



Original Article

금강하구역 의사결정지원시스템의 개념 설계: 이해당사자 대화 지원 기능을 중심으로

류호상¹ · 신영호^{2,†} · 이창희³

¹전북대학교 지리교육과

²명지대학교 유역시스템공학연구소

³명지대학교 환경에너지공학과

The Conceptual Design of Decision Support System for the Geumgang Estuary Management: Focus on facilitating the Stakeholder Dialogue

Hosahng Rhew¹, Young Ho Shin^{2,†}, and Chang-Hee Lee³

¹Department of Geography Education, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

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

³Department of Environmental Engineering & Energy, Myongji University, Yongin 17058, Korea

요 약

하구역 관리 이슈를 둘러싼 의사결정 과정은 다양한 관점을 지닌 이해당사자가 관여하기 때문에 복잡하며 필연적으로 모호성 문제가 발생한다. 이해당사자 간 대화가 건설적인 형태로 진행되도록 하여 모호성 문제를 관리하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 금강하구역 관리와 관련된 이해당사자간 대화를 촉진시켜 모호성 문제를 극복하는 데 초점을 맞춘 의사결정지원시스템을 설계하였다. 이해당사자들이 직관적으로 활용할 수 있도록, 각자의 관점을 구체화하고 타인의 관점과 비교할 수 있도록, 시스템 사용자들의 수행 결과를 지식 기반으로 활용하여 자신의 판단과 연계시킬 수 있도록, 온라인(개별) 과정과 오프라인(그룹) 과정이 유기적으로 이어지도록 설계하는 데 초점을 맞추었다. 시나리오 평가는 수질, 퇴적, 염분 등 3가지 항목에 대해 금강하구역 전체를 포괄하는 14개 구역, 4개 계절에 대해 얻어진 모의 결과값을 바탕으로 진행되며, 각 항목별 원 수치는 표준화하여 시나리오 비교를 위한 점수를 계산하였다. 의사결정지원의 절차는 평가항목 설정, 시나리오 선정, 가중치 부여, 대안 평가 및 결과 저장, 타 이해당사자의 결과 검토 및 피드백 등 총 5단계로 구성하였다. 이 의사결정지원시스템은 이해당사자 대화를 원활히 하고 상호 이해의 폭을 넓히는데 도움이 될 것이다.

Abstract – The decision-making processes about estuarine management issues are complex, and cause ambiguous problems because of various stakeholders with different values and priorities. It is necessary to manage ambiguity by facilitating constructive stakeholder dialogue. This research aims to design a decision support system that promotes active interactions between stakeholders, and overcomes ambiguity problems. The focus is on developing an intuitive and easy-to-follow system in which stakeholders can clarify their own perspectives, compare theirs' with others', and make their own judgements with reference to others' decisions saved within, and also on situating the system into the whole online and offline processes. Evaluation of scenarios is conducted based on model outputs for water quality, sedimentation, and salinity that are averaged spatially on 14 zones, and temporally on 4 seasons. Decision supporting procedures consist of five parts: setting up the criteria that represent different values of stakeholders participating in dialogue, selecting the alternatives as represented by various scenarios for numerical simulation, assigning the weighting factors to each criterion, assessing the advantages and disadvantages for each options, and saving the whole processes for the next dialogue agenda. This decision support system can be used as a supporting tool for facilitating stakeholder dialogue, and collaborative learning processes among them.

Keywords: Geumgang Estuary(금강하구역), decision support system(의사결정지원시스템), stakeholder dialogue(이해당사자 대화), deliberate processes(숙의과정), collaborative learning(협동학습)

†Corresponding author: syhgeo@gmail.com

1. 서 론

하구역은 육지 방향으로서는 하천과 연결되어 있고, 바다 방향으로서는 외해와 연결되어 있는 반폐쇄해역으로 하천의 담수방류와 조석의 영향 하에서 담수와 염수가 혼합되어 기수역을 이루는 곳을 지칭한다(Perillo[1995]). 생태적으로 볼 때 하구역은 물을 매개로 육상과 해양을 연결하는 일종의 전이지역으로 하천의 상류와 유역으로부터 유입되는 담수, 퇴적물, 영양염 등과 조수와 파랑의 영향을 받는 연안 해역과 육역으로부터 유입되는 해수, 퇴적물, 영양염 등이 조우하고 변화되는 곳이며, 이와 같은 과정을 통해 다양한 생물종의 서식지, 회유지, 산란지 역할을 하는 곳이다(Wolanski[2007]). 사회경제적인 관점에서 보면 하구역의 생태적 기능은 하구역이 수산물 생산, 홍수 조절, 오염물질 제거 등 다양한 생태계 서비스를 제공할 수 있음을 의미한다(Costanza *et al.*[1997]; Barbier *et al.*[2011]). 한편 하구역은 내륙과 해양을 이어주는 지점에 위치하고 있기 때문에 통상 항구가 입지하고 있으며, 항구의 배후지 개발과 연계되어 간척, 구조물 설치, 친수공간 개발 및 이용 등 다양한 수요가 존재하는 곳이기도 하다(Kennish[2002]; McLusky and Elliott[2004]; Wolanski[2007]). 다시 말해 하구역은 생태적 요소와 사회경제적 요소가 하구역 내의 물질의 유출입 및 저장, 순환 구조 및 여기에 연관되어 있는 다양한 행위자들의 이해와 관점이 복잡하게 얽혀있는 ‘생태·사회 시스템(social-ecological system, SES)’이다.

범지구적 관점에서 하구역은 인위적인 이용과 관련하여 오염 수준의 증대, 남획, 담수 유입의 감소, 서식지 훼손 및 파괴 등과 같은 다양한 문제를 안고 있다(Kennish[2002]; Wolanski[2007]). 금강하구역의 경우도 예외가 아니다. 금강은 낙동강, 영산강과 마찬가지로 하굿둑에 의해 하구역이 제한·차단되어 있는 ‘닫힌’ 하구역이다(Lee *et al.*[2011]). 농업종합개발사업의 일환으로 1983년 착공되어 1990년 완공된 금강하굿둑은 농업용수와 공업용수로 사용 가능한 담수호 조성, 홍수조절 및 염해피해 방지, 군산과 장항 간의 교통로 확보 등을 목적으로 건설되었으나 담수와 염수의 상시 소통과 혼합을 방해하여 기수역 형성을 제한하는 한편 조석환경을 변화시켜 토사 퇴적 문제를 심화시키는 원인을 제공하였다. 착공 당시부터 어업권 보상 문제는 하굿둑 건설을 지연시키는 주요 원인이었으며, 완공된 지 거의 30년이 지난 현재 하굿둑은 담수호의 수질 저하, 하구해역의 어족자원 감소, 만성적 토사 퇴적으로 인한 군산-장항항 수로매물 침화 등의 근본원인으로 지목되고 있다(Jeong *et al.*[2014]; Kim *et al.*[2006]). 이에 따라 하굿둑의 구조 변경 혹은 배수갑문 조작규칙의 개정을 통해 해수를 인위적으로 유통시켜 하구순환을 복원해야 한다는 주장이 학계나 정부에서 점차 공감대를 얻고 있다. 이것은 지난 30년간 구축된 하구역 관리 패러다임의 변화 및 관리 체제의 변화를 요구하는 것으로 기존 체제 내에서 이미 형성되어 있는 이해당사자 간의 관계를 재정립해야 한다는 것이며 이해충돌과 갈등을 피하기 어렵다는 뜻이다.

하구역 관리와 같이 다양한 이해당사자들이 관여되어 있는 경우

의사결정 과정은 복잡성을 지닐 수밖에 없다. 다양한 이해당사자들이 하구역에서 벌어지는 현상에 대해, 즉 하구역의 개발, 이용, 보전 등을 목적으로 추진되는 개인, 지방자치단체, 중앙정부 등의 계획 혹은 행위에 대해, 서로 다른 입장과 우선순위를 가지고 있기 때문이다. 다양한 이해당사자가 얽혀 있는 자연자원을 관리하고자 할 경우 중앙정부나 담당부서의 하향식 결정 방식은 이행과정에서 다양한 문제를 노정한다(Bergoefer and Bergoefer[2011]). 근래 표준적인 절차로 제시되는 것은 주어진 사안에 대한 의사결정 과정에 이해당사자들을 참여시켜 상호 입장을 검토하고 조정하게 하는 것이다. 이 과정을 ‘숙의과정(deliberate processes)’ 또는 ‘이해당사자 대화(stakeholder dialogue)’라고 부른다. ‘이해당사자 대화’란 주어진 의제에 대해 이해당사자들이 감정적 대결 없이 서로 다른 관점과 가치관, 우선순위들을 상호 검토하고 의견을 교환할 수 있도록 설계된 일련의 구조화된 과정(Stoll-Kleemann and Welp[2011])이며 이해당사자들 간의 관점 차이를 극복하기 위한 협동 학습을 촉진시키는 과정(Brugnach and Ingram[2011])이다.

하구역 관리와 같은 자연자원 관리와 관련하여 ‘이해당사자 대화’ 과정을 어렵고 복잡하게 만드는 요인은 대체로 불확정성(indeterminacy), 불확실성(uncertainty), 모호성(ambiguity) 등 3가지 유형으로 구분된다(Dewulf *et al.*[2005]). 여기서 불확정성이란 관리 대상으로 삼는 시스템 내부에 내재되어 있는 예측 불가능한 속성을, 불확실성은 주어진 현상에 대한 정보의 부족을, 모호성은 이해당사자들 간에 주어진 현상을 이해하는 상이한 방식이 병존하는 상태를 지시한다(일반적인 상황에서 불확정성과 불확실성을 구분하기는 어려우므로 이 두 가지는 동일한 것으로 취급한다). 많은 경우 이해당사자 대화가 난항을 겪거나 좌초되는 이유는 주어진 문제의 성격이 불확실성에서 비롯된 것인지, 모호성에서 비롯된 것인지를 잘못 진단하는 것으로부터 발생한다. 이해당사자 대화 과정에서 이 두 가지가 매우 유사한 형태로 등장하기 때문이다. 불확실성이 문제시되는 상황은 주어진 문제의 해결 방식에 대해 이해당사자들 간에 전반적인 공감대는 존재하지만, 의사결정에 필요한 정보가 부족한 경우이다. 이 경우에 대한 처방은 간단명료하다. 추가적인 조사를 통해 부족한 정보를 보완하면 된다. 그러나 이해당사자들 간의 의견의 불일치가 겉으로는 정보의 부족이 문제인 것처럼 보여도 실제 문제의 원인은 정보의 부족이 아니라 이해당사자들이 서로 상이한 관점에서 문제를 바라보기 때문인 경우가 있다. 이런 경우가 바로 모호성이 문제시되는 상황이다. 모호성이 문제시되는 상황에서는, 비록 이해당사자들이 의사결정을 보류하는 이유로 ‘정보의 부족’을 드는 경우가 대부분이기는 하지만, 추가적인 조사를 통해 ‘부족한’ 정보를 보완하는 처방은 오히려 문제를 더 복잡하게 만들 수도 있다. 이런 경우에는 이해당사자들이 서로의 관점을 검토하고 자신의 관점을 조정하는 과정을 거쳐 문제를 바라보는 새로운 프레임을 만들어야 한다(Dewulf *et al.*[2005]; Brunach *et al.*[2011]).

이해당사자 대화 과정이 성공적으로 진행되기 위해서는 무엇보다도 대화 전 과정동안 이해당사자들 간의 모호성 문제를 조기에 식별하고 효과적으로 관리하는 것이 중요하다(Brunach *et al.*[2011]);

Cutts *et al.*[2011]). 이를 위해서는 무엇보다 관련 이해당사자들이 대화 과정에서 이해상충으로 인해 불편한 상황이 발생하지는 않으리라는 신뢰를 가지고 대화과정에 임할 수 있어야 한다(Stoll-Kleemann and Welp[2011]). 이러한 과정에서 도움이 되는 것은 ‘구조화된 대화’가 가능하도록 돕는 모종의 틀의 존재이다. 수자원 이용을 둘러싸고 지하수를 이용한 관개농업을 지속하려는 농민과 지하수 사용을 제한하여 람사르 협약에 등록된 습지를 보전하려는 환경부처 및 환경단체 간의 갈등을 중재하는 과정에서 ‘배지안 네트워크’라는 정형화된 방법론을 통한 의사소통 방식이 양측의 상호이해 수준을 높이는 데 기여했다는 보고(Zorrilla *et al.*[2010]), 기후변화에 따라 예상되는 수자원 관리 전략에 대한 관계 기관간의 협력적 대응을 이끌어내기 위한 도구로 ‘참여형 지도 제작’이라는 도구가 과학과 정책 분야 간의 상호 이해를 도울 수 있었음을 확인한 연구(Cutts *et al.*[2011]) 등이 좋은 사례다.

이 연구는 금강하구역 종합관리시스템 구축 과정의 일환으로 이해당사자의 대화를 효과적으로 지원할 수 있는 의사결정지원시스템을 설계하는 것이다. 금강하구역 종합관리시스템은 금강하구의 환경관리와 관련된 현안에 유효적절한 정보를 제공하기 위한 웹 GIS 기반 시스템(<http://www.krestuary.or.kr>)이다. 금강하구역 종합관리시스템은 모니터링을 통해 수집된 하구의 물리유통, 퇴적, 수질, 생태 관련 현황 자료를 조회, 검색할 수 있는 모니터링 DB와 금강하구역 관련 현안을 반영한 다양한 시나리오에 대한 수치 모의 결과를 제공하는 모델링 부문, 웹 GIS 기반 사용자 인터페이스의 조합으로 구성되어 있다. 금강하구역 종합관리시스템 내부의 의사결정지원시스템은 특별히 금강하구역과 관련되는 다양한 이해당사

자들 간의 대화를 지원하기 위한 목적으로 기획·설계되었다. 금강하구역 종합관리시스템 하위의 의사결정지원 기능은 앞에서 언급한 바와 같이 이해당사자들이 잠재적인 갈등이나 이해상충을 우려하지 않고 상호 관점을 검토할 수 있도록 하는 데 초점을 맞추어 이해당사자 대화 과정에서 등장하는 모호성 문제를 관리하는 데 도움이 될 수 있도록 하였으며, 이 연구에서는 시스템을 구성하는 요소들의 설계과정을 제시하고자 한다(Fig. 1).

2. 의사결정지원시스템의 설계 방향

2.1 설계의 중점사항

의사결정지원시스템은 의사결정시스템이 아니다. 다시 말해 인간이 해야 할 의사결정을 대신해 주는 것이 아니다. 주어진 사안에 대한 다양한 관점과 우선순위를 지닌 사람들이 참여하는 이해당사자 대화의 경우 시스템이 제공하는 자료와 분석 결과에 지나친 권위가 부여되는 모양새를 취할 경우 이는 결과의 신뢰성에 대한 불필요한 논란을 일으키게 될 소지가 크다(Cutts *et al.*[2011]). 이 연구에서 지향하는 의사결정지원시스템은 이해당사자들이 각자가 지닌 시각을 논의 가능한 형태로 구현하여 보다 명료하고 객관적인 상호 검토 및 토의가 가능하도록 환경을 조성하는 데 주안점을 두었다. 종합관리시스템을 통해 확인될 수 있는 자료를 다양하게 탐색하여 간과된 의미를 찾게 하는 분석 시스템으로서의 기능에 초점을 두기보다 종합관리시스템을 통해 제공되는 자료를 이해당사자들이 어떤 관점으로 이해하고 있는지, 어떤 측면을 보다 중요하게 간주하는지를 구체화·시각화시켜주는 도구로 만드는 데 초점을

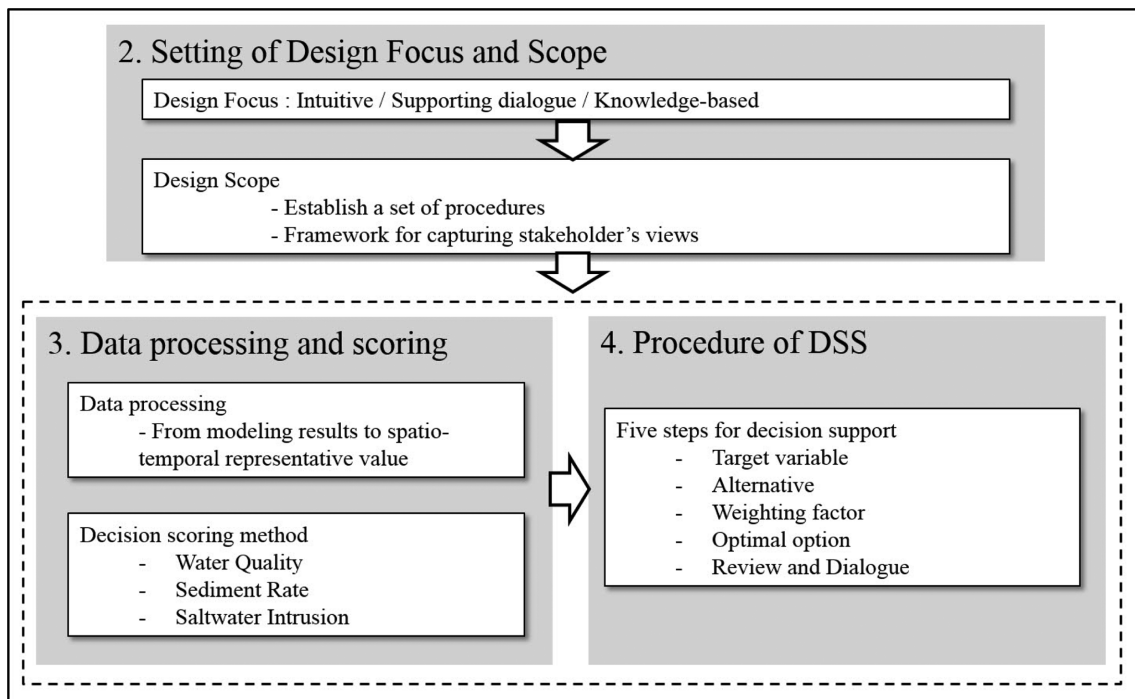


Fig. 1. Research flow chart for designing decision support system.

두었다.

이해당사자 간 대화 지원을 원활하게 하는데 초점을 맞추기 위해 설계 과정에서 다음 3가지를 유념하였다. 첫째, 의사결정과 연관되는 복잡한 분석 기법 혹은 알고리즘을 도입하는 데 초점을 맞추기보다 사용자가 이해하기 편한 직관적인 방식으로 구현하는 데 초점을 맞추었다. 자연자원관리 분야에서 조사자료 및 다양한 분석 모형을 결합시킨 의사결정지원시스템의 중요성이 강조되고 있음에도 불구하고 그동안 개발된 수많은 시스템들이 실제 사용자들 사이에서 투자된 비용에 대비하여 활용도가 높지 않다는 것은 문헌에서 여러 차례 지적되는 문제이다(Uran and Janssen[2003]; McIntosh *et al.*[2011]). 무엇보다 잠재적 사용자들이 특별한 사전 지식 없이 활용할 수 있도록 설계되어야 한다는 것이 반복되는 지적 중 하나이다. 물론 사전지식이 없이도 자연스럽게 이해되는 시스템을 설계한다는 것은 거의 불가능에 가까운 목표다. 이 연구에서는 의사결정 지원 기능을 가급적 따르기 쉽고 직관적인 절차로 구성하도록 하되 적절한 도움말 기능을 갖추는 한편, 활용을 위한 사용자 워크숍 개발 등을 병행하는 데 초점을 두었다. 둘째, 이해당사자 대화 과정과 결부되어 활용된다는 점을 고려하여 의사결정지원시스템의 활용 절차를 설계하였다. 앞서 언급한 바와 같이 이해당사자 대화를 지원하는 데 있어 가장 중요한 것은 서로 입장이 다른 이해당사자들이 갈등 상황에 연계될 것이라는 두려움 없이 주어진 의제에 대해 자신의 관점을 충분히 표현할 수 있는 절차를 확립하는 것이다. 이를 위해 이해당사자 대화에서 처리될 과업에 따라 단계를 구분하고 각 단계를 상호 대화와 토의를 요하는 그룹 과정 또는 개별적이고 독립적인 숙의를 요하는 개별 과정 중 하나로 분류한 후 각 단계별로 의사결정지원시스템이 담당할 역할을 정의하고 이를 적절히 구현하는 데 주력하였다. 셋째는 시스템을 이용하여 진행된 모든 과정을 저장하여 관심이 있는 누구나 (익명으로) 조회할 수 있도록 처리하고, 누적된 결과의 전반적인 패턴을 그래프나 도표로 시각화하도록 설계한다는 것이다. 이것은 대화가 진행되는 과정에서 이해당사자들이 서로의 의견을 조율하는 참조점으로 활용할 수 있도록 유도하기 위한 것이다. 이해당사자 대화를 통한 이해당사자 간의 상호작용이 사회적 자본을 증가시킨다는 주장을 따른다면 의사결정지원시스템에 축적되는 이해당사자 대화의 기록은 사회적 자본의 축적을 가시화한 것으로 해석할 수 있다(Scheffran[2010]; Brugnach *et al.*[2011]; Cutts *et al.*[2011]).

2.2 설계의 범위

이해당사자 대화를 조율하고 관리하는 도구로서 의사결정지원시스템을 설계하려면 3가지 문제를 다루어야 한다. 첫 번째 문제는 의사결정지원과 관련된 일련의 절차를 확립하는 것이다. 핵심과제는 의사결정지원 절차가 이해당사자 대화가 자연스럽게 흘러가도록 돕는 방식으로 설계되어야 한다는 것이다. 의사결정지원시스템의 인터페이스가 이해당사자들이 사용하기 편리한 형태를 갖추어야 한다는 것은 절차 설계의 일부로 취급할 수 있다. 두 번째 문제는 이해당사자들의 서로 다른 관점과 시각을 가시화할 수 있는 틀을

설계해야 한다는 것이다. 여기에는 두 가지 측면이 존재한다. 우선 개별 이해당사자들은 자신이 우선적으로 관심을 가지는 측면을 구체화하는 데 도움을 얻어야 한다. 그 후 개별 이해당사자들은 대화에 참여한 다른 이해당사자들의 관점과 자신의 관점을 상호 비교하여 각각에 대해 적절한 중요도를 부여할 수 있어야 한다. 전자는 현안을 반영한 다양한 시나리오를 평가하는 기준을 선정하는 문제와 관련되며, 후자는 이해당사자별로 상이하게 선정한 평가항목을 동시에 고려하고자 할 때 기준별로 어느 정도의 가중치를 부여해야 하는지를 결정하는 문제와 관련된다. 세 번째 문제는 이해당사자들이 시나리오의 평가항목에 따라 참조하게 되는 수치에 대한 신뢰도를 높이는 일이다. 세 번째 문제 역시 두 가지 측면이 존재한다. 이 연구에서 제안하는 의사결정지원시스템은 시나리오에 대한 수치모형의 표출값을 이용하므로 세 번째 문제는 근본적으로 수치모형 표출값의 신뢰도와 관련된다. 그러나 의사결정지원 과정에서 직접 다루게 되는 수치는 평가항목별로 서로 다른 단위(혹은 차원)를 지닌 원 수치를 비교가능한 형태로 표준화한 변환수치이다. 그러므로 의사결정지원시스템 설계와 직접 연관되는 부분은 각 평가항목에 따라 확보되는 원 수치를 의사결정지원 과정에 적합한 수치로 변환해 주는 신뢰성을 갖춘 표준화 방식을 정립하는 것이다.

이 연구에서는 앞의 두 가지 주제에 대해서만 논의를 집중한다. 첫 번째 주제와 관련해서는 이해당사자 대화와 관련하여 의사결정지원 절차를 구성하는 문제를 다룬다. 두 번째 주제와 관련해서는 이해당사자 대화 과정에서 개별적인 이해당사자들이 자신의 관점을 반영하는 평가항목을 선정하고, 선정된 평가항목에 대해 중요도를 부여하는 방법을 검토한다. 평가항목별 중요도를 부여하는 것과 관련하여 전문가들이 판단한 중요도를 제시하기 위해 실시한 전문가 설문 결과를 다룬다. 이는 이해당사자들이 참조할 수 있는 기준치로 제공된다. 세 번째 주제는 이 연구에서 제안하는 의사결정지원시스템이 채택하는 표준화 방식을 소개하는 정도로 다룬다. 표준화 방식에 대한 민감도 분석 및 타당성 검증은 별도 논문에서 다룰 것이다.

3. 의사결정지원시스템의 자료처리

3.1 자료의 집계 방식

이 연구에서 제안하는 의사결정지원시스템은 금강하구역 관련 현안을 반영하여 선정된 시나리오에 대해 금강하구역 종합관리시스템의 수치모형을 이용하여 얻은 모의 결과를 해석하는 도구이다. 수치모형은 각각의 시나리오에 대해 유속, 염도, 수온 등과 같은 물리유동 요소, 영양염 농도, 클로로필a 농도, 용존산소 등과 같은 수질 요소, 부유사 농도, 퇴적물 등과 같은 퇴적 요소 등 다양한 환경변수를 표출한다. 각각의 환경 변수는 모델 격자(최소 격자 90 m×90 m, 5개 시그마 층위)와 모의 시간 간격(2분)에 따라 표출된다. 하구역 환경 평가자료를 제공한다는 관점에서 보면 수치모형이 제공하는 시공간 해상도와 모든 변수는 지나치게 방대하여, 이해당사자들이 직관적으로 인지하기 어려운 측면이 있기 때문에, 이를 적절한 규모에서 통합시키는 틀이 필요하다.

Table 1. The description of spatial zones for the Geumgang Estuary

Zones	Description	Zones	Description
A0	Geumgang Reservoir	G	Northwestern Yubudo
A	From Estuarine Dam to Dongbaek Bridge	H	Northern Gaeyado
B	From Janghang port to Geumrando	I	Maseo-myeon shores
C	Near the Gaeya waterway	J	Beein-myeon shores
D	Southeastern Yubudo	K	Seo-myeon shores
E	Waterway within the jetty	L	A western jetty
F	Gunsan Port 1-3 berths	M	Outside the western jetty

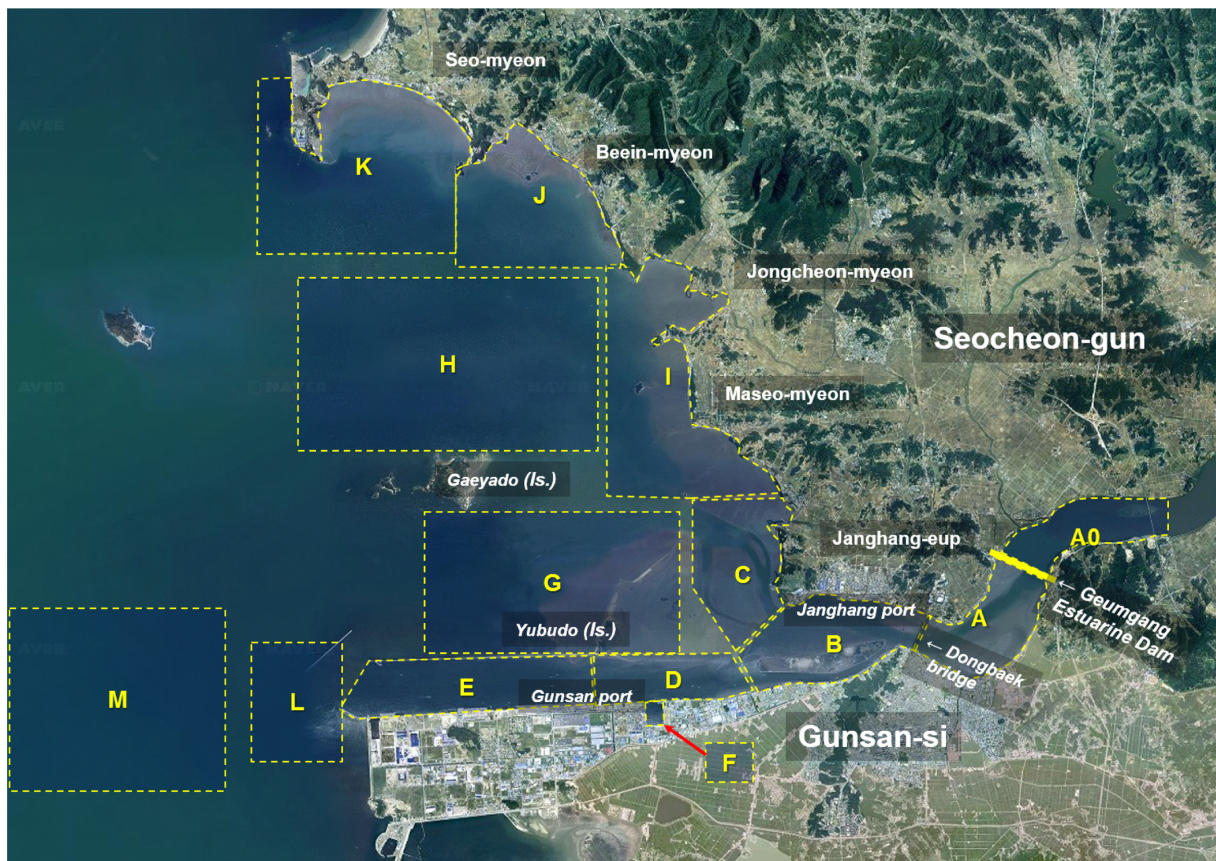


Fig. 2. The spatial zones set up for covering the Geumgang Estuary (map source: <http://map.naver.com>).

이 연구에서는 금강 하구 해역에서 현재 운영되고 있는 수질 모니터링 정점과 퇴적을 평가구역 등의 위치를 감안하여 금강 하구 해역 및 담수역을 총 14개의 구역으로 나누어 자료의 공간 집계 단위로 삼고 2월(겨울), 5월(봄), 8월(여름), 11월(가을) 등 4계절을 자료의 시간 집계 단위로 삼았다(Table 1, Fig. 2). 관심 항목으로 선정된 수치모형의 표출 변수는 위의 시공간 집계 단위에 대한 평균값으로 통합된 후 의사결정 지원을 위한 자료로 활용된다.

3.2 원자료의 표준점수 변환

금강하구역 현안과 관련된 문제로서 수치모의를 통해 표출된 변수를 통해 검토 가능한 부분은 수질, 퇴적, 염분 등 3가지이다. 각 부분의 현 상태 혹은 수치모의를 통해 예측된 상태를 보기 위해서는

수치모의를 통해 얻어진 다양한 변수값들을 토대로 이를 평가할 수 있는 수단이 필요하다. 이 연구에서는 다음과 같은 방식을 택한다.

해역의 수질은 현재 해양환경기준의 하나로 사용되고 있는 생태기반 해수 수질평가지수의 원점수를 활용하는 방식을 사용한다. 생태기반 해수 수질평가지수(Water Quality Index, 이하 WQI)는 부영양화의 원인물질인 용존질소(DIN)와 용존인(DIP), 1차 반응항목인 클로로필a(Chl-a)와 투명도(Secchi Depth), 2차 반응항목인 저층용존산소(DO)를 결합하여 만든 지표로서 부영양화 정도를 지시한다. WQI의 원점수는 WQI 항목의 해역별 기준값을 이용하여 WQI 항목별 점수를 결정한 후 계산식에 대입하여 얻는다. 보통 WQI 원점수는 점수의 범위에 따라 5개 등급으로 변환되어 평가에 활용한다. 이 연구에서는 WQI 원점수를 0-100점 사이의 값으로 변환하

는 간단한 선형 변환함수를 도입하여 의사결정지원을 위한 수질 부문 기본점수를 계산하도록 하였다. 선형 변환함수는 아래와 같다.

$$s_{SWQ} = \begin{cases} 100 \left(1 - \frac{r-r_1}{r_5-r_1} \right), & r_1 \leq r \leq r_5 \\ 100, & r < r_1 \\ 0, & r > r_5 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 s_{SWQ} = 해역 수질 변환점수 (normalized scores for saltwater),

r = WQI 원점수 (WQI value)

r_1 = 1등급 상한값(upper value for the first class), 23

r_5 = 5등급 하한값(lower value for the fifth class), 60

담수역의 수질은 담수역 호소에 적용되는 생활환경기준을 원용한다. 담수역에 해당되는 구역은 A0 하나에 불과하지만 금강하구역 관리 현안과 관련된 시나리오 중 해수유통 문제가 검토될 수 있으므로 유통 전후의 담수역, 해수역 수질을 비교할 수 있는 방안이 필요하다. 해역 수질을 평가하는 데 원용된 WQI가 수층의 부영양화 정도를 평가하는 데 초점을 맞추고 있다는 점을 고려하면 WQI와 대응되는 금강 하구호 담수역 수질 평가기준은 ‘호소의 수질 및 수생태계 생활환경기준’이라고 볼 수 있다. 현행 환경정책기본법에서 규정한 호수의 수질 및 수생태계 생활환경기준은 7등급 체계(Ia, Ib, II, III, IV, V, VI)이며 수소이온농도(pH), 총유기탄소량(TOC), 부유물질량(SS), 용존산소량(DO), 총인(T-P), 총질소(T-N), 클로로필a(Chl-a), 대장균군 관련 2개 항목 등 9개 항목을 평가항목으로 사용하고 있다. 이 중 수소이온농도(pH)와 대장균군 관련 2개 항목은 금강하구역 종합관리시스템의 수치모형이 제공하지 않으나 두 가지 모두 일반적인 환경에서 등급변수의 주요 변수는 아니므로 위 3가지 항목을 제외한 나머지 6가지 항목만을 이용하여 등급을 선정하는 것이 크게 무리가 되지는 않는다고 판단된다. 담수역 수질 기준은 WQI는 달리 원점수가 존재하지 않는다. 0-100 사이의 값으로 표현되는 해역의 점수와 대응시키기 위해 우선 7등급 체계를 WQI의 5등급 체계와 대응시키는 작업이 필요하다. 이를 위해 7등급 중 ‘매우 좋음(Ia)’과 ‘좋음(Ib)’, ‘나쁨(V)’과 ‘매우 나쁨(VI)’을 하나의 등급으로 통합하였다. 점수를 등급으로 변환하는 것과 달리 등급으로부터 점수를 얻어야 하므로 연속적인 값을 부여하기는 어렵다. 급간 점수 반영도가 선형 감소한다는 전제 아래 1등급은 100점, 2등급은 75점, 3등급은 50점, 4등급은 25점, 5등급은 0점으로 변환하는 방식을 적용한다.

금강하구역의 퇴적 문제의 경우 수질과는 달리 퇴적 문제의 심각성 정도를 평가할 수 있는 공식적인 지표가 존재하지 않는다. 이와 같은 점을 고려하여 수치모형에서 예측되는 퇴적물의 누적확률 분포를 기준으로 점수를 부여하는 방법을 택한다. 퇴적물은 연안환경의 지형적, 수문학적 조건에 따라 그 절대값의 차이가 크게 나타날 수 있으며, 해당 환경의 조건에 따라 퇴적물의 증감은 각기 다른 의미를 지닐 수 있다. 따라서 하나의 일괄적인 기준을 부여하기 보다 각 구역별 특성에 맞는 기준을 부여하는 것이 타당하다. 예를

들어 항만이라면 퇴적물이 낮거나 감소하는 특성이 있는 것이 관리에 유리할 것이고, 패류 양식장에서는 퇴적물이 크게 변하지 않는 것이 관리에 유리할 것이다. 상기한 구역들을 주요 항로와 항만의 유무를 기준으로 2개의 그룹으로 나누었다. A~F 구역의 경우 항로 또는 항만에 인접한 부분으로 퇴적이 발생되면 지속적인 준설이 이루어져야 한다. 따라서 이들 구역의 경우 퇴적물이 현재보다 낮아지는 것이 관리에 유리한 측면이 있다. 이와 같은 측면을 고려하여 항만-항로 구역 퇴적물 변환 점수(S_p)는 현 상태를 반영한 기본 시나리오의 구역별 퇴적물 평균(m_0)과 표준편차(σ_0)를 기준으로 아래와 같이 계산한다.

$$S_p = \begin{cases} 100, & m_s < m_0 - k_1\sigma_0 \\ 75, & m_0 - k_1\sigma_0 \leq m_s < m_0 - k_2\sigma_0 \\ 50, & m_0 - k_2\sigma_0 \leq m_s < m_0 + k_2\sigma_0 \\ 25, & m_0 + k_2\sigma_0 < m_s \leq m_0 + k_1\sigma_0 \\ 0, & m_0 + k_1\sigma_0 < m_s \end{cases} \quad (2)$$

여기서 m_s = 시나리오별 구역 퇴적물 평균(the mean sedimentation rate for each zone for each scenario)

k_1, k_2 = 급간조정계수(adjustment coefficients for classes)로 기본값은 각각 1, 0.5

G-M의 구역들은 간석지나 수심이 비교적 깊은 해역으로 퇴적물이 큰 변화없이 안정적으로 유지된다는 것은 전체 해안 관리의 측면에서 유리한 측면이 있다. 이와 같은 측면을 고려하여 간석지-근해 구역 퇴적물 변환 점수(S_i)는 현 상태를 반영한 기본 시나리오의 구역별 퇴적물 평균(m_0)과 표준편차(σ_0)를 기준으로 아래와 같이 계산한다.

$$S_i = \begin{cases} 100, & m_0 - \xi_1\sigma_0 \leq m_s < m_0 + \xi_1\sigma_0 \\ 75, & m_0 - \xi_2\sigma_0 \leq m_s < m_0 - \xi_1\sigma_0 \text{ or } m_0 + \xi_1\sigma_0 \leq m_s < m_0 + \xi_2\sigma_0 \\ 50, & m_0 - \xi_3\sigma_0 \leq m_s < m_0 - \xi_2\sigma_0 \text{ or } m_0 + \xi_2\sigma_0 \leq m_s < m_0 + \xi_3\sigma_0 \\ 25, & m_0 - \xi_4\sigma_0 \leq m_s < m_0 - \xi_3\sigma_0 \text{ or } m_0 + \xi_3\sigma_0 \leq m_s < m_0 + \xi_4\sigma_0 \\ 0, & m_s < m_0 - \xi_4\sigma_0 \text{ or } m_0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 m_s = 시나리오별 구역 퇴적물 평균(the mean sedimentation rate for each zone for each scenario)

$\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ = 급간조정계수(adjustment coefficients for class ranges)로 기본값은 각각 0.25, 0.5, 0.75, 1

식 (2)과 식 (3)에서 급간조정계수는 등급 경계를 조정하는 계수로서 시스템 운용 과정을 통해 자료와 경험이 누적되면 평가를 통해 기본값을 수정할 수 있다.

염분농도의 경우는 해수유통이 고려될 경우 담수역(A0)의 염도 상승으로 인한 염해 가능성 증가가 문제가 된다. 국제연합의 식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, 이하 FAO)에서 제시한 기준에 따르면 농업용수의 경우 전기전도도(EC_w) 0.7dS/m 이하 혹은 TDS(Total Dissolved Solids) 450 ppm

이하의 값을 가질 때 염해 피해를 유발하지 않는다(Ayers and Westcot[1985]). 완전히 일치하지는 않지만 이 기준에 대응되는 염도를 psu 단위로 표현하면 대략 0.45 psu에 해당한다. 벼의 생육과 수량에 미치는 영향에 초점을 맞출 경우 문헌에 따라 염해가 발생하기 시작하는 관개수의 염도 기준을 1 dS/m(=640ppm≃0.64psu)로 제시하거나(Choi et al.[2004]), 벼의 생애주기에 따라 이앙-분얼기에는 0.08%(≃0.8psu), 유수형성기-출수기에는 0.05%(≃0.5psu)를 안전 기준으로 제시하고 전반적으로 0.1%(≃1psu)를 벼의 생육에 현저한 감소를 초래하는 값이라고 보고한다(Choi et al.[2016]). 토양 염도를 기준으로 하는 경우 벼의 경우 0.1%(≃1psu) 이하가 적정하다는 보기도 하고(Kwon et al.[2003]), 작물 전체의 경우를 고려하여 그 범위를 0.128%까지 넓게 잡기도 한다(Son et al.,[2016]). 물론 토양 염도를 기준으로 할 경우 관개수를 기준으로 하는 경우 보다는 작물이 염해를 견디는 수치는 보다 높아질 수 있다.

해수유통이 일어날 경우 담수보다 무거운 해수는 주로 저층을 따라 상류로 침입한다. 그러므로 수층 전체가 동일한 염도를 보이는 것은 아니다. 수층 전체에서 혼합에 의해 일어날 희석 효과 등을 감안하면 이 연구에서는 염해 침투 범위를 저층 염분이 1psu 이상의 값을 보이는 지점까지의 거리로 보는 것이 적절하다고 판단하였다. 이 거리는 하구호로부터 농업용수로 취수할 수 있는 물의 양을 제한한다.

염분농도의 효과를 점수화하는 방식은 염해침투 범위에 따라 하구호 용수의 취수 역량이 감소되는 경향을 토대로 다음과 같이 고안하였다. 하구호의 물을 농업 용수로 활용하기 위해 금강하구호 양안을 따라 양수장이 설치되어 있다(Table 2). 금강하구둑으로부터 양수장까지의 거리와 거리에 따른 양수장의 누적 처리용량 간의 관계는 Fig. 3과 같다. 하구둑이 없을 경우 최대염분도 달거리를 d_{max} , 이 영역에 존재하는 양수장의 처리용량을 누적한 값을 CP_{max} , 하구둑으로부터의 거리와 해당거리 내에 위치한 양수장의 처리용량을 누적하여 얻은 경험적 누적분포함수를 $F_{sal}(d)$ 라고 하면, 염분농도에 대한 변환점수(S_{sal})를 얻는 식은 아래와 같이 주어진다.

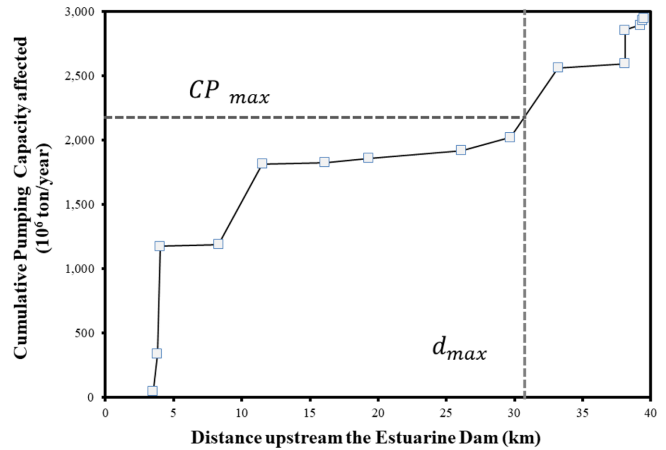


Fig. 3. The relationship between Distance upstream the Estuarine Dam and Cumulative Pumping Capacity affected.

$$S_{sal} = 100 \left(1 - \frac{F_{sal}(d)}{CP_{max}} \right), (0 \leq d \leq d_{max}) \quad (4)$$

4. 시스템의 구현 절차

이 연구에서 제시할 개념 설계의 부분은 앞에서 언급한 바와 같이 의사결정지원과 관련된 일련의 절차를 확립하는 문제와 이해당사자들의 관점과 시각을 담아낼 수 있는 틀을 설계하는 문제에 집중한다. 의사결정지원시스템의 시스템 구현 절차는 Fig. 4와 같이 크게 그룹 과정-개별 과정-그룹 과정을 지원하는 체계를 가지며, 총 5개의 세부 단계를 지닌다. 각 세부 단계는 평가 항목 설정, 시나리오 선정, 가중치 선정, 대안 평가 및 결과의 저장, 그리고 타 이해당사자의 결과 검토 및 피드백 등으로 이루어진다. 각 단계에 대한 설명은 아래에서 상술하겠다.

4.1 평가항목의 선정

금강하구역 관리와 같은 자연자원관리 분야에서 다양한 이해당

Table 2. The description of spatial zones for the Geumgang Estuary

Pumping St.	Upstream Distance (km)	Pumping Capacity (10 ⁶ ton/year)	Cumulative Capacity (10 ⁶ ton/year)
Gunsan	3.5	47	47
Hwayang	3.8	291	339
Seopo	4	836	1,175
Kangjeong	8.3	16	1,191
Napo	11.5	626	1,817
Gochang	16.1	11	1,828
Yanghwa	19.3	33	1,860
Jito	26.1	61	1,921
Yongdo	29.7	101	2,022
Geumgang	33.2	541	2,563
Kanggyeong1	38.1	34	2,596
Kaechuck	38.1	262	2,858
Panjowon	39.2	39	2,897
Inse	39.4	38	2,935
Seongdong	39.5	16	2,951

Opening the session in which relevant stakeholders participate

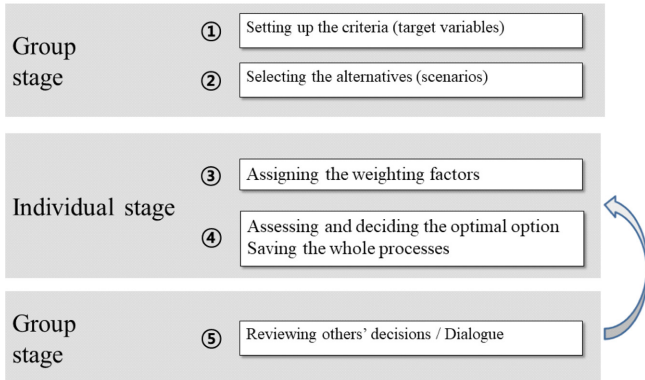


Fig. 4. Five steps for Decision-Support.

사자들이 관련되는 의제를 다루게 될 경우 개별적인 이해당사자들은 의제를 종합적으로 살피기 어렵다. 관련 의제를 종합적으로 살피야 한다는 부담은 오히려 각자의 입장을 구체화하는 데 방해 요인으로 작용할 수도 있다. 이 연구에서 제안하는 의사결정지원시스템은 개별적인 이해당사자들이 의제를 종합적으로 살피야 한다는 부담을 내려놓고 우선 자신의 관심사와 우선순위를 구체화하는 데 집중한 후 정해진 절차에 따라 이해당사자 대화를 진행할 수 있도록 돕는데 초점을 맞추고 있다. 개별적인 이해당사자들이 자신의 관심

사를 구체화시키는 첫 번째 단계가 평가항목을 설정 단계이다.

금강하구역 관리의제와 관련하여 개별적인 이해당사자들의 입장은 복잡해 보이지만 관심항목, 관심시기, 관심지역이라는 세 가지 요소의 조합으로 구체화할 수 있다. 예를 들어 수질 관리에 관심을 가진 이해당사자 갑의 관심사는 특정 시나리오가 ‘A0 구역’ ‘여름’의 ‘수질’을 지금보다 개선시키는 것으로 나타나는지 여부에 있는 반면 향로 매물 관리 책임을 맡고 있는 이해당사자 을의 관심사는 해당 시나리오가 ‘D 구역’ ‘여름’의 ‘퇴적물’을 현재보다 저감시키는 지 여부에 있을 수 있다. 이와 같이 이해당사자별 상이한 관심사는 관심항목, 관심시기, 관심지역의 조합으로 표현될 수 있다. 이 연구에서는 이를 ‘평가항목’이라 칭한다.

참여자가 결정된 이후 이해당사자 대화가 개시되면 가장 먼저 금강하구역에 대하여 개별 이해당사자들이 중요하게 여기는 측면을 (관심항목, 관심시기, 관심지역)의 형태로 제안하는 단계를 진행한다. 참여하는 이해당사자 수에 따라 달라질 수 있지만, 평가항목은 최대 5개까지 선정한다. 이는 평가항목이 너무 많을 경우 시스템을 통해 얻어지는 결과의 의미를 제대로 소화하지 못하여 의사결정지원시스템의 효용이 감소한다는 연구결과를 참조한 것이다(Uran and Janssen[2003]; McIntosh *et al.*[2011]). 평가항목의 선정은 개별 이해당사자들의 입장을 구체화시키는 과정이기는 하지만, 동시에 검토할 평가항목을 한정한다는 점에서 그룹 과정의 일부라고 간주한다.

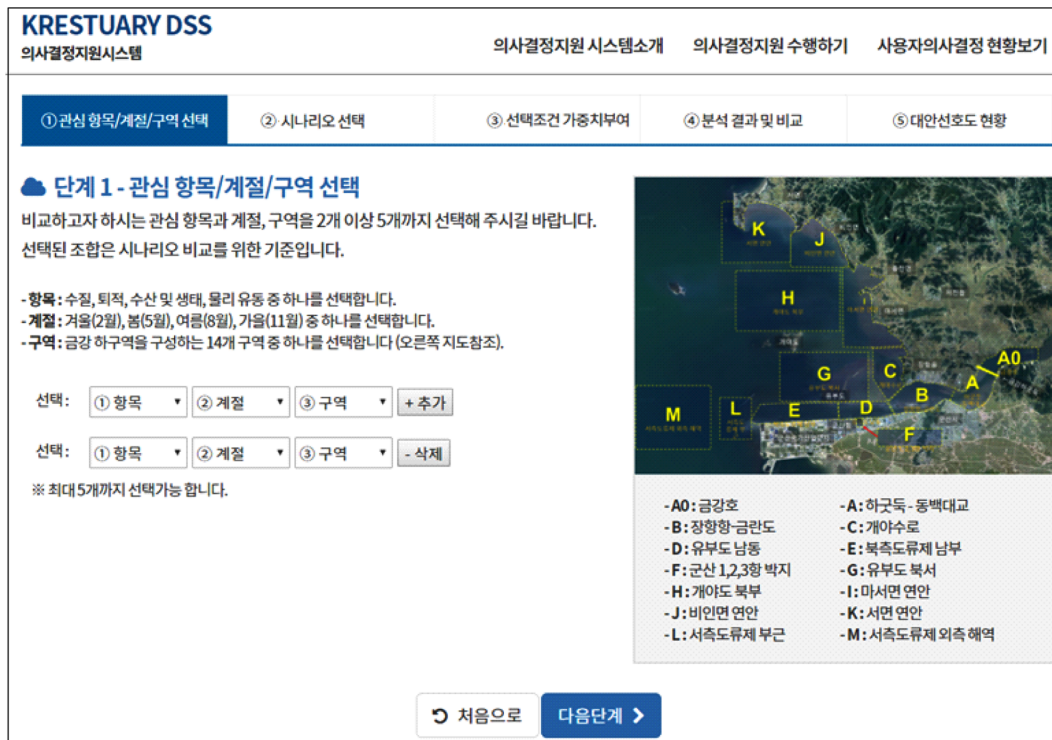


Fig. 5. The first step for setting up the criteria (source: <http://www.krestuary.or.kr>). The interface designs shown in Fig.5-8 are just preliminary outputs that are being refined.



Fig. 6. The second step for selecting the alternatives.

4.2 시나리오 선정

이 연구에서 이해당사자 대화는 금강하구역 현안과 관련된 시나리오 결과에 대한 논의를 중심에 둔다고 전제한다. 검토해야 할 시나리오를 선정하는 것은 이해당사자 대화가 열린 이유이기도 하다. 이 단계 역시 이해당사자가 모두 참여하는 그룹 과정이다. 시나리오의 수가 너무 많아질 경우 평가항목이 과다할 때 나타나는 문제가 동일하게 나타나기 때문에 비교할 시나리오의 수도 최대 5개까지 선정할 수 있도록 한다. 아울러 각각의 시나리오가 풍수기, 갈

수기, 평수기 조건을 대상으로 수행된 점을 감안하여 동일한 수량 조건에 대해 비교가 이루어지도록 한다.

4.3 가중치 부여

그룹 과정을 통해 검토해야 할 평가항목과 시나리오 안이 결정된 이후는 개별 이해당사자들이 의사결정시스템을 이용하여 자신의 관점에 따라 시나리오 분석 결과를 분석하는 단계로 들어가게 된다. 가중치 선정 과정은 개별 과정으로 이해당사자들이 오토이 자



Fig. 7. The third step for assigning the weighting factors.

신의 관점을 반영하는 데 초점을 맞추는 단계이다. 동시에 시스템 내부 기능을 이용한 탐색을 통해 특정 평가항목에 보다 높은 중요도를 부여한다는 것이 무엇인지 학습하는 단계이기도 하다.

이 연구에서 제안하는 의사결정지원시스템은 이해당사자가 가중치를 결정하는 데 전문가의 판단을 반영한 가중치를 따르거나 순위법 혹은 쌍대비교법에 따른 가중치를 따르는 등 3가지의 방식을 적용할 수 있도록 한다. 이는 이해당사자들이 자신의 입장을 구체화시키는 과정을 지원하기 위한 것이다.

전문가의 판단을 반영한 가중치는 총 22명의 전문가를 대상으로 한

중요도 설문 결과를 바탕으로 하였다. 총 22명 중 5-10년 경력을 갖춘 이가 10명, 10년 이상의 경력을 갖춘 이가 9명으로 전체의 86%를 차지했다. 중복응답을 허용한 상태에서 전문가들은 자신의 전문분야를 수질(10), 퇴적(17), 수산/생태(13), 물리유동(11), 사회경제 및 관리(8) 등으로 답하여 비교적 고른 분포를 보였다.

전문가 부여 중요도는 판단기준으로 선정이 가능한 모든 조합(구역 14개, 시기 4개, 분야 4개) 224개에 대해 전문가별로 최대 4개까지 순위를 부여하는 설문을 바탕으로 계산하였다. 주제항목은 수질, 퇴적, 수산/생태, 물리유동 등 4가지로 구분하여 중요도를 조

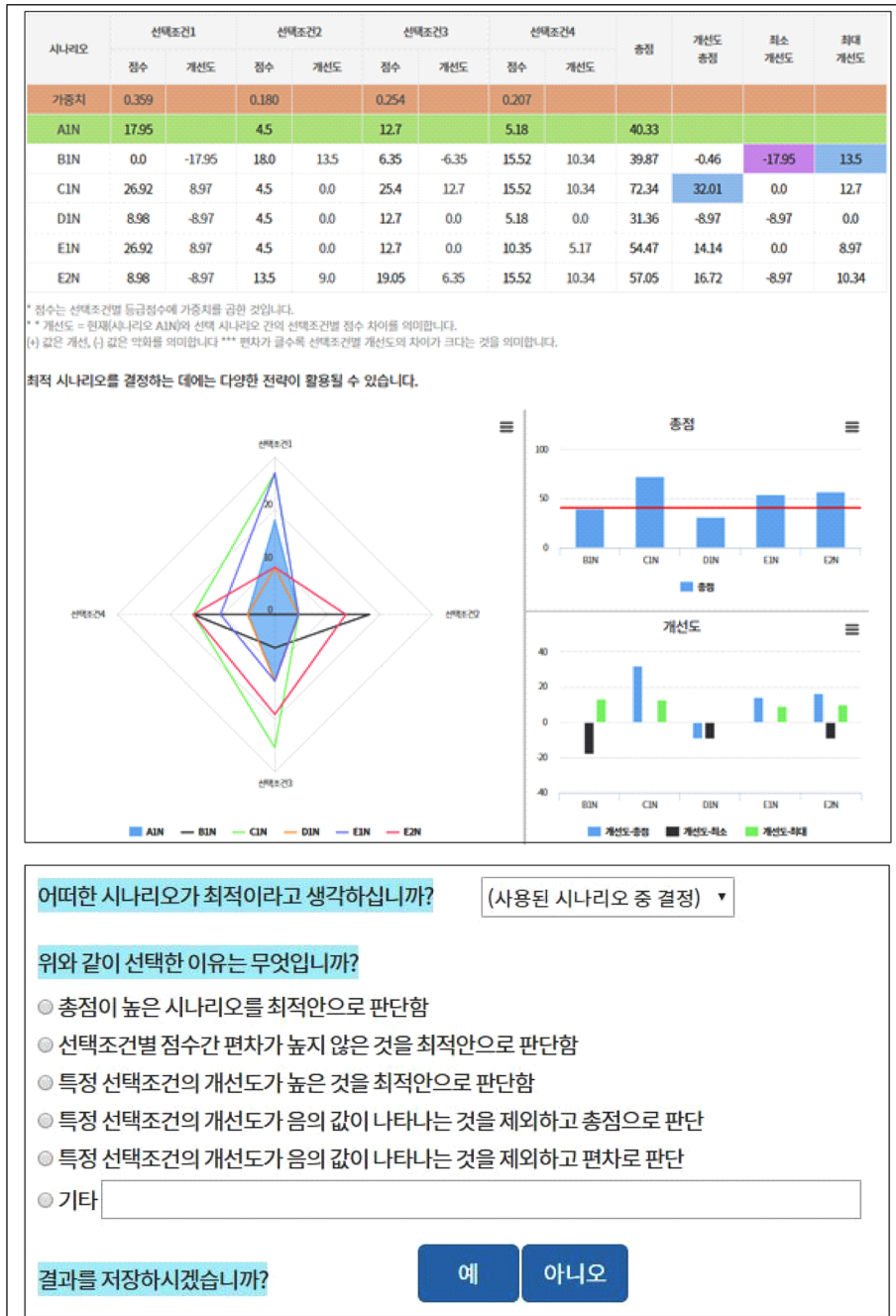


Fig. 8. The fourth step for assessing and deciding the optimal option.

사하였다. 이는 의사결정지원시스템에서 제공하는 판단기준 조합과 비교할 때 분야가 3개가 아닌 4개인 쌍에 대한 조사이기는 하지만, 전문가 중요도를 판단하는 데는 무리가 없다고 보았다. 모든 조합에는 기본점수 1점이 부여되었고, 전문가가 선택한 쌍에 대해서는 순위별 점수가 각각 1위 6점, 2위 4점, 3위 2점, 4위 1점으로 가산되도록 하였다. 동등순위에 대해서는 1/1/1/4위의 경우 4/4/4/1점, 1/1/3/4위의 경우 5/5/2/1점, 1/2/2/4위의 경우 6/3/3/1점 등을 부여하였다. 이후 최고점과 최저의 간격이 최대 10배를 넘지 못하도록 전체적인 값을 조정하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 각각의 조합에 부여된 점수가 전문가 중요도 점수가 된다. 평가항목 조합이 선정된 이후 각 평가항목 조합별로 부여된 전문가 중요도는 전체의 합이 1이 되도록 할 때의 기여도를 계산하는 기준이 되며, 이 값을 전문가의 판단에 따른 가중치로 간주한다.

순위법을 이용한 가중치의 선정은 이해당사자 그룹 과정에서 최종 결정된 판단기준들에 대해 자신의 관점에서 순위를 매긴 것을 이용하여 가중치를 부여한다. 가중치 부여 공식은 다음과 같다.

$$w_i = \frac{1/r^k}{\sum_{i=1}^n 1/r^k} \quad (5)$$

여기서 w_i = 가중치(a weighting factor for i-th criterion)

r = 순위(rank)

k = 조절매개변수(adjusting parameter). 기본값은 0.5

쌍대비교법은 선정된 평가항목에 대하여 쌍대비교를 통해 가중치를 비교하는 것으로 이해당사자가 직관적으로 순위를 매기기 어려운 경우나 동등한 중요도를 지니고 있다고 판단되는 경우에도 쉽게 활용할 수 있고, 가중치 부여에 대한 일관성을 유지하기 용이하다는 장점이 있다. 시스템에서는 각 평가항목의 쌍대평가를 슬라이드를 활용하여 직관적으로 수행하며, 일관성 비율(consistence ratio)이 만족될 때까지 반복 수행된다.

4.4 대안 평가 및 결과의 저장

4번째 단계는 이해당사자가 선택된 평가항목과 시나리오 결과 자료를 가중치를 부여하여 얻어진 점수를 비교하여 최적의 대안을 도출하는 과정이다. 기본적으로 현재의 상황을 나타내는 결과와 선택된 시나리오를 통해 변화하는 점을 테이블로 제시하여 다각적인 검토를 할 수 있도록 한다. 각 선택 평가항목에 대한 대안별 점수를 제시할 뿐만 아니라 현재 상황(시나리오 AIN)과의 차이를 개선도로 표시한다. 그리고 개선도 총점 및 최대, 최소 개선도 점수를 제시하여 관리의 측면에서 적절한 대안을 선택하는데 도움을 주게 된다.

마지막으로 이해당사자가 대안을 선택하는 과정에서 중요하게 고려된 사항을 추가적으로 질문하는 단계를 부여한다. 예를 들면 개선도 총점이 중요했는지, 음의 개선도(악화)가 나타나지 않는 것을 보수적으로 보았는지 등에 대한 질문을 추가하였다. 이 절차는 이해당사자의 의견 또는 대안선택 기준에 대한 정보를 구축할 수 있

도록 한다.

각 단계의 선택이 완료되면 결과가 저장될 수 있도록 하여 타 이해당사자가 대안 평가 및 선택 과정을 검토할 수 있도록 하였다.

4.5 타 이해당사자의 결과 검토 및 피드백

각 이해당사자의 시스템을 대안 선택이 이루어진 후 최종 단계는 오프라인 모임을 통하여 상호 토의하는 과정이다. 토의과정에서 시스템을 통하여 어떠한 대안이 주요하게 선택되었으며, 각 이해당사자가 그 대안을 선택한 이유가 무엇인지를 통계적으로 시각적으로 표출해줄 수 있도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 참여 이해당사자가 토의의 주요 방향성을 묵시적으로 선택할 수 있도록 하여, 토의의 방향성을 유지하는데 도움이 되도록 하였다.

5. 결 론

이 연구에서는 금강하구역을 둘러싼 관리방향을 설정하고 대안을 선택하는데 도움이 되는 금강하구역 의사결정지원시스템의 기본 골격을 설계하였다. 의사결정지원시스템을 통하여 ‘이해당사자 대화’가 효율적으로 이루어질 수 있도록 세 가지 측면에서 중점을 두었다. 첫째는 사용자가 이해하기 편한 직관적인 방식으로 구현하는데 초점을 맞추었으며, 둘째는 서로 입장이 다른 이해당사자들이 갈등 상황에서도 의제에 대해 자신의 관점을 충분히 표현할 수 있는 절차를 제시하였다. 셋째는 시스템을 이용하여 진행된 모든 과정을 저장하여 향후 이해당사자 대화에서 활용할 수 있도록 하였다. 설계된 5단계의 과정을 통해 진행되는 시스템을 금강하구역 관리를 위한 실증적 연구가 향후 진행된다면, 유사한 사례의 환경관리 분야의 의사결정지원시스템에서도 폭넓게 적용될 수 있을 것이라 판단한다.

상기 절차를 통해 구성된 의사결정지원시스템은 다음과 같이 두 가지 해결해야 할 과제를 제기한다. 첫 번째는 수치모의 결과를 이용하는 데에서 오는 불확실성이다. 금강하구역 종합관리시스템의 의사결정지원시스템은 시나리오별 수치모의 결과를 이해당사자 지원을 위한 원자료로 활용한다. 그러므로 수치모의 결과 자체에 내포된 불확실성은 의사결정지원 과정에 전반에 영향을 미치게 된다. 이 연구에서 제시한 의사결정지원시스템에서는 수치모의 결과의 불확실성을 통제하기 위한 별도의 알고리즘이 적용되지 않았다. 이 문제는 별도의 연구 주제로 다루어져야 할 것이다. 두 번째는 평가항목별 원점수를 표준화 점수로 변환하는 과정에 개입되는 불확실성이다. 서로 상이한 성격을 지니는 수치를 표준화하여 통합하는 과정은 표준점수로 변환하는 과정에 대해 민감도를 지닐 수밖에 없다. 이 연구에서는 표준점수 변환 과정의 민감도에 대해 검토 문제를 연구범위 밖의 문제로 보고 충분히 다루지 않았다. 표준점수 변환 과정의 민감도 문제, 보다 넓게는 점수화 과정 자체의 타당성은 다양한 시뮬레이션을 통한 민감도 분석과 아울러 관련 전문가들의 의견이 충분히 반영되고 상호 납득 가능한 절차를 갖추는 방식으로 점검할 필요가 있다. 이 문제는 추후 논문에서 좀 더 상세하게 다루어질 것이다.

후 기

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

References

- [1] Ayers, R.S. and Westcot, D.W., 1985, Water quality for agriculture, (FAO Irrigation and Drainage Paper 29 rev.1), FAO, Rome.
- [2] Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C. and Silliman, B.R., 2011, The value of estuarine and coastal ecosystem services, *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- [3] Berghoefér, U. and Berghoefér, A., 2010, 'Participation' in Development Thinking – Coming to Grips with a Truism and its Critiques, in: Stoll-Kleemann, S. and Welp, M. (Eds.), *Stakeholder Dialogues in Natural Resources Management: Theory and Practice*, Springer, Berlin, 79-116.
- [4] Brugnach, M. and Ingram, H., 2011, Ambiguity: the challenge of knowing and deciding together, *Environ. Sci. Policy*, 60-71.
- [5] Brugnach, M., Dewulf, A., Henriksen, H.J., van der Keur, P., 2011, More is not always better: Coping with ambiguity in Natural Resources Management, *J. Environ. Manag.* 92, 78-84.
- [6] Choi, S.H., Kim, H.I., Ahn, Y., Jang, J.R. and Oh, J.M., 2004, Salinity Effects in Growth and Yield Components of Rice, *Korean J. Limnol.* 37(2), 248-254.
- [7] Choi, W.-Y., Shin, D., Lee, S., Seo, J., Hwang, C., Yi, H., Kim, S. and Oh, M., 2016, Determination of Critical Concentration of Saline Irrigation Water for Rice Cultivation in General Farmland, *J. Korean Soc. Int. Agric.*, 28(3), 352-357.
- [8] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grass, M., Hannon, B., Naeem, S., Limburg, K., Paruelo, J., O'Neill, R.V., Raskin, R.G., Sutton, P., and van den Belt, M., 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253-260.
- [9] Cutts, B.B., White, D.D., and Kinzig, A.P., 2011, Participatory geographic information systems for the co-production of science and policy in an emerging boundary organization, *Environ. Sci. Policy*, 14, 977-985.
- [10] Dewulf, A., Craps, M., Bouwen, R., Taillieu, T. and Pahl-Wostl, C., 2005, Integrated management of natural resources: dealing with ambiguous issues, multiple actors and diverging frames, *Water Sci. Technol.*, 52(6), 115-124.
- [11] Jeong, Y.H., Yang, J.S. and Park, K., 2014, Changes in Water Quality After the Construction of an Estuary Dam in the Geum River Estuary Dam System, Korea, *J. Coast. Res.*, 30(6), 1278-1286.
- [12] Kennesh, M.J., 2002, Environmental threats and environmental future of estuaries, *Environ. Conserv.*, 29(1), 78-107.
- [13] Kim, T.I., Choi, B.H., and Lee, S.W., 2006, Hydrodynamics and sedimentation induced by large-scale coastal developments in the Keum River Estuary, Korea, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 68(3-4), 515-528.
- [14] Kwon, B.-S., Baek, S.-Y., Shin, J.-S., Lim, J.-T., Shin, D.-Y., Kim, H.-J., and Hyun, K.-H., 2003, Effects of Salinity Content on Soil Chemical Composition and Productivity of Rice in Reclaimed Saline Paddy Field, *Korean J. Plant. Res.*, 16(3), 181-186.
- [15] Lee, K., Rho, B., Cho, H. and Lee, C., 2011, Estuary Classification Based on the Characteristics of Geomorphological Features, Natural Habitat Distributions and Land Uses, *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, 16(2), 53-69.
- [16] McIntosh, B.S., Ascough II, J.C., Twery, M., Chew, J., Elmahdi, A., Haase, D., Harou, J.J., Hepting, D., Cuddy, S., Jakeman, A.J., Chen, S., Kassahun, A., Lautenbach, S., Matthews, K., Merritt, W., Quinn, N.W.T., Rodriguez-Roda, I., Sieber, S., Stavenga, M., Sulis, A., Ticehurst, J., Volk, M., Wrobel, M., van Delden, H., El-Sawah, S., Rizzoli, A., and Voinov, A., 2011, Environmental decision support systems(EDSS) development – Challenges and best practices, *Environ. Modell. Software*, 26, 1389-1402.
- [17] McLusky, D.S. and Elliott, M., 2004, *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management* (3rd ed.), Oxford University Press.
- [18] Perillo, G.M.E., 1995, Definitions and geomorphologic classifications of estuaries, in: Perillo, G.M.E., (ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*, Elsevier Science Publishers, 17-47.
- [19] Son, Y., Choi, I., Lee, C., Shin, S., Park, J., Kim, D., Lee, S., Choi, J. and Kim, J., 2016, A Study on the Desalination and Artificial Vegetation for Reclaimed Land by Soil Conditioner (1), Korea Rural Community Corporation. (Project Report).
- [20] Stoll-Kleemann, S. and Welp, M., 2010, Toward a More Effective and Democratic Natural Resources Management, in: Stoll-Kleemann, S. and Welp, M. (Eds.), *Stakeholder Dialogues in Natural Resources Management: theory and practice*, Springer, Berlin, 17-39.
- [21] Uran, O. and Janssen, R., 2003, Why are spatial decision support systems not used? Some experiences from the Netherlands, *Comput. Environ. Urban Syst.*, 27, 511-526.
- [22] Wolanski, E., 2007, *Estuarine Ecohydrology*, Elsevier.
- [23] Zorrilla, P., Garmona, G., De la Hera, A., Varela-Ortega, C., Martinez-Santos, P., Bromley, J., Henriksen, H.J., 2010, Evaluation of Bayesian Networks in participatory water resources management, Upper Guadiana Basin, Spain, *Ecol. Soc.* 15(3), 12 [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art12/>.

Received 13 August 2018

Revised 20 August 2018

Accepted 22 August 2018