

스마트워터그리드 맞춤형 기계과부하시 오감기술을 이용한 무인 수처리 시스템에 관한 연구

김재열*, 유관종**,#, 정윤수***, 안태형****, 이학재*****

*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부, **조선대학교 기계공학과,

조선대학교 일반대학원 기계시스템공학과, *주식회사 ATS, ***** (재)광주과학기술진흥원

Unmanned Water Treatment System Based on Five Senses Technology to Cope with Overloading of Customized Smart Water Grid Machines

Jae-Yeol Kim*, Kwan-Jong You**,#, Yoon-Soo Jung***, Tae-Hyoung Ahn****, Hak-Jae Lee*****

*Dept. of Mechanical Systems and Automotive Engineering, Chosun Univ.,

**Dept. of Mechanical Engineering, Chosun Univ.,

***Dept. of Mechanical Engineering, Graduate school of Chosun Univ.,

****ATS CO.,Ltd., *****GSTEC Foundation.

(Received 5 December 2015; received in revised form 9 December 2015; accepted 11 December 2015)

ABSTRACT

In order to use, manage, and preserve sustainable water resources for the current and future generations amid the threat of abnormal climate, it is necessary to establish a smart water grid system, the next-generation intelligent water management system. In this study, sensors, which make use of the five senses to watch, listen, and detect machine vibration, bearing temperature, machine operation sounds, current, voltage, and other symptoms that cannot be verified when the irrigation facilities are running, are used to establish various decision-making criteria appropriate to on-site situations. Based on such criteria, the unmanned conditions in the facilities were verified and analyzed. Existing technologies require on-site workers to check any defects caused by overloading of machines, which is the biggest constraining factor in the application of an unmanned control system for irrigation facilities. The new technology proposed in this study, on the other hand, allows for the unmanned analysis of the existence of machine vibration. This controls the decision-making process of any defect based on the analysis results, and necessary measures are taken automatically, resulting in improved reliability of the unmanned automation.

Key Words : Smart Water Grid(스마트워터그리드), Disaster(재난), Five Senses(오감기술), Unmanned Irrigation(무인 수처리), Machine Overload(기계과부하)

1. 서 론

Corresponding Author : kjyu@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7207, Fax: +82-62-233-7988

“20세기의 전쟁이 석유를 차지하기 위한 전쟁이

었다면, 21세기의 전쟁은 물을 차지하기 위한 전쟁이 될 것이다.” 라고 세계은행의 부총재였던 ‘이스마일 세라겔딘(Ismail Serageldin)’ 이 말했다. 지난 5월 세계은행은 기후변화로 인한 물 부족이 경제에 미치는 영향에 관한 보고서를 발표했는데, ‘전세계 인구의 4분의 1이 이미 물 부족 국가에 살고 있으며, 물 관리에 실패한 국가는 2050년까지 국내총생산(GDP)이 최대 6% 감소할 수 있다.’ 고 경고했다. 실제 전세계적으로 이상 기후현상이 심각해짐에 따라 홍수와 가뭄도 빈번하고 그 피해도 날로 커져가고 있다. 우리나라도 최근 들어 가뭄이 심해지고 있다. 아직까지는 일부 지역에 국한되어 많은 국민들이 그 심각성을 체감하지 못하고 있지만 머지않아 점점 피해지역이 확산될 것으로 예상되고 있다.

이상기후에 대한 대응, 그리고 지속 가능한 수자원 개발을 위해 하나의 대안으로 대두되고 있는 것이 스마트워터그리드(Smart Water Grid : SWG)이다. 이상기후의 위협에도 현재와 미래세대를 위한 지속 가능한 수자원을 활용, 관리, 보존하기 위해서는 차세대 지능형 물 관리 시스템인 스마트워터그리드의 구축이 요구된다. 스마트워터그리드는 기존 수자원 관리 시스템의 한계를 극복하기 위해 첨단 정보통신기술(Information Communication Technology : ICT)을 활용하여 우수, 하천수, 지하수, 하폐수처리수, 해수담수 등 다양한 수자원을 효율적으로 배분·관리·수송하여 수자원의 지역적·시간적 불균형을 해소하는 ‘지능형 물관리 시스템’이다.

SWG 기술은 글로벌 수준의 국내 IT 기술역량을 활용하고 기후변화에 대응할 수 있는 차세대 첨단 녹색 물산업의 중심 기술이 될 수 있을 것으로 보인다. 그리고 중소단위의 원천기술 확보를 통해 수자원 확보, 수자원 격차 해소, 수질 및 물공급의 안정성, 저에너지 고효율의 기술을 바탕으로 물산업 관련 중소기업의 활성화는 물론 개발도상국 등 해외시장 진출에도 크게 도움이 될 것으로 기대된다.

이상기후로 강우가 발생하는 시점에서 시설물을 제어시 배수의 감당량을 초과하는 단기간 다량의 강우형태를 보임으로써, 기존 제어 시스템 방식으

로는 해법을 찾을 수 없고, 펌프 용량증대, 저수지 독높임과 같은 구조적 대응의 한계에 이르게 되었다. 또한, 국지성 집중호우와 같은 긴박한 상황에서 다수의 시설물에서 발생하는 동시 다발적인 기계, 통신의 문제, 현장 변수 발생에 대해 한정된 인력이 관리하기에는 어려운 현실이다. 즉, 인력에 의해 원격으로 관리되는 감시제어시스템의 경우 기계의 과부하로 인한 고장으로 원격제어가 불가능한 상황에 있어, 집중호우 발생 현장을 관리자가 직접 가서 해결하기에는 골든타임 내에 처리할 수 없어 인명과 재산피해를 가져오게 된다. 따라서 사전에 관리자에 의해 재난재해 메뉴얼에 따라 설정된 시스템에 의해 재해에 대비하여 무인 수리시설 제어로 동작하고 그 결과를 관리자나 관련기관에 신속하게 전달하는 시스템이 필요하게 되었다.

본 연구는 수리시설에 무인 제어를 적용할 수 없는 가장 큰 제약조건인 기계의 과부하로 인한 고장발생시 오감센서가 기계의 진동, 온도, 동작소리, 전압, 전류 등 현장 상황에 맞는 다양한 판단기준을 설정하고 분석하여 이에 따른 이상 유무 판단을 시스템이 무인으로 수행하여 수리시설 제어의 신뢰성을 향상시키는데 목적이 있다^[1~4].

2. 무인 수처리 원리 및 설계

2.1 이론적 고찰

기존 원격감시제어시스템의 네트워크망이 단절된

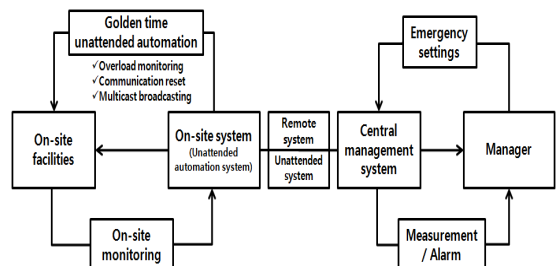


Fig. 1 Overall conceptual diagram of new technology

경우 무용지물이 된다는 단점을 극복한 신기술의 무인 수리시설 제어시스템은 네트워크망이 단절되더라도 현장에 설치된 장비가 현장의 계측값에 따라 스스로 무인 운전을 함으로써 동시다발적으로 발생할 수 있는 재난재해의 골든타임에 신속하게 대응할 수 있다. 무인 수리시설 제어에 대한 동작 신뢰도를 높이기 위해 현장에서 계측된 데이터를 기준값으로 활용하여 관리자가 내리는 의사결정과 동일하게 작용하도록 하였다. 유인과 무인 관리모드를 동시 지원하여 관리 효율을 극대화하였으며, 관리자가 다른 시설물로 이동중이거나 점검중인 순간에 발생하는 재난재해 상황에 시스템이 스스로 동작함으로써 재난과 재해 저감 효과를 극대화하는 신기술이다. Fig. 1은 신기술의 전체 개념도를 나타내고 있다. 무인자동화 시스템에 입력되는 내용은 영상 및 음향, 상태감시 및 진동, 수위, 온도, 유량 등 계측값을 수집하고 분류하며 검증한다.

무인 수리시설 제어시스템을 통해 수집된 데이터는 인터넷을 통해 실시간 데이터베이스에 전달되어 데이터가 분석·판단·저장되며, 이벤트 발생조건과 비교하여 일치하는지 여부를 판단한다. 중앙처리시스템은 관련기관 자료인 기상청 기상예보자료, 홍수통제소 하천 주변 주요지점 수위자료, 국립해양조사원 조석예보 등의 자료를 주기적으로 수집하여 분석·판단하며 그 결과는 관리자의 모니터에 표출되고, 이벤트 발생조건과 일치할 경우 관리자 또는 관련기관 담당자에게 동보 핸드폰 문자메시지(SMS)나 동보팩스로 하나의 송신 장치에서 여러 개의 수신 장치로 동시에 같은 내용의 정보를 보내는 통신 방법으로 이벤트를 처리하고 이벤트에 따른 홍수저감 시설물 제어를 자동 또는 수동으로 수행한다^[5-10].

2.2 무인자동화를 위한 기계과부하시 해결방법

집중호우로 인해 수위가 급격하게 상승하고 있는데 현장 기계측의 모터(권양기 등) 과부하 발생은 화재 발생의 요인이 된다. Fig. 2는 기계과부하 발생시 시스템 처리과정 절차도이다. 본 논문에 적

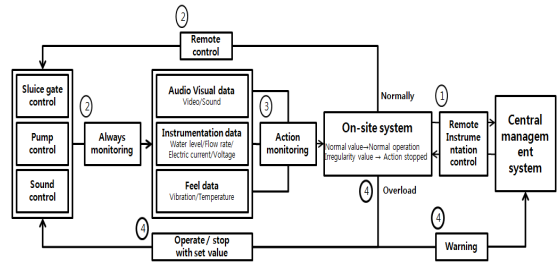


Fig. 2 The procedure of the process of the system at the time of overload of the machine

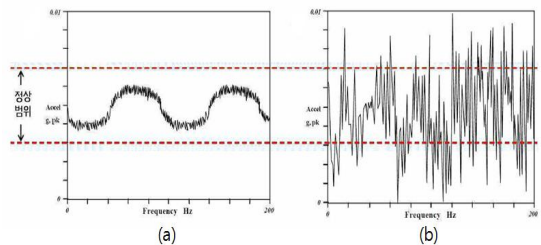


Fig. 3 Waveforms of vibration and sound graphs during machine operation (a : normal, b : abnormal)

용된 무인 수리시설 제어시스템은 Fig. 2와 같이 기계측에 연결된 온도센서에서 정상범위 이상의 값이 수집될 경우 모터 동작을 즉시 중단하고, 중앙처리시스템으로 이벤트(EOCR)를 발생시켜 화면에 알람 경고창을 띄우고 동보 핸드폰 문자메시지(SMS) 발송으로 상황을 알려줌으로써 기계과부하로 인한 화재의 위험을 막는다. 또한, 수문에 이물질이 끼여 수문을 닫거나 열 수 없는 상황에서 기계측에 연결된 진동, 베어링온도, 기계동작음, 유압식 수문의 압력, 전류, 전압 등 현장 상황에 맞는 다양한 판단 기준값이 정상범위 이상의 값으로 수집될 경우 무인 수리시설 제어시스템은 자동으로 수문을 설정시간 간격으로 복귀, 열림, 정지, 닫힘을 통해 수문을 상하 이동시켜 수압으로 이물질을 제거하고 중앙처리시스템으로 처리결과를 전송하여 관리자 PC 화면에 표출하고 동보 핸드폰 문자메시지(SMS) 발송으로 상황을 알려줌으로써 기계고장이나 과부하를 막는다.

Fig. 3은 센서신호 입력부에서 입력되는 진동

신호에 따라 원격감시제어수단의 그래프 생성부에 의해 처리된 그래프를 나타낸 예시도이다. 시간함수 도표(Time Base Plot)는 진동 그래프 중 가장 기본적인 형태로써 수리시설물에서 발생하는 진동을 그대로 눈으로 볼 수 있도록 옮겨 놓은 아날로그(Analogue) 형태의 그래프이다. 이는 진동에 관한 도표 중 가장 기본이 되는 것이며, 변환 과정에서 필요한 정보가 없어지지 않고, 가장 원본에 가까운 진동으로 볼 수 있다. Fig. 3의 (a)그림은 정상 모터 동작시 발생하는 진동 그래프이며, (b)그림은 베어링이 과부하로 손상된 모터 동작시 발생하는 진동 그래프를 나타낸 것이다. 정상 모터 동작시 발생하는 진동 그래프는 규칙적 진동 파형을 그리고 있으나, 베어링이 손상된 모터 동작시 발생하는 진동 그래프의 경우 불규칙적인 진동 파형과 피크(Peak)값을 초과하는 진동값이 다량으로 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 정상범위의 진동값을 설정하고 해당 설정값을 벗어나는 경우를 이상 신호로 판단하여 이상 발생시 기계 동작을 즉시 정지시키고 관리자 PC 화면에 경보창을 팝업시키며, 관리자 핸드폰에 문자메시지(SMS)로 알려 조치하도록 한다.

2.3 무인자동화를 위한 동보 알림 해결방법

집중호우로 인해 상류측 수위가 급격하게 상승하고 수문을 제어하여 하류로 물을 방류할 경우 관련기관이나 인근 주민, 행락객들에게 내용을 신속하게 알리지 못할 경우에는 하류측에 인명과 재산피해를 발생할 수밖에 없는 상황이다.

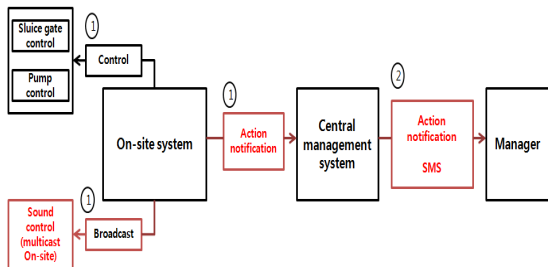


Fig. 4 Broadcast system processing procedure

Fig. 4는 동보시스템 처리과정 절차도이다. 본 논문에 적용된 무인 수리시설 제어시스템은 Fig. 4와 같이 설정된 관리수위 이상으로 상승하여 수문을 열어 물을 방류할 때 중앙처리시스템은 화면에 관리수위 이상의 수위값이 발생하여 수문을 개방한다는 내용을 시스템 알람으로 알리고 핸드폰 문자메시지(SMS)로 전송한다. 동시에 관련기관의 관계자에게 동보 SMS와 동보 FAX를 보내고 현장측 방송장치를 통해 저장된 동보방송을 송출하여 수위상승으로 인한 수문개방 골든타임 이내에 처리될 수 있도록 자동으로 수행한다. 이를 자동화가 아닌 사람이 직접 수행할 경우 수문을 열어야 하는 골든타임을 초과하거나 상황을 제때 전파하지 못함으로 인명과 재산피해를 입게 된다.

3. 무인 수처리 시스템 개발 및 실험

3.1 시스템 개발

전문 기술자만 설계, 시공, 유지관리가 가능했던 기존 시스템과 달리 논문에 적용된 시스템은 일반인도 쉽게 적용 가능하여 수리시설물별 감시, 계측, 제어의 특징에 적합하도록 규격화된 하드웨어와 원클릭 자동 설치 및 연결이 가능한 소프트웨어를 제공함으로써 발주자의 필요와 의도에 따라



Fig. 5 Equipment configuration of water treatment system



Fig. 6 Implementation of GUI of water treatment system

손쉽게 설계, 시공, 유지관리가 가능하도록 개발하였다. Fig. 5는 수처리 시스템 장비 구성이다. 좌측부터 수문모형(현장 수리시설물), 신기술 시험장치, 프로그램으로 구성되어있다. Fig. 6은 수처리 시스템 GUI를 구현한 모습이다.

3.2 실험

3.2.1 실험장치 구성

수문모형 1식, 수위센서 2식(내수위, 외수위), 진동센서 1식, 온도센서 1식, 현장제어반 1식, 무인수리시설 제어시스템 1식, 노트북(물관리 프로그램 탑재) 1식, 상용인터넷 2회선 등으로 구성하였다.

3.2.2 매뉴얼을 적용한 실험방법

매뉴얼 적용한 실험방법에서 수리시설 제어시스템 ‘자동모드’에서 실험이다. 실험항목은 ‘계측감시’, ‘자동방송’, ‘자동제어’, ‘계측감시’, ‘자동제어’ 순으로 진행된다. ‘계측감시’에서 실험방법은 먼저 프로그램에서 설정버튼을 클릭 후 관리수위를 설정하는 화면을 캡처한다. 프로그램에서 자동운전 모드를 선택한 화면을 캡처한 후, 수위값이 변화되면 프로그램 화면을 캡처한 후, 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오

실로스코프로 파형을 측정한다.

‘자동방송’에서는 현장 시스템이 자동으로 방송을 송출할 때 스피커 단자에서 송출되는 출력신호를 오실로스코프로 측정한다.

‘자동제어’에서는 내수위가 관리수위 이상으로 상승하여 현장 시스템이 자동으로 수문을 열 때 오실로스코프로 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한 후 수문이 열릴 때 프로그램 화면을 캡처한다.

‘계측감시’에서는 수위값이 변화되기 전 프로그램 화면을 캡처한 후, 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한다. 수위값이 변화되면 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동제어’에서는 내수위가 관리수위 이하로 내려가 현장 시스템이 자동으로 수문을 닫힐 때 오실로스코프로 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한 후, 수문이 자동으로 닫힐 때 프로그램 화면을 캡처한다.

3.2.3 기계과부하시 무인 수리시설 제어 시스템 동작 실험방법

실험항목은 ‘계측감시’, ‘자동방송’, ‘자동제어’, ‘계측감시’, ‘자동제어’, ‘계측감시’, ‘자동제어’, ‘자동제어’, ‘자동제어’ 순으로 진행된다.

‘계측감시’에서는 수위값이 변화되기 전 프로그램 화면을 캡처한 후, 내수위를 관리수위 이상으로 공급하여 수위값이 변화될 때 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한 후, 프로그램에서 수위값이 변화되면 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동방송’에서는 현장 시스템이 자동으로 방송을 송출할 때 스피커 단자에서 송출되는 출력신호를 오실로스코프로 측정한다.

‘자동제어’에서는 ‘수문 열림’시 내수위가 관리수위 이상으로 상승한 후 현장 수문이 열리기 시작할 때 오실로스코프로 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한 후, 수문이 열릴 때 프로그램 화면을 캡처한다.

‘계측감시’에서는 수위값이 변화되기 전 프로

그램 화면을 캡처한다. 내수위를 관리수위 이하로 공급하여 수위값이 변화될 때 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한다. 수위값이 변화된 후 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동제어’에서는 ‘수문 닫힘’ 시 내수위가 관리수위 이하로 하강한 후 현장 수문이 닫히기 시작할 때 오실로스코프로 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한다. 수문이 닫힐 때 프로그램 화면을 캡처한다.

‘계측감시’에서는 수문 아래측에 이물질이 끼어 있는 현장을 사진으로 촬영한다. 이물질에 걸려 수문이 내려가지 않을 때 현장 시스템의 전류 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한다. 이 때 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동제어’에서의 ‘수문 닫힘중’ 상태에서 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한다. 프로그램 화면을 캡처한다. ‘수문 열림’ 상태에서 현장 시스템이 자동으로 수문을 열 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한다. 프로그램 화면을 캡처한다. ‘수문 정지’ 상태에서 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한다. 프로그램 화면을 캡처한다. ‘수문 닫힘’ 상태에서 현장 시스템이 자동으로 열릴 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한다. 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동제어’의 수문이 열리고 있을 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한다. 수문이 열리고 있는 프로그램 화면을 캡처한다. 수문 동작 중 진동이 발생하여 설정된 진동값을 초과할 경우 현장 시스템의 진동 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한다. 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한다. 이 때, 진동값이 초과되어 알람이 발생한 프로그램 화면을 캡처한다.

‘자동제어’의 수문이 닫히고 있을 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한다. 수문이 닫히고 있는 프로그램 화면을 캡처한다. 수문 동작 중 설정된 온도값을 초과할 경우 현장 시스템의 온도 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정

한다. 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한다. 이 때, 온도값이 초과되어 알람이 발생한 프로그램 화면을 캡처한다.

3.2.4 무인 수리시설 제어시스템 온도변화 실험 및 내습성 실험방법

수리시설이 설치되는 대부분의 현장은 고온·다습한 환경으로 기존 시스템의 경우 릴레이의 부식, 자화 등으로 잦은 고장 또는 이상동작을 발생시켜 왔다. 본 논문에서 적용된 시스템은 고온·다습한 환경에 적합하도록 KOLAS 규격에 따라 진행된다.

시험항목 ‘온도변화’는 KS C IEC 60068-2-14:2014 기준이며, 시험항목 ‘내습성’은 KS C IEC 60068-2-78:2002 기준이다. Table 1은 온도변화 실험 조건을 나타내고, Table 2는 내습성 실험 조건을 나타낸다.

두 실험 모두 육안검사와 성능확인 실험 전, 실험 중, 실험 후 LED 점등 및 오디오포트 통신 상태 이상 유/무를 통해 확인한다.

Table 1 Experiment of temperature change

Experimental method	
- Temperature :	- 20℃~85℃
- Retention time :	3h
- Temperature change rate :	1℃/min
- Test cycle :	2 weeks
- Test time :	9h 30min
- Preprocessing :	1h
- Post processing :	1h
- Total experiment time :	21h

Table 2 Experiment on moisture proof

Experimental method	
- Temperature and humidity :	(40±2)℃, (85±2)%R.H
- Experiment time :	12h
- Preprocessing :	1h
- Post processing :	1h
- Test time :	14h 30min

4. 실험결과

4.1 매뉴얼을 적용한 실험결과

Fig. 7은 매뉴얼을 적용한 무인 수처리시설 제어 시스템(자동) 동작실험 GUI를 나타낸다. 시험항목 ‘계측감시’에서 프로그램에서 관리수위를 설정 후 자동운전 모드 선택화면이다. Fig. 8은 시험항목 ‘계측감시’에서 수위값 변화 후 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프 파형을 측정 한 결과이다. Fig. 9는 시험항목 ‘자동방송’에서 현장 시스템이 자동으로 방송을 송출할 때 스피커 단자에서 송출되는 출력신호를 오실로스코프로 측정한 결과이다. Fig. 10은 시험항목 ‘자동제어’에서 내수위가 관리수위 이상으로 상승하여 현장 시스템이 자동으로 수문을 열 때 오실로스코프로 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한 결과이다. Fig. 11은 시험항목 ‘계측감시’에서 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프 파형을 측정한 결과이다. Fig. 12는 시험항목 ‘자동제어’에서 내수위가 관리수위 이하로 내려가 현장 시스템이 자동으로 수문을 닫힐 때 오실로스코프로 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한 결과이다.



Fig. 7 Controlled water level setting screen

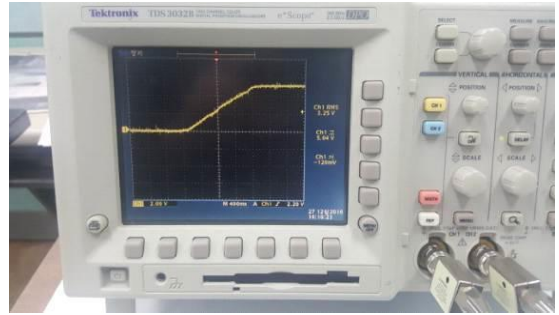


Fig. 8 Inside water level AI terminal waveform

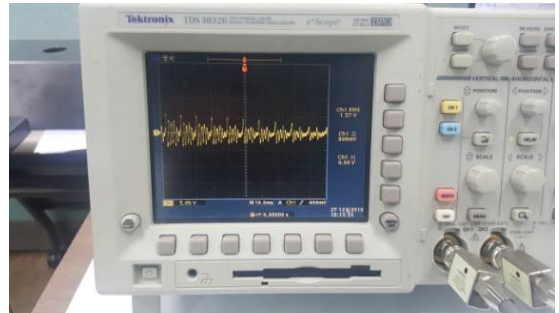


Fig. 9 Automatic broadcast output waveform

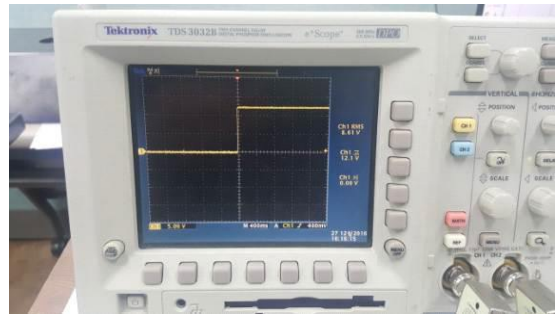


Fig. 10 Open DI signal waveform

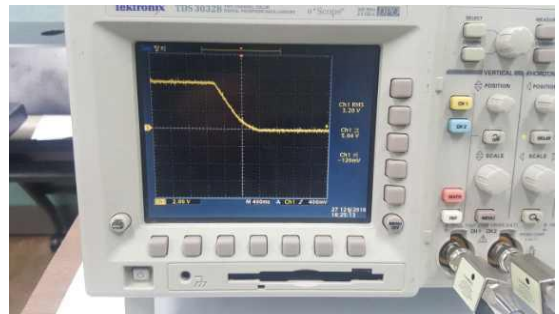


Fig. 11 Inside Water level AI terminal waveform

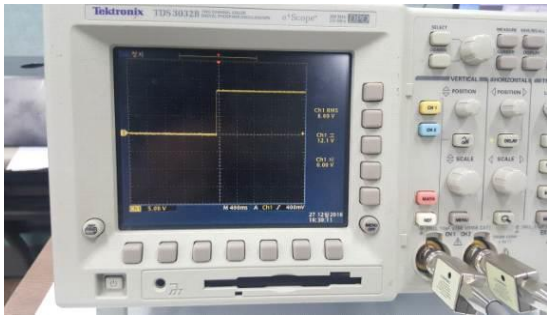


Fig. 12 Closed DI signal waveform

4.2 기계 과부하시 무인 수리시설 제어시스템 동작 실험결과

기계과부하시의 상황을 재연하기 위해 Fig. 13은 시험항목 ‘계측감시’에서 수위값이 변화되기 전 내수위를 관리수위 이상으로 공급하여 수위값이 변화될 때 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한 결과값이다. Fig. 14는 시험항목 ‘자동방송’에서 현장 시스템이 자동으로 방송을 송출할 때 스피커 단자에서 송출되는 출력신호를 오실로스코프로 측정한 결과값이다. Fig. 15는 시험항목 ‘자동제어’에서 내수위가 관리수위 이상으로 상승한 후 현장 수문이 열리기 시작할 때 오실로스코프로 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정한 결과값이다. Fig. 16은 시험항목 ‘계측감시’에서 내수위를 관리수위 이하로 공급하여 수위값이 변화될 때 현장 시스템의 내수위 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정한 결과값이다. Fig. 17은 시험항목 ‘자동제어’에서 ‘수문 닫힘’시 내수위가 관리수위 이하로 하강한 후 현장 수문이 닫히기 시작할 때 오실로스코프로 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정한 결과값이다. Fig. 18은 시험항목 ‘계측감시’에서 이물질에 걸려 수문이 내려가지 않을 때 현장 시스템의 전류 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정할 결과값이다. Fig. 19는 시험항목 ‘자동제어’에서 ‘수문 정지’시 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정할 결과값이다. Fig. 20은 시험항목 ‘자동제어’에서 ‘수문 열림’시 현장

시스템이 자동으로 수문을 열 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정할 결과값이다.

Fig. 21은 시험항목 ‘자동제어’에서 ‘수문 정지’시 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정할 결과값이다. Fig. 22은 시험항목 ‘자동제어’에서 ‘수문 닫힘’시 현장 시스템이 자동으로 닫힐 때 현장 시스템의 닫힘 DI 신호의 파형을 측정할 결과값이다. Fig. 23은 시험항목 ‘자동제어’에서 수문 동작 중 진동이 발생하여 설정된 진동값을 초과할 경우 현장 시스템의 진동 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정할 결과값이다. 또한 현장 시스템이 자동으로 수문을 정지할 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정하였고, 이때 진동값이 초과되어 알람이 울리는 것을 확인하였다. Fig. 24는 시험항목 ‘자동제어’에서 수문 동작 중 설정된 온도값을 초과할 경우 현장 시스템의 온도 AI 단자에서 오실로스코프로 파형을 측정할 결과값이다. 또한 현장 시스템이 자동으로 수

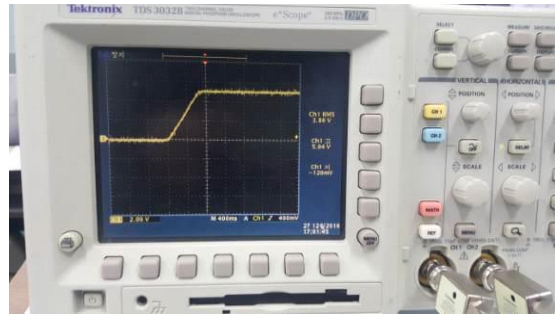


Fig. 13 Inside water level AI terminal waveform

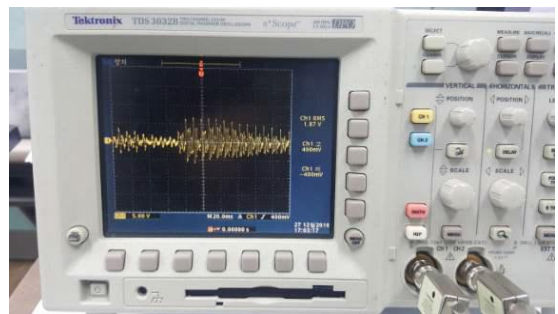


Fig. 14 Output waveform

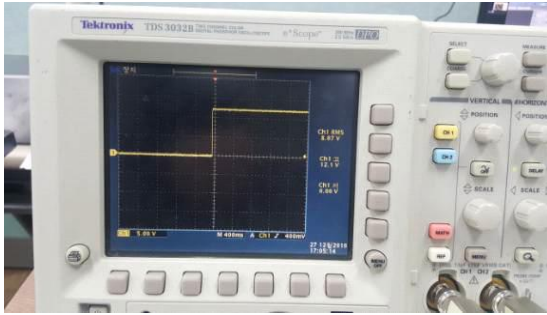


Fig. 15 Open DI signal waveform

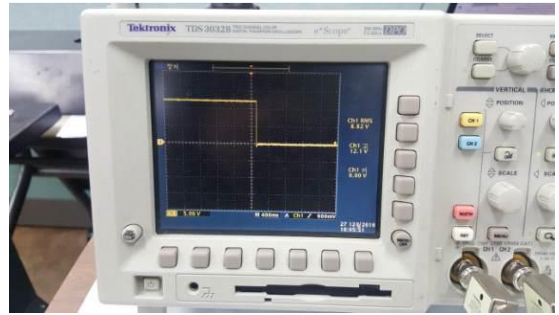


Fig. 19 Closed DI signal waveform

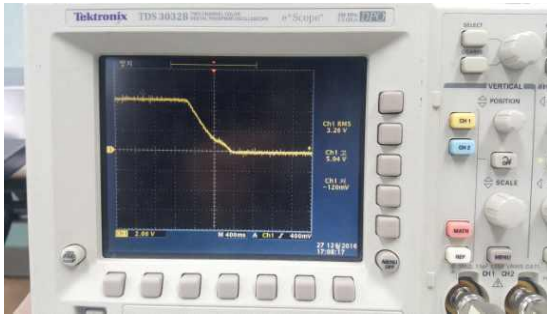


Fig. 16 Inside water level AI terminal waveform

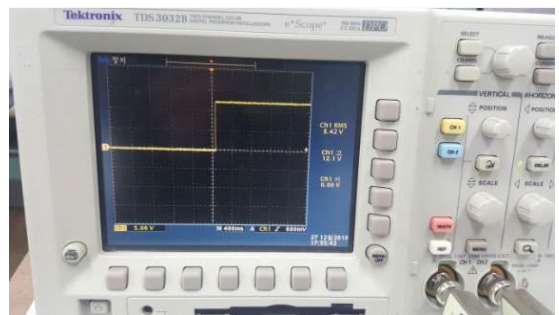


Fig. 20 Open DI signal waveform

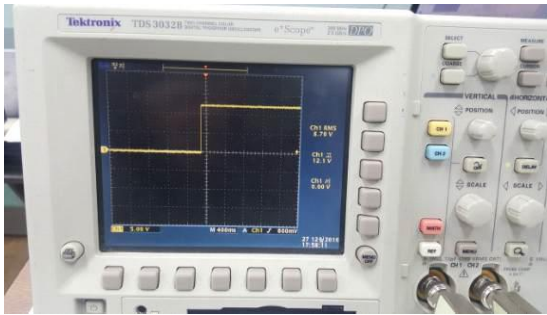


Fig. 17 Closed DI signal waveform

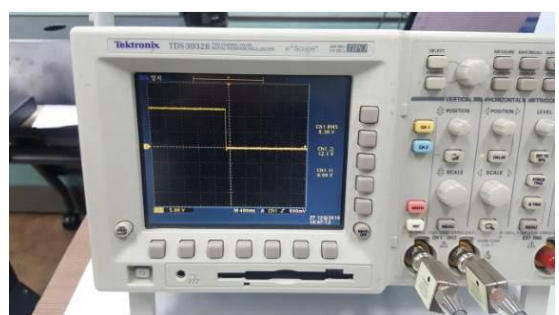


Fig. 21 Open DI signal waveform

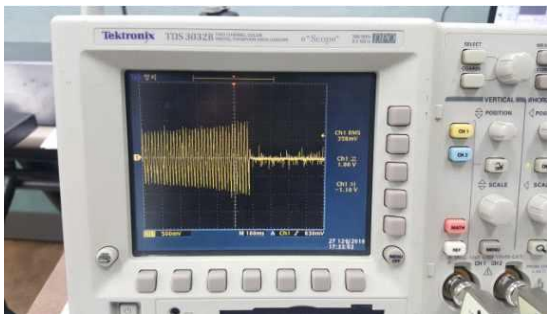


Fig. 18 Current AI terminal waveform

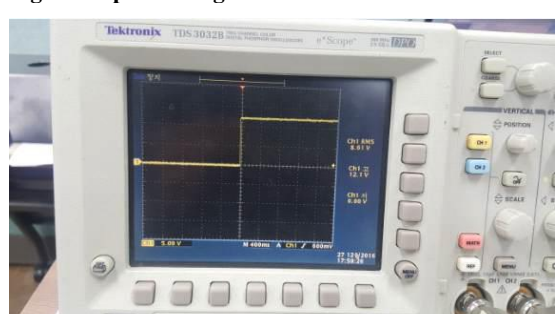


Fig. 22 Closed DI signal waveform

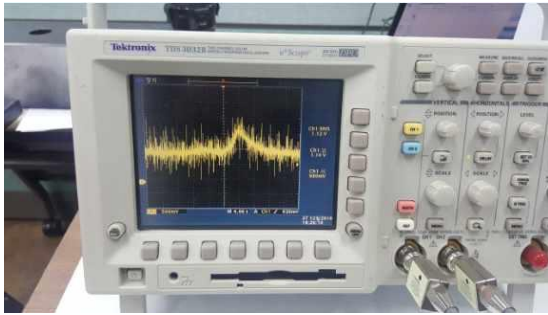


Fig. 23 Vibration AI terminal waveform

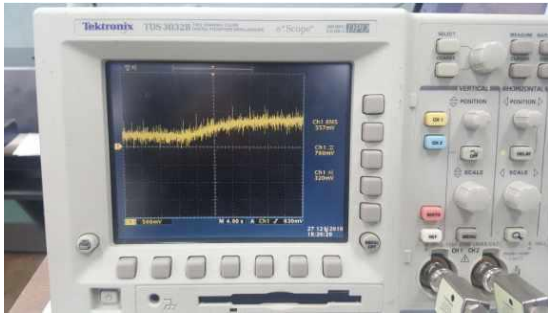


Fig. 24 Temperature AI terminal waveform

문을 정지할 때 현장 시스템의 열림 DI 신호의 파형을 측정하였고, 이때 온도값이 초과되어 알람이 울리는 것을 확인하였다.

4.3 무인 수리시설 제어시스템 온도변화 실험결과

실험온도 $-20^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$, 각 온도별 3시간 유지, 온도변화율 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 2주의 실험주기, 9시간 30분의 실험시간, 1시간의 전·후처리, 총 21시간의 온도변화 실험을 통해 Fig. 25와 같은 그래프를 획득하였다. 온도변화 실험결과는 $-20^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 로 극심한 온도변화에도 강할 것으로 사료된다.

4.3.1 온도그래프

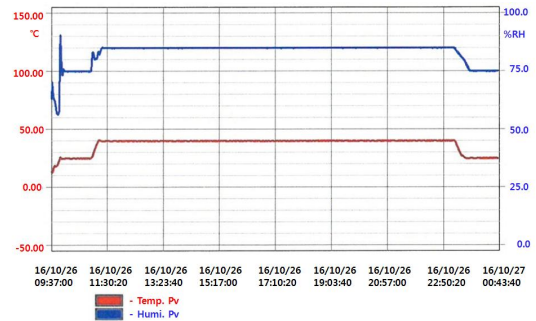


Fig. 25 Experimental results on moisture proof

4.3.2 동작확인

무인 수리시설 제어시스템의 온도변화에서 동작 확인을 위해 환경시험 전/후 및 각 온도 포화 중 중간 체크 시 LED 점등 및 오디오포트 통신상태 이상 유/무를 확인 하였다. Fig. 26은 온도변화실험 전 시제품 LED 점등 모습이다. Fig. 27은 온도변화실험 중 시제품 LED 점등 모습입니다. Fig. 28은 온도변화실험 후 시제품 LED 점등 모습이다. 실험 전, 실험 중, 실험 후 모두 이상이 없음을 확인하였다.

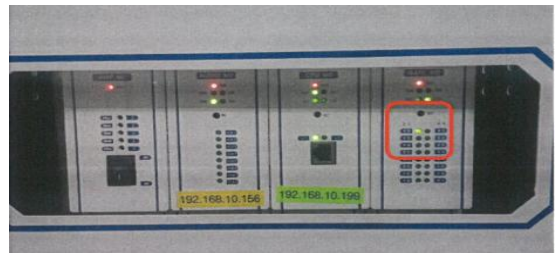


Fig. 26 Before temperature change test

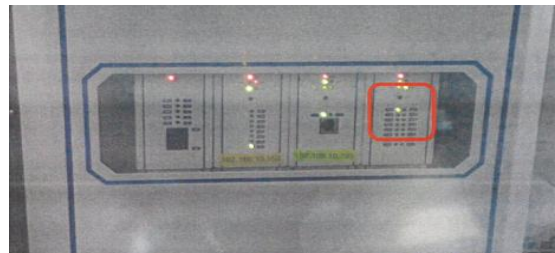


Fig. 27 Temperature change test in progress

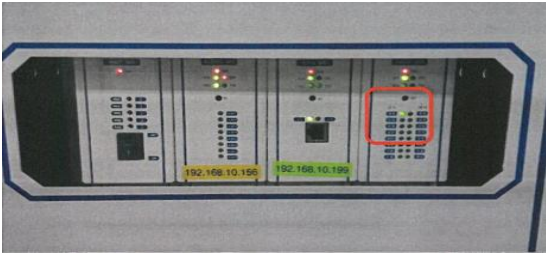


Fig. 28 After temperature change test

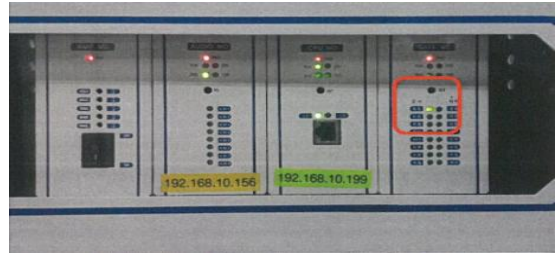


Fig. 30 Before the moisture proof test

4.4 무인 수리시설 제어시스템 내습성 실험결과

4.4.1 온도그래프

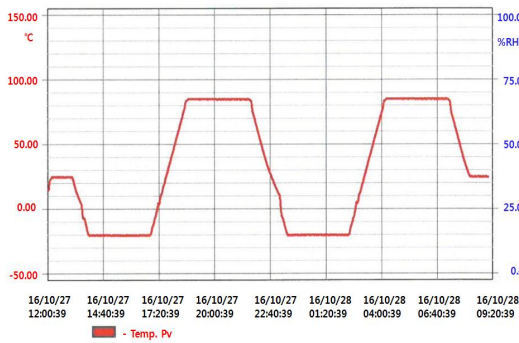


Fig. 29 Experimental results on temperature change

실험온습도 (40 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, (85 ± 2)%R.H., 실험시간 12시간, 1시간의 전·후처리, 총 14시간 30분의 내습성실험을 통해 Fig. 29와 같은 그래프를 획득하였다. 내습성 실험결과 (40 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, (85 ± 2)%R.H.로 내습성에 강할 것으로 사료된다.

4.3.2 동작확인

무인 수리시설 제어시스템을 습도에서 동작확인을 위해 환경시험 전/후 및 각 온도 포화 중 중간 체크 시 LED 점등 및 오디오포트 통신상태 이상 유/무를 확인 하였다. Fig. 30은 내습성실험 전 시제품 LED 점등 모습이다. Fig. 31은 내습성실험 중 시제품 LED 점등 모습이다. Fig. 32는 내습성 실험 후 시제품 LED 점등 모습이다. 실험 전, 실

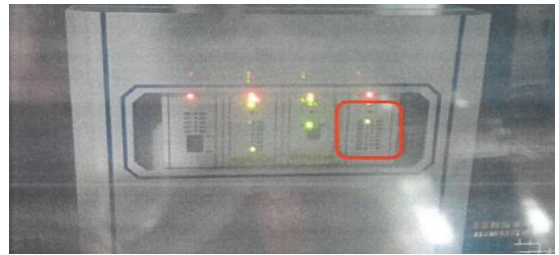


Fig. 31 Moisture proof test in progress

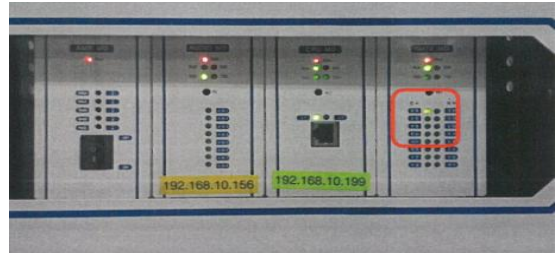


Fig. 32 After moisture proof test

험 중, 실험 후 모두 이상이 없음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 스마트위터그리드 맞춤형 기계과부하시 오감기술을 이용한 무인 수처리 시스템에 관한 연구를 하였고, 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시스템이 EOCR을 확인하거나 EOCR의 고장 시 시스템에 설정된 정상범위의 진동값, 온도값, 소리파형을 벗어나는 경우 이상 신호로 판단하여 이상 발생시 설정시간 간격으로 복귀,

열림, 정지, 닫힘을 통해 수문을 상하 이동시켜 수압으로 이물질을 제거하고, 관리자 화면에 경고창을 팝업시키고, 문자메시지(SMS)를 전송한다. 이를 통해 시스템이 자체 판단 후 처리함을 확인하였다.

2. 수리 시설물 동작시 눈으로 보고, 귀로 동작 소리를 들으며, 운영시 확인할 수 없는 기계의 진동, 베어링온도, 기계동작음, 전류, 전압 등 현장 상황에 맞는 다양한 판단기준을 설정하여 무인 상태에서도 정상 작동을 확인하였다.
3. 실험의 예시로 수문에 이물질이 끼여 권양기 모터의 과부하 발생시 무인 수리시설 제어시스템이 상태를 파악하여 동보방송을 통해 인근 주민이나 행락객에게 수문 운전 내용을 알리고 수문을 설정시간 간격으로 복귀, 열림, 정지, 닫힘을 수행하여 상하 이동을 할 때 수압에 의해 이물질이 제거되고 정상적인 수문 동작이 이루어짐을 확인하였다.
4. 무인 수리시설 제어 시스템은 KOLAS 규격에 맞게 온도변화, 내습성 실험결과 고온·다습한 환경에 적합해 릴레이의 부식, 자화 등에서 이상동작이 발생하지 않음을 확인하였다.
5. 기계과부하시 오감기술을 이용한 무인 수처리 기술의 현장 적용 가능성을 확인하였다.

후 기

“이 논문은 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2014H1C1A1066959).”

REFERENCES

1. Kim, S. Y., "System Architecture Framework for Smart Water Grid," A Thesis for a Master's degree, Pohang University, Republic of Korea, 2015.
2. Joo, J. C., Ahn, H. S., Ahn, C. H., Ko, K. R., Oh, H. J., "Field Application of Waterworks Automatic Meter Reading and Analysis of Household Water Use," KSEE, Vol. 34, No. 10, pp. 656-663, 2012.
3. Yum, G. T., Park, M. H., Lee, H. S., Kim, A. R., "Introduction and technology of Smart Water Grid research team Promotion strategy for diffusion," Water and the future, Vol. 47, No. 3, pp. 12-17, 2014.
4. Shim, B. K., Han, S. H., "Wireless Communication Real-Time Travelling Control of Mobile Robot by Voice Command," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 10, No. 6, pp. 33-38, 2011.
5. Jung, Y. S., Kim J. Y., Lee, G. I., Moon, K. Y., "Development of the remote control, integrated lighting system," Proceeding of KSMPE 2016 Fall Conference, pp. 87-87, 2016.
6. Lee, S. C., Kong, J. H., Lee, S. C., "Hot Forging Analysis of Rotor Grip with Titanium Alloy for Unmanned Helicopter," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 10, No. 2, pp. 96-103, 2011.
7. Sim, H. S., Lee, M. K., Lee, K. Y., "A Development Study on an Engine Control Module of an Electronic Marine Diesel Engine," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 133-140, 2015.
8. Kim, J. Y., You, K. J., Jung, Y. S., Ahn, T. H., "Development of Unmanned Irrigation Technology Using Five Senses During the Disconnection of Communication Due to Disasters," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 16, No. 1, pp. 141-148, 2017.
9. Kim, H. J., "Experimental Study on Thermal Analysis of Steering Control ECU Structure for Electric Vehicles," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 113-119, 2015.
10. Wang, W., Park, K. S., Shin, D. W., "Development of Device for the Separation between Touch Panel and LCD Module," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 2, pp. 31-37, 2015.