저수지군 연계운영을 위한 웹 기반 다기준 그룹의사결정지원 모형의 구현

Implementation of a Web-based MGDSS for Coordinated Multiple Reservoir Operation

조남웅*, 이용대**, 김승권***
Namwoong Cho, Yongdae Lee, Sheung-Kown Kim

요 지

현실에서 실제 존재하는 문제들은 단일 목적이 아닌 다수의 목적들로 이루어지는 경우가 대부분이다. 수자원 분야의 저수지군 연계운영 경우 용수공급 부족량의 최소화, 저수량의 최대화, 발전량의 최대화, 그리고 수계외 유출량의 최소화 등의 다중목적들로 이루어지는데 저수량의 최대화와 발전량의 최대화처럼 서로 상충되는 목적들이 존재하게 된다. 따라서 저수지군 연계운영 효과를 극대화하기 위해서는 위와 같이 상충되는 목적들 간의 trade-off를 고려한 여러 대안을 도출하여 댐운영 의사결정자들 간의 협의를 통한 적절한 대안이 선택되어야 할 것이다. 이를 위해서는 자료의 공유가 필수적이며 각 의사결정자들의 요구사항 및 평가기준들이 합리적으로 수용되어야 할 것이다.

본 연구에서는 웹을 활용하여 의사결정자들에게 상충된 목적들에 대하여 실시간으로 대안을 제공하고 의사결정자들의 의사를 바탕으로 합의된 저수지군 연계운영 방안의 도출을 지원하는 웹 기반 다기준 그룹의사결정지원 모형을 구현한다. 합의된 해 선정을 위한 대안들은 CBITP(CHIM based Interactive Tchebycheff Procedure)를 활용한 다중목적 계획법에서 제시한 방안들을 이용하며 그룹의사결정은 PROMETHEE(Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) 기법을 사용한다.

핵심용어 : 웹 기반 의사결정 시스템, 그룹의사결정, CBITP, PROMETHEE

1. 서 론

현실에서 실제 존재하는 문제들은 단일목적이 아닌 다양한 다수의 목적들로 이루어지게 된다. 이와 같은 다양한 목적들에 대한 의사결정은 시스템의 전체적인 조화와 의사결정자(Decision Maker, DM)들의 요구를 공평하게 만족시키는 것을 목표로 하게 된다. 수자원 분야의 저수지군 연계운영에 있어서도 단일 목적이 아닌 용수공급 부족량의 최소화, 저수량의 최대화, 발전량의 최대화, 그리고 수계외 유출량의 최소화 등의 다중목적들이 존재하게 되며, 저수량의 최대화와 발전량의 최대화처럼 서로 상충되는 목적들 또한 존재하게 된다. 이런 상충되는 목적들 간의 적절한 타협점을 찾는 문제는 실시간 운영시 고려되어야 하는 저수지 운영 문제의 본질이라 할 수 있다. 그러나 문제는 입력 자료의 부정확성과 불확실성 문제로부터 야기되는 최적해의 현실적 범위에 대한 애매함으로 인하여 자신있는 의사결정이 어렵다는데 있다. 따라서 Noninferior Solution들 간의 trade-off를 통한 댐운영 의사결정이 바람직하게 된다. 이를 구현하기 위하여 DM들 간의 요구를 공평하게 만족시키기 위한 자료의 공유와 의사결정자를 의견을 수렴할 수 있는 다기준 그룹의사결정 시스템(Multicriteria Group Decision Support System, MGDSS)이 필요하게 된다.

이와 같이 의사결정자들의 정보를 공유하고 합리적인 의사결정을 지원하기 위한 자료구조에 대한 연구는

* 정회원·고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정·E-mail : ever1213@@korea.ac.kr

** 정회원·고려대학교 산업시스템정보공학과 박사과정·E-mail : ydlee@korea.ac.kr

*** 정회원·고려대학교 산업시스템정보공학과 교수·E-mail : kimsk@korea.ac.kr

George Huber(1984) 이후 많이 연구되어 왔다. 현대에 이르러서는 인터넷이 단순히 공간과 시간을 초월하는 정보공유의 기능에서 인트라넷 어플리케이션이나 웹 기반의 정보시스템, 더 나아가서는 지식시스템등의 구축의 도구가 되고, 네트워크 하드웨어 기술 및 클라이언트/서버구조로서의 분산 컴퓨팅 기술이 발달하면서 웹 기반의 MGDSS의 개발이 용이해졌다.

본 연구는 인터넷 환경을 이용하여 저수량의 최대화와 발전량의 최대화와 같이 상충되는 목적들을 기준으로하여 trade-off 중심으로 고려한 대안을 제시하고 실시간적으로 DM들 간의 의견을 수렴하기 위한 기반을 제공해줄 수 있는 웹 기반 다기준 그룹의사결정지원 시스템을 제시한다. 상충된 목적에 대한 대안을 제시하기 위하여 다중목적계획법 CBITP를 적용한 저수지군 최적 연계운영모형(Coordinated Multi-reservoir Operation Model, COMOM)을 활용하며, 그룹의사결정을 위하여 다기준 의사결정방법인 PROMETHEE 기법을 적용한다.

2. 저수지군 연계운영을 위한 웹 기반 MGDSS의 설계와 구현

2.1 웹 기반 MGDSS의 구조

저수지군 연계운영을 위한 웹 기반 MGDSS의 구조는 그림 1. 과 같다.

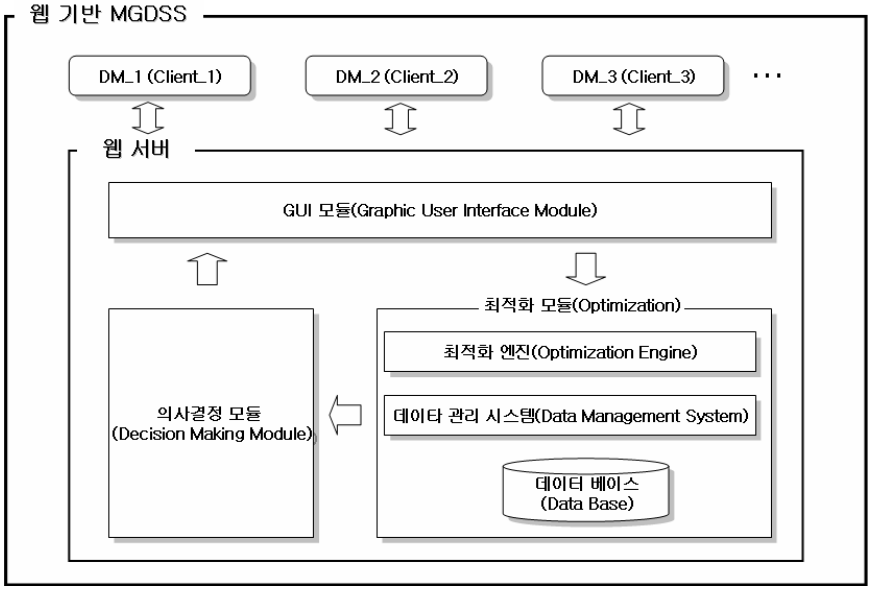

그림 1. 웹 기반 MGDSS의 구조

본 웹 기반 MGDSS는 서버사이드(Server-Side) 웹 어플리케이션을 이용한다. 서버사이드 웹 어플리케이션은 사용자가 웹 브라우저를 통해 서버에 요청을 전달하면 서버에서 요청된 내용을 수행하여 결과를 HTML 형태로 사용자의 웹 브라우저에 보내주는 분산 컴퓨팅의 형태이다. 서버사이드 웹 어플리케이션에서 클라이언트 역할은 웹 브라우저가 담당하는데, 웹 브라우저만 갖고 있으면 다른 프로그램의 추가설치 없이 누구나 서버 접속이 가능하다. 이와 같은 기술로는 CGI(Common Gateway Interface), ASP(Active Server Pages), 자바 서블릿(Java Servlet), JSP(Java Server Pages)등이 있다. 본 시스템의 웹 서버는 쉽게 데이터베이스와 연동할 수 있고 개발이 비교적 편리하며 기 개발된 최적화 모듈과의 호환성이 용이한 ASP를 기반으로 한다.

서버의 구성은 크게 GUI 모듈, 최적화 모듈 그리고 의사결정 모듈로 이루어지게 되며, 각 모듈은 상호 자료를 교환하게 된다.

2.2 웹 서버의 주요 모듈

2.2.1 GUI 모듈

GUI 모듈은 DM의 의사가 시스템에 효율적으로 전달될 수 있도록 하며, 반대로 시스템이 제시한 정보를 의사결정자가 쉽게 습득할 수 있도록 그래픽을 지원하는 모듈을 말한다. GUI 모듈은 저수지군 연계운영에 필요한 수계제원의 설정, 댐운영에 필요한 각 목적들의 가중치 설정, DM의 의견제시, 도출된 댐운영 대안의 제시 등의 화면으로 설계된다.

2.2.2 최적화 모듈

최적화 모듈은 저수지군 연계운영의 대안을 도출해 주는 모듈이다. 주어진 수계정보와 각 목적들 간의 가중치를 입력정보로 하여 저수지군 연계운영에 대한 최적 운영 결과를 보여줌으로써 합리적인 운영 대안을 제시한다. 이를 통하여 각 DM은 요구를 조정하고 합리적인 운영 방안을 찾을 수 있다.

본 시스템의 최적화 모듈에 탑재되는 최적화 모형은 CoMOM 4.0으로 김승권과 박영준(1998)의 CoMOM을 근간으로 하면서, 추가로 단기 운영 모형의 특성을 고려하기 위하여 하도추적을 개념화해서 반영하고 있으며 수력 발전의 비선형 관계식을 부분적으로 고려할 수 있는 특징을 가지고 있다(이용대 등, 2002). 목적함수에서 홍수기 유지수위 초과억제, 물 부족 최소화, 여수로 방류량 최소화, 저수량 최대화, 발전량(발전방류량) 최대화, 분석기간말 목표저수위 유지 등을 포함하고 있으며, 전체적으로는 혼합 정수 계획 목표계획(Mixed Integer Goal Programming, MIGP)모형의 형태를 따른다. 자세한 수식은 이용대 외(2002)에 나타나 있다. 그리고 CoMOM 4.0은 발전량 최대화와 저수량 최대화라는 상충되는 목적에 대하여 CBITP를 활용한 다중목적계획법이 적용되었다(Kim, S. K. et al., 2004; Kim, J. H. and Kim, S. K., 2005; Kim, S. K. et al., 2005). CBITP에서는 CHIM을 기반으로 여러 목적들에 대하여 해 공간을 대표할 수 있는 넓은 범위에 분포한 다수의 파레토 최적해를 생성하고, DM들로 하여금 가장 선호하는 파레토 최적해를 선택한 후, 선택된 해의 인접 영역에서 다음 반복을 위한 파레토 최적해 집합을 도출하는 과정을 반복하는 것으로 요약할 수 있다.

2.2.3 의사결정 모듈

의사결정 모듈은 GUI를 통한 그룹의사결정을 제공한다. 최적화 모듈에서 발전량 최대화과 저수량 최대화의 상충된 목적 하에서 산출되는 여러 대안들(파레토 최적해)을 DM들에게 제시하고 DM들의 의견을 실시간으로 반영하여 반복적인 실행을 통하여 그룹의사결정을 수행한다.

본 연구에서는 각 DM이 자신의 주관적인 판단에 의하여 제시된 대안들을 평가하고, 이러한 각각의 의견을 다기준 의사결정 문제의 기준(criterion)으로 고려하여 다기준 의사결정법을 적용하는 그룹의사결정 기법을 제안한다(Leyva-Lopez and Fernandez-Gonzalez, 2003). 이를 위하여 적용이 용이하고 효율적인 다기준 의사결정기법 PROMETHEE (Brans and Vincke, 1985)를 적용한다. PROMETHEE 기법은 일반적으로 여섯 가지 선호 함수(preference function)들 중에서 각 기준에 부합되는 선호 함수 및 필요한 몇 가지 파라미터를 정하여 선호 관계를 이용하여 대안들 간의 순위선호를 도출하는 다기준 의사결정기법이다.

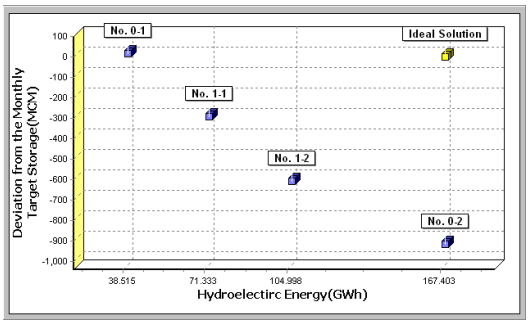

그림 2. CBITP를 적용한 최적화 모듈에서 산출된 대안의 예

표 1. 종합된 DM의 대안별 선호도 예

대안 \ DM	DM 1	DM 2	DM 3	…
No.0-1	10	8	3	…
No.0-2	9	9	5	…
No.1-1	8	8	7	…
No.1-2	6	6	10	…
선호함수	Type Ⅱ	Type Ⅳ	Type Ⅲ	…

구체적으로 의사결정 모듈에서는 각 DM이 그림 2.와 같이 최적화모듈에 산출된 여러 대안들과 추가 운영정보(여수로 방류량, 수계외 유출량 등)를 웹상에서 실시간으로 제공받으며, DM들은 자신의 주관적인 기준(환경오염, 발전이익, 가뭄 및 홍수대비, 안정적인 용수공급 등)에 의하여 모든 대안에 대하여 선호도를 평가하고 PROMETHEE 적용을 위한 선호함수 및 파라미터를 정한다. 이렇게 각 DM들에 의하여 얻어진 정보들은 표 1.과 같은 형태로 실시간으로 종합된다. 대안에 대한 평가가 종료하게 되면 각 DM이 제시한 대안별 선호도, 선호함수, 파라미터를 기반으로 하여 PROMETHEE 기법을 적용, 대안별 순위를 산출한다. 각 대안에 대하여 순위가 정해지면 DM들에게 최상의 순위를 갖는 대안이 제시되며 DM들은 제시된 대안에 대하여 최종 의사결정을 내린다. 모든 DM들이 최상의 순위를 갖는 대안을 최종 저수지군 연계운영 방안으로 채택하는데 만족하게 되면 현재의 대안을 결론으로 의사결정 프로세스는 종료하게 되며, 그렇지 않은 경우에는 최적화모듈의 CBITP를 이용하여 현재의 대안 주변으로 다시 새로운 대안들을 생성하게 되며, 이 과정은 반복되게 된다.

2.3 웹 기반 MGDSS의 다기준 그룹의사결정 프로세스

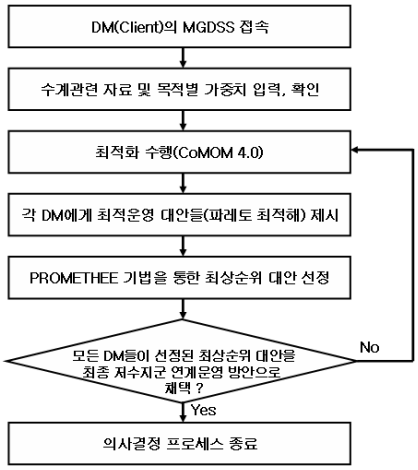

그림 3. 웹기반 MGDSS의 다기준 그룹의사결정 프로세스

웹 기반 MGDSS의 다기준 그룹의사결정의 프로세스는 그림 3.과 같으며 각 단계는 대화식으로 이루어지게 된다.

■ 단계 1 : DM(Client)의 MGDSS 접속

프로세스는 약속된 시간에 DM들이 시스템에 접속함으로써 시작된다. 웹 서버는 DM들의 접속여부를 계속 감시하게 되며 의사결정에 필요한 DM들이 접속하게 되면 전원 동의하에 의사결정 프로세스를 시작한다.

■ 단계 2 : 수계관련 자료 및 목적별 가중치 입력, 확인

DM 전원 동의하에 의사결정이 시작하면 각 DM들은 대상수계에 대한 입력자료 및 제원을 확인하게 되며, 수정사항이 있을 경우 모든 DM들의 동의하에 입력자료를 수정한다.

■ 단계 3 : 최적화 수행(CoMOM 4.0)

입력자료의 확인 및 수정이 종료되면 시스템은 최적화 모듈을 호출하게 되며 최적화 모듈은 DM들이 원하는 수의 최적 저수지군 운영 대안들(파레토 최적해)을 도출한다.

■ 단계 4 : 각 DM에게 최적운영 대안들(파레토 최적해)을 제시

최적화 모듈에서 산출된 저수지군 운영 대안 및 추가 운영정보들은 그림 2.와 같이 GUI를 통하여 DM들에게 제시된다.

■ 단계 5 : PROMETHEE 기법을 통한 최상순위 대안 선정

각 DM들은 자신의 주관적인 기준하에 대안별 선호도, 선호함수 그리고 파라미터를 실시간으로 결정하며, 의사결정 모듈은 DM들의 의견을 종합하여 가장 선호되는 최상 순위 대안을 선정한다. 선정된 최상 순위 대안은 다시 GUI를 통하여 DM들에게 제시된다.

■ 단계 6 : 프로세스의 반복과 종료

현 단계에서는 단계 5에 의해 선정된 최상순위 대안을 최종적인 저수지군 연계운영 방안으로 채택여부를 선택하게 된다. 만일 모든 DM이 현재 제시된 대안을 채택하는데 만족하게 되면 프로세스는 종료되고, 그렇지 않다면 최적화 모듈은 현재의 최상순위 대안을 기준으로 새로운 저수지군 운영대안을 산출한다. 결국 모든 DM들이 만족하는 대안이 결정될 때 까지 위의 프로세스는 반복적으로 진행된다.

2.4 저수지군 연계운영을 위한 웹기반 MGDSS의 구현

웹 기반 MGDSS의 구현은 낙동강수계를 대상으로 하여 실제 낙동강수계의 시설제원을 입력자료로 한다. 웹 서버는 Microsoft Windows 2000 Server 운영체제하에서 ASP를 기반으로 구축하는데 실제 구현은 Microsoft ASP.NET 2002를 사용한다. 최적화 모형은 Microsoft Visual C++, Microsoft Visual Basic.NET 2002, ILOG CPLEX 9.0, ILOG Concert Technology 2.0 기반으로 개발된 구조를 Microsoft ASP.NET 2002 환경하에서 이식하게 된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구를 통하여 저수지군 연계운영에 있어서 단일목적이 아닌 상충되는 목적들을 기준으로 하여 trade-off를 고려한 최적대안들을 제시하고 각 DM들의 의견을 공간의 제약 없이 공유하고 다자간 협상을 할 수 있는 웹 기반 MGDSS의 Prototype을 제시하였다.

본 연구가 보다 실용적인 웹 기반 MGDSS가 되기 위해서는 각 의사결정자들의 의견을 종합하는 과정에서 PROMETHEE 기법만이 아닌 ELECTRE, AHP등의 다른 효율적인 의사결정기법을 적용 및 비교해 보아야 할 것이며, 시스템 구현기술에서 좀더 선진적인 기술을 도입해 시스템을 유연하고 동적으로 구축해야 할 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-6-2)에 의해 수행되었습니다. 그리고 모형 개발 및 수행에 사용된 ILOG 소프트웨어를 고려대학교에 기증해 주신 KSTEC에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김승권, 박영준 (1998), 댐군의 연계운영을 위한 수학적 모형, 한국 수자원학회 논문집, 제 31권, 제 6호, pp 779-793
2. 이용대, 김재희, 김승권, 고익환 (2002), 일별 저수지군 연계운영을 위한 수학적 모형, 대한 토목학회 학술 발표회 논문집, pp 285-288
3. G. P. Huber (1984), Issues in the design of group decision support systems, MIS Quarterly Vol 8, No.3, pp 195-204
4. Kim, J. H. and Kim, S. K. (2005), A CHIM-based interactive Tchebycheff procedure for multiple objective decision making, Computers & Operations Research, Elsevier, (in print: available online at www.sciencedirect.com)
5. Kim, S. K., Kim, J. H, and Ko, I. H. (2004), Interactive multi-objective decision making for operation of a multiple reservoir system, 6th International Conference on Hydroinformatics, Liong, Phoon & Babovic (eds), 2004 World Scientific Publishing Co. Vol. 1, pp. 961-968.
6. Kim, S. K., Lee, Y. D., Kim, J. H. and Ko, I. H. (2005), A Multiple Objective Mathematical Model for Daily Coordinated Multi-Reservoir Operation, Proceedings of the 3rd IWA International Conference on Efficient Use and Management of water, pp.709-717
7. Brans, J. and P. Vincke, (1985), A Preference Ranking Organization Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making), Management Science, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656
8. Leyva-Lopez, J. C., Fernandez-Gonzalez, E. (2003), A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology, European journal of operational research, Vol. 148, No. 1, pp.14-27