

연안에서의 연직방향 관측 농도분포 해석 Interpretation of Measured Vertical Concentration Profiles in Coastal Zone

조범준¹, 조홍연², 정경태³
 Bum Jun Cho¹, Hong Yeon Cho² and Kyung Tae Jung³

1. 서 론

일반적으로 공학에서는 세 가지 문제형태가 있다(Table 1.1 참조). 해석문제(Forward Problem)는 모든 입력자료가 제공된 상태에서 시스템(모델)을 이용하여 결과(출력)를 제시하는 과정을 따르지만, 역산문제(Inverse Problem)는 관측된(제공된) 출력자료와 시스템(모델)으로부터 모형 입력자료를 역산으로 추정하는 방법이다. 이 방법은 실질적으로 모형 입력자료 관측이 곤란한 경우 또는 출력자료의 체계적인 관측이 가능한 경우에 다양하게 이용되고 있다. 연안·항만공학 분야에서 이용되는 사후예측(Hindcasting), 현재예측(Nowcasting) 그리고 사전예측(Forecasting) 문제는 공학적으로 분류하면, 모의(Simulation, 다양하게 예상 가능한 경우[제공되는 입력조건]

에 대한 예측) 문제에 해당한다.

일반적으로 육안이나 기계를 통하여 자연현상의 상태, 추이 및 변화를 관찰하여 측정하는 것이 관측이다. 앞에 설명된 바와 같이 모든 입·출력자료는 직접 또는 간접적으로 관측을 통해서 알 수 있다. 예를 들어, 연안해역에서의 수온, 염도, 수심 및 DO 농도 등은 직접적으로 관측을 할 수 있다. 그러나, 대기로부터의 오염부하량, 퇴적물로부터의 오염부하량, 수층 내에서 반응 및 확산계수 등은 직접적으로 관측을 할 수 없다(Table 1.2참조). 한편, 퇴적물로부터의 오염부하량은 입자성 오염물질이 침전되어, 퇴적물을 오염시키고, 오염된 퇴적물에서 오염물질이 용출되는 과정을 포함한다. 일반적인 방법은 오염된 퇴적물을 채취하여 실험실에서 용출되는 오염물질의 농도변화를 관측하여 추정하는 방법이 사용

Table 1. Classification of the Engineering Problems(Lee, 2000)

Problem Type	Input Information (Model Parameters)	System (Model)	Output Information	Remarks
Prediction	Known	Known	Unknown	General Problem Type (Simulation) Forward Problem
Identification	Known	Unknown	Known	Model Building (Development)
Estimation	Unknown	Known	Known	Inverse Problem (Backward)

¹발표자: 한국해양연구원 연안개발연구본부 연수연구원

²한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원

³한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원

되고 있으나, 현장여건을 그대로 반영할 수 없다는 점, 실험비용 및 인력소모가 크다는 점이 단점으로 대두되고 있다. 또한, 오염물질의 용출율은 수온, 수층의 오염도 및 퇴적물의 오염도에 의하여 큰 영향을 받기 때문에 오염물질 용출율에 의한 장기적인 오염부하량 관측이 곤란하다. 따라서, 퇴적물로부터의 오염부하량은 해당 오염물질의 반응식을 포함한 수치모형 또는 질량보존방정식을 구성하고, 구성된 방정식과 시계열 관측자료를 이용하여 추정하는 방법이 효율적이

다. 구성된 방정식은 미지수로 퇴적물로부터의 오염부하량, 반응계수, 확산계수, 그리고 필요한 경우 대기로부터의 오염부하량을 포함하고 있기 때문에 미지수보다 많은 방정식을 구성하면 방정식에 포함된 오염부하량을 이론적으로 추정할 수 있게 된다. 이 방법은 관측자료와 계산결과를 근접시키는 최적의 매개변수 추정과정을 통하여 필요한 오염부하량을 추정하는 기법으로 역산(Inverse) 문제에 해당한다(조, 2004).

Table 2. Comparison of the Direct and Indirect Observation

	직접 관측	간접 관측
장 점	환산과정에 따른 오차가 없음 관측인자(A)를 직접 관측	안정되고 관측이 수월 센서관측이 가능하며, 연속관측이 가능 관측이 수월한 관측인자(B)를 관측하여 관측인자(A)로 환산(환산식 이용)
단 점	관측이 어렵고 고비용 현장접근이 곤란한 경우, 관측 불가	신뢰성있는 환산과정이 필요 환산과정에 따른 오차 불가피
예 시	하천 오염부하량 - 수량, 수질 동시 관측 대기 오염부하량 - 대상 해역에서 강수량, 강수수질 및 분진 침전량 관측 저층 오염부하량 - 저층 퇴적물에서 오염 물질 용출농도 관측(외부영향 배제 필요) 이송·확산에 의한 물질 이동량, 확산계수 - 관측 곤란, 모형의 보정 및 검증에 의존	관측인자에 대한 적절한(신뢰성있는) 환산과정을 이용하여 추정 (예) 연속적인 오염물질의 연직방향 농도분포를 관측하여 추정

2. 연안해역에서의 연직방향 농도분포

연안해역에서 관측할 수 있는 항목들은 기상인자(기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 증발량 및 일사량 등)를 포함하여 수온, 수심, 염도, DO, SS, COD, TN, TP, pH 등 여러 가지가 있다. 이 항목 중에서도 수온, 염도, 부유사농도(SS) 및 DO 네 가지 성분들을 중심으로 계절별 및 시기별 일반적인 경향을 설명하기로 한다.

대체적으로 연안해역의 수온 성층화(표층과 저층의 온도차 3℃)는 보통 4월에 시작되어 10월에 종료되는 양상을 보인다. 해역의 성층여부를 판단하는 절대적인 온도차 기준은 제시되어 있지 않다. 그러나, 일반적으로 표층과 저층의 뚜렷한 온도차와 수온도약층의 존재는 성층화의 특성이므로 이와 같은 특성을 파악할 수 있는 정도로 사료되는 온도차 3℃ 조건을 본 연구에서의 수온

성층화 조건으로 제안하였다. 따라서, 하계일 때는 수온 성층화현상이 뚜렷하지만, 동계일 때는 표층과 저층에서의 수온차가 거의 없다(Fig. 1-a 참조).

유역의 유출 및 강우의 영향을 받는 염도는 정도의 차이는 있으나, 동계를 제외하고는 하계에는 성층화(표층과 저층의 염도차 3‰)가 나타난다. 염도차이에 의한 해역의 성층화를 판단하는 기준도 수온과 마찬가지로 제시되어 있지 않으므로, 본 연구에서는 수온 성층화 판단조건을 감안하여 약 3‰ 정도의 차이를 성층화 판단기준으로 제안하였다(Fig. 1-b 참조).

부유사(SS)의 연직방향 농도분포는 계절적 변화보다는 시기별 변화로 구분하여 설명하고자 한다. 평상시에는 표층과 저층에서의 변화가 거의 없고, 폭풍시에는 저층으로 갈수록 부유사농도가 용출되어 증가되는 경향을 나타낸다. 또한, 준설

및 매립 등의 외부요인으로 표층에서는 부유사농도가 증가되고, 중층에서는 감소되다가 저층에서 다시 부유사농도가 증가된다(Fig. 1-c 참조).

DO 농도를 변화시키는 요인은 대기 중의 공급(포기 및 광합성)과 저층퇴적물에서의 분해작용에 의한 산소소비작용으로 구분지을 수 있다. 특히, 저층 퇴적물에서의 분해작용은 수온상승에 따라 보다 활발하게 진행되기 때문에 하계 저층의 산소소비량은 증가하게 되며, 그 양은 저질의 오염도에 비례한다고 볼 수 있다. 또한, 하계에 강하게 발생되는 성층화의 영향으로 연직방향 산소공급이 차단되기 때문에 표층에는 용존산소가 풍부한 반면, 저층에는 산소가 부족·고갈되는 현상이 발생한다. 반면, 성층화가 약한 동계에는 연직방향으로의 물질교환이 활발하게 이루어지기 때문에 DO 농도가 연직방향으로 고르게 분포하는 양상을 보인다(Fig. 1-d 참조).

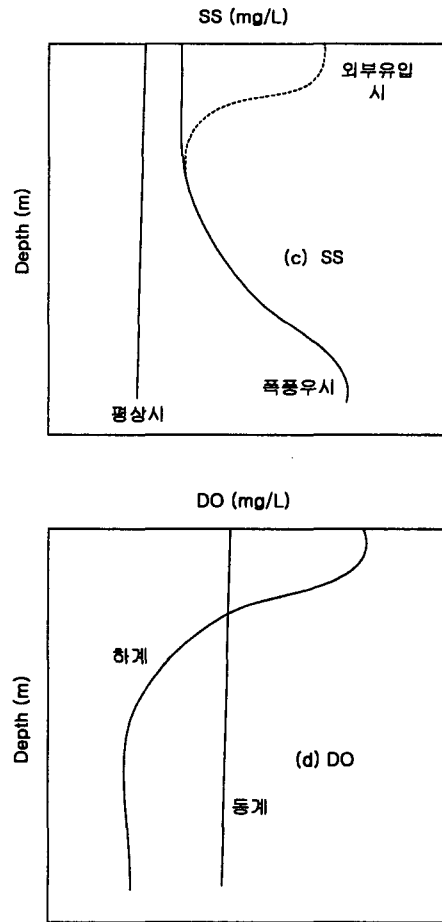
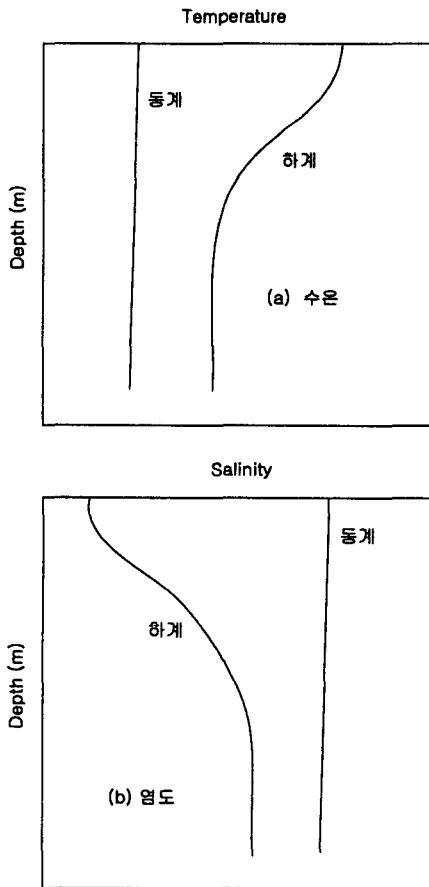


Fig. 1 General Trend of Measured Vertical Concentrations Profiles

특히, DO 농도변화는 전체적으로 연안해역의 수·저층오염도와 밀접한 관련이 있으며, 연안해역의 수질관리 매개변수로 DO 항목을 선정할 경우, 해역의 성층화현상과 병행하여 관리할 필요가 있다. 네 가지 농도성분에 영향을 미치는 중요한 인자를 살펴보자. 수온은 대기 중의 기온의 영향을 고려해야 하고, 염도는 수층 내에서 이동 및 반응과 밀접한 연관이 있다. 부유사는 외부유입시를 제외하고 퇴적된 상황에서의 용출과 수층 내에서 반응에 따라 농도분포가 다르고, DO는 대기 중에서의 공급, 수층 내에서의 반응 및 이동, 연직방향의 확산 및 저층에서의 미생물의 분해작용에 의해서 영향을 받는다. 이러한 중요한 인자들은 직접관측이 곤란하므로 매개변수화하여 간접적으로 추정할 수 있다.

3. 영향인자 추정방법

네 가지 농도성분에 영향을 미치는 중요한 인자들은 대기로부터의 농도부하량, 퇴적된 농도부하량으로부터의 용출량, 수층에서의 반응 및 이동에 의한 농도 변환량 및 연직 확산계수로 설명될 수 있다. 이러한 인자들은 직접적인 관측이 곤란하므로 네 가지 농도성분과 중요한 인자들을 포함한 질량보존방정식을 구성하여 역산문제(Inverse Problem)에 적용함으로써 간접적으로 인자들을 알 수 있다. 따라서, 네 가지 농도성분은 관측된 값이므로 기지수이고, 네 가지 중요한 인자들은 미지수에 해당된다. 역산이론은 물리탐사 분야에서 활발하게 적용되고 있으며, 해양 및 연안환경 분야에도 적용범위를 확장하고 있다(Bennett & McIntosh).

2001년 7월 25일 15시부터 7월 26일 10시까지 마산만에서 관측한 DO농도자료를 적용한 결과가 Fig. 2와 3이다. Fig. 2는 대기로부터의 DO 공급량(산소공급량과 광합성에 의한 공급량)이 시간에 따라 매우 민감하게 변화한다는 사실을 보여주었고, Fig. 3은 관측치와 계산치의 DO 농도가 일치하는 모습을 나타내고 있다.

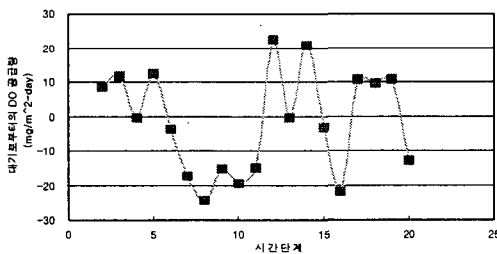


Fig. 2 대기로부터의 DO 공급량

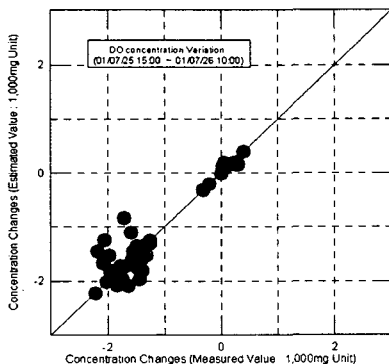


Fig. 3 관측치와 계산치의 DO 농도변화 비교

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 연안해역에서 관측 가능한 농도성분들의 계절별 및 시기별 일반적인 경향을 분석하였고, 이러한 농도성분을 이용하여 직접적으로 관측이 어려운 중요한 인자, 즉, 농도성분에 영향을 주는 원인이 무엇인가를 고려하여 간접적으로 추정할 수 있는 기법들을 설명하였다.

무엇보다도 여러 가지 농도성분들이 네 가지 주된 영향에 의해서 변화한다는 사실을 알 수 있었고, 역산문제를 이용하여 간접적으로 이러한 인자들을 추정할 수 있음을 보여주었다. 질량보존방정식에 입각하여 관측된 DO 농도와 계산된 DO 농도를 비교함으로써 일치함을 보여줬지만, 보다 더 이러한 추정기법의 우수성을 검증할 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 기본과제 “하구 관리 및 복원기술 개발 (PE-971-01)” 사업의 일환으로 추진되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Bennett, A.F. and McIntosh, P.C. (1982). Open Ocean Modeling as an Inverse Problem : Tidal Theory. *J. of Physical Oceanography*, 12(10), 1004-1018.
- Hensel, E. (1991). *Inverse Theory and Application for Engineers*. Prentice-Hall Inc.
- Lee, K. S. (2000). *Fundamental of Water Resource Systems*, SaeRon Publishing Co.
- 조흥연 (2004). 연안 오염부하량 관측 및 추정 기술, *해양정책·R&D 동향*, 한국해양연구원, 10월 제20호, pp. 21-25.
- 조범준 (2001). 역산문제를 이용한 관망에서의 누수탐지, 석사학위논문, 서울대학교
- 조범준 (2006). 역산이론에 의한 수질모형의 매개변수 추정, 박사학위논문, 원광대학교
- 조범준 (2006). 역산이론을 이용한 DO 모형 매개변수 추정, *한국해양공학회 춘계 학술발표논문집*