

# 탁수의 remote reflectance 모델과 부유물 알고리즘 개발

안유환\*, 문정언  
한국해양연구소 해양물리연구단  
yhahn@kordi.re.kr

위성에 의한 탁수 원격탐사 알고리즘 개발을 위하여 탁수발생 해역의 remote reflectance를 광합성 색소인 클로로필, 부유물, 용해유기물 농도 등으로 모델화 하였다. 반사도 모델 검증하기 위하여 현장의 관측 값과 비교하였으며, 반사도 모델에 의한 알고리즘과 현장에서 얻어진 통계적 관계와 비교하였다. 모델의 탁도 알고리즘과 현장의 탁도 알고리즘 사이에는 조금의 차이가 있었으나 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 개발된 알고리즘을 SeaWiFS 위성자료에 적용하여 한 반도 주변해역의 해수 탁도를 분석한 결과 현장 관측치와 잘 일치하는 아주 우수한 결과를 보여주었다.

## 1. 서론

연안해역이나 해양에서 부유물 분포는 표층수의 이동의 좋은 tracer로 이용될 수 있다. 특히 연안 하구에서 담수의 유입에 따른 육지의 부유사의 퇴적과 퇴적물의 이동 경로 규명과 오염물의 이동 경로 파악에도 좋은 자료가 된다. 해양환경에서 수질 등급판정에서 훌륭한 지표가 될 수 있으며 연안 양식 및 어장환경의 파악에도 필요한 정보이다. 해수 탁도 알고리즘은 기존의 전통적인 방법으로 2 bands ratio 알고리즘을 사용하여 왔다. 사용 파장대는 440nm와 550nm의 비 값을 현장의 부유물 농도 관측자료와 상관 관계 식을 도출하여 사용하였다. 그러나 최근의 Ahn *et al.*(1997)의 연구 결과에 의하면 2 band ratio 알고리즘은 그렇게 좋은 결과를 얻을 수 없다는 연구 결과가 주목을 받았다. 본 연구에서는 앞의 연구결과를 바탕으로 탁도 원격탐사의 새로운 알고리즘을 개발하는 과정과 연구 결과를 제안할 것이다. 그리고 여기서 개발되는 모델은 우리의 연안에서 현장 관측된 결과이므로 CASE-II water 알고리즘에 가깝다고 볼 수 있다.

## 2. Remote reflectance 모델

다음의 모델 전개는 모델을 가능한 단순하게 하기 위하여 센서의 viewing angle이 수직 점 아래를 보며, 하늘의 상태는 맑고 태양의 고도 및 위치는 항상 일정한 시점인 정오 근처일 때를 가정한 것이다. 해수의 반사도는 해수의 광 고유특성(beam absorption and backscattering coefficient)에 연결된

다.

$$R = f \frac{b_b}{a} \quad (1)$$

위에서 R은 irradiance reflectance(일반 적인 반사도)이며  $b_b$ 는 해수내 모든 물질에 의한 총 역산란계수이며  $a$ 는 총 흡광계수이다. 그리고  $f$ 는 해수나 태양의 고도 등 광학적 환경에 따라 가볍게 변하는 상수이다. Irradiance reflectance는 downwelling irradiance와 upwelling irradiance의 비 값으로 다음과 같이 정의된다.

$$R(0^-) = \frac{E_u(0^-)}{E_d(0^-)} = Q_u \frac{L_u}{E_d(0^-)} = 0.95 Q_u \frac{L_u}{E_d(0^+)} \quad (2)$$

위 식에서  $0^-$ 는 해수면 바로 아래를 의미하며,  $L_u$ 는 해수면 바로 아래서 얻어지는 upwelling radiance이다.  $Q_u$ 는  $E_u/L_u$ 의 비 값이며,  $E_d(0^-) = (1 - \rho) E_d(0^+)$ 로 주어진다.  $\rho$ 의 값은 태양 직사 광과 하늘의 산란광인 blue sky의 irradiance에 의한 평균 Fresnel reflectance로 하늘의 구름상태, 해수면 상태, 태양고도 등에 따라 달라질 수 있지만 위성자료가 쓸모 있을 정도의 하늘의 구름상태라면 정상적으로 맑은 날이다. Morel and Gentili (1996)는 이 값을 약 4 - 5% 정도라고 하였다. 실제 지중해의 해양에서 관측한 결과에 의하면 최대 15%에서 최저 5% (하늘이 맑은 경우) 정도로 측정되었다 (Ahn의 미발표 연구 결과). 본 연구에서는 5%를 모델에 채택하였다.

Remote reflectance ( $R_{rs}$ )의 물리적 의미는 반사도가 아니다( $sr^{-1}$  단위가 있기 때문). 그러나 위성에서 얻어질 수 있는 반사도와 유사한 단위이다. 편의상 정의는 해수면 밖에서의 water leaving radiance ( $L_w$ )를 해수에 입사하는 downwelling irradiance ( $E_d$ )로 나누어 준 값을 의미한다. 우리는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{rs} = \frac{L_w}{E_d} = \frac{L_w N}{F_o} \quad (3)$$

$$L_w = 0.545 L_u \quad (L_u = 1.83 L_w)$$

그러므로 위 식 (1), (2)와 (3)을 이용하면 다음과 같은 식으로 전환할 수 있다.

$$R_{rs} = \frac{1}{1.74} \frac{f}{Q_u} \frac{b_b}{a} \quad (4)$$

위 식에서  $b_b$ 는 해수내의 총 역산란 계수이며  $a$ 는 해수 내의 총 흡광계수이다. 해수의 반사도 모델에서는 해수 성분을 5개로 구분하였다. 그리고  $f/Q$ 의 비 값은 상수가 아니며 하늘과 해수의 광학적 환경에 따라 변하는 복잡한 환경 변수이며 상황에 따른 정확한 값을 알기는 어렵다. 그러나 정상적인 해수인 경우  $f$  값은 0.32 - 0.35 정도이며  $Q$  값은 upwelling인 경우와 downwelling인 경우에 값이 다르기는 하나 약 3.5 - 6정도가 된다. 그러므로 이 비 값은 대략 0.05에서 0.10정도에 이른다. Morel and Gentili (1996)의 computer simulation에 의한 연구결과에 의하면 이 비 값은 최저 평균 0.075에서 최대 0.095 정도를 얻었다. 우리는 여기서 0.085을 평균치로 인정하면 모델링에 크게 문제가 되지 않을 것으로 보며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$R_{rs} = 0.046 \frac{b_b}{a} \quad (5)$$

본 모델은 해수의 remote reflectance를 해수의 고유특성으로 간략하게 표현 한 것으로 상수 0.046은 실제 현장환경에서는  $\pm 0.06$  정도 변화될 것으로 사료된다. 위 식에서 흡수와 역산란의 개개 성분은 다음과 같은 물질의 비 흡광 및 역산란 계수로 다시 연결하였다 (Ahn, 1999).

- ① 해수 (w)
- ② phytoplankton (ph)
- ③ Non chlorophyllous particle (NC)
- ④ Dissolved organic matter (dom)
- ⑤ heterotrophic plankton (he)
- ⑥ unknown components (?)

현장이나 모델로부터 얻어진 Remote reflectance는 식 (3)을 사용하여 Normalized water leaving radiance ( $nL_w$ )로 변경되었다. 그리고 알고리즘은  $R_{rs}$ 나  $nL_w$ 으로 개발하였다.

### 3. 결과 및 토의

Fig. 1은 연안 해양에서 탁수 해역에서 관측되는 해수의 탁도 농도, 클로로필 농도 및 용해 유기물 농도를 모델에 입력하여 얻은 해수의 원격 반사도 스펙트럼이다. 본 반사도 스펙트럼에서 몇 개의 band (444nm, 555nm, 670nm 등)에서의 값과 입력 값의 관계를 도출한 결과 670nm에서 가장 상관도가 높은 식을 얻을 수 있었다.

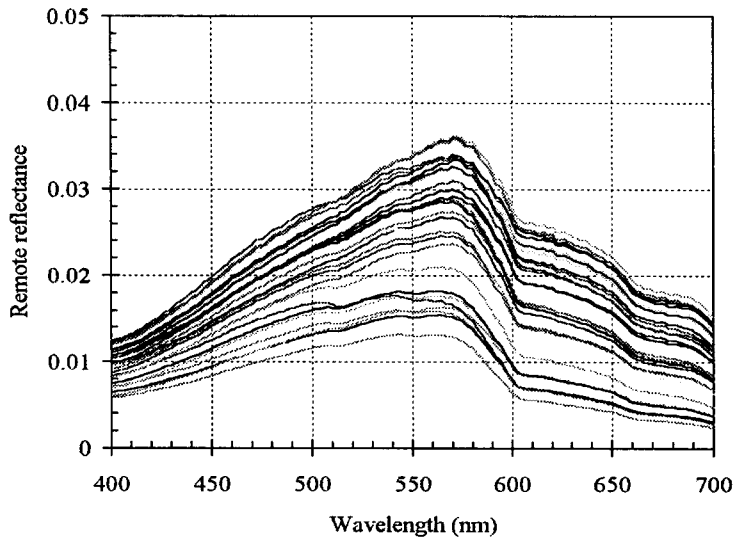


Fig. 1. 모델에 의하여 생산된 해수의 원격반사도 스펙트럼. 모델에 입력된 부유 입자의 농도는  $5 - 50\text{g/m}^3$ 이며, 클로로필 농도는  $0.1 - 2\text{mg/m}^3$  임.

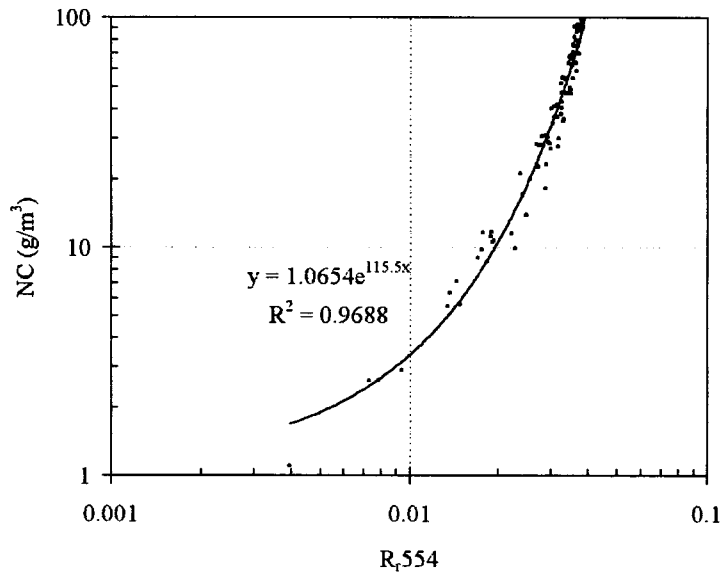


Fig. 2. 모델을 통하여 얻어진 해수의 원격반사도 값(554nm)과 해수중 비 클로로필성 입자(NC) 농도와의 상관 관계. 555nm는 부유입자 해석 원격탐사에서 이상적인 band 임을 보여줌.

다음은 555nm였다. 그러나 670nm는 해수의 탁도가 높은 경우에만 실질적으로 사용 가능한 band이므로 555nm가 실용적인 band로 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 555nm에서 반사도 값과 입력된 부유물 농도와 비교한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 3은 현장과 모델에서 얻은  $nL_w(555nm)$ -부유입자(NC)의 상관도를 보여준다. 얻어진 알고리즘은 다음과 같다.

$$NC[g/m^3] = 3.99 [nL_w555]^{1.13} \quad (\text{현장관측}) \quad (6)$$

$$NC[g/m^3] = 0.74 [nL_w555]^{2.30} \quad (\text{모델}) \quad (7)$$

모델과 현장관측에 의한 통계 식과는 차이가 난다. 그렇지만 근본적인 차이는 크게 나지는 않는다. 우리는 이들 두 식이 현재로는 어느 것이 더 정확한지는 단정을 지을 수는 없다. 그 이유는 우리가 관측한 해역이 주로 연안에서만 수행되었기 때문이다. 우리는 본 연구자료에는 넣지는 않았지만 비공식 동해의 자료에 의하면 결과 회귀선은 오히려 모델에 가까운 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로 현재는 좀더 많은 현장관측 자료가 필요하다고 사료된다.

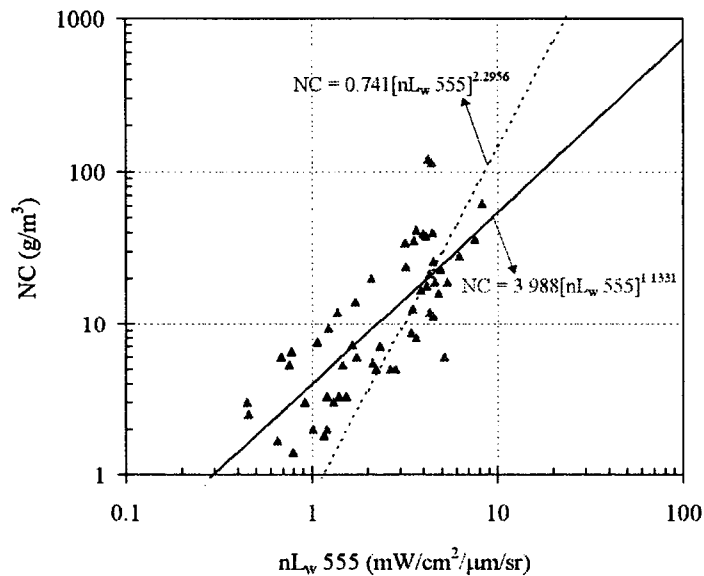


Fig. 3. 모델과 현장관측으로부터 얻어진 해양의 부유물 농도-해수의  $nL_w$ 와의 상관관계 알고리즘 비교 (점선이 모델로부터 얻어진 것임).

#### 참고문헌

Ahn Y. H., 1999. Development of an inverse model from ocean reflectance. *Marine Technology Society Journal*. Vol 33. No. 1 69 -80p.

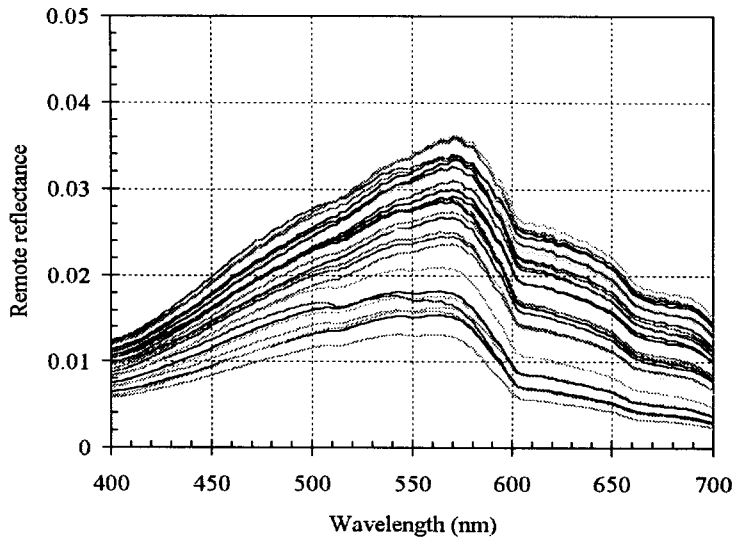


Fig. 1. 모델에 의하여 생산된 해수의 원격반사도 스펙트럼. 모델에 입력된 부유 입자의 농도는  $5 - 50\text{g/m}^3$ 이며, 클로로필 농도는  $0.1 - 2\text{mg/m}^3$  임.

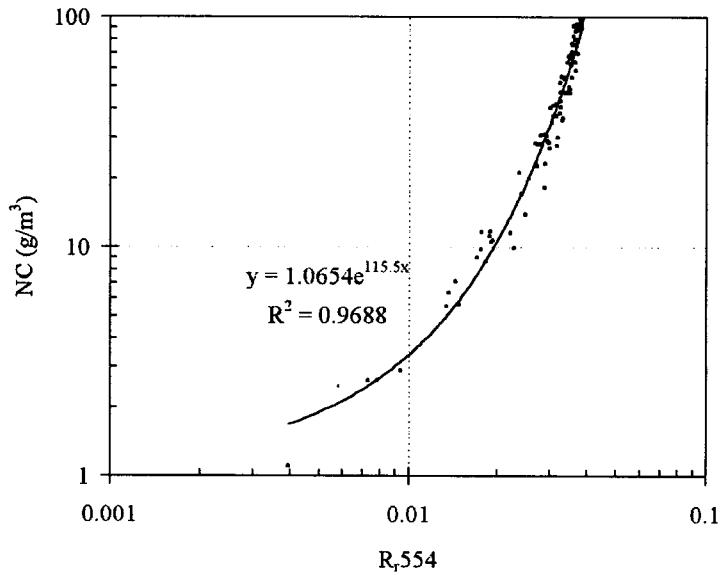


Fig. 2. 모델을 통하여 얻어진 해수의 원격반사도 값(554nm)과 해수중 비 클로로필성 입자(NC) 농도와의 상관 관계. 555nm는 부유입자 해석 원격탐사에서 이상적인 band 임을 보여줌.

다음은 555nm였다. 그러나 670nm는 해수의 탁도가 높은 경우에만 실질적으로 사용 가능한 band이므로 555nm가 실용적인 band로 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 555nm에서 반사도 값과 입력된 부유물 농도와 비교한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 3은 현장과 모델에서 얻은  $nL_w(555nm)$ -부유입자(NC)의 상관도를 보여준다. 얻어진 알고리즘은 다음과 같다.

$$NC[g/m^3] = 3.99 [nL_{w555}]^{1.13} \quad (\text{현장관측}) \quad (6)$$

$$NC[g/m^3] = 0.74 [nL_{w555}]^{2.30} \quad (\text{모델}) \quad (7)$$

모델과 현장관측에 의한 통계 식과는 차이가 난다. 그렇지만 근본적인 차이는 크게 나지는 않는다. 우리는 이들 두 식이 현재로는 어느 것이 더 정확한지는 단정을 지을 수는 없다. 그 이유는 우리가 관측한 해역이 주로 연안에서만 수행되었기 때문이다. 우리는 본 연구자료에는 넣지는 않았지만 비공식 동해의 자료에 의하면 결과 회귀선은 오히려 모델에 가까운 결과를 얻을 수 있었다. 그러므로 현재는 좀더 많은 현장관측 자료가 필요하다고 사료된다.

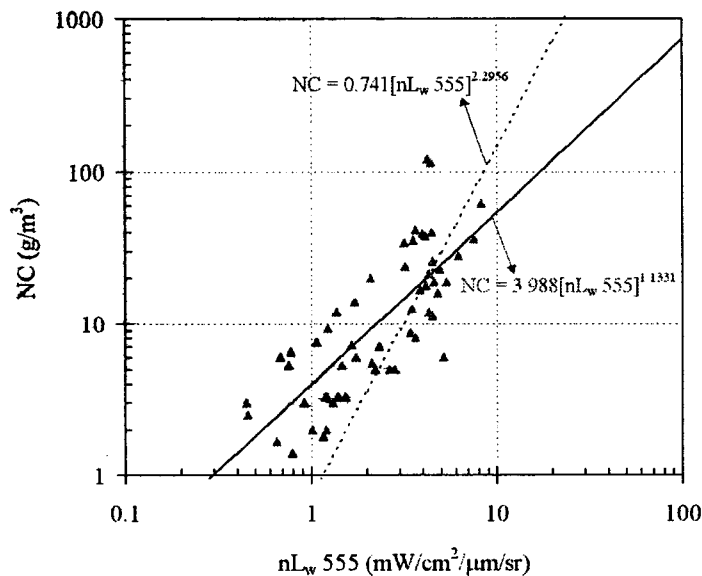


Fig. 3. 모델과 현장관측으로부터 얻어진 해양의 부유물 농도-해수의  $nL_w$ 와의 상관관계 알고리즘 비교 (점선이 모델로부터 얻어진 것임).

#### 참고문헌

Ahn Y. H., 1999. Development of an inverse model from ocean reflectance. *Marine Technology Society Journal*. Vol 33. No. 1 69 -80p.