



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2019년 2월  
석사학위논문

원격제어시스템을 적용한 재난재해  
대응 시설의 통신두절 실태와  
개선방안에 관한 연구

조선대학교 대학원  
기계시스템·미래자동차공학과  
안 태 형

# 원격제어시스템을 적용한 재난재해 대응 시설의 통신두절 실태와 개선방안에 관한 연구

A Study on the Actual Condition of Communication  
Interruption and Improvement Plan of Disaster  
Response Facility Applying Remote Control System

2019년 2월 25일

조선대학교 대학원

기계시스템·미래자동차공학과

안 태 형

원격제어시스템을 적용한 재난재해  
대응 시설의 통신두절 실태와  
개선방안에 관한 연구

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 11월

조선대학교 대학원

기계시스템·미래자동차공학과

안 태 형

## 안태형의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 경 석 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 재 열 (인)

위 원 조선대학교 교수 이 성 준 (인)

2018년 11월

조선대학교 대학원

## 목 차

LIST OF FIGURES .....	iii
LIST OF TABLES .....	iv
NOMENCLATURE .....	v
ABSTRACT .....	vi
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
제 1 절 연구배경 .....	1
제 2 절 연구목적 및 방법 .....	6
<b>제 2 장 재난재해 대응 시스템 .....</b>	<b>9</b>
제 1 절 원격제어시스템 구성 및 설계 .....	9
1. 원격제어 시스템 모듈 설계 .....	9
2. 통신 두절 시 대응할 기능의 프로그래밍 .....	20
<b>제 3 장 적외선 열화상 이론 .....</b>	<b>22</b>
제 1 절 적외선 열화상 기술의 개요 .....	22
1. 적외선 .....	23
2. 열화상 원리 및 이론 .....	25
제 2 절 적외선 열화상 탐상 기법 .....	34
1. 수동적 방법 .....	34

2. 능동적 방법 .....	35
<b>제 4 장 실험 .....</b>	<b>37</b>
제 1 절 실험장치 구성 .....	37
제 2 절 실험방법 및 DATA 해석 .....	38
<b>제 5 장 연구 결과 및 고찰 .....</b>	<b>54</b>
<b>제 6 장 결론 .....</b>	<b>56</b>
Reference .....	57

## LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Storm water Detention Facilities TM/TC System .....	4
Fig. 1-2 Set up RTU as shown in Local Picture .....	6
Fig. 2-1 Potentiometer Meter Image and Circuit Diagram .....	9
Fig. 2-2 4~20mA Convertor 0~5V Circuit Diagram .....	11
Fig. 2-3 Nandflash Circuit Diagram .....	12
Fig. 2-4 Communication Port Circuit Diagram .....	14
Fig. 2-5 CPU Artwork Design .....	15
Fig. 2-6 RTU and HMI basic graphic .....	16
Fig. 2-7 Equipment configuration and GUI for water management system .....	17
Fig. 2-8 Storm water Detention Facilities TM/TC System Operation Flowchart .....	18
Fig. 2-9 Program for detecting Server connection .....	20
Fig. 2-10 MODEM Port switchover program .....	20
Fig. 2-11 Script for GPS system .....	21
Fig. 3-1 The electromagnetic spectrum .....	24
Fig. 3-2 Atmospheric transmission in different wavelength bands .....	25
Fig. 3-3 IR camera with addition of scanning element for imaging .....	26
Fig. 3-4 The flux incident $\Phi_i$ is equal to the flux reflected $\Phi'_r$ , absorbed $\Phi_a$ , and transmitted $\Phi_t$ .....	29
Fig. 3-5 Spectral radiance of a blackbody(Planck's law) .....	30
Fig. 3-6 Radiation contributions to the general measurement situation .....	33
Fig. 3-7 Passive method (jenoptik ag) .....	34
Fig. 3-8 Active method (jenoptik ag) .....	35
Fig. 4-1 Tests building for TM/TC System .....	37
Fig. 4-2 Infrared Thermal Imaging .....	39
Fig. 4-3 RTU Temperature Graph .....	39
Fig. 4-4 HMI and RTU Operation Test .....	40
Fig. 4-5 HMI and RTU operation confirmation .....	40
Fig. 4-6 HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption .....	41
Fig. 4-7 HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption .....	42
Fig. 4-8 1 hour later Infrared Thermal Imaging .....	42



Fig. 4-9 1 hour later RTU Temperature Graph .....	43
Fig. 4-10 1 hour later HMI and RTU Operation Test .....	43
Fig. 4-11 1 hour later HMI and RTU Operation Confirmation .....	44
Fig. 4-12 1 hour later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption .....	44
Fig. 4-13 1 hour later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption .....	45
Fig. 4-14 1:30 later Infrared Thermal Imaging .....	46
Fig. 4-15 1:30 later RTU Temperature Graph .....	46
Fig. 4-16 1:30 later HMI and RTU Operation Test .....	47
Fig. 4-17 1:30 later HMI and RTU Operation Confirmation .....	47
Fig. 4-18 1:30 later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption .....	48
Fig. 4-19 1:30 later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption .....	48
Fig. 4-20 2 hour later Infrared Thermal Imaging .....	50
Fig. 4-21 2 hour later RTU Temperature Graph .....	50
Fig. 4-22 2 hour later HMI and RTU Operation Test .....	51
Fig. 4-23 2 hour later HMI and RTU Operation Confirmation .....	51
Fig. 4-24 2 hour later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption .....	52
Fig. 4-25 2 hour later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption .....	52
Fig. 4-2 5-1 Thermocouple Temperature Graph .....	54

## LIST OF TABLE

Table 1-1 Disaster Damage by Year(2013~2017) .....	1
Table 1-2 Disaster Recovery Expenses by Year(2013~2017) .....	2
Table 1-3 Exclusive Disaster Safety Office by Cities Provinces .....	3
Table 1-4 2017~2018 NEW Storm water Detention Facilities Amount .....	4
Table 1-5 L-COMPANY PLC Specifications .....	7
Table 3-1 Infrared classification with wavelength .....	20
Table 5-1 Experiment Results .....	56

## NOMENCLATURE

$B$	: Spectrum parameter
$C$	: Speed of Sound in a Material of Horn
$E$	: Modules of Elasticity
$F$	: Model parameter
$F$	: Frequency
$I_m$	: Thermal value of measured whole radiation
$I(T)$	: Thermal Value
$P$	: Density
$R$	: Correspondence parameter
$T_{amb}$	: Ambient air temperature
$T_{atm}$	: Atmosphere air temperature
$T_{obj}$	: Temperature of measurement target
$W_b$	: Exitance of whole radiant energy
$\alpha$	: Absorptivity
$\epsilon$	: Emissivity
$\rho$	: Reflectivity
$\tau$	: Transmissivity
$\sigma$	: Stefan-Boltzman constant
$\lambda$	: Wavelength

## ABSTRACT

### A Study on the Actual Condition of Communication Interruption and Improvement Plan of Disaster Response Facility Applying Remote Control System

Ahn Tae Hyoung

Advisor : Prof. Kim Jae Yeol Ph. D.

Dept. of Mechanical system engineering,

Graduate School of Chosun University

Along with global warming, we have lived in a rapidly changing climate conditions and have implemented various future strategies and countermeasures are being pursued accordingly. Recent climate change has brought forth a surge in regional torrential rains, which is difficult to forecast such torrential rains and hard to quickly respond. So, even one incident of such rains results in huge damages and enormous recovery costs. In order to cope with this problem, we installed rain water storage facilities to reduce the damage caused by the regional torrential rains, and introduced a remote control system to deal with the incidents within the golden time. However, because of the environmental specifications of the remote control system and the functional limitation of communication disruption, the system has not been utilized to its full capability in

preventing damages. This study aims at investigating measures to prevent communication disruption and finding alternatives accordingly. We intend to overcome the limitations of the technology by enhancing the environmental specifications of the Remote Terminal Unit (RTU), which enables integrated management of rain water storage facilities, and adding a function by which the RTU can operate autonomously in case of communication disruption. We hope that this study will contribute to establishing future strategies to protect people and properties from natural disasters and to prepare for climate change.

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구배경

지구온난화로 인한 기상이변은 이제 우리에게 익숙한 단어가 되었다. 폭풍, 태풍, 가뭄 등 기상이변은 우리의 일상과 주변에서 빈번하게 발생하고 있다. 이에 대한 관심은 1938년 캘런더(Guy Stewart Callendar)라는 영국 공학자의 논문의 ‘화석 연료 사용 시 나오는 이산화탄소가 기후변화에 영향을 미친다’는 내용에서 시작되었고, 1992년 6월 ‘환경개발회의(UNCED, United Nations Conference on Environment and Development)에서 세계정상들이 모인 가운데 유엔기후변화협약으로 이어졌고, 결국 1994년 3월 21일 발효되었다. 2016년에는 196개 국가와 유럽연합(EU, European Union)을 더하여 세계 거의 모든 국가가 협약에 동참하였다. 기후변화협약의 핵심 목표는 ‘인간이 지구에 위험한 영향을 미치지 않는 수준으로 대기 중의 온실가스의 농도를 안정화’ 시키는 것으로 개발도상국은 필요와 상황을 충분히 고려하여 개발하며, 선진국은 기후 변화와 영향에 솔선하여 대응하여야 한다는 내용으로 많은 협약과 규제들이 추진되고 있다. 우리의 생명과 재산을 지키기 위해서는 원인을 파악하고 미래를 위한 전략도 세워야 하지만 기후 변화에 적응 및 대응하는 방안도 필요하다. 최근 예보에 없던 국지성 호우가 급증하고 있으며 갑작스럽게 짧은 시간에 예상하지 못했던 곳에 200mm이상의 비가 내리며 도시와 농경지에 침수가 일어나는 등 많은 인명과 재산에 피해를 주고 있다.

Table 1-1 Disaster Damage by Year(2013 ~ 2017)

(Unit : KRW 1 million)

By year	Storm	Heavy rain	Heavy snow	Total
2012	957,850	36,675	19,421	1,013,946
2013	1,638	153,358	11,000	165,996
2014	5,159	138,655	31,611	175,425
2015	13,615	1,232	13,225	28,072
2016	221,886	37,129	19,335	278,350
2017		101,593	83	101,676

Table 1-1과 같이 행정안전부 통계에 따르면 자연재해에 따른 피해액은 매년 일정하지 않으며, 그로 인한 피해액은 수십억에서 수천억에 이르기까지 규모가 크다. 문제는 이를 예상하는 것이 쉽지 않고, 그에 따른 피해 역시 매우 큰 규모라는 점이다.<sup>(1)</sup>

Table 1-2 Disaster Recovery Expenses by Year(2013 ~ 2017)

(Unit : KRW 1 million)

By year	Storm	Heavy rain	Heavy snow	Total
2012	1,844,483	94,438	8,153	1,947,074
2013	4,167	366,279	4,077	374,523
2014	10,063	453,926	30,371	494,360
2015	28,860	1,647	5,267	35,774
2016	522,380	38,083	14,600	575,063
2017	197	318,851	36	319,084

더 심각한 것은 Table 1-2에서 나타난 것과 같이 피해액보다도 복구비가 더 많이 들어간다는 점인데 태풍 볼라벤이 있었던 2012년의 피해액이 약 9,500억원 이었다면 복구비는 약 1조8,444억원으로 약 두 배 가량 발생하였다.<sup>(2)</sup> 자연재해는 어떻게 대응하느냐에 따라 엄청난 국가적 손실이 발생할 수 있다. 이를 위해 정부는 각 지방자치단체마다 대응 조직을 만들고, Table 1-3에서 나타내는 것과 같이 1,205명의 전담인력을 배치해 재난재해에 대응하고 있다. 그리고 매년 행정안전부는 긴급재난 문자와 TV자막 등을 통해서 재난정보를 알리고, 2018년에는 취약지역 2,528개소를 전수 조사하여 재난재해위험지구로 선정하고 재난에 대비하고 있으나 여전히 재난에 대한 대응은 부족하다.<sup>(3)</sup>

Table 1-3 Exclusive Disaster Safety Office by Cities Provinces

Classification	Organization	Sub-organization	Quota
Seoul	Safely Management Bureau	Division 3, Responsibility 11	70 persons
Busan	Public Safety Office	Division 4, Responsibility 17	114 persons
Daegu	Disaster Safety Office	Division 4, Responsibility 16	88 persons
Incheon	Disaster and Safety Headquarters	Division 5, Responsibility 17	100 persons
Gwangju	Citizens' Safety Bureau	Division 4, Responsibility 13	78 persons
Daejeon	Office for Public Safety	Division 4, Responsibility 14	25 persons
Ulsan	Public Safety Office	Division 4, Responsibility 14	59 persons
Sejong	Civil Safety Bureau	Division 3, Responsibility 13	76 persons
Gyeonggi	Safety Management Office	Division 4, Responsibility 14	69 persons
Gangwon	Disaster and Safety Management Office	Division 3, Responsibility 10	65 persons
Chungbuk	Disaster and Safety Management Office	Division 3, Responsibility 10	65 persons
Chungnam	Disaster and Safety Management Office	Division 3, Responsibility 14	81 persons
Jeonbuk	Public Safety Bureau	Division 3, Responsibility 12	60 persons
Jeonnam	Public Safety Bureau	Division 3, Responsibility 13	74 persons
Gyeongbuk	Resident Safety Bureau	Division 3, Responsibility 13	69 persons
Gyeongnam	Emergency and Safety Construction Bureau	Division 2, Responsibility 10	63 persons
Jeju	Safety Management Office	Division 2, Responsibility 9	49 persons
Total			1,205 persons



국지성호우는 단시간, 특정지역, 취약시간대라는 특징을 가지고 있어 예방과 신속한 대응이 어렵고, 골든타임을 놓치는 순간 인명과 재산의 피해가 급격하게 늘어난다. 초기에 대응을 한다고 하더라도 강우대비 치수능력이 낮을 경우 침수가 일어날 수밖에 없는 경우도 있다. 이 때문에 우수저류시설을 새로 설치하여 제한적인 강이나 하천의 치수 능력을 보조한다. 우수저류시설은 임시 저류 시설로 집중 호우 시 강이나 하천으로 유입되는 길목에 설치하여 물의 일부를 저류시키는 역할뿐만 아니라 전체 흐르는 물의 양을 조절해 재난재해에 대한 예방 및 대응한다.

Table 1-4 2017~2018 NEW Storm water Detention Facilities Amount

Local Name	SEOUL	BUSAN	INCHEON	ULSAN	GYEONGGI-DO	GANGWON-DO	CHUNGCHONG-GBUK-DO	CHUNGCHONG-NAM-DO	Total
Amount	3	10	1	2	5	3	4	7	35

2018년 2월 행정안전부 자료에 따르면 우수저류시설은 2009년 ‘우수유출저감시설 설치 활성화 사업’이 재난재해의 핵심사업이 되면서 도심의 불투수면적 증가에 따른 빗물 유출량 증가와 침수피해 예방을 위해 설치되었고, 지금까지 192개소에 2조233억원이 쓰였으며, Table 1-4와 같이 저류시설을 설치하고 있으며, 2017년에는 11개 시·도에 710억원, 2018년도에는 1,390억원을 들여 추가 시공하고 있다.<sup>(4)</sup>



Fig. 1-1 Storm water Detention Facilities TM/TC System

초기 우수저류시설은 개활지 또는 지하에 저장 공간을 만들어 물의 유입을 유도하는 방식이지만 나무토막이나 토사의 유입으로 사용해야 할 때 사용하지 못하는 상황이 생겨 유입구에 보나 수문을 설치하여 물의 유입을 유도하도록 개선되었고, 국지성 호우의 특성에 맞게 원격제어 시스템을 도입하여 빠른 대응을 하고 있다. 하지만 외부 환경과 통신두절에 따른 한계정도 갖고 있다.

앞선 연구들에서는 첨두홍수량(Flood peak)에 따른 수리학적 연구와 시설의 안정성 향상을 위한 우수저류시설의 공법 연구가 이루어졌다면, 본 연구에서는 Fig. 1-1의 기존 원격제어시스템을 토대로 한계점을 체크하고, 개선을 통해 재난재해 시스템의 대응 능력을 향상시키는데 중점을 두고, 효율적 관리를 위해 원격제어기술을 고도화시키기 위한 연구를 진행하고자 한다.

## 제 2 절 연구목적 및 방법

원격제어 시스템은 현장의 계측과 제어를 통합 관리하는 RTU(Remote Terminal Unit)와 이를 원격으로 모니터링하고 제어하는 HMI(Human Machine Interface)로 이루어졌고, 유무선 통신 방식을 통해 데이터를 송수신 하게 된다. RTU는 현장에 설치되어 수위계와 모터, 펌프, 액츄레이터, 수문, 조명, 실외형 카메라, 경보 방송장치 등 다양한 보조 장치들을 통합 관리하게 된다. Fig. 1-2와 같이 설치위치는 수배전반과 현장 조작반 옆에 설치되는데 목적과 상황에 따라 건축물 내부 혹은 외부에 설치된다.



Fig. 1-2 Set up RTU as shown in Local

원격제어의 핵심 요소 세 가지는 RTU, HMI, 통신이며, 이 중 하나라도 문제가 되면 정확한 계측과 제어가 어렵다. RTU는 센서와 기계의 데이터를 수집해서 디지털 데이터로 변환하여 전송하고, 시설 담당자로부터 HMI를 통해 디지털 데이터를 전송받아 그 명령을 수행한다. 하지만 몇 가지 원인으로 오동작을 하거나 고가의 기계설비가 고장으로 본연의 재난재해 대응 기능을 상실할 수 있다. 그 원인중 RTU의 경우 대부분 실외에 설치되어 외부 환경의 영향으로 고장이 나기도 한다.

Table 1-5 L-COMPANY PLC Specifications

	Standard
Usual Temperature	0 ~ 55℃
Storage Temperature	-25 ~ +70℃
Usual Humidity	5 ~ 95%RH
Storage HuMidity	5 ~ 95%RH

국내에서 일반적으로 많이 쓰이는 장치는 L사 제품인데 그 사양은 Table 1-5와 같고, 그 동작온도는 0~55℃이다. 이 온도 범위를 벗어나면 오동작 혹은 고장의 원인이 될 수 있고, 이 장치를 그 이상 환경에서 사용해야 할 경우 전용 건축을 통해 공간을 확보하고, 그 안에 항온항습 설비를 구축해서 여름과 겨울철에 0~55℃를 유지해야한다.

HMI는 담당자를 현장과 이어주는 역할을 한다. 관리자가 현장에 있다면 시설물을 눈으로 보고 현장의 소리를 귀로 듣고, 방송을 통해 상황을 전파하면서 조작반을 통해 직접 시설물을 운용할 것이다. HMI는 담당자가 현장에 가진 않았지만 현장에 있는 것과 같은 환경을 제공한다. 카메라를 통해 보고, 기계 동작음을 듣고, 방송장비를 통해 경보방송을 하며 클릭 한번으로 제어를 가능하게 해주는 통합 프로그램이다. 통신은 각종장치와 RTU, HMI를 이어주는 역할을 하게되며, 통신이 끊기면 현장을 계측할 수도, 제어할 수도 없게 된다. 통신이 빠르게 복구가 된다면 다행이지만 원인을 모르거나 복구가 늦어진다면 사고를 방치하는 것과 같다. 재난 재해 관제센터와 현장의 거리는 차량으로 평균 수 Km에서 많게는 수십 Km 거리가 떨어진 곳에 있고, 교통 문제가 생긴다면 이동시간은 더 소비되어 대응은 늦어질 수밖에 없다. 본 연구자가 관계 업체와 원격제어 분야의 엔지니어를 통해 확인한 결과 통신이 두절되면 복구될 때까지 원격제어 시스템은 방치되고 통신업체 또는 시스템 엔지니어가 복구시켜야 된다고 한다. 통신 두절의 원인은 공유기, 모뎀, 통신 기지국, 통신 설비, 통신 트래픽 등 광범위적인 요소들이 있어 복구 여부에 대해서는 불투명하고, 시간을 들여 전반적으로 점검 및 복구하여야 한다. 적절하고 통합적인 재난재해 대응을 위해서는 RTU의 외부 환경 노출에 따른 위험성과 통

신 두절시 대응 방안이 필요하다. 이 두 가지 요소가 개선된다면 고장과 오동작 원인을 줄이고, 재난재해 대응 시스템을 신속하고 통합적으로 운용할 수 있어 동시 다발적으로 일어나는 재난재해에 대응할 골든타임을 늘릴 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 외부에 노출되는 RTU의 온도 범위를 판단하고, RTU의 설계에 적용하여 열악한 환경에서도 동작할 수 있도록 할 것이며, 통신이 두절되었을 때 판정하는 기능을 검토하고, 통신이 두절되더라도 대응 시나리오에 따라 제어가 이루어질 수 있도록 RTU의 기능을 구현할 것이다.

## 제 2 장 재난재해 대응 시스템

### 제 1 절 원격제어시스템 구성 및 설계

#### 1. 원격제어시스템 모듈 설계

원격제어는 로컬에 있는 여러 데이터를 하나의 프로토콜로 통합하여 통신을 이용해 HMI와 데이터를 송수신하는 방식의 기술이다. 센서는 개도, 수위, 수질, 진동, 소리, 열등 다양한 값을 센싱하며, 그 결과 값도 다양한 방식으로 표출된다. 따라서 다양한 형태 데이터를 각각의 방식으로 수집하여 하나의 디지털 방식으로 변환하여 통합하고 전송하는 기술이 필요하다. 예를 들어 수문의 개도<sup>1)</sup> 값을 표현하는 방법 중 하나는 Fig. 2-1과 같은 구조의 포텐샤미터를 이용하는 것인데 수문을 들어 올리는 모터의 움직이는 실제 높이를 모터 축에 설치하여 가변저항으로 측정하고 포텐샤미터를 통해 4~20mA로 표출된다.

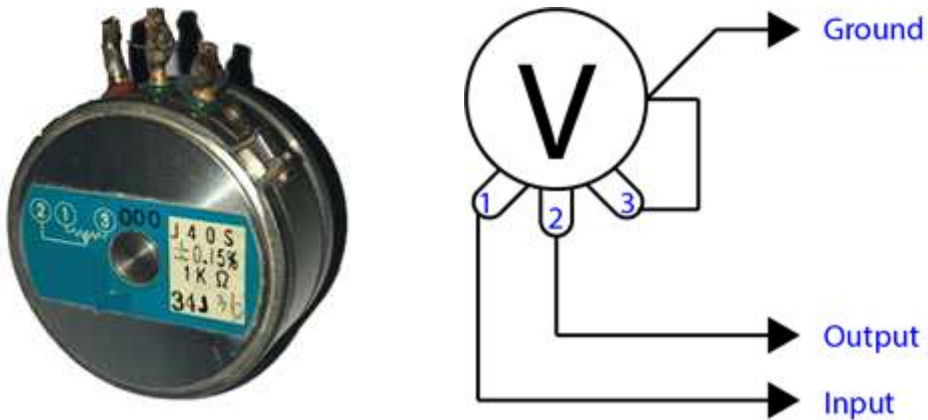


Fig. 2-1 Potentiometer Meter Image and Circuit Diagram

수문이 움직이는 높이는 각 수문마다 다르기 때문에 특정할 수 없다. 따라서 아

1) 개도: 수문의 열린 정도를 뜻 함. 수문의 열린 정도를 통해 시간당 유수율을 산정할 수 있음

날로그 4~20mA로 받게 되고, Fig. 2-2의 AD Converter를 써서 디지털 값으로 변환하여 RTU를 통해 전송하고, 최종적으로 HMI에서 표출할 때는 개도를 혹은 실제값과 동일한 높이로 변환해서 표출된다.

기존의 PLC 방식의 CPU모듈의 사용 온도는 0~55℃ 이상일 때는 고장 또는 오동작할 수 있다는 문제점이 있었고, 통신이 두절되면 모뎀의 전원을 재부팅하여 복구 시키거나 복구가 안 될 때는 자율운전으로 제어할 수 있는 기능이 없어 재난재해시 원격제어시스템으로의 사용에 어려움이 있었다. 이에 높은 온도에서도 안정적으로 동작할 수 있는 모듈로 설계하였고, 프로그래밍 작업을 통해 자율운전 기능을 부여한다.

원격제어 시스템의 주요 파트는 연산 처리하는 부분과 통신을 담당하는 영역으로 나뉘는데 CPU의 데이터를 저장하고, 통신이 두절되었을 때 데이터를 임시 저장하는 메모리가 필요하다. Fig. 2-3의 회로는 임시 저장과 관련된 회로이며, 통신이 두절되면 계측되는 각종 데이터를 저장하고, 사전에 담당자에 의해 설정된 데이터에 따라 자율운전이 될 때의 상태 값을 저장하였다가 통신이 복구 되면 패킷 형태로 통합하여 서버로 누락된 데이터를 전송하게 되고 HMI로 표출된다.

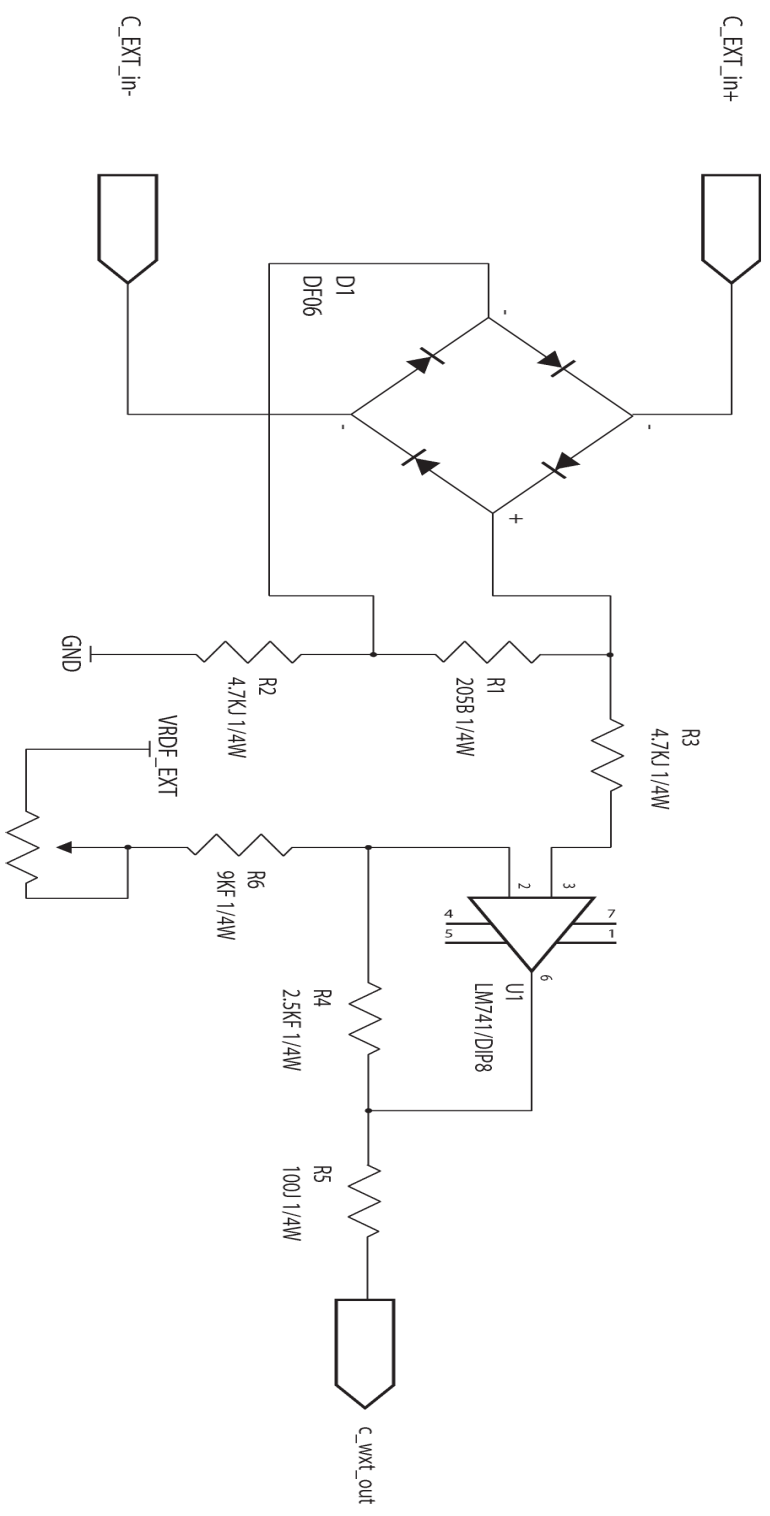


Fig. 2-2 4~20mA Converter 0~5V Circuit Diagram



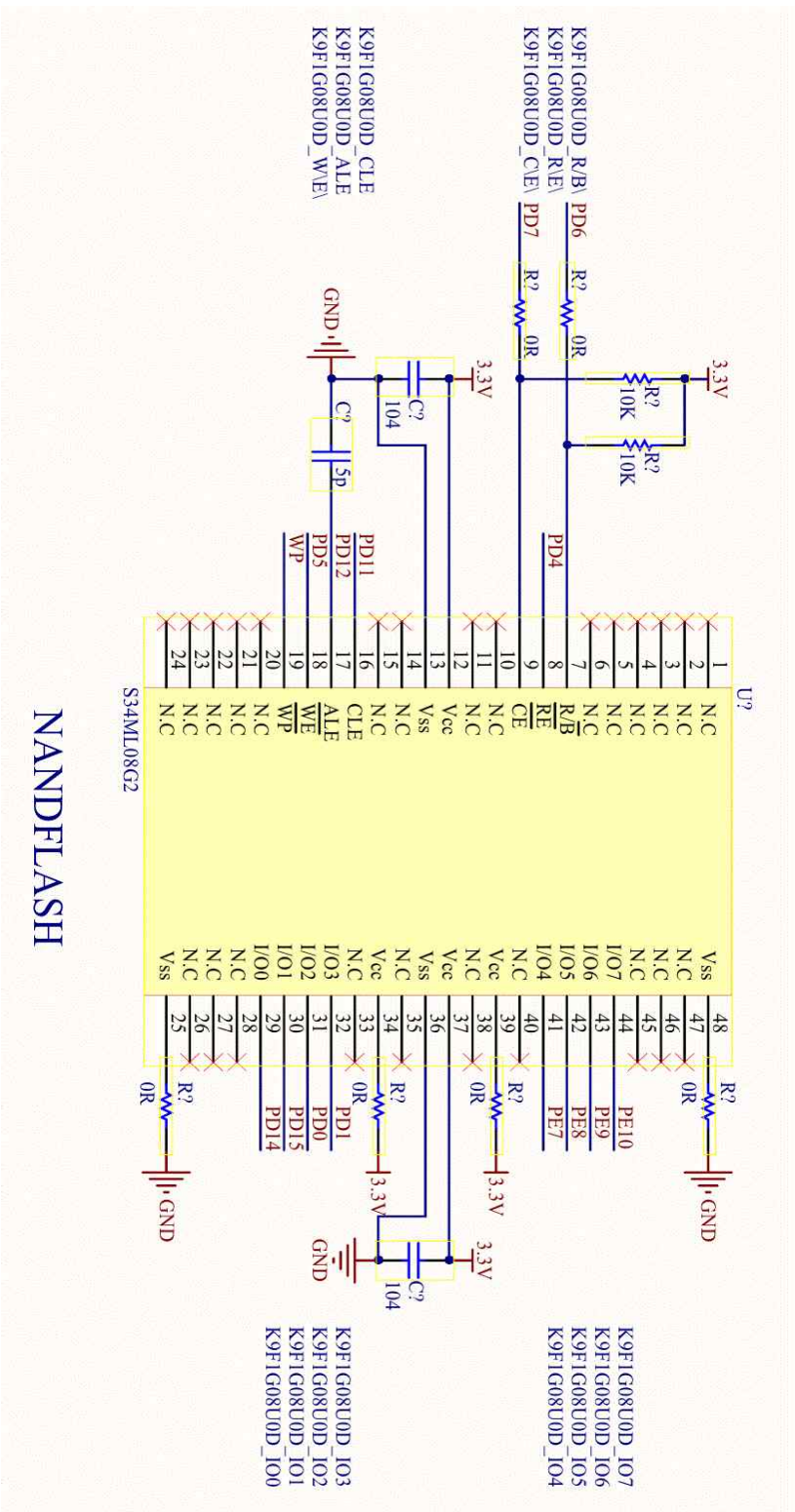


Fig. 2-3 NANDflash Circuit Diagram

Fig. 2-4의 파트는 통신 파트로 통신 시 주고받는 데이터의 전송 파트와 CPU에 의해 통신 두절시 명령에 따라 폐쇄 또는 절체되는 영역으로 구성된다. 또한, 메인 통신 포트 외에도 보조 통신 포트를 적용해 이중화가 가능하도록 설계하였다. 하지만 이중화 역시 통신 두절의 대응에 있어서는 한계점이 있다.

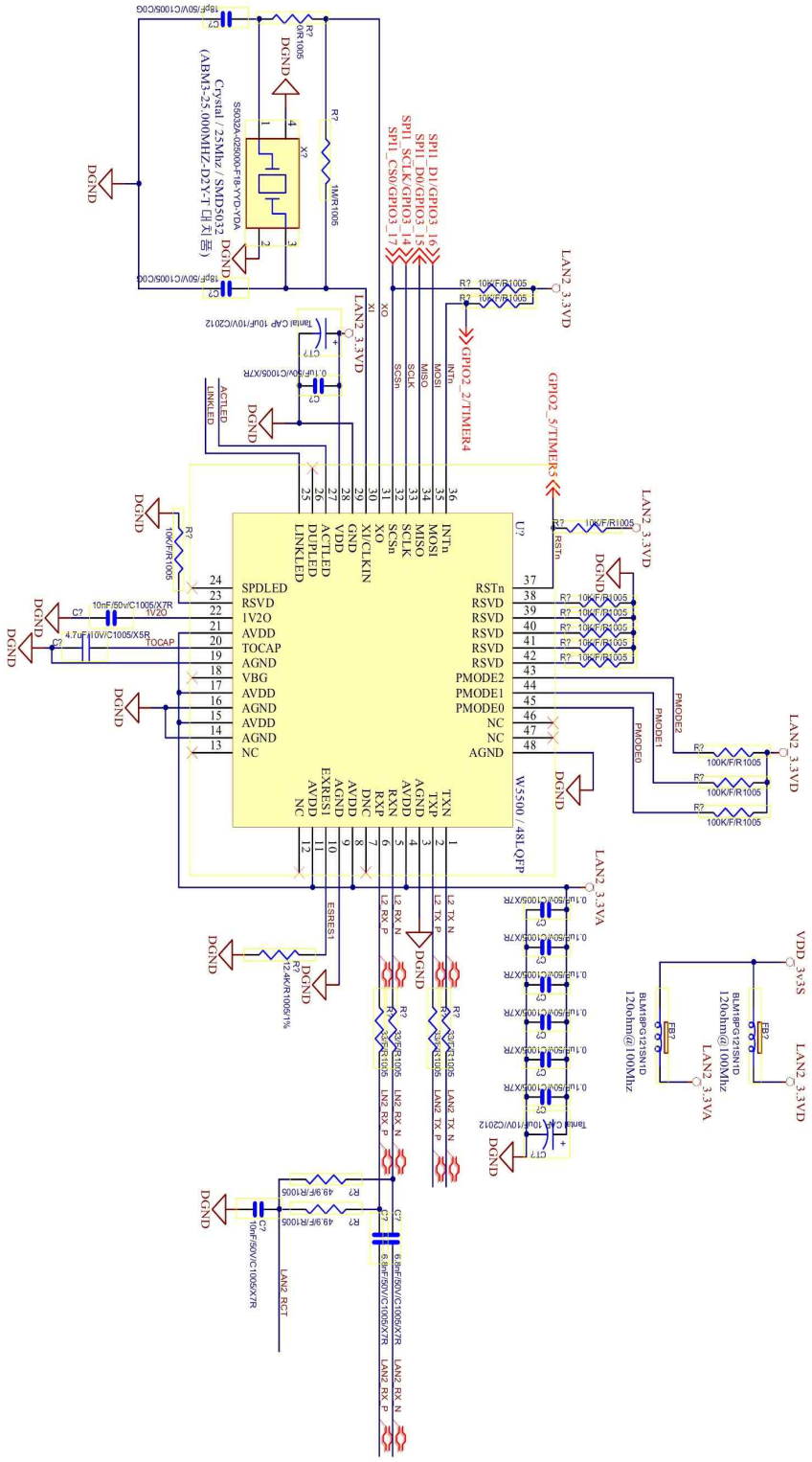


Fig. 2-4 Communication Port Circuit Diagram

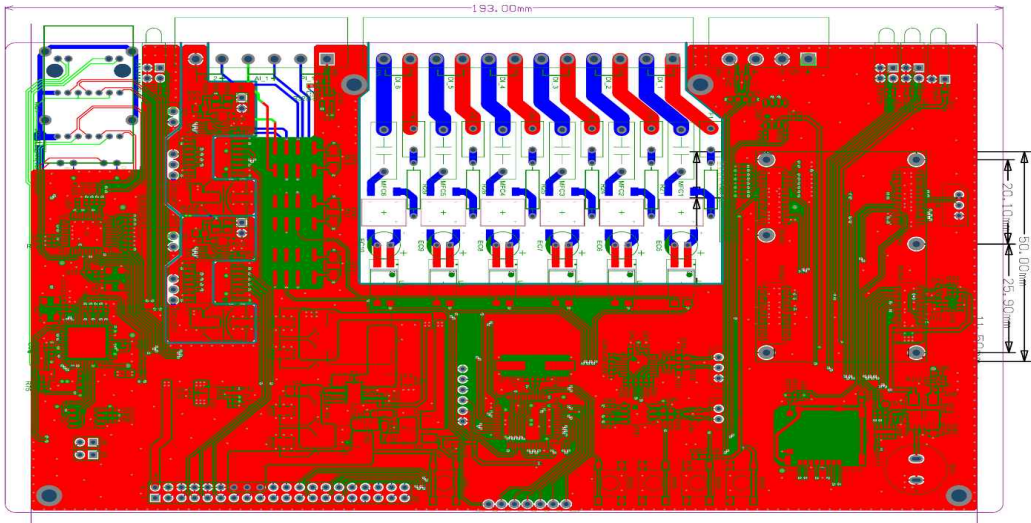


Fig. 2-5 CPU Artwork Design

Fig. 2-5는 Fig. 2-3 ~ Fig. 2-4의 회로도를 반영하여 같은 PCB를 디자인하고, 각 접점과 포트를 연결하여 아트웍을 진행한 결과물을 나타낸다. 또한, 외부 온도에 적합하도록 부품을 선택하고, KOLAS기준에 맞게 설계에 반영했다.

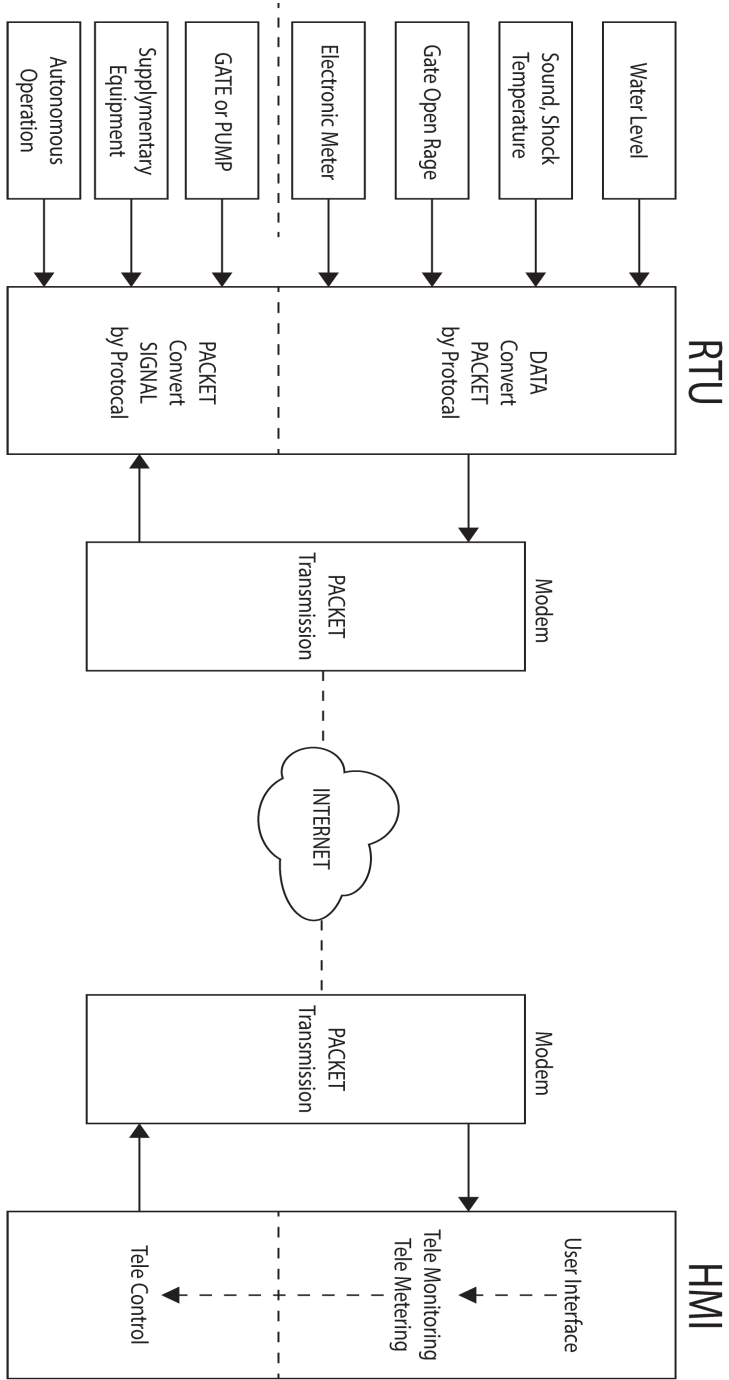


Fig. 2-6 RTU and HMI basic graphic

Fig. 2-6과 같이 현장에서 계측되는 다양한 값을 수집해 하나의 디지털 값으로 통합 및 변환하는 과정을 CPU모듈과 IO(Digital, Analog Input) 모듈이 수행하게 된다. 이렇게 변환되어 하나의 패키지<sup>2)</sup>로 통합된 데이터는 통신 모뎀을 통해 전송되고 HMI에서는 전송된 데이터를 본래의 데이터로 복조하여 UI<sup>3)</sup>에 정해진 범위의 값으로 표출된다.



Fig. 2-7 Equipment configuration and GUI for water management system

Fig. 2-7과 같은 시스템의 형태로 HMI 담당자는 현장에서 수집되는 다양한 값을 UI를 통해 수집된 정보를 통해 현장에서 보는 것 이상으로 상황을 파악할 수 있으며, 종합된 데이터를 기반으로 의사결정 및 제어한다. <sup>(5)-(10)</sup>

2) RTU와 HMI는 개발자에 의해 상호 약속한 프로토콜에 의해 번복조. 범용으로 쓰이는 프로토콜이 있고, 비공개된 보안용 프로토콜이 있어 특정 시설물이나 해킹의 위험이 있을 경우 비공개 프로토콜 방식으로 활용됨

3) UI(User Interface) ; 응용프로그램 사용자가 보기 편하도록 프로그래머에 의해 제작된 일종의 화면

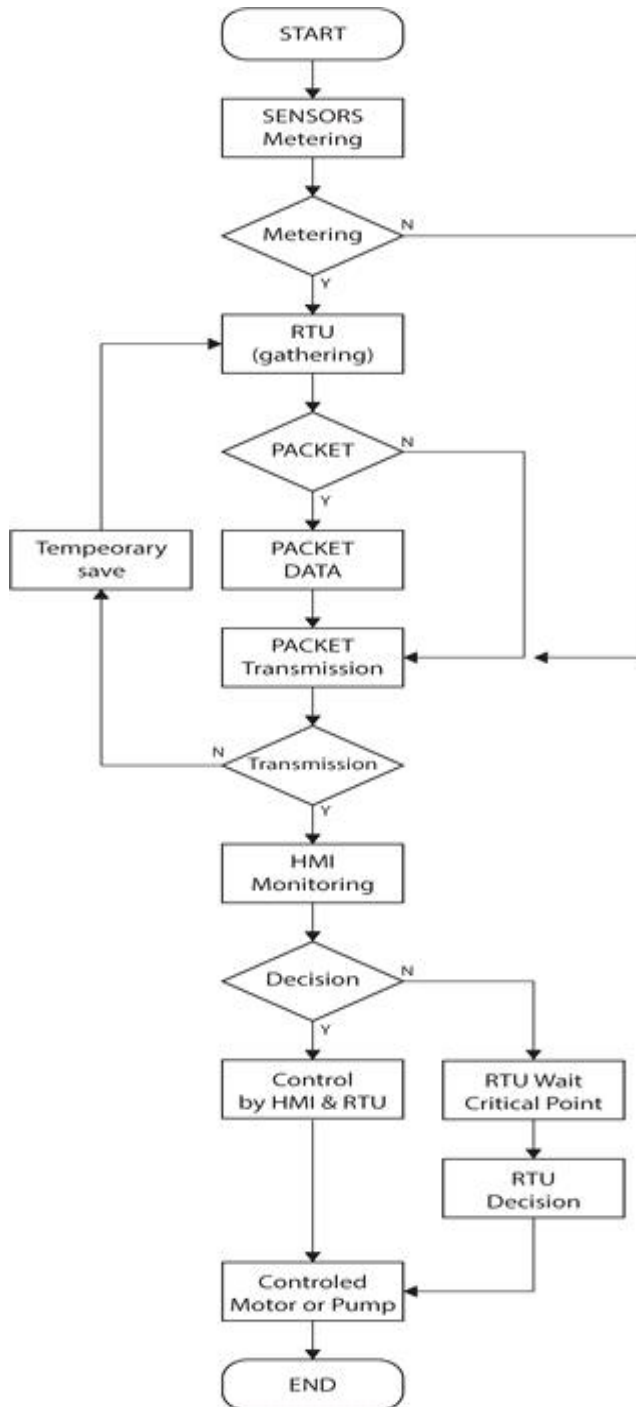


Fig. 2-8 Storm water Detention Facilities TM/TC System Operation Flowchart

Fig. 2-8의 형태로 시스템이 운영되는데 HMI 사용자에게 의해 전송되는 신호<sup>4)</sup>는 다시 패키지로 변환되어 시설물의 RTU로 전송되고, RTU는 CPU와 IO 모듈을 통해 현장을 제어하게 된다. 야간에 특정 조명을 켜거나 전송받은 디지털 데이터를 변환하여 사이렌 또는 음향 방송을 하거나, 기계의 단순 또는 조건부 제어 등 다양한 기능을 수행한다. 그리고 그에 대한 상태 값을 다시 전송하여 동작결과를 HMI 사용자에게 나타낸다.

## 2. 통신 두절 시 대응할 기능의 프로그래밍

통신 두절에 따른 대응 기능은 두 가지로 구성된다. 먼저 통신 두절을 판정하는 파트와 두절되었을 때 무인으로 제어하는 파트이다. 통신이 두절되는 부분에 대해서는 앞선 기술들은 회로를 통해 신호를 체크하는 파트를 별도로 두어 실질 신호를 측정해서 판정했다면 최근에는 프로그램으로 기능을 수행한다. 통신을 담당하는 파트에서 데이터를 중계하는 DDNS에 연결하고 서버로 데이터를 전송하게 되는데 이때 정상적으로 전송되는지 여부를 CRC 신호로 체크한다. 하지만 통신이 두절되게 되면 서버를 통해 전달되는 CRC 신호를 전송받지 못해 에러 횟수가 증가하게 되고 그에 따라 통신 두절로 판정하게 된다.

---

4) 제어되는 신호는 마우스를 통해 제어 버튼을 클릭하는 행위로 이루어지며 그 신호가 디지털 신호로 통신을 통해 현장 RTU로 전송되어 수문을 열거나 닫는 동작으로 진행된다.



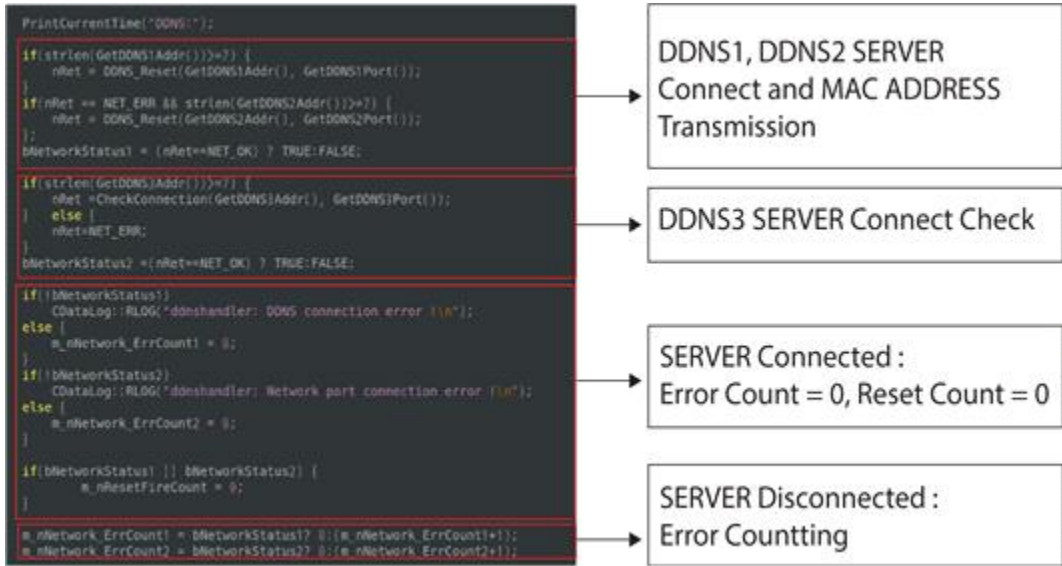


Fig. 2-9 Program for detecting Server connection

Fig. 2-9의 프로그래밍 작업을 통해 DDNS와 RTU의 통신 모듈 간에 데이터 전송 여부를 통해 판정하고 그에 따라 RTU의 CPU에 통신 두절을 알리고 스스로 강제 리셋을 시도하게 된다. 하지만 수차례 리셋에도 불구하고 복구되지 않을 경우 통신 절체 또는 무인제어 기능을 수행한다.

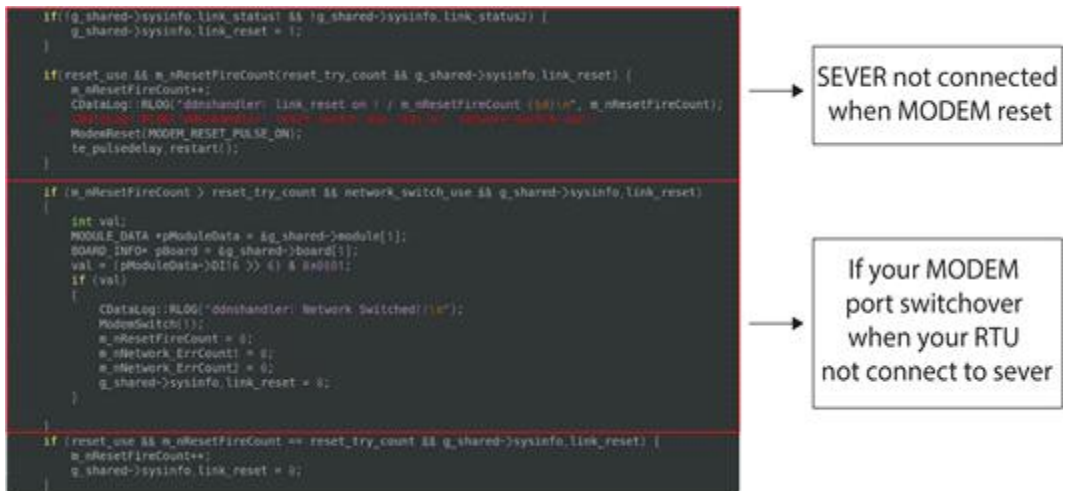


Fig. 2-10 MODEM Port switchover program

최근 재난재해용 시설물에는 재난시를 대비해 예비 전력 이중화 설비와 통신 이중화 설비를 반영하고 있다. 전력 이중화의 경우 현장여건이나 상황에 따라서 발전 설비를 두어 현장에서 전기를 생산 및 공급하도록 하고 있으나 통신에 대해서는 통신망 절체를 통한 이중화 기능만을 원칙으로 적용하고 있다. 하지만 통신에 대해서는 현재까지 이중화 방식 말고는 발전기와 같이 현장에서 대응할 대안은 없었다. 따라서 통신이 두절되고, Fig. 2-10은 복구를 시도하였으나 복구되지 않을 때 자율운전 기능으로 전환하여 스스로 동작하게끔 스크립트를 프로그래밍한 것을 나타낸다.

```

-----
-- [LOOP] 메인 루프
-----
while 1 do
  if(GetLinkStatus(1) == 0 and GetLinkStatus(2) == 0) then --통신 상태 확인
    SetTagValue("자율운전_DO", 1)
  else
    SetTagValue("자율운전_DO", 0)
  end

  if GetTagValue("자율운전_DO")==1 then
    if error == "none" then
      process() --자율운전 프로세스
      if moving_time > ERRORCHECK_WAIT_TIME then -- 동작 후 일정 시간 지난 후 동작 이상 체크
        error_check() -- 동작 이상 체크
      end
    else
      error_process() -- 동작 이상에 따른 처리
    end
  end

  else
    all_stop() -- 자율운전 아닐 때는 장치 정지
  end
  mSleep(POLLING_TIME)
end
end

```

Fig. 2-11 Script for CPS system

자율운전은 CPU 내에 펌웨어의 형태로 저장되는데 별도의 스크립트를 Fig. 2-11과 같이 프로그래밍하여 자율운전 기능을 수행할 때 스크립트를 참조하여 동작하도록 반영하였다.

## 제 3 장 적외선 열화상 이론

### 제 1 절 적외선 열화상 기술의 개요

모든 물질을 이루고 있는 기본 단위인 원자들은 절대 온도 0[K](-273.16℃, -459.72°F) 이상에서 미세한 진동을 하고 있다. 이러한 원자들의 진동에너지는 적외선 영역에서의 에너지와 동일하다. 즉, 절대 온도 0[K] 이상에서 모든 물체는 적외선을 방출한다. 물체에서 방출되는 복사 에너지의 강도는 온도 및 복사되는 전자기파의 파장에 따라서 달라진다. 일반적으로 온도가 높을수록 많은 양의 복사 에너지를 방출하며, 이러한 이유로 적외선을 열선이라고도 부른다.

열화상(Thermography)은 빛이 갖는 다양한 파장대역으로부터 적외선 파장대역 중에서도 1.3[ $\mu\text{m}$ ]으로부터 12[ $\mu\text{m}$ ] 범위의 적외선을 적외선 검출소자인 센서를 통해 물체 혹은 대상체로부터 방사되어지는 적외선을 탐지하여 온도 혹은 그 자체를 화상으로 보여주는 기술이다. 지난해 메르스, 에볼라, 지카바이러스 등에 확산으로 신종 감염병의 위기로부터 국민을 보호하기 위해 공항이나 항만의 출입국 시 얼굴의 열을 실시간으로 감지하여 이상 발열정도를 나타내는 기술은 우리가 일상생활에서 가장 흔하게 접할 수 있는 thermography 기술이다. 이를 발전시킨 적외선 열화상 기술은 단순한 온도뿐만 아니라 검출된 적외선을 이용하여 비파괴 진단 및 검사, 고장분석, 응력해석을 통한 피로파괴, 의료 임상진단, 바이오 및 식품저장, 기능성 의류 및 화장품 분야 등에 응용되고 있다. 또한, 고도로 집적화된 적외선 열화상 이미지는 군수산업 및 항공우주에서도 활용되어 항공기의 야간정찰, 기갑부대의 야간탐지, 해군의 원거리 적군 탐지, 우주 신호 탐사에 운용되어 왔으며 현재는 비파괴 탐지 기술의 한 영역으로 확고히 자리 잡으면서 지속적으로 그 범위가 확대되고 있다.

## 1. 적외선(Infrared Radiation)

Table 3-1 Infrared classification with wavelength

Infrared Ray	NIR (Near Infrared Ray)	SWIR (Short Wavelength Infrared Ray)	MWIR (Mid Wavelength Infrared Ray)	LWIR (Long Wavelength Infrared Ray)
Wavelength	0.7 ~ 1.1 $\mu$ m	1.1 ~ 2.5 $\mu$ m	2.5 ~ 7.0 $\mu$ m	7.0 ~ 15.0 $\mu$ m

열화상 측정 및 적외선 광선에 활용되는 적외선 에너지는 전자기 스펙트럼의 일부분으로 가시광선과 유사한 형태의 특성을 나타낸다. Table 3-1은 파장에 따른 적외선 분류를 나타낸 것이다. 이러한 적외선은 빛의 속도로 공간을 이동하며 반사, 굴절, 흡수 및 방사 등의 현상을 나타낸다. 적외선 에너지의 파장은 가시광선에 비해 상당히 길어서 0.7[ $\mu$ ]에서 1000[ $\mu$ m] 사이의 길이를 가진다. 모든 물체는 온도의 작용으로서 적외선을 복사(방사)한다. 적외선 열화상 측정 기법은 대상체에서 방출되는 적외선 열에너지를 검출하고 측정하기 위해 사용된다. 열 혹은 적외선 에너지는 파장이 너무 길어 육안으로 탐지할 수 없으므로 비(非)가시광선이며 가시광선과 달리 적외선 환경에서는 절대 영도를 초과한 온도의 모든 사물이 열을 방출한다. 즉, 모든 물체가 적외선을 복사한다는 의미이다. 이러한 적외선 에너지는 원자와 분자의 진동과 회전으로 발생한다. 물체의 온도가 높을수록 더 많은 움직임이 발생하고 결국 더 많은 에너지를 복사한다. 이 에너지가 적외선 열화상 카메라에 감지되는 것이다. 적외선 열화상 카메라는 온도를 보는 것이 아니라 열의 복사, 즉 열에너지를 감지하는 것이다. 절대영도에서 모든 물체는 최저의 에너지 상태를 나타내며, 따라서 적외선 복사도 최소 수준으로 유지된다.

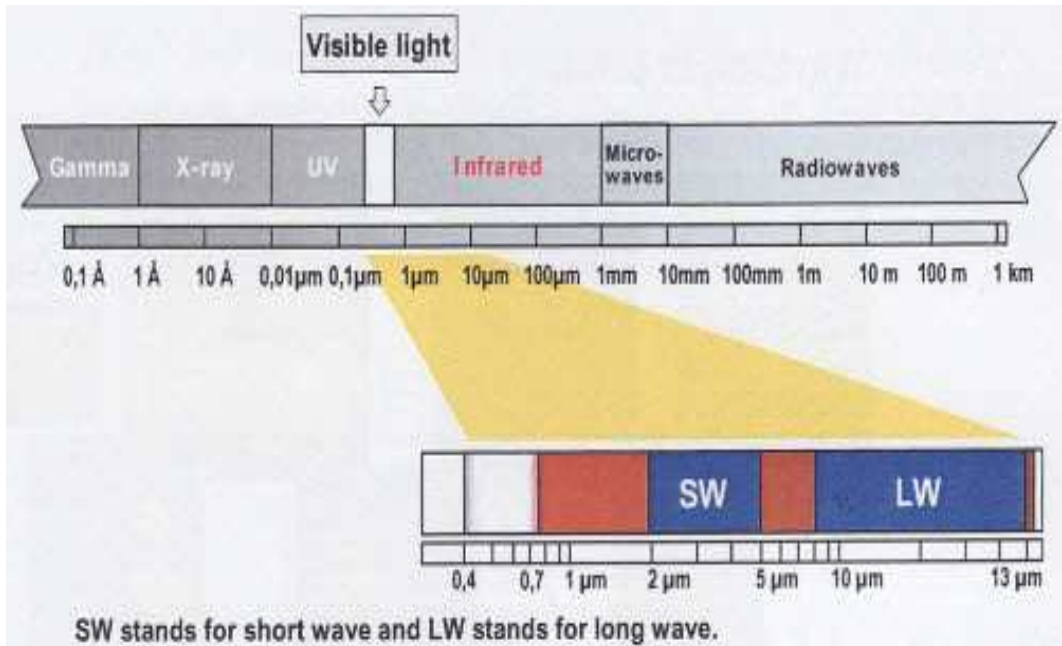


Fig. 3-1 The electromagnetic spectrum

적외선 복사는 Fig. 3-1과 같이 전자기 복사의 일종으로 가시광선보다 긴 파장을 가지고 있음을 알 수 있다. 다른 형태의 전자기 복사로는 X-ray, 자외선, 라디오파 등이 있다. 전자기 복사는 주파수 혹은 파장에 의해 범위가 정해진다. 전자기 스펙트럼은 대역(band)이라고 부르는 많은 파장의 영역으로 나눌 수 있다.

적외선 열화상 카메라는  $1.3[\mu\text{m}] \sim 12[\mu\text{m}]$  대역을 사용한다. 여기서 단파(SW : Short wave) 영역은  $2[\mu\text{m}] \sim 5[\mu\text{m}]$ 의 대역에서 복사가 검출될 수 있는 범위를 말하며, 장파(LW : Long wave) 영역은  $8[\mu\text{m}] \sim 12[\mu\text{m}]$ 의 대역의 복사가 검출될 수 있다. 그리고 중간에  $5[\mu\text{m}] \sim 8[\mu\text{m}]$ 의 대역에서는 대기에서의 낮은 투과율에 의해 전달률이 0%를 나타내고 있으므로 적외선 검출이 불가능하다. 또한 SW 영역에서는 고온의 적외선 검출이 용이하고 LW 영역에서는 저온의 적외선 검출이 용이하다. Fig. 3-1은 다른 파장 대역에서의 대기 투과를 나타낸 것이다.

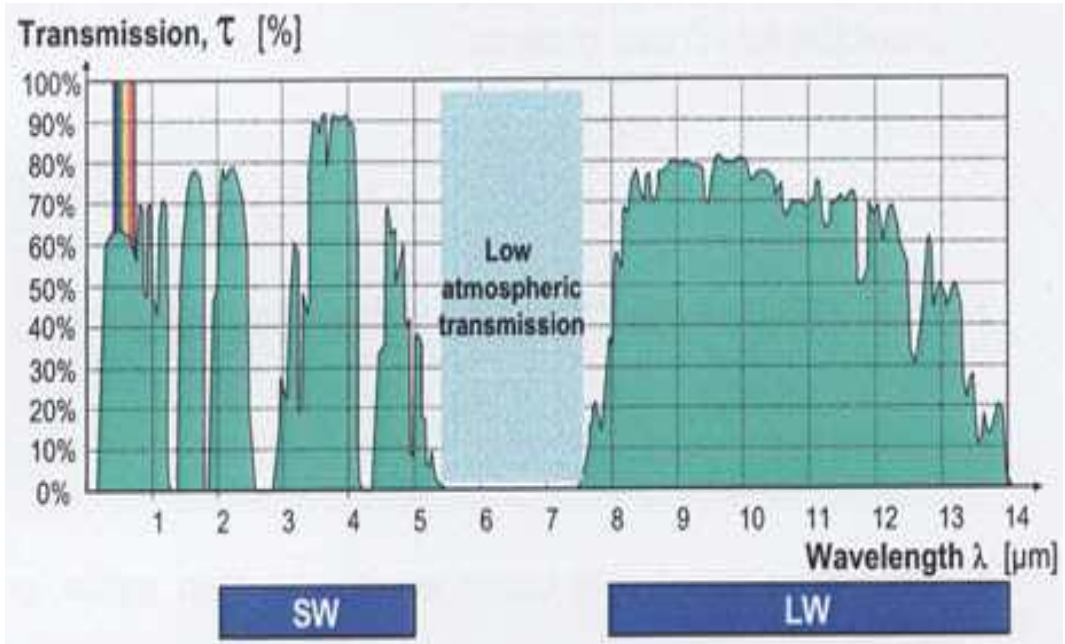


Fig. 3-2 Atmospheric transmission in different wavelength bands

## 2. 열화상 원리 및 이론

모든 물체는 절대온도 제로 켈빈(0 Kelvin) 이상에서 적외선 복사에너지를 방출한다. 복사란 전도와 대류가 고체, 액체, 기체 등의 매질을 이용하여 열 이동을 하는 것과는 달리 매질을 통하지 않고 복사에 의해 열을 이동하는 것을 말한다. 적외선 열화상 측정 원리는 Fig. 3-2에서 보이는 것처럼 물체 표면에서 방출되는 적외선을 검출하여 그 물체의 온도분포가 높은 곳은 장파장의 적색으로, 낮은 곳은 단파장의 청색으로 나타낸 열화상이다. 따라서 열적으로 가열된 재료를 적외선 카메라를 통해 구조물의 표면온도 분포를 화상으로 알 수 있을 뿐 아니라 물체의 각 지점에 대한 온도분포까지 측정이 가능하다.

적외선 열화상 측정 순서를 살펴보면 다음과 같다.

- Infrared energy는 imager의 광학렌즈를 통과한다.
- Energysms imager sensor에 모아진다.
- Sensor는 infrared energy를 electronic signal 변환한다.

- 열 영상은 물체 표면의 온도를 수천 개의 점으로 높낮이에 따라 표현된다.

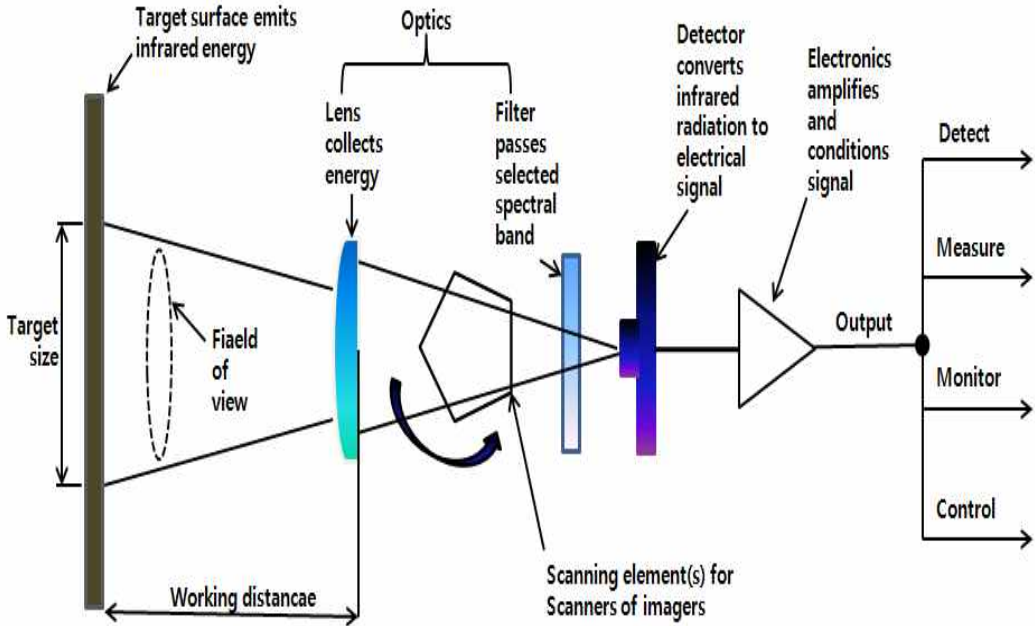


Fig. 3-3 IR camera with addition of scanning element for imaging

적외선 열화상 기술에서는 결함은 적외선 이미지에서 결함이 차지하고 있는 화소 수(pixel)로 크기를 대략적으로 추정할 수 있다. 일반적으로 결함의 크기측정을 위해서는 먼저 지시자를 이용하여 적외선 카메라의 화각에 따라 단위 화소에 대응하는 실제 길이를 구하고, 단위 화소에 대응하는 길이를 결함이 차지하는 화소수에 곱함으로써 결함의 크기를 산정하는 방법을 사용한다. 즉, 결함의 크기 [mm]  $D$  는 식( 3-1 )과 같이 표현된다.

$$D = M \times \left( \frac{L}{P} \right) \quad ( 3-1 )$$

여기에서,  $L$ 은 지시자(calibrator)의 길이[mm],  $P$ 는 지시자의 길이에 대응하는 화소수(pixel),  $M$ 은 결함이 차지하는 화소수(pixel)이다.

물질을 이루고 있는 입자(전자, 이온, 원자, 분자)들은 미세한 진동에 의해 복사



에너지를 방출한다. 이러한 열복사는 기체나 액체, 고체 사이에서 차이점이 존재한다. 복사에너지의 운반을 설명하기 위해서는 두 가지 접근 방법 즉, 광자 복사와 전자파를 고려하는 방법이 있다. 광자 에너지  $W$ 는 물질내부의 진동 특성으로 인해 다음과 같이 식( 3-2 )로 표현될 수 있다.

$$W = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{joules} \quad ( 3-2 )$$

여기서  $h$  는 Plank 상수( $6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )이고,  $c$  는 빛의 속도( $2.998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )이다. 상기 식으로부터 광자 에너지는 파장에 반비례한다. 따라서 파장이 짧은 복사는 많은 광자 에너지를 포함한다. 그러므로 파괴력이 큰 감마선이나 X선과 같은 파장이 짧은 복사를 피하려고 하는 것은 당연하다. 복사열 전달은 유한한 온도의 모든 표면이 전자기파 방식으로 에너지를 방출하여 생기는 열전달 현상으로, 유한한 온도의 물질에 의하여 방사(emission)되는 에너지로 진공에서 열 손실이 없으므로 가장 잘 이루어진다.

전자기파는 주파수  $f$  와 파장  $\lambda$ 에 의하여 표현되며, 하나의 매체 속에서 이들 두 성질은 다음과 같이 식( 3-3 )과 관계가 있다.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad ( 3-3 )$$

파장의 일반적인 단위는 마이크로미터( $\mu\text{m}$  ;  $1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ), 나노미터( $\text{nm}$  ;  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), 앙스트롬( $\text{\AA}$  ;  $1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ )이다. 1864년 물리학자인 James Clerk Maxwell은 전하를 가속하거나 전류를 바꾸면 전기와 자기장이 생긴다고 가정하였다. 빨리 움직이는 장을 전자기파 또는 전자기복사(electromagnetic radiation)라고 부르며 이는 원자나 분자 내에서 전자의 분포가 변화되었을 때 물체가 방사하는 에너지이다. 1887년 Heinrich Hertz는 실험을 통해 이러한 파장이 존재함을 입증하였다. 전자기파는 다른 파장처럼 에너지를 전하고 모든 전자파는 빛의 속도로 전파된다. 파장이나 전파속도와 달리 전자파의 주파수는 출처(source)에만 관계되며 파가 통과한 매체와는 무관하다. 복사에서는, 1900년 Max Planck가 양자원리(quantum theory)에서 제안한 것과 같이, 전자기복사를 광자



(photon)나 양자(quantum)라고 하는 불연속적인 에너지 묶음이 전파되는 것이라고 생각하면 도움이 된다.

이상적인 표면으로부터의 열복사가 일어날 경우 방출 가능한 최대 속은 그 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 이를 스테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 법칙이라 하고 식( 3-4 )와 같이 나타낸다.

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad ( 3-4 )$$

- $\epsilon$  : 방사율(emissivity), 복사 물성치,  $0 \leq \epsilon \leq 1$
- $T_s$  : 표면의 절대온도, K

여기서,  $\sigma$ 는 스테판-볼츠만(Stefan-Boltzmann) 상수이며  $5.67 \times 10^{-8}$  이고 단위는  $W/m^2K^4$ ,  $T_s$ 는 표면의 절대온도로 단위는  $K$  또는  $R$ 이다.

복사열이 완전히 흡수되는 흑체(black body)의 복사강도를 기술한 플랑크(Planck) 법칙에 의해 물체로부터 방출되는 전체에너지는 스테판-볼츠만 법칙으로부터 흡수율 1이므로( $\epsilon = 1$ ), 흑체에 대해 식( 3-5 )와 같다.

$$E_b = \sigma T^4 (W/m^2) \quad ( 3-5 )$$

상기 식에서 적외선에너지는 전자기적 스펙트럼의 일부로써 가시광선과 유사하게 거동하며 광속으로 우주공간을 달리고 반사, 굴절, 흡수, 방사될 수 있다. 빛의 흡수는 다음 법칙에 따른다. 즉, 입사광의 강도를  $I_0$ , 투과광의 강도를  $I$ 라 하면,  $I = I_0 e^{-\alpha x}$  이다. 여기서  $x$ 는 통과한 두께,  $\alpha$ 는 감약계수이다. 그러나  $N_\alpha$ 는 같은 물질이라도 빛의 파장에 따라 다른 색이 생기게 된다. 빛의 굴절률은 일반적으로 파장의 함수로써 무한대의 파장에 대한 굴절률  $n_\infty$ 는 그 물질의 유전율  $\epsilon$ 의 제곱근과 같다. 즉,  $n_\infty^2 = \epsilon$ 이다. 물체에 입사한 복사에너지는 빛의 성질에 의해 물체로부터 3가지 형태로 나타난다. 조사된 복사열(incident flux :  $\Phi_i$ )은 일부 흡수(absorption)가 될 수도 있고, 일부는 물체에 의해 반사(reflection)되고, 일

부는 물체를 투과(transmission)할 수도 있다. 일반적인 경우  $\Phi_i$ 의 흡수, 반사, 투과는 파장( $\lambda$ ), 방향( $\phi, \theta$ ), 온도(T)에 의존한다. 이러한 에너지는 에너지 보존의 법칙에 따라 식( 3-6 )과 같이 유도된다.

$$\Phi_i = \Phi'_r + \Phi_a + \Phi_t \quad ( 3-6 )$$

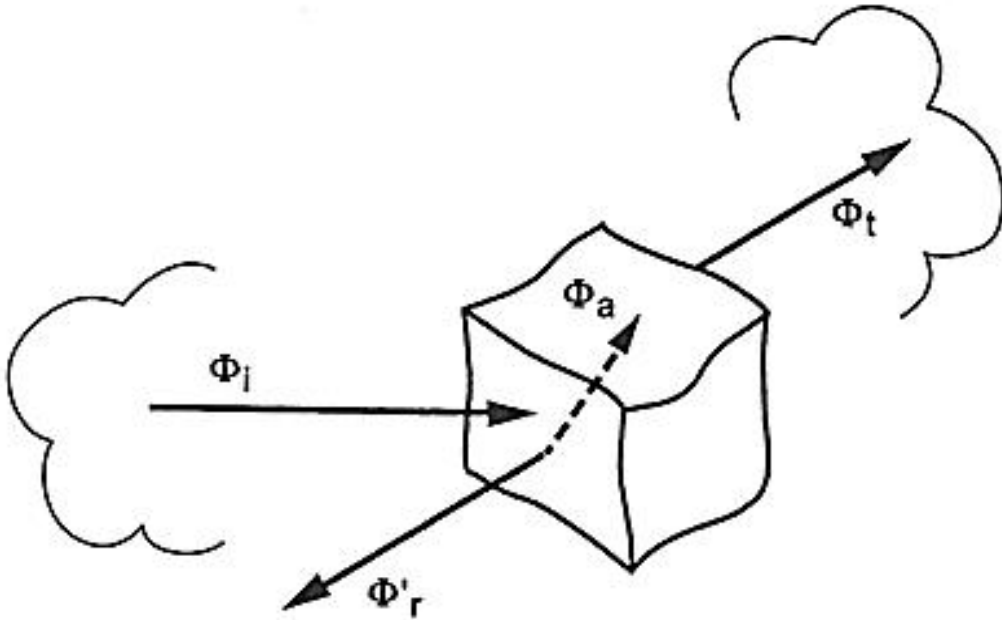


Fig. 3-4 The flux incident  $\Phi_i$  is equal to the flux reflected  $\Phi'_r$ , absorbed  $\Phi_a$ , and transmitted  $\Phi_t$

상기 식( 3-6 )의 물체에 입사한 복사 에너지로부터, 흑체로부터 방사된 에너지는  $W_{bb}$ 이고 이상적인 흑체 방사체라는 것은 실제로 존재하지 않으며 실제 방사된 에너지가  $W_{abj}$ 이면, 물체의 방사율  $\epsilon$ 는 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{W_{abj}}{W_{bb}}, \text{ 여기서 } 0 \leq \epsilon \leq 1 \quad ( 3-7 )$$

식( 3-7 )으로부터 적외선 열화상에 적용되는 방사율은 적외선 카메라에 의해 사용되어지는 적외선 파장간격에서 발생하는  $\epsilon_\lambda$ 의 평균값으로 서로 다른 물체의 온도에 따라 적절한 방사율의 예측이 중요하다.

파장 흑체 방사력은 절대온도  $T$ 에서 단위시간당, 단위면적당 그리고 단위 파장  $\lambda$ 에서 흑체가 방사하는 복사이다. 흑체 방사도  $L_{\lambda,b}$ 는 1901년 Max plank에 의하여 양자이론과 관련하여 개발되었다.

$$L_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 [\exp(hc/\lambda KT) - 1]} \quad W m^2 \mu m^{-1} sr^{-1} \quad ( 3-8 )$$

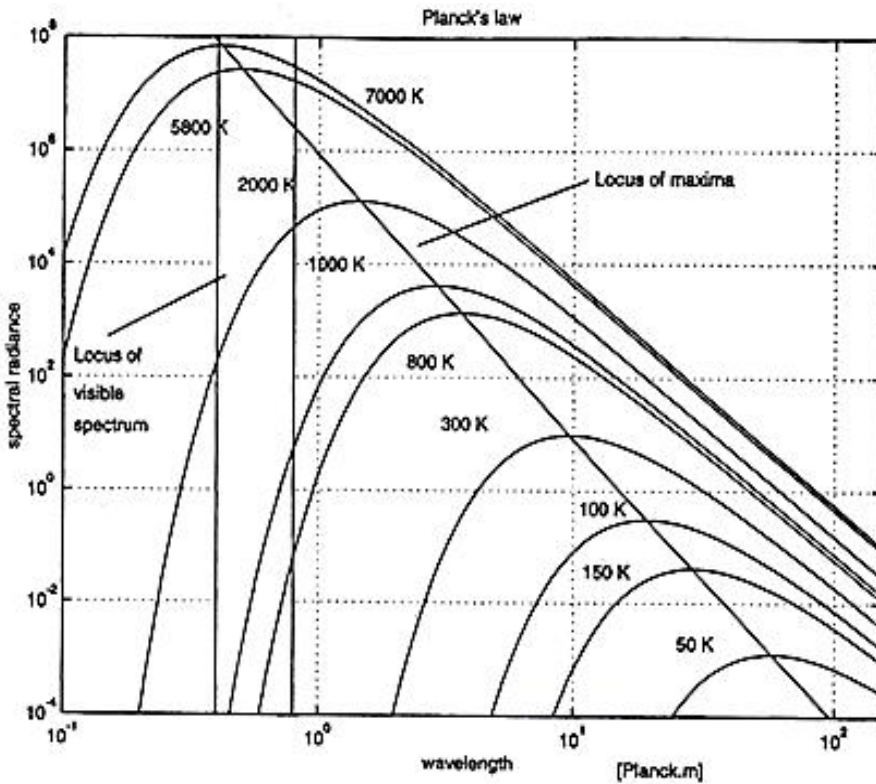


Fig. 3-5 Spectral radiance of a blackbody(Planck's law)

Fig. 3-5에서 보면 주어진 온도에서 파장에 따라 방사가 달라짐을 알 수 있다. 식( 3-8 )에서 첫 번째와 두 번째 복사 상수를 써서 나타내면 다음과 같다.

$$L_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad W \, m^2 \, \mu m^{-1} \, sr^{-1} \quad ( 3-9 )$$

여기서,  $C_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.742 \times 10^8 \, W \cdot \mu m^4 / m^2$ ,  $C_2 = hc_0 / K = 1.439 \times 10^4 \, \mu m \times K$  이다.

앞서 언급한 바와 같이 흑체(blackbody)는 완벽한 방사체이다. 흑체는 투과율이 제로(0)이며 반사율 또한 제로(0)이다. 키리히호프 법칙(Kirchhoff's law)에 의하면, 이러한 흑체의 방사율은 1이다. 사실 흑체는 가시광선 방사에 대해 처음 정의되었다. 가시광선 상에서는 어떤 물체가 빛을 전혀 반사하지도 투과하지도 않을 경우 검은색으로 보이게 된다. 따라서 이러한 물체가 흑체라고 불리게 되었다. 회색체(graybody)는 모든 파장에 걸쳐 1.0 이하의 일정한 방사율을 나타내는 물체를 지칭한다. 실물(realbody)은 파장에 따라 방사율이 달라지는 물체를 지칭한다.

적외선 열화상 카메라는 특정 파장에서 발생하는 적외선 방사 에너지를 감지한다. 온도값을 얻기 위해 앞에서 설명한 결과치를 흑체를 사용하여 만들어낸 교정표와 비교한다. 이 경우 대상물체가 회색체라는 가정이 포함되어 있다. 대부분의 경우 이 가정은 사실이고 의미 있는 측정치에 충분히 가까운 값을 구할 수 있다. 불투명한 물체의 경우 방사율과 반사율은 상호 보완되는 것으로 방사율이 높다는 것은 반사율이 낮다는 말이고 그 반대도 마찬가지다. 적외선 방사율은 열역학적으로 열역학 제1법칙인 에너지 보존의 법칙에 의해 다음과 같다. 흡수율( $\alpha$ )과 방사율( $\epsilon$ )의 값은 같으며 식( 3-10 )에서 흡수되는 적외선  $\alpha$ (흡수율),  $\epsilon$ (방사율), 투과하는 적외선  $\tau$ (투과율), 반사되는 적외선을  $\rho$ (반사율)라고 하면 물체에 입사되는 적외선 성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (\alpha \geq 0, \rho \cdot \tau \leq 1) \quad ( 3-10 )$$

불투명체로 물체가 적외선을 투과하지 않을 때  $\tau = 0$ 이 되고 방정식이 식( 3-8 )과 같이 간단히 나타낼 수 있게 되며,  $\alpha = 1 - \rho$ 에서 반사율을 알면 흡수율도 알

수 있다.

$$\alpha + \rho = 1 \quad ( 3-11 )$$

식( 3-11 )은 매우 중요한 사실을 보여준다. 앞서 말한 것과 같이 간단하게 말하면 높은 방사율은 낮은 반사율을 의미한다. 반대로, 높은 반사율은 낮은 방사율을 의미한다. 열화상 카메라 사용자들은 방사율이 가능한 최대로 높은 것을 선호한다. 이는 목표 대상체로부터 반사되는 방사에너지의 대부분을 가장 정확하게 읽을 수 있기 때문이다. 하지만 방사율이 낮아질 경우 측정오차는 점점 커지게 된다.

계산식에 의하면 목표물의 방사율이 0.5 이하로 내려갈 경우 측정오차는 수용할 수 없을 정도로 높아지게 된다. 다양한 방사율(emissivity)표가 있지만 방사율은 추측하기가 쉽지 않다. 물체의 형상에 따라서도 방사율이 달라진다. 반투명체의 경우 두께에 따라 방사율이 달라진다. 이외에도 방사율에 영향을 주는 요소들로는 보는 각도, 파장 및 온도 등이 있다. 방사율의 파장에 따른 차이는 적외선 열화상 카메라의 종류에 따라 같은 물체에 대해 서로 다른 방사율을 나타낼 수 있다는 의미이다. 사실, 이 경우 두 가지 모두 다 옳은 값으로 볼 수 있다.

일반적으로, 절연체(전기적 비전도체)는 0.8 ~ 0.95의 상대적으로 높은 방사율을 나타낸다. 도색이 잘된 금속도 포함된다. 산화되지 않은 금속의 경우 약 0.3 이하의 방사율을 나타내므로 측정 자체를 하지 말아야 한다. 산화된 금속의 경우 0.5 ~ 0.9의 방사율을 나타내는데 그 값의 범위가 너무 커서 측정에 큰 문제점으로 부각된다.

산화된 정도는 물체의 방사율에 중요한 요인이 된다. 산화의 정도가 높을수록 방사율이 높아진다. 불투명한 물체의 경우, 방사율 및 주변(반사된)온도를 알고 있는 경우라면 적외선 열화상 카메라를 이용한 온도 측정값이 수 % 이내로 정밀한 값을 얻을 수 있다. 올바른 온도를 측정하기 위해서는 적외선 열화상 카메라는 물체로부터 방사되는 에너지로 인한 부분만을 추출해 낼 수 있어야 한다. 최근의 적외선 열화상 카메라는 이러한 기능을 가지고 있다. 반사에 의한 오차부분을 제거한 후 물체의 방사율에 따라 그 값을 변경 처리한다.

적외선 열화상 카메라는 외부의 광원에서부터 대상 물체에 반사 되어진 적외선 파장을 검출하여 Stefan-Boltzmann Law에 의한 온도와 파장의 관계식을 이용하여

적외선 detector로부터 검출된 적외선 파장을 온도의 함수로 나타내어 온도의 고저를 화상으로 보여주는 것이다.

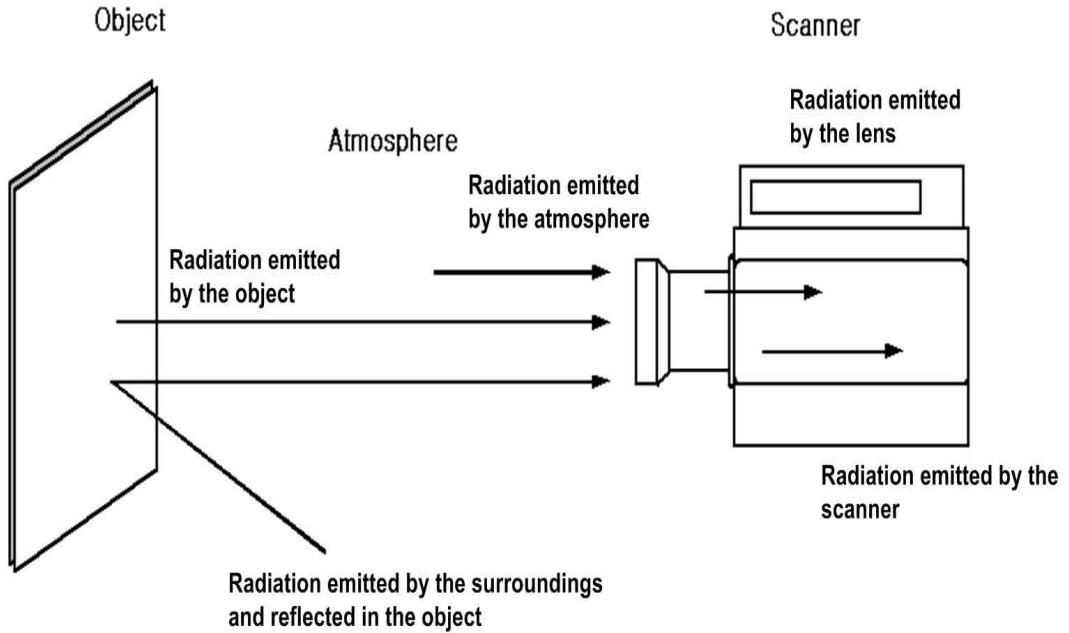


Fig. 3-6 Radiation contributions to the general measurement situation

대기와 물체 방사율에 영향을 미치는 보정은 열상에 존재하는 부수적인 방사에너지와 대기에 의해 감쇄된 피사체의 방사에너지뿐만 아니라 주위로부터의 방사에너지, 즉 대기 자체에서 방사된 방사에너지와 대기에 의한 감쇄와 물체에서 반사되어진 방사에너지로 존재한다. 피사체 방사에너지 강도는 존재하지 않는 완전한 흑체 방사율의 함수와 같으며, 열 측정 공식은 식( 3-12 )에서와 같이 표현된다. 여기에서 첫 번째 항은 피사체의 방사, 두 번째 항은 주위에서 반사된 방사, 세 번째 항은 대기에서의 방사를 나타내고 있다.

$$I_m = I(T_{obj}) \times \tau \times \epsilon + \tau(1 - \epsilon) \times I(T_{amb}) + (1 - \tau) \times I(T_{atm}) \quad ( 3-12 )$$

## 제 2 절 적외선 열화상 탐상 기법

적외선 열화상 비파괴검사는 2가지의 다른 접근법인 수동적 방법(Passive method)과 능동적 방법(Active method)으로 크게 구분할 수 있다. 능동 서모그래피는 외부 가열이나 냉각 등에 의해 열 유동이 생산되어진다. 이러한 열 유동에 의해 일시적 또는 지속적인 자극에 의해 표면의 온도 패턴을 분석함으로써 내부 결함까지 측정할 수 있다.

### 1. 수동적 방법(Passive method)

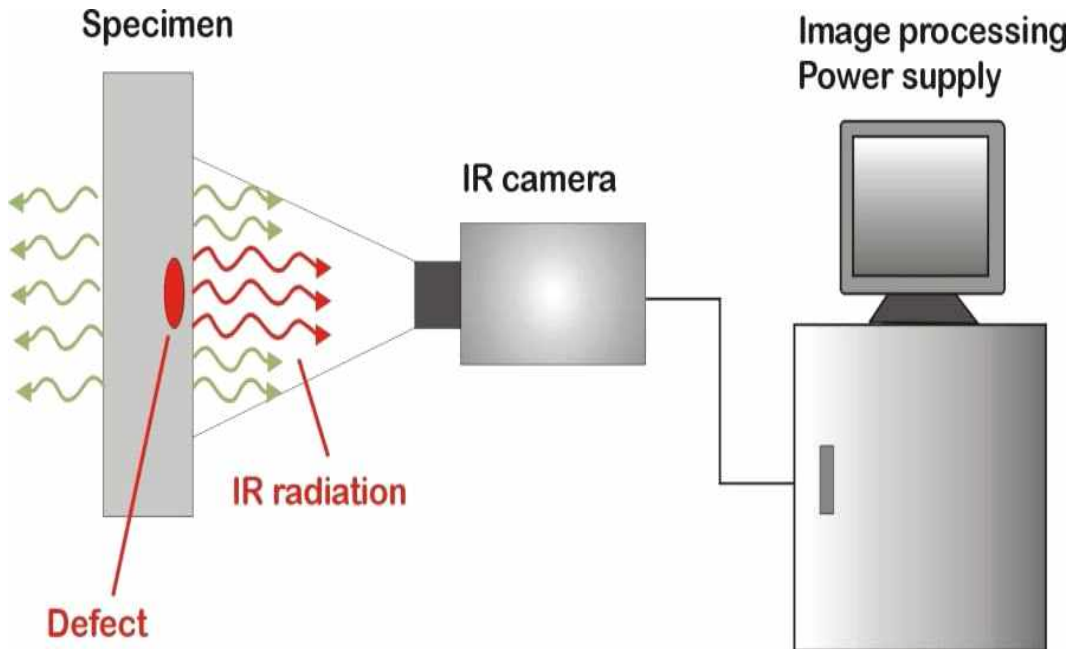


Fig. 3-7 Passive method (jenoptik ag)

Fig. 3-7의 수동 기법은 가열이나 냉각이 적용되지 않고, 측정 대상물로부터 자연스럽게 방사되고 있는 적외선 에너지를 검출하는 일반적인 측정방법이다. 수동적 열화상 기법은 일반적으로 온도 패턴을 기초로 산업 공정 및 제도 단계에서의 평가 및 모니터에 적용된다.

수동적인 방법으로서의 결함탐지는 검사에 앞서 온도가 환경에 따라 일정하다. 따라서 시험 대상체는 결함 부위에서 기록할만한 온도를 제공하기 위해 가열되거나 냉각되어야 한다. 이 방법은 제어할 수 없는 에너지(태양)와 상호작용으로 대상체가 방사하는 적외선 에너지를 측정하여 분석하는 기법으로 적외선을 방출하는 모든 물체에 해당하는 사항으로 그 물체가 방출하는 고유의 적외선량을 감지하여 화상으로 나타낸다. 또한, 수동적 방법은 물체 고유의 상태를 파악하는데 사용되는 가장 기본적인 방법으로 측정 대상체의 정량적인 미시적 정밀도를 요구하는 분야보다는 거시적인 측정법에 속한다.

## 2. 능동적 방법(Active method)

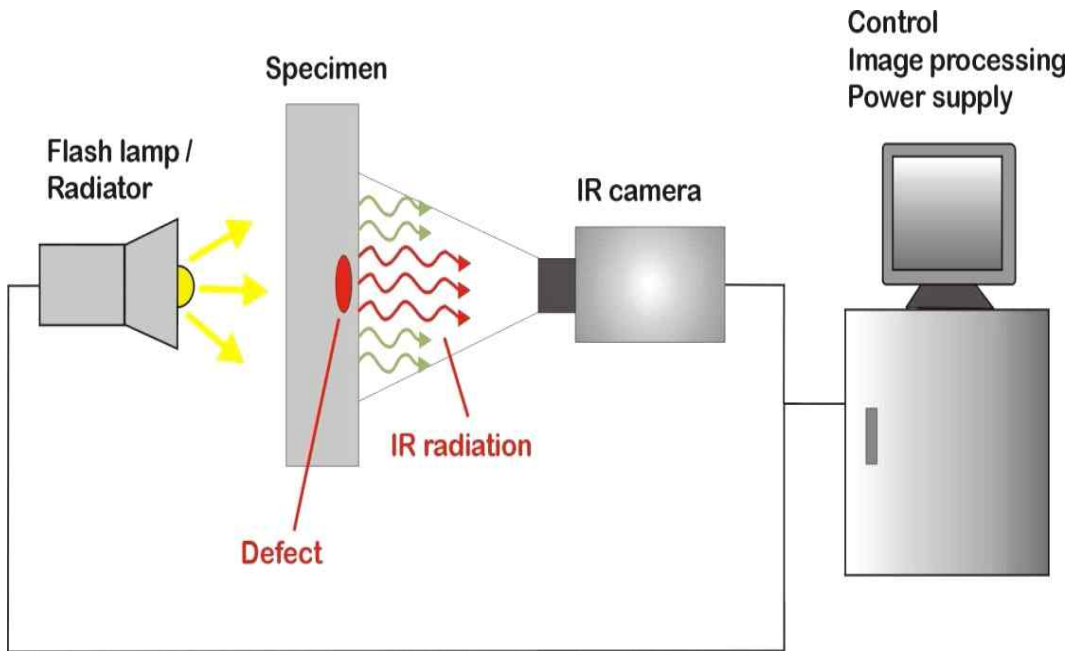


Fig. 3-8 Active method (jenoptik ag)

Fig. 3-8의 능동적 검사기법(Active method)은 수동적 검사기법과 달리 검사체 고유의 적외선량에 의존하지 않고 제어 가능한 에너지를 입사하고 그 반응으로 검사체가 방사하는 적외선 에너지를 측정하여 분석하는 기법이다. 이러한 검사기법은 물체표면 방사율, 주변온도, 측정각도, 풍속, 거리, 형상에 따른 영향을 제어하여



검사자가 얻고자 하는 결과를 정밀하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 능동형 검사기법으로는 대표적으로 광적외선, 진동, 마이크로웨이브, 초음파, 와전류 등 에너지의 입사 종류에 따른 분류와 제어 방법에 따른 분류로 나뉠 수 있는데 이러한 검사기법을 통하여 검사체로부터 얻을 수 있는 결과 값이 더욱 정밀해지는 효과가 있다. 또한, 전류를 흘리는 방법이나 전류의 ON/OFF를 궁리하여 고장 위치를 알기 쉽게 하는 방법도 이루어지고 있다. 액티브(능동)방식은 일반적으로 측정 대상물에는 전혀 열이 가해지지 않아 온도 분포가 없거나 온도 또는 온도차가 매우 미소한 경우 외부로부터 열을 가함으로써 측정 대상물의 표면의 미세 결함(크랙 등)이나 내부 결함(내부 크랙이나 보이드 = 공극)을 온도 분포로써 부상시켜 검출하는 방법이다.<sup>(11)~(19)</sup>

## 제 4 장 실험

### 제 1 절 실험장치 구성

성능 검증을 위해 60도 이상의 고온에서 시스템의 정상 동작을 확인하는 실험을 진행하였다. Fig. 4-1과 같이 실제 설치되는 재질과 형태의 RTU함과 원격제어시스템의 핵심 자재인 CPU모듈과 IO모듈을 연결하여 현장과 동일하게 구현하였고, C프로그래밍 언어로 개발된 E사의 응용프로그램을 활용하여 UI를 제작하였다. 데이터는 인터넷을 통해 전송하였으며, 동작여부 확인을 위해 타워램프를 설치해 결과값을 확인하였다. 외부 온도에 노출되는 상태를 구현하기 위해 할로겐램프로 RTU함의 온도를 상승시켰으며, 그때의 동작과 통신 두절시 정상 동작 상태를 실험하였다. 25분에 동작을 실험하였고, 추가로 2시간에 걸쳐 동작과 통신 두절 시 대응 기능을 실험하였으며, C프로그래밍 언어로 개발된 응용프로그램을 활용하여 UI를 제작하였다. UI를 통해 동작 신호를 무선 인터넷을 통해 전송하여 RTU를 통해 LED를 점등하여 동작을 확인하였으며, 실험에 이용한 써머커플은 Yokogawa사의 XL100 모델이며 열화상 카메라는 FLIR사의 T640 모델을 사용하였다.

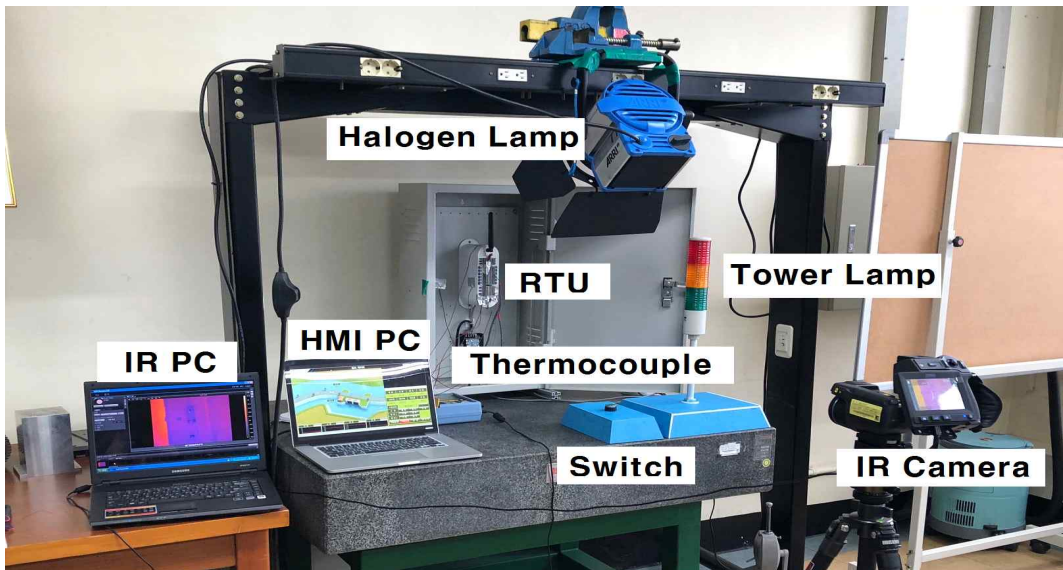


Fig. 4-1 Tests building for TM/TC System

원격제어 시스템은 RTU와 HMI컴퓨터로 원격제어가 가능하도록 하였으며, 정상 동작 여부를 확인하기 위해 디지털 출력부분에 타워 램프를 연결하였고, 통신 두절시 제어를 위한 가상의 수위값을 설정하기 위해 스위치를 디지털 입력에 연결하였다. 70도 이상의 높은 온도를 높이기 위해 할로겐 램프를 설치하였고, 이때의 온도를 측정하기 위해 적외선 열화상 카메라와 이를 모니터링하기 위한 컴퓨터도 설치하였다.

## 제 2 절 실험방법 및 DATA 해석

외부 환경과 비슷한 환경을 구성하기 위해 할로겐램프를 이용해 RTU의 온도를 상승시켰으며, 2시간가량 빛을 조사하여 75도로 증가한 것을 확인한 후 동작시험과 통신 두절시 정상적인 동작을 하는지 실험하였다.

Fig. 4-2 ~ Fig. 4-7은 RTU의 온도가 75도로 상승한 시점에 동작 실험과 통신 두절시 동작 실험을 하였으나 내부온도는 상대적으로 낮아 정상 동작 여부를 판단하기에는 부족하다고 사료되어 바로 2차 실험을 진행하였으며, 온도 변화를 써머커플과 열화상 카메라로 측정하였고, Fig. 4-8 ~ Fig. 4-25는 75도를 유지한채 1시간 이후부터 매 30분마다 실험을 하여 총 3회의 추가 실험을 하였다. 온도 변화를 측정하기 위해 써머커플을 이용해 RTU의 내부 7군대를 측정하였고, 적외선 열화상 카메라는 RTU 함 전체를 지정하여 촬영하였다. Fig. 4-2 ~ Fig.4-3은 1차 실험 때 촬영한 이미지이고, 외부 온도가 75로 상승한 것을 확인하고 Fig. 4-4 ~ Fig. 4-5의 동작 실험을 하였고, Fig. 4-3은 그때의 온도 상승 그래프이다. Fig. 4-6 ~ Fig. 4-7은 동작실험 후 통신 두절 시 무인 기능으로 동작하는 지 여부를 실험하였으며 이후에는 총 1시간 30분 동안 시간과 온도변화에 따른 동일한 실험을 하였다. Fig. 4-8 ~ Fig. 4-13은 2차 실험 시작 후 1시간이 지난 시점에서 실험한 모습이고, Fig. 4-14 ~ Fig. 4-19는 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에서 실험한 모습이고, Fig. 4-20 ~ Fig. 4-25는 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에서 실험한 모습을 보여준다.

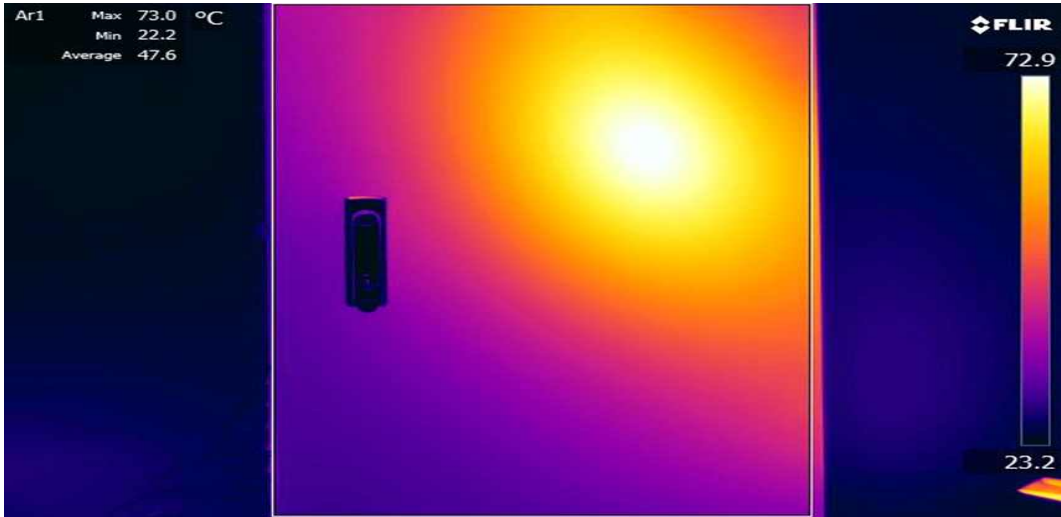


Fig. 4-2 Infrared Thermal Imaging

Fig. 4-2는 할로겐램프로 가열된 RTU 외함의 모습을 열화상 카메라로 촬영한 모습으로 전체적으로 75도에 가깝게 증가하였고, 초기에는 한부분의 온도가 상승하는 것을 보여준다.

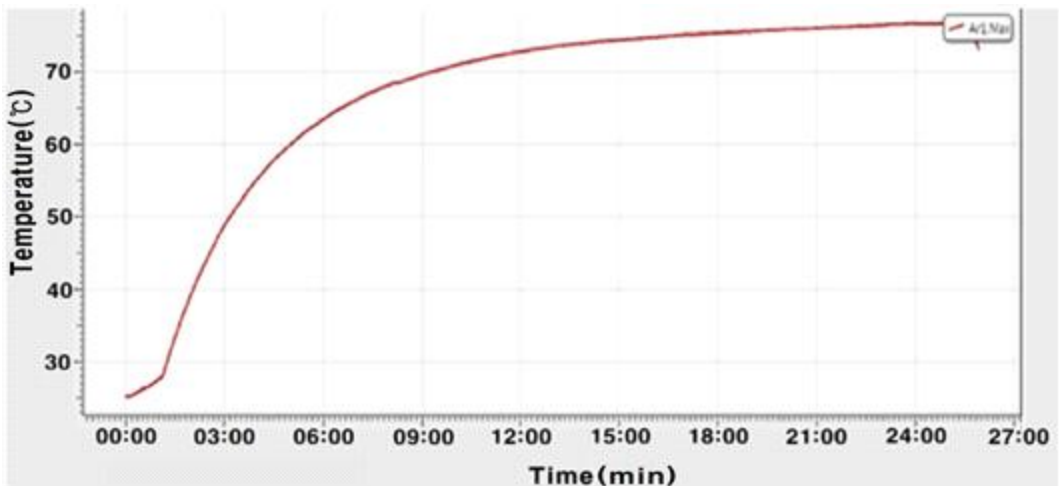
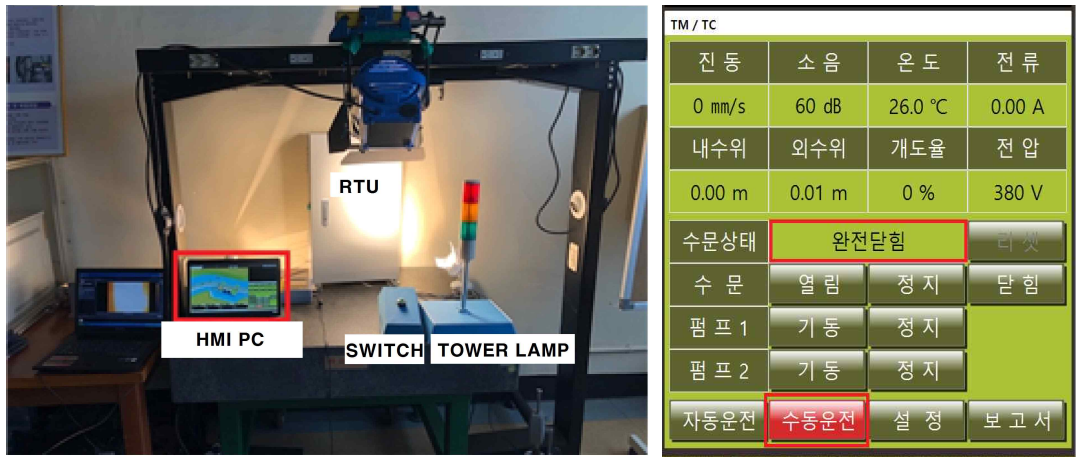


Fig. 4-3 RTU Temperature Graph

Fig. 4-3과 같이 할로겐램프의 빛이 집중되어 온도가 빠르게 상승하였고, 그로 인해 21분에 75도로 상승한 것으로 나타난다. 따라서 온도가 가열된 시점에서 동

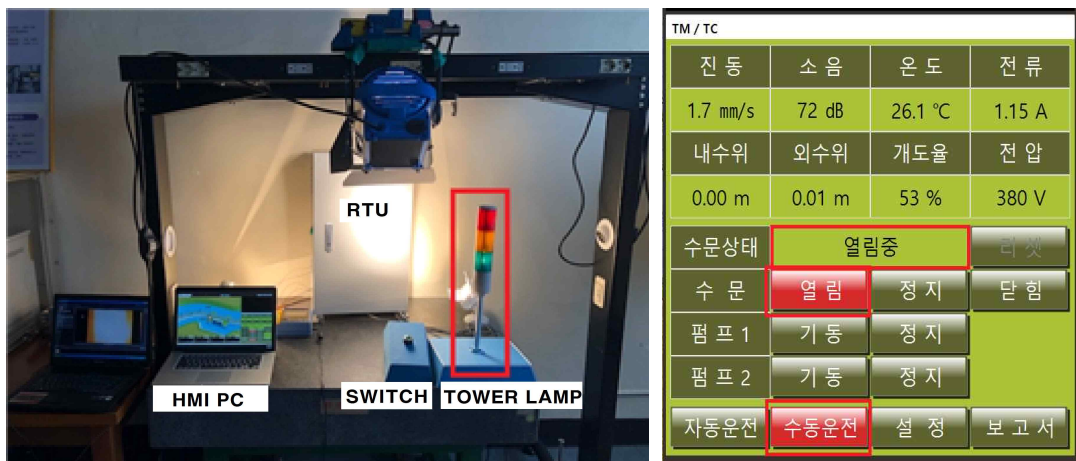
작을 실험하였고, Fig. 4-4 ~ Fig. 4-5 는 정상 동작 되는 것을 나타낸 것이다.



(a) (b)

Fig. 4-4 HMI and RTU Operation Test

Fig. 4-4 (a)에서 온도는 Fig. 4-3과 같이 RTU 외부 온도가 75도까지 상승한 것을 확인하였고, (b)와 같이 HMI와 RTU가 정상적으로 통신하는 상태에서 동작실험을 하기 위해 수동운전으로 설정한 것을 나타낸다.



(a) (b)

Fig. 4-5 HMI and RTU operation confirmation

Fig. 4-5 (a)에서 Fig. 4-3과 같이 RTU 외부 온도가 75도까지 상승한 것을 확인하였고, 통신이 연결 되었을 때 HMI를 통해 열림 명령을 주었고, 그 결과 RTU가 정상적으로 신호를 수신 하여 타워램프의 녹색 등이 켜지는 것과 (b)와 같이 HMI 상에 열림중이라는 상태 값을 통해 정상 동작된 것을 나타낸다.

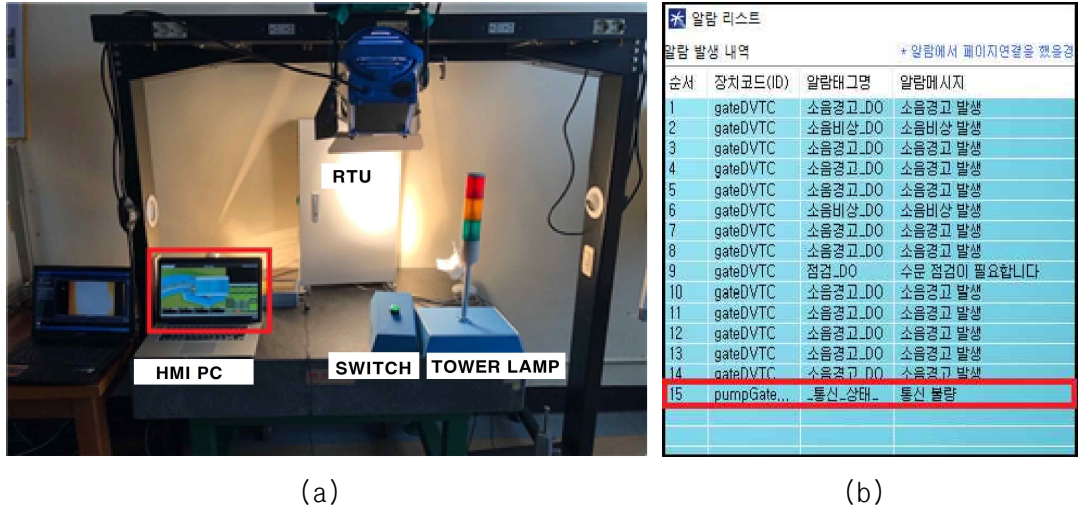


Fig. 4-6 HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption

Fig. 4-6의 (a)와 같이 통신을 두절 시 정상적으로 동작하는지 여부를 실험하기 위해 HMI 컴퓨터에서 강제적으로 통신을 두절 시켰으며, (b)와 같이 통신 두절이 되었음을 HMI 컴퓨터에서 알람창이 팝업 되는 것을 통해 확인 후 스위치를 통해 가상의 수위 값을 입력하는 것을 보여준다.



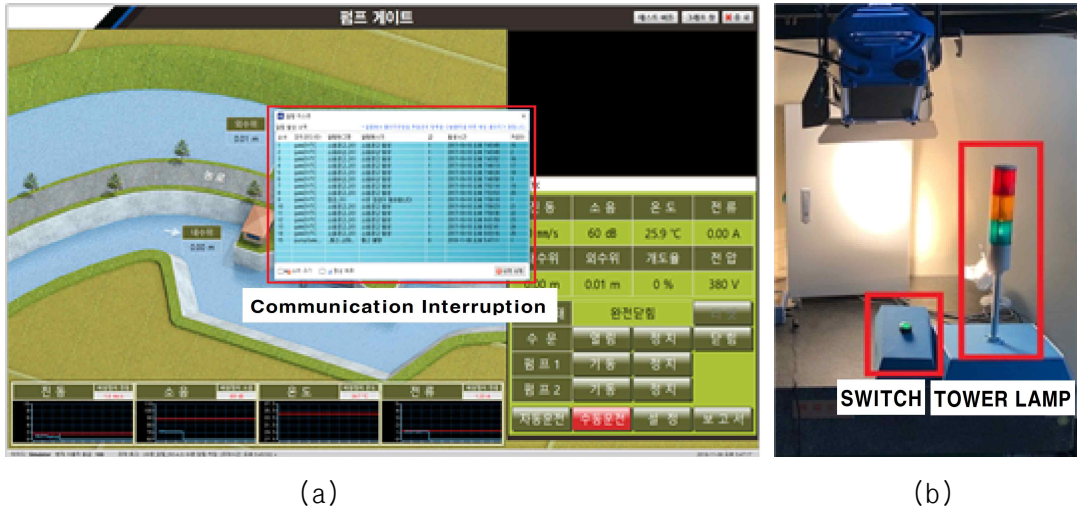


Fig. 4-7 HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption

Fig. 4-7는 (a)와 같이 통신이 두절 된 뒤 디지털 입력 부분에 연결된 스위치를 통해 입력 신호를 주었을 때 (b)와 같이 출력 부분의 전압을 통해 타워램프의 녹색등이 점등 되는 것을 보여준다.

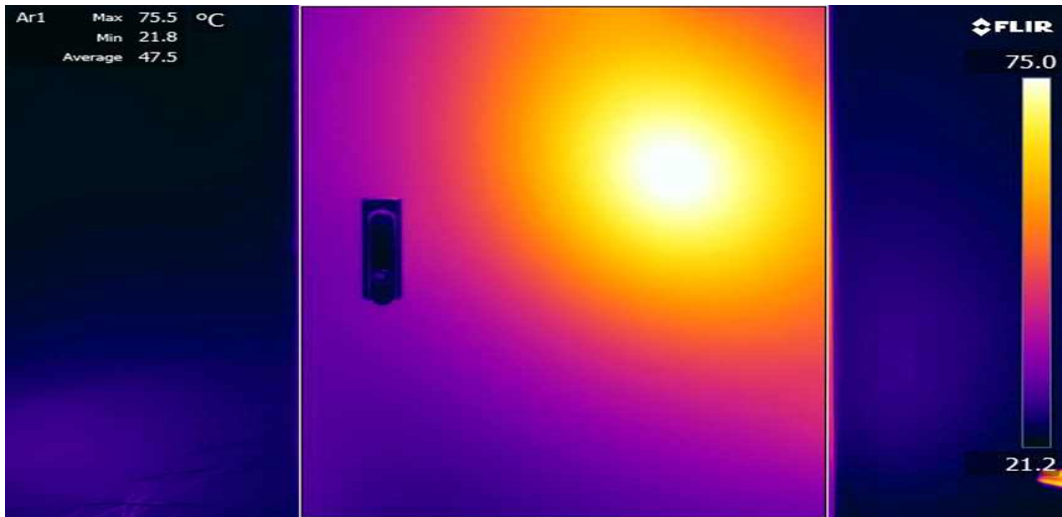


Fig. 4-8 1 hour later Infrared Thermal Imaging

온도가 75도로 상승 후의 실험만으로는 시스템의 지속성을 판단하기에는 부족하다고 판단하여 추가적인 실험을 진행하였고, Fig. 4-8은 실험 시작 후 1시간이 지

난 시점에 75도가 유지되는 것을 나타낸다.

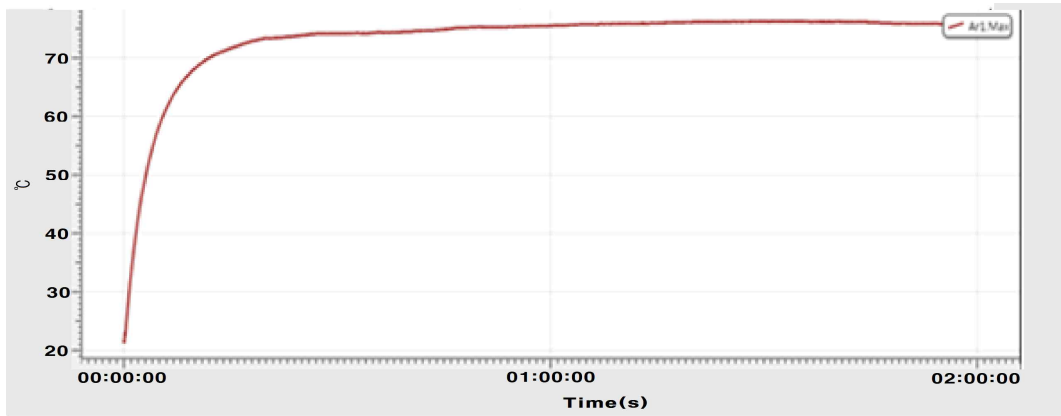


Fig. 4-9 1 hour later RTU Temperature Graph

Fig. 4-9 은 실험 시작 후 1시간이 지난 시점으로 할로겐램프의 영향으로 75도가 유지되는 것을 나타낸다. RTU의 온도가 유지되는 시점에서 동작을 실험하였고, 그 결과는 Fig. 4-10 ~ Fig. 4-11의 모습과 같다.

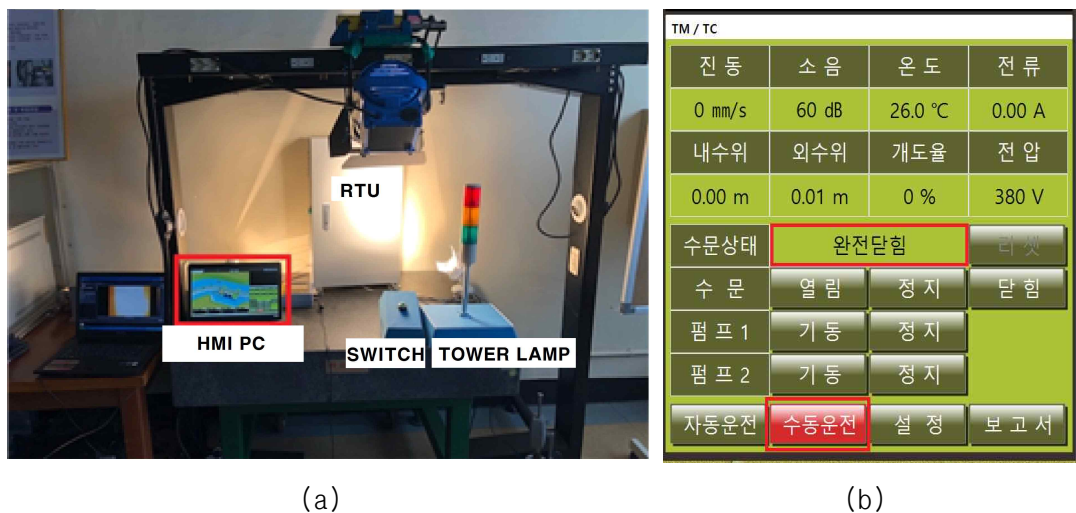


Fig. 4-10 1 Hour later HMI and RTU Operation Test

Fig. 4-10는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간이 지난 시점에서 동작 실험을 위해 (b)와 같이 HMI와 RTU의 통신 정상성을 체크 후 수동운전으로 설정한 것을 나타낸



다.

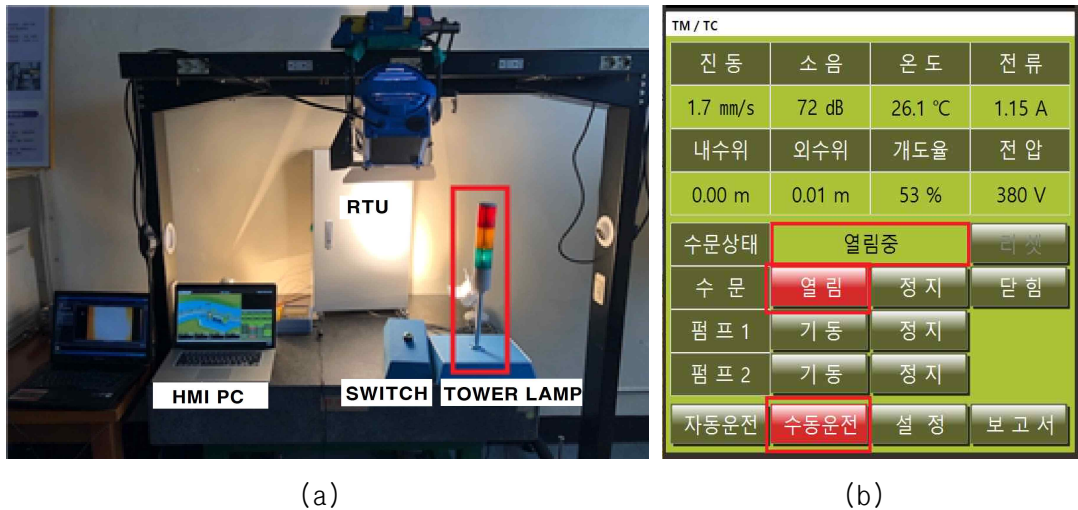


Fig. 4-11 1 hour later HMI and RTU Operation confirmation

Fig. 4-11는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간이 지난 시점에서 통신이 연결 되었을 때 (b)와 같이 HMI 컴퓨터와 RTU가 정상적으로 신호를 송수신 하며, (a)와 같이 타워램프의 녹색 등이 점등되는 것을 나타낸다.

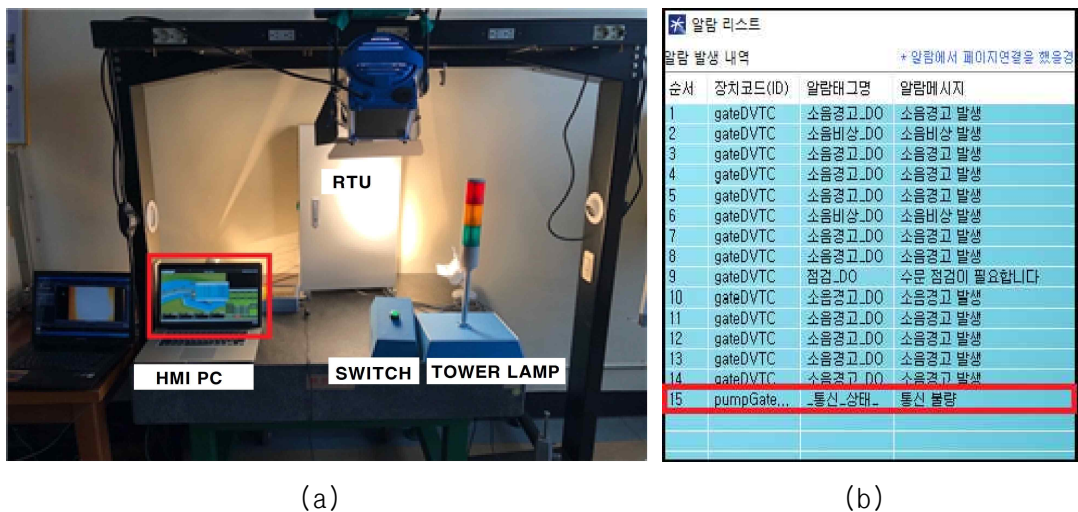


Fig. 4-12 1 hour later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption

Fig. 4-12는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간이 지난 시점에서 통신을 두절 시 정상적으로 동작하는지 여부를 실험하기 위해 HMI 컴퓨터에서 강제적으로 통신을 두절 시켰으며, (b)와 같이 통신 두절이 되었음을 HMI 컴퓨터에서 알람 창을 통해 확인하였고, (a)의 스위치를 통해 가상의 수위 값을 입력한 것을 보여준다.



(a)

(b)

Fig. 4-13 1 hour later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption

Fig. 4-13는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간이 지난 시점에서 통신이 두절 된 뒤 팝업 창을 통해 통신 두절이 팝업 된 것을 확인 후 스위치를 통해 입력 신호를 주었고, (b)와 같이 출력 부분의 전압을 통해 타워램프의 녹색등이 점등 되는 것을 보여준다.

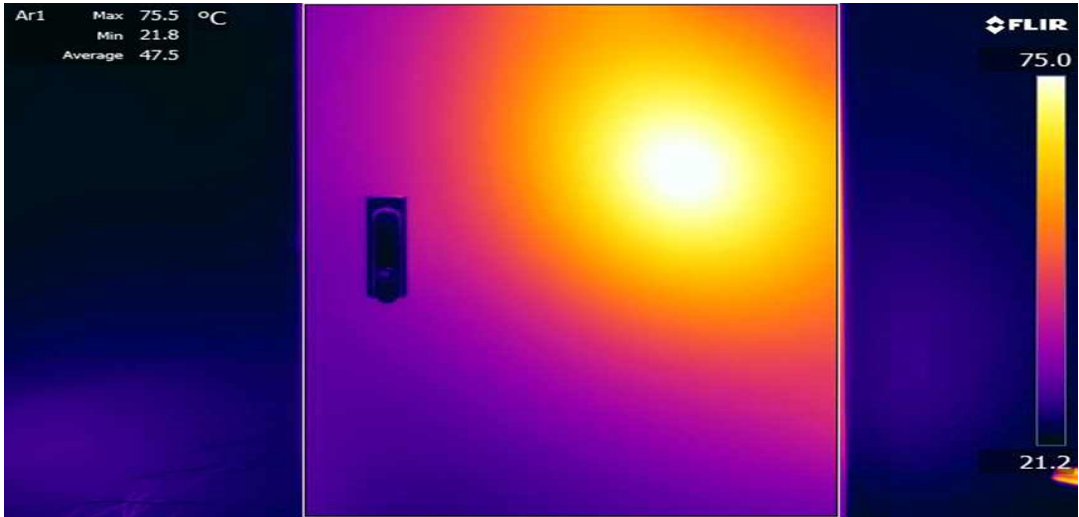


Fig. 4-14 1:30 later Infrared Thermal Imaging

Fig. 4-14는 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에 75도가 유지되는 상태를 열화상 카메라로 촬영하였으며, 75도에서 더 이상 온도변화가 없음을 확인하였다.

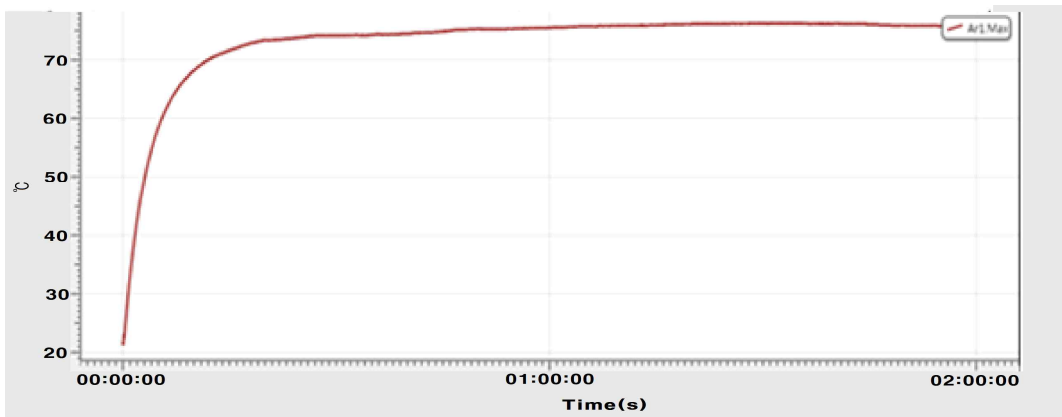
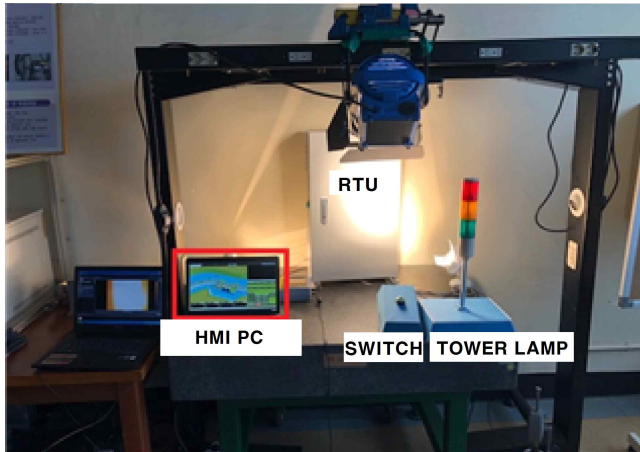


Fig. 4-15 1:30 later RTU Temperature Graph

Fig. 4-15는 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점으로 할로겐램프의 영향으로 75에서 더 이상 온도변화가 없음을 확인하였고, RTU의 온도가 유지되는 시점에서 동작을 실험하였으며, 그 결과Fig. 4-16 ~ Fig. 4-17의 모습과 같이 보여준다.



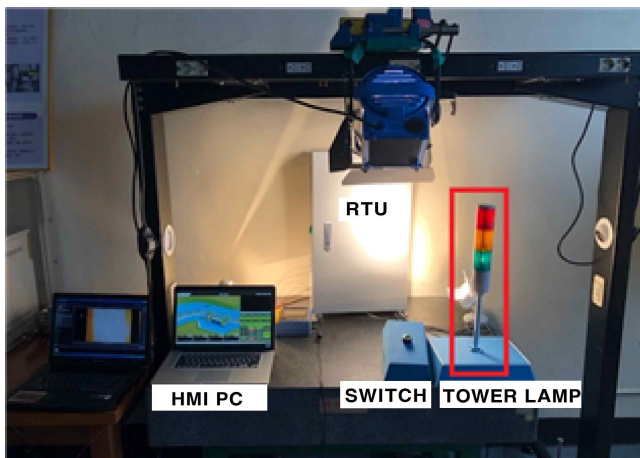
TM / TC			
진 동	소 음	온 도	전 류
0 mm/s	60 dB	26.0 °C	0.00 A
내수위	외수위	개도율	전 압
0.00 m	0.01 m	0 %	380 V
수문상태	안전단힘		타워 램프
수 문	열 림	정 지	단 힘
펌 프 1	기 동	정 지	
펌 프 2	기 동	정 지	
자동운전	수동운전	설 정	보 고 서

(a)

(b)

Fig. 4-16 1:30 later HMI and RTU Operation Test

Fig. 4-16은 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에서 동작 실험을 위해 (b)와 같이 HMI와 RTU의 통신 정상 여부를 확인 후 수동운전으로 설정한 것을 보여준다.



TM / TC			
진 동	소 음	온 도	전 류
1.7 mm/s	72 dB	26.1 °C	1.15 A
내수위	외수위	개도율	전 압
0.00 m	0.01 m	53 %	380 V
수문상태	열림중		타워 램프
수 문	열 림	정 지	단 힘
펌 프 1	기 동	정 지	
펌 프 2	기 동	정 지	
자동운전	수동운전	설 정	보 고 서

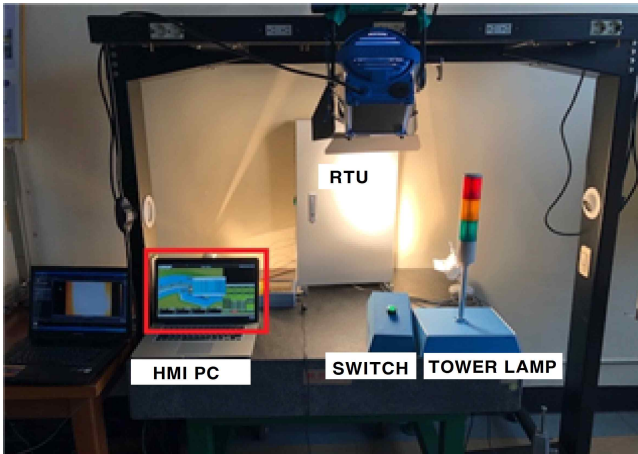
(a)

(b)

Fig. 4-17 1:30 later HMI and RTU Operation Confirmation

Fig. 4-17는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에서 통신이 연결 되었을 때 (b)와 같이 HMI 컴퓨터와 RTU가 정상적으로 신호를 송수신 하며, (a)와 같이 타워램프의 녹색 등이 점등되는 것을 보여준다.





알람 리스트

알람 발생 내역 \* 알람에서 페이지연결을 했을경

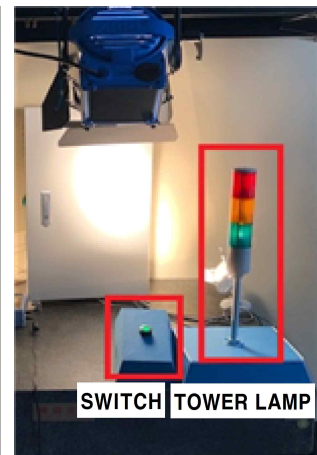
순서	장치코드(ID)	알람태그명	알람메시지
1	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
2	gateDVTC	소음비상_DO	소음비상 발생
3	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
4	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
5	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
6	gateDVTC	소음비상_DO	소음비상 발생
7	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
8	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
9	gateDVTC	점검_DO	수문 점검이 필요합니다.
10	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
11	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
12	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
13	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
14	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
15	pumpGate...	통신_상태_...	통신 불량

(a)

(b)

Fig. 4-18 1:30 later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption

Fig. 4-18는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에서 통신을 두절 시 정상적으로 동작하는지 여부를 실험하기 위해 HMI 컴퓨터에서 강제로 통신을 두절 시켰으며, (b)와 같이 통신 두절이 되었음을 HMI 컴퓨터에서 알람창을 통해 확인하였고, (a)의 스위치를 통해 가상의 수위 값을 입력한 것을 보여준다.



(a)

(b)

Fig. 4-19 1:30 later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption

Fig. 4-19는 (a)와 같이 실험 시작 후 1시간 30분이 지난 시점에서 통신이 두절된 뒤 팝업창을 통해 통신 두절이 팝업 된 것을 확인 후 스위치를 통해 입력 신호를 주었고, (b)와 같이 출력 부분의 전압을 통해 타워램프의 녹색등이 점등 되는 것을 나타낸다.

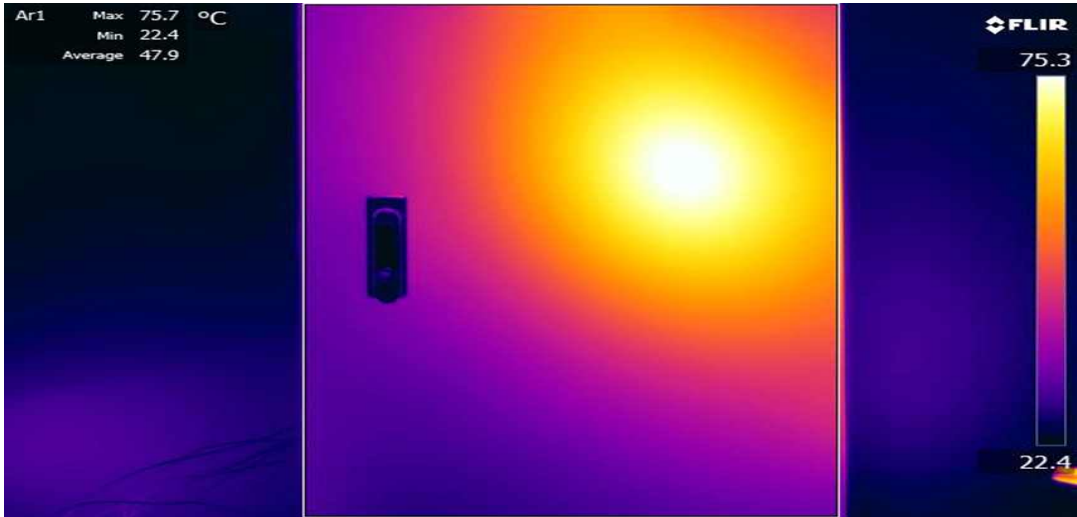


Fig. 4-20 2 hour later Infrared Thermal Imaging

Fig. 4-20는 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에 75도가 유지되는 상태를 열화상 카메라로 촬영하였으며, 75도에서 더 이상 온도변화가 없음을 확인하였다.

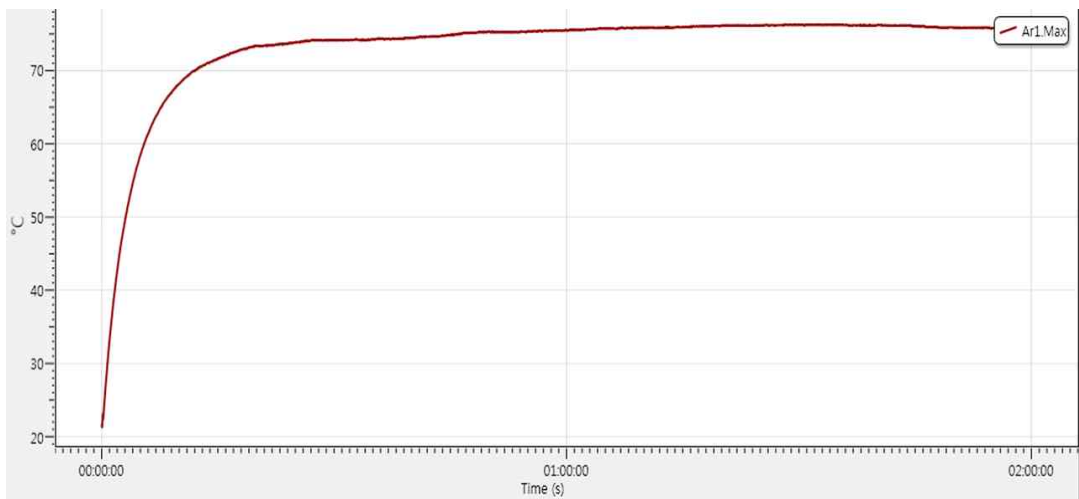
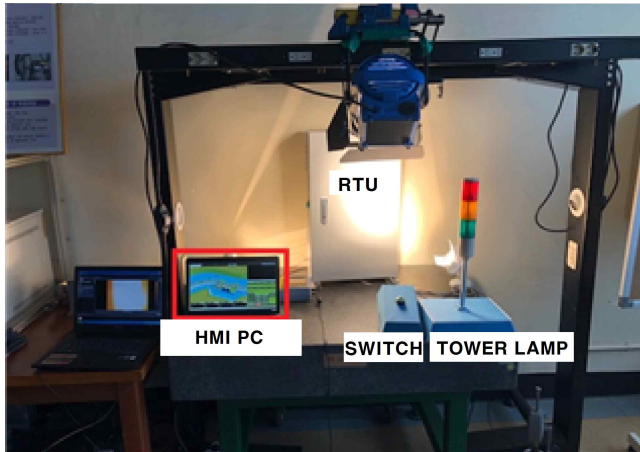


Fig. 4-21 2 hour later RTU Temperature Graph

Fig. 4-21는 실험 시작 후 2시간이 지난 시점으로 할로겐램프의 영향으로 75도가 유지되는 것을 나타내고 RTU의 온도가 유지되는 시점에서 동작을 실험하였으며, 그 결과는 Fig. 4-22 ~ Fig. 4-23의 모습과 같이 보여준다.



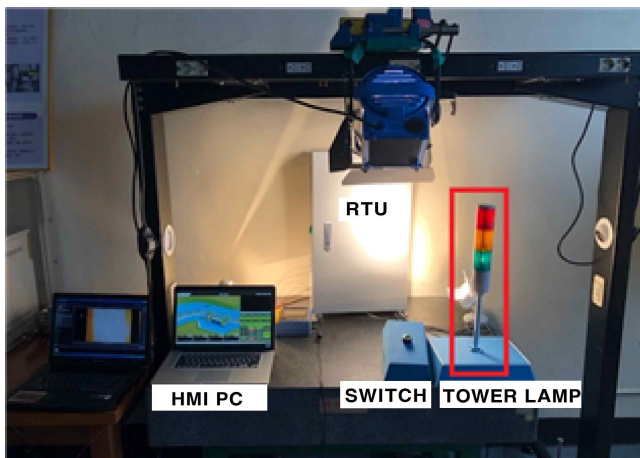
TM / TC			
진 동	소 음	온 도	전 류
0 mm/s	60 dB	26.0 °C	0.00 A
내수위	외수위	개도율	전 압
0.00 m	0.01 m	0 %	380 V
수문상태	안전단힘	다섯	
수 문	열 림	정 지	단 힘
펌 프 1	기 동	정 지	
펌 프 2	기 동	정 지	
자동운전	수동운전	설 정	보 고 서

(a)

(b)

Fig. 4-22 2 hour later HMI and RTU Operation Test

Fig. 4-22는 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에서 동작 실험을 위해 (b)와 같이 HMI와 RTU의 통신 정상 여부를 체크 후 수동운전으로 설정한 것을 보여준다.



TM / TC			
진 동	소 음	온 도	전 류
1.7 mm/s	72 dB	26.1 °C	1.15 A
내수위	외수위	개도율	전 압
0.00 m	0.01 m	53 %	380 V
수문상태	열림중	다섯	
수 문	열 림	정 지	단 힘
펌 프 1	기 동	정 지	
펌 프 2	기 동	정 지	
자동운전	수동운전	설 정	보 고 서

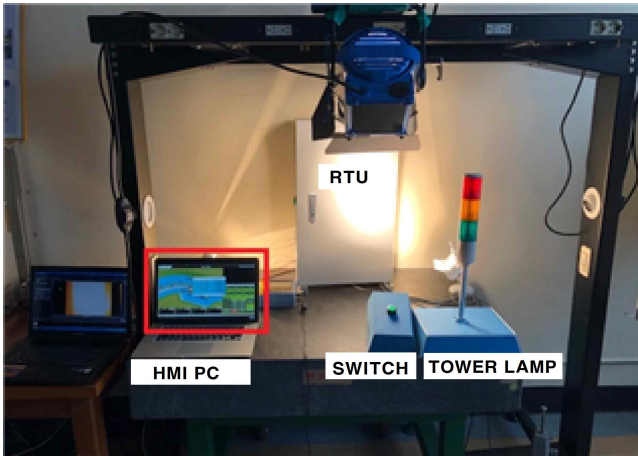
(a)

(b)

Fig. 4-23 2 hour later HMI and RTU Operation Confirmation

Fig. 4-23는 (a)와 같이 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에서 통신이 연결 되었을 때 (b)와 같이 HMI 컴퓨터와 RTU가 정상적으로 신호를 송수신 하며, (a)와 같이 타워램프의 녹색 등이 점등되는 것을 보여준다.





알람 리스트

알람 발생 내역 \* 알람에서 페이지연결을 했을경

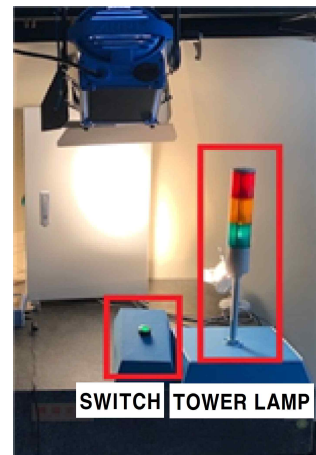
순서	장치코드(ID)	알람태그명	알람메시지
1	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
2	gateDVTC	소음비상_DO	소음비상 발생
3	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
4	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
5	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
6	gateDVTC	소음비상_DO	소음비상 발생
7	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
8	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
9	gateDVTC	점검_DO	수문 점검이 필요합니다.
10	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
11	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
12	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
13	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
14	gateDVTC	소음경고_DO	소음경고 발생
15	pumpGate...	통신_상태...	통신 불량

(a)

(b)

Fig. 4-24 2 hour later HMI and RTU Operation Test for Communication Interruption

Fig. 4-24는 (a)와 같이 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에서 통신을 두절 시 정상적으로 동작하는지 여부를 실험하기 위해 HMI 컴퓨터에서 강제로 통신을 두절 시켰으며, (b)와 같이 통신 두절이 되었음을 HMI 컴퓨터에서 알람창을 통해 확인하였고, (a)의 스위치를 통해 가상의 수위 값을 입력한 것을 보여준다.



(a)

(b)

Fig. 4-25 2 hour later HMI and RTU Operation Confirmation for Communication Interruption

Fig. 4-25는 (a)와 같이 실험 시작 후 2시간이 지난 시점에서 통신이 두절 된 뒤 팝업 창을 통해 통신 두절이 팝업 된 것을 확인 후 스위치를 통해 입력 신호를 주었고, (b)와 같이 출력 부분의 전압을 통해 타워램프의 녹색등이 점등 되는 것을 보여준다.

## 제 5 장 연구 결과 및 고찰

Fig. 5-1은 통해 할로겐램프로 25분만에 외함 온도가 70도를 넘었고 이렇게 2시간만 유지되었을 때 RTU 내부 온도도 70이상으로 증가했다면 실제 현장에서도 비슷하게 온도가 상승할 것으로 사료된다.

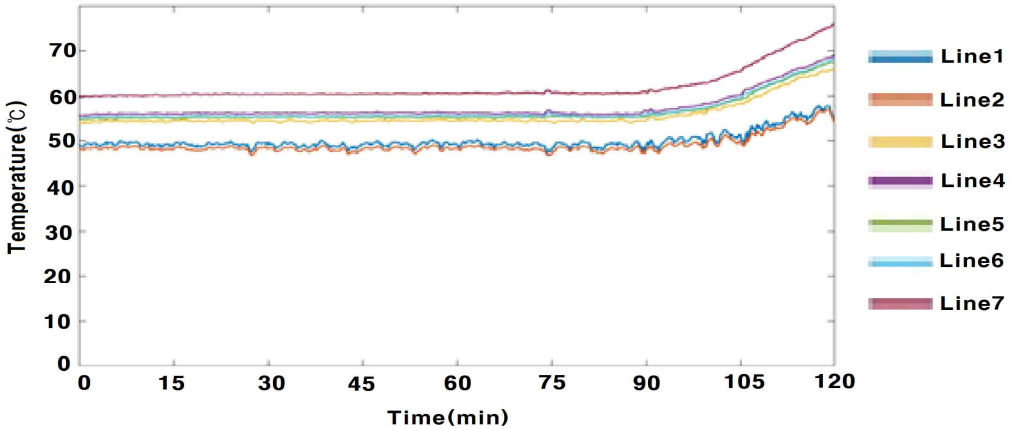


Fig. 5-1 Thermocouple Temperature Graph

본 연구를 통해 온도가 55도 이상에서도 본연의 기능을 수행할 수 있는 CPU와 I/O 모듈의 사양을 체크하였으며, 70도의 온도에서도 동작할 수 있는 시스템을 구현하였고, HMI의 프로그래밍을 통해 자율운전 기능구현을 실험하여 Table 5-1과 같은 데이터를 얻었다.

70도 이상의 가열된 RTU함 내에서 원격제어 시스템이 동작되기 위해서는 핵심 자재의 동작온도 사양이 향상되어야 하며, 통신이 두절되었을 때의 상황에 대비해서 통신 리셋기능 외에도 담당자에 의해 설정된 값으로 제어가 가능한지 실험하였다. 그럼으로써 보다 많은 시간을 담당자로 하여금 판단하고 행동할 수 있는 시간을 벌어주고, 동시에 발생할 수 있는 다양한 상황에 능동적인 대응하도록 지원할 수 있을 것이라 판단된다.

Table 5-1 Experiment Results

	RTU Temperature	RTU Inside Temperature	Operation Test	Operation Test Communication Interruption
25 min later	75℃	60℃	Normal Operation	Normal Operation
1 hour later	75℃	60℃	Normal Operation	Normal Operation
1:30 later	75℃	60℃	Normal Operation	Normal Operation
2 hour later	75℃	65℃	Normal Operation	Normal Operation

본 실험에서는 제어만 중점적으로 실험하였으나 향후에는 기본적인 제어기능 외에도 원격제어 시스템에 의해 수행되는 경보방송이나 경보문자 등과 같은 추가적인 기능의 동작 실험도 필요할 것으로 보인다. 또한, 원격제어 시스템의 확장을 통해 겨울철에 사고로 이어질 수 있는 분야에도 적용되기 위해서 영하로 떨어지는 환경에서의 동작여부도 추가적으로 연구해야 할 분야이다.

## 제 6 장 결 론

재난재해 원격제어 시스템에서 핵심이 되는 RTU의 온도 사양에 대해 외부 노출 온도를 실험하여 반영되어야 하는 온도 사양에 대해 규정하였으며 통신두절시 대응 기능에 대해 재해 담당자가 HMI를 통해 제어할 때의 내용을 고려하여 통신이 두절되어 담당자가 현장으로 이동하는 골든타임에 먼저 동작할 수 있는 보조 기능을 구현하여 원격제어 시스템에 적용 및 개선시켰고, 결과를 실험을 통해 성능을 확인하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 외부에 노출되는 RTU는 실외 온도에 노출될 수 있고, RTU는 최고 70도 이상으로 가열될 수 있고, 그 상태에서 2시간 이상 유지된다면 RTU의 내부 온도도 그와 비슷하게 상승할 것으로 판단되어, 그에 맞는 사양으로 설계하여 적용했고, 높은 온도에서도 정상동작을 실증했다.
2. 재난재해 원격제어 시스템은 상황에 따라 통신이 두절되어 제어할 수 없는 경우가 생겨 즉각적인 대응이 어렵다. 이를 극복하기 위해 현장에 설치되는 RTU에 통신 통신두절시 자율운전을 할 수 있는 기능을 구현했다.
3. 본 실험 결과를 재난재해 원격제어 시스템에 반영하여 시스템을 구현하고 실증하였을 때 예상되는 70도의 높은 온도에서도 이상 없이 동작되었고, 통신이 두절되어도 재해위험지구 관리자와 동일한 방식으로 제어함으로써 시스템 본래의 목적을 달성할 수 있음을 보여준다.
4. 향후 본 연구가 기후변화의 재난재해로부터 소중한 생명과 재산을 지키는 대안이 될 것이며, 나아가 다른 분야 원격제어시스템의 연구자와 엔지니어들에게 기술발전뿐만 아니라 실외에서 발생할 수 있는 여러 요소로 인식 및 검토되어 해당 분야뿐만 아니라 다른 분야 원격제어시스템의 발전에도 기여할 수 있는 연구가 되기를 기대한다.

## REFERENCE

1. “재난안전통계연보” 2017년 행정안전부 자료
2. “행정안전통계연보” 2018년 행정안전부 자료
3. “정책실명제 중점관리 대상사업 사업내역서” 2017년 행정안전부 자료
4. “정책 실명 공개 과제 사업내역서” 2018년 행정안전부 자료
5. 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.
6. Kim, J. Y., You, K. J., Jung, Y. S., Ahn, T. H., Lee, H. J., “Unmanned Water Treatment System Based on Five Senses Technology to Cope with Overloading of Customized Smart Water Grid Machines,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 16, No. 2, pp. 69-80, 2017.
7. Jung, Y. S., Gao, J. C., Kim, J. Y., Park, D. G., Kim, W. K., “Study on unmanned water treatment system at the time of overload of disaster disaster machine,” Proceedings of the KSMPE Conference., 4, pp. 87-87, 2017.
8. Jung, Y. S., Lee, G. I., Park, R., Kim, J. Y., Kim, H. C., Kim, W. K., “Research on Unmanned Water Treatment System at the Time of Communication Disconnection using Sensor-based Sensory Technology,” Proceedings of the KSMPE Conference., 4, pp. 86-86, 2017.
9. Kim, W. K., Kim, J. Y., Jung, Y. S., Kim, H. C., “Study on autonomous operation control system of LTE-M class Unmanned Irrigation,” 4, pp. 60-60, 2018.

10. Jung, Y. S., Kim, S. Y., Kim, J. Y., Kim, W. K., “Research on Unmanned Irrigation Remote Terminal Unit Applying IoT Technology,” 10, pp. 181-181, 2018.
11. 최승현, “적외선 열화상 진단기술을 적용한 가스터빈 1단 버킷의 건전성 평가”, 2008년 학위논문.
12. 위철양, “열화상 비전을 이용한 C/C소재 Disk Brake Rotor 비파괴검사 시스템 개발, 2014년 학위논문.
13. 김성현, “적외선 열화상 기술을 적용한 풍력발전기 친환경 부품소재의 비파괴 신뢰성 평가”, 2012년 학위논문.
14. 정윤수, “원격제어방식을 적용한 LED 통합조명시스템 최적설계와 건전성 평가” , 2016년 석사논문
15. 정나라, “초음파 적외선 열화상 기법을 적용한 탄소강관 용접부 결함 검출에 관한 건전성 평가” , 2014년 석사논문.
16. 김성현, “적외선 열화상 기술을 적용한 풍력발전기 친환경 부품소재의 비파괴 신뢰성 평가” , 2012년 학위논문.
17. 양동조, “원격모니터링기법과 열화상계측기술을 이용한 태양에너지시스템 신뢰성 평가, 2006년 학위논문.
18. 노치성, “하이브리드 기어의 FEM해석 및 적외선 열화상기법을 적용한 건전성 평가” , 2016년 학위논문.
19. 정윤수, 노치성, 이경일, 김재열, “초음파 적외선열화상 기법을 적용한 모터 코어의 신뢰성 평가” , 한국기계가공학회지, 제15권, 제4호, pp.60~66, 2016.

## 감사의 글

훌쩍 2년이라는 시간이 지나 석사과정의 끝자락에 서보니 걸어온 발자취를 돌아 보게 됩니다. 길다면 길고, 짧다면 짧은 2년 동안 무엇에 그리 쫓기었는지 부족한 공부에 대한 아쉬움과 고마운 많은 분들께 의존하면서도 제대로 마음을 전하지 못한 것이 마음을 아련하게 합니다. 제가 지금의 위치에 있기까지 옆에서 기도와 격려로 함께해 주시고, 아낌없는 조언으로 응원해 주셨던 많은 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 석사 과정 동안 저의 부족함에도 아낌없는 응원의 말씀과 지도로 이끌어 주신 김재열 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 시간을 내주시어 심사를 맡아주신 김경석 교수님, 이성준 교수님께도 머리 숙여 감사를 드립니다.

실험실의 좋은 문화를 만들어 후배들의 공부를 지원해주신 많은 선배님들께도 감사드립니다. 항상 바쁜 와중에도 따뜻한 관심과 격려로 독려해준 말 형 고가진 선배, 정신적 지주 이정일 선배, 그리고 아낌없는 조언과 든든한 지원으로 이끌어준 바리스타 정윤수 선배에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다. 빛바랜 선배들의 향기와 온기 가득했던 실험실의 추억들, 마음에 잘 담아갑니다. 나노제측메카트로닉스 실험실에 소속된 모든 분들의 앞날에 기쁨과 행복이 가득하길 기도드립니다.

항상 부족하고 철없는 저를 곁에서 지켜주시고, 후원해주신 인생의 스승 아버지, 언제나 따뜻하게 맞아주시는 어머니, 때로는 친구처럼 곁을 지켜준 나영이와 승재 형, 작은 친구 아미와 르네, 나의 영원한 비타민 예진이에게도 이 자리를 빌어 고맙고 사랑한다고 전하고 싶습니다.

좋은 분들과 행복한 삶을 선물해 주신 하나님께 감사의 기도를 드리며, 언급하지 못했지만 이 자리에 있기까지 도와주신 모든 분들께 감사드립니다.

2018년 11월 안태형