大韓土木學會論文集
第12卷 第1號 · 1992年 3月
pp. 131~140

水 工 學

洪水時 貯水池 實時間 運營 意思決定 支援 시스템

Computerized Decision Support System for Real-time Flood Forecasting and Reservoir Control

高錫九* · 李翰九** · 李熙昇***
Ko, Seok Ku · Lee, Han Goo · Lee, Hee Sung

Abstract

For a real-time flood forecasting and reservoir control problem of a multipurpose dam, the on-line acquisition of hydro-meteorological data and computerized analysis of the acquired data are absolutely necessary for the prompt decision of reservoir discharges which can minimize the possible damages and simultaneously maximize the utilization of the runoff. By introducing a man-machine interface such as condensed color graphics of the analyzed results, it is much easier and faster to transform the information to the decision maker who can decide the reservoir discharge.

The newly developed PC-REFCON, which represents the PC based real-time flood forecasting and reservoir control, can easily handle the above problems by adopting a innovative decision support system. The system has three principal components of, a data base subsystem which acquires and manages real-time data, a model subsystem which forecasts the flood runoff and simulates the reservoir operation, and a dialogue subsystem which helps decision maker and system engineers using various graphics and tables with renovative methodologies. The developed PC-REFCON will be utilized from the coming Summer of 1992 for the flood control of all the nine multipurpose reservoirs in Korea.

要 旨

다목적댐의 유입량 예측과 더불어 유출량의 이용율을 극대화 하면서 홍수 피해를 극소화 시킬 수 있는 방류량을 결정할 수 있는 實時間 洪水制御 문제에 있어서는 水文 및 기상자료 등 많은 정보의 實時間 온라인 취득과 컴퓨터를 사용한 분석이 필수적이다. 입수된 자료의 정확한 분석으로부터 내용이 압축된 컬러 그래픽 등 사람과 컴퓨터간의 대화매체를 도입하면 홍수방류를 결정할 수 있는 책임자에게 분석된 정보를 보다 쉽고 신속하게 전달할 수 있다.

개발된 PC-REFCON은 개인용 컴퓨터를 주축으로 한 실시간 홍수예측 및 저수지 운영을 위한 쇄신된 의사결정 지원 시스템으로서, 자료의 실시간 취득과 가공을 위한 데이타 베이스와 유입량 예측과 댐 방류량 결정을 위한 모형을 포함하였을 뿐 아니라 지금까지와는 전혀 새로운 차원으로 모든 정보를 그래픽과 테이블로 제공하여 주는 대화형 시스템으로 구성되었다. PC-REFCON은 1992년부터 우리나라의 9개 전 다목적댐 저수지를 홍수시에 실시간으로 홍수량 예측과 방류량을 결정할 수 있는 시스템으로 이용될 것이다.

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원, 공학박사
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
*** 정회원 · 한국수자원공사 기술본부장

1. 開發의 必要性 및 背景

컴퓨터를 이용한 기술의 급격한 향상에 따라 다양한 그래픽을 이용하므로써 복잡하고 어렵게 느껴졌던 컴퓨터에 거의 모든 사람이 쉽게 접근할 수 있게 되었으며, 일상 생활도구의 중요한 요소로 변모해 가고 있다. 컴퓨터의 소형화 및 대용량화에 따른 개인용 컴퓨터의 출현으로 컴퓨터 기술의 일반화에 획기적 역할을 하고 있으며 소형 컴퓨터에 알맞는 각종 그래픽을 이용하면 사람과 기계간의 對話媒體(man machine interface)로서도 이용될 수 있다.

다목적댐 상류에서 발생되는 濠雨에 의한 유출량의 산정으로부터 유출량의 이용율을 극대화하면서 홍수피해를 극소화할 수 있는 放流量을 결정할 수 있는 實時間 洪水 制御에 있어서는 매우 많은 정보의 實時間 蒐集과 아울러 이의 분석에 따라 放流量을 결정하여야 한다. 더욱이 강우는 특성상 任意性이 강하여 정확한 예보나 예측 등은 매우 어려우며 강우에 의한 홍수 유출도 土壤의 濕潤狀態라든가 집중호우에 의한 강우 관측소로부터의 대표 강우 산정에 따른 誤差 등 많은 不確實性이 내포되어 있다. 이러한 不確實性에 대처하면서 실시간 유출 예측에 따른 저수지 제어에는 水文學的인 기술문제에 부가하여 사회적인 측면 등 정책적인 면을 고려하여야 하므로 많은 경험과 책임이 있는 意思決定權者의 의사결정을 수반하여야 한다. 홍수조절을 위한 저수지 운영에 있어 홍수조절 효과를 증대시키기 위해서는, 일반적으로 水文事象의 변화가 매우 짧은 시간에 이루어 지기 때문에, 實時間으로 자료의 취득 및 분석과 水門開閉 등의 의사결정이 신속하고 정확하게 이루어져야 한다. 그러나 현재 우리나라에서 사용되고 있는 홍수조절을 위한 방재업무용 의사결정 지원 시스템은 강우 자료의 實時間 取得과 홍수 유입량의 實時間 豫測 등은 상당한 수준으로 이루어지고 있다고 판단되나 예측결과의 전달 등 의사결정 과정이 미비한 실정이며, 신속한 판단을 위한 그래픽 매체 및 데이타 베이스의 구축 등의 보완이 요구되고 있다.

하드웨어 측면에 있어서는 일부 컴퓨터 장비의 노후화 및 통신선로의 불완전에 따른 信賴性의 부족에 따라 방재 업무수행 능률이 저하되고, 개발된 각종 그래픽 소프트웨어를 사용할 수 없는 관계로 효율적인 방재 업무가 어려운 실정이다. 따라서 개인용 컴퓨터를 사용한 홍수 유출 모형의 개선 및 사람과 기계를 연결해 주는 그래픽 시스템의 개발이 이번 연구의 주요 目的이다.

2. 洪水制御를 위한 意思決定 支援 시스템의 構成要素

홍수제어를 위한 意思決定 支援이란 여러가지 복잡하고 다양하게 관련된 防災業務 수행자나 관리자에게 효율적이고 능률적인 情報를 컴퓨터를 이용하여 제공하여 주는 것으로서 Sprague[6]는 의사결정 지원 시스템은 다음과 같은 특성을 가져야 한다고 하였다. 첫째로 입력 자료를 사용하여 模型의 적용과 결과에 대한 分析 기능을 갖아야 하고, 둘째로 컴퓨터에 전문적인 지식이 없는 사람에게도 쉽게 相互認識할 수 있는 기능을 가져야 하며, 세째로 사용環境 변화나 의사결정 과정 등의 변경에 쉽게 적응될 수 있는 柔軟性을 갖추어야 한다고 하였다. 이러한 의사결정 지원 시스템의 구성 요소로써 Labadie 및 Sullivan[5]은 각종 자료를 관리하는 데이타 베이스와 자료에 의해서 결과를 예상할 수 있는 모형 및 사람과 기계를 연결해 주는 대화 시스템 등 세가지 핵심적인 요소를 제시하였으며, 홍수제어를 위한 의사결정 지원 시스템의 각 구성 요소에 대한 일반적인 조건은 아래와 같아야 한다.

2.1 DATA SUBSYSTEM

홍수예측 및 제어 등 水文分析을 위한 자료는 댐이나 餘水路의 규격 등 시간에 따라 변하지 않거나 거의 변하지 않는 靜的인 자료(static data)와 강우나 유입량 등과 같이 시간에 따라 변화되는 動的인 자료(dynamic data)로 구분된다.

일반적으로 데이타 베이스(DB) 관리를 위한 하드웨어 및 소프트웨어는 단순한 기초 자료의 貯藏이 아니라 관리가 쉬워야 함과 아울러 효율적으로 錯誤를 檢索해 주는 기능을 가져야 한다. 홍수예측 및 실시간 제어에 필요한 수시로 변동되는 降雨자료나 流入量(水位) 등의 동적 자료는 有.無線 通信網을

통해 實時間, 온라인으로 DB에 自動으로 입력되어야 하며, 의사를 결정할 수 있는 사람에게 즉각 이해될 수 있도록 Display 등의 전달을 위한 그래픽 기능이 있어야 한다. 또한 컴퓨터 기억용량의 한계를 감안하여 사용자가 지정한 시간 이상이 경과된 자료는 테이프나 디스크 등 보조기억장치에 자동으로 수록되어 필요시 오프라인으로 이용될 수 있어야 하고 주 기억 장치에서는 자동으로 삭제되어 필요한 기억용량을 유지하여야 한다.

2.2 MODEL SUBSYSTEM

模型(model)이란 어떠한 특별 목적의 입력자료에 따라 실질적이고 필수적인 작용과 반응을 쉽게 표현할 수 있도록 마련된 規則(rules)이나 規定(regulations)이라고 정의되며 일반적으로 입력자료에 의해서 결과를 예상해 주는 컴퓨터 프로그램을 말한다. 모형을 실시간, 온라인 시스템에 이용하기 위해서는 시간에 따라 변동되는 水文 및 氣象자료를 자동으로 취득하여 가공 및 분석과 동시에 저수지로 유입하는 홍수량을 산정하는 模型에 직접 연결되어야 한다. 따라서 데이타 베이스와 분석 모형과의 효율적인 상호 연결성은 의사결정 지원 시스템의 능률을 극대화 하기 위한 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 일반적으로 水資源 管理를 위한 모형 부시스템은 예상된 강우나 물 사용계획 및 정책에 따라 결과를 예상할 수 있는 模擬 模型이나 最適化 模型 등을 말한다.

洪水時 저수지 實時間 운영을 위한 모형 부시스템은 댐으로 유입하는 홍수량을 신속하고 정확히 예측할 수 있는 降雨-流出 模型과 산정된 홍수 유입량에 따라 댐 상류 및 하류에 홍수 피해를 최소화 시킬 수 있고 저수지 및 여수로를 통한 방류량 결정을 위하여 洪水追跡에 관련된 模型이 포함된다. 이러한 모형은 홍수시에 여러가지의 가능한 저수지 制御 방안에 대하여 저수지의 수위 변동이라든가 방류에 따른 댐하류 홍수 추적 등 시스템이 어떻게 반응할 것인가를 저수지 운영 관계자들에게 實時間으로 전달해주고 實時間으로 제어할 수 있는 기능을 필요로 한다.

2.3 DIALOGUE SUBSYSTEM

의사결정 지원 시스템에서 Dialogue Subsystem은 사람과 기계 간의 相互 連結 역할을 해주는 것으로서 컴퓨터 기술의 발달에 따라 쉽고 빠르며 정확한 의사결정을 위한 중요한 역할을 하게 되었다. 이러한 기술혁신으로부터 분석한 정보를 高畫質 컬러 그래픽과 Touch 스크린이나 音聲 認識 시스템, 動 畫面, 다양한 컬러 프린터 및 메뉴 방식 등을 이용하여 빠르고 효율적으로 표현하므로써 복잡한 의사결정 문제도 對話 방식으로 쉽게 해결할 수 있게 되어가고 있으며, 하천 유역 내의 수자원 시설물 운영 관리를 위한 컴퓨터를 이용한 의사결정 지원 시스템은 다음과 같은 특성을 가져야만 효율적으로 이용할 수 있다.[4]

(1) "Cafeteria" 형태의 유역 水理, 水文分析 선택 기능을 통하여 柔軟性을 극대화시켜야 하고 다양한 입력 및 출력 형태를 갖추어야 하며, 컴퓨터에 충분한 지식이 없는 사람도 쉽게 사용할 수 있도록 認識力 있는 對話 형태의 기법을 채택하여야 한다.

(2) 모형의 구성은 각각의 세부 소항목에 알맞도록 여러개의 모듈로 구성된 패키지 형태로 설계되어 사용자가 環境 변화에 쉽게 적응할 수 있도록 하여야 하고 計劃에서 政策의 分析 및 實時間 홍수예측과 實時間 저수지 운영 등 광범위한 分析기능을 가져야 한다.

(3) 水文 및 氣象 자료와 모든 水理 구조물의 物理的 자료 등을 포함한 하나의 統合된 데이타 베이스로부터 각종 업무를 동시에 수행할 수 있어야 한다.

(4) 여러 사용자가 동시에 접근할 수 있는 Network을 형성한 컴퓨터 설비로써 각종 계산 조건이나 환경 변화에 따라 쉽게 이용할 수 있어야 한다.

(5) GIS(geographic information system)나 專門家시스템(expert system) 등을 장차 장착할 수 있는 擴張性을 고려하여야 한다.

3. 意思決定 支援을 위한 HARDWARE의 設計

홍수조절을 위하여 현재까지 韓國水資源公社에서 사용하고 있던 電算 시스템은 장비의 老朽化에 따른 컴퓨터 간 相互 連結 문제와 通信網의 信賴性 문제 등으로 효율적인 방재업무가 이루어지지 못하고 있는 실정이었다. 지금까지의 하드웨어 설비에서는 데이타의 취득과 데이타 베이스 구축 및 水文分析

프로그램의 수행 등의 일련의 과정이 하나의 컴퓨터 시스템에 單一化되어 있지 않고 각각의 기능이 분산되어 있어 사용자로 하여금 쉽게 운영할 수 없는 상황이었다. 또한 그림 1에 나타나 있는 기존 홍수관리를 위한 방재설비 계통도에서 알 수 있드시 전산설비가 구형의 Main Frame으로 되어 있어 최근에 개발되고 있는 그래픽 시스템 등 첨단의 기능을 수용할 수 없는 실정이었다.

한편 문헌에 의하면 선진국의 홍수조절 시스템으로서 캐나다의 Waterloo 대학에서 개발된 WATFLOOD[3]에 있어서는 실시간의 레이다 강우 관측자료와 T/M(telemetering)자료를 이용하여 강우량을 산정한 후 토지이용 상태와 토양피복 상태를 고려하여 SIMPLE이라는 模擬模型으로 유출량을 산정하며, 이의 수행 과정을 가급적 메뉴방식과 각종 그래픽 처리 및 리포트 출력이 가능하도록 PC를 이용하여 설계하였다.

또한 미국 기상청(National Weather Service)에서 개발된 홍수 예경보 통합 시스템인 IFLOWS[2]와 이의 수문학적 홍수예측 모델인 ADVIS[7]의 경우로서 水文氣象 資料의 취득과 처리를 통하여 국지적인 홍수 예경보가 가능하도록 데이타 취득과 사용자와의 대화 및 모형의 세개 부문으로 구성되어 있으며 實時間 洪水警報를 위해 긴급운영센터(Emergency Operations Center)와 통신망으로 구성되어 있다.

이러한 홍수예측 및 의사결정 지원 시스템에 있어서는 實時間으로 정확한 水文資料 取得에 많은 노력을 기울이고 있으며, Radar 시스템에 의한 강우관측 精度의 提高 및 지리정보시스템(GIS)과의 연계를 시도하고 있다. 또한 有關機關들과의 Network을 형성하여 데이타 베이스를 효율적으로 이

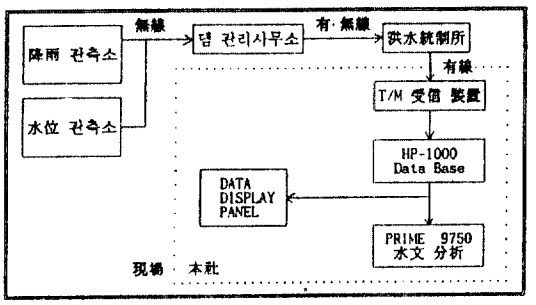

그림 1. 홍수조절을 위한 기존의 Hardware System

용하도록 긴밀한 협조관계에 있다. 그러나 이들 모형에 있어 정보의 그래픽 처리는 水文曲線만을 위주로 설계되어 있으며, 홍수 예측을 위한 모형의 수행을 위해서 Data Base로부터 자동으로 모형의 입력자료를 생성하여 주는 대신에 일부 자료를 수동으로 입력하므로써 DB와 모형과의 연결이 미약한 점이 있다. 따라서 홍수시에 意思決定 支援을 위한 다양한 水文情報를 그래픽으로 제공해 주며 홍수예측에서 댐하류 방류량의 결정까지 소요되는 시간을 최대한 단축시킬 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 기존 방재 시스템의 불합리성을 보완하기 위하여 기 개발된 그래픽 패키지 프로그램을 홍수관리 시스템에 접목시킬 수 있으며 시스템의 개발에 소요되는 시간과 경비를 최소화할 수 있도록 DOS를 運營體制(operating system)로 하는 개인용컴퓨터(PC)를 주축으로 한 實時間 洪水豫測 및 意思決定 支援 시스템인 PC-REFCON(PC-Based Real-Time Flood Forecasting and Reservoir Control)을 개발하였다.[10]

PC-REFCON의 하드웨어의 구성에 있어서는 시스템의 擴張을 고려하여 가급적 Open Architecture 시스템을 채택하였다. 처리속도나 기억능력 면에 있어서는 後述할 소프트웨어 및 데이타베이스의 용량을 수용할 수 있어야 하고 사용자가 쉽게 이용할 수 있는 Man Machine Interface의 기능을 보유하여야 한다. PC-REFCON의 하드웨어 구성은 주시스템인 32 Bit 개인용컴퓨터 2대와 부시스템인 16 Bit 개인용컴퓨터 5대를 LAN(local area network) 및 모뎀을 이용하여 시스템을 형성하였으며, 보조장치로 無停電 電源 시스템과 Telemetering(T/M)을 통하여 전송된 자료의 Data Base 구축을 위한 자료집적장치(DCU : data concentration unit)와 컬러 프린터 및 컬러 프로젝터(color matrix LCD)로 되어있고 이의 하드웨어시스템의 구성도는 그림 2와 같다.

각 洪水統制所로부터 수신된 데이타들은 PC-REFCON 시스템의 데이타 集積裝置를 통하여 새로 설치된 2대의 32 Bit 개인용컴퓨터에 온라인으로 저장되어 데이타베이스화 되며, 방재상황실에 설치된 그래픽 상황판에 각종 자료를 實時間, 온라인으로

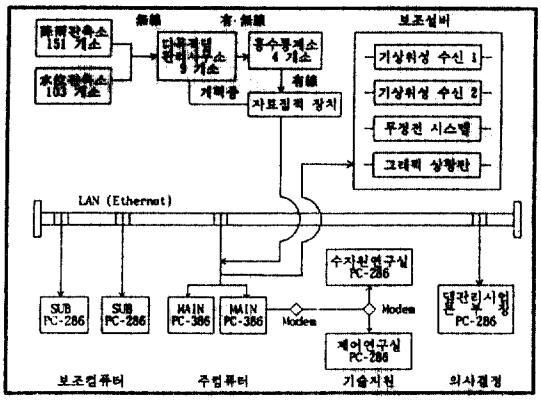

그림 2. 개발된 PC-REFCON 시스템의 Hardware 구성도

출력한다. LAN이나 모뎀으로 연결된 보조시스템에서도 신규 설비의 주시스템인 32 Bit 컴퓨터에 저장된 水文資料를 사용하여 水文分析을 수행하게 되어 있다. 한편 홍수 방재업무시 비구름의 이동상황을 알 수 있는 氣象衛星 受信裝置를 병렬로 보강하므로써 기능을 확대하여 84시간의 구름사진을 저장할 수 있도록 하였고, 저장된 자료를 오프라인으로 이용시 Animation 기능이 가능하도록 하여 연속적인 구름의 이동상황을 관측할 수 있도록 하였다.

PC-REFCON 시스템을 개인용컴퓨터(PC)로 설계한 배경으로는 현재까지 PC가 가장 널리 보급된 관계로 사용자들은 PC의 운영체제에 익숙해져 있으며, 또한 기 개발된 응용 프로그램 및 상업용 패키지들이 거의 모두 PC를 기반으로 개발되었기에 시스템 내에 이들의 접목이 용이하여 짧은 기간 내에 원하는 목적을 달성할 수 있다. 특히 의사결정 지원 시스템에서 중요도가 높아져 가는 정보의 그래픽 처리를 위해서 PC 환경에서 개발된 그래픽 Software들을 이용하면 효율성을 부가할 수 있어 중, 대형 컴퓨터로 개발하는 것에 비해 비용과 시간을 월등하게 절약할 수 있다. 그러나 개인용컴퓨터를 이용하여 시스템을 구축할시 워크스테이션급 이상의 중, 대형컴퓨터를 이용하는 것에 비하여 일반적으로 처리속도가 늦고 여러 사용자가 여러 작업을 동시에 수행할 수 없는 단점이 있다. 이러한 점을 해결하기 위해서 PC-REFCON에서는 PC 환경에서의 사용 가능한 메모리 한계의 단점을 해결하여 동시에 여러 작업의 수행이 가능하도록 멀티태스킹(multi-tasking)을 지원하는 윈도우 프로그램을 사용하였으며, LAN(local area network) 및 모뎀을 이용한 통신망을 통하여 Client, Server 개념을 도입한 멀티유저(multi-user)의 형태를 이루는 통합 시스템이 되도록 하였다. 또한 강우-유출 프로그램의 처리속도 문제는 후술할 유출 모형의 자동보정 항에서 언급한 바와 같이 모형의 개선으로 해결하였다.

4. 實時間 洪水制御 시스템의 開發

기존 방재 시스템의 소프트웨어 측면에 있어서는 각 목적별로 단편적으로 개발되어 있고 각종 水文情報를 다양한 그래픽 화면으로 방재업무 수행자나 의사 결정권자에게 정확하고 쉽게 제공하여 주지 못하고 있어 효율적인 의사결정에 어려움이 있었다. 따라서 자료의 實時間 取得과 이에 따른 데이타베이스의 구축, 각종 水文情報의 Graphic Display 및 水文分析 프로그램의 실행 등을 통합 시스템인 PC-REFCON 시스템 내에서 구현되도록 하였다.

4.1 DATA BASE의 構築

본 PC-REFCON 시스템에서는 關係型 模型의 하나인 DBase III+와 이의 컴파일러인 Clipper를 이용하여 데이타 베이스를 구축하였다. PC-REFCON의 데이타 베이스는 표 1에서와 같이 漢江, 洛東江, 錦江 및 蟾津江 水系로부터 254개소의 T/M 데이타(강우량 및 수위), 댐 데이타(저수위, 방류량, 유입량 등), 水文分析 프로그램의 입력 및 출력 등의 자료를 대상으로 하여 구축되고, 데이타의 형태로는 아나로그 데이타와 발전 여부를 표시하는 '發電中' 데이타와 같은 Status 데이타로 분류되며, 또한 정수 및 실수, Character 형태의 데이타로 구분된다.

그림 3은 데이타 베이스가 구축되는 과정을 나타내며, 이 그림에서 알 수 있드시 데이타 집적장치(DCU)를 통해 취득된 실시간 T/M 및 댐데이타는 T/M 데이타 베이스에 임시로 저장되고, 일정 시간이 지나면 데이타 베이스 매니저에 의해 定時 데이타와 非定時 데이타로 구분되어 각각 과거자료 데이타 베이스에 1년간 월별로 저장되며 水文分析을 위한 프로그램의 入力資料로 활용할 수 있게 하였다. 또한

표 1. 데이타 베이스 구축 대상 자료

구분	데이타 종류	데이타 처리	발생 주기
T/M 우량 국	한강 수계: 65 금강 수계: 9 낙동강수계: 56 섬진강수계: 21	· 누계강우량을 Raw Data로 수신 · 티센법에 의거 평균강우량 산정 · 24시간 강우발생 유무에 따라 강우사상 분리 및 강우 개시 시간 자동 지정	· 비홍수기: 1시간(定時) · 홍수기: 15분 (非定時, 필요시) *아나로그 형태
T/M 수위 국	한강 수계: 31 금강 수계: 6 낙동강수계: 48 섬진강수계: 18	· Rating Curve식에 의거 유량 산출	· 비홍수기: 1시간(定時) · 홍수기: 15분 (非定時, 필요시) *아나로그 형태
댐 자료	貯水位, 저수량, 공용량, 유입량, 방류량, Gate 방류 및 개도 Gate 개문수 발전사용수량 발전전력, 발전중 기타 234개 자료	· 댐 현장의 Dam Data Processing System에서 기본 데이타를 이용하여 데이타를 가공 처리	· 비홍수기: 1시간 · 홍수기: 15분 · 여수로 문비 개방시 : 1분 *아나로그(발전중 데이타는 Status 데이타)
모형 입력 및 결과	수문분석 모형의 입력 자료	· 분석기간 선택에 따른 모형입력 자료 자동생성 (사용자별로 9개 까지 저장 가능)	모형 수행시 *File 형태
	모형 수행 결과	· 모형 수행결과의 저장 여부를 사용자가 결정 (20개까지 저장) · 의사결정자에게 결과를 각종의 그래픽과 테이블로 제공	모형 수행시 *File 형태

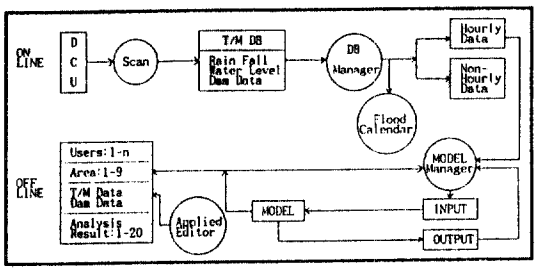

그림 3. PC-REFCON Data Base System의 흐름도

홍수 자료를 事象별로 자동으로 구분하여 홍수 Calendar를 형성하게 되며, 流域 平均 2日 連續 降雨量이 80 mm 이상일 경우에 洪水 事象으로 구분하고 사용자가 이러한 홍수 사상을 쉽게 접근할 수 있게 하기 위하여 Calendar에 명시되도록 설계되어 있다.

水文分析 프로그램의 수행에 있어서는 매개변수의 보정 및 유입량 예측을 위한 입력화일을 사용자별로 각각 9개까지 보관할 수 있게 하였다. 貯留函數 流出模型의 자동보정 프로그램으로 보정된 매개변수들은 9번째 화일에 보관되도록 하여 수동보정과 자동보정에 의한 화일을 각각 다르게 저장되도록 하였으며, 水文分析 프로그램의 수행에 필요한 모든 입력 데이타 화일을 자동으로 생성케 하였다. 홍수조절을 위한 의사결정 지원 시스템에서 가장 중요한 부분인 댐유입량 예측에 있어서는 상류에서 발생되는 호우사상에 대해 장래 발생할 강우량을 여러 경우로 가정하여 산정된 예측 水文 분석결과를 최대 20개까지 저장하여 의사결정자에게 代案을 제시할 수 있도록 하였다.

4.2 流出模型의 自動補正

우리나라의 多目的댐을 관리하고 있는 韓國水資源公社에서 개발하여 현재 사용되고 있는 貯留函數 流出模型의 媒介變數는 각 小流域별로 유역의 지형적 특성을 고려하여 經驗式에 의해 산정되었으며,[9] 댐상류 유량 자료와 강우자료의 부족 및 부정확성

으로 인해 과거 홍수자료에 의한 模型檢定(identification)을 실시함에는 많은 문제가 따른다. 따라서 실제 모형 운영시 모형에 의해 산정된 댐유입량과 T/M(telemetering)에 의해 실시간 관측된 유입량을 토대로 모형 운영자가 주관적인 판단하에 手動으로 매개변수를 조정하는 실정이다. 이와 같은 手動補正 방법은 모형 수행에 의한 컴퓨터 출력을 觀測値와 비교하여 直感的으로 媒介變數를 조정하며, 이를 위해서는 모형 및 유역의 特性을 완전히 이해하고 모형보정에 대한 숙련된 경험과 감각을 갖춘 水文技術者가 필요하다. 일반적으로 수동보정 방법은 施行錯誤에 의하기 때문에 많은 시간이 요구되며 실시간 저수지 운영에 障碍를 줄 때가 있다. 한편 自動補正 방법은 最適化 기법을 이용하여 특정한 산정기준을 최대 또는 최소화 시킴으로써 모형의 매개변수를 결정하는 방법이다. 컴퓨터의 발달로 최근 그 사용이 증가하고 있는 모형의 자동보정법을 도입하여 模型의 實時間 보정 과정을 개선하는 목적으로 最適化 기법의 하나인 Pattern-Search법[1]을 貯留函數 流出模型에 적용하였다. 최적화 기법을 이용한 貯留函數 流出模型의 매개변수 자동보정 방법은 참고문헌[8]에 상세히 언급되었으므로 여기에서는 자동보정의 개요와 결과 만을 간단히 요약한다.

최적화 기법의 적용을 위해서는 최적화 산정기준인 目的函數가 정의되어야 하며 다음과 같은 관측치와 산정치에 대한 偏差의 제곱의 합(sum of square of residual ; SSR)을 目的函數로 선정하였다.

$$\text{Minimize } SSR = \sum_{i=1}^{T} (q_i - r_i)^2 \qquad (1)$$

식 (1)에서 q_i는 관측치를 나타내고 ri는 모형에 의해서 산정된 계산값을 나타내며 T는 離散化된 관측 회수를 나타낸다. 流出模型 사용의 이상적인 방법은 각 소유역의 출구 및 하도에서의 유량 관측자료와 기타 수문자료를 가지고 해석적 방법에 의한 모형을 검정하고 실제 유출량 예측시 일부 보정절차를 거쳐 매개변수를 조정하는 방법이라 할 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 모형은 매개변수 검정에 필요한 하천 유하량 자료의 부족으로 日本 利根川에서 유도된 경험식에 의해 각 소유역별로 매개변수가 산정되었으며,[9] 모형의 실제 운영시 모형보정은 다음 식에 의해 전체 小流域을 같은 비율 벡터 $\Lambda^T=(\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_n)$를 조정함으로써 이루어진다.

$$\Theta_c = \Theta_e \cdot \Lambda^T \qquad (2)$$

여기서 $\Theta_c{}^T$=(K, P, T_1, f, R_{sa}, K', P', T_1')와 Θ_e는 각각 補正値와 經驗値의 매개변수 벡터를 나타내며 K와 P는 小流域별 저류함수 계수이고, K'와 P'는 河道 별 저류함수 계수이며, T_1과 T_1'는 소유역 및 하도의 지체시간이고, f와 R_{sa}는 평균 유입계수와 포화우량을 나타낸다. 여기에서 f는 강우 초기에서의 f_1과 포화우량 R_{sa}에 도달한 연후의 포화유출을 f_{sa}까지의 유출을 대표할 수 있는 평균 유입계수를 나타내며 f_{sa}는 보통 1로 가정할 수 있다.[11] 식 (2)에서 벡터 Λ를 最適化의 決定變數로 취하였으며 (이후 벡터 Λ의 값을 매개변수의 값으로 간주함) 전체 大流域에 대한 일괄적인 매개변수 조정 이외에 中流域(각 수위국이 대표하는 유역)별 매개 변수의 특성을 고려하기 위하여 상류 수위국에서 댐지점으로의 점차적인 中流域별 보정을 실시하였다.

모형의 보정 및 검증을 위해서 이미 알고있는 媒介變數를 가지고 유출모형에 의해 模擬發生된 유입량 자료를 관측 유입량으로 가정하여 모형보정에 관한 시험을 하는 合成補正(synthetic calibration) 방법에 의해 모형의 敏感度 分析, 최적화 모형의 收斂條件 決定 및 檢證을 하였다. 최적화 모형의 決定變數를 선정하기 위해 매개변수에 대한 민감도 분석을 통하여 민감도가 적은 변수와 수렴속도가 늦은 변수는 계산량을 감안하여 결정변수에서 제외시켜 최종적인 결정변수는 K, P, T_1, R_{sa}, T_1'의 5개로 선정하였으며 민감도 분석결과 등은 참고문헌[8]에 상술되어 있다.

보정된 모형의 예측 정도를 시험하기 위해 소양강댐 및 충주댐의 '90년 홍수 유입량 水文曲線의 上昇部의 36시간 및 27시간 지점을 각각 현재 시간으로 가정하여 현재 시간까지의 댐지점만의 관측자료를 이용하여 보정된 매개변수 값을 가지고 예측한 결과 관측치와 약간의 오차가 있었다. 그러나 댐상류의 중유역별 수위 관측자료를 이용하여 중유역별 보정시에는 예측 결과가 대유역 보정시보다 관측치에 더욱 접근하였다.

이상의 분석결과로부터 모형이 유역의 특성을 대표할 수 있도록 가능한 한 소유역별 보정을 실시

하여야 하고, 모형의 보정및 검정을 시행착오에 의한 수동보정 방법보다 자동보정 방법이 시간과 노력면에서 보다 효율적이며, 관측치에 더욱 근사한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

4.3 Graphic Interface의 설계 및 實時間 意思決定

홍수제어를 위한 의사결정을 보다 친숙하고 용이하게 수행할 수 있도록 메뉴화면에서 마우스를 사용하여 實時間 水文情報를 취득할 수 있도록 하였다. PC-REFCON 시스템은 각각의 수계와 댐에 대하여는 그림 4와 같이 5가지의 주 메뉴로 설계되었으며, 주 메뉴 내용은, 1) 댐 및 유역의 일반 현황 ; 2) 실시간의 강우 데이타를 숫자 및 그래프로 화면에 나타내 주는 강우 현황 ; 3) 댐지점 및 댐 상·하류에 대한 수위-유량 관계를 그래프로 화면에 나타내 주는 유량 현황 ; 4) 수문분석 프로그램의 입력자료를 생성하여 수문분석을 수행하고 보고서를 작성하는 메뉴 ; 5) 수행 결과를 볼 수 있는 분석결과와 보고서를 출력할 수 있도록 하는 메뉴로 되어 있다. 각각의 주 메뉴에 대하여는 주 메뉴에 따른 부 메뉴로 구성되어 있으며, 그림 4에 PC-REFCON의 주 메뉴가 나타나 있다. 각 주 메뉴에 따른 부 메뉴는 컬러 그래픽으로 설계되어 있어 컴퓨터의 초보자도 쉽게 이용할 수 있도록 되어 있다.

윈도우 기능을 주 시스템과 부 시스템에 부여하여 개인용 컴퓨터를 사용하여 DOS 환경 내에서도 水文分析 프로그램 등 서로 다른 업무를 동시에 수행할 수 있는 멀티태스킹 기능을 가졌으며, 저수지 운영에 따른 보고서는 미리 지정된 시간에 자동으로 출력될 수 있도록 하였고 수동 출력시는 오프라인에서 등록된 보고서 리스트가 테이블로 제공되어 마우스를 이용하여 출력하고자 하는 보고서를 선택할 수 있도록 하였다.

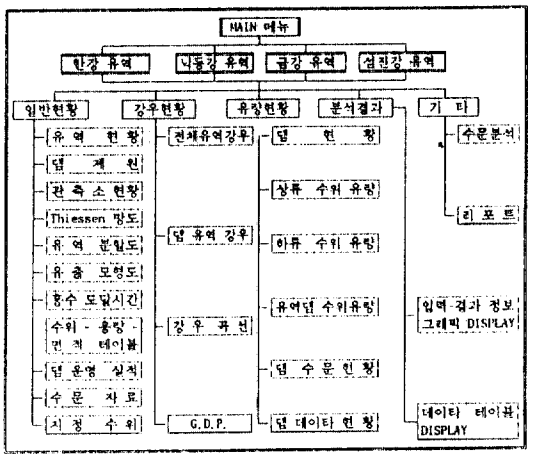

그림 4. 개발된 PC-REFCON의 주 메뉴

PC-REFCON 시스템을 이용함에 있어 비홍수기에는 홍수기를 대비하여 방재업무 시스템 기술자들은 오프라인에서 시스템을 진단하고 소프트웨어를 개선하는 등의 유지보수 작업을 하게 되며, 홍수가 발생하면 온라인으로 실시간 水文資料가 PC-REFCON에 입력되어 데이타 베이스화 된다. 방재업무 시스템 기술자들은 온라인으로 취득된 자료를 사용자의 그래픽 인테페이스인 GUI를 이용하여 필요한 정보를 얻으면서, 의사결정자를 위한 정보 자료를 출력한다. 다른 방재시스템 기술자는 水文分析 模型을 수행하여 최적의 매개변수를 산정한 후, 각각 다른 여러 예상 강우량이나 여수로 방류량 조건에 따라 예측 유입량과 저수지의 홍수조절 상태를 제시하는 代案들을 형성하게 된다.

또한 본 시스템의 지원부서와는 모뎀으로 연결된 통신망을 이용하여 水文分析 및 정보교환을 하게 된다. 代案의 형성은 시스템 기술자가 가장 적절하다고 판단되는 水文分析 모형 결과를 최대 20개까지 선택하여 저장할 수 있고, 컴퓨터의 주변 자원을 공유하는 LAN을 통하여 방재업무 실무자용 컴퓨터와 의사결정자용 컴퓨터 사이에 정보를 교환할 수 있다. 의사 결정권자는 사용이 간단한 GUI를 통하여 전체 메뉴 화면에서 "分析結果"를 선택하게되면 그림 5에서와 같이 水文分析 模型의 입력자료와 결과가 서로 연계된 정보가 리스트로 Display 되며, 마우스를 이용하여 그래픽 화면과 숫자 테이블 화면으로부터 代案들을 차례로 검색하여 의사결정을 위한 정보를 얻어 의사를 결정하게 된다. 이러한 의사결정 과정은 모두 컴퓨터를 통하여 이루어질 수 있으며, 그림 5에는 최종 의사결정을 위한 정보 화면이 나타나 있다.

5. 結論 및 向後 對策

韓國水資源公社는 물에 대한 量的 및 質的 需要

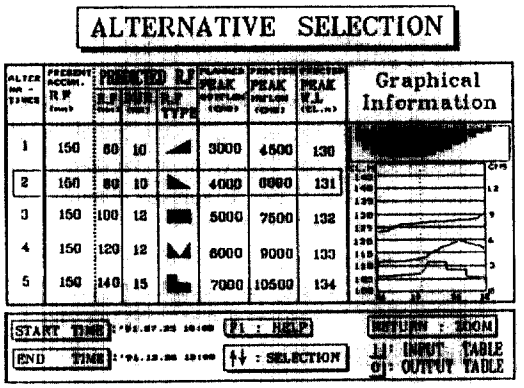

그림 5. 최종 意思決定 支援을 위한 정보 화면

증가와 안전한 洪水調節 등 利水 및 治水와 관련하여 최신의 컴퓨터기술에 의한 관리기법의 첨단화로 수자원 이용의 극대화와 신속한 정보를 제공해 주는 의사결정 지원 시스템을 구축하고 有關 機關과의 온라인 實時間 정보교환으로 운영체제를 강화하기 위한 水資源 綜合情報 自動管理 시스템인 WEMS (water resources and energy management system)의 개발을 계획하게 되었다. 이러한 목표로 1988년의 妥當性 調査를 거쳐 1991년에 실시설계를 완료하여 세부추진계획을 수립중에 있으며, PC-REFCON은 WEMS의 홍수조절 부문에 속하여 장차 WEMS가 구축되면 PC-REFCON의 소프트웨어 및 하드웨어의 상당부분을 직접 사용할 수 있을 것이다. 그러나 WEMS가 완전히 구축될 때까지는 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 1990년의 漢江 유역내 소양강댐 및 충주댐 유역의 大洪水 경험으로부터 홍수 예측 및 저수지 조절과 방류량 결정 등 일련의 의사결정 과정의 刷新이 필요하게 되어 WEMS를 구축하기 이전에 개인용 컴퓨터를 이용한 防災 專用 설비인 PC-REFCON을 개발하였다. 이에 따라 우리나라의 전 다목적댐 상류에서 발생하는 강우 및 수위자료와 댐 水文資料를 T/M 설비를 통하여 實時間 온라인으로 취득하고 취득한 자료의 데이타베이스화로부터 홍수 유입량의 예측 및 관측 결과에 따른 自動보정이 가능하게 되었으며, 댐 방류량 결정을 위한 각종 水文資料 및 분석결과의 그래픽 처리에 따라 과거의 복잡했던 의사결정 과정을 보다 친숙하고 쉽게 하였다. 아울러 방재업무 관련자와 지원부서 및 의사 결정권자를 LAN 및 모뎀으로 연결하여 온라인화 하므로서 보다 효율적인 업무수행이 가능토록 하였다. 그러나 본 신규 방재업무 설비는 컴퓨터 모형의 개발에 있어 소양강 및 충주와 대청 다목적댐 운영을 중심으로 이루어졌기 때문에 앞으로 모형의 추가 개발 등이 계속 뒤따라야 하고, 향후 水資源 綜合管理 시스템(WEMS) 구축 때 까지는 아래 사항을 고려하여야 할 것이다.

첫째, 유역에 時間과 空間으로 분포되는 강우량을 현재의 T/M 강우관측소과 Radar 시스템을 竝用하면 공간적으로 분포되는 강우량을 훨씬 더 정확하게 산정할 수 있을 것이며, 현장 계측 水文資料 通信선로의 竝列化나 傳送 방법의 개선을 통하여 신뢰성을 증대시켜야 한다.

둘째, WEMS 구축시에는 현재 개인용 컴퓨터에서 워크스테이션급 컴퓨터가 주 시스템이 될 것이므로 여기에 맞는 그래픽 등의 의사결정 지원 시스템의 개발이 뒤따라야 하겠으며, 人工知能이나 地理情報 시스템(GIS) 등의 도입으로 보다 신뢰성 있고 사용하기 쉬운 降雨-流出模型의 개발과 방류량 결정을 위한 의사결정 지원 시스템의 보완이 필요하다.

感謝의 글

본 PC-REFCON 시스템의 구축은 1991년의 韓國水資源公社 水資源研究所의 연구과제의 일환으로 수행되었으며, 컴퓨터 설비 및 LAN(local area network) 구축 등 하드웨어 구입에 1억 4천여만원의 개발비가 투입되었고, 수문분석 프로그램 및 기타 소프트웨어는 기존 그래픽 패키지를 이용하여 자체 개발하였다. 본 시스템의 개발에 있어 하드웨어의 구입과 설치 및 그래픽 개발에 도움을 주신 여러 직원에게 감사를 드린다.

參 考 文 獻

1. Hooke, R. and T.A. Jeeves, "Direct Search Solutions of Numerical and Statistical Problems," *J. Assoc. Comput. Mach.*, **8**(2), p.212-229, 1961.
2. Kachic, A., "Planning and Implementing Wide Area Flood Warning System: The IFLOWS Experience," Proceedings of the 3rd Water Resources

Operations Management Workshop Sponsorced by the Water Resources Planning and Management Div. ASCE, 1988.
3. Kouwen, N., "WATFLOOD: A Real-Time Microcomputer-Based Data Management and Flood Forecast System," Proceedings of the 3rd Water Resources Operations Management Workshop Sponsorced by the Water Resources Planning and Management Div. ASCE, 1988.
4. Labadie, J.W., "Proposal for Development of a Computerized Decision Support System for Reservoir Operations in Korea," Dept. of Civil Eng., Colorado State University, Fort Collins, Co. 1990.
5. Labadie, J.W. and C.H. Sullivan, "Computerized Decision Support Systems for Water Managers," Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.112, No.3, ASCE, p.299-307, July 1986.
6. Sprague, R., "A Framework for the Development of Decision Support Systems," in W. House(ed.), Decision Support Systems, Petrocelli Books, New York, p.85-123,1983.
7. Sweeney, T. "Flash Flood Hydrologic Forecast Model ADVIS" Proceedings of the 3rd Water Resources Operations Management Workshop Sponsorced by the Water Resources Planning and Management Div. ASCE, 1988.
8. 尹在興, 高錫九, 金洋一, "최적화 기법에 의한 저류함수 유출 모델의 자동보정," 제33회 수공학 연구 발표회 초록집, 수문학회, p.88-101, 1991.
9. 韓國水資源公社, "다목적댐 홍수 유출 해석 연구 저류 함수법," 1985.
10. 韓國水資源公社, "PC-그래픽을 이용한 多目的댐 홍수관리 종합 컴퓨터 시스템 개발 연구," 1991. 12.
11. 尹龍鑑, 工業水文學, p.332-357, 清文閣, 1987.

(接受 : 1991. 12. 20)