선박해양구조물의 제품수명주기 내 유지보수 정보 획득을 위한 PEID에 관한 연구

전정익* · 이장현** · 손금준*

*인하대학교 대학원 조선해양공학과

**인하대학교 조선해양공학과

Development of PEID for Acquiring Maintenance Information during Product Lifecycle of Marine Vessels

Jeong-Ik Jeon*, Jang-Hyun Lee** and Gum-Jun Son*

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University, Incheon, Korea

**Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Korea

KEY WORDS: PLM 제품수명주기관리, PEID 제품내포형정보기기, CBM 조건기반유지보수, MRO 유지보수 수리분해

ABSTRACT: The product lifecycle of a marine vessel can be classified into the design-production, operation-maintenance, and disposal phases. During the operation and maintenance phase, status data should be gathered from the major machinery and instruments installed on the marine vessel in order to perform efficient maintenance work. Although a PLM (product lifecycle management) system can manage the product information during the design and assembly stage, a PLM based on asset management technology is more appropriate for product information management during the operation stage. Product embedded information devices (PEIDs) are suggested for gathering real-time maintenance information during the operation and maintenance lifecycle. A PEID allows PLM to provide the capability of offering active information exchange between the lifecycle management system and equipment. This study designed a PEID to effectively obtain information and interact with a PLM system. It consists of sensors, wireless communication, and a microprocessor, which allow it to accumulate status data on the PLM system. The embedded information device and PLM enable the seamless information flow, tracking, and updating of MRO (maintenance repair and overhaul) information for a product throughout the middle of the product lifecycle.

1. 서 론

제품수명주기관리(PLM) 시스템은 제품의 설계, 유지보수, 운영, 폐기단계에 이르는 모든 수명주기 정보를 관리하고 활용하도록 하는 것이 이상적이다(김승현 등, 2010; 이경호, 2004). 그러나 선박해양구조물의 설계·생산 단계와 유지보수·운영·폐기 단계의 절차와 활용하는 정보가 다르기 때문에 설계·생산 단계인 초기수명단계(BOL: Begin of life)와 유지보수단계(MOL: Middle of life) 및 폐기단계(EOL: End of life)의 PLM시스템은 각각 구별되는 것이 효율적이다. BOL 단계의 PLM 시스템은 3D CAD 모델, 자재목록(BOM) 정보, 협업 설계 및 설계 변경관리, 제품 구성 관리 등과 같은 기능을 통해 효율적인 제품 개발을 지원한다(Kiritsis, 2011). 그러나 선박해양구조물의 MOL 및 EOL 단계 PLM은 부품 신뢰성(RAM) 정보 및 수리 교체 이력 정보, 예방보수(Preventive maintenance), 예지보수(Predictive maintenance), 조건기반 유지보수(CBM), 정기 점검 등과 같은 정보 및 관리 절차를 지원하여야 한다. MOL 및 EOL 단계의 PLM 시스템과 유사한 기존 기술로는 자산수명주기관리(ALM) 또는 CMMS

등을 들 수 있다(Chang et al., 2008). 특히 최근에는, RAM 정보 및 시간 기반으로 수행되는 예방보수의 단점을 보완할 목적으로 예지보수 또는 CBM 기술이 중요하게 대두되고 있다(Muller et al., 2008). CBM 및 예지보수를 위해서는 관리 대상 부품 또는 시스템의 실시간 상태 정보 추출을 위한 센서와 그로부터 얻어진 정보를 활용하기 위한 진단(Diagnostics) 및 판단(Prognostics) 기법이 필요하며, 이러한 정보 수집을 위해 USN 기술에 바탕을 둔 센서 통신 시스템(Grall et al., 2002; Gullledge et al., 2010; Jun et al., 2007) 등이 개발되고 있다. 수집된 실시간 상태정보를 전달받은 PLM 시스템은 진단, 예지 등의 절차를 거쳐서 유지보수 순위 및 계획을 수립할 수 있는 역할을 수행한다면 기기 또는 부품의 비정상적인 거동 판단 및 고장 예지 정보를 바탕으로 설비관리의 효율성을 향상시킬 수 있다(Thomas et al., 2010). 상태 정보는 기기의 특성에 따라 다양한 신호를 대상으로 수집되어야 하기 때문에 표준화에 대한 논의도 진행되고 있으며, MIMOSA는 CBM 구현을 위한 센서 데이터 교환 표준과 시스템

Fig. 1 OSA/CBM Architecture (MIMOSA, 2010)

템 아키텍처를 제정하기 위한 비영리 단체로서 OSA/CBM 및 CRIS 스키마를 정의하여 수명주기관리 시스템의 CBM 구현 방법의 표준안을 정하는 과정에 있다(Muller et al., 2008). Fig. 1은 OSA/CBM의 아키텍처로서 데이터 획득, 관리, 상태 파악 및 진단 등의 과정을 설명하고 있다.

제품의 수명주기 정보 추적 또는 CBM 구현에 필요조건으로 센서 모듈이 필요하며, 일반적으로 PEID 또는 IDU로 정의되고 있으나 유사한 특징을 가지고 있다. PEID는 주로 센서통신시스템(SNS), RFID 전자 태그 등을 결합하여 개발된 사례에서 찾아볼 수 있다(Williams et al., 1994). "PROMISE"(Product lifecycle management and Information tracking using smart embedded systems) 프로젝트는 PEID를 중심으로 제품정보의 추적과 추적, 제품개발로 재 반영하기 위한 방안을 제시하고 있다(Jun et al., 2007). 이 연구는 RFID와 센서를 결합한 PEID를 통해 제품 정보를 획득하고 PDKM의 제품 정보 추적, 유지 보수 및 재활용 의사 결정을 지원하는 DSS를 포함하고 있다(Park et al., 2005). PROMISE는 RFID 통신과 센서를 결합한 PEID 개념을 구현한 것으로 중요한 의미를 갖는다(Jun et al., 2009). 이러한 연구는 PEID의 모델 및 통신 방법, 시스템 구성 등에 필요한 아키텍처를 제시하고 있으며 RFID는 고유의 ID를 식별하는데 유용하지만, 각 센서를 통하여 얻은 다량의 계측 정보의 처리가 어려우며 전원 유지의 어려움을 가지고 있다. 한편, Xiaoyu et al.(2009)은 IDU 개체가 삽입된 제품을 'Intelligent Product'라고 정의하고 RFID 통신방법을 지원하는 CSI와 진단 및 원격 모니터링을 위한 Service enabler를 통합 모델의 구성 요소로 제시하였다. IDU는 수명주기정보를 획득하기 위한 센서와 제어기, 메모리 및 데이터 통신 인터페이스를 가진 모듈로 개발하였으며, Service enabler는 CSI를 통하여 수명주기 정보를 획득하고 분석할 수 있도록 하였다. 또한 제품수명주기 정보를 제품 생산 시 정의되는 정적 데이터와 제품이 유통된 뒤부터 얻어지는 동적 데이터로 구별하였다. 다만, 각 제품을 자동으로 인식하기 위한 기능과 정보 분석에 필요한 판단 기능이 추가되어야 하는 점을 언급하였다. 그러나 이러한 노력들은 주로 RFID를 이용한 것으로서, 소용량 제품 정보의 사전 저장 또는 센서 정보의 단거리 송신을 염두에 둔 단점을 지니고 있다.

한편, 선박의 유지보수를 위한 PLM 시스템의 예로는 ICAS이 있으며, 이는 미해군의 함정유지보수 관리에 적용되고 있는 시

스템으로 센서 정보 추적, 함정의 원격 고장 진단, 원격 유지보수 기능을 갖춘 사례이나 함정의 상황 파악 및 통제를 위한 데이터 획득을 주요 목적으로 개발되고 있다(Muller et al., 2008). 국내에서는 소승욱(2010)은 유지보수를 위한 PLM 시스템의 중요성을 언급하였으며 CMMS를 도입해 선박의 유지보수 시스템을 제안하였다. 그러나 제안된 시스템은 선박 유지 보수에 필요한 도면 및 3차원 모델 정보, 유지보수 설명서 정보 등의 문서 관리 기능에 중점을 두고 있다.

본 연구는 MOL 단계에 있는 선박해양제품의 PLM 및 CBM에 필요한 제품정보 추적과 상태 정보 획득을 위한 방법에 중점을 두고자 한다. 김승현 등(2012)에서 제시한 유지보수 PLM 시스템의 구성요소로서 PEID의 기능 및 구현된 사례를 제시하고자 한다. 이를 통해 선박의 MOL 단계에서 생성되는 유지보수 정보를 획득하고 관리하기 위한 PEID를 프로토타입으로 구현하고, 그 적용 가능성에 대해 검토하고자 한다. 특히, 능동적인 기능을 구현하기 위하여 마이크로프로세서(MCU) 및 센서를 직접 결합하고, RFID 및 Zigbee와 같은 무선통신 방법을 동시에 적용함으로써 통신 방법을 다양화시킴과 동시에 데이터 전송량을 확대하고자 한다.

2. PEID 설계 및 구성 요소

2.1 PEID와 PLM 시스템

본 절에서는 PLM과 PEID의 관계를 정리하고자 한다. Fig. 2는 본 연구에서 제안한 PEID를 포함한 수명주기관리 시스템의 구성요소 개요를 나타낸 것이다.

Fig. 2 Logical framework of PLM associated with PEID

- Data Tier: 수명주기의 제품정보를 의미하며, 정적정보와 동적정보로 구별하였다(Kiritsis, 2011). 정적정보는 BOL 단계에서 생성된 설계 및 생산 정보, 제품 설명서, MTTR(Mean Time To Repair)-MTBF(Mean Time Between Failure)와 같은 신뢰성 정보를 의미하며, 동적정보는 유지보수 이력 및 상태 정보를 의미한다.
- System Integration Tier: PLM 시스템은 기존의 ERP (Enterprise Resource Planning), CMMS와 상호 연계

관계가 있는 것으로 가정하였다.

- Application Tier: PLM 시스템의 기능 및 서비스로서 유지보수 기능, PEID 인터페이스 기능 등을 의미한다.

MOL 단계 PLM 시스템이 제공해야 할 기능 또는 하위 시스템으로는 ①제품정보 관리 기능, ②재고 관리 시스템(Inventory system), ③CBM을 위한 모니터링 시스템, ④제품 정보 관리 시스템(Management system), ⑤그래픽 정보 시스템(GIS: Graphic information System), ⑥BSC(Balance Score Card) 시스템, ⑦고장·예지 판단을 위한 시스템 등을 들 수 있다(Fernández and Márquez, 2009). 특히, 고장·예지 판단을 위한 시스템의 구현을 위해서는 각 기기별로 상태 정보의 실시간 파악을 위한 방안이 필요하다. 따라서 PEID는 각각의 기기 및 장비에 설치되며, PLM 서버와 직접 통신하도록 가정하였다. 또한 모듈의 형태로 각 기기에 부착하고 주요 제품 정보를 PEID에 저장함으로써 폐기 단계에 직접 정보를 활용할 수 있도록 하고자 하였다. PLM의 Data tier는 PEID에서 획득한 실시간 동적 데이터 및 제품의 RAM 정보, 도면 및 3차원 모델과 같은 정적 정보를 포함하며, PEID는 PLM으로부터 정적 정보를 수신함과 동시에, 동적 정보를 송신하는 것으로 가정하였다. 또한 Decision support는 정적·동적 정보를 이용하여 제품의 유지보수와 폐기·재활용의 의사결정에 필요한 계획 기능을 의미하며, CBM에 근거한 예지 보수 및 재활용 판단 기능으로 가정하였다.

PEID는 제품의 센서를 통한 상태 정보의 획득뿐만 아니라, 수명주기 정보를 모니터링 및 저장할 수 있어야 한다. 즉, 유지보수 기간 동안 수집된 정보를 활용하여 후속 제품의 개발 시 기존 제품의 오류 제거 및 개선에 활용하여야 한다. 이러한 형태의 PLM 시스템은 폐쇄형(Closed-Loop) PLM으로 정의되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3에 보인 것과 같이 축적된 제품정보가 제품 개선에 이용될 수 있도록 PEID에 정보 축적의 기능을 추가할 수 있도록 메모리 기능을 갖춘 MCU를 이용하고자 한다.

2.2 PEID의 구성

현재 알려진 RFID를 근간으로 구성된 유지보수 정보 관리의 지배적 표준 또는 아키텍처는 EPCglobal 네트워크 아키텍처, DIALOG 시스템, WWAI 네트워크, OGC SWE, ISO 15962, MOMOAS OSA-EAI/OSA-CBM, PROMISE 아키텍처 등에서 찾

을 수 있다(Kiritisis, 2011). EPCglobal 네트워크는 EPC와 RFID를 기반으로 구축된 물류정보 시스템이다. EPC는 제품 객체마다 고유한 식별 코드를 부여하며 EPC가 저장된 RFID 태그를 제품에 부착한다. EPCglobal architecture framework는 RFID 리더 EPC 태그를 가진 제품이 RFID 리더에 인식되면 ALE를 통해 EPC Information service에 정보를 저장하는 방법이다(Jakkhupan, 2011; EPCglobal, 2006). DIALOG 시스템과 WWAI 네트워크는 각각 고유 식별자 부여를 위해 제안된 방법이다(Forss et al., 2006). 이러한 아키텍처는 주로 RFID를 이용한 제품 정보의 조회에 중점을 두고 있으며, 동적인 정보, 센서 정보 수집을 위한 목적으로는 부족한 특징을 가지고 있다. Cao et al.(2012)도 자동차 제조 설비의 SNS를 구성함에 있어서 RFID를 이용한 사례를 보였으나, 정형화된 장비의 특성을 제한적으로 받아들이는 데 활용하였다. 그러나 RFID의 일반적인 메모리 저장 공간이 64KB 내외의 소용량이라는 단점 때문에 대용량 정보를 처리하기에는 부족한 특징이 있으며, 주로 바코드를 대체하는 용도로 활용되고 있다.

한편 센서 정보를 포함한 PEID 및 IDU와 동일한 개념은 Moore et al.(2000) 등이 제안하였으며, 이는 동적인 정보 수집을 위한 센서, 제어기, 메모리, 데이터 통신을 제시한 것이며 RFID는 인식의 수단으로만 활용되도록 정의하였다. Simon et al.(2000)과 Bodenhoefer et al.(2004)도 ELIMA 프로젝트를 통하여 RFID와 센서간의 통신을 이용한 제품수명주기 정보 수집을 위한 모듈을 제안하였다. 이러한 모델들은 RFID와 EPC 코드의 결합, 센서 및 센서와 PLM 서버간의 통신을 통합함으로써 제품 정보의 쌍방향 수집이 가능한 특징이 있다. PROMISE에서 제시한 PEID 모듈은 RFID의 메모리에 수정·읽기 기능을 모두 활용하여 PDKM에서 제품 정보를 추적하는 방안을 제시하였다(Kiritisis, 2004). Fig. 4는 이러한 기존 모델들을 바탕으로 구성한 PEID 및 IDU의 구성요소와 PLM과의 관계를 간략하게 표현한 것이다.

따라서 본 연구의 PEID는 MCU, 무선통신장치(Wireless communication unit), 그리고 특정 데이터 값을 얻기 위한 센서가 결합된 능동형 모듈로 설계하였다. MCU의 데이터 변환 및 전송 기능을 통하여 제품의 현 상태를 PLM 서버의 값과 동기화시킬 수 있도록 하였다. 또한, 각 제품의 ID는 MCU의 메모리뿐만 아니라 RFID로부터 얻어 올 수 있도록 하기 위하여 RFID 태그를 동시에 사용하였다. Fig. 5는 본 연구에서 제시하는 PEID의 구성요소를 객체(Class) 다이어그램으로 표현한 것이다. PLM 서버는 Fig. 6에 보인 것과 같이 PEID 센서에서 얻어지는 실시간 데이터는 MCU가 변환시킨 후 Zigbee 통신으로 전송받는 것으로 가정하였으며, PLM과 MCU의 쌍방향 통신을 통하여 정적·동적 데이터를 교환할 수 있도록 하였다.

Fig. 3 Closed loop workflow between PEID and PLM

Fig. 4 PEID & IDU reference architecture (modified from Yang et al., 2009)

Fig. 5 The component diagram of PEID

Fig. 6 General description of PEID data flow

Jardine et al.(2006)은 수명주기정보 추적 및 건전성 파악을 위해서 센서로 부터 획득하는 데이터의 종류로 (1)Value type(온도, 압력, 습도 등), (2)Waveform type(진동, 음향 등), (3)Multi-dimension type(적외선 thermograph, X-ray 이미지, 시각 이미지) 등으로 나누었다. Value type의 신호는 일반적으로 임계값을 기준으로 진단 및 예지를 수행하며, waveform의 신호는 TSA, AR model과 ARMA model, FFT, wavelet 변환, HMM 등이 이용된다(Dalpiaz et al., 2000; Miller, 1999; Liu et al., 2004; Pandian and Ali, 2010). 진동, 균열 등과 같은 신호 특성에 따라 진단 및 예지 방법을 적절하게 적용하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 우선 단순하게 적용이 가능한 임계값 기준의 판단 방법만을 고려하여 value type 신호인 온도 정보를 예제로 다루었다. 또한, 센서에서 측정한 값은 MCU의 아날로그디지털변환기(ADC)를 통하여 디지털 신호로 변환하도록 하였다.

PROMISE 및 ELIMA(Simon et al., 2004) 등 기존 연구의 PEID는 인식 및 통신 수단으로써 RFID 센서를 주로 이용하였다. RFID는 확장성 및 경제성 측면에서 장점을 가지고 있으나, 인식 거리가 짧고, 오류의 가능성, 정보 저장량이 작은 단점이 있다. 본 연구의 PEID는 RFID의 정보량을 확장하고 능동적인 센서 제어를 위하여 MCU를 추가하였으며, 통신 방법으로는 Zigbee 및

Table 1 Product embedded data modules

Name of platform	Component taxonomy				Capabilities		
	MCU (processing)	Zigbee	Product identification RFID	EPC	Monitoring	Data Storage	Connection with CBM
PROMISE's PEID	●	○	●	○	●	●	○
ELIMA IDU	●	○	●	○	●	●	●
EPCglobal Network	○	○	●	●	○	●	○
Present study	●	●	●	○	●	●	●

● Major Contribution ● Minor Contribution
○ No contribution

RFID를 동시에 고려하고자 한다. 또한 MCU가 센서를 직접 제어함으로써 PLM 시스템과 통합될 수 있도록 하고자 한다. 본 연구에서 제시한 PEID와 기존 연구에서 제시한 사례를 비교하면 Table 1과 같이 정리될 수 있다.

3. PEID 프로토타입 제작 및 구현

본 장에서는 앞 장에서 정의한 PEID의 구성 요건에 따라서 구현된 프로토타입을 설명하고자 한다. PEID를 이루는 요소는 크게 4개로 구성하였다. 데이터 처리와 계산을 위한 MCU, 무선통신 모듈, 상태 정보 측정을 위한 센서, 센서의 아날로그 값을 디지털 값으로 변환하여 MCU로 전달하는 ADC 모듈로써 PEID를 구성하였다. 본 연구는 우선 선체의 경사각(Trim) 및 엔진 구역의 온도를 측정할 수 있는 경사 센서 및 온도 센서를 선택하여 구현하였다.

3.1 MCU

MCU는 PEID의 명령수행을 가능하도록 하는 제어 요소로서 PIC32MX 계열과 AT64C 계열, 그리고 ATmega128 계열 등이 있으나 기능과 확장성은 유사하다(Wang et al., 2007). 다만, 본 연구는 ATmega128은 응용사례가 다양하고 자체 프로그램의 내재가 용이할 뿐만 아니라, 상대적으로 고성능, 저가형, 저소비 전력 특성(정완영과 이승철, 2006)을 가지고 있는 점을 감안하여

Fig. 7 Apparatus of the MCU (ATmega128)

MCU로 선택하였다. ATmega128은 ATmel사가 개발한 CPU이며, 사용 전압이 5V~12V이며, 메모리 기능을 갖추고 있다. 또한 MCU 내재형 산업기기, 제어기기 컨트롤시스템에 널리 이용되고 있다. 프로그램 메모리와 내부 메모리에 접근하기 위한 버스를 독립적으로 사용하는 하버드 구조(Harvard architecture)와 파이프라인 처리방식을 기반으로 하는 RISC 명령어 기술을 적용하여 빠른 명령 처리가 가능한 장점 및 분할 컴파일을 사용하여 확장성이 우수한 편이다. 128Kbyte의 ISR 기반의 플래시 메모리와 4K byte의 EPROM을 지원하며, 추가적으로 512Kbyte의 플래시 메모리 또는 32Kbyte의 SDRAM을 이용할 수 있는 특징이 있다. 내부 메모리는 통신을 통해 센서 데이터를 전달하고 또한 저장할 수 있도록 구현하였다. 또한 내부에 ADC와 외부 인터럽트 기능을 가진 장점이 있다. Fig. 7은 사용된 MCU를 보인 것이다.

3.2 센서 구성

앞서 언급한 바와 같이 PEID는 온도, 압력, 진동 등 각 기기의 상태를 대표하는 신호를 감지할 수 있어야 한다. 광센서, 온도 센서, 가스센서, 압력센서 등이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 예제 개발을 위하여 엔진룸의 경사각 및 온도 계측을 위하여 기울기 센서 및 온도 센서를 채택하였다. 가상 선박의 엔진 구

역의 온도 및 기울기를 5초단위로 모니터링 하는 것으로 가정하였다. 기울기를 계측한 후 수평을 유지할 수 있도록 평형수(Ballasting water) 펌프의 작동을 제어하도록 구상하였다.

Fig. 8은 기울기 센서와 MCU가 연결된 모습을 보인 것이며, 기울기 센서는 $\pm 70^\circ$ 의 측정 범위와 소비전류 1mA인 DAS사의 M3 tilt 센서를 이용하였다. 이 센서는 집적회로가 내장된 전자식 액체 충전방식으로 설계되어 정밀도를 가지고 있으며, 장시간 사용해도 안정된 특성을 가지고 있다. 제품의 크기가 소형이고, 자체 브래킷이 설치되어 X축 또는 Y축으로의 설치가 용이하며 본 개발품에서는 X 축을 사용하였다. ADC 비율 1:32로 정했으며 변환시간을 26 μ sec로 하였다. Fig. 9는 온도 센서와 MCU가 연결된 모습을 보인 것이다. 온도센서는 ATTINY 85 MCU와 병합한 SHT11을 사용하였으며, MCU는 직렬(Serial) 통신의 일종인 UART 통신을 통해서 센서의 온도 값을 전송받을 수 있게 설정하였다. 온도센서는 500ms마다 계측 정보를 MCU에 전송하도록 하였다.

3.3 무선 통신 방법

센서모듈의 데이터 통신 방법으로는 RFID, Zigbee(IEEE 802.15.4), Wifi 등의 무선통신 방법이 가능하다. 또한 일반적으로 데이터 처리기는 응용 프로그램 또는 MCU를 통하여 수행하지만, 본 연구에서는 우선 데이터 처리기는 PLM 서버에 적용하는 것으로 가정하였다.

RFID 시스템은 자체 전원을 가지는 능동형과 비전원 방식의 수동형으로 나누어지며 크게 RFID 태그, reader 그리고 데이터 처리기(Data processing system)으로 구성된다. RFID 태그는 메모리, 프로세서, 그리고 안테나로 구성됨으로써 부착된 제품을 인식시키는 역할을 수행한다. RFID는 Bluetooth, Zigbee와 같은 WPAN 스택(Stack)과 결합된 환경에서 동작되거나 IEEE 802.11x를 이용하여 WLAN과 같은 환경에서 무선 유비쿼터스 시스템을 구성하도록 권장되고 있다(Lopez, 2011; 김진태와 권영미, 2006). 그러나 RFID는 데이터 저장량이 적고 인식률이 떨어지는 단점이 있다. IEEE 802.15.4의 규약으로 정한 Zigbee는 저 전력 소모를 필요로 하는 응용에 주안점을 둔 무선 통신 기술로서 868MHz, 915MHz, 2.4GHz 주파수 대역에 해당하는 근거리 무선 통신 표준이다. 설치비용이 많이 드는 백본이나 인프라가 필요 없기 때문에 설치 및 관리가 용이하며 Bluetooth와는 대조적으로 오직 원격 감지, 감시, 제어, 모니터링의 응용에 초점을 맞추고 저비용으로 전력소모를 최소화 하는 방향으로 설계됐다(황선기와 이상구, 2009). 따라서 Zigbee와 RFID 병합 통신에 적합하며 무선 제어, 무선 네트워크 등의 구현이 용이하다. 이 때문에 근거리 무선 개인 통신망(PAN)으로도 이용해도 될 만큼 추가 확장이 간단한 특징을 갖고 있다.

본 연구는 이러한 특성을 감안하여 PEID와 PLM 서버와 통신 방법으로는 Zigbee를 이용하였다. 제안된 통신 방법은 먼저 RFID를 이용하여 기기의 고유 식별자를 인식하거나, MCU의 주 메모리에 저장된 기기의 고유 식별자를 조회하는 방법으로 PLM의 정보 수집을 시작하며, RFID는 근거리에서 정보를 수집 또는 수정할 수 있는 보완적인 모듈로만 이용하였다. PEID에서 보내는 실시간 정보 값을 수신 받는 PLM 서버는 실

Fig. 8 M3 sensor connected with the MCU

Fig. 9 PEID Prototype with temperature sensor

시간 데이터 값 추적, 추적시간에 따른 정기적인 정비 목록 산출, 신호의 이상 유무 판단정보를 통한 고장 진단이 가능하도록 하였다. RFID의 통신방법은 폴링(Polling) 방법(Kim et al., 2010)을 사용하였으며, 전송 주기는 500ms의 지연(Delay)함수를 이용하여 지정하였다. 폴링 방법은 데이터 링크 방식의 하나이며 송신요구가 없으면 종료코드를 되돌리고 송신데이터가 있으면 정해진 전송형식으로 데이터를 송신하는 특징을 가지고 있다. Fig. 10은 본 연구에서 사용한 Zigbee 모듈인 FZ750BC(Firmtech, 2003)을 보인 것이다. FZ750BC는 IEEE 802.15.4통신 프로토콜 지원하며, 통신 거리는 약 100m 이내, 동작 주파수 2.4GHz, 초당 전송량 250BPS, 그리고 27개의 채널을 가지고 있다. Fig. 11은 각 모듈 사이의 통신 프로토콜을 정리하였다.

Fig. 10 Apparatus of FZ750BC

Fig. 11 Communication protocol of PEID

Fig. 12 Composition diagram of PEID prototype

Fig. 13 Apparatus of PEID module

앞 절에서 언급한 바와 같이 PEID모듈은 PLM 서버와 통신이 가능하도록 구성하였으며, Fig. 12은 온도 센서를 부착한 PEID 모듈의 구성을 나타낸 것이다. Fig. 13은 PEID 모듈을 실제 구성을 보인 것이다. 특히, 온도 모니터링용 PEID는 자체 LED를 통하여 온도가 30도 이하 일 때는 노란색, 30도 이상일 때는 붉은색이 표시되도록 하였으며, LCD에서는 실시간 온도 값이 출력되도록 구성하였다.

3.4 통합 프로그램 구축 예

앞서 정의한 각 구성 요소를 고려한 전체 통합 시스템은 Fig 14에 설명하였다. MCU를 이용한 개발 환경은 TinyOS(김진태와 권영미, 2006) 또는 윈도우즈 계열 운영체제 등이 있으나, 본 연구에서는 개발 환경이 용이한 윈도우즈 환경의 Visual C 6.0 MFC를 사용하였다. 계측 및 이동성을 고려하여 태블릿 컴퓨터에 Zigbee 통신모듈을 추가하여 PEID와 직접 통신하도록 하였다. 사용된 Zigbee 통신의 데이터 전송량은 250kbps이며, 실수형 신호의 획득 빈도(Sampling ratio)는 1.0mSec.로 정하여 통신 부하율은 12.8%로 추정된다. Fig. 15는 개발된 프로그램이 태블릿 컴퓨터에서 운영되는 모습을 보인 것이다. Fig. 16은 PEID로부터

Fig. 14 PEID integrated with PLM

Fig. 15 Tablet PC communicating with PEID through Zigbee protocol

Fig. 16 Example of GUI to display the inclinometer value in PLM

Fig. 17 Example of GUI to display the temperature in PLM

얻어진 엔진 구역의 경사각을 보여주는 화면이며 Fig. 17은 온도센서의 계측 결과를 PLM 서버에서 보여주는 화면이다.

엔진 구역의 온도 안전성 판단 조건은 DnV 엔진 구역 기술문서(DnV, 2000)에서 제시한 것을 참고하여 60도가 넘는 시간이

20분 이상 반복될 경우 위험한 것으로 가정하였다. 본 연구에서는 안전성 판단 기준을 단순하게 특정 온도와 지속 시간으로 지정 하였으나, 이러한 진단 및 안전성 판단을 위해서는 상태 진단(Diagnostics) 기법, 판단 및 예지(Prognostics) 등을 포함한 CBM 기법을 구현하고 이를 PEID의 MCU에 내재시키거나, PLM 서버에서 운영되도록 하여야 할 것이다. CBM 기법을 구현하기 위해서는 각 기기의 고장 특성 및 신호의 특징에 따라서 적용 방법을 선택하여야 하며, 이를 위해서는 EFDIA, ARMA, FFT, Wavelet, HMM, SOM 등 다양한 방법이 추가적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 18은 계측된 온도를 500 μ s마다 평균하여 표시한 것이다. 앞서 설명한 바와 같이 이동 가능한 윈도우 기반의 Tablet PC를 서버가 PEID와 통신함으로써 계측한 정보를 보인 화면이다. 또한, PEID의 MCU 메모리 기능을 이용하여, PLM에서 관리하는 부품의 신뢰성 정보(예, 평균고장시간), 정기 점검 일정 등을 저장할 수 있도록 하였다.

Fig. 18 Diagnosis operation based on the temperature

4. 결 론

MOL 단계의 PLM은 운영 및 사용단계에서 수리이력, 고장이력, 정비이력 등의 정보 관리 뿐만 아니라 상태 추적 및 진단, 예지 기능이 필요하다. 특히, 상태 추적 및 진단, 예지 기능의 전체 조건으로 MOL 단계의 주요 장비의 상태 정보 획득을 위한 PEID 모듈이 필요하다. 이러한 목적으로 상태 정보 획득, 유지보수 정보 축적 등이 가능한 PEID 모듈을 구현하였다. 이를 위하여 MCU 등을 활용한 능동형 PEID 아키텍처와 구성 요소를 정의하고 프로토타입으로 구현하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- PEID는 MCU, 센서, ADC 등으로 구성되어 독립된 모듈의 형태로 제작하였다.
- RFID의 전원 유지 및 인식 거리를 보완한 Zigbee 통신을 이용한 데이터 전송 방법을 구현하였다.
- Zigbee 통신을 이용하여 PLM 서버와 PEID가 쌍방향으로 센서 정보 및 제품 정보를 축적·교환할 수 있도록

하였다.

- 선박의 엔진 구역 내의 온도 및 선박의 기울기를 측정하기 위한 목적으로 센서를 선택하여 모형을 대상으로 계측 결과를 제시함으로써 가능성을 확인하였다.
- PEID와 태블릿 컴퓨터에 설치된 PLM 시스템이 Zigbee 통신을 통하여 센서 정보 및 제품 정보를 상호간 송수신 할 수 있도록 예제를 구현하였다.

본 연구는 실시간으로 정보 획득 방안을 구현하였으나, 획득된 정보는 각 기기의 상태 진단, 고장 예지 등으로 확장되어야만 의미를 갖는다. 따라서 다양한 종류의 기기에 따라 적절한 진단 및 예지 기법을 추가적으로 구현하는 것이 필요하다. 추가적인 보완될 내용은 아래와 같이 정리할 수 있다.

- MCU의 데이터 연산 기능을 이용한 진단, 예지 기법 알고리즘의 구현
- PLM 서버의 진단, 예지 및 판단 기능 추가 구현
- SNS를 이용한 다양한 종류의 센서의 통합 기법
- 통신 부하를 감안한 통신 방법의 적절한 선택
- 실선 적용을 통한 통신 오류 및 신호 획득 오류 등의 점검 및 제거

본 연구는 운영 단계에 놓인 선박해양구조물 장비의 실시간 정보를 획득하고 PLM 및 PEID에 유지보수 정보를 축적할 수 있는 가능성을 확인하였으나, 상기에 제시한 바와 같이 진단, 예지 기능 및 PEID 모듈의 대용량 통신, 센서 통합등과 관련된 추가 연구가 필요하다고 사료된다.

약어 설명

ADC	Analogue-Digital Convertor
ALM	Asset Lifecycle Management
AR	Autoregressive
ARMA	Autoregressive Moving Average
BOL	Begin Of Life
BOM	Bill Of Material
BPS	Bit Per Second
BSC	Balance Score Card
CBM	Condition Based Maintenance
CMMS	Computerized Maintenance Management System
CRIS	Common Relational Information Schema
CSI	Communication Support Infrastructure
DSS	Decision Support System
EFDA	Early Failure Detection and Isolation Arrangement
EOL	End Of Life
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise Resource Planning
FFT	Fast Fourier Transform
GIS	Graphic Information System

HMM	Hidden Markov Model
ICAS	Integrated Condition Assessment System
IDU	Intelligent Data Unit
ISR	In-System Re-programmable
MCU	Micro Controller Unit
MIMOSA	Machinery Information Management Open System Alliance
MOL	Middle Of Life
MRO	Maintenance Repair and Overhaul
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
OSA	Open System Architecture
PDKM	Product Data and Knowledge Management
PEID	Product Embedded Information Devices
PLM	Product Lifecycle Management
RAM	Reliability, Availability, Maintainability
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RFID	Radio Frequency IDentification
SNS	Sensor Networking System
SOM	Self Organizing Map
TSA	Time Synchronous Average
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
USN	Ubiquitous Sensor Network

후 기

본 논문은 과학재단 특정기초연구(R01-2009-0080880, 지능형 Data Interaction 정보를 가진 확장형 선박 PALM 시스템, 지식 경제 부서의 산업전략 기술 프로그램 중 선박 및 해양 플랜트의 운영 단계 생애주기 관리 시스템 개발(Project ID:10040162)의 지원을 받아 수행된 연구결과와 일부이며, 연구 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김승현, 이장현, 이경호, 박광필, 서흥원 (2010). "4-계층 모델 기반의 선박 수명주기관리 시스템 프레임워크," 한국 CAD/AM 학회 논문집, 제15권, 제5호, pp 362-374.
- 김승현, 이장현, 손금준, 한은정 (2012). "선박해양구조물의 유지보수 단계 수명주기관리 정보 시스템의 개념 설계와 구현," 한국해양공학회지, 제26권, 제2호, pp 58-67.
- 김진태, 권영미 (2006). "RFID와 Zigbee를 이용한 유비쿼터스 u-health 시스템 구현", 2006년 전자공학회 논문지, 제43권, TC편 1호, pp 79-88.
- 소승욱 (2010). "선박 수명주기 관리를 위한 CMMS 개발 추진 사례," 2010 PLM 컨소시엄컨퍼런스.
- 이경호 (2004). "동시공학적 선박설계를 위한 웹 기반의 협업설계 시스템", 한국해양공학회지, 제18권, 제6호, pp 37-43.
- 정완영, 이승철 (2006). "신경회로망 알고리즘과 ATmega128칩을 활용한 자동차용 지능형 AQS 시스템", 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제12권, 제6호, pp 539-546.

- 황선기, 이상구 (2009) "ZigBee의 영상 전송을 이용한 침입자 탐지 시스템 구현", 보안공학연구논문지, 제6권, 제4호, pp 241-251.
- Bodenhoefer, K., Schneider, A., Cock, T., Brooks, A., Sands, G., Allman, L., Simon, M., Chong, S.K., Yang, X., Delannoy, O., Catanese, B. and Mueller, K. (2004). "Environmental life cycle information management and acquisition: first experiences and results from field trials", Proceedings of the Conference on Electronics Goes Green 2004.
- Chang, K.P., Rausand, M. and Vatn, J. (2008). "Reliability Assessment of Reliquefaction Systems on LNG Carriers", Reliability Engineering and System Safety, Vol 93, No 9, pp 1345-1353.
- Cao, H., Folan, P., Mascolo, J. and Browne, J. (2012). "RFID in Product Lifecycle Management: A Case in the Automotive Industry", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 22, No 7, pp 616-637.
- Dalpiatz, G., Rivola, A. and Rubini, R. (2000). "Mechanical Systems and Signal Processing", Vol 14, No 3, pp 387-412.
- DnV (2000). Technical Paper-Hot Surfaces in Engine Rooms Paper Series No. 2000-P025.
- EPCglobal (2006). EPC Information Services (EPCIS) Version 1.0 Specification, working draft.
- Fernández, J.F. and Márquez, A.C. (2009). "Framework for Implementation of Maintenance Management in Distribution Network Service Providers", Reliability Engineering & System Safety, Vol 94, No 10, pp 1639-1649.
- Firmtech (2003). Zigbee Embedded Modules FZ750BS/FZ750BC Manual VERSION 0.1.7, Firmtech Co., Ltd.
- Forss, B., Petrow, J., Framling, K., Dikici, C. and Anke, J. (2006). PROMISE DR6.5: interface definition and design of enterprise communication infrastructure.
- Grall, A., Berengure, C. and Dieulle, L. (2002). "A Condition-based Maintenance Policy for Stochastically Deteriorating Systems", Reliability Engineering and System Safety, Vol 76, pp 167-180.
- Gulledge, T., Hiroshige, S. and Iyer, R. (2010). "Condition-based Maintenance and the Product Improvement Process", Computers in Industry, Vol 61, No 9, pp 813-832.
- Jakkhupan, W., Arch-int, S. and Li, Y. (2011). "Business Process Analysis and Simulation for the RFID and EPC-global Network Enabled Supply Chain: A Proof-of-concept Approach", Journal of Network and Computer Applications, Vol 34, No 3, pp 949-957.
- Jardine, A.K.S., Lin, D. and Banjevic, D. (2006). "A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-based Maintenance", Mechanical Systems and Signal Process, Vol 20, No 7, pp 1483-1510.
- Jun, H.B., Kiritsis, D., and Xiouchakis, P. (2007). "Research Issues on Closed-loop PLM", Computers in Industry, Vol 58, No 8-9, pp 855-868.
- Jun, H.B., Shin, J.H., Kim, Y.S., Kiritsis, D. and Xirouchakis, P. (2009). "A Framework for RFID Applications in Product Lifecycle Management", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 22, No 7, pp 595-165.
- Kim, S.H., Lee, J.H., Kim, K.S. and Jeon, J.I. (2010). "An Implementation Enterprise BOM for Marine Vessel of Pipe Equipment", Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol 16, No 1, pp 41-51.
- Kiritsis, D. (2011). "Closed-loop PLM for Intelligent Products in the Era of the Internet of Things," Computer-Aided Design, Vol 43, No 5, pp 479-501.
- Liu, Z., Yin, X., Zhang, Z., Chen, D. and Chen, W. (2004). "Online Rotor Mixed Fault Diagnosis Way Based on Spectrum Analysis of Instantaneous Power in Squirrel Cage Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 19, No 3, pp 485-490.
- López, T.S. (2011) "RFID and Sensor Integration Standards: State and Future Prospects", Computer Standards & Interfaces, Vol 33, No 3, pp 207-213.
- Miller, A.J. (1999). "A New Wavelet Basis for the Decomposition of Gear Motion Error Signals and its Application to Gearbox Diagnostics", M.Sc. Thesis, The Pennsylvania State University.
- MIMOSA (2010). OpenO&MTM CIR Specification A Common Interoperability Registry V1.0.
- Moore, P.R., Pu, J., Xie, C., Simon, M. and Bee, G. (2000). "Life Cycle Data Acquisition Methods and Devices" Proceedings of the 7th Mechatronics Forum International Conference (Mechatronics 2000).
- Muller, A., Marquez, A.C. and Iung, B. (2008). "On the Concept of E-maintenance: Review and Current Research", Reliability Engineering and System Safety, Vol 93, No 8, pp 1165-1187.
- Park, H.S. and Choi, W.S. (2005). "Disassembly Process Planning of End-of-Life Car", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol 6, No 1, pp 42-50.
- Pandian, A. and Ali, A. (2010). "A Review of Recent Trends in Machine Diagnosis and Prognosis Algorithms", International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications, Vol 2, pp 320-328.
- Simon, M., Allman, L., Moore, P.R., Yang, X. and Cock, T. (2004). "Product Design Informed by Lifecycle Information: Initial Results from ELIMA", Proceedings of the 2nd International Conference on Manufacturing Research (ICMR2004), pp 103-122.

- Simon, M. Bee, G., Moore, P.R, Pu, J. and Xie, C. (2000). "Life Cycle Data Acquisition Unit-design, Implementation, Economics and Environmental Benefits," Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, pp 284-289.
- Thomas, G., Scott, H. and Raj, I. (2010). "Condition-based Maintenance and the Product Improvement Process", Computers in Industry, Vol 61, No 9, pp 813-832.
- Xiaoyu, Y., Philip, M. and Seng, K.C. (2009). "Intelligent Products: From Lifecycle Data Acquisition to Enabling Product-related Services", Computers in Industry, Vol 60, No 3, pp 184-194.
- Wang, Y., Linch, J.P. and Law, K.H. (2007). "Wireless Sensing Technologies for Civil Infrastructure Monitoring and Management", 5th International Symposium for Safety of Infrastructure, U-Safety for Infrastructure.
- Williams, J.H., Davies, A. and Drake, P.R. (1994). "Condition Based Maintenance and Machine Diagnostics", Chapman & Hall.
- Yang, X., Moore, P. and Chong, S.K. (2009). "Intelligent products: From Lifecycle Data Acquisition to Enabling Product-related services", Computers in Industry, Vol 60, No 3, pp 184-194.

2012년 2월 8일 원고 접수

2012년 10월 10일 심사 완료

2012년 10월 25일 게재 확정