조력용 PC 기반 기동·정지 제어시스템의 최적화 알고리즘과 시제품 하드웨어 설계

Prototype Hardware Design and Optimal Algorithm of PC Based Start·Stop Control System for Tidal Generation

김 윤 상* · 박 철 원*
(Yoon-Sang Kim · Chul-Won Park)

Abstract - Tidal generation has become one of environmentally friendly new and renewable future sources of energy. The Sihwa Tidal Power Plant in South Korea, which was imported from abroad by turnkey type in 2011, connected to the power system in 2012, and is currently under commercial operation. However, leading companies are reluctant to disclose their technologies associated with the control systems and are not cooperative in technology transfers, making it a high priority to develop core technologies in South Korea. In order to develop a start-stop control system for tidal generation, this paper presents the optimal algorithm for decision making and prototype of hardware design. First, control systems in tidal power, such as plant operation control, data interfaces between systems, monitoring and control points of the control system, are analyzed. The software development and PC based emulator processes for optimization algorithm processing are described. Finally, verification of the algorithm implementation, hardware platform for start-stop control device, and implementation of prototype control system were discussed.

Key Words : Hardware platform, Optimization algorithm, PC based emulator, Prototype control system, SCADA, Sihwa tidal power plant, Start-stop control system, Tidal Generation

1. 서 론

조류, 조력, 파력, 온도차 등을 이용하는 해양에너지는 발전시 거의 무한에 가까운 에너지를 제공하기 때문에 관심이 높아지고 있으며, 특히 조력에너지는 미래의 환경친화적인 신재생 원천중의 하나로 인식되고 있다. 조력발전은 조석현상이 발생하는 하구 또는 만을 방조제로 해수를 막아 수차발전기를 설치하여 외해와 조지내의 해수를 가두고 수차발전기를 설치하여 외해와 조지내의 수위차를 이용하여 발전하는 방식으로서 해양에너지에 의한 발전방식 중에서 가장 먼저 개발되었다[1,2].

국내에서는 2011년 턴키형식으로 해외에서 도입, 최초로 건설된 시화호 조력발전소는 2012년 전력시스템에 연결된 후 상업운전을 하고 있다. 시화조력은 용량 254,000[kW] 동기발전기식 벌브형 수차발전기로 구성되어 있다[3,4]. 해외에서 운영되고 있는 조력발전소는 프랑스의 랑스, 캐나다의 아나폴리스, 중국의 지양시아, 러시아의 키스라야구바 등이 있다. 현재 해외 조력발전기의 제어장치에 대한 정보는 미공개로 되어있다[5~8].

조력발전소는 해상에 설치되는 대규모 플랜트로서 설비의

운영과 감시 및 유지관리를 위한 별도의 제어시스템이 필요하다. 이 시스템의 핵심원천기술은 SIEMENS, ANDRITZ Hydro 등에 있다. 그러나 첨단 플랜트 예측제어시스템 구축과 기술은 선진국에서 기술이전을 꺼려하고 있어 효율적인 운용과 기술의 축적을 위하여 원천기술개발 및 국산화가 요구된다[4,9].

국내에서는 주로 시화조력발전 건설을 위한 기본설계 및 실시설계의 입장에서 검토와 최적운영에 관한 연구들이 이루어 졌다[10~12]. 최근 핵심원천기술개발을 위하여 조력발전용 수차발전시스템의 모델링과 가상 시뮬레이터 개발 등이 발표되고 있다[1,13].

본 논문에서는 조력발전용 기동·정지 제어시스템을 개발하기 위해, 의사결정을 위한 최적알고리즘과 시제품 하드웨어 설계를 제시하였다. 먼저, 플랜트 운전제어, 시스템간의 데이터인터페이스, 제어시스템의 모니터링 및 제어포인트 등과 같이 조력발전 제어시스템을 분석하였다. 또한, 소프트웨어 개발 및 최적화 알고리즘 처리용 PC 기반 에뮬레이터 프로세스를 기술하였다. 끝으로, 기동·정지 제어시스템의 플랫폼을 제시한 후 시제품 구현과 알고리즘 검증에 기술하였다.

2. 조력발전소 제어장치의 분석

2.1 조력발전기의 제어장치

시화호 조력발전소 제어장치는 ANDRITZ Hydro사의 Automation NEPTUN이다. TCM(Telecommunication Control Master) 변전소, 전력소 및 발전소에 위치한 발전기

† 교신저자, 종신회원 : 강릉원주대학교 전기공학과 교수 · 공박
E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr

* 정 회 원 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수 · 공박
접수일자 : 2014년 3월 23일
수정일자 : 2014년 4월 9일
최종완료 : 2014년 5월 8일

운전제어장치는 전용회선을 통해 상호 정보교환이 이루어지고 현장 전력설비의 데이터를 Polling 방식에 의해 최적운영시스템 중앙설비에 전송한다. 또한, 제어소로부터 송출되는 신호를 수신한 뒤, 그 명령을 분석하여 해당 모듈을 적절히 제어함으로써 변전소설비를 제어하거나, 설비로부터 취득한 자료를 비롯하여 장치의 전원상실 및 모듈의 고장유무를 자동 검출하여 제어소로 전송하는 기능 등을 수행하게 된다 [14,15].

그림 1은 발전소 운전제어장치 전체 시스템 구성도를 나타낸다. 그림 1과 같이 상위 통신 모듈, 하위 통신모듈 및 PC로 구성되는데, 미들웨어(Middleware)에 의하여 제어된다.

그림 2는 ANDRITZ Hydro사 NEPTUN의 모니터링 및 진단 시스템 블록도를 나타낸다. 표 1은 기존 발전소 운전제어장치의 기능을 나타낸다.

2.2 시스템간 데이터 인터페이스 분석

2.2.1 프로토콜

시화 조력발전소 운전제어장치인 ANDRITZ Hydro사 NEPTUN의 프로토콜을 분석하였다. 이 시스템에 사용되는 통신 프로토콜은 IEC 60870-5-104와 IEC 61850-5-104이다.

① IEC 60870-5-104

통신 프로토콜 IEC 60870-5-104(IEC 104)은 표준 전송 프로파일인 IEC 60870-5-101에 대한 네트워크 액세스로 IEC 60870-5-101/102/103/104의 기본적인 전파에 의한 원격 조작 작업, 보호 장비 및 각각 IEC 101의 네트워크 액세스로부터 통합 합계의 전송, 데이터 교환에 대해 생성된 동반자 표준이다. 또한, 이는 완전한 네트워크 액세스에 맞도록 교환, 네트워크, 링크 및 물리 계층 서비스의 변화와 IEC 101

그림 2 모니터링 및 진단 시스템 블록도

Fig. 2 Block diagram of monitoring & diagnosis

표 1 기존 발전소 운전제어장치 기능

Table 1 Operation control device function of conventional P/P

항목	SCADA/기존 시스템
Type	Slot 방식, 확장형
AI	AD변환 : 12bit Digital 신호 샘플링 Point 수 : 1 모듈당 4ch 입력 신호 : 0mA~±1mA, 4~20mA, 0~10V
DI	PC 포토 커플러에 의한 입력 8ch Surge 용량 : 1.2×50μs, 5kV, 0.5J
DO	출력 릴레이 : DC125V, 0.5A(Dry-Contact)&8ch Surge 용량 : 1.2×50μs, 5kV, 0.5J
Pulse Input	PC 포토 커플러에 의한 입력 8ch Surge 용량 : 1.2×50μs, 5kV, 0.5J
상위통신모듈	Modem(1200bps) FSK(Frequency Shift Keying)
파일 처리	DB 없음, 별도 Server 필요
Video 출력

그림 1 시화 조력발전소의 전체 시스템 구성도

Fig. 1 Block diagram of overall system in Sihwa Tidal P/P

프로토콜의 확장을 의미한다.

이와 별도로 전력시스템 자동화에 사용하는 프로토콜은 IEC 60870-5, DNP3, IEC 60870-6, IEC61850, IEC 62351, Modbus, PROFIBUS 등이 있다. SCADA 시스템에 사용되는 프로토콜은 가볍게 동작할 수 있는 형태로 설계되며 마스터 스테이션이 RTU의 데이터를 주기적으로 검사하려 할 때에만 정보를 전송하는 경우가 많다.

그림 3은 ANDRITZ Hydro사 SICAM 1703 시스템 블록도를 나타낸다. 이 시스템에서 하위와 상위의 Ethernet 통신은 IEC 60870-5-104 TCP/IP를 사용하고 있음을 알 수 있다.

그림 3 SICAM 1703 시스템 블록도

Fig. 3 Block diagram of SICAM 1703 system

② IEC 61850-5-104

IEC 61850은 뛰어난 상호 운용성 기능으로 변전소, 하이드로 발전소, 풍력 에너지 네트워크 및 분산 에너지자원 분야에 채택되어 사용되고 있다. 그림 4는 ANDRITZ Hydro 터빈 제어 블록도를 나타낸다. 이 시스템에서 터빈과 발전기가 Master CPU와 중앙 주변장치와 통신은 IEC 61850-5-104 TCP/IP를 사용하고 있음을 알 수 있다.

그림 4 터빈 제어 블록도

Fig. 4 Block diagram of turbine control

2.2.2 발전기 감시 제어포인트

시화호 조력발전소 수차발전기 감시제어 포인트는 mechanical brake, bearing system, carbon dust exhauster, governor of system, governor, other indication, protection, power supply, sequencing, generator switchgear, temperature monitoring 등으로 매우 많다[4].

3. 의사결정 최적화 알고리즘

3.1 최적화 알고리즘을 적용한 소프트웨어

PC 기반 의사결정 최적화 알고리즘은, 먼저 검조소의 1일

치 조석 데이터를 조위가 0.1m 씩 증가할 때마다 입력으로 받는다. 두번째에는 입력으로 받은 내측 조위값을 이용하여 유량값을 산정한다. 세번째에는 발전량을 계산한다. 끝으로 시간간격으로 유량값과 발전량을 저장한다.

최적화 알고리즘 처리를 위한 PC 기반 에뮬레이터의 프로세스는 데이터 파싱(data parsing), 전력량 계산, 6분 단위 누적, 최적화 알고리즘 검증 뷰어 프로세스로 구성하였다. 데이터 파싱 프로세스는 검조소 excel data를 읽은 후 파싱 데이터 DB 저장과 excel data의 마지막 여부를 확인 후, 마지막으로 parse success를 표시한다. 전력량 계산 프로세스는 파싱하여 DB에서 저장한 데이터를 가져온 후, 조위가 수위보다 높은지 여부, 기존 수두차와 0.1m차이가 나는지 여부를 마지막 까지 확인하면서 전력량을 계산한다. 6분 단위 누적 프로세스는 저장된 array에서 6분단위 인지를 확인한 후, 전력량을 누적한다. 마지막 데이터 까지 반복하며 출력 테이블에 데이터를 저장한 후, optimize success를 표시한다. 최적화 알고리즘 검증 뷰어 프로세스는 출력 테이블에서 데이터를 가져와 마지막까지 chart의 각점을 그리면서 반복한 후, chart view를 표시한다[4].

3.2 최적화 알고리즘의 검증

제시된 최적화 알고리즘의 검증을 위하여 데이터의 기준은 검조소의 1일치를 기준으로 하였다. 표 2는 최적화 알고리즘을 위한 2012년 9월19일 측정된 입력 데이터중의 일부를 나타낸다. 관측소명은 안산, 위도는 37.191910, 경도는 126.647083이다.

표 2 일부의 입력 데이터

Table 2 A part of input data

관측 시간	조위 (cm)	호수위 (cm)	수두차 (cm)	발전 유입량 (m3)	발전기 기동·정지	수문 (open/close)	발전 순시 전력 (kWh)	발전량 (kWh)	수온 (℃)	염분 (PSU)
22:33	390	355	35	0	0	0	0	0.0	22.2	22.8
22:34	387	355	32	0	0	0	0	0.0	22.2	22.8
22:35	383	355	28	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:36	381	355	26	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:37	378	355	23	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:38	375	355	20	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:39	372	355	17	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:40	369	355	14	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:41	366	355	11	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8
22:42	364	355	9	0	0	0	0	0.0	22.1	22.8

표 3은 입력 데이터에 대한 제시된 최적화 알고리즘의 결과를 나타낸다. 안산검조소의 조위 환산 시, 관리수위, 발전개시조건, 발전정지조건, 유량, 발전최대조건, 유량 및 수문 제어조건이 있다[4]. 한편, 발전 기동·정지와 배수수문 열림·닫힘 조건에서, 발전기동은 외조위가 상승 289cm가 될 때 시작하여 고점을 넘어 외조위가 하강 405cm로 내려갈 때까지이고, 배수열림은 외조위가 하강 355cm부터 배수하여 저점을 넘어 외조위가 다시 상승 189cm로 올라갈 때까지로 선정하였다.

표 3 제안된 알고리즘의 결과

Table 3 Results of proposed algorithm

항 목	데이터	비 고
1기당 2조석	206,654	2개의 조석에 의한 발전량 산정
1기당 1조석	103,327	단위:kWh
10기당 2조석	1,033,272	
1년(약705조석)	728,456,834	알고리즘1(입력 데이터) 발전량 : 발전기 효율은 각각 ntng 90%일 때
시화조력 발전량 (1년)	552,000,000	계획 발전량
발전효율 상승	131.97%	알고리즘1(입력 데이터) 적용 시

4. 발전기 기동·정지 제어장치 H/W 플랫폼

그림 5는 발전기 기동·정지 제어장치 H/W 플랫폼 구조 블록도를 나타낸다. 그림 5와 같이 발전기 기동·정지 제어장치 H/W 플랫폼 구조는 cpu 모듈, field bus 모듈, memory 모듈, 상위시스템 모듈이 system 버스를 통해 연결된다. Field 버스 모듈은 조력발전기의 IEC 60807, IEC 61850으로 통신되고, 상위시스템 통신모듈은 중앙제어시스템과는 SCADA로, 시뮬레이터 시스템은 IEC 61850으로 연결된다.

그림 6은 H/W 플랫폼 구조를 토대로 완성한 시제품 사진을 나타낸다[4].

그림 5 발전기 기동·정지 제어장치 H/W 플랫폼 구조도

Fig. 5 Structure block diagram of start-stop control device H/W platform of generator

그림 6 H/W 플랫폼 구조에 따른 완성한 시제품 사진

Fig. 6 Implemented prototype picture based on H/W platform structure

4.1 OS(FreeRTOS) 포팅 및 컴파일

표 4는 파일 구조(src/FreeRTOS에 위치)를 나타낸다. 표 4와 같이 core파일, include파일, 포팅파일로 구성된다.

표 4 파일 구조

Table 4 File structure

구분	파일 위치	설명
core 파일	src/FreeRTOS/	FreeRTOS의 core 동작 정의
Include 파일	src/FreeRTOS/include	FreeRTOS 사용하기 위한 헤더파일들
포팅 파일	src/FreeRTOS/portable	Avr32에 포팅을 위한 정의, Heap 메모리 구조, FreeRTOS 초기화 부분 정의

4.2 FreeRTOS 테스트의 구조

TCB(Task Control Block) 구조는 기본적으로 태스크를 위한 기본 정보인 스택 정보와 준비, 실행, 대기, 중지의 상태 관리를 위한 큐 정보가 필요하다. 또한, FreeRTOS는 우선순위 기반의 스케줄링 제어를 하기 때문에 우선순위 정보와 기타 태스크 관리를 위한 고유 번호 또는 이름 정보가 기본적으로 필요하다. 또 FreeRTOS 기본 구성 설정은 개발 여건마다 필요로 하는 환경이 다를 수 있다. 이를 위해 Free RTOS는 FreeRTOS Config.h에 필요한 사용 상태를 설정할 수 있도록 제시하였다.

태스크들은 vTaskStartScheduler()가 호출된 시점부터 RTOS에 맞게 Ready, Running, Blocked, Suspended 동작 상태로 관리된다.

4.3 제어장치 축소모형 구현

그림 7은 PC 기반 에뮬레이터 시스템 구성도를 나타낸다. 표 5는 모듈 구성의 설명이다. 전체 프로세서는 모니터링, 제어, 알고리즘, 데이터 수집으로 구성하였다[4].

그림 7 PC 기반 에뮬레이터 시스템 구성도

Fig. 7 Structure diagram of PC based emulator system

그림 8은 구현한 축소 모형 프로그램의 해당 창들의 설명을 나타낸다. 외형 프로그램은 Windows Application, 인트로 페이지, 차트 데이터 뷰어, 검색 데이터 뷰어로 구분하였다.

(a) Windows Application

(b) 검증 뷰어 인트로 페이지

(c) 검증 뷰어 차트데이터 표현 뷰

조석당 데이터 분석			
제 1조석		제 2조석	
전력량	97366.28kWh	전력량	109288.14kWh
기동 시각	2012-09-20 03:12	기동 시각	2012-09-20 15:36
정지 시각	2012-09-20 10:24	정지 시각	2012-09-20 23:12

(d) 검증 뷰어 분석 데이터 표현 뷰(확대)

그림 8 구현된 축소 모형 프로그램의 해당 창의 설명

Fig. 8 Description of that windows of program by implemented prototype small model

그림 9는 구현한 시제품 제어장치의 축소 모형을 나타낸다.

표 5 모듈 구성의 설명

Table 5 Description of module configuration

구분	모듈	설명
Windows App	TCP/IP Server Module	서버에 설치되는 모듈로 통신서버 역할 담당 Send : 모니터링 값 Receive : 제어 값
	DB Access Module	DB에 접속하여 값을 가져오거나(Select) 값을 저장(Insert/Update)하는 기능을 담당
	의사결정 최적화 Algorithm Module	DB에서 Input 값을 받아서 정해진 공식에 의해 최적화된 Output 값을 도출해 내어 DB에 저장
	File Parsing Module	하위통신 데이터(가상 데이터) 파일을 파싱하여DB에 넣는 역할
Web Server	Communication Agent	TCP/IP Server Module에 접속하여 모니터링 값을 가져와서 MS-SQL DB에 Insert/Update하거나 MS-SQL DB에서 제어값을 받아서 TCP/IP Server Module로 제어 값을 보냄
	Web Server	MS-SQL DB에서 데이터를 가져와서 모니터링 페이지를 구성하고, 웹 브라우저에서 입력 받은 제어값을MS-SQL DB에 넣어 주게 됨
하위 통신부	Low Level Communication Module	하위 통신 모듈1차년도에는 가상 데이터 파일로 이루어지며 FTP를 통해 리눅스 서버에 저장됨 2차년도에는 통신 프로토콜 구현을 통해 데이터가 전송됨

그림 9 시제품 제어장치의 축소 모형

Fig. 9 Small model of prototype control device

5. 결 론

조력발전소에는 운영·감시 및 유지관리를 위한 별도의 제어시스템이 필요하다. 그러나 이 플랜트 예측제어시스템의 구축·기술은 선진국에서 기술이전을 꺼려하고 있어 효율적인 운용과 기술의 축적을 위하여 핵심기술개발이 필요하다.

본 논문에서는 신재생에너지 융합원천기술개발 사업 연구과제의 일부로서 조력발전소를 위한 기동·정지 제어시스템의 국산화를 위하여 먼저, 플랜트 운전제어, 시스템간의 데이터인터페이스, 제어시스템의 모니터링 및 제어포인트 등에

대하여 조력발전 제어시스템을 분석하였다. 또한, 축소 모형 프로그램 및 최적화 알고리즘 처리용 PC 기반 에뮬레이터 프로세스를 설계하였다. 끝으로, 제시된 기동·정지제어 시스템의 플랫폼에 따른 시제품 제어장치의 축소모형을 구현하였다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 신재생에너지 융합원천기술개발 사업 연구과제인 동시에 2013년도 인택전기전자로부터 연구비를 지원받아 수행한 연구과제입니다.

References

- [1] T. J. Hammons, "Tidal power", Proceedings of the IEEE, Vol. 81, No. 3, pp. 419~433, 1993.
- [2] T. J. Hammons, "Tidal Power in the United Kingdom", 43rd International Universities Power Engineering Conference, pp. 1~8, 2008.
- [3] K.H. Kim, Sook-Kee Kwon, Tae-Hun Kim, "Tidal Generation Technology and Status", Trans. on The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 55, No. 8, pp. 32~37, 2006. 8.
- [4] C.W. Park, Y.S. Kim, M.H. Oh, B.O. Cho., "Development & demonstration of start-stop control system at turbine-generator", Ministry of Knowledge Economy Technology Innovation Program, 1st year report, pp. 1~197, 2012. 10.
- [5] Merlin, A., Sandrin, P., Gres, J.M., Hilairret, M., "Agra, the New Operation Model for the "La Rance" Tidal Power Plant", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 2, pp. 290~294, 1982.
- [6] Gunn, E.A., Rogers, J.S., "Optimal design of tidal power plants: The effects of alternative criteria", Electrical Engineering Journal, Canadian, Vol. 10, No. 4, pp. 163~172, 1985.
- [7] Bernshtein, L.B., "Tidal power development-a realistic, justifiable and topical problem of today", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 10, No. 3, pp. 591~599, 1995.
- [8] Deokar, D.N., Lingayat, N.S., Khaparde, S.A., Sukhatme, S.P., "Modelling tidal power plant at Saphale", TENCON '98. 1998 IEEE Region 10 International Conference on Global Connectivity in Energy, Computer, Communication and Control, Vol. 2, pp. 544~547, 1998.
- [9] Min-Hwan Oh, Jae-Hoon Kim, Kwang-Chul Shin, "Introduction of Joint control system for the Shiwa Tidal Power Plant Construction", KIEE Summer

Conference, pp. 2222~2223, 2008.

- [10] Kang D.H., Kim J.D., Him J.L., Shin K.C., Oh M.H., Kim J.H., "The Design for Automatic Operation of Tidal Power Generation Equipment", KIEE Summer Conference, pp. 2579~2581, 2005.
- [11] Jin-Geuk Nam, "Study on the Optimal Operating Model to Maximize the Electric Power Generation of the SIHWA Tidal Power Plant", Korea Polytechnic University, Master's Thesis, pp. 1~52, 2009.
- [12] K. H. Kim., K. B. Song., S. M. Kim., M. S. Lee, & H. S. Choi., "A study on power system characteristics and economic benefit by operating the new Sihwa tidal power plant", Journal of the KIIEE, Vol. 61, No. 6, pp. 791~796, 2012. 6.
- [13] Chul-Won Park, Sang-Ji Ahn, Yu-Hyeon Ban, "Dynamic Characteristic Analysis of Water-Turbine Generator Control System of Sihwa Tidal Power Plant", Trans. on KIEE Vol. 61P, No. 4, pp. 180~185, 2012.
- [14] ANDRITZ Hydro, "Andritz Hydro", Company Presentation, pp. 1~21, 2011.
- [15] ANDRITZ Hydro, "Automation & Control", NEPTUN, pp. 1~40, 2012.
- [16] K-Water, "Sihwaho tidal power plant construction", Construction plans change report, pp. 1~18, 2010. 9.

저 자 소 개

김 윤 상 (金潤相)

1968년 10월 20일생. 1993년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(공학박). 1999~2000년 한국과학기술연구원 휴먼로봇연구센터 연구원. 2000~2003년 (미) Univ. Washington 전기공학과 Faculty Research Associate (전임교원 연구원). 2003~2005년 삼성종합기술원 수석연구원. 2005년~현재 한국기술교육대 컴퓨터공학부 부교수.

박 철 원 (朴哲圓)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업, 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1989~1993년 금성산전연구소 주임연구원, 1997~2007년 강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 2007~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수.