서의 염분분포로 변환할 준비가 되었다. 본 장에서는 전처리가 완료된 영상의 변환과정을 자세히 설명하고 그 결과를 제시한다. 영상분석의 일례로서 2002년 7월 18일에 촬영된 위성영상으로부터 염분분포를 구하는 과정을 제시하였다. 앞 절에서 설명한바와 같이 2003년 5월 9일의 위성영상을 기준으로 가시영역 전 밴드인 밴드1, 밴드2 그리고 밴드3에 대하여 모든 영상에 공통으로 존재하는 기준점을 선정하고, Eq. (3)과 같이 기준점별 상관식을 산출하였다.

$$\text{Band1: } Cn1 = 54.36 + 0.54 \cdot CCT1$$

$$\text{Band2: } Cn2 = 22.91 + 0.84 \cdot CCT2 \quad (3)$$

$$\text{Band3: } Cn3 = 22.85 + 0.89 \cdot CCT3$$

여기서, Cn은 기준화된 CCT값이다. 그리고 첨자 1, 2, 3은 위성영상의 각 밴드를 의미한다. 즉 2002년 7월 18일에 촬영된 위성영상 중 Band1의 각 픽셀별 수치를 Eq. (3)의 제일 위에 제시한 식 Band1의 CCT1에 대입하면 Cn1을 구할 수 있다. 모든 픽셀에 대한 각 밴드별 변환은 프로그램을 통하여 수행하였다.

4.2 상류의 탁도자료를 활용한 탁도와 염분의 상관성 파악

앞 절에서 설명한 방법으로 위성영상이 취득되어진 날의 하구(담수와 염수가 만나는 지점)에서의 탁도를 산정하기 위하여 도달시간 산정 후 하천상류의 관측소에서 모니터링한 탁도를 확보한다. 그리고 이렇게 확보된 각각의 위성영상 촬영일에 대한 하구에서의 탁도는 상관식의 X절편으로 대입하고 심해에서의 염분농도값 33을 모든 식

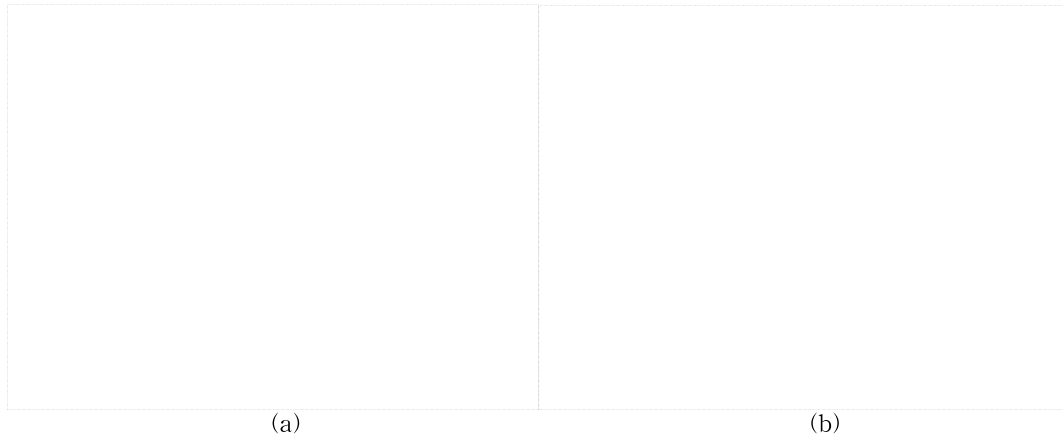


Fig. 7. Measured Temperature, Turbidity and Salinity Data at the Bay

의 Y절편에 대입함으로써 염분과 탁도의 관계도출이 가능하다. Eq. (4)에는 이렇게 취득 한 2002년 7월 18일의 탁도와 염분의 관계식을 나타내었다.

$$Sa = 33.0 - 0.37 \cdot Trb. \quad (4)$$

여기서, Sa는 연구 대상지의 표층으로부터 수심 50 cm까지의 염분농도이고, Trb.는 하구에서의 탁도이다.

Eq. (4)에 대한 신뢰성은 2007년 7월 18일에 측정된 현지관측 결과를 통하여 검증하였다 (Fig. 7). 그림의 좌측은 하구로부터 약 1.5 km 떨어진 만에서의 수온, 탁도 및 염분의 연직분포를 보여준다. 수온은 화씨온도로써 degree로 표현하였으며, 탁도는 두 종류의 관측장비 중, 연직방향 관측에 사용된 다항목 수질계는 ppm 단위가 적용되었으며 표층관측에 사용된 탁도계에는 FTU (Formazine Turbidity Units) 단위가 사용되었다. 본 논문에서는 실내 실험을 통하여 FTU와 ppm의 상관관계를 조사한 후 ppm으로 모든 자료를 통일하였다. 또한 염분 측정에 사용된 염분계는 전기전도도를 측정하여 염분으로 환산하는 방식의 관측장비이며 단위는 Practical Salinity Unit의 줄임말인 PSU를 사용하였다. Fig. 7은 바다로 유입된 담수가

밀도가 높은 염수 위로 미끄러지듯 퍼져가고 있는 상황을 보여주고 있으며, 담수와 염수가 활발하게 혼합되는 경계 수심은 표층으로부터 약 2m 부근임을 알 수 있다. 또한 우측의 그림은 수심 약 50 cm 지점에 센서를 장착하고 배가 관측지점을 이동하며 측정한 탁도와 염분의 상관관계를 보여준다. 결정계수가 0.86으로 비교적 양호한 상관성을 보여주고 있으나 염분농도가 약 3~16 psu 사이에서는 상관성이 미약함을 알 수 있다.

4.3 만에서의 염분분포

다음은 마지막 단계로서 탁도와 염분의 관계를 이용한 위성영상의 변환 작업이다. 앞장의 Eq. (3)을 이용하여 구한 Cn2와 Cn3을 Eq. (2)의 B2와 B3에 대입하면 위성영상의 각 픽셀을 탁도로 변환할 수 있으며 각각의 픽셀이 모여 연구 대상지의 탁도분포를 제공한다. 또한 각 픽셀의 탁도를 Eq. (4)의 Trb.에 대입함으로써 Sa를 구할 수 있으며, 이렇게 구한 각 픽셀별 Sa를 하나의 영상으로 표현함으로써 만에서의 염분분포에 대한 추정이 가능하다. Table 1은 2002년 7월 18일에 촬영된 영상을 염분분포로 변환하는 과정에서 계산된 Calculated Turbidity와 Calculated

Table 1. Comparison between Calculated Results and Field Data

Station	Measured Turbidity (ppm)	Calculated Turbidity (ppm)	Measured Salinity (psu)	Calculated Salinity (psu)
1.5 km far from river mouth	66.59	69.62	10.30	7.24
2.5 km far from river mouth	69.97	68.46	7.01	7.67
4.5 km far from river mouth	79.23	70.96	2.89	6.74
5.5 km far from river mouth	50.96	57.46	4.07	11.74
7.0 km far from river mouth	91.61	74.57	8.28	5.41
R^2		0.87		0.17

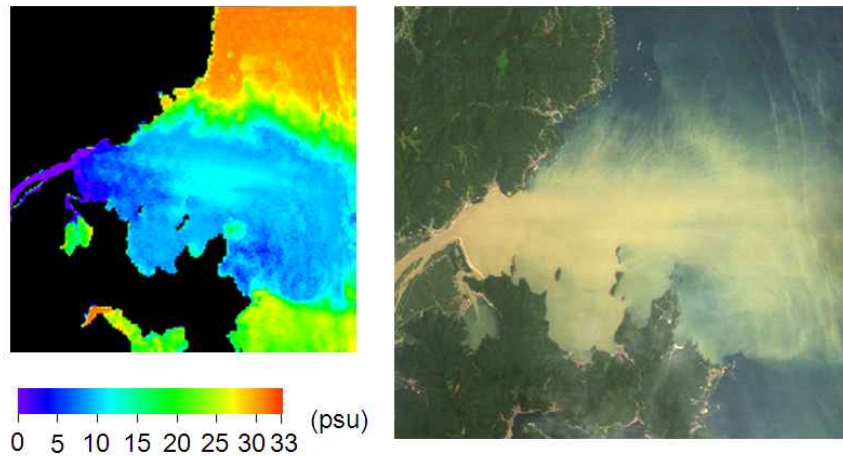


Fig. 8. Estimated Salinity Distribution Using Upward Turbidity Data

Salinity를 실측자료와 비교한 결과이다. 하구로부터 1.5, 2.5, 4.5, 5.5 그리고 7.0km 떨어진 만에서의 관측지점별 픽셀자료를 제시하고 비교하였다. 비교 결과, 탁도에 대한 실측치와 계산치는 결정계수가 0.87로서 비교적 양호한 선형관계를 보여주고 있다. 한편, 최소 2.89 psu로부터 최대 11.74 psu까지 담수에 가까운 염분분포를 보여주는 지점별 염분농도에 대한 실측치와 계산치의 결정계수는 0.17로 나타났다. 이러한 경향은 Fig. 7의 우측에 제시된 현지관측 결과에서도 나타난바와 같이, 만이라는 넓은 대상지에서의 지점별 자료 분석의 한계에 기인한다고 판단된다. 따라서 전체적인 염분분포에 대한 신뢰성 평가는 Eq. (4)에 제시된 탁도와 염분간의 기울기 -0.37 과 Fig. 7의 우측에 제시된 관측결과에 대한 추세선의 기울기 -0.36 에 의한 판단이 타당하다고 사료된다. Fig. 8은 이러한 과정을 통하여 제시된 2002년 7월 18일 Oppa만에서의 염분 분포이다.

5. 결론

본 연구에서는 하구를 통하여 만으로 유입된 담수의 분포를 위성영상의 RGB밴드와 탁도의 상관성을 이용하여 분석하였다. 또한 만에서의 염분과 탁도의 상관성을 파악하기 위하여 상류의 관측소에서 취득한 탁도 자료를 활용하는 방안을 제시하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째 LANDSAT-7/ETM+ 위성이 제공하는 가시영역인 RGB밴드와 탁도의 변별력을 평가하기 위하여 만을 4개 구역으로 분할하여 비교하였으며, Band2와 Band3의 조합을 통한 3차합수 형태가 가장 효과적으로 탁도의 거동을 재현할 수 있음을 알 수 있었다. 둘째 담수와 염수가 만나는 하구에서의 탁도 자료를 확보하기 위하여 하구에서의 실측이 아닌 상류 관측소

에서 측정된 자료의 활용방안을 제시하였다. 관측소로부터 하구까지의 도달시간을 계산한 후 하구에서의 탁도를 추정하였으며 실측자료와의 비교 검증을 통하여 기법의 신뢰성 또한 확보하였다.

셋째 위성영상의 변환을 통하여 제공된 만에서의 염분 분포를 동일 지점에서 취득된 실측자료와 비교한 결과 상관성이 높지 않았으나, 실측자료의 추세선과 상류에서 취득된 탁도 자료를 이용하여 염분분포로 환산하기 위한 관계식의 기울기는 거의 일치하였다. 이러한 결과는 넓은 조사지역의 특성을 고려해 볼 때 비교적 신뢰할만한 결과를 제공하였다는 판단이 가능하다고 사료된다.

본 연구에서 제시한 위성영상을 활용한 수자원 관리방안은 현지관측에 어려움이 예상되거나 비교적 광역의 대상지에 대한 조사 및 평가에 유용하다고 사료된다.

참고문헌

- 박근애, 이미선, 김현준, 김성준 (2004). “항공사진을 이용한 하천형태 및 하천부지 변화추세 분석.”, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제5D호, pp. 815-821.
- 이민부, 김남신, 이광률, 한욱 (2005). “위성영상을 이용한 대동강과 재령강의 하도변화 분석.”, **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제12권, 제1호, pp. 91-102.
- 이현석, 이근상 (2008). “도시하천의 지형태 자료와 영상정보를 이용한 수체적 시험평가.”, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제28권, 제3D호, pp. 445-450.
- 장동호 (2005). “고해상도 위성영상을 이용한 홍수 전후의 하도내 퇴적환경 변화탐지.”, **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제12권, 제3호, pp. 49-58.
- 조명희 (2005). “위성영상과 GIS를 이용한 북한서한만 지

- 역의 간석지 분광특성 및 변화탐지.”, **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제8권, 제2호, pp. 44-54.
- Fonstad, Mark A., and Marcus, W.A. (2005). “Remote sensing of stream depths with hydraulically assisted bathymetry (HAB) models.”, *Geomorphology*, Vol. 72, pp 320-339.
- Handcock, R.N., Gillette, A.R., Cherkauer, K.A., Kay, J.E., Burge, S.J., and Kampf, S.K. (2006). “Accuracy and uncertainty of thermal-infrared remote sensing of stream temperatures at multiple spatial scales.”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 100, pp 427-440.
- Ishikawa, T., Kudo, K., Sakai, Y., Irie, M., Lee, H., and Tanaka, S. (2004). “On the salinity decrease in Oppa Bay caused by a snow-melt freshet from Kitakami River.”, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, Vol. 48, pp. 1225-1230.
- Kudo, K., Takasaka, K., Tanaka, S., and Ishikawa, T. (2002). “Behavior of snow melt freshet in Oppa Bay from Kitakami River.”, *Proceedings of Coastal Engineering*, JSCE, Vol. 49, pp. 361-365.
- Lee, H., Kim, Y., Lee, G., Seo, J., Yang, J., and Kwon, H. (2008). “Introduction of Hydraulic Field Investigation Method to Utilize on the Inhabitation Environment Definition at a River.”, *Korean Journal of Limnology*, Vol. 41, No. 4, pp. 547-553.
- Marcus, W.A., Legleiter, C.J., Aspinall, R.J., Boardman, J.W., and Crabtree, R.L. (2003). “High spatial resolution hyperspectral mapping of in-stream habitats, depths, and woody debris in mountain streams.”, *Geomorphology*, Vol. 55, pp. 363-380.

논문번호: 09-118	접수: 2009.10.15
수정일자: 2010.09.27/2010.12.28	심사완료: 2010.12.28