이기종간의 상호운용을 지원하는 풍력발전 통합 SCADA 시스템에 관한 연구

A Study of Integrated SCADA System for Wind Farm to Support Interoperability

김영곤* · 문채주**† 주영태*** · 박태식**** · 장영학*****

Kim Young-Gon*, Moon Chae-Joo**†, Joo Yeong-Tae***, Park Tae-Sik****, Chang Young-Hak*****

(Submit date : 2013. 11. 04., Judgment date : 2013. 11. 11., Publication decide date : 2013. 12. 17.)

Abstract : Recently industrial control systems have been required to ensure intelligent, high tech automation, interconnection and interoperability demands. Therefore, there is a need to redefine the structure concepts of SCADA system for wind power. Also, at this time, the integrated management system is required for the distributed development of wind farms where are needed often interoperability features and exchange information between different wind farms, wind turbines or SCADA systems. In this paper, an integrated structural concepts for SCADA system are defined. Based on this definition of an integrated SCADA system, the basic designs are analyzed on physical layer, system layer and application layer which are corresponded to wind turbine controller, the SCADA server and the SCADA client, and implement HMI. Between the implementation SCADA server and the client, their normal functions were verified at the small scale wind energy test facilities.

Key Words : 원격감시제어시스템(Supervisory control and data acquisition), HMI(Human machine interface), 상호운용성(Interoperability), 시간동기화(Time synchronization), 통합(Integrated)

**† 문채주(교신저자) : 목포대학교스마트그리드연구소
E-mail : chmoon@mokpo.ac.kr, Tel : 061-450-6424
*김영곤 : 목포대학교 스마트그리드연구소
***주영태 : 주식회사 엘시스
****박태식 : 목포대학교 스마트그리드연구소
*****장영학 : 목포대학교 스마트그리드연구소

**† Moon Chae-Joo(corresponding author) : Smartgrid Research Institute of Mokpo National University.
E-mail : chmoon@mokpo.ac.kr, Tel : 061-450-6424
*Kim Young-Gon : Smartgrid Research Institute of Mokpo National University.
***Joo Yeong-Tae : ELSYS CO.,LTD.
****Park Tae-Sik : Smartgrid Research Institute of Mokpo National University.
*****Chang Young-Hak : Smartgrid Research Institute of Mokpo National University.

1. 서 론

SCADA는 원격감시제어시스템으로 제어, 감시, 분석 및 리포팅 기능을 가지며 전력, 가스, 수도, 교통 등의 주요 기반시설 및 산업분야에서 원거리에 분산되어 있는 시스템의 효과적인 원격 감시 및 제어를 위해 사용된다. 이는 시스템의 이상 발생에 대한 조기진단 및 고장 예측을 수행하는 상태정보시스템과는 구별된다.

국내 SCADA 소프트웨어 시장은 거의 대부분 외산제품에 의존적이며, 인벤시스의 InTouch를 비롯한 지멘스, 로크웰 오토메이션, 슈나이더 일렉트릭, GE 등의 외산 제품과 국내는 LS산전, 현대중공업, 두산중공업, 비츠로시스, 태광이엔시, 오토베이스 및 KDT시스템즈 등이 있다.[1]

SCADA는 감시 및 제어기능 뿐만 아니라 기업의 상위 경영시스템과 다양하고 효율적으로 상호연계되고 있으며 기능적 저장과 지능적 분석요소를 포함한다. 그림 1은 GE Proficy 게이트웨이 구조도를 보이고 있다.[2]

Fig. 1. Proficy maintenance gateway architecture_GE

최근 풍력발전단지에 연계되는 전력망은 기존 전력망에 정보통신기술을 접목하여 공급자와 소비자간 양방향, 실시간적으로 에너지효율을 극대화할 수 있는 스마트그리드와 연계되고 있다. 스마트

그리드에 대한 개념모델은 그림 2와 같으며 크게 7개의 영역으로 구성된다.[3]

Fig. 2. Smart Grid Conceptual Model_IEEE

변전소도 전력설비들이 지능적 프로세스가 가능하도록 첨단·자동화 된 기술을 적용하여 전력설비의 보호, 제어, 감시 기능 등이 IEC 61850를 기반으로 자동화되고 있다.

풍력발전단지는 풍력발전시스템의 데이터모델, 정보모델 및 교환모델 그리고 매핑을 모델링하는 방법에 대하여 IEC 61400-25를 통해 상호운용성을 지원하도록 규정하고 있다.[4]

Fig. 3. Conceptual communication model of the IEC 61400-25 series

이처럼 산업제어시스템의 상호연계, 지능화, 첨단자동화 되면서 상호운용성 보장이 요구됨에 따라 SCADA의 구조적 개념을 재 정의할 필요성이 있으며, 풍력발전기와 발전단지의 이 기종 제품과 시스템의 상호정보교환이 자유롭고 기능이 연동되는 상호운용성과 함께 발전단지의 분산적 개발에

따른 시스템간의 통합운용이 필요한 시점이다.

이에 대해 본 논문은 다음과 같은 연구를 진행하고자 한다.

먼저 통합 SCADA 시스템에 대한 구조적 개념을 정의하고, 이를 바탕으로 물리계층인 풍력발전 제어시스템의 기본적 설계 요건분석과 시스템계층, 응용계층에 해당되는 SCADA 서버와 클라이언트에 대한 기본적인 UI설계를 통해 부분적인 HMI를 구현하고 검증하는 것까지 진행한다.

검증은 구현된 HMI가 SCADA 클라이언트와 서버 사이에서 정상적인 기능동작을 하는지에 대하여, 풍력발전기와 같은 기능을 수행하는 축소된 풍력발전시험설비로 검증하려 한다.

2. 통합 SCADA 시스템

2.1 통합 SCADA 시스템 구조

일반적 풍력 SCADA의 구조는 풍력발전 제어기, 다수의 제어기와 연계된 로컬 SCADA 서버, 원격 감시 제어를 수행하는 SCADA 클라이언트 3개 계층으로 구분된다. 이에 반해 통합 SCADA 시스템은 풍력발전제어기, 상호운용 SCADA 서버, SCADA 클라이언트, 통합 SCADA의 4개 계층으로 정의하며 각 계층은 물리, 시스템, 응용, 서비스계층으로 구분한다.

Fig. 4. Integrated SCADA system architecture

2.2 통합 SCADA 시스템 구성요소

시스템의 구성은 풍력발전 피치제어기, 토크제어를 포함하는 나셀 측 제어기, 타워측 제어기에 대한 물리계층과 다수의 동종 또는 이종 풍력발전 제어기 자료, 단지의 기상자료, 계통정보를 수집하

는 SCADA 서버에 해당하는 시스템계층, 이를 로컬 또는 원격지에서 감시, 제어, 분석하는 SCADA 클라이언트인 응용계층으로 나누어지며, 다수의 동종 또는 이종 SCADA와 단지의 기상자료, 계통정보를 통합하는 서비스계층으로 구성된다. 이 시스템의 원활한 운용을 위해서는 분산적이고 다수의 이기종이 많을 수록 시간동기화와 상호운용성 보장을 위한 IEC 61400-25의 기준적용이 필수적이다. 또한 이중화를 통한 시스템의 안정과 위험요소들에 대한 보안이 확보되어야 한다.

3. 풍력발전 제어시스템

풍력발전 제어시스템은 제어를 통해 정격파워, 정격속도, 안전·안정적 운전에 대한 사항들이 반영된 최대 발전효율을 추종하며, IEC 61400-1에 제어와 보호에 대해 기술하고 있으며 안전요구사항으로 정상 한계 내에서 통제하고 유지하도록 제어된다.[5]

풍력발전기의 주요 작동상태는 기동과 정지, 자기진단, 정상운전, 계통연계, 전력생산단계로 구분한다. 이 상태들은 기동, 운전준비, 정상운전, 정지, 유지보수, 자기진단모드 등으로 제어되며, 모든 모드에서 감시계기를 통하여 고장 및 진단을 수행하고 제어상의 운전 효율 및 발전기 보호조건을 만족하기 위해서 이벤트에 맞는 적절한 에러코드레벨에 따라 동작된다. 이를 위해 상태 판단의 기준이 되는 파라미터에 대한 설정값의 정의가 필요하다.

Fig. 5. Watchdog & error-handling

모니터링이 필요한 상태 및 위험요소에 대하여 작성한 각 파트별 에러코드를 작성하여, 풍력발전기에 이상이 있을 때 단계에 맞는 에러를 발생한 후 적절한 절차에 따라 제어하도록 설계하였다. 그림 6은 전체 설계내용 중 기상센서의 error-handling에 대한 절차를 보여주고 있다.

Fig. 6. Error-handling_wind sensor

이 외에 제어요건에 따른 설계를 바탕으로 제어기 H/W, 제어로직, 피치 및 토크 알고리즘 설계 및 구현이 포함 되어 풍력발전 제어기가 제작된다. 일반적으로 풍력발전 제어기는 출력제어 및 운영을 위해 나셀 측 제어기, 피치제어기, 타워 측 제어기와 이를 모니터링 및 제어하기 위한 HMI로 구성된다.

4. SCADA HMI 설계 및 구현

4.1 시스템 구성

본 연구에서 설계되는 SCADA 시스템의 논리적 구조는 그림 7과 같으며, 각 풍력발전 제어기를 통해 원시 자료를 수집하고 RDBMS를 통하여 DB로 적재하고 이를 사전 정의된 DB 필드의 값과 비교 분석하여 풍력발전단지 전체의 운영 상황을 제어 및 모니터링 한다.

Fig. 7. Control data flow of SCADA system

4.2 요구사항 정의

요구사항 정의서 및 명세서는 수집된 정보를 기초로 HMI 시스템에 대한 사용자의 기능적 요구사항 및 비기능적 요구사항을 도출한 후 분류, 정리하기 위해 작성하였으며, 유스케이스 다이어그램은 그림 8과 같다.

Fig 8. Usecase diagram of HMI sysetm

분석 단계에서는 주어진 기능적 요구사항을 충족시킬 수 있는 시스템의 논리적인 구성 요소로, 분석 클래스를 도출하고 유스케이스 실현을 통해 분석 클래스의 정확성과 안정성을 확인할 수 있다. 클래스 다이어그램은 그림 9와 같다.

Fig 9. Class diagram of HMI sysetm

시퀀스 다이어그램은 상호작용 다이어그램의 일종으로, 기능을 구현하기 위한 객체 간 메시지의 교환을 시간순서대로 정의하였으며 시스템의 시퀀스 다이어그램은 그림 10과 같다.

Fig 10. Sequence diagram of HMI sysetm

마지막 단계인 설계는 컴포넌트 기반의 개발 프로세스에서 컴포넌트화를 목적으로 업무를 분석함으로써, 시스템의 내부가 독립성이 높은 컴포넌트로 구성되어 높은 유지보수성과 재사용성을 갖도록 그림 11과 같이 설계하였다.

Fig 11. Component diagram of HMI sysetm

4.3 DB 구조 설계

DB 구조설계 단계에서는 개념 데이터 모델링 설계를 위하여 HMI 시스템 ERD를 그림 12와 같이 작성하였다.

Fig 12. ERD of HMI system

4.4 SCADA HMI 설계

풍력발전단지를 운영하는 관리자가 모니터 화면을 통하여 풍력발전 제어 시스템의 동작 상태, 운전 조건 설정, 수동 운전 명령, 오류 진단 등 다양한 작업을 쉽게 처리하기 위한 SCADA HMI 요소는 다음과 같다.

- 사용자 로그인 및 사용자 관리 화면
- 이동 제어 화면
- 메인 상태 화면
- 통신 모듈 설정 화면
- 구동 시스템 제어 화면
- 전력 모니터링 시스템 화면
- 운전 상태 이력관리 화면

HMI 중 풍력발전기를 구성하고 있는 여러종류의 구동 시스템과 전력 제어 시스템 그리고 그 밖에 하부시스템들을 개별 구동 테스트를 통하여 운전 상태를 확인하는 화면은 그림 13과 같다.

Fig 13. Manual control GUI

4.5 맵핑 및 UI 적용

풍력 발전기로부터 들어오는 실시간 원시 데이터를 정규화하여 데이터 맵핑하게 되며 그림 14, 15와 같은 과정을 거쳤다.

43	NAMV 0212	%	Float	2 word	Generator cooling system (GFA) side outlet temperature A
44	NAMV 0214	%	Float	2 word	Generator cooling system (GFA) side outlet temperature B
45	NAMV 0216	%	Float	2 word	Generator cooling system coolant side inlet temperature A
46	NAMV 0218	%	Float	2 word	Generator cooling system coolant side inlet temperature B
47	NAMV 0220	%	Float	2 word	Generator cooling system coolant side outlet temperature A
48	NAMV 0222	%	Float	2 word	Generator cooling system coolant side outlet temperature B
49	NAMV 0224	%	Float	2 word	Inverter cooling system inverter side inlet temperature A
50	NAMV 0226	%	Float	2 word	Inverter cooling system inverter side inlet temperature B
51	NAMV 0228	%	Float	2 word	Inverter cooling system inverter side outlet temperature A
52	NAMV 0230	%	Float	2 word	Inverter cooling system inverter side outlet temperature B
53	NAMV 0232	%	Float	2 word	Inverter cooling system coolant side inlet temperature A
54	NAMV 0234	%	Float	2 word	Inverter cooling system coolant side inlet temperature B
55	NAMV 0236	%	Float	2 word	Inverter cooling system coolant side outlet temperature A
56	NAMV 0238	%	Float	2 word	Inverter cooling system coolant side outlet temperature B
57	NAMV 0240	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature A U
58	NAMV 0242	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature A V
59	NAMV 0244	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature A W
60	NAMV 0246	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature B U
61	NAMV 0248	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature B V
62	NAMV 0250	%	Float	2 word	Inverter IGCT temperature B W
63	NAMV 0252	%	Float	2 word	Current inverter side phase U
64	NAMV 0254	%	Float	2 word	Current inverter side phase V
65	NAMV 0256	%	Float	2 word	Current inverter side phase W
66	NAMV 0258	%	Vdc	2 word	Voltage inverter side phase U
67	NAMV 0260	%	Vdc	2 word	Voltage inverter side phase V
68	NAMV 0262	%	Vdc	2 word	Voltage inverter side phase W
69	NAMV 0264	%	Vdc	2 word	Voltage inverter DC-link

Fig 14. WTG Parameter value

No.	Memory Map Address	SUBJECT	Data Type	Total Data Size (Byte)	WORD Size	Association
1	NAMV 0100	NAMV 0100 T100 Accumulate Data Area - Onsite	UINT16	2	2	REAL
2	NAMV 0102	NAMV 0102 T100 Component Status Area - Float	UINT16	2	2	REAL
3	NAMV 0104	NAMV 0104 T100 General Data Area - Word	UINT16	2	2	REAL
4	NAMV 0106	NAMV 0106 T100 System Time - Word	UINT16	2	2	REAL
5	NAMV 0108	NAMV 0108 T100 Component Status Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
6	NAMV 0110	NAMV 0110 T100 General Data Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
7	NAMV 0112	NAMV 0112 T100 General Data Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
Total Memory Size				1280		
1 페이지						
2 페이지						
Maximum Memory Size						
Start Address						
End Address						
Using Memory Size						
Remaining Memory Size						
1	NAMV 0200	NAMV 0200 T200 Accumulate Data Area - Word	UINT16	2	2	REAL
2	NAMV 0202	NAMV 0202 T200 Component Status Area - Word	UINT16	2	2	REAL
3	NAMV 0204	NAMV 0204 T200 General Data Area - Word	UINT16	2	2	REAL
4	NAMV 0206	NAMV 0206 T200 System Time - Word	UINT16	2	2	REAL
5	NAMV 0208	NAMV 0208 T200 Component Status Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
6	NAMV 0210	NAMV 0210 T200 General Data Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
7	NAMV 0212	NAMV 0212 T200 General Data Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
8	NAMV 0214	NAMV 0214 T200 General Data Area - Bit	UINT16	2	2	REAL
Total Memory Size				1280		

Fig 15. WTG Data(Memory) map

컴포넌트 명세서를 바탕으로 구현 기능을 선정하여 중첩 처리를 최소화 하고, 스토리보드와 UI 설계에 적용한 시스템의 GUI는 그림 16과 같다.

Fig 16. Apply the screen GUI

5. SCADA 시스템 검증

개발된 SCADA와 풍력발전기의 기계적 연결에 대하여 실제 현장에 적용하기 전에 시스템의 성능평가와 통신테스트 및 가상 운전을 통해 시스템 검증하였다. 이는 실제 SCADA 운행 중 발생할 가능성이 있는 문제점을 사전에 발굴하기 위하여 검증시험을 통하여 SCADA의 완성도를 높일 수 있기 때문이다.

그림 17은 개발된 SCADA를 검증하기 위하여 연결된 축소형 풍력발전시험설비로 실제 2MW급 PMSG 타입의 풍력발전기를 기준으로 제작 되었다.

Fig 17. Controller & Small scale system

그림 18은 SCADA 서버와 클라이언트 시스템간의 데이터 출력, 기기별 통신상태와 데이터코드에 맞는 데이터출력이 이루어지고 있는지 검증하고 있는 결과 화면들이다.

Fig 18. Device data communication & Data code view

검증시험은 풍력발전기 특성시험으로 상태 모니터링, 인터페이스 통신시험, 비상정지시험, 가상운전시험등과 SCADA 운전, 반응, 성능시험을 진행하였다.

Fig 19. Status, I/O, operation, SCADA test

6. 결 론

본 논문을 통해 통합 SCADA 시스템에 대한 구조적 개념을 정의하였고,

- (1) 정상한계 내에서 통제되고 유지되어야 하는 변수들에 대한 제어 설계 요건 분석과 운전절차를 연구하였다.
- (2) 감시계기 모니터링 요소 및 위험요소를 바탕으로 감시계기 및 Error-handling 절차를 제시하였다.
- (3) 에러 레벨, 파트별 에러코드의 분석과 그에 따른 알람을 구성하였다.
- (4) SCADA 서버와 클라이언트에 대한 기본적인 UI설계를 통해 HMI를 구현하였다.

구현된 SCADA 시스템을 축소형 풍력시험설비를 이용하여 검증시험하였고 그 기능들이 정상적으로 동작됨을 확인하였다. 향후 서비스계층을 포함하는 통합 SCADA 시스템 구현과 실제 풍력발전기와 연계하여 추가적인 실증을 진행하고자 한다.

후 기

본 연구는 목포대학교 스마트그리드연구소와 에너지관리공단의 풍력시스템 Test-Bed센터 구축사업 연구비 지원으로 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

1. <http://complete-automation.tistory.com/712>, 2013
2. Proficy Maintenance Gateway, GE Fanuc Intelligent Platforms, 2008
3. <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model>
4. IEC Standard 61400-25 Wind turbines Communications for monitoring and control of wind power plants
5. IEC Standard 61400-1 Wind turbines Design requirements
6. Final Report of SCADA system design and substantiation development for wind turbine, SMBA, 2013