



Original Article

금강하구의 하구순환 복원 논의 지원을 위한 과학과 정책의 통합적 접근

이창희^{1,†} · 신영호² · 이범연²

¹명지대학교 환경에너지공학과

²명지대학교 유역시스템공학연구센터

A Science-Policy Integrated Approach to Support the Stakeholder Consultation Process for Estuarine Circulation Restoration of the Geumgang Estuary

Chang-Hee Lee^{1,†}, Young Ho Shin², and Bum-Yeon Lee²

¹Department of Environmental Engineering & Energy, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

²Watershed System Engineering Research Center, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

요 약

금강하구의 하구순환 복원 가능성을 염두에 두고 이해당사자의 논의를 지원하기 위한 통합적 노력이 수행되었다. 기술적 측면에서는 복원과 연관된 객관적인 자료를 효과적으로 이해당사자에게 전달하기 위한 통합정보시스템이 구축되었고, 정책적 측면에서는 이해당사자의 갈등을 완화하고 합의 도출을 위한 정책협의회를 운영하였다. 통합정보시스템은 데이터베이스시스템, 모델링시스템, 의사결정지원시스템 및 평가시스템 등의 하위 시스템으로 구성되었고, 웹GIS를 통해 서비스하도록 개발되었다. 시스템의 개발 초기부터 단계별로 개발에 사용된 객관적인 자료를 정책협의회에 제공하여 복원과 연관된 협의를 지원하였고, 동시에 이해당사자의 요구사항을 수렴하여 시스템을 개발함으로써 시스템의 완성도를 제고하였다. 향후 시스템의 유지와 개선이 지속적으로 수행되고 정책협의회가 제도적 기반 위에 안정적으로 운영된다면 하구순환 복원이라는 복잡한 문제를 과학과 정책의 통합적 접근을 통해 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract – Integrated efforts conducted to support the stakeholder consultation process regarding on the estuarine circulation restoration of Geumgang Estuary. A policy council was established to facilitate conflict resolution among stakeholder and an integrated information system was developed to effectively deliver scientific data to the policy council. The information system consists of several subsystems such as database system, modeling system, decision support system and evaluation subsystem, and it can be easily accessed and used through Web-GIS. The stakeholder deeply involved in the system development from early stage so that they could use all the data reflected in the system during consultation process and at the same time contribute to improving degree of system completeness by providing customers demands. This kind of mutual interactions between science and policy sectors turns out effective to deal with controversial or conflicting issue as like as the estuarine circulation restoration project.

Keywords: Geumgang Estuary(금강하구), Estuarine Circulation(하구순환), Restoration(복원), Information System(정보시스템), Policy Council(정책협의회)

1. 서 론

금강하구는 우리나라 463개의 하구 중 하구순환이 하굿둑 등의 시설물로 인해 차단된 228개의 막힌 하구 중 하나이다(Lee *et al.*[2011]). 일반적으로 다양한 형태의 막힌 하구에서 제기되었던

하구호의 수질악화, 세립퇴적물의 퇴적을 증가, 생태통로의 차단 및 수산자원의 감소 등 심각한 환경문제가 금강하구에도 나타나고 있다(Table 1). 최근에는 과거 농공업 위주의 하구이용의 수요가 급격히 주거, 위락 및 생태관광 등으로 변화함에 따라 이러한 환경문제를 근본적으로 해결해야 한다는 요구가 급증하고 있고 이런 측면에서 하구순환 즉, 하굿둑 개방을 통한 해수유통의 필요성이 높아지고 있다(Elliot *et al.*[2016]; Ysebaert *et al.*[2016]; Park *et al.* [2017]).

[†]Corresponding author: changhee@mju.ac.kr

Table 1. Environmental changes and their impacts in the Geumgang Estuary after construction of the river-mouth barrage

Categories	Environmental Changes	Expected Impacts
Physical/ Hydrodynamic	- Decreasing of current/wave (river-mouth barrage, dike, breakwater, etc) - Change in fresh water discharge amount & pattern - Increased retention time of estuarine reservoir	- Increasing sedimentation rates in harbor & navigational channel - Reduced nutrient supply in laver aqua farms - Increased possibility of algal bloom
Sedimentation	- Decreasing water depth in the navigational channel - Widening tidal flats (Seocheon) and changing sediment composition	- Increasing dredging cost to maintain navigational channel - Restricted public accessibility to water front - Changing benthic community and resources in tidal flats
Water quality	- Land-based pollution load & increased retention time (estuarine reservoir) - Concentrated marine debris - Reduced current velocity & intermittent discharge (harbor) - Contamination of heavy metal and hazardous chemicals in sediments	- Deteriorating water quality & increased possibility of algal bloom - Safety in navigational channel and aesthetic problem, negative effects on tourism - Deterioration of plankton and benthic community health
Plankton	- Red tide (Harbor zone) - Algae bloom (Estuary reservoir)	- Aesthetic problems, negative effects on tourism - Negative effects on aqua farm and ecosystem
Benthic community	- Contamination of sediments - Changing sediment composition (increasing finer particles) in tidal flats	- Reduced bivalves production - Deterioration of benthic community health
Fishery resources	- Blocking fish migration paths - Reduced rearing & nursery grounds	- Reduced revenue from fishery and related industry - Decreased biodiversity
Social/Economic	- Decline of fishery and related culture - Intensified unbalanced local or regional development	- Deepening conflicts and increasing social cost

하구순환의 복원은 환경적 측면에서 그 필요성은 일반적으로 인정되고 있지만 기존 용수 및 하구주변 토지이용 체계의 전면적인 변화를 초래한다는 점에서 심각한 사회적 갈등을 유발할 수밖에 없다. 실제 2018년 시범적인 해수유통을 시행한 네덜란드의 하링브리트 하굿둑의 경우에도 시행과정에서의 갈등으로 인해 결정이 번복되고 시행이 지연되어 하굿둑 개방이 결정된 후 약 20년 이후에 실현되었다(Marks *et al.*[2014]). 국내에서도 과거 20년 가까이 논의만 되었던 하구순환 복원에 대한 정부차원의 검토가 낙동강 하굿둑 운영개선 및 생태 복원방안 연구(Korean Government[2017]) 및 영산강하구 수질 및 수생태계 연구(YSWMC[2017]) 등을 통해 최근에서야 시작되었다. 금강하구 또한 해수유통과 관련된 지역 간 갈등을 해결하기 위해 부분적인 연구가 추진되었으나(MLTM[2011]), 기존의 하향식 정책의 접근방식 및 연구자 입장에서 제공하는 단편적인 정보만으로는 갈등해소에는 한계가 있을 수밖에 없었다. 특히, 금강하구의 경우 정책결정을 지원할 과학적 자료의 부족(Elliott *et al.*[2007]), 이해당사자 갈등을 조정할 수 있는 논의체계(Schneider *et al.*[2003])의 부재 및 과학적 정보를 정책결정자들에게 전달하는 효과적인 메커니즘의 부재 등이 가장 큰 한계요인으로 지적되었다.

이러한 한계 극복을 위해 1990년대 이후부터 통합적 개념에 근거하여 미국은 법정 국가하구프로그램(Poole[1996]; Schneider *et al.*[2003])을, 영국을 포함한 영연방 국가들은 비법정 하구프로그램(DEP[1996]; Pomeroy[1995]; TEP[1999]) 등을 개발하였다. 이러한 하구프로그램은 공통적인 요소로서 모니터링 및 모델링 등 하구관리를 위한 지식을 제공하기 위한 조사연구와 그 결과를 제공하는 정보시스템의 구축, 다양한 이해당사자의 갈등을 조정하여 통합적 정책결정을 내리는 하구관리위원회 등의 의사결정 구조 및 하구관리의 통합성 확보를 위한 하구종합관리계획의 수립 및 이행평

가체계 등을 포함한다.

하구환경의 이해와 다양한 인위적 활동에 따른 영향예측을 위해 필요에 따라 사안별로 수집되던 모니터링 및 모델링 정보는 1990년 후반부터 모델링, 데이터베이스 및 GIS기술의 발전에 힘입어 통합된 정보시스템으로 구축되기 시작했다(Linker *et al.*[2002]; Williams *et al.*[2006]). 이는 해당 시기에 구축된 하구통합관리체계나 하구관리프로그램의 운영을 효과적으로 지원하기 위한 수요가 급속하게 증가되었기 때문이다. 모델링시스템은 복잡한 하구문제를 다루기 위해 다양한 모델의 통합이 시도되었고, 예보기능을 강화하는 쪽으로 발달하였다(Rodrigues *et al.*[2013]). 또한 정책결정자들에게 복잡한 대안 중 최적의 선택을 하는데 도움을 줄 수 있는 다양한 형태의 의사결정지원시스템이 개발되었다(Jones *et al.*[2002]).

따라서 본 연구에서는 금강하구의 해수유통과 연관된 갈등 해결을 위해 시도된 과학과 정책의 통합적 접근, 즉 해수유통과 연관된 과학적인 자료를 정책결정자가 요구하는 형태로 통합하고, 이를 정책결정자와 이해당사자에게 효과적으로 전달하기 위한 방안으로 금강하구해역종합관리시스템(이하, 통합정보시스템)을 개발하고, 한편으로는 이해당사자 간 갈등을 효과적으로 완화하기 위한 금강하구해역정책협의회의(이하, 정책협의회)를 운영했던 사례를 통해 과학과 정책의 통합적 접근법의 유용성과 한계를 제시하고자 한다.

2. 연구지역 및 접근 방법

금강하구는 국가하천인 금강이 서해로 유입되어 형성된 하구이지만, 1997에 건설된 하굿둑으로 인해 하구순환이 차단된 닫힌 하구이다. 하굿둑이 건설되기 이전에는 강 입구로부터 34 km 상류인

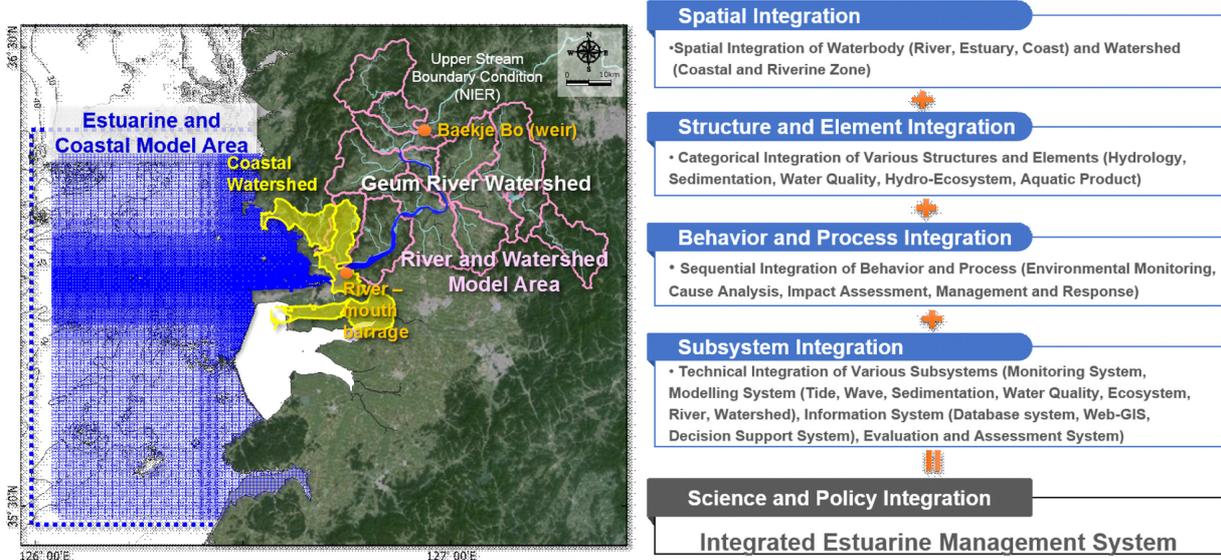


Fig. 1. Areal domain and basic concept of integration.

강경까지 기수역이 형성되었으며, 감조역은 훨씬 상류까지 형성되었다. 이를 고려하여 본 연구에서는 하구의 상류 영역을 백제보로 보고 그 하류의 유역, 하천, 하구호 및 연안을 포함하도록 연구 영역을 설정하였다.¹⁾ 연구영역 내 과학적 자료의 통합은 연구의 목적에 따라 매우 다르지만 적어도 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 측면의 통합을 고려하였다. 즉, 구조 및 요소의 통합은 수리, 퇴적물, 수질, 수생태 및 수산 등 하구의 환경적 요소를 포함하되 현재 예측모델의 수준을 고려하여 수리, 퇴적물 및 수질 부분에 초점을 두었다. 따라서 모니터링, 조사 및 모델은 상기 대상 영역에서 수리, 퇴적, 수질 및 일부 수생태 및 수산자원 항목에 국한하여 수행되었으며 주로 하구 환경상태의 파악, 일부 담수영향 프로세스의 규명, 해당분야 모델 신뢰성 향상을 위한 검·보정 자료(Jeong *et al.*[2018]; Lee and Ahn[2018]) 및 하구의 건강성평가 지표(Park *et al.*[2018]) 등의 개발에 사용되었다.

행동 및 과정의 통합은 모든 자연적인 현상의 프로세스를 포괄하기 보다는 하구환경의 인과관계를 밝히는데 초점을 두고 있어 통합적 하구관리를 위한 분석의 도구로 많이 사용되는 추동력 - 압력 - 상태 - 영향 - 대응(Driving Force - Pressure - State - Impact - Response, DPSIR) 체계를 채용하였다(Pinto *et al.*[2013]; Pirrone *et al.*[2005]). 추동력과 압력 요인은 사회경제 조사 및 설문조사, 상태는 모니터링 및 조사, 영향은 모델링, 대응은 관련 법제도, 계획, 프로그램 및 사업의 파악을 통해 수행되었으며, 각 조사·연구의 결과는 데이터베이스시스템, 모델링시스템, 의사결정지원시스템 및 평가시스템 등 통합정보시스템의 하위시스템으로 구축되었다(Fig. 2). 각 행동 및 과정과의 연계성의 분석은 동적인 피드백 과정을 고려하지 않고 일

방향의 과정만을 고려하였으며, 결과의 일부는 금강하구 지속가능성 지표의 개발과정에서 사용되었다(Kim and Min[2018]).

결국 통합정보시스템 개발의 목적은 금강하구의 하구순환 복원과 연관된 이해당사자들의 이해를 제고하고, 갈등을 완화하여, 합의를 형성해가는 과정에 기여하는데 있다. 따라서 본 연구에서는 해양수산부의 행정지원을 받아 이해당사자 간의 논의와 정책 결정을 위해 정책협의회를 구성하였으며, 정책협의회를 운영하는 과정에서 요구되는 조사연구, 모델링 및 평가 자료를 이해당사자가 적기에 이용할 수 있도록 과학-정책 연계시스템 구축을 시도하였다. 특히 이해당사자가 다양한 정책 대안별 영향을 객관적으로 검토하여 최적안을 시험적으로 도출할 수 있도록 다양한 정책대안별 모델결과를 정량적으로 비교할 수 있도록 하는 의사결정지원시스템의 구축이 그 대표적인 예이다(Rhew *et al.*[2018]). 이를 통해 금강하구에 대한 과학적 조사연구가 단순히 그 결과의 제시에 그치지 않고 금강하구순환과 연관된 정책결정에 직접적으로 활용되는 과학과 정책의 통합이 이루어질 수 있는 기반을 구축하였다.

3. 통합정보시스템의 구조와 기능

통합정보시스템은 데이터베이스시스템, 모델링시스템(실시간 예측시스템 포함), 의사결정지원시스템 및 평가시스템으로 구성되어 있으며 금강하구해양중합관리시스템 웹(<http://www.krestuary.or.kr>)을 통해 접속할 수 있으며²⁾, 통합정보시스템의 연결구조는 Fig. 3과 같다.

3.1 데이터베이스시스템(Database System)

데이터베이스시스템은 본 연구를 통해 수집된 모든 사회·경제 조사자료, 관측자료 및 모니터링 자료, 모델링시스템을 통해 수행한 모든 시나리오 분석 결과 및 의사결정지원시스템을 통해 시도된 모든 비교자료 등을 포함하고 있다. 또한 해양환경공단에서 관리하는

¹⁾ 당초 백제보 하류유역만 연구범위에 포함하였으나 최근 보개방과 연관된 여건의 변화를 고려하여 유역모델은 금강유역 전체를 대상으로 확대

²⁾ 현재 금강하구해양중합관리시스템 웹페이지는 일반에게 공개하고 있으나, 데이터베이스, 모델링 및 의사결정지원시스템은 시범운영 중에 있으므로 정책협의회 회원 및 연구팀 이외의 일반인의 접속이 차단되어 있음.

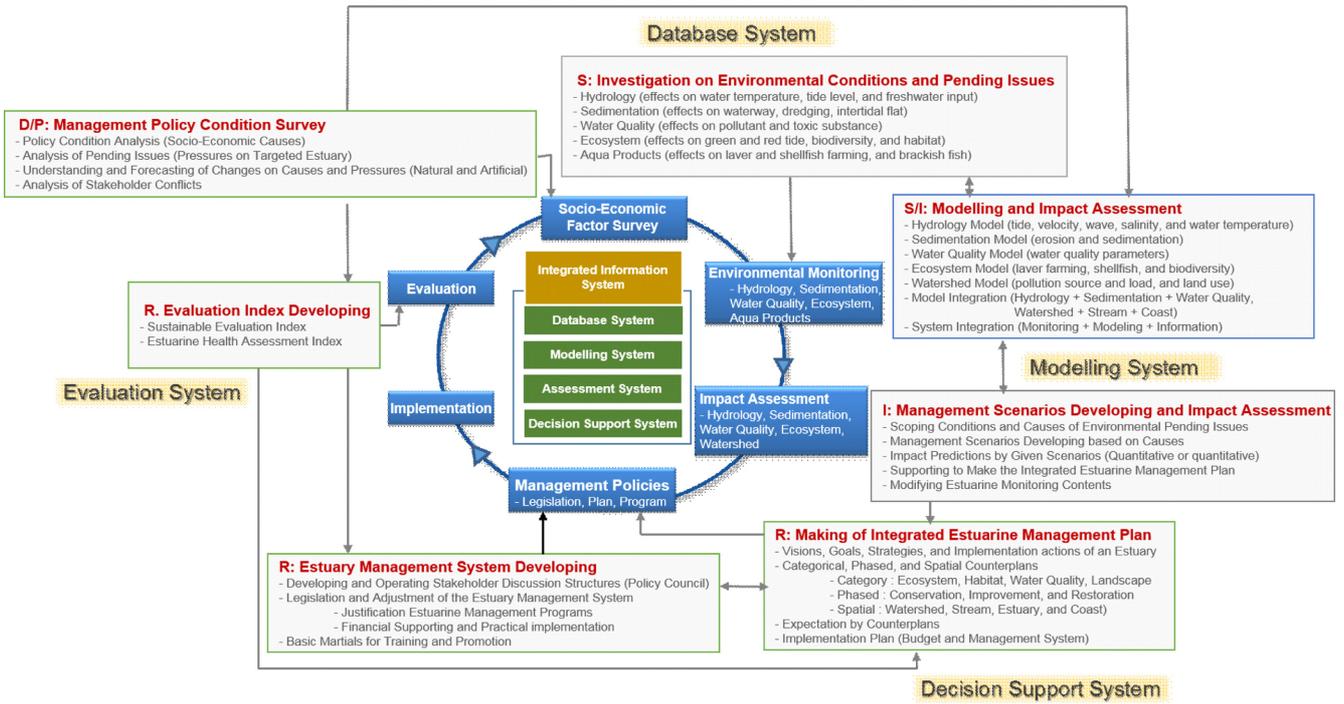


Fig. 2. Integrated information system based on DPSIR analytical framework.

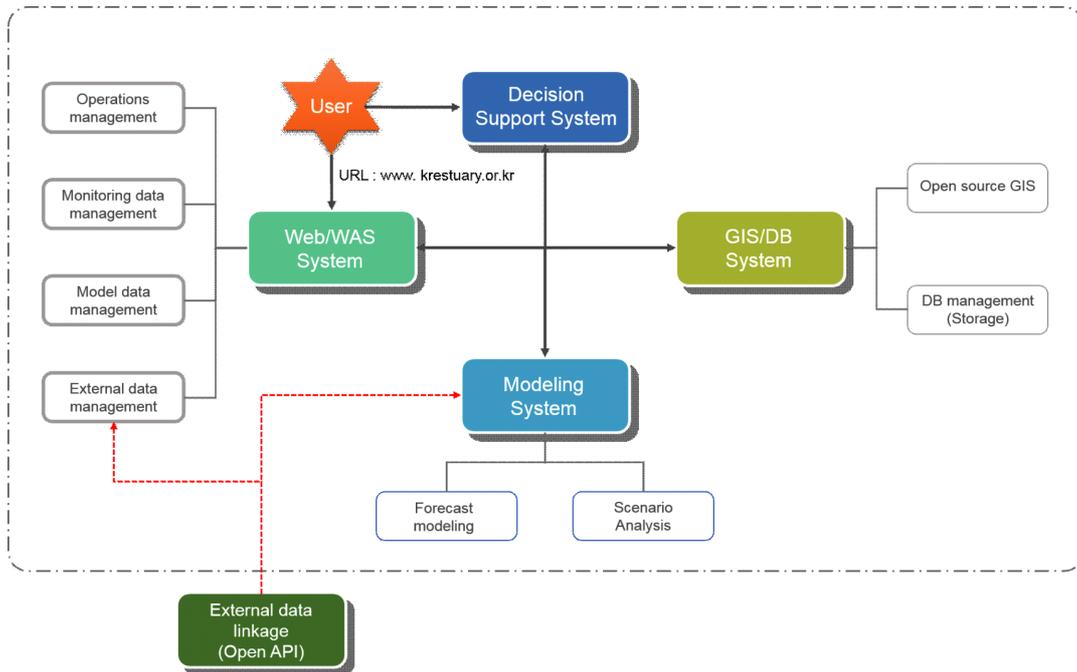


Fig. 3. Subsystem linkages of the integrated information system.

금강하구해역에 포함된 해양환경측정망과 연동되어 있다. 모든 자료는 웹 GIS로 구축되었고, 웹을 통해 어디서든지 접근할 수 있으며, 그래픽사용자 인터페이스를 통해 직관적으로 검색이 가능하다.

관측 자료는 물론 하구순환과 관련된 시나리오별 모델링(수리, 퇴적, 수질, 유역 모델) 결과는 우선적으로 해석과 육역으로 구분

하여 메뉴가 설정되어 있고, 각 해당 영역에서 각 항목에 대해 정점별 시계열, 수심별 수평분포 및 2개의 단면에 따른 단면분포를 도시할 수 있도록 개발되었다. 또한 금강하구역에 연관된 유역의 토양도 및 토지피복도, 해역의 전자해도 및 양식장 분포 등의 공간 자료도 구축하여 서비스 하고 있으며, 향후 시스템의 유지관리 비용을 저감하기 위해 개발된 GIS 도구를 사용하여 개발되었다.

3.2 모델링 시스템(Modeling System)

모델링시스템은 하구 및 하천의 경우 네덜란드 델타레스에서 개발된 Delft3D 모델을, 유역의 경우에는 하이드로코어에서 개발한 분포형 유역모델인 STREAM 모델을 사용하였다. 모델의 신뢰성 제고를 위해 2015~2017년에 수행된 현장 관측조사 자료에 근거하여 지속적으로 모델 검·보정을 실시하여 모델의 신뢰성을 확보하였다.³⁾ 구축된 모델은 2가지 다른 목적으로 사용되었다. 첫째는 관리 대안 별로 유동, 퇴적, 수질 등의 변화를 예측하는 시나리오 분석 기능이고, 둘째는 현 시점을 기준으로 향후 3일 후까지 유동, 퇴적 및 수질 변화를 예보하는 기능이다.

현재까지 시나리오 분석은 기본시나리오 8건(시나리오별 갈수년, 평수년, 홍수년 각각 1년 모의)과 상세시나리오 11건(시나리오별 갈수년, 평수년, 홍수년 각각 1개월 모의) 등 총 19건이 완료되었고, 기존 시나리오의 최적 조합 및 정책협의회에서 요구하는 추가적인 시나리오를 포함 6건 이상의 시나리오 예측이 현재 수행되고 있다. 수행된 시나리오는 주로 하굿둑의 개방 정도(부분개방, 완전 개방 등)와 하굿둑의 개방 방법(기존 수문, 수문 신설, 하굿둑 허버터널 등)에 따른 염분 침투 범위, 퇴적을 및 수질 변화 예측에 초점을 두고 있다. 따라서 해수유통과 관련하여 제기될 수 있는 다양한 대안에 대한 환경영향을 쉽게 파악하고 비교할 수 있다. 이와 더불어 현 상태를 기준으로 퇴적물 준설(군산 및 장항 항로, 개야 수로, 신설 수문 전면 등), 유역관리(유역 오염원 관리, 기후변화) 및 수문 제어를 통한 담수 방류량 조절(방류 빈도, 방류 시기, 일회 방류량 등) 등 금강 하구에서 제기된 여러 환경문제 해결을 위해 고려 중인 시나리오가 포함되어 있다. 이 모든 시나리오 결과는 데이터베이스에 저장되어 시나리오별 결과 검색이 가능하고, 시나리오별 비교를 통해 최적 대안을 찾을 수 있도록 의사결정지원시스템과 연계되어 있다.

예보기능은 하천 환경의 변화 예를 들어 조류 대발생 문제 해결을 위한 보 방류, 오염물질 누출사고 등 상류에서 특정 환경변화가 일어날 때 하구환경에 미치는 영향을 예측하기 위해 개발되었다. 예보는 1일 1회 1시간 간격으로 72시간 예측을 수행하는 실시간 모델링시스템을 통해 서비스된다. 실시간 예측은 매일 기상청 예보 자료에 근거하여 자동으로 바람, 강수량, 기온 등 하천-하구 모델링에 필요한 자료를 추출하여 파랑모델과 유역 모델을 구동하고, 이를 토대로 유동 퇴적모델, 수질모델을 순차적으로 구동하며, 그 결과를 후처리 과정을 통해 간단한 형태로 만들어 통합정보시스템에 전달하는 절차를 따른다. 모델은 매일 시작 시 전일의 모의결과를 이용한 hot start 방식을 이용하고 있다. 그러나 본 실시간 예측 시스템은 아직까지 자료동화 기능이 반영되어 있지 않고, 자동으로 계산하는 하굿둑 방류 조건과 상류 경계 조건의 불확실성이 높기 때문에 실제 상황을 반영하는데 한계가 있다. 따라서 현재로서는

유역 및 하천 환경에 변화에 대한 하구의 반응 또는 프로세스의 연구 등 제한된 용도로만 사용될 수 있다.

3.3 의사결정지원시스템(Decision Support System)

의사결정지원시스템은 일반적으로 대안별 환경영향 자료가 저장된 데이터베이스시스템, 대안별 영향을 예측하는 모델링시스템 및 대안을 정량적으로 비교하는 평가시스템으로 구성된다. 본 시스템에서는 이미 데이터베이스시스템과 모델링시스템이 별도로 구축되어 있으므로 필요한 자료는 시스템 연계를 통해 해결하고 정량적인 비교평가 로직과 그 결과를 포출하는 시스템에 중점을 두어 개발하였다(Rhew et al.[2018]).

하구 환경의 특성 상 이해당사자별로 관심이 되는 분야, 항목, 지역, 시기 등이 매우 다르기 때문에 단순히 동일한 조건에서 일부 항목만을 대상으로 대안을 비교하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 본 시스템에서는 관심 분야, 항목, 지역, 시기 등을 사용자가 선택하여 비교할 수 있도록 유연성을 확보하였고, 비교평가를 위한 가중치의 선정에 있어서도 전문가 가중치, 사용자 가중치, 상대비교 등 방법론적인 다양성을 부여하였다. 또한 대안별 비교의 결과도 다양한 형태로 제공하여 결과의 해석을 용이하도록 하였다. 특징적인 것은 모든 대안의 비교결과는 자동적으로 시스템에 저장되기 때문에 필요에 따라 사용자 본인의 비교결과 뿐만 아니라 기존에 타 사용자가 수행했던 결과도 비교할 수 있도록 시스템의 기능을 확장하였다.

3.4 평가시스템(Evaluation System)

하구환경의 통합관리시스템이 정착되기 위해서는 관리노력에 따른 효과를 평가할 수 있는 지표 또는 지수가 필요하다. 특히 하구의 경우에는 환경변화가 시공간적으로 매우 심하기 때문에 일부 항목의 변화만을 모니터링해서는 관리활동의 효과여부를 판단하기 어렵다. 이런 관점에서 본 시스템에서는 기존에 정부에서 사용하는 수질평가지수(Water Quality Index, WQI)와 보완적으로 사용할 수 있는 식물플랑크톤 군집지표를 사용한 생물건강성 지수(Phytoplankton Index of Biotic Integrity, P-IBI)를 개발하였다(Park et al.[2018]). 또한 단순히 해수유통 등 관심사업 뿐만 아니라 장기적으로 금강 하구역의 전체적인 지속가능성을 염두에 두고 하구 수역뿐만 아니라 유역을 포함한 금강 하구역 전체의 상태를 지속가능성 차원에서 평가하는 지속가능평가지수(Sustainability Index)를 개발하였다(Kim and Min[2018]). 개발된 지수는 현재 그 유용성, 지수산정을 위한 자료의 가용성, 일정 주기의 자료 업데이트 가능성에 대한 검토가 진행 중에 있으며, 향후 타당성이 인정되면 시스템에서 자동으로 지수를 산정하여 웹을 통해 서비스할 예정이다.

4. 정책협의회의 구조와 기능

통합정보시스템이 금강하구의 하구순환 복원 및 환경관리를 위한 과학적이고 객관적인 자료를 제공하는 정책수단이라면, 정책협의회는 이들 수단을 활용하여 하구순환 정책을 포함한 하구정책의 방

³⁾항목에 따라 다르나 유동 모델의 경우 조석 0.99(1-ARE), 조류 0.92(1-ARE), 하천수위(IOA) 0.97, 수문(IOA) 0.99, 염분(IOA) 0.78, 파랑모델은 파고(IOA) 0.96, 퇴적모델은 부유사농도(1-ARE) 0.62, 퇴적을(1-ARE) 0.80, 수질모델은 수질(IOA) 0.72, 유역모델은 유량(IOA) 0.80, 유사(IOA) 0.50, 수질(IOA) 0.59 등의 신뢰성 확보. 기타 모델링시스템에 대한 상세한 기술적 정보는 KIMST(2018) 보고서 참조.

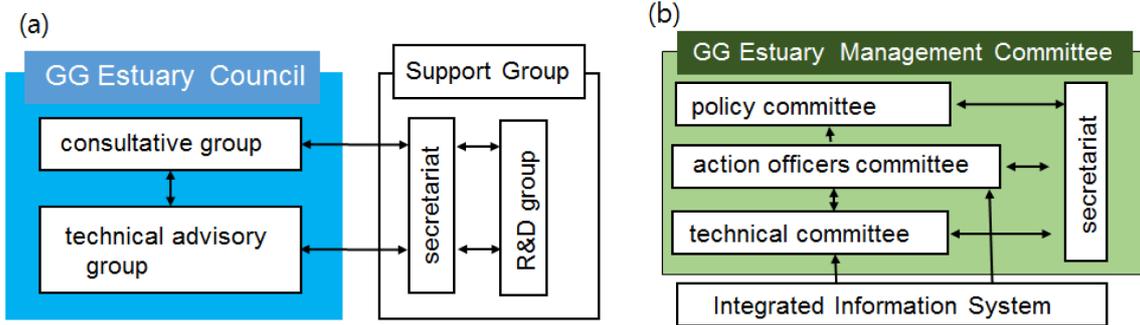


Fig. 4. Management structure of Geumgang Estuary. (a) Currently operating structure, (b) Expected structure after estuary management regulation enacted.

항 설정 및 관리를 위한 주요 내용을 결정하는 이해당사자 협의체 형태의 의사결정기구이다. 정책협의회는 아직 법적 근거가 없기 때문에 구조적으로는 마산만 민관산학협의회 또는 시화호 관리위원회와는 달리 최종적인 의사결정 기구인 정책위원회 없이 실무그룹과 기술적, 과학적 자문을 담당하는 전문그룹으로 구성되어 있고 이들 활동을 지원하기 위해 관리지원팀이 별도로 운영되고 있다 (Fig. 4).

4.1 실무그룹

실무그룹은 금강하구의 환경관리와 연관된 해양수산부(해양수산청 포함), 환경부(금강유역환경청, 충청남도, 전라북도, 군산시, 서천군, 농어촌공사, 한국수자원공사, 수산협동조합 및 환경단체의 장) 지정하는 실무자로 구성되었으며, 연 2회 이상 개최되어 현재까지 11차까지 회의가 진행되었다. 초기에는 해수유통과 연관된 이해관계 때문에 해수유통에 부정적인 이해당사자의 참여가 소극적이었으나, 해수유통 문제에 국한되지 않고 금강하구의 전반적인 환경보전 및 이용개발을 위한 주제로 논의의 범위를 확대함으로써 해당 이해당사자의 참여를 유도하였다. 또한 하구 문제 논의가 어느 한 이해당사자의 의도에 따라 좌우되지 않도록 참여 실무자의 수까지 공평하게 배당하는 등 운영에 있어서도 신뢰유지를 위한 노력을 기하였다.

과거 공전되었던 유사한 사례의 하구협의체와는 달리 이해당사자의 합의에 근거하여 4차 협의회에서 ‘생태적으로 건강하고 풍요로운 금강하구’라는 공통의 비전을 설정 하였고, 7차 협의회를 통

해 금강하구의 4개 관리목표 설정에 합의하는 실질적 성과를 거두었다. 관리목표는 금강하구의 다양성과 복잡성을 고려하여, 보호(금강하구의 환경·사회·문화적 가치 보호), 개선(생태적으로 건강하고 쾌적한 환경의 조성), 이용(지역주민의 삶의 질 향상을 위해 하구를 지혜롭게 이용), 그리고 관리(실효성 있는 금강하구 관리를 위한 관리체계 구축) 등의 부문별로 정성적으로 설정하였다. 하구순환 복원의 문제는 별도의 관리목표로 설정되지는 않았으나 개선목표에 함축적으로 포함하였으며, 향후 논의가 진행되는 경우 목표를 구체화하기로 하였다. 제7차 정책협의회부터는 그간 수행되어온 모델 시나리오 결과를 바탕으로 다양한 해수유통 방안에 대한 검토를 실시함으로써 하구순환 복원에 대한 실질적인 논의가 진행되었다.

4.2 전문가 자문그룹

전문가 자문그룹(이하 ‘자문그룹’)은 실무그룹의 논의 과정에서 제기되는 과학적 문제에 대한 전문적 판단과 제언을 담당하기 위해 실무그룹에 참여하는 이해당사자가 추천한 전문가로 구성되었다. 지금까지 8차에 걸친 회의를 통해 금강하구의 통합모니터링 방안, 하구순환을 포함한 금강하구 관리 시나리오 검토 및 통합정보 시스템의 구조 및 기능 등을 과학적/기술적 측면에서 검토하여 그 의견을 실무그룹에 전달하는 기능을 수행하였다. 제7차 정책협의회 이후 실무그룹 논의의 초점이 구체적으로 하구순환 시나리오별 타당성 검토로 전환되고 있으므로 이와 관련된 전문가 그룹의 활동이 강화될 것으로 예상된다.

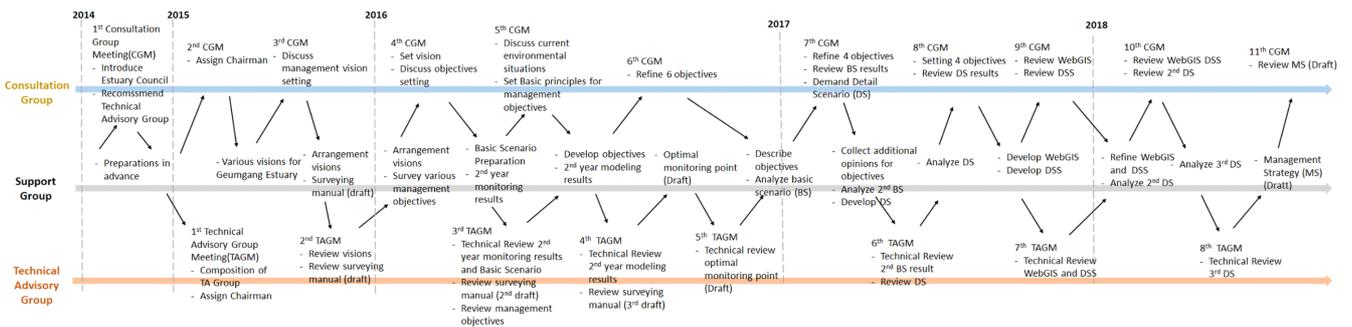


Fig. 5. Iterative consultation process between groups.

4.3 관리지원팀

관리지원팀은 실무그룹과 자문그룹 운영 시 필요한 과학적 자료의 정리, 회의에 필요한 자료의 작성, 회의 결과의 정리 및 보고, 협의 회 운영을 위한 예산의 처리 등 정책협의회 운영을 위한 사무국 역할을 수행하고 있다. 하구역통합관리시스템 연구개발사업이 진행되는 기간에는 잠정적으로 해당 사업을 담당하는 연구팀이 이 업무를 대행하고 있어 연구팀의 역할이 매우 중요하다. 그 이유는 실무그룹으로부터 요구받은 내용을 연구팀에 정확하게 전달하고 또한 한편으로는 자문그룹의 활동에 필요한 과학적 자료를 적기에 제공해야 하기 때문이다. 즉, 현재의 관리지원팀은 실무그룹과 자문그룹, 실무그룹과 연구팀 및 자문그룹과 연구팀 간의 유기적인 대화를 촉진하고 과학적 정보를 효과적으로 전달하는 메신저 및 의견 조정자 역할을 동시에 수행한다(Fig. 5). 향후 제도적 근거를 확보한 후 정책협의회가 금강하구관리위원회로 전환되면 관리지원팀 또한 관리위원회 사무국으로 전환될 예정이다.

5. 토 의

복잡성, 다양성, 변동성 등 하구환경의 환경적, 사회경제적 특성을 고려할 때 하구환경관리, 특히 하구순환 복원과 같이 이해당사자 갈등이 첨예한 문제를 다루기 위해서는 과학과 정책의 통합은 선택이 아닌 필수적인 요구이다. 본 연구에서는 이를 통합정보시스템의 구축 및 정책협의회의 운영의 측면에서 살펴보았는데 그 유용성과 한계는 다음과 같다.

5.1 통합정보시스템의 유용성과 한계

본 연구에서 제시한 통합정보시스템은 전체 구조나 기능적인 측면에서 기존의 시스템 개발사례를 참고하여 개발되었다(Linker *et al.*[2002]; Williams *et al.*[2006]; Rodrigues *et al.*[2013]; Jones *et al.*[2002]). 따라서 통합정보시스템은 기본적으로 과학과 정책의 통합에 핵심적인 요소로 알려진(Eddy *et al.*[2014]; Soomai[2017]) 과학계와 정책관리계 간의 효과적인 정보의 전달기능에 초점을 두었다. 그러나 통합정보시스템이 가지는 공통적인 한계를 완전히 극복했다고 보기는 어렵다. 예를 들어, 상당한 재원이 필요한 데이터베이스의 주기적 업데이트, 특정 목적으로 개발된 모델의 타 분야 적용의 한계, 정책결정자들의 요구수준과 통합정보시스템에서 지원되는 자료의 시간적/질적 갭, 다양한 새로운 관리수요를 충족하기에는 부족한 정책대안의 한계 등이 그것이다.

이러한 한계는 통합정보시스템 구조와 기능 자체는 물론 운영관리의 과정에서 비롯되었기 때문에 통합정보시스템의 개발에 있어서 이 한계를 극복할 수 있는 방안을 고려하였다. 예를 들어 자동적인 자료업데이트가 가능하도록 국가해양환경모니터링 자료 등 기존에 웹을 통해 서비스되는 자료는 해당 시스템을 개방IP로 연결하였고, 웹을 통한 모델 서비스 속도를 개선하기 위해서 시스템 자체에서의 모델 구동보다는 사안에 따라 그 목적에 맞는 모델링을 외부에서 수행하고 그 결과만을 시스템에서 서비스하는 방법을

채택하였다. 의사결정지원시스템은 다양한 이해당사자가 관심 있는 항목, 시기 및 대상 지역을 선택하여 비교할 수 있어야 하므로 이를 고려한 시스템 개발을 통해 유연성을 확보하였으며, 비교결과를 데이터베이스화 하여 상호학습이 가능하도록 개발하였다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 기술적인 측면에서 개발된 통합정보시스템의 한계 또한 부정할 수 없다. 현재까지 데이터베이스 중 외부시스템과 연동하여 자동으로 업데이트되는 자료는 해양환경측정망과 기상청 기상예보 자료에 그치고 있으며, 그 외의 자료는 별도의 조사를 통한 업데이트가 요구된다. 시나리오 분석을 위한 모델의 경우 지금까지 다루지 않은 새로운 대안이 제시되는 경우 본 사업을 통해 개발된 모델은 사용할 수 있지만 모델 운영팀이 별도로 모델링 작업을 하고 그 결과를 시스템에 탑재해야 한다. 실시간 모델링 시스템의 경우 자료동화 기능이 개발되지 않은 상황이므로 아직까지 실시간 보다는 준실시간 모델링이며, 하구모델의 신뢰성 제고를 위해서는 하구독 방류량 추정 불확실성 문제에 대한 보완이 요구된다. 즉, 통합정보시스템의 기능을 유지하고 개선하기 위한 지속적인 노력이 필요하다. 이렇게 구축된 통합정보시스템은 향후 법적인 기반을 두고 금강하구역의 관리체계가 구축된다면, 실무위원회 및 전문위원회의 활동지원은 물론 금강하구 관리를 위한 통합환경관리계획의 수립 및 평가를 위해 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 이 경우 통합정보시스템의 운영(또는 위탁운영 포함)은 금강하구관리위원회 사무국에서 담당하는 것이 바람직하며, 여의치 않은 경우에 한해 해양환경공단 등 별도의 운영기관을 지정할 수 있을 것이다.

5.2 정책협의회의 유용성과 한계

정책협의회 구성 및 운영은 통합적 접근의 핵심적인 요소인데, 기존에 특별관리해역에서 연안오염총량관리제를 시행하는데 성공적으로 적용된 관리체계 모델을 따라 개발되었다(Lee *et al.*[2009]). 즉 이해당사자간 대화와 토의를 통해 갈등을 완화할 수 있도록 실무그룹 위주의 논의구조를 만들었고, 전문가 자문그룹을 통해 불확실성이 높은 하구환경 모니터링 자료와 모델링 자료에 대한 유용성과 한계를 명확하게 제시하여 과학적 불확실성에 대한 논란을 최소화 하였으며(Liu *et al.*[2008]), 연구지원팀을 통해 실무그룹과 자문그룹이 필요한 자료를 적절하게 공급하였다.

기존에 본 정책협의회와 유사한 형태로 국가하천 하구별로 하구포럼 또는 하구협의회 등이 운영되었으나 대부분 이해당사자의 참여가 제한적이었고 1~2년의 단기간 동안 운영되었기 때문에 문제 제기 수준에서 논의가 머물렀으며, 해당 하구의 관리를 위한 실질적인 합의의 도출에는 실패하였다. 이런 측면에서 보면 정책협의회를 통해 금강하구의 비전과 목표를 이해당사자 합의에 기초하여 설정했다는 점은 매우 주목할 만한 성과이다.

지금까지 성공적인 정책협의회의 운영에도 불구하고 그 한계도 명확하다. 영연방 국가의 이해당사자의 상호 책임감에 의해 운영되는 비법정 하구프로그램의 문제처럼, 정책협의회 운영에 있어서도 소극적인 이해당사자의 참여를 강제할 방법이 없다는 한계가 나타났다. 실제 정책협의회 초기에는 해수순환 자체에 부정적인 기관의

참여가 매우 소극적이었고, 해당 이슈에 대한 논의조차 거부하여 하구순환과 연관된 현안은 어느 정도 이해당사자 간의 신뢰가 형성된 7차 회의 이후부터 본격적인 논의가 시작되었다. 특히 우려되는 사항은 하구순환의 문제처럼 이해당사자의 합의가 어려운 문제의 논의를 위해서는 실무그룹의 활동을 적극적으로 이끌고, 궁극적으로 논의결과를 정책화하는 최종적인 의사결정 기구가 필요하나 아직 정책협의회 내에 구조화되어 있지 않다는 것이다. 그러나 2017년 국회 환경노동위에 제출된 하구의 복원 및 관리에 관한 특별법¹이나 농림축산식품해양수산위원회에 제출된 ‘연안하구 복원 및 관리에 관한 특별법’ 모두 복원위원회 구성 및 운영, 복원계획의 수립, 재정분담 등 하구순환 사업의 추진에 필요한 핵심적인 내용을 포함하고 있어 이들 법이 제정되고 제도적 기반이 확보되면 상기 우려를 불식시킬 수 있을 것이다.

5.3 통합정보시스템과 정책협의회의 연계

통합정보시스템의 개발에 있어 가장 유의한 점 중의 하나는 유역관리 원칙을 반영하여 개발의 초기단계부터 이해당사자의 의견을 충분히 반영했다는 점이다(Shipman and Stojanovic[2007]). 통합정보시스템의 개발 단계별로 주기적으로 개최되는 정책협의회의 실무그룹과 자문그룹 회의를 통해 개발과정을 설명하고 의견을 수렴하였다(Fig. 5). 특히 하구순환 문제와 관련된 다양한 정책대안 시나리오의 수립은 최우선적으로 이해당사자의 의견 및 필요에 기초하였고, 시나리오 모델링 결과를 단계마다 투명하게 공유하였다. 이러한 일련의 과정은 해수순환과 같이 민감한 문제에 대한 이해당사자의 이해를 넓히고, 함께 사실을 탐색하고(Karl *et al.*[2010]) 불필요한 갈등을 완화하는데 크게 기여한 것으로 판단된다. 한편으로는 시스템 개발의 각 단계에 이해당사자가 관여하면서 자연스럽게 시스템 소비자의 요구사항을 반영하게 됨으로서 시스템 개발의 완성도를 높일 수 있었다.

또한 주목할 것은 관리지원팀의 역할이 과학과 정책의 통합에 있어 매우 중요하다는 점이다. 서로 다른 사고와 문화를 가진 두 계의 통합을 위해서는 과학적 언어를 정책적 언어로 바꾸고, 마찬가지로 정책적 언어를 과학적 언어로 전환시킬 수 있는 유능한 정보 전달자가 요구된다(Weichselgartner and Kasperson[2010]). 동시에 정책적 요구수준과 시기 그리고 과학적 정보공급 수준과 시기 간에 불가피하게 존재하는 겹을 좁힐 수 있는 중재자의 역할도 통합을 위해 불가결한 요소이다. 이런 측면에서 향후 관리위원회가 구성되면 이를 지원하게 되는 사무국의 역할이 보다 강조될 필요가 있다.

6. 결 론

해수유통을 통한 금강하구의 하구순환 복원은 지역뿐만 아니라 국가적으로 논란이 되는 이슈이다. 하구복원을 위해서는 과학적인 측면에서는 방대한 자료가 요구되며 정책적 측면에서는 복원을 둘러싼 이해당사자 간 갈등을 원만하게 조정하여 합의된 의견을 도출하는 작업이 필요하다. 이러한 현실적인 요구에 착안하여 본 연구에서는 과학적이고 객관적인 자료를 효과적으로 이해당사자에게

공급하기 위한 통합정보시스템을 구축하고, 동시에 이들 자료를 토대로 복원에 대한 갈등을 완화하기 위해 주요 이해당사자로 구성된 정책협의회를 운영하였다.

과학적, 기술적 측면을 다루는 통합정보시스템의 개발과 정책적 측면을 다루는 정책협의회의 연계운영은 하구순환 복원과 같은 복잡한 문제를 다루는데 효과적인 것으로 나타났다. 즉, 통합정보시스템 개발 과정에서 수집·분석된 자료를 통해 정책협의회의 이해당사자들이 객관적으로 하구환경의 상태와 해수유통 후 나타나는 효과와 문제에 대한 이해의 폭을 확대함으로써 과학적 불확실성과 정보의 신뢰성 부족으로 인해 야기되는 불필요한 논란을 감소시킬 수 있었다. 동시에 궁극적으로 통합정보시스템을 활용할 이해당사자가 시스템 개발의 과정에서 요구사항을 제시하고 이를 반영하는 과정에서 시스템 개발의 완성도를 높일 수 있었다.

개발된 통합정보시스템은 향후 데이터베이스 자동업데이트 체계 구축, 준실시간 모델링시스템의 자료동화 기법의 도입 등 기술적인 측면에의 보완 및 개선이 지속적으로 필요하고, 법적 근거 없이 운영되었던 정책협의회 또한 제도적 근거를 확보해야 할 과제가 남아 있다. 그러나 지금까지 시도했던 통합정보시스템의 개발과 정책협의회의 연계 운영이라는 과학과 정책의 통합적 접근은 금강하구 및 이와 유사한 하구에서의 해수유통 문제를 효과적으로 다루는 방안이 될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2014년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(하구역 종합관리시스템 개발 연구(II)).

References

- [1] DEP(Derwent Estuary Program), 1996, Management Strategy for the Derwent Estuary.
- [2] Eddy, B.G., Hearn, B., Luther, J.E., Van Zyll de Jong, M., Bowers, W., Parsons, R., Piercey, D., Strickland, G. and Wheeler, B., 2014, An information ecology approach to science-policy integration in adaptive management of social-ecological systems. *Ecology and Soc.*, 19(3), 40.
- [3] Elliott, M., Burdon, D., Hemingway, K.L., and Apitz, S.E., 2007, Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration: Confusing management and science - A revision of concepts, *Estuarine, Coast. and Shelf Sci.*, 74(3), 349-366.
- [4] Elliott, M., Mander, L., Mazik, K., Simenstad, C., Valesini, F., Whitfield, A., and Wolanski, E., 2016, Ecoengineering with Ecohydrology: Successes and failures in estuarine restoration, *Estuarine, Coast. and Shelf Sci.*, 176, 12-35.
- [5] Jeong, E., Cho, H.-L. and Koo, B.K., 2018, Estimation of pollution loads to the Geum-River Estuary for precipitation conditions using a semi-distributed watershed model STREAM, J.

- Korean Soc. Mar. Environ. Energy., 21(3), 216-227.
- [6] Jones, P.D., Tyler, A.O., and Wither, A.W., 2002, Decision-support Systems: Do they have a Future in Estuarine Management?, *Estuar., Coastal and Shelf Sci.*, 55(6), 993-1008.
- [7] Karl, H.A., Susskind, L.E. and Wallace, K.H., 2007, A dialogue, not a diatribe: effective integration of science and policy through joint fact finding, *Environ.t: Sci. and Policy for Sustainable Development*, 49(1), 20-34.
- [8] Korean Government, 2017, Development management options to restore estuarine ecosystems and to improve sluice operation of Nakdon River Estuary dam.
- [9] Liu, Y., Gupta, H., Springer, E. and Wagener, T., 2008, Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management, *Environ. Modelling & Software*, 23(7), 846-858.
- [10] KIMST (Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion), 2018 Development of integrated estuarine management system Annual Report.
- [11] Lee, B. and Ahn, S., 2018, Improved reproducibility of the Yellow and East China Sea wave model by adjusting parameter of SWAN, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, 21(3), 207-215.
- [12] Lee, C.-H., Jang, W.G., Go, S.H. and Nam, J.H., 2009, Characteristics and constraints of pollutant load allocation reflected in the total pollutant management plans of Masan Bay Special Management Area, *Ocean Policy Res.*, 24(2), 1-26.
- [13] Lee, K.-H., Rho, B.-H., Jeong, H.-J. and Lee, C.-H., 2011, Estuary classification on the characteristics of geomorphological features, natural habitat distribution and land uses. *The Sea*, 16(2), 53-69.
- [14] Linker, L.C., Shenk, G.W., Wang, P., Hopkins, K.J. and Pokharel, S., 2002, A short history of Chesapeake bay modeling and the next generation of watershed and estuarine models, in proc. of the Water Environment Federation, *Watershed 2002*, 569-582.
- [15] Marks, P.K., Gerrits, L.M., Bakker S. and Tromp, E., 2014, Explaining inertia in restoring estuarine dynamics in the Haringvliet (The Netherlands), *Water Policy*, 16, 880-896.
- [16] LMTM(Ministry of Land, Transportation and Marine Affairs), 2011, Ecosystem Survey and Development Management System of Keum River Estuary.
- [17] Kim, D.H. and Min, D.K., 2018, Dynamic relationship among DPSIR indicators for Geumgang Estuary, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, 21(3), 242-248.
- [18] Park, K.J., Lee, C.-H., Yeo, H.B., Ju, Y.-K., Kim, E.S. and Mun, S.-K., 2017, Environmental Change and Causes of Local Conflicts in the Geumgang Estuary, *J. of Korean Soc. on Water Environ.*, 33(2), 149-159.
- [19] Park, S., Sin, Y. and Kim, J., 2018, The assessment of aquatic ecosystem health, based on phytoplankton indicators and quality parameters, in the seawater zone of Geum River Estuary, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, 21(3), 228-241.
- [20] Pinto, R., de Jonge, V.N., Neto, J.M., Domingos, T., Marques, J.C. and Patricio, J., 2013, Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems, *Ocean & Coast. Management*, 72, 64-79.
- [21] Pirrone, N., Trombino, G., Cinnirella, S., Algeri, A., Bendoricchio, G. and Palmeri, L., 2005, The Driver-Pressure-State-Impact -Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system, *Regional Environ. Change*, 5, 111-137.
- [22] Pomeroy, W.M., 1995, The Fraser River Basin-Toward Sustainability, *Water Sci. and Technol.*, 31(8), 33-39.
- [23] Poole, S., 1996, Recent Development and Announcements-The United State States National Estuary Program. *Ocean & Coast. Management*, 30(1), 63-67.
- [24] Rhew, H., Shin, Y.H. and Lee, C.-H., 2018, The conceptual design of decision support system for the Geumgang Estuary management: focus on facilitating the stakeholder dialogue, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, 21(3), 195-206.
- [25] Rodrigues, M., Costa, J., Jesus, J., Fortunato, A. B., Rogeiro, J., Gomes, J., Oliveira, A. and David, L.M., 2013, Application of an estuarine and coastal nowcast-forecast information system to the Tagus Estuary, in proc. of 6th SCACR - International Short Course/Conference on Applied Coastal Research.
- [26] Schneider, M. Scholz, J. Lubell, M. Mindruta, M. and Edwardsen, M., 2003, Building Consensual Institutions: Networks and the National Estuary Program, *American J. of Political Sci.*, 47(1), 143-158.
- [27] Shipman, B. and Stojanovic, T., 2007, Facts, fictions, and failures of integrated coastal zone management in Europe, *Coast. Management*, 35(2-3), 375-398.
- [28] Soomai, S.S., 2017, Understanding the science-policy interface: Case studies on the role of information in fisheries management, *Environ. Sci. & Policy*, 72, 65-75.
- [29] TEP(Thames Estuary Partnership), 1999, Management Guidance for the Thames Estuary(Strategy), London.
- [30] Weichselgartner, J. and Kaspersen, R., 2010, Barriers in the science-policy-practice interface: Toward a knowledge-action-system in global environmental change research, *Global Environ. Change*, 20(2), 266-277.
- [31] Williams, M.R., Fisher, T.R., Boynton, W.R., Cerco, C.F., Kemp, M.W. Eshleman, K.N., Kim, S.-C., Hood, R.R., Fiscus, D.A. and Radcliffe G.R., 2006, An integrated modelling system for management of the Patuxent River estuary and basin, Maryland, USA, *International J. of Remote Sens.*, 27(17), 3705-3726.
- [32] Ysebaert, T., van der Hoek, D.J., Wortelboer, R., Wijsman, J.W., Tangelder, M. and Nolte, A., 2016, Management options for restoring estuarine dynamics and implications for ecosystems: A quantitative approach for the Southwest Delta in the Netherlands, *Ocean & Coast. Management*, 121, 33-48.
- [33] YSRWMC(Yongsan-Sumjin River Watershed Management Committee), 2017, Development management options to improve water quality and ecosystem health of Yonsan River Estuary.

Received 6 July 2018

Revised 9 August 2018

Accepted 16 August 2018