

## 자연자원관리를 위한 핵심도구: 적응관리

박영철·유재원\*·정수영\*·오태건\*\*·김종렬\*\*·최미경\*\*·최옥인\*\*

(주)뉴워터텍

\*한국연안환경생태연구소(주)

\*\*한국수산자원공단

### Adaptive Management: a key tool for natural resource management

Young Cheol Park<sup>\*</sup>·Jae Won Yoo<sup>\*</sup>·Su-young Jeong<sup>\*</sup>·Tae-Geon Oh<sup>\*\*</sup>·Jong Ryol Kim<sup>\*\*</sup>·Mi Kyung Choe<sup>\*\*</sup>·Ok-in Choi<sup>\*\*</sup>

New Water Tec Co. Ltd., Incheon, Korea

<sup>\*</sup>Korea Institute of Coastal Ecology Inc., Bucheon, Gyeonggi-do, Korea

<sup>\*\*</sup>Korea Fisheries Resources Agency, Busan, Korea

(Received : 08 July 2019, Revised: 08 September 2019, Accepted: 23 October 2019)

#### 요약

적응관리는 불확실성이 존재하는 상황에서 자연자원을 관리하는 최적의 관리방법들 중의 하나이다. 여러 가지 한계에도 불구하고, 자연자원 관리에 대한 정책 및 계획수립에 있어 적응관리방법 활용의 필요성은 국제적으로 증가하고 있다. 그러나 우리나라의 자연자원 관리분야에서는 적응관리의 활용사례가 매우 드물다. 본 연구에서는 적응관리의 정의, 절차, 장애요인들과 적용시 고려할 점에 대한 고찰 및 적응관리방법에서 필수적인 요소인 생태모델에 대하여 리뷰하였다. 또한, 적응관리의 도입이 권장되는 바다숲, 연안습지 및 수산자원관리분야에 적응관리방법을 적용할 경우 고려해야 할 사항들에 대하여도 고찰하였다.

핵심어 : 적응관리, 생태모델, 개념모델, 기술적 학습, 반복적 방법

#### Abstract

Adaptive Management (AM) is one of the best available approaches for managing natural resources in the presence of uncertainty. In spite of the limitations, AM has been widely applied in nature resource management policies and plans internationally, while application of AM in nature resource management in Korea is limitedly used. Accordingly, this study reviews application of AM in nature resource management research in Korea with respect to its definitions, procedures, impediments and considerations. The present study also reviews recent ecological modelling studies which is an essential component of AM approach. Finally, management of artificial sea forest, coastal wetlands and fisheries are suggested as the recommended fields to adopt AM.

Key words : Adaptive Management, Ecological model, Conceptual model, Technical learning, Iterative method

## 1. 서 론

적응관리 (Adaptive Management)는 자연자원을 관리하는 가장 효과적인 방법들 중의 하나로 특히 보호지역 관리와 같은 보전목적의 자연생태계 관리에서 널리 활용되고 있는 관리 방법이다. 적응관리는 자연자원에 대한 과거의 관리 경험 및 환경변화로부터 얻어지는 모델 수행결과에 따라 반복적으로 관리행위를 수정하는 방법이다.

자연자원이나 자연생태계를 효과적으로 관리하는 것은 매우 어려운 과제가 분명하다. 우리나라에서도 널리 사용되고 있는, 자연자원을 관리하는 가장 보편적 방법은 제한된 생태계

모니터링 결과를 바탕으로 정치 사회적 영향을 고려하여 관리 방안을 결정하는 방법이다. 그러나 종종 관리방안을 결정하는 과정에서 일부 전문가들의 주관에 따라 관리방안의 논리가 결정되거나 몇몇 이해당사자들의 주장에 따라 관리방안의 방향이 주도되어 최적화된 관리방안 도출에 한계가 노출되기도 한다. 또한 한번 결정된 관리방안은 변화하는 자연환경에 유연하게 기능할 수는 없는 커다란 단점을 가지고 있다. 적응관리는 이러한 일반적인 관리 의사결정 방법의 단점을 보완하기 위하여 제안되었다.

적응관리가 가장 먼저 활용된 분야는 수산자원관리 분야였다 (Holling, 1978; Waters & Hilborn, 1978). 수산자원관리는 자연자원의 관리 분야에서 매우 일찍부터 정량적인 관리방안 또는 통계-역학적인 관리지수들이 활용되어 온 분야라 할 수 있다. 수산자원은 산림이나 수자원 등과 같은 육상의 자연

<sup>\*</sup> To whom correspondence should be addressed.  
New Water Tec Co. Ltd., Incheon, Korea  
E-mail: ypark115@naver.com

자원처럼 쉽게 양적 변동을 관찰할 수는 없지만 인간의 생활에 직접적으로 영향을 미치는 천연의 재화로서, 오랜 전통을 지닌 수산업의 핵심 연구주제이다. 매우 다양한 수산자원 관리 모델들이 수산자원관리를 위하여 활용되어 왔지만 역사적으로 성공적인 관리실적을 보여준 예는 많지 않다. 이러한 이유로 Walters(1986)는 수산자원을 관리함에 있어 충분하지 못한 자료들을 사용해서라도 적응관리의 원리를 이용해야만 한다고 주장하였다. 다시 말하면, 자연생태계의 변동성, 불확실성, 비예측성 등의 특성들 때문에 수산자원을 비롯한 자연자원의 관리에는 적응관리의 원리를 따라야만 한다는 것이다. 수산자원의 관리에 있어서 적응관리방법 활용의 당위성은 Hilborn(1992)에 의해서도 강조되었다. 그는 수산자원 관리자들이 과거의 경험과 학습된 불확실성을 바탕으로 체계적인 수산자원 관리행위들을 개발하고 그 결과를 평가하는 체계를 갖추어야 한다고 역설했다(Hilborn, 1992).

적응관리의 기술적 영역은 2000년대에 들어서면서 자연자원이 가진 사회경제적 중요성이 강조됨에 따라 확대되어갔다. Failing et al.(2004)은 수력자원 관리를 위한 적응관리 옵션들을 평가하면서 의사결정과정에서 다양한 이해당사자들의 의견들과 전문가들의 의사를 실질적으로 결합하는 사례를 제시하였다. Sabine et al.(2004)는 적응관리의 방법상 모니터링과 정량적 예측모델들에 대하여 고찰하였고 단계적 방법론의 필요성에 대하여 정리하였다. Williams(2011a)는 자연자원의 적응관리방법에 대한 체계와 주요 요소들에 대하여 체계적으로 정리한 바 있다. 최근 들어 적응관리는 그 영역을 기후변화(Gregg et al., 2018) 및 수계관리(Kingsford et al., 2017; Webb et al., 2017) 등으로 더욱 넓혀가고 있다.

우리나라에서는 2011년부터 2015년까지 환경부 주관으로 도시생태계에 대한 적응관리 기법 개발 연구가 진행된 바 있다(MOE, 2016). 이는 도시생태계의 기후변화 적응성을 강화하기 위한 연구로 시작되었으며 자연생태계에 비해 인위적인 간섭이 비교적 용이한 도시생태계를 대상으로 이산화탄소 흡수원 증진, 물수지 개선 및 열섬효과 개선을 위한 연구로 진행되었다. 규모는 작지만 유사한 사례로서, 도시 소생태계인 비오톱 정원의 관리에 적응관리 방법을 활용한 예가 보고된바 있다(Park & Koo, 2016). 또한 생태하천복원 및 관리에 적응관리를 적용하여 관리방안을 제안한 사례도 보고되었다(Choi et al., 2015). 하지만 자연생태계 또는 천연의 생태자원관리에 적응관리를 도입한 국내사례는 아직 보고되지 않고 있다.

우리나라는 제한된 국토와 자연자원을 가지고 있으며 전통적으로 이들 자연자원을 적절하게 이용하여 산업을 발전시켜왔다. 최근의 친환경적 자연자원관리에 대한 인식증진과 기술의 발달은 지금까지와는 다른 과학적이고 친환경적인 관리방안의 도입을 요구하고 있다.

본 연구는 지금까지 제시된 자연자원의 적응관리 연구들을 바탕으로 적응관리에 대한 정의와 방법 및 적용상의 한계점 등에 대하여 고찰하였다. 또한 우리나라 연안 서식처 복원의 대표적인 사례인 바다숲 조성관리와 갯벌복원을 포함하는 연안습지관리 그리고 우리나라의 수산자원관리에 있어서 적응관리방안 적용을 위한 시사점 및 고려사항들에 대하여 분석하였다.

## 2. 연구방법

본 논문은 리뷰논문으로서 적응관리의 방법적인 부분을 연구방법 단원에서 고찰 하였다. 우선 적응관리의 필요성과 정의에 대한 고찰을 다루었고 적응관리의 구조와 방법 및 적응관리의 방법상 한계와 이해당사자관리에 대하여 분석하였다. 그리고 마지막으로는 적응관리에 대한 평가에 대하여 고찰하였다.

### 2.1 자연자원 적응관리의 필요성

적응관리 방법을 자연자원 관리에 활용해야 하는 필요성은 적응관리에 대한 많은 연구들에 의해 언급되어졌지만 특히 Williams & Brown(2014)의 연구에서 체계적으로 정리되었다. 먼저 첫째로 자연자원은 시간적 변화에 따라 역학적이고 정량적으로 관리될 필요가 있는데 이는 시간에 따라 자연자원을 둘러싼 환경이 변하게 되며, 따라서 관리 행위도 수정되어질 필요가 있기 때문이다.

두 번째로 자연자원의 관리에 적응관리방법을 도입해야 하는 이유는 환경변화의 예측이 매우 어렵고 때때로 이를 정확하게 측정하기조차 쉬운 일이 아니기 때문이다. 변화하는 환경요인은 생물학적이고 생태학적인 변동성을 초래하고 이는 자연자원의 양적 변동에 대한 불확실성을 초래한다.

마지막으로 적응관리의 주요과정으로 수행되는 주기적인 관리행위의 수정과 이를 통하여 관리목표에 근접해가는 과정은 직간접적으로 자연자원이 속해있는 환경에 영향을 미치며 우리가 관리하고자 하는 생태계의 불확실성을 줄여주는 역할을 하게 된다. 이와 같은 결과는 바로 적응관리가 의도하는 궁극적인 목표이기도 하다.

### 2.2 적응관리의 정의

자연자원을 관리하는 전통적인 접근방법들은 크게 4가지로 나눌 수 있으며 이는 i) 정치-사회적 관리의사결정방법, ii) 경험적 지혜에 의존하는 방법, iii) 최신 데이터에 의존하는 방법 및 iv) 모니터링에 의한 관리방안 수정에 의한 방법이다(Johnson, 1999). 적응관리는 4번째에 해당하는 전통적 자연자원관리법을 조금 더 체계화시킨 것이라 할 수 있다. 적응관리는 관리대상이 되는 자연자원의 종류에 따라 매우 다른 의미로 정의 될 수 있다. 이것은 적응관리의 개념이 가진 유연성 때문인데 즉, 자연자원의 관리는 정해진 어떤 가이드라인에 의하기보다는 유연하게 관리방법과 정도를 수정할 필요가 있기 때문이다. 따라서 적응관리는 많은 연구자들에 의해 정의되어져 왔으며 Owens(2009)는 기존연구들에 의해 언급된 17가지의 정의들을 정리한 바 있다. 이렇게 다양한 정의들에서 언급된 내용들을 바탕으로 적응관리를 정의 할 수 있는 핵심단어들 다시 쓰면 다음과 같이 8 단어로 요약할 수 있다. 즉, i) 불확실성 (uncertainty), ii) 학습 (learning), iii) 수정 (modification), iv) 수행적 접근 (operational approach), v) 융통성 (flexibility), vi) 이해당사자 (stakeholder), vii) 반복적 방법 (iterative method) 및 viii) 지속가능성 (sustainability) 이

적응관리의 성격을 규정하는 핵심단어들이라 할 수 있다.

또한 적응관리를 관리행위를 수정하거나 평가하는 모델의 형태에 따라 능동적 (active) 적응관리와 수동적 (passive) 적응관리로 나누기도 한다. 즉, 적응관리과정에서 하나의 관리모델을 사용하여 관리절차를 수행하는 것을 수동적 적응관리라고 하고 여러 개의 모델을 동시에 사용하는 방법을 능동적 적응관리라고 한다(Walters & Holling, 1990; Nichols et al., 2007; Williams, 2011b).

결론적으로 적응관리를 정의할 때 모든 경우에 적합한 하나의 정의를 도출하는 것은 적절하지 못하며 현실적이지도 않다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 관리자들과 정책 의사결정자들에 도움이 될 수 있도록 기존의 연구결과들을 바탕으로 매우 일반적이면서도 실질적으로 적응관리를 정의해 보고자한다 (Holling 1978; Walters, 1986; Walters 2007; Williams & Johnson, 1995; USEPA, 2000; 2007; Salafsky et al. 2001; CBD, 2004; Linkov et al. 2006; CMP, 2007; Nature Conservancy 2007; WWF, 2007). 즉, 적응관리는 관리 또는 관리수행결과로부터 취득한 체계적인 자료를 바탕으로 관리행위의 양과 질을 모델 및 평가 등을 통하여 반복적으로 수정해주는 방법으로 정의할 수 있다. 또한 적응관리는 자연자원의 관리목표와 관리행위 사이의 관련성을 파악하여 정량적으로 추정된 적정 관리행위를 수행하고 수행 후 반복적으로 관리행위 및 관리목표를 평가하고 수정할 수 있도록 하는 체계를 제공한다. 그리고 이러한 성과를 공유하는 워크숍의 개최를 필수적 과정으로 규정함으로써 적응관리의 성과공유 및 확산을 효과적으로 진행할 수 있다. 그러나 적응관리의 정의에서 우리가 반드시 고려해야 하는 매우 중요한 관점은 적응관리 방법론을 분명하게 특정하고 이렇게 특정된 적응관리방법에 대하여 이해당사자들이 이해하고 동의하는 것이다.

### 2.3 적응관리의 구성

#### 2.3.1 적응관리 6단계

앞 단원에서 설명하였듯이 관리대상인 자연자원이나 생태계의 종류에 따라 적응관리의 정의도 구체적으로 조금씩 다를 수 있으므로 그 구성요소나 절차도 적용사례에 따라 차이가 있다. 그러나 적응관리에 대한 많은 연구들을 종합하면 공통적인 적응관리의 절차들을 6단계로 요약할 수 있다.

먼저 1단계는 관리목표를 이해당사자들과의 협력을 통하여 확정하는 단계이고, 2단계는 관리옵션 또는 관리행위들을 지정하는 단계로서 이들 옵션들 중에는 아무것도 하지 않는 관리옵션도 포함된다. 3단계는 지정한 관리옵션이나 행위들에 관리목표가 어떻게 반응하는지를 정량적인 모델(들)로서 구축하는 단계로 매우 어렵고도 가장 중요한 단계라고 할 수 있으며 이러한 모델들을 생태계의 구성요소들 사이의 관계 또는 관리대상인 자연자원과 이를 둘러싼 생태계의 구성원들 사이의 관계를 정량적으로 나타내는 생태모델 (Ecological Model) 이라고 부른다. 본 연구에서는 편의상 적응관리 과정에서 구축하는 이러한 모델을 '생태모델'이라고 명명하였다. 생태모델의 구축을 위해서는 반드시 생태계 구성인자들 사이의 관계를 정

성적으로 나타낼수 있는 개념모델 (Conceptual Model) 또는 개념생태모델(Conceptual Ecological Model)의 개발이 선행되며 따라서 생태모델의 구축에는 정성적 개념생태모델의 구축과 개념생태모델에서 도시된 생태계인자들사이의 정량적 관계성의 추정과정이 모두 포함되게 된다. 4단계는 관리행위들을 수행하는 단계로서 실질적인 관리가 이루어지는 단계이며, 5단계는 관리행위들에 대한 자연자원 또는 생태계의 반응을 모니터링하는 단계를 말한다. 마지막 6단계는 생태모델 수행결과를 바탕으로 관리행위를 조정하는 단계로서 이러한 조정의 근거로 생태모델의 수행결과를 이용하게 된다(Westgate et al., 2013). 마지막 6단계에서는 모니터링 및 생태모델 수행의 결과를 도출한 후 이 결과를 반드시 워크숍이나 포럼 등을 통하여 이해당사자들과 공유하고 함께 분석 평가하는 과정을 거치게 된다. 이 마지막 단계의 결과는 관리행위 조정의 근거를 제공하고 적응관리는 또다시 새로운 루프를 시작하게 된다.

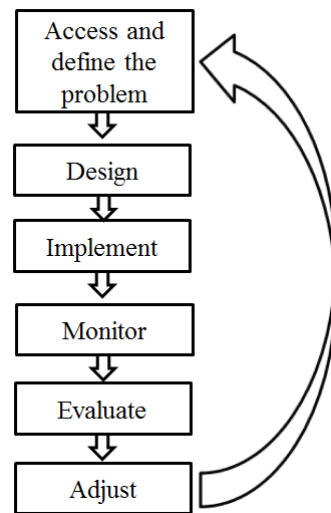


Fig. 1. Six steps involved in the Adaptive Management

#### 2.3.2 학습형태

적응관리과정에서 반복적으로 일어나는 학습은 크게 2가지 형태로 나눌 수 있다. 하나는 관리수행과정에서 일어나는 학습형태 (Deliberative Phase) 로서 i) 이해당사자들의 적응관리 구성단계별 참여 및 합의도출, ii) 관리목표 설정, iii) 관리행위 및 관리옵션의 도출, iv) 생태모델 수행 및 v) 모니터링 수행의 5가지 과정에서 학습이 일어나는 형태를 말한다. 이상적인 적응관리에서는 이러한 5가지 과정에서 적절하고 효과적인 학습이 일어나고 그 학습결과를 관리에 활용하게 된다.

학습의 또 다른 형태는 반복학습의 형태 (iterative phase) 를 말한다. i) 관리목표를 설정하거나 관리 행위의 정도를 결정하는 것과 같은 관리의사결정, ii) 모니터링 및 iii) 평가 의 3 가지 과정은 연속적인 과정으로 반복적으로 수행되게 된다. 즉, 관리 의사결정 다음 이를 점검하는 모니터링이 일어나고 모니터링결과를 바탕으로 평가가 이루어지며 평가결과를 바탕으로 다시 의사결정이 이루어지는 과정이 반복됨에 따라 시간이 지날수록 매우 강력한 자연자원관리 효과를 나타낼 수 있다.

2.3.3 사회적 학습과 기술적 학습

적응관리에 있어서의 학습을 규정하는 또 다른 분류는 학습 내용에 따른 2가지 학습분류이다. 먼저 사회적 학습 (Social learning 또는 Institutional learning) 은 앞서 설명한 6단계 적응관리과정의 수행에서 획득할수 있는 학습으로 의사결정과정의

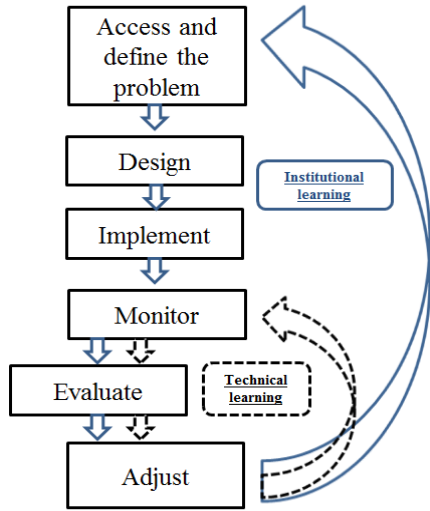


Fig. 2. Double-loop learning process in the adaptive management (edited from Williams & Brown, 2014)

효율성을 향상시키는 역할을 한다. 두번째로 기술적 학습 (technical learning) 은 6단계의 적응관리 과정 중 5단계와 6 단계에 해당하는 모니터링, 생태모델의 수행 및 조정에 해당하는 기술적인 과정에서 얻어지는 학습을 말한다.

따라서 적응관리에서 이루어지는 학습은 사회적 학습과 기술적 학습의 2가지의 루프(loop)로 이루어진 이중루프학습 (double-loop learning) 구조를 가진다. 이중 기술적학습의 핵심내용인 생태모델에 대해서는 다음 단원에 보다 자세히 고찰하였다.

2.3.4 생태모델

자연 서식처의 보전관리 및 복원 등에 있어서 생태모델의 중요성에 대한 인식은 지속적으로 확산되고 있다(Larson et al., 2004; Clarke et al., 2010). 예를 들어, 복원 사업지로부터 사전에 획득된 생태계 조사결과는 모델에 의해 예측된 미래의 생태학적 상태와 비교 가능하며, 이를 통해 복원사업의 의미나 성과는 더욱 명확하게 이해관계자와 대중들에게 전달될 수 있다. 정해진 복원 목적을 달성하기 위해 서식처에 인위적으로 가해지는 관리행위에 대한 의사결정 과정에서, 이에 따른 손실이나 소득을 미리 검토할 수 있도록 해준다는 측면에서도 생태모델의 중요성은 점차 부각되고 있다(Healey et al., 2004). 생태모델은 모델 수행으로 얻어지는 가상의 데이터 (hypothetical data)와 현재 상태와의 비교를 통하여 현재보다

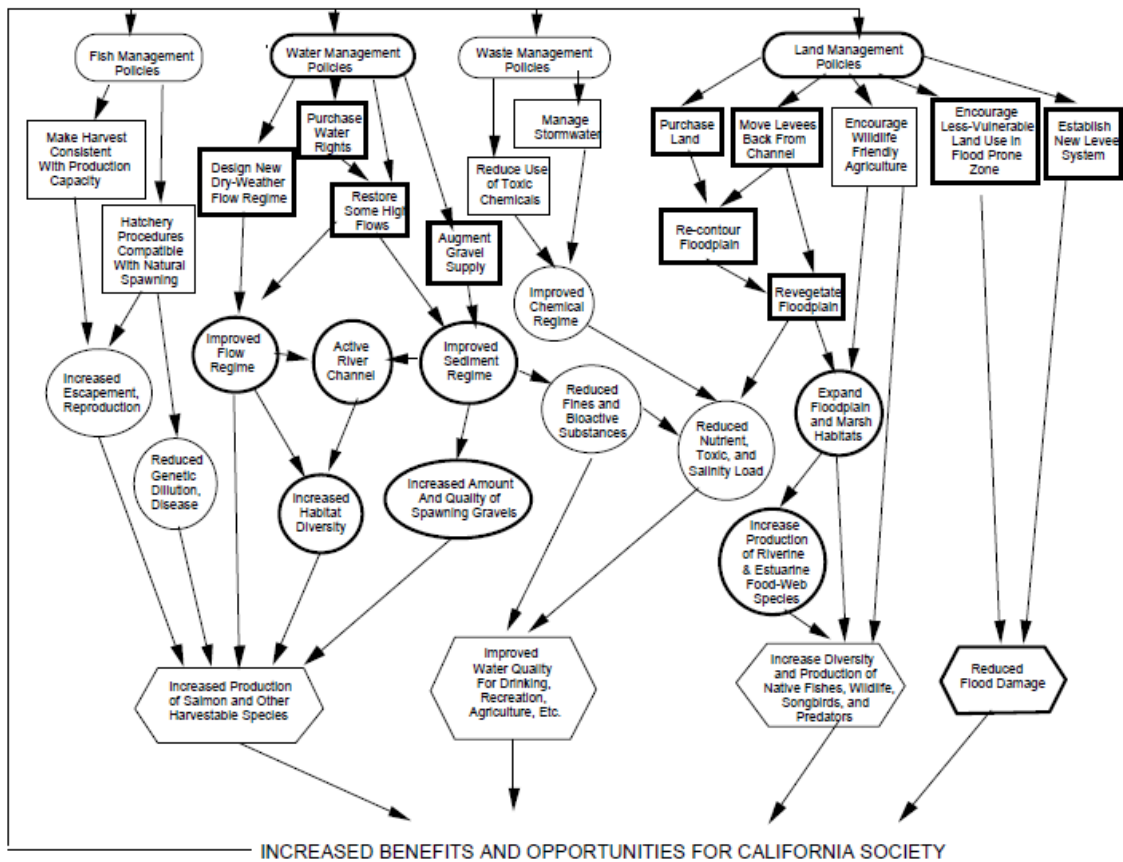


Fig. 3. An example of conceptual ecological model of restoration illustrating the circular flow of information from policies (round-cornered boxes), actions (square-cornered boxes), consequences (circles/ovals), endpoints (hexagons) and feedback of policy adjustment (Healey et al., 2004).

나아진 모습을 제시하며 복원 프로젝트의 초기 단계에서 복원의 목표를 설정하는 데에 직접 활용되기도 한다. 정량적 생태 모델은 시뮬레이션이 가능하고 이에 근거한 의견교환과 대안 탐색을 효율적으로 해줄 수 있다는 점에서 강력하고 유연한 도구라 할 수 있다. 정성적 생태모델도 주요 생태계 프로세스의 인식과 노력의 투입이 필요한 부분을 식별하기에는 충분하며 상대적으로 간편하고 이해하기 쉬운 구조를 갖는다는 장점으로 적응관리 체제의 복원 프로젝트에서 필수적으로 활용되고 있다(Healey et al., 2004).

정성적 모델에 해당하는 개념 생태모델(CEM, conceptual ecological model)은 기본적으로 생태계 구성원-관계성-조절요인 간 상호작용 또는 외부 인자-스트레스 효과-생물학적 반응의 생태학적 관계를 도식화하는 것이다(Woodward et al., 2008; Jacobson et al., 2014). 아울러, Fig. 3과 같은 정책

-조치-직간접적인 결과-기대성과-사회와 정책의 조절을 통한 피드백과 같은 정보의 순환 흐름을 나타낸 개념 생태모델 사례도 존재한다(Healey et al., 2004). 개념 생태모델의 구조와 복잡성은 프로젝트 내 연구자와 관리자 등의 구성이나 적용 공간의 범위 또는 모델의 구제성에 따라 매우 다를 수 있다(Gentile et al., 2001). 그럼에도 불구하고, i) 생태학적 목표와 목적, ii) 시공간적 범위와 경계에 대한 정의가 분명해야 하고 iii) 외부 인자, iv) 주요 스트레스 요인의 작용 기작과 노출경로 및 노출대상 그리고 v) 평가에 활용되는 생태학적 기대성과 기준 등은 기본적으로 개념 생태모델에 포함되어야 한다(Gentile et al., 2001).

개념 생태모델은 이해당사자와 전문가들이 공동으로 생태계와 개체군에 영향을 주는 요인들에 대한 이해 기반을 구축하는 것이며, 이에 근거하여 제안된 적응관리 시나리오에 대한

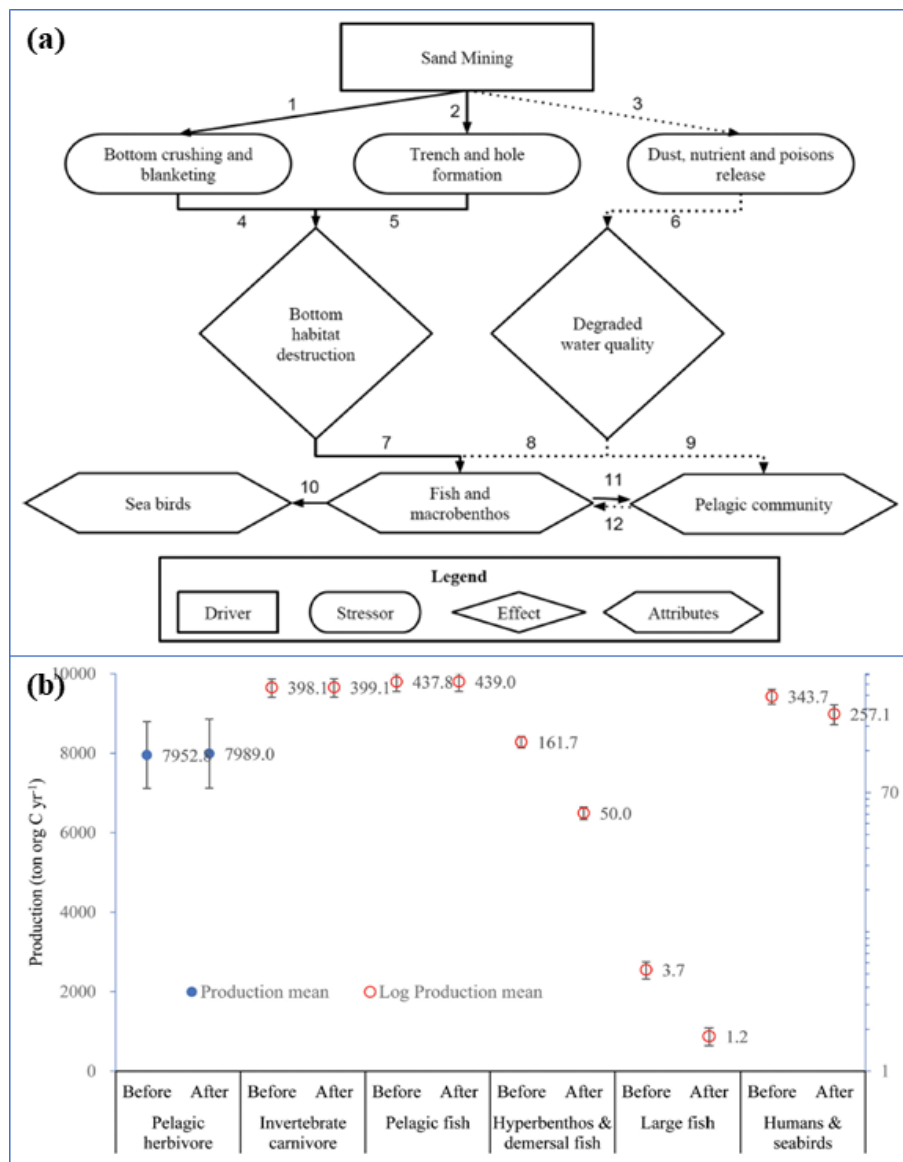


Fig. 4. Conceptual ecological model used to discriminate direct/indirect impacts on marine ecosystem components (a) and probabilistic approach to assess food web impacts and quantitative response of the ecosystem after combination of the conceptual model and energy flow diagram set for the mining area (Yoo et al., 2018).

생물학적 반응을 예측 (즉, 가설을 제안)하는 것이다(Jacobson et al., 2015). 생태학 분야에서 활용되는 개념 생태모델은 복잡한 구성원 간 상호관계에 기반한 난해한 구조를 나타내기도 한다. 또한, Yoo et al.(2018)의 연구와 같이, 인자와 구성원 사이의 직간접적인 관계성을 식별하고 이에 기초하여 예측된 생태계 먹이망 구조의 변화에 대한 유의성을 파악하기 위한 목적의 몬테카를로 시뮬레이션을 사용한 사례도 찾아볼 수 있다(Fig. 4). 개념 생태모델은 복잡한 관계성에 대한 정리와 이해 그리고 면밀한 재검토를 통해 보다 나은 타당성과 정확성을 갖춘 정량적 모델의 개발, 구축으로 이어질 수 있다.

생태학적 자원의 관리나 복원을 위한 사업에 활용되는 적응 관리는 환경 조건을 조절하면 대상 생물의 생존이나 풍부한 정도가 개선된다는 생각을 전제로 한 것이다. 따라서 적응관리를 성공적으로 운용하기 위해서는 인위적인 조치와 생물학적인 반응 간 관련된 가설을 분명하게 식별, 제안하고, 검증들 통해 확보된 정확한 정보와 지식을 활용하는 것이 무엇보다 중요하다(Williams, 1999). 시뮬레이션이 가능한 정량적 생태 모델은 가설의 평가에서 중요한 도구로 사용될 수 있으며, 관리행위(즉, 가설의 실험적 적용)의 검증들 모니터링 결과에 의존하는 적응관리 사업을 대상으로 효율성과 사업의 성공 가능성을 크게 높이는 데에 기여할 수 있다.

또한, 정량적인 생태모델은 프로젝트의 모니터링/접근방법부터 관리행위의 효과를 반영하는 측정치의 정확성에 대한 평가뿐만 아니라 비효율적 관리행위의 대안을 탐색하고 마련하는

역할도 수행한다(Williams, 1999; Healey et al., 2004). Xi(2014)는 숲의 복원 프로젝트에서 계획수립, 평가, 관리 그리고 실행과 같은 일련의 과정에서 생태모델의 광범위한 활용과 중요성을 강조한 바 있다. 그는, 특히, 복원전략과 복원결과 평가과정에서의 시공간적 예측치의 활용이 무생물/생물적 요인들로 인해 발견되는 숲의 복잡한 변화에 대한 정확한 이해를 돕는다고 언급하였다.

적응관리가 적용된 자원 관리 또는 복원 사업은 오랜 기간에 걸쳐 재원과 노력을 투자해야 함에도 불구하고, 높은 변동성을 갖는 시스템을 상대한다는 점에서 조치나 성공여부에 대한 불확실성이 높다고 할 수 있다. 예시된 Fig. 5는 갯벌 복원사업의 성과기준으로 선정된 군집구조(생물 다양성)나 기능(생체량/생산량) 등을 다양한 복원계획 또는 디자인 별로 예측, 비교한 것이다. Fig. 5는 신뢰구간과 함께 제시된 성과기준과 실제 모니터링 측정치 간의 비교로써 복원사업의 성공여부를 진단하고 사업성공에 소요된 기간을 추정하는 것이 가능함을 보여 준다(MOF, 2005).

정량적 생태모델로는 다양한 유형의 결정론적(deterministic model) 또는 경험적 모델(empirical model)이 활용 가능하며 종류는 일일이 열거할 수 없을 정도로 다양하다. 생태학에서 비교적 높은 빈도로 활용되는 종류로는 단순선형/비선형 회귀 모델부터 확률 모델(이항 회귀분석 등), 자원역학 모델(예를 들어, 자원-가입 모델 등), 먹이망 네트워크 분석 모델(예를 들어, ECOPATH), IBM(individual-based model) 그리고 인공지능 신경망 모델 등이 있다. 중요한 것은 특정 모델이 아니라 예측의 정확성과 불확실성(uncertainty)을 인식하고(Williams, 1999), 모델 예측치에 대한 평가를 통해 지식 틈새를 식별하며 더 나은 발전 방향을 설정하는 것이다(Valette-Silver and Scavia, 2003).

만약 주어진 생태학적 이슈와 관련하여 풍부한 고품질의 모니터링 자료가 확보되어 있다면, 경험적 모델의 유형에 해당하며 탁월한 예측력을 발휘하는 인공지능 신경망 모델 기법을 권장한다. 인공지능 신경망 모델은 뉴런이 그물망처럼 서로 연결된 인간의 뇌 구조를 답습한 것으로 입력층의 뉴런을 통해 데이터가 입력되면 반복되는 학습 과정을 거쳐 오차를 줄여나가고 출력 뉴런을 통해 오차가 최소화된 목표값을 출력하는 시스템이다(Fig. 6).

인공지능 신경망 모델 기법은 비선형 관계의 추정이 가능하며, 일반 선형모형에 비해 높은 강건성(robustness)과 정확도를 지니는 것으로 알려져 있다(Pape and Ruessink, 2011). 예측이 어려운 것으로 간주되어 왔던 생태학 분야에서, 이 기법은 90년대부터 활발히 적용되어 왔다. 90년대 후반에는 지형적 생태적 특성을 반영하는 단 3개의 변수, 즉, 기초생산력, 하구에서의 년평균유수량 및 유역의 총면적자료를 이용하여 으로 전 세계 주요 강의 어류군집 생물 다양성을 예측하는 모델이 보고된 바도 있다(Guégan et al., 1998). 많은 연구자들에게 의한 반복적인 시도와 연구 성과들을 통해, 현재 인공지능 신경망 모델 기법의 생태학 분야에의 적용은 매우 긍정적인 것으로 평가되고 있다(Lek and Guégan, 1999).

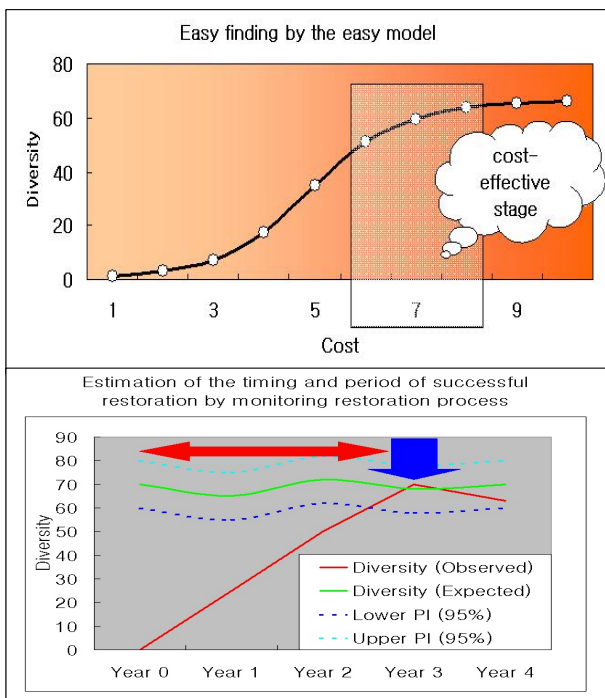


Fig. 5. Illustrations on ecological models that provide opportunities to select best restoration strategies or designs by comparing predicted biological endpoints and costs varying between scenarios/options (upper) and to assess the succession of restoration projects by comparing predicted endpoints with uncertainty to monitoring data (lower) (MOF, 2005).

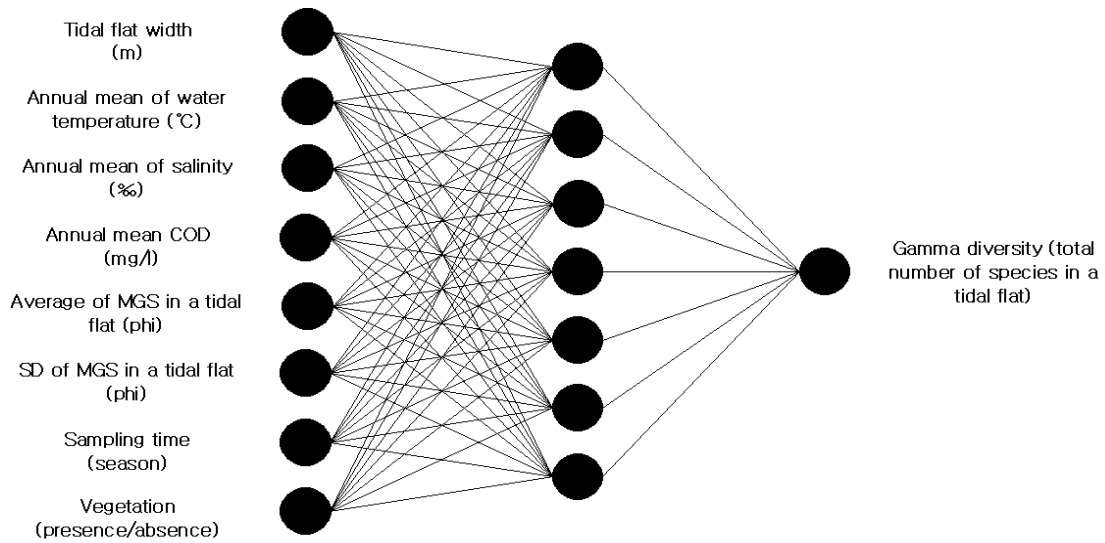


Fig. 6. Exemplified illustration of three-layered structure artificial intelligence neural network that predicts diversity of tidal flat macrobenthos community based on environmental factors.

국내에서도 인공지능 신경망 기법은 활발하게 활용되고 있으며 가장 강력하게 활용될 수 있는 분야가 건설사업의 영향 평가나 갯벌 복원사업 분야이다. 후자에서는 주로 인공적으로 조성되는 습지의 생태계 구조 및 기능의 예측에 사용되며, 앞서 언급한 바와 같이, 복원의 성과기준 설정 그리고 복원 시나리오나 디자인의 평가 등에 이용 가능하다. Fig. 6은 환경요인을 바탕으로 갯벌 저서생태계의 생물 다양성을 예측하는 모델의 구조를 보여준다. Yoo et al.(2013)은 이와 유사한 구조를 갖는, 갯벌 대형저서동물의 생물다양성 예측 신경망 모델을 개발하였다. 관찰값과 예측값 간 상관관계로 평가되는 모델의 성능은 매우 양호한 수준(학습, 교차 타당성 검토, 검증 과정의 상관관계는 0.73~0.84)이었으며, 조사 시기와 디자인이 다른 별도의 갯벌 자료를 활용한 2차 검증에서도 높은 상관관계( $r=0.84$ )가 추정되었다. 이와 비교 가능한 수준의 예측성능은 적응관리에서 매우 긍정적인 역할을 수행할 것으로 기대된다.

## 2.4 적응관리의 한계 및 이해당사자 관리

### 2.4.1 적응관리의 한계 및 불확실성

앞 단원들에서 고찰하였듯이 적응관리는 자연자원이 가지고 있는 불확실성과 변동성을 극복할 수 있는 효과적인 관리 방법이다. 그러나 현실적으로 마주하는 여러 가지 한계들로 인하여 적응관리방법의 적용이 어려웠던 경우들이 보고되고 있다. 관리자들이 적응관리의 적용을 꺼려하는 요인들을 정리하면 다음과 같이 7가지 정도로 요약할 수 있다(McLain & Lee, 1996; Walters, 1997; Gregory et al., 2006; Owens, 2009).

- i) 적응관리방법이 고전적인 자연자원의 관리에 비해 고비용이 소요될 것이라는 우려
- ii) 불확실성을 관리대상으로 하는데 대한 자신감의 결여
- iii) 학습과 실험을 반복하는 것에 대한 걱정
- iv) 장기간 관리 방법의 연속성을 유지해야 하는 우려

v) 관리지침 및 관리기관들의 기존 관리 행위에 대한 관성 또는 새로운 관리방법적용에 대한 우려

vi) 일선 관리자들의 비전문성에 대한 우려

vii) 이해당사자들의 저조한 참여에 대한 우려

이러한 현실적인 장애요인들은 특히 관리자들의 기술적 수준이 낮은 경우, 적응관리의 확산을 저해하는 요인들로 작용하고 있다. 그러나 위에서 언급된 대부분의 장애 요인들은 정확한 적응관리 방법의 확립과 관리자들에 대한 적절한 교육만으로도 많은 부분 해소될 수 있다. 고비용에 대한 우려는 실제 대부분의 비용이 소요되는 모니터링의 경우, 많은 사례들에서 지표-모니터링항목의 선정 및 시민과학자들의 모니터링 활용 등으로 해결하고 있으며 이해당사자의 참여 유도방안 또한 적절한 참여 급부를 제공함으로써 상당부분 해결하고 있다 (Owens, 2009). 지표 모니터링이란 기존의 일반적인 생태 모니터링처럼 모든 분류군을 포함하는 모니터링이 아니라 생태계의 특성을 대표할 수 있는 항목(예를 들어, 깃대종에 대한 모니터링) 만을 선정하여 모니터링 하는 것을 말한다. 선정된 모니터링 항목들이 생태계의 반응을 유의하게 지시하는 적절한 항목인지 테스트함으로써 경제적이고도 과학적인 모니터링 체계를 구축할 수 있다(Parr & Andersen, 2006).

그리고 적응관리체계를 도입할 때 모든 이해당사자 특히 관리자들이 잊지 말아야 할 가장 중요한 관점은 무엇보다도 자연 자원 관리 또는 자연생태계가 지닌 불확실성을 포용하는 자세라고 할 수 있다. 이러한 불확실성을 인정하는 기초위에서 여러 가지 가정들과 생태계의 반응들이 고려된 정량모델을 개발하고 관리행위 또는 옵션들을 발전시켜 나가는 것이 이상적인 적응관리라고 할 수 있다 (Keith et al., 2011).

### 2.4.2 이해당사자 관리

이해당사자들의 참여가 성공적인 관리를 위해 필수적인 요소라는 점은 우리나라에서 비교적 넓은 공감대를 형성하고 있지만 실제로 왜 그런지에 대한 이해는 부족한 것이 현실이다.

이해당사자 그룹들은 각각 선호하는 관리 목표가 조금씩 다르기 마련이다. 또한 기존에 존재하는 지역민 지원제도와 보상관리제도 등도 새로운 적응관리체계의 도입을 방해하는 요소가 될 수 있다(Duncan & Wintle, 2008). 따라서 관리자와 전문가들은 생태계의 지속가능성을 달성하는 방향으로 핵심 이해당사자들이 합의 도출에 이를 수 있도록 리더십을 발휘하는 것이 필요하다(Kingsford et al., 2011)

이해당사자들의 합의를 도출하기 위해서 전문가들은 여러 가지 관리 옵션들을 활용할 필요가 있다. Briceno-Linares(2011)는 위기중 앵무새의 개체군 관리에 교육프로그램과 사회적 자본을 활용한 지역민 고용 확대 옵션을 생태학적 관리행위와 조합하여 제시 한바 있다. 이해당사자간 갈등을 해결하는데 사회과학적 의사결정모델인 게임이론(game theory)의 활용, 다속성 활용함수(Multi attribute utility function)를 활용하여 의사결정 자료를 도출하는 시도들(Probert et al., 2011; Conroy et al., 2011; Colyvan et al., 2011), 경제적 편익을 배분함으로써 갈등을 관리하려는 시도(Briceno-Linares, 2011) 또는 이해당사자 사이의 협상을 통하여 갈등을 관리하려는 시도(van Wilgen & Biggs, 2011) 등 다양한 방안들이 제시되었다. 그러나 이러한 시도들에도 불구하고 이해당사자들의 합의를 도출하는 일은 관리자들과 전문가들에게는 항상 쉽지 않은 과제임이 분명하다. 따라서 관리자 및 전문가들은 종종 독단적 관리결정을 추진하는 경향이 있다. 즉 관리자그룹은 관리의사결정을 가능한 단순화시킴으로서 자연생태계의 불확실성을 무시하려는 경향이 있으며 이는 ‘관리행위의 효율화’로서 합리화되곤 한다. 또한 전문가 그룹도 관리목표나 관리행위의 결정에 이해당사자가 참여하는 것을 매우 꺼리는 경향이 있는데 이는 전문적 지식을 이해당사자들에게 이해시키는데 많은 노력이 필요하며 때로는 효과적인 정보공유과정 자체가 전문가들의 전문분야가 아니기 때문이기도 하다. Keith et al.(2011)은 이러한 경향을 자기중심적 행위(Self-serving behaviour)로 명명한 바 있으며 이러한 경향이 적절하게 제어될 때 성공적인 적응관리가 이루어질 수 있다고 고찰하였다.

### 2.5 적응관리의 평가

적응관리체계를 도입한다고 가정할 때 관리자들의 입장에서는 이렇게 새로운 관리방법이 성공적인지의 여부를 적절하게 평가할 수 있어야만 한다. Williams et al.(2007)는 적응관리가 성공적으로 도입된 것이지를 평가하기 위해서 이해당사자의 참여, 자원관리목표 달성여부, 모니터링과 평가의 적절성 및 지원법제도와와의 일관성 등을 평가 할 것을 권고하였다. 이러한 기존 연구를 바탕으로 효과적인 적응관리의 평가를 위한 기준을 다시 정리한다면 다음과 같이 4가지로 요약할 수 있다.

- i) 이해당사자들의 유의한 참여가 실현되고 있는가?
- ii) 관리목표에 유의하게 접근해가고 있는가?
- iii) 모니터링과 평가가 경제적이고 생태계의 현황을 대표하고 있는가?
- iv) 적응관리를 지원할 수 있는 적절한 법이나 제도가 작동하고 있는가?

## 3. 결과 및 고찰 : 적응관리 국내 수요 분석

자연자원관리 및 생태계관리가 지닌 불확실성과 시간에 따른 변이성 등을 고려할 때 적응관리체계의 적용이 미미한 우리나라의 경우 많은 자연자원관리 및 생태계관리 분야에서 적응관리기법들을 도입할 필요가 있다. 본 연구에서는 우선 수산자원관리, 바다숲조성관리 및 연안습지관리의 3가지 분야에서 적응관리기법을 도입할 경우 고려할 사항들과 시사점들에 대하여 고찰하고자한다.

### 3.1 수산자원관리

#### 3.1.1 TAC 관리제도

서론에서 언급하였듯이, 수산자원관리는 자연자원 관리분야들 중에 일찍부터 정량적인 관리모델들이 활용되어온 분야이다. 수산자원의 관리는 크게 수산자원의 채취량 또는 어획량을 관리하는 방법과 채취도구 또는 어획노력량을 관리하는 2가지 방법으로 나눌수 있다. 이 중에서 비교적 관리가 용이한 방법이 어획량을 관리하는 관리방법으로 TAC (Total Allowable Catch: 총허용어획량) 관리제도가 그 대표적 방법이라 할 수 있고 우리나라에서도 매우 중요한 수산자원 관리방법으로 활용되고 있다. 이에 비해 어획노력량을 관리하는 방법은 어획량을 관리하는 방법에 비해 이해당사자들 사이의 합의를 도출하기가 매우 힘든 방법이지만 보다 근본적이고 실질적인 관리방법이라 할 수 있다.

어떤 방법이든 적응관리제도를 도입한다면 수산자원 관리효과를 강화하는데 큰 도움이 될수 있으며 세계적으로도 수산자원관리분야가 적응관리기법이 일찍부터 이용된 분야이기도 하다(Walters & Hilborn, 1976; Walters, 2007).

TAC 제도란 개별어종의 어획총량을 매년 정하여 그이상 어획이 일어나지 않도록 관리하면서 수산자원을 관리하는 제도로서 1999년 처음 도입되어 2018년 현재 11개 어종을 대상으로 운영중에 있다. TAC 제도의 관리주체는 해양수산부로 현재 국립수산과학원에서 조사한 자원평가결과를 토대로 TAC 설정 및 관리 기본계획을 수립하고 TAC심의위원회 및 중앙수산조정위원회의 심의를 거쳐 매년 TAC를 결정한다. 결정된 TAC는 해양수산부장관과 시도지사가 어선별로 할당하고 각 어선들은 이 범위 내에서 조업을 하되 조업실적을 보고하도록 하고 있다(Fig. 7).

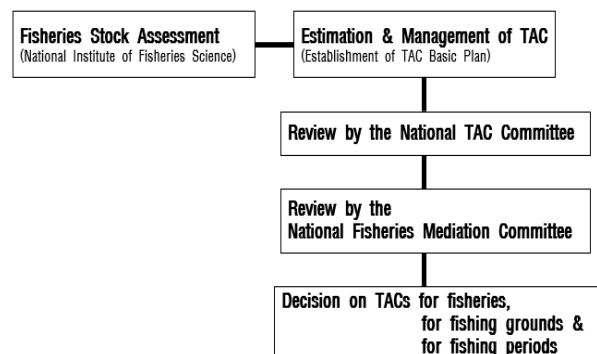


Fig. 7. TAC decision framework in Korea (Kim, 2003)



TAC 제도는 매년 정해진 절차에 의해 관리목표를 산정하고 보고된 조업실적을 통하여 목표를 평가한다는 점에서 적응관리와 상당한 유사점이 있다. 그러나 앞의 단원4 에서 언급한 적응관리의 구성요소들을 고려하여 TAC 제도를 적응관리화한다면 몇가지 개선사항들을 제안할 수 있다.

**3.1.2 적응관리상의 고려점**

먼저 관리목표인 TAC를 정하는 절차를 체계화 할 필요가 있다. 현재 TAC를 결정하는 절차를 자원평가 결과를 바탕으로 하고 있지만 적응관리 3단계에 해당하는 절차로서 이 자원평가 모델에 TAC결정에 필요한 정량화 기능을 추가시켜 TAC 추정치가 바로 산정될 수 있도록하고 적응관리 6단계에 해당하는 TAC 심의위원회 와 중앙수산조정위원회의 심의과정에 모니터링 결과와 현재 어획량 및 어획량 할당현황을 함께 분석하여 실질적인 TAC 관리행위가 조정될 수 있도록 조치하는 것이 필요하다. 또한 TAC의 1차산정 이후 이해당사자가 참여하는 정보공유 절차를 추가하여 어민들에 의해서 실질적으로 수행되는 관리행위의 효율성을 강화할 필요가 있다.

우리나라에서 수행하고 있는 어획노력량 관리제도는 대표적인 것이 금어기 설정과 어선감축제도가 있다. 이 관리 방법들은 TAC등 어획량 관리제도가 안고 있는 혼획사망(By-catch)이나 잡어투기(Discard) 등의 한계점들을 보완하면서 조금 더 근본적으로 수산자원에 미치는 어획노력량을 관리하는 제도들이다.

우리나라처럼 수산업이 오랜 역사를 가지고 있으며 다양한 종류의 높은 어획노력량이 밀집되어 있는 경우에는 관리지역별로 여러 가지 수산관리 방법들이 통합적으로 수행되고 관리될 필요가 있으며 이러한 통합적인 관리행위(즉, 어획량 규제 및 어획노력량 규제) 들의 결과로 달성되어야 하는 관리목표는 적응관리에서처럼 체계적이고 정량적인 모니터링과 모델수행에 의해 반복적으로 평가될 필요가 있다. 또한 이과정에서 적정 관리행위의 정도가 분석되고 추정되어 관리목표를 달성하는데 반복적으로 반영되어야 효과적인 수산자원관리가 가능할 것이다.

**3.1.3 자율관리어업에서의 활용**

자율관리어업은 우리나라의 현실을 고려하여 2005년부터 도입된 한국형 수산자원관리 방안이라 할 수 있다. 자율관리어업은 어촌계나 한 개의 독립적인 어업형태를 영위하고 있는 영 어조합 등이 자율적인 어업관리계획을 세워 실행하고 관리부처인 해양수산부는 이러한 자율적인 어획관리를 일부 재정적으로 지원하는 어업관리형태 이다. 자율관리행위 등을 정할 때 전문가들의 의견을 반영하는 점은 미국이나 호주등의 지역 수산관리자문위원회 (Reginal Fisheries Management Advisory Committees : RFMACs<sup>2)</sup>)와 유사한 점이 있으나 어업공동체의 자율적인 관리를 강조하고 있어 근본적인 차이점이 있다.

도입초기에는 정부의 적극적인 지원책에 힘입어 어민들의 참여도가 매우 높았으나 성공적인 한국형 수산자원관리제도로 지속적으로 유지되기 위해서는 이 제도가 가진 한계점 또는 단점들이 보완될 필요가 있다. 자율어업공동체가 정하고 있는 어업관리행위를 살펴보면 i) 자율적인 금어기 신규설정 또는 금어기의 연장설정, ii) 자율적인 어획금지체장의 설정, iii) 수산자원관리 교육수행 및 iv) 폐어구 등 어장정화활동 등이 있는데 대부분의 어촌계에서 전문가들의 평가 등을 거치지 않고 어촌계 자율적 결정이나 간단한 전문가 의견청취등을 통하여 설정되어 운영중에 있는 실정이다. 또한 자율관리 행위에 대한 정량적인 효과검정 등도 미비한 실정이다.

관리당국이 지금까지는 자율관리제도의 확산에 치중하여 왔다면 지금 부터는 성공적인 정착과 지속을 위한 제도개선에 노력을 기울이는 것이 중요하다. 도입된지 10년이 훨씬 지난 이 관리제도를 성공적으로 지속시키기 위해서는 적응관리체계를 이용하여 자율관리제도를 보완할 필요가 있다. 적응관리체계를 이용하여 자율관리제도를 보완할 수 있는 방법들을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 10년 이상의 자율관리 자료가 축적된 어촌계나 영어조합을 대상으로 실행중인 자율관리행위들과 생산량자료등을 이용하여 관리 목표를 정량적으로 설정하고 기존 자율관리행위들이 얼마나 목표달성에 기여하는지를 생태모델을 통하여 평가하는 것이 필요하다. 그리고 이러한 적응관리 절차의 수행을 통하여 현행 자율관리행위의 수정안이 도출되면 자율관리공동체의 자율적인 협의를 통하여 수용정도 등을 결정하는 과정을 반복적으로 수행할 필요가 있다. 이러한 보완방안이 적극적으로 수행될 수 있다면 지금까지 미흡하였던 전문성을 개선하여 자율성과 전문성이 함께 고려된 한국형 자율관리제도로 발전할 수 있을 것으로 생각된다.

**3.2 바다숲 조성관리**

우리나라의 바다숲 조성관리사업은 한국수산자원공단을 중심으로 2011년부터 본격적으로 수행되어져 오고 있으며 2018년 말 현재 약 18,000여 ha에 이르는 지역에서 바다숲이 조성되거나 조성된 바다숲의 효과가 미치고 있는 것으로 추정하고 있다. 현재, 조성된 바다숲은 3년간 한국수산자원관리공단의 관리를 거쳐 해당 지자체에 관리권을 이양하는 제도가 시행중이다. 조성 후에는 크게 4가지의 관리행위가 수행되는데 이들은 i) 바다숲 효과조사, ii) 훼손된 해조류의 보식, iii) 초식동물 즉 성게의 제거관리 및 iv) 폐기물 제거이다. 이들 중에 폐기물 제거는 바다숲에만 직접적으로 관련되는 관리는 아니기 때문에 실질적 관리행위는 해조류의 보식과 초식동물 제거라 할 수 있다. 그러나 매년 이루어지는 이러한 관리행위들의 정도와 양을 결정하거나 관리의 정량적인 목표를 설정하는 등의 구체적인 관리체계는 미흡한 실정이다.

미국, 유럽 및 호주의 경우 적응관리가 가장 흔히 사용되는 분야가 보호구역 관리이다(USEPA, 2010; Parks Victoria, 2011). 조성된 바다숲 또한 보호구역과 매우 유사한 목적과 기능을 지니고 있어 일본에서는 이미 적응관리 제도를 도입하여 바다숲을 관리 중에 있다(Kuwahara, 2010).

2) 수산관리자문위원회의 회의에는 지역 어민들 및 관리당국의 담당자들이 함께 참여하여 적극적으로 의견을 개진하고 결론을 도출 하고 있으며 어민들의 의견이 매우 중요하게 논의됨으로써 어민들의 수요와 과학적인 평가결과를 함께 고려하여 관리의사결정을 도출

우리나라에서도 적응관리체계를 바다숲의 조성관리에 도입한다면 매년 수행되고 있는 관리행위를 최적화 하고 적응관리화 하여 경제적이고도 과학적인 관리가 될 수 있을 것으로 생각된다. 우리나라의 바다숲 관리에 적응관리체계를 도입할 경우의 고려할 점들을 좀더 구체적으로 살펴보았다.

3.2.1 바다숲 적응관리의 정의

앞 단원의 설명들을 참고하여 바다숲의 적응관리를 보다 구체적으로 정의한다면 “바다숲의 정량적인 관리목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 관리행위들의 정량적인 결정을 위하여 수행된 모니터링자료들을 이용한 예측-생태모델을 사용하며 모델수행의 결과를 바탕으로 관리행위의 량과 정도를 반복적으로 평가 수정하는 관리방안” 이라 할 수 있다.

3.2.2 바다숲 관리를 위한 적응관리목표 설정

기준에 조성되었거나 보전대상인 바다숲의 경우 관리목표를 정량화하여야 하는데 이를 위해서는 다음과 같은 고려사항이 필요하다.

- 바다숲의 상태를 대표할 만한 관리지표의 설정
  - 관리지표로 표시되는 바다숲의 관리목표는 지속가능성을 고려하여 설정
  - 관리행위와의 연계성을 고려한 현실적인 관리목표 설정
- 예를 들어, 특정 지역의 관리목표는 그 지역 바다숲 생태계 구성원들의 지속가능성 유지를 목표로 설정된다면 관리지표는 이를 대표하는 해조류 밀도, 피도 및 저서생물 총 밀도가 함께 고려된 바다숲 관리지수 등이 될 수 있으며 각각의 생물량별 최대지속가능 서식량 수준이 고려된 관리지표를 유지하는 것이 이상적인 관리목표가 될 수 있다. 그러나 이러한 이상적인 관리목표의 달성은 쉬운 일이 아니며 현실적이지 못한 경우가 대부분이다. 따라서 이 경우에는 이해당사자들의 검토를 거쳐, 가령, 이러한 이상적인 관리목표의 80% 유지를 임시적인 관리목표로 설정하고 단계적으로 도출된 관리행위의 정도를 증가시켜감으로써 관리목표를 높여가는 방법등도 이용할 수 있다.

3.2.3. 적응관리행위 설정 및 모니터링

현재 설정된 직접적 관리행위는 조식동물 구제 및 해조류 보식이 될 수 있으며 조식동물의 구제량, 보식량, 시기, 방법 등이 향후 적응관리 생태모델 수행에 사용되도록 구체화되고 정량화 되는 것이 중요하다. 또한, 관리지표 및 기타 생태모델 수행에 필요한 항목에 대하여 정량적인 모니터링을 수행하는 것은 핵심적인 적응관리행위로 생각할 수 있다.

3.2.4. 관리행위의 평가 및 수정

생태모델을 이용하여 수행결과를 평가하고 이를 바탕으로 관리행위의 량을 설정하거나 수정하고 필요할 경우 관리목표를 수정할 수도 있다. 이러한 절차는 가칭 ‘바다숲조성관리위원회’ 심의를 거치고 이해당사자들이 참여하는 워크숍을 통하여 정보를 공유하고 공감대를 형성하는 것이 일반적인 적응관리 과정이라 할 수 있다.

3.2.5 적응관리 생태모델의 개발 및 수행

적응관리 생태모델의 개발은 적응관리의 핵심적인 내용이라 할 수 있으며 이는 관리지표와 관리행위 그리고 기타 관리 모니터링 항목들 사이의 관계를 설정하는 일이다. 따라서 생태모델의 적합도가 높을수록 적응관리의 효율성이 증가할 수 있다. 생태모델의 적합도가 낮으면 관리행위 수행을 통하여 관리목표를 달성할 수 있는 확률이 낮아지고 따라서 이러한 관리는 매우 비효율적일 것이다. 바다숲 조성관리 뿐만 아니라 다른 자연자원관리에서도 적합도 높은 생태모델의 구축은 과학적이고 경제적인 관리를 가능하게 하는 가장 중요한 과정이라 할 수 있다.

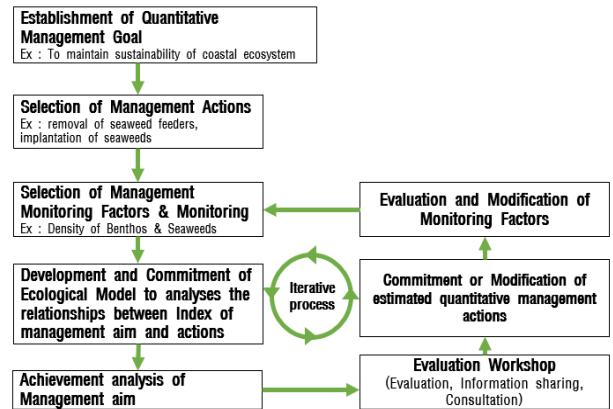


Fig. 8. An example framework for adaptive management(AM) of sea forest in Korea (i) Quantitative management goal and ii) Selection of management actions; iii) monitoring; iv) conceptual model and ecological model development for management evaluation; iv) Evaluation workshop ; v) Commitment of management actions (e.g., removal of seaweed feeders and additional implantation) or modification of the actions; vi) iterative process of the AM loop)

3.2.6 바다숲 사후 관리효과 평가기준

바다숲의 사후 관리에 대한 현재의 관리체계는 정량적인 관리목표가 없다는 가장 큰 단점을 지니고 있다. 이 점을 개선하면 관리평가의 기준이 명확해지며 다음의 질문들이 그 평가기준이 될 수 있다.

- 정량적인 관리 목표가 달성 되었는가?
- 미흡 하다면 어느 정도 미흡하며 적응관리 절차에서 수정 될 관리행위의 정량적인 수준을 어느 정도 인가?

이 두 가지 질문들의 답변은 사후조사 모니터링 및 생태모델의 수행을 통하여 추정할 수 있다.

이상 바다숲 조성관리분야에 적응관리체계를 도입할 경우 고려점들에 대하여 고찰 하여 보았는데 이를 바탕으로 정리된 우리나라 바다숲 적응관리 모형도는 Fig. 8에 나타내었다.

3.3. 연안습지 (갯벌) 관리

3.3.1 우리나라 연안습지 관리 현황 및 문제점

우리나라 연안습지관리를 위한 관리계획들은 5-10년 주기로 수립되고 있어 관리행위의 수립이나 모니터링 또한 이 주

기와 거의 같다고 볼 수 있다. 현재 우리나라 갯벌 관리에 대한 대표적인 법률인 ‘갯벌 및 그 주변지역의 지속가능한 관리와 복원에 관한 법률(2020. 1. 16. 시행예정)’은 5년 마다 ‘갯벌 등의 관리 및 복원에 관한 기본계획’을 수립하고 ‘실태조사’ 또한 5년 마다 수행토록 하고 있다. 적응관리의 관점에서 보면 반복학습이 최소 5년마다 일어나지만 구체적인 정량적 관리 목표는 부재한 문제점이 드러나는 셈이 된다.

실제로 현재의 모니터링은 그 목적이 기초자료의 획득에 머물고 있으며 구체적인 관리목표와의 연관성은 부족하고 모니터링의 주기 또한 매우 길다. 단주기 모니터링은 인력, 시간 및 경비의 소요가 예상되지만 모니터링 항목을 관리 목표와 관리 행위와의 관련성을 고려하여 지표적 항목으로 대폭 축소하고 정량화한다면 보다 단주기의 모니터링이 가능해 질수 있으며 따라서 경제적인 적응관리도 가능할 수 있다.

### 3.3.2 연안습지에 대한 적응관리체계 도입 시의 고려점

우리나라 연안습지관리에 적응관리체계를 도입 할 경우 비교적 소규모의 공간적 범위에서 시범적으로 적용하는 시범사업들의 수행을 통하여 적용의 한계와 개선점들을 도출할 필요가 있다. 시범 사업으로서의 갯벌관리에 대한 공간적 면적 범위를 선정 할때는 i) 동일 관리자, ii) 이해당사자 그룹 네트워킹의 수월성, iii) 모니터링 항목 선정의 동일성과 같은 사항들이 고려될 필요가 있다. 즉 적응관리를 위한 적절한 생태모델의 개발을 위해서 갯벌 관리의 적절한 공간적 단위범위는 관리의 효과성 및 효율성을 고려하여 결정되어야 할 것이다.

적응관리의 구성에서 설명하였듯이 관리목표, 관리지표, 관리모니터링 항목, 생태모델 및 관리행위 등의 구성요소들을 관리대상 지역에 적합하게 수립 또는 선정하고 적응관리 루프의 주기를 최대한 줄일 필요가 있다. 즉 갯벌의 효율적인 적응관리를 위해서는 관리모니터링의 주기는 최대한 줄이는 대신에 관리모니터링 항목을 최소한으로 줄이는 방향으로 현재의 모니터링 체계를 변경할 필요가 있다. 또한 관리지표와 평가항목을 일치 시켜 관리의 효율성을 제고 할 필요가 있다.

## 4. 결 론

적응관리는 자연자원 관리를 위한 뛰어난 관리개념으로 미국 호주 및 유럽의 생태계 관리에 광범위하게 적용되고 있다. 적응관리를 어떻게 정의하느냐에 따라 달라지겠지만 우리나라에서는 수질총량관리제도를 도입한 하천의 수질 관리에 일부 활용하고 있으며 넓은 의미로 보면 수산자원 관리 중 총 허용 어획량(TAC) 관리방안이 적응관리 방안과 유사하다. 즉, 결정된 TAC는 관리목표로 볼 수 있으며 매년 모니터링과 자원평가를 통하여 TAC를 수정하거나 어획강도를 조정하는 등의 관리행위의 수정이 이루어지게 되어 적응관리의 중요한 개념인 학습을 통한 관리개선이 이루어지는 셈이다. 물론 앞서 언급하였듯이 적응관리의 관점에서 보면 개선의 여지가 많은 것도 사실이다.

그러나 그 이외의 생태계 관리에서는 거의 정량적인 관리시

스템이 미비한 것이 우리나라의 실정이고 관리 제도를 갖추고 있는 생태계에 있어서도 일부의 경우를 제외하면 생태계 각 요인들 및 인위적인 간섭의 시간적인 변화를 반영하지 못하고 있는 상황이다.

바다숲 조성관리 사업은 흔치않게 막대한 예산이 투입되는 생태계의 보전목적의 환경 친화적인 사업이다. 이러한 사업을 수행하고 관리하는 데 있어 적응관리제도는 예산집행의 효과성과 효율성을 담보할 수 있는 매우 훌륭한 관리제도라 할 수 있다.

적응관리제도의 도입으로 기대할 수 있는 바다숲 조성관리 사업의 효과들은 다음과 같다.

- 정량적인 바다숲 관리
- 생태계의 시간적 변화에 대응할 수 있는 유연한 바다숲 관리 가능
- 시간경과에 따라 축적되는 정량자료로부터 얻어지는 개념 생태모델의 지속적인 개선 및 관리의 정확도 향상
- 적응관리평가 워크숍 개최로 인한 이해당사자 인식증진 및 정부정책홍보
- 지구적 적응관리 네트워크와의 교류를 통한 적응관리 능력향상

연안습지관리도 우리나라 자연자원 관리 분야 중에서는 매우 큰 예산이 투입되고 있는 분야이다. 특히 갯벌복원사업은 관련법의 2020년 시행으로 향후 가장 중요한 자연자원관리 분야로 대두될 것으로 예상된다. 적응관리체계의 도입이 매우 중요한 분야임이 명백하다. 적응관리연구에 대한 지구적인 관심은 앞으로 특히 기후변화와 수산관리와 같은 시간에 따른 변동성이 큰 분야에서 활발히 진행될 가능성이 크며 불확실성을 그 관리대상으로 한다는 측면에서 적응관리방안의 현장적용과 관련된 많은 연구과제들이 지속적으로 수행될 것으로 예상된다. Stankey et al.(2005) 가 고찰 하였듯이 어쩌면 적응관리의 가장 큰 도전과제는 생태모델개발과 같은 기술적인 측면이 아니라 관리자를 포함한 이해당사자들의 자연자원 관리에 대한 수행의지와 도출된 관리행위들에 대한 실행능력을 개선하는 일과 같은 제도적인 측면(institutional aspects) 일 것이다. 관찰된 여러 관리사례들에서 제도적인 측면의 장애로 인한 적응관리 도입의 실패가 기술적인 이유보다도 더욱 관리 성과의 달성을 제약하는 이유임을 보여 준다(Rist et al., 2012).

적응관리의 기술적인 측면 중에 가장 핵심적인 부분은 관리 목표와 관리행위 및 관리모니터링 항목들의 관계성을 추정할 수 있는 생태모델의 개발이라 할 수 있다. 지금까지 다양한 생태모델들이 여러 가지 자연자원의 불확실성을 효과적으로 관리할 목적으로 개발 되어 왔으며 모델적합도의 측면에서 성공적인 시도들도 보고되고 있다 (Probert et al., 2011; Williams, 1997; Nichols & Williams, 2006; Bond & Loomis, 2009; Martin et al., 2009; Rout et al., 2009; Runge et al., 2011). 특히, 최근의 빅데이터 및 인공지능 기술의 비약적인 발전은 생태모델의 적합도를 획기적으로 향상시킬 수 있는 계기를 제공하고 있다.

그러나 적응관리의 중요한 특징인 이해당사자들의 참여와

이해가 성공적인 적응관리의 전제조건임을 고려할 때 생태계의 균형과 지속가능성의 최적화를 목표로 하는 고전적인 보전 중심의 생태계 또는 자연자원 관리목표보다는 이해당사자를 가장 중요한 생태계의 일원으로 고려하면서 자연자원이 이해당사자들에 미치는 편익을 최대화하는 방향으로 관리목표를 설정하는 것이 최대관리효과를 실현하는 현실적인 방법일 수 있다.

마지막으로 적응관리의 수행에서 관리자들이 반드시 고려해야 하는 것이 적응관리의 관리 규모에 대한 것이다. 우리나라는 인구밀도가 비교적 높고 자연자원의 이용과 관련된 이해관계가 매우 첨예한 사회이다. 만약 미국이나 호주처럼 관리대상이 되는 자연자원의 규모가 크고 이에 반해 관련 이해당사자가 우리나라 보다 매우 적은 경우는 적응관리의 단위관리대상도 넓은 지역에 해당할 수 있고 반복학습의 간격도 비교적 긴 시간을 줄 수 있을 것이다. 반면 우리나라의 경우는 가급적 작은 면적을 대상으로 하고 반복 학습의 시간간격도 짧게 가져가는 것이 성공적인 적응관리 성과를 달성할 수 있는 방안이 될 수 있다고 생각된다.

## 사 사

바쁘신중에도 세심한 검토와 날카로운 지적으로 본 논문의 완성도를 높여 주신 제주대학교 최광식교수님, KEI 김충기박사님, 국립수산물과학원 이재봉박사님께 존경의 마음을 담아 감사사를 드립니다.

## References

- Bond, CA and Loomis, JB(2009). Using numerical dynamic programming to compare passive and active learning in the adaptive management of nutrients in shallow lakes. *Canadian J. of Agricultural Economics* 57: 555–573.
- Briceno-Linares, JM, Rodriguez, JP, Kathryn, M, Rodriguez-Clark, Rojas-Suarez, F, Millan, PA, Vittori, EG and Carrasco-Munoz, MC(2011). Adapting to changing poaching intensity of yellow-shouldered parrot (*Amazona barbadensis*) nestlings in Margarita Island, Venezuela. *Biological Conservation* 144:1188–1193.
- CBD(2004). COP 7 Decision VII/11, *Seventh Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*, 9–20 February 2004. Kuala Lumpur, Malaysia. DOI : <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=7748>
- Choi, JK, Choi, MK and Choi, CB(2015). Follow-up Monitoring & Adaptive Management after Ecological Restoration for the Stream – Focused the Haku Stream in Anyang City. *J. Korean Env. Res. Tech.* 18(6):85–95. DOI : <http://dx.doi.org/10.13087/kosert.2015.18.6.85>
- CMP(2007). *Conservation Measures Partnerships Open Standards for the Practice of Conservation, Version 2.0. The Conservation Measures Partnership*, DOI : [http://www.conservationmeasures.org/wp-content/uploads/2010/04/CMP\\_Open\\_Standards\\_Version\\_2.0.pdf](http://www.conservationmeasures.org/wp-content/uploads/2010/04/CMP_Open_Standards_Version_2.0.pdf)
- Colyvan, M, Justis, J and Regan, HM(2011). The conservation game. *Biological Conservation* 144: 1246–1253.
- Conroy, MJ, Runge, MC, Nichols, JD, Stodola, KW and Cooper, RJ(2011). Conservation in the face of climate change: the roles of alternative models, monitoring, and adaptation in confronting and reducing uncertainty. *Biological Conservation* 144:1204–1213.
- Duncan, DH and Wintle, BA(2008). Towards adaptive management of native vegetation in regional landscapes. In: Pettit, C., Cartwright, W., Bishop, I., Lowell, K., Pullar, D., Duncan, D. (Eds.), *Landscape Analysis and Visualisation: Spatial Models for Natural Resource Management and Planning*. Springer-Verlag, Berlin.
- Failing, E, Horn, G and Higgens, P(2004). Using expert judgment and stakeholder values to evaluate adaptive management options. *Ecology and Society* 9:13.
- Gentile, JH, Harwell, MA, Cropper Jr, W, Harwell, CC, DeAngelis, D, Davis, S, Ogden, JC and Lirman, D(2001). Ecological conceptual models: a framework and case study on ecosystem management for South Florida sustainability. *Science of the Total Environment*, 274(1–3): 231–253.
- Gregg, RM, Kershner, JM and Hansen, LJ(2018). Strategies for Climate Change Adaptation: A Synthesis REarth Systems and Environmental Sciences, *Encyclopedia of the Anthropocene* 2: 257–265.
- Gregory, R, Ohlson, D and Arvai, J(2006). Deconstructing adaptive management: criteria for applications to environmental management. *Ecol. Appl.* 16:2411–2425.
- Guegan, JF, Lek, S and Oberdorff, T(1998). Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *NATURE*, 391: 383.
- Healey, MC, Angermeier, PL, Cummins, KW, Dunne, T, Kimmerer, WJ, Kondolf, GM, Moyle, PB, Murphy, DD, Pattern, DT, Reed, DJ, Spies, RB and Twiss, RH(2004). *Conceptual models and adaptive management in ecological restoration: The CALFED Bay-Delta Environmental Restoration Program*, CALFED Bay-Delta Program, Sacramento. C.A.
- Hilborn, R(1992). Can fisheries agencies learn from experience? *Fisheries* 17(4):6–14.
- Holling, CS(1978). *Adaptive Environmental Assessment and Management*. Wiley, Chichester, UK.
- Jacobson, RB, Parsley, MJ, Annis, ML, Colvin, ME, Welker, TL and James, DA(2014). *Development of conceptual ecological models linking management of the Missouri River to pallid sturgeon population dynamics*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1038, 47p., DOI : <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20151038>.
- Johnson, BL(1999). Introduction to adaptive management:

- scientifically sound, socially challenged? *Conservation Ecology* 3:8, DOI : <http://www.consecol.org/Journal/vol3/iss1/art10>.
- Keith, DA, Martin, TG, McDonald-Madden, E and Walters, C(2011). Uncertainty and adaptive management for biodiversity conservation, *Biological Conservation* 144:1175–1178.
- KIM, DH(2003). Problems and improvement methods of TAC system. *KMI Oceans and Fisheries Pending Issues*, 2003–17. DOI : <https://www.kmi.re.kr/web/board/download.do?rbsIdx=124&idx=18401&fidx=1>
- Kingsford, RT, Biggs, HC and Pollard, SR(2011). Strategic adaptive management in freshwater protected areas and their rivers. *Biological Conservation* 144:1194–1203.
- Kingsford, RT, Roux, DJ, McLoughlin, CA, Conallin, J and Norris, V(2017). Chapter 5.5 – Strategic Adaptive Management (SAM) of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams, *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams, Ecology and Management* 2017, PP. 535–562.
- Kuwahara, H, Hashimoto, O, Sato, A and Fujita, D(2010). Introduction of Isoyake Recovery Guideline (Fisheries Agency, Japan) *Bull. Fish. Res. Agen.* 32:51–60.
- Lek, S, and Guégan, JF(1999). Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological modelling*, 120(2–3):65–73.
- Linkov, I, Satterstrom, F, Kiker, G, Batchelor, C, Bridges, T and Ferguson, E(2006). From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: recent developments and applications. *Environment International* 32:1072–1093.
- Martin, J, McIntyre, CL, Hines, JE, Nichols, JD, Schmutz, JA and McCluskie, MC(2009). Dynamic multistate occupancy models to evaluate hypotheses relevant to conservation of golden eagles in Denali National Park, Alaska. *Biol. Conserv.* 142:2726–2731.
- McLain, D and Lee, RG(1996). Adaptive management: promises and pitfalls. *Environ. Manage.* 20:437–448.
- MOE(2016). Development of climate change adaptation and management technique and supportive system. *Environmental Policy Based Public Technology Development Project* Final Report 101pp. DOI : <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/107/5620126.pdf>
- MOF(2005). Studies on controlling factors of tidal flat macrofaunal diversity for restoration: Roles of pivotal species in tidal nat ecosystem: Succession processes of restoration. MOMOF Academic Research Report, KICE, Co. Ltd, 291pp. DOI : <http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=TRKO&cn=TRKO200500066668&rn=&url=&pageCode=PG18>
- Nature Conservancy(2007). *Conservation Action Planning Handbook*: developing strategies, taking actions and measuring success at any scale. Nature Conservancy, Arlington, VA, USA. DOI : <http://groups.ucanr.org/HumboldtHabitatGoals/files/59025.pdf>
- Nichols, JD and Williams, BK(2006). Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 21:668–673.
- Nichols, JD, Runge, MC, Johnson, FA and Williams, BK(2007). Adaptive harvest management of North American waterfowl populations: a brief history and future prospects. *J. Ornithol.* 148:S343–S349.
- Owens, PN(2009). Adaptive management frameworks for natural resource management at the landscape scale: Implications and applications for sediment resources. *J. of Soils and Sediments* 9(6):578–593.
- Park, Mi-ok and Koo, BH(2016). A Study on Monitoring and Adaptive Managements after Constricting the Aquatic Biotop Garden. *Journal of the Korean Institute of Garden Design*, 2(1):9–18.
- Parks Victoria (2011). DOI : <http://parkweb.vic.gov.au/park-management/environment/research-and-scientific-management/tools-for-adaptive-management>
- Parr, CL and Andersen, AN(2006). Patch mosaic burning for biodiversity conservation: a critique of the pyrodiversity paradigm. *Conserv. Biol.* 20(6):1610–1619.
- Probert, WJM, Hauser, CE, McDonald-Madden, E, Runge, MC, Baxter, PWJ, and Possingham, HP(2011). Managing and learning with multiple models: objectives and optimization algorithms. *Biol. Conserv.* 144:1237–1245.
- Rist, L, Campbell, BM and Frost P(2012). Adaptive management: where are we now? *Environmental Conservation* 40:5–18.
- Rout, TM, Hauser, CE and Possingham, HP(2009). Optimal adaptive management for the translocation of a threatened species. *Ecol. Appl.* 19:515–526.
- Runge, MC, Converse, SJ and Lyon, JE(2011). Which uncertainty? Using expert elicitation and expected value of information to design an adaptive program. *Biol. Conserv.* 144:1214–1223.
- Sabine, E, Schreiber, E, Bearlin, AR, Nicol, SJ and Todd, CR(2004). Adaptive management: a synthesis of current understanding and effective application. *Ecological Management and Restoration* 5(3):177–182.
- Salafsky, N, Margoluis, R and Redford, K(2001). *Adaptive Management: A Tool for Conservation Practitioners*. Washington, DC, USA: Biodiversity Support Program.
- Stankey GH, Clark, RN and Bormann, BT(2005). *Adaptive Management of Natural Resources: Theory, Concepts and Management Institutions*. U.S. Forest Service Pacific Northwest Forest Station Report PNW-GTR-654, Portland, Oregon
- USEPA(2000). *Lake Superior Lakewide Management Plan* [www document]. DOI : [www.epa.gov/glnpo/lakesuperior/lamp2000](http://www.epa.gov/glnpo/lakesuperior/lamp2000)

- USEPA(2007). *Gulf Hypoxia Action Plan 2008*: for reducing, mitigating, and controlling hypoxia in the Northern Gulf of Mexico and improving water quality in the Mississippi River Basin. US Environmental Protection Agency. DOI : [http://www.epa.gov/owow/msbasin/taskforce/pdf/2008draft\\_actionplan.pdf](http://www.epa.gov/owow/msbasin/taskforce/pdf/2008draft_actionplan.pdf)
- Valette-Silver, NJ, and Scavia, D(2003). *Ecological Forecasting*: new tools for coastal and marine ecosystem management. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 1. 116pp.
- van Wilgen, BW, Biggs, HC(2011). A critical assessment of adaptive ecosystem management in a large savanna protected area in South Africa. *Biol. Conserv.* 144:1179–1187.
- Walters, CJ and Hilborn, R(1976). Adaptive control of fishing systems. *J. of the Fisheries Research Board of Canada* 33:145–159.
- Walters, CJ and Hilborn, R(1978). ECOLOGICAL OPTIMIZATION AND ADAPTIVE MANAGEMENT, *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 9:157–188.
- Walters, CJ and Holling, CS(1990). Large-scale management experiments and learning by doing. *Ecology* 71:2060–2068.
- Walters, CJ(1986). *Adaptive Management of Renewable Resources*. MacMillan, New York, USA.
- Walters, CJ(1997). Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems. *Conservation Ecology* [online]1(2):1., DOI : <http://www.consecol.org/vol1/iss2/art1/>
- Walters, CJ(2007). Is adaptive management helping to solve fisheries problems? *Ambio.* 36:304–307.
- Webb, JA, Watts, RJ, Allan, C and Warner, AT(2017). Chapter 25 – Principles for Monitoring, Evaluation, and Adaptive Management of Environmental Water Regimes, Water for the Environment, In: *Policy and Science to Implementation and Management 2017*, Pages 599–623
- Westgate, MJ, Likens, GE and Lindenmayer, DB(2013). Adaptive management of biological systems: *A review Biological Conservation* 158:128–139.
- Williams, BK and Brown, ED(2014). Adaptive management: From more talk to real action, *Environmental Management* 53:465–479.
- Williams, BK and Johnson, FA(1995). Adaptive management and the regulation of waterfowl harvests. *Wildlife Society Bulletin* 23:430–436.
- Williams, BK(2011a). Adaptive management of natural resources –framework and issues, *J. of Environmental Management* 92:1346–1353.
- Williams, BK(2011b). Passive and active adaptive management: approaches and an example. *Journal of Environmental Management* 92:1371–1378.
- Williams, BK, Szaro, RC, and Shapiro, CD(2007). *Adaptive Management*: The U.S. Department of the Interior Technical Guide. Adaptive Management Working Group, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C.
- Williams, JG(1999). Stock dynamics and adaptive management of habitat: an evaluation based on simulations. *North American Journal of Fisheries Management* 19(2): 329–341.
- Woodward, A, Schreiner, EG, Crain, P, Brenkman, SJ, Happe, PJ, Acker, SA, and Hawkins-Hoffman, C(2008). Conceptual models for research and monitoring of Elwha dam removal—management perspective. *Northwest Science* 82(sp1):59–71.
- WWF(2007). *Standards of Conservation Project and Programme Management. Report*, WWF, Gland, Switzerland. DOI : [www.panda.org/standards/complete](http://www.panda.org/standards/complete)
- Yoo, JW, Lee, CW, Lee, YW, Kim, CS, Lee, CG, Choi, KH, and Son, KH(2018). Application of a Conceptual Ecological Model to Predict the Effects of Sand Mining around Chilsan Island Group in the West Coast of Korea. *Ocean Science Journal*, 53(3):521–534.
- Yoo, JW, Lee, YW, Lee, CG, and Kim, CS(2013). Effective prediction of biodiversity in tidal flat habitats using an artificial neural network. *Marine environmental research*, 83:1–9.

#### 〈저자소개〉

##### **Jae Won Yoo**

Korea Institute of Coastal Ecology Inc.  
CEO / [jwwoo@coastkorea.com](mailto:jwwoo@coastkorea.com)

##### **Su-young Jeong**

Korea Institute of Coastal Ecology Inc.  
Senior Researcher / [oceanologist@naver.com](mailto:oceanologist@naver.com)

##### **Tae-Geon Oh**

Korea Fisheries Resources Agency  
Manager, Resource Enhancement Division / [dharta@fira.or.kr](mailto:dharta@fira.or.kr)

##### **Jong Ryol Kim**

Korea Fisheries Resources Agency  
Senior Researcher / [jrkim@fira.or.kr](mailto:jrkim@fira.or.kr)

##### **Mi Kyung Choe**

Korea Fisheries Resources Agency  
Manager, Ecology Rehabilitation Division / [choemk@fira.or.kr](mailto:choemk@fira.or.kr)

##### **Ok-in Choi**

Project Management Team Manager  
South Sea Branch / [okin@fira.or.kr](mailto:okin@fira.or.kr)

##### **Young Cheol Park**

New Water Tec Co. Ltd..  
Chief Researcher / [ypark115@naver.com](mailto:ypark115@naver.com)