



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](#)

碩士學位論文

전기설비의 광방식 염분감지
모니터링 시스템 개발

鄭 栽 昌

濟州大學校 産業大學院
電氣工學科

2023年 8月

전기설비의 광방식 염분감지 모니터링 시스템 개발

指導教授 金 豪 贊

鄭 栽 昌

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2023年 6月

鄭栽昌의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長	이 개 명	㉠
委 員	김 세 호	㉠
委 員	김 호 찬	㉠

濟州大學校 産業大學院

2023年 6月

Development of Optical Salt Detection
Monitoring Systems in Electrical Facilities

Jae-Chang Jeong

(Supervised by professor Ho-Chan Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2023. 8.

목 차

LIST OF FIGURES	ii
LIST OF TABLES	iv
SUMMARY	v
1. 서 론	1
2. 광방식 염분감지 모니터링 시스템 개발	3
2.1 염분감지부 설계	4
2.2 염분감지 모니터링 시스템 개발	8
2.2.1 염분감지장치 하드웨어 개발	12
2.2.2 염분감지장치 소프트웨어 개발	15
2.2.3 염분감지 모니터링 서버 및 앱	21
3. 실험 및 결과	24
3.1 실험 항목 및 구성도	24
3.2 실험 절차	26
3.3 실험 결과	29
4. 결 론	31
참 고 문 헌	32

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Overview of salt detection monitoring system	3
Fig. 2 Characteristics and wavelength band of NaCl	5
Fig. 3 Overview of salt detection and concentration calculation development of salt sensing unit	5
Fig. 4 Overview of salt detection in the air	6
Fig. 5 Absorption and scattering method block diagram for detecting salt composition and concentration	6
Fig. 6 Distribution of particle size of salt	7
Fig. 7 Basic architecture	8
Fig. 8 No difference in light intensity between reference and event	9
Fig. 9 Difference in light intensity between reference and event	9
Fig. 10 Scattering principles of optical sensing	10
Fig. 11 Operating principles of the salt particle analysis module	11
Fig. 12 Salt particle size classification	12
Fig. 13 Hardware configuration diagram	13
Fig. 14 Salt detection device hardware	14
Fig. 15 Salt detector hardware prototype	14
Fig. 16 Flowchart for salt detection in the air	15
Fig. 17 Salt sensing data display	16
Fig. 18 Salt sensing data display(graph)	16
Fig. 19 Salt identification procedure block diagram	17
Fig. 20 Salt particle analysis procedure block diagram	18
Fig. 21 Alarm display block diagram	19
Fig. 22 Salt sensing data output format & display	20
Fig. 23 Complete architecture of remote monitoring server	21
Fig. 24 Remote monitoring server login screen	22

Fig. 25 Changes in the amount of salt particles in real time	22
Fig. 26 Real-time monitoring of mobile apps	23
Fig. 27 Mobile app alarms	23
Fig. 28 Measure experimental items	25
Fig. 29 Configuring the experimental device	25
Fig. 30 Check connection status	26
Fig. 31 Display event occurrence value	26
Fig. 32 Preparation for salt detection experiment	27
Fig. 33 Conduct salt detection experiments	27
Fig. 34 Check salt sensing response rate experiment results	29
Fig. 35 Check salt detection accuracy rate experiment results	30
Fig. 36 Check salt detection status event alarm display accuracy experiment results	30

LIST OF TABLES

Table 1 Salinity ratio	4
------------------------------	---

SUMMARY

Salt damage refers to a phenomenon in which chlorides penetrate into the interior of electrical facilities and corrode them, thereby damaging switchboards installed close to the seashore. When an outdoor switchboard, etc. is exposed for a long period of time in a marine environment, cracks occur due to corrosion expansion due to corrosion of iron and the like due to the influence of salt contained in seawater and its expansion pressure. As a result, the durability of the electrical equipment is greatly deteriorated due to self-deterioration, and in severe cases, the equipment is destroyed. However, there are not many research and analysis data on power facilities such as outdoor switchboards that have been damaged by salt, and research on measures to prevent salt damage is not active in Korea. In addition, it is judged that there is a need for technology development and suitable implementation measures for this situation due to insufficient verification of the salt damage monitoring method and applicability that are used in some cases.

In this paper, we develop an optical salt detection and monitoring system that can perform efficient response and diagnosis by measuring and monitoring salt particles to prevent insulation or unexpected conduction of equipment inside outdoor electrical facilities due to intake air containing salt. Optical sensing technology is stable because it is not affected by strong current, radio waves, and noise due to the internal characteristics of existing electronic sensors. It measures and monitors salt particles in the air in real time, preventing performance degradation and equipment damage caused by salt. The salinity detection system using the optical method includes a salinity detection unit, a salinity detection device including a salinity detection module and a particle quantity identification module in the air, a salinity detection device software, and a salinity detection monitoring server and App. The developed system tested the salinity sensing response speed, salinity sensing accuracy rate, and salinity sensing state event alarm display accuracy. The developed system is expected to be useful for preventing salt damage in outdoor electrical facilities.

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있고, 인구에 비해 국토면적이 좁아 해양개발이 필요하므로 해양 지역에 설치되는 각 장비 및 구조물에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 예를 들면, 원자력발전소, 화력발전소와 같이 규모가 큰 전기 설비 대부분이 해안을 따라 건설되어 있어 지진, 벼락 등으로부터의 재해뿐만 아니라 태풍에 의한 폭풍우, 해일 및 높은 파도 등에 의한 침수, 그리고 해안지역으로 부터의 염해 등에 대비하여 설계되어야 한다.

전기 설비의 염해 사고는 바닷바람에 의해 옮겨진 염분이 애자 표면에 달라붙고, 여기에 적당한 수분이 더해져 애자의 표면 저항이 떨어지고, 누설 전류나 섬락이 생기면서 발생한다. 이러한 것에서 기인하는 염해 사고는 주로 강우량이 적은 태풍의 내습이나 강한 계절풍으로 단시간에 염분이 급속도로 달라붙었을 때 발생해 급속 오손에 의한 염해라고 불린다. 강우량이 적은 태풍에서는 우식 효과가 적고 염분이 급속도로 전기 설비에 달라붙기 때문에 오염도가 허용량을 초과한 경우 섬락이 일어나면서 염해가 발생한다. 한편, 태풍처럼 단시간이 아니라 바람에 떠다니는 염분입자가 연간 누적돼 오손되는 것을 상시 오손에 의한 염해라고 부른다. 최근의 염해는 급속 오손에 더해진 상시 오손이 우려되고 있다. 상시 오손의 사례로는 고압 인하선의 트래킹, 개폐기·변압기의 녹 발생, 변압기·컷아웃의 표면 누전이 있다. 또한, 장기간에 걸쳐 염분에 접촉되면서 시설한 지 오래된 변압기·개폐기의 외함, 컷아웃, 애자 등에서 염해가 발생하고 있다[1,2].

그러나, 우리나라는 염해를 받은 옥외 배전반 등의 전력설비 등에 대한 조사 분석 자료가 많지 않을 뿐 아니라 염해방지 대책에 대한 연구도 활발하지 않은 상태이다. 염분감지를 위해 광섬유 센서를 이용한 몇 가지 새로운 방법과 기술이 제안되었으나, 공기 중 염분의 실시간 모니터링 시스템 구현에 실제 적용되는 사례는 찾아보기 어렵다[3]-[9].

광방식 감지 기술은 기존의 전기식 센서가 가지는 수배전반 내부의 특성상 강한 전류, 전파, 노이즈 등의 영향을 받지 않으므로 안정적이고, 공기 중의 염분입자를 측정하여 실시간으로 모니터링 하여 염분으로 인한 장비의 성능 저하 및 파손을 예방할 수 있다.

본 논문에서는 해안지역의 태양광 발전 및 풍력 발전에 사용되는 옥외 배전반 등의 전력설비에 대해 적용되는 대표적인 자연재해인 바닷바람에 의한 염해재해 등을 고려한 연구를 수행하였다. 특히 염분이 포함된 유입 공기로 인해 시설 내부의 장비들이 절연 파괴되거나 예기치 않는 전도가 발생하지 않도록 광방식으로 공기 중 염분입자를 측정하고 모니터링 하여 효율적인 대응 및 진단을 수행하는 광방식 염분감지 모니터링 시스템을 구현하고자 한다.

광방식을 이용한 염분감지 시스템 개발을 위해 염분감지부 설계, 공기 중 염분 식별 모듈 및 입자량 식별 모듈을 포함하는 염분감지장치 하드웨어 설계 및 구현, 염분감지장치 소프트웨어 설계 및 구현, 염분감지 모니터링 서버 및 앱 설계 및 구현 과정을 나타낸다. 염분감지 응답속도, 염분감지 정확도와 이벤트 알람 표시 정확도 등의 3가지 항목 실험을 통해 개발된 시스템의 실험 결과를 살펴본다.

2. 광방식 염분감지 모니터링 시스템 개발

광방식 모니터링 시스템은 염분감지장치 하드웨어, 염분감지장치 소프트웨어, 염분감지 모니터링 서버 및 앱으로 구성되고, Fig. 1은 시스템의 개요도를 나타낸다.

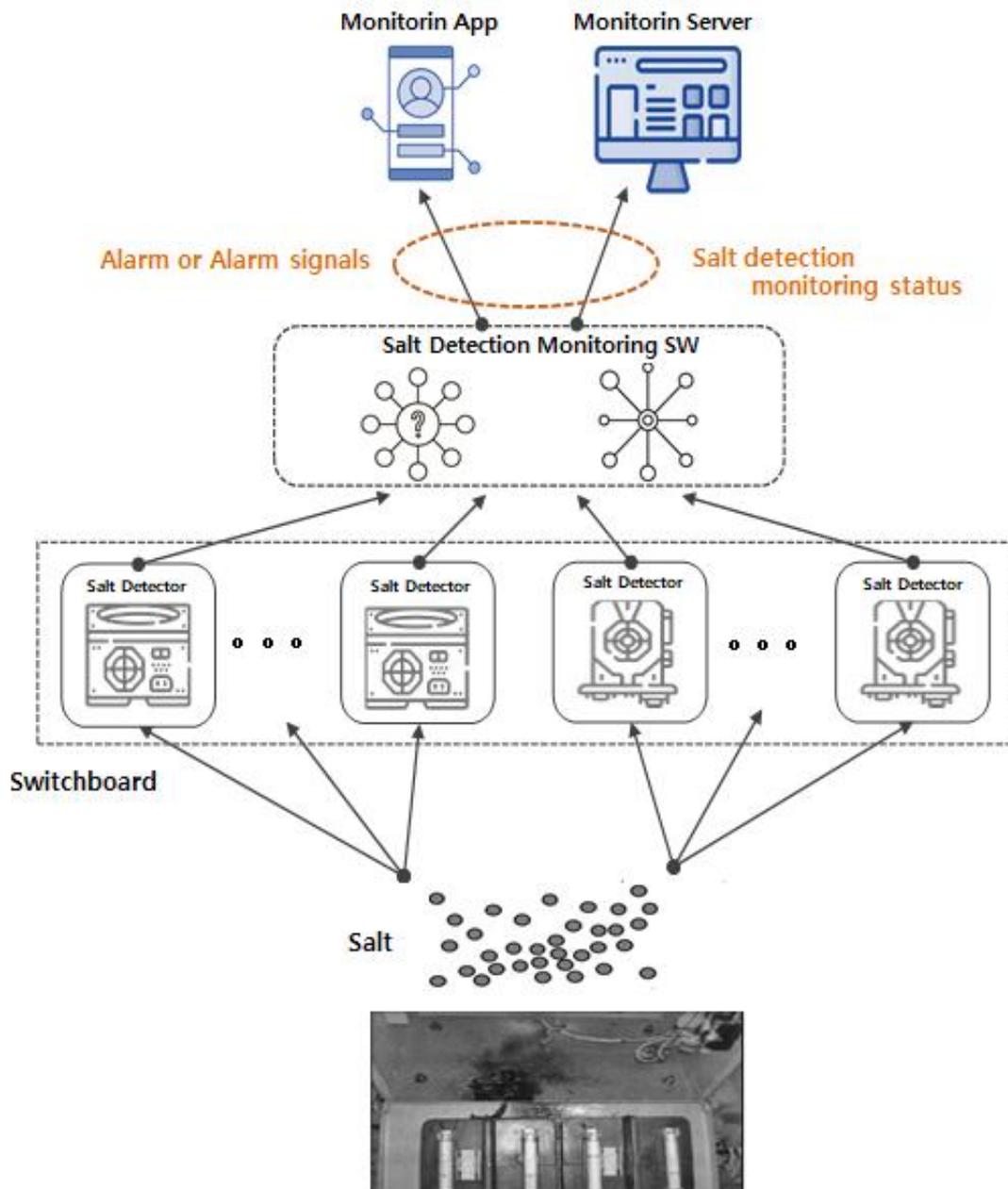


Fig. 1 Overview of salt detection monitoring system

2.1 염분감지부 설계

염해는 주로 해수에서 공급되며 대기 중에 부유하는 염분입자가 전기설비에 부착함으로써 발생하는데, 그 밀도는 물론 일반적으로 바다에 가까울수록 높다. 해수 속에 용해되어 있는 주요 염류와 구성 비율은 Table 1과 같다[10].

각 물질은 고유한 색상의 빛을 방출한다. 이러한 빛이 프리즘을 통과하거나 회절격자를 통해 볼 때 원래 불꽃에서 보이는 색상을 포함하여 특정 파장(wavelength)에서 몇 가지 색상만 포함하는 스펙트럼이 형성된다. 원소 또는 화합물을 용액에 넣고 용액을 태우면 원자는 에너지를 흡수하고 전자를 더 높은 에너지 수준으로 촉진되고, 이 과정은 때로 전자를 여기(excited) 상태라고 한다. 여기된 전자가 정상 또는 바닥(ground) 상태로 돌아가면 에너지가 전자기 복사의 형태로 방출된다. 따라서, 전자가 열을 통해 여기되면 바닥 상태로 돌아갈 때 빛을 방출한다.

모든 요소는 각각의 특성 파장의 빛을 방출하므로 요소의 여기 후에 방출되는 빛의 색은 해당 요소마다 고유하다. 스펙트럼의 가시광선(visible light)은 사람의 눈으로 볼 수 있는 전자기파의 영역(400~700nm)이고, Fig. 2에서 NaCl의 경우 파장은 589nm이다. 이 NaCl의 고유한 파장을 활용하여 흡광과 산란법을 통해 염분검출 및 농도의 측정 알고리즘을 구성하였다.

Table 1 Salinity ratio

염류	해수 1kg 중의 염류(g/kg)	전체 염류에 대한 성분비(%)
염화 나트륨(NaCl)	27.2	77.7
염화 마그네슘(MgCl ₂)	3.8	10.9
황산 마그네슘(MgSO ₄)	1.7	4.8
황산 칼슘(CaSO ₄)	1.3	3.7
황산 칼륨(K ₂ SO ₄)	0.9	2.6
기타	0.1	0.3

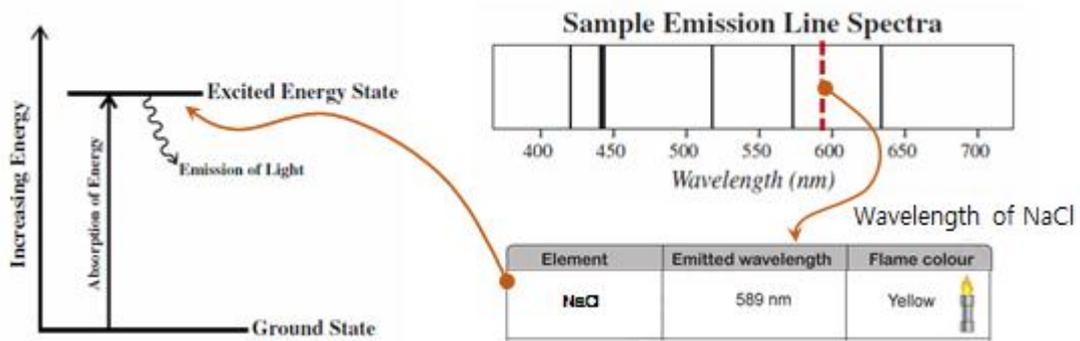


Fig. 2 Characteristics and wavelength band of NaCl

Fig. 3에서 포토다이오드(photodiode)에 노출되면 빛의 강도에 정비례하는 전류가 생성되고, 이 빛 발생 전류는 일반 다이오드 또는 LED의 전류와 반대 방향으로 흐른다. 더 많은 광자가 포토다이오드에 닿으면 전류가 증가하여 다이오드 양단에 전압이 발생하고, 다이오드 양단의 전압이 증가하면 선형성이 감소한다. 또한 LED에 의한 광 발생시, 포토다이오드는 수광부의 역할로서 광 센서/검출기로 사용할 수 있고, 이 기능은 양방향 통신을 포함한 다양한 애플리케이션에서 사용할 수 있고, 물질의 특성인 분자의 파장대를 분석하여 흡광에 따른 물질식별, 농도 등을 파악하기 위한 산란의 정도를 계산할 때에 유용하다.

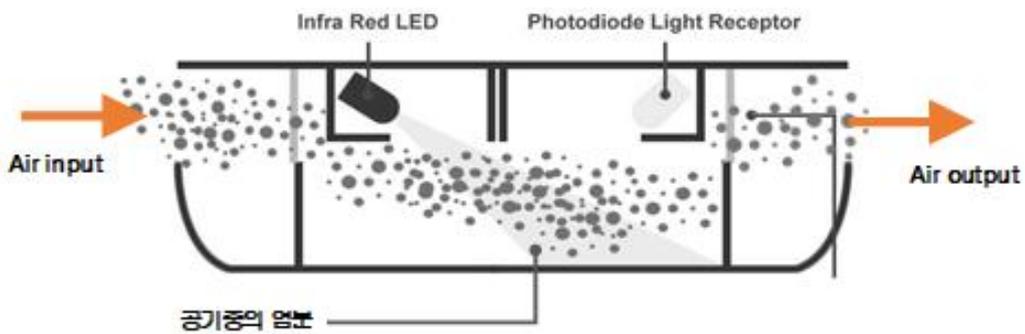


Fig. 3 Overview of salt detection and concentration calculation development of salt sensing unit

Fig. 4에서 염분감지 센서는 광학 감지 방식을 사용하여 공기 중 염분입자 농도를 감지

한다. 레이저 발광 다이오드 (laser LED)와 포토 센서(다이오드)가 장치에 광학적으로 배치되고, 포토 센서는 공기 중의 먼지 입자에 의해 반사 된 레이저 LED 빛을 감지한다. 또한 이 염분감지 센서는 신호 출력의 펄스 패턴으로 NaCl의 고유 스펙트럼에 의한 파장을 감지하고 다른 물질과의 구별을 할 수 있다.

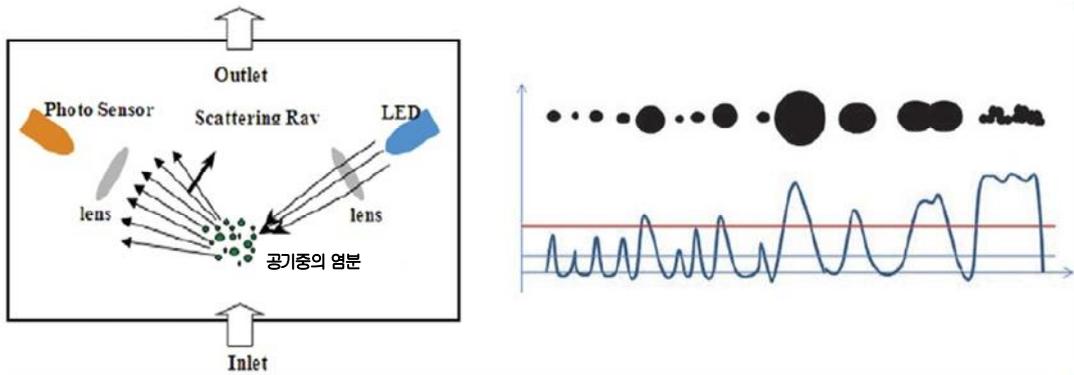


Fig. 4 Overview of salt detection in the air

Fig. 5는 본 연구의 주요 목적인 공기 중의 염분성분 및 농도를 감지하기 위해 빛의 흡수 및 산란 방식을 구현하기 위한 블록 다이어그램을 나타낸다.

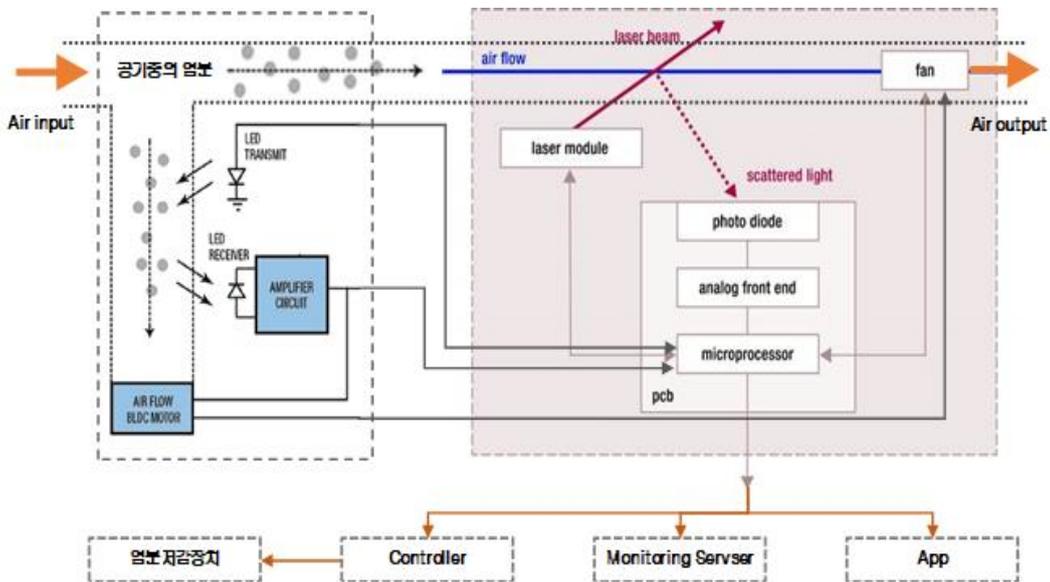


Fig. 5 Absorption and scattering method block diagram for detecting salt composition and concentration

바다 소금입자는 바다 표면에서 발생하는 파도 비말과 파열되는 거품에 의해 생성된다. 그 중에서도 기포의 파열로 인해 생성된 많은 입자는 작고 가볍기 때문에 대기 중에 떠다니기 쉽고 실내 염해의 주요 원인이 된다. 다양한 형태의 비말해수, 해염입자 타입으로 발생되는데, Fig. 6과 같이 입경 0.5 μm 와 5.0 μm 부근에 2개의 피크를 가지고 있으며, 전체의 70%가 2.0~7.0 μm 의 입경 범위에 있으므로 약 2.0~3.0 μm 의 미립자를 기준으로 구분하는데, 입자 크기에 의한 바다 소금입자의 분포는 일반적으로 약 5 μm 피크이지만 1 μm 이하의 작은 입자조차도 존재한다. 이에 따라 극 미세입자(smaller particles, 2.0~3.0 μm 이하) 및 미세입자(larger particles, 2.0~3.0 μm 이상)으로 구분하여 입경별 감지를 하여 알고리즘에 반영하였다.

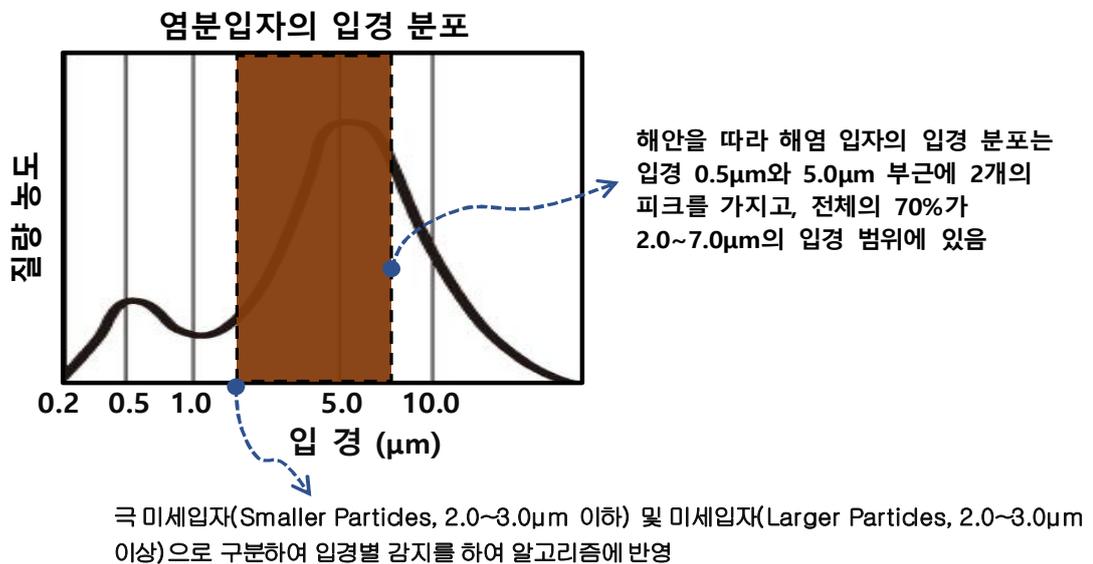


Fig. 6 Distribution of particle size of salt

2.2 염분감지 모니터링 시스템 개발

본 논문에서는 공기 중의 염분입자 검출 시스템 및 방법, 그리고 입자 검출 시스템에서 입자 검출 알고리즘을 개발하고, 전기설비 등에 있어서 염분으로 인한 피해를 최소화하기 위한 염분감지 모니터링 시스템을 설계한다. Fig. 7은 기능적인 부분을 토대로 한 기본 아키텍처를 나타낸다. Sensor Module 1(Salinity in Air)은 공기 중의 염분을 식별하는 센서 모듈이고, Sensor Module 2(Computation of Particles)는 공기 중의 염분입자량을 분석하는 센서 모듈, 그리고 Measuring Engine Module은 알고리즘과 로직 모듈을 나타낸다.

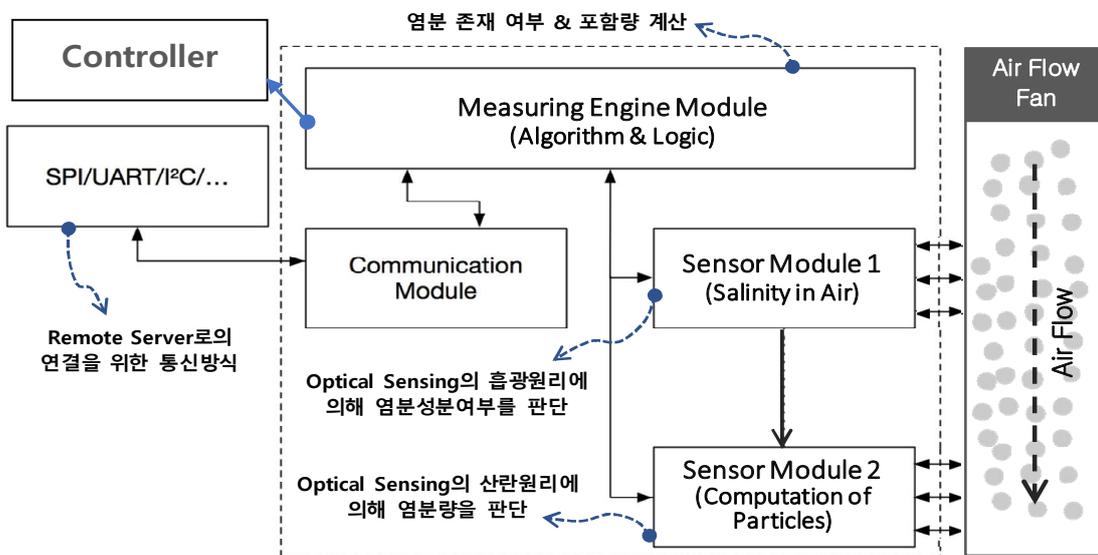


Fig. 7 Basic architecture

Fig. 8과 Fig. 9는 공기 중의 염분 식별 모듈에서 빛의 세기(light intensity)와 시간열(time series)를 나타낸다. Fig. 8에서는 일정시간 동안($\Delta t=t_2-t_1$) 레퍼런스(reference)와 이벤트(event)에 대한 빛의 세기 차이($\Delta L=L_2-L_1$)가 거의 없음을 확인할 수 있고, Fig. 9에서는 빛의 세기 차이 존재함을 알 수 있다.

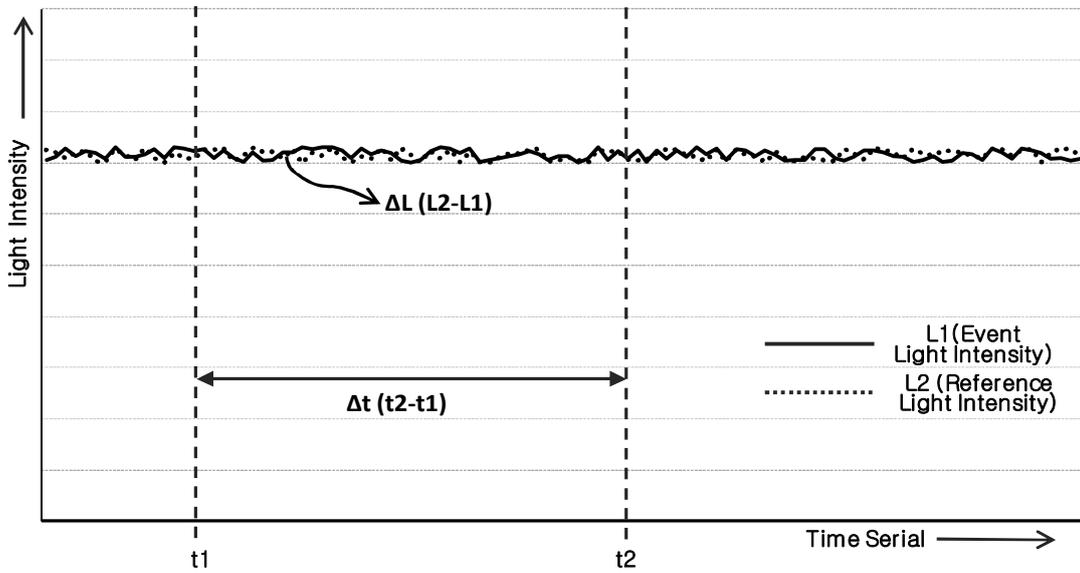


Fig. 8 No difference in light intensity between reference and event

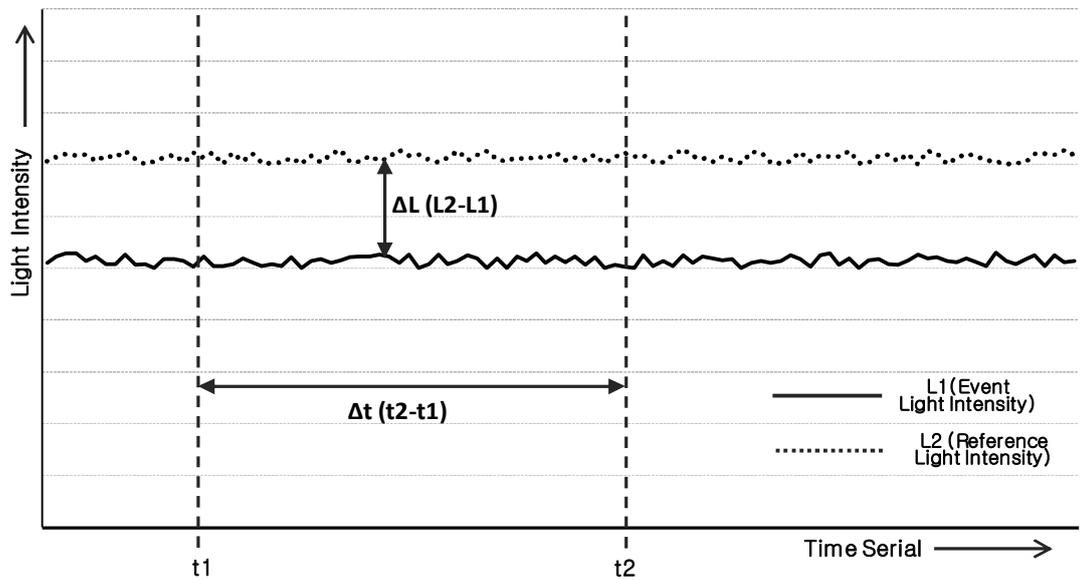


Fig. 9 Difference in light intensity between reference and event

Fig. 10에서 염분 식별 알고리즘은 일정시간 동안($\Delta t = t_2 - t_1$) 레퍼런스와 이벤트에 대한 빛의 세기 차이($\Delta L = L_2 - L_1$)가 임계치 이상 발생하였을 때, 공기 중에 염분이 포함되어 있는 것으로 판단한다. Fig. 10에서 보여주는 공기 중의 염분입자량을 판단하는 Optical

Sensing의 산란원리는 광 소스를 통해 광원을 방출하여 공기 중에 현탁된 염분입자를 방사하여 작동시킨 다음 산란 빛이 어느 정도 수집되고 시간에 따른 산란 광 변화의 곡선이 얻어지는데, 이를 마이크로프로세서에 의해 등가 입자직경과 단위 부피 당 직경이 다른 입자의 수를 계산한다.

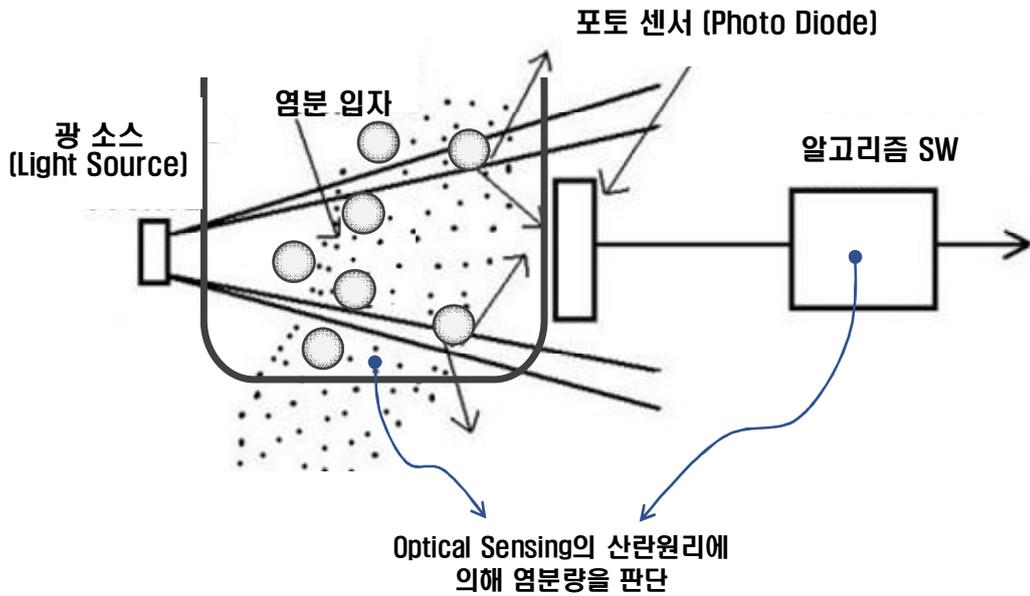


Fig. 10 Scattering principles of optical sensing

Fig. 11은 공기 중의 염분입자량을 분석하는 센서 모듈의 작동 원리를 나타낸다.

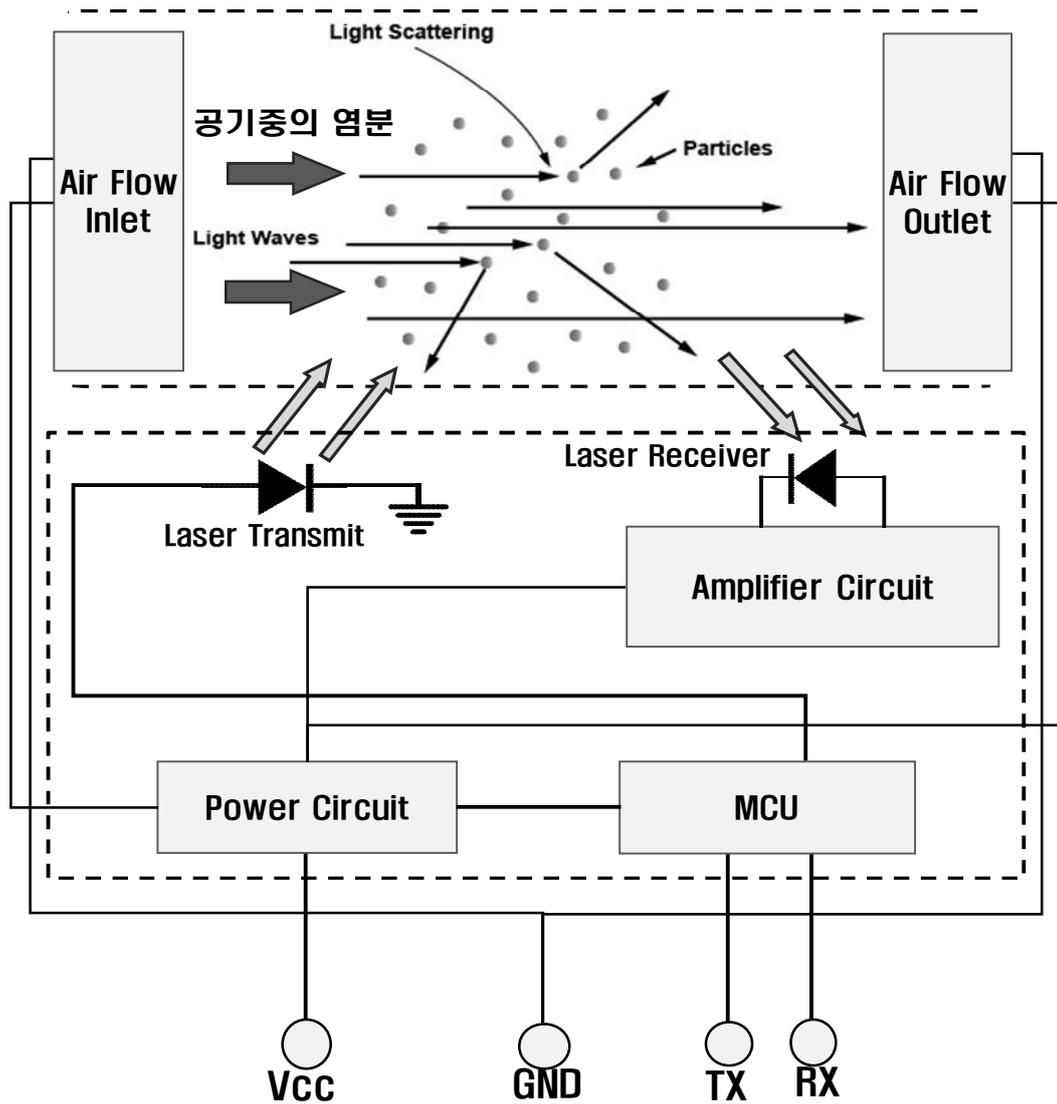


Fig. 11 Operating principles of the salt particle analysis module

알고리즘과 로직 모듈은 염분입자량 분석 센서모듈을 통해 입력된 데이터를 활용하여 공기 중의 염분입자량 도출을 하고, Fig. 12와 같이 미세입자와 극 미세입자로 구분하여 각각 또는 모두 정상치(임계치) 이상일 경우에 알람 표시를 위해, 원격 모니터링 서버로 이동하여 실행하도록 한다.

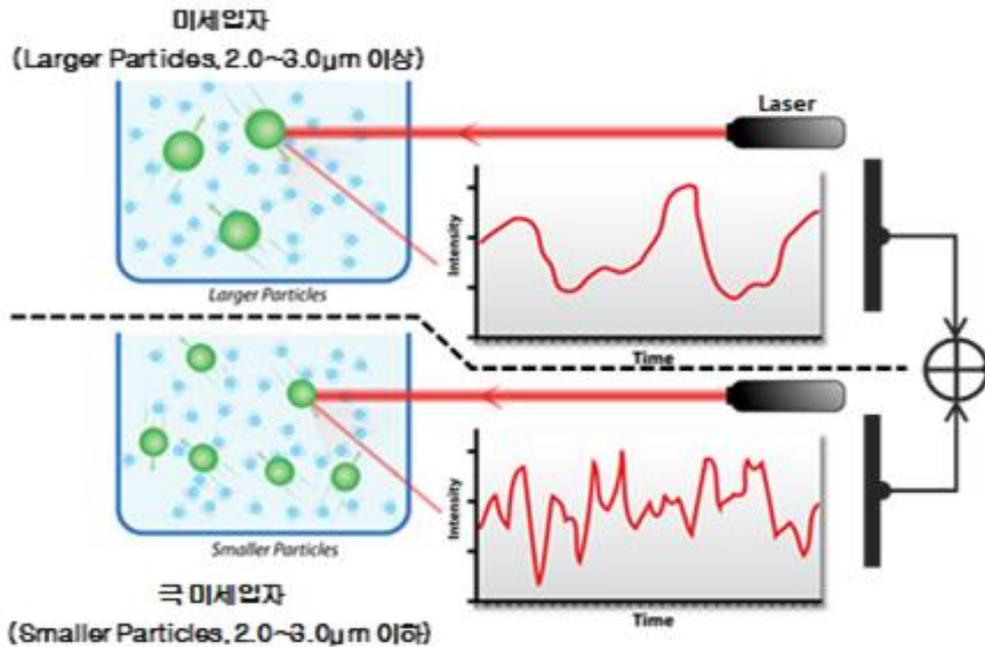


Fig. 12 Salt particle size classification

2.2.1 염분감지장치 하드웨어 개발

Fig. 13은 빛의 흡수와 산란 방식을 이용한 공기 중의 염분감지 모니터링 시스템에서의 염분감지장치 하드웨어 구성도이며, 수배전반 등 전기설비 내부에 설치되는 염분감지장치는 공기 중의 염분 식별 모듈과 입자량 식별 모듈을 포함한다.

공기 중의 염분 식별 모듈에서는 광 센싱의 흡광 원리에 의해 염분 성분 존재 여부 판단을 위한 데이터 수집한다. 위 염분 식별 모듈은 광 성분으로 부터 광원을 방출하는 레이저 다이오드 와 이 방출된 빛을 실시간으로 측정할 수 있도록 빛을 수신하여 전기적인 신호로 변환하는 포토다이오드, 이 포토다이오드에 의해 전달된 신호를 증폭시키는 증폭기로 구성된다. 레이저 다이오드는 레퍼런스 빛을 방출하기 위한 다이오드와 이벤트 빛 방출을 위한 다이오드로 구분된다. 입자량 식별 모듈은 광 센싱의 산란 원리에 의해 염분량 판단을 위한 데이터를 수집한다. 위 모듈은 광 성분으로 부터 광원을 방출하는 레이저 다이오드와 이 방출된 빛을 실시간으로 측정할 수 있도록 빛을 수신하여 전기적인 신호로 변환하는 포토다이오드, 이 포토다이오드에 의해 전달된 신호를 증폭시키는 증폭기로 구성된다.

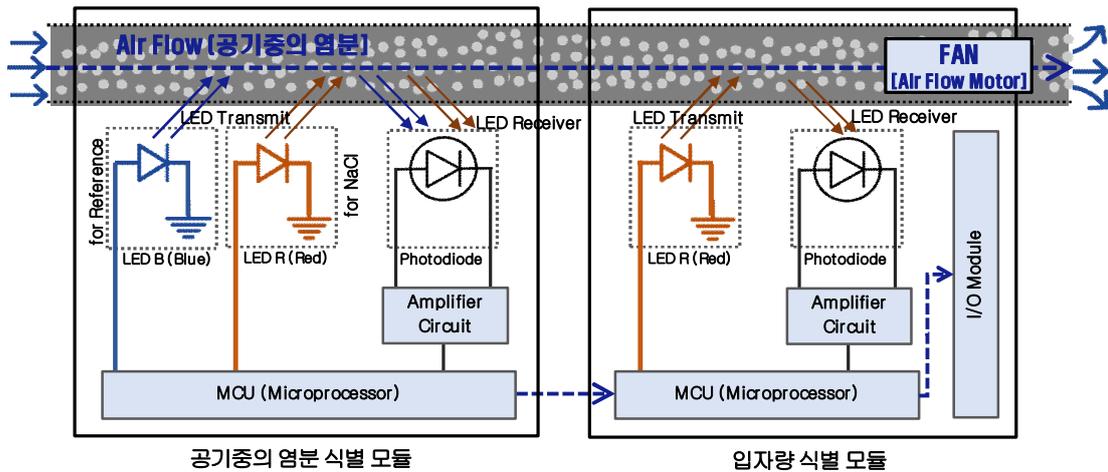


Fig. 13 Hardware configuration diagram

Fig. 14에서 염분감지장치 하드웨어는 알고리즘과 로직 모듈이 추가로 구성되는데, 이는 공기 중의 염분 식별 모듈과 입자량 식별 모듈로부터 입력된 데이터를 통해 염분의 존재 여부 및 포함량을 계산하고, 미세입자와 극 미세입자로 구분하여 각각 또는 모두 정상치(임계치) 이상일 경우에 알람 표시를 위해, 원격 모니터링 서버로 이동하여 실행하도록 기능한다.



Fig. 14 Salt detection device hardware

Fig. 15는 공기 중의 염분 식별 모듈 및 입자량 식별 모듈, 알고리즘과 로직 모듈을 통합하여 제작한 염분감지장치 하드웨어 시제품을 나타낸다.



Fig. 15 Salt detector hardware prototype

2.2.2 염분감지장치 소프트웨어 개발

Fig. 16은 공기 중의 염분입자 검출 및 입자량 산출을 위한 전체 흐름도를 나타낸다.

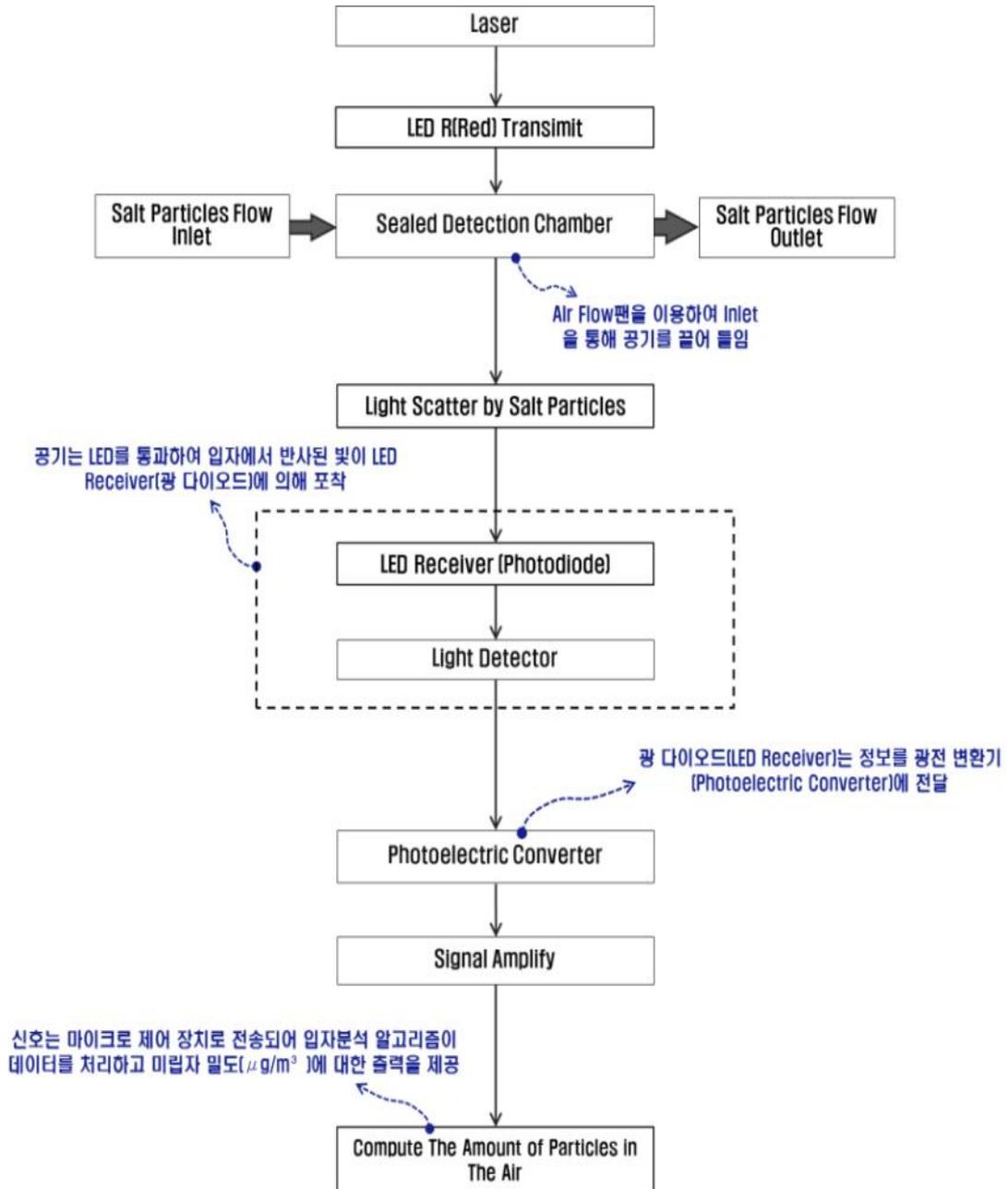


Fig. 16 Flowchart for salt detection in the air

Fig. 17과 Fig. 18은 각각 공기 중의 염분입자 검출 및 입자량 산출에 대한 데이터 표시를 나타낸다.

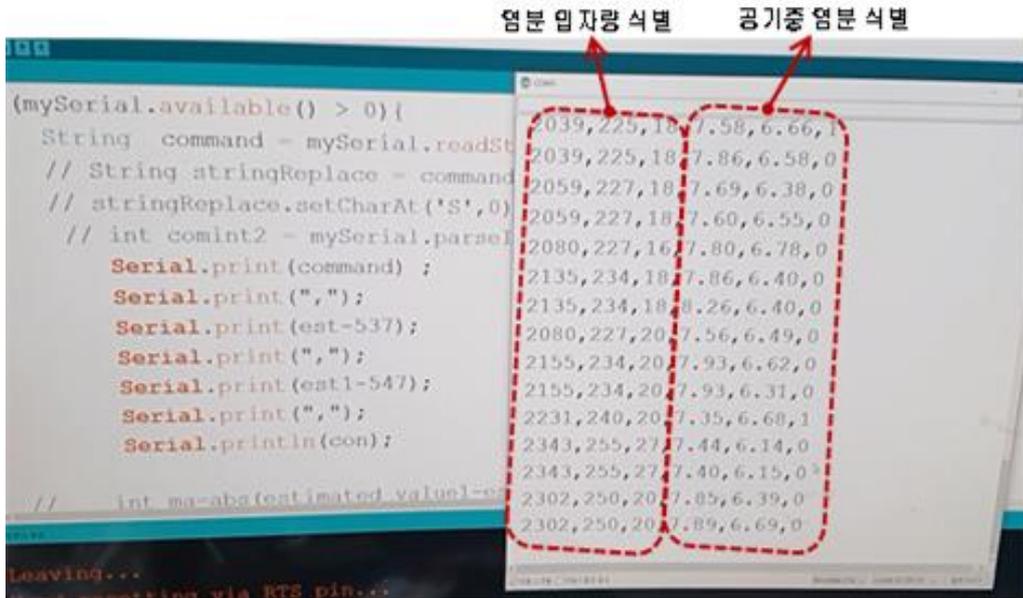


Fig. 17 Salt sensing data display

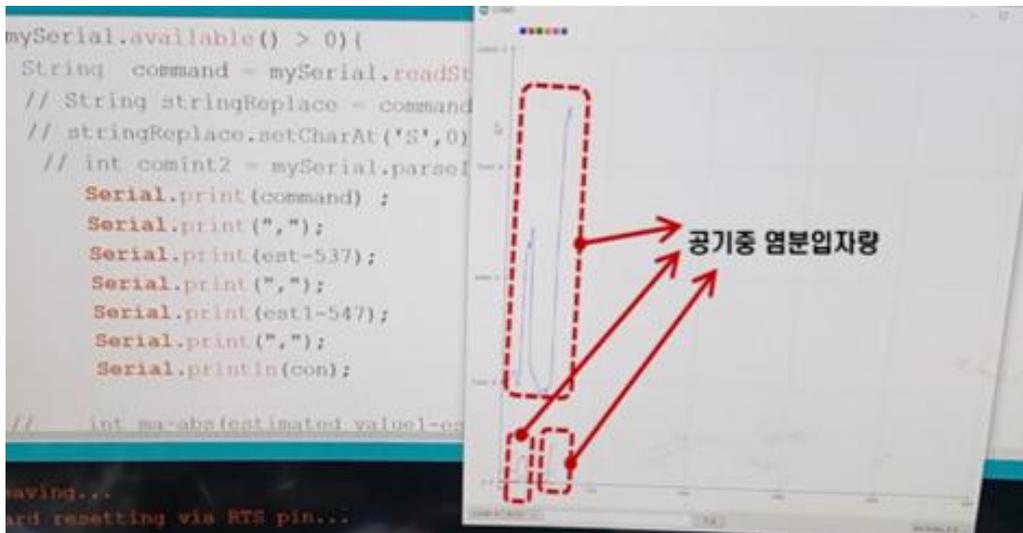


Fig. 18 Salt sensing data display(graph)

Fig. 19는 공기 중의 염분 성분 식별을 위해 데이터 수집을 하여 광 성분으로 부터 광 원을 방출하고, 이 방출된 빛을 실시간으로 측정할 수 있도록 빛을 수신하여 전기적인 신호로 변환하는 절차, 그리고 이 신호를 통해 공기 중의 염분 성분을 식별하는 절차를 나타낸 흐름도이다.

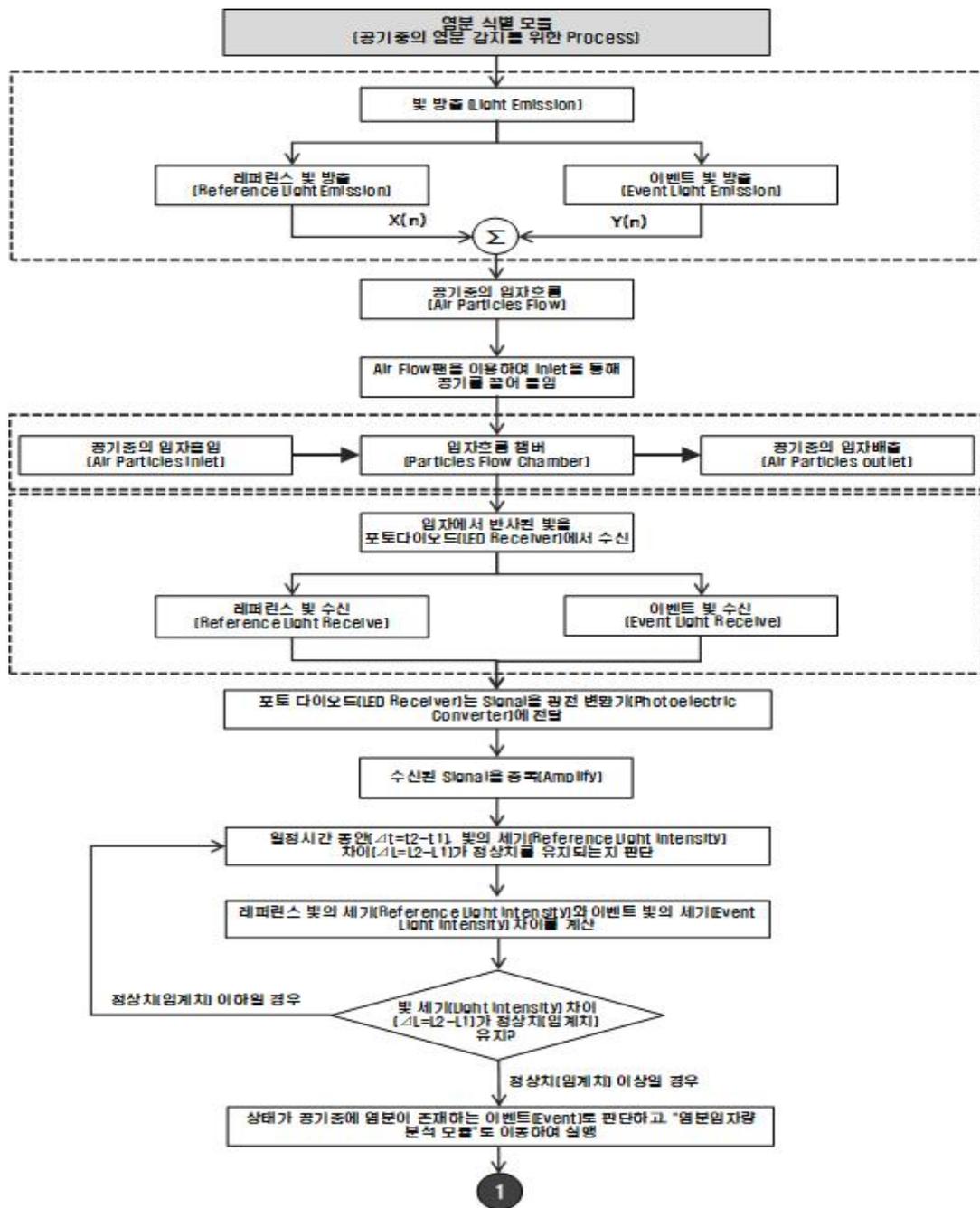


Fig. 19 Salt identification procedure block diagram

Fig. 20은 공기 중의 염분입자량 계산을 위해 데이터를 수집하여 광 성분으로 부터 광 원을 방출하고, 이 방출된 빛을 실시간으로 측정할 수 있도록 빛을 수신하여 전기적인 신호로 변환하는 절차, 그리고 이 신호를 통해 공기 중의 염분입자량을 분석하는 절차를 나타낸 흐름도이다.

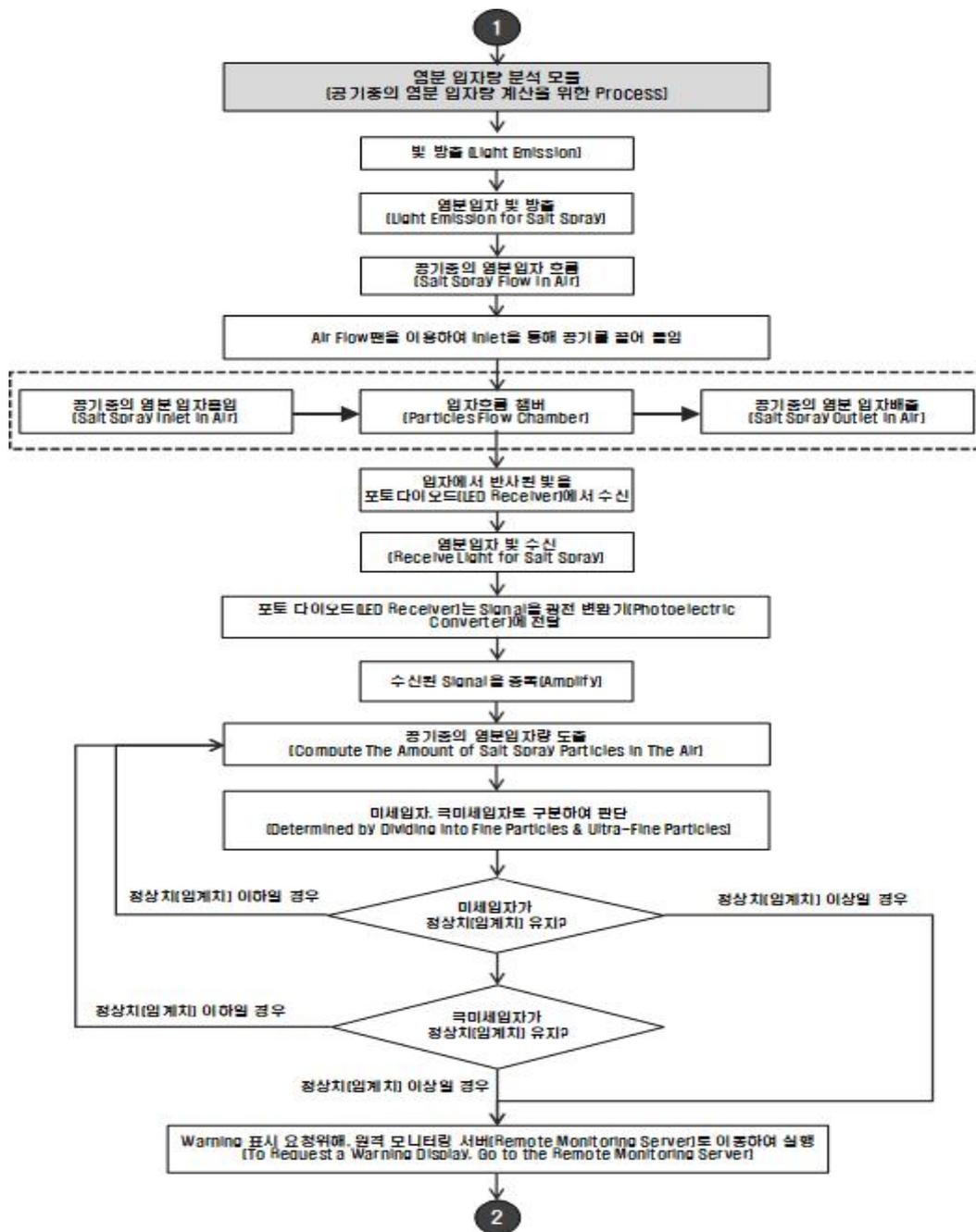


Fig. 20 Salt particle analysis procedure block diagram

Fig. 21은 염분입자량 분석 모듈로 부터 데이터를 수신하고, 모니터링 알고리즘에 의해 알람 표시 판단을 하여 GUI를 통해 알람을 나타낸 흐름도이다.

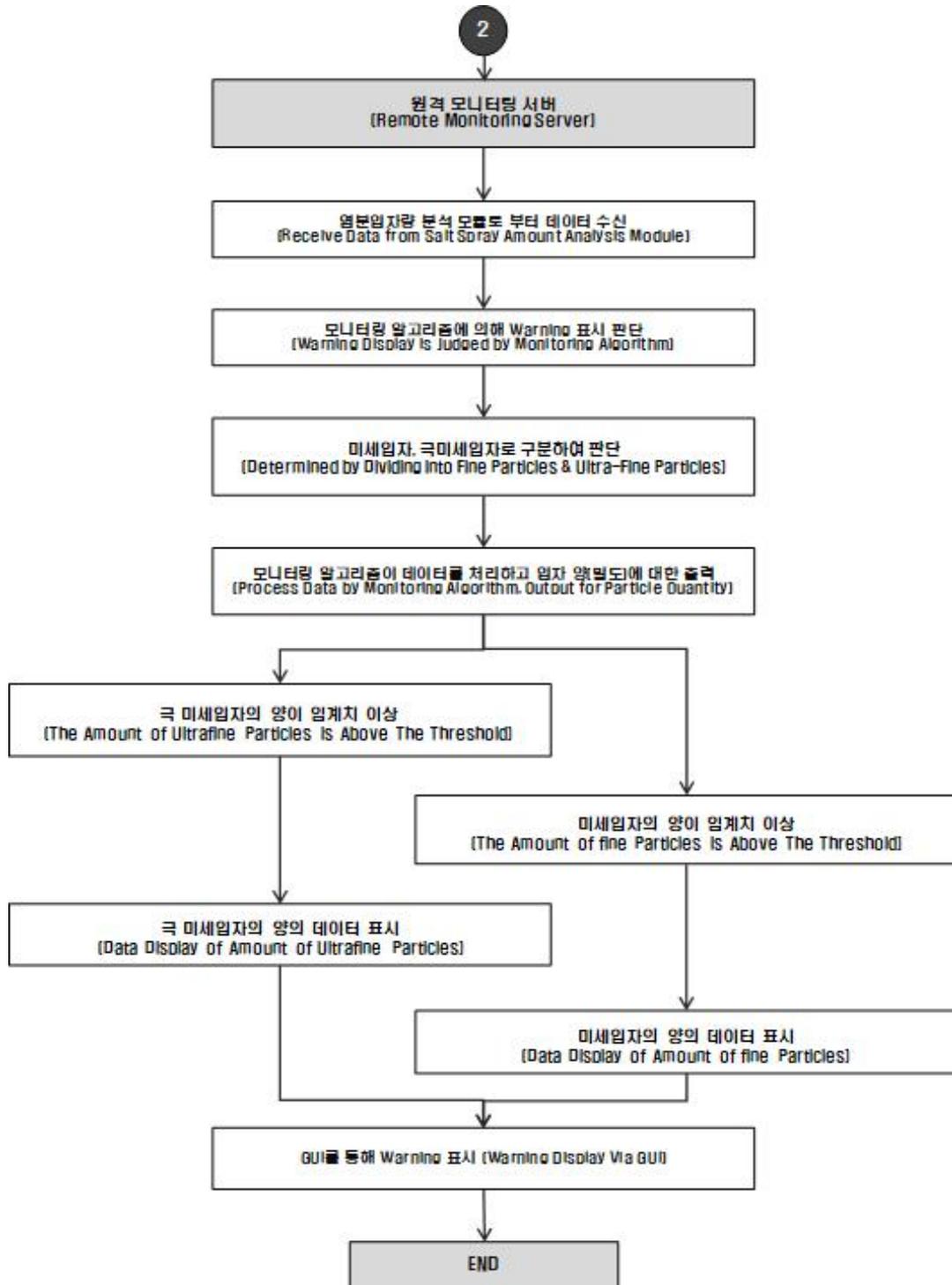


Fig. 21 Alarm display block diagram

Fig. 22는 데이터 응답시간과 센서 모듈 카운터 번호를 확인할 수 있도록 구성된 염분 감지 데이터 출력 형식과 표시를 나타낸다.

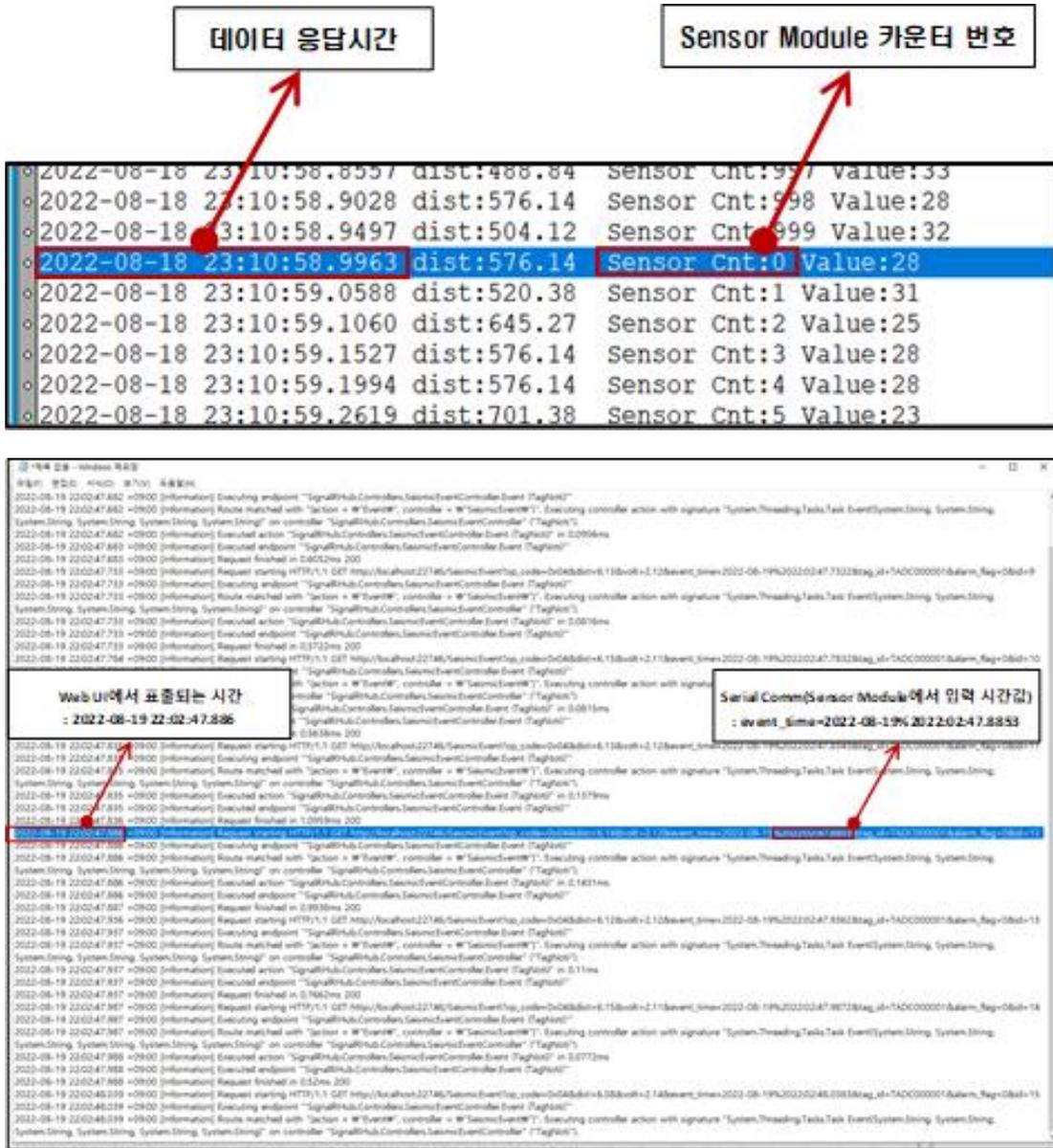


Fig. 22 Salt sensing data output format & display

2.2.3 염분감지 모니터링 서버 및 앱

염분감지 모니터링 서버(server)는 염분입자량 분석 모듈로 부터 데이터 수신을 하고, 모니터링 알고리즘에 의해 알람 표시 판단을 위해 극 미세입자 및 미세입자의 양이 임계치 이상의 경우 이에 대한 데이터를 표시하며 GUI를 통해 알람을 표시한다. Fig. 23은 염분감지 실시간 모니터링을 위한 원격 모니터링 서버의 전체 Architecture이다.

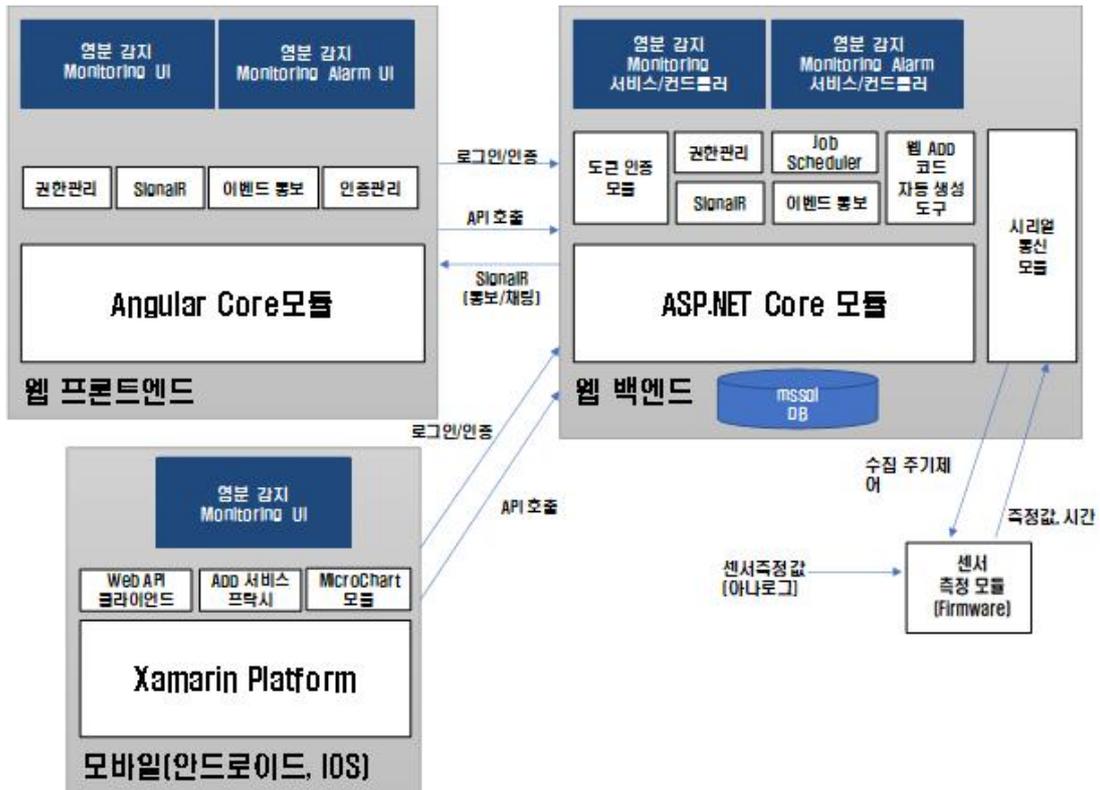


Fig. 23 Complete architecture of remote monitoring server

Fig. 24는 염분감지 실시간 모니터링을 위한 서버의 로그인 화면 구성을 나타내며, 정상적인 로그인 이후 실시간으로 염분입자량 변화 추이를 살펴 볼 수 있도록 Fig. 25와 같이 그래프로 나타내고, 염분입자량이 임계치 이상인 경우 알람을 표시되도록 하였다.

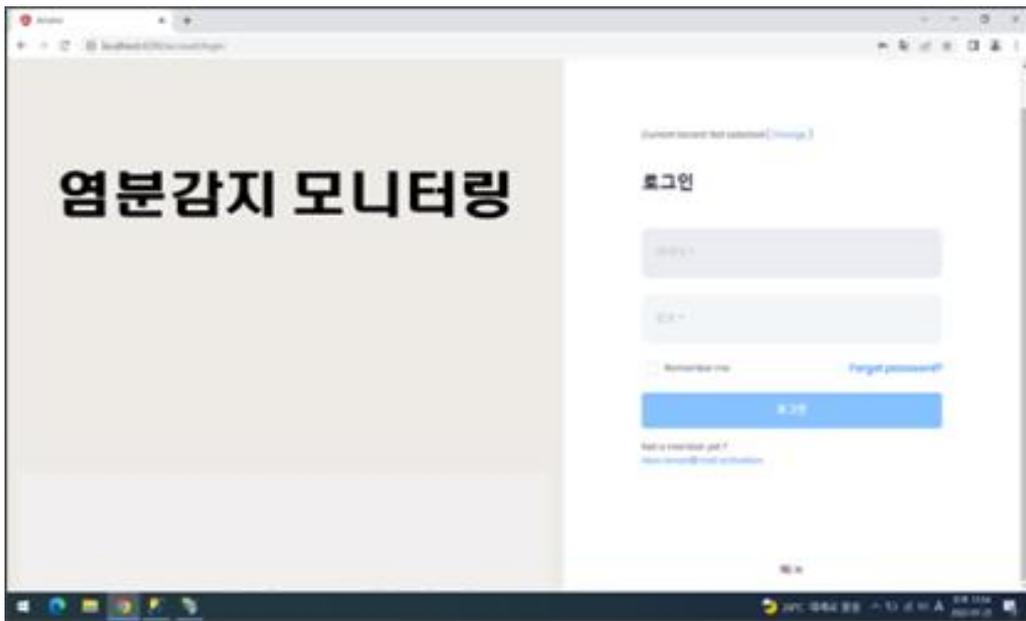


Fig. 24 Remote monitoring server login screen



Fig. 25 Changes in the amount of salt particles in real time

실시간 염분감지 모니터링을 위한 모바일 앱(app)은 Wi-Fi 통신 방식을 통해 원격 모니터링 서버로부터 데이터를 수신하고, 실시간으로 염분입자량 변화 추이를 살펴 볼 수 있도록 Fig. 26과 같이 그래프로 나타내었다. 임계치 이상의 염분이 감지될 경우에는 Fig. 27과 같이 알람을 표시하도록 하였다.

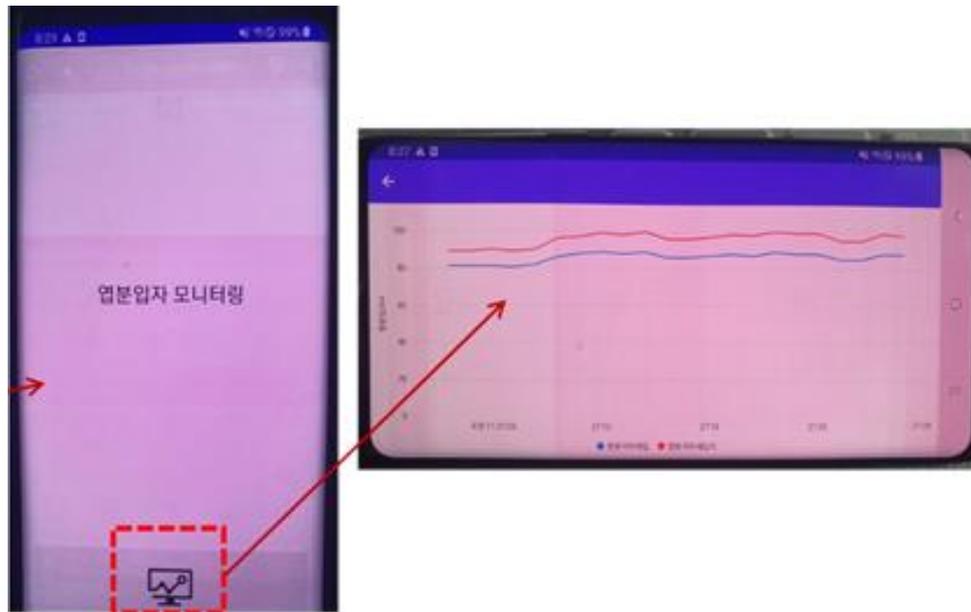


Fig. 26 Real-time monitoring of mobile apps

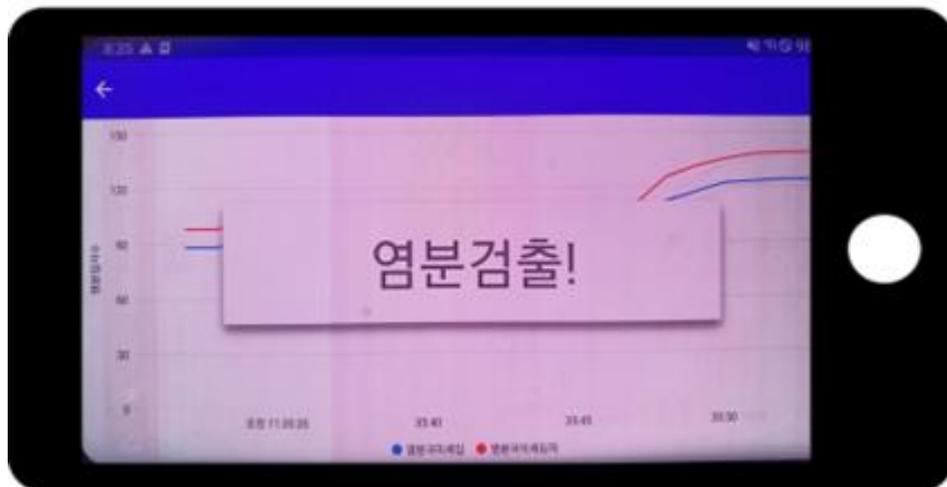


Fig. 27 Mobile app alarms

3. 실험 및 결과

3.1 실험 항목 및 구성도

본 논문에서는 광방식을 적용한 염분감지장치 하드웨어, 소프트웨어, 그리고 모니터링 서버 및 앱을 개발하였다. 개발 결과물은 광방식 염분감지 모니터링 시스템을 구성요소이므로, 각각의 단독 검증보다는 전체 시스템에 대한 검증을 위해 다음과 같은 세 가지의 실험 항목을 설정하였다.

- i) 염분감지 응답속도 (salinity sensing reponse speed)
- ii) 염분감지 정확도 (salinity sensing accuracy rate)
- iii) 염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도 (salinity sensing state event alarm display accuracy)

위의 실험 항목들은 모두 고압노즐에 의한 해수의 염분 형태 및 감지 데이터에 관한 것으로, Fig. 28의 실험항목 측정에서 염분감지 응답속도는 염분감지 모듈에 대한 일정한 입자량 변화 감지의 반응속도를 측정하고, 염분감지 정확도는 염분감지 모듈에 대해 주어진 기간 동안의 염분 변화량과 같은 일정한 변화를 하는 경우 염분감지 모니터링 서버에서 염분감지로 인식하는 정확도를 결정한다. 그리고 염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도는 염분감지 모듈에 대해 주어진 기간 동안의 염분 변화량과 같은 일정한 변화를 하는 경우 모바일의 앱에서 염분감지로 인식하여 알람이 표출되는 정확도를 측정하고자 한다.

각 실험 항목에 대한 실험 결과는 다음과 같이 확인한다.

- i) 염분감지 응답속도 : 염분감지 모니터링 서버의 로그(log) 파일
- ii) 염분감지 정확도 : 모니터링 서버의 Web UI
- iii) 이벤트 알람표시 정확도 : Mobile 앱

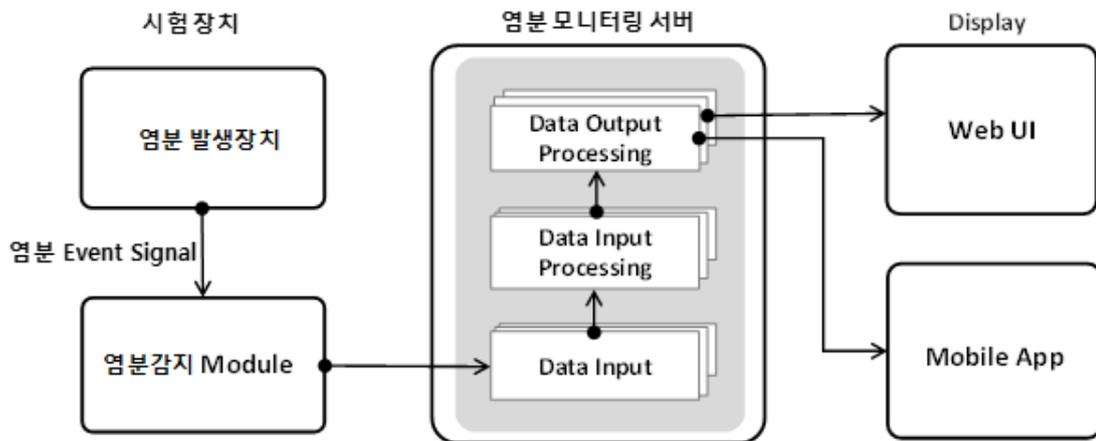


Fig. 28 Measure experimental items

전체 모니터링 시스템은 실험을 위해 실험 챔버, 염분 스프레이, 염분감지 모듈, 염분감지 모니터링 서버, 모바일 앱으로 구분하여 Fig. 29와 같이 구성한다.

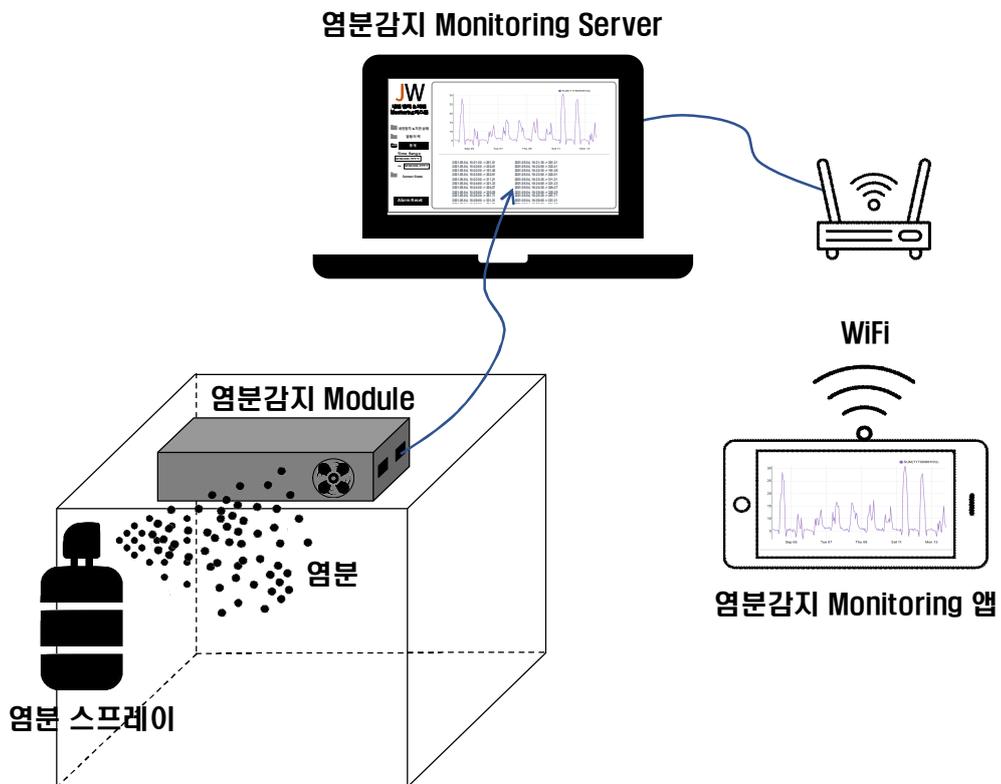


Fig. 29 Configuring the experimental device

3.2 실험 절차

염분감지 응답속도 측정을 위해 Fig. 30과 같이 염분감지 모듈과 염분감지 모니터링 서버를 연결한 후, 연결이 정상상태임을 확인한다. Fig. 31과 같이 염분감지 모듈의 응답속도 확인을 위해 외부의 이벤트 발생 등으로부터 값을 표출하도록 하고, 이에 따라 염분감지 모듈이 응답속도를 측정한다.

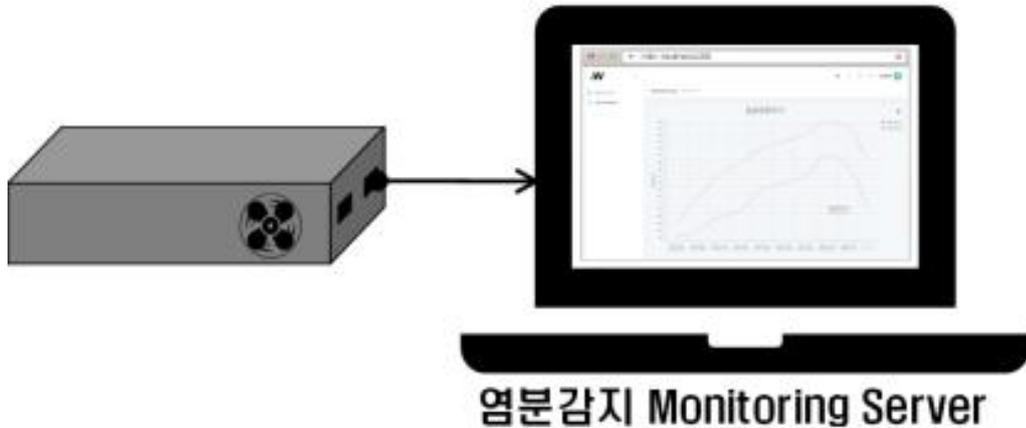


Fig. 30 Check connection status

2022-07-19 02:48:50.457	val:4.48	Sensor	Cnt:0
2022-07-19 02:48:50.458	val:4.51	Sensor	Cnt:1
2022-07-19 02:48:50.459	val:4.51	Sensor	Cnt:2
2022-07-19 02:48:50.459	val:4.51	Sensor	Cnt:3
2022-07-19 02:48:50.459	val:4.52	Sensor	Cnt:4
2022-07-19 02:48:50.459	val:4.50	Sensor	Cnt:5
2022-07-19 02:48:50.460	val:4.50	Sensor	Cnt:6
2022-07-19 02:48:50.460	val:4.51	Sensor	Cnt:7
2022-07-19 02:48:50.460	val:4.50	Sensor	Cnt:8
2022-07-19 02:48:50.461	val:4.50	Sensor	Cnt:9
2022-07-19 02:48:50.461	val:4.51	Sensor	Cnt:10
2022-07-19 02:48:50.461	val:4.51	Sensor	Cnt:11
2022-07-19 02:48:50.461	val:4.50	Sensor	Cnt:12
.....			
2022-07-19 02:48:52.341	val:4.50	Sensor	Cnt:988
2022-07-19 02:48:52.341	val:4.50	Sensor	Cnt:989
2022-07-19 02:48:52.341	val:4.51	Sensor	Cnt:990
2022-07-19 02:48:52.341	val:4.51	Sensor	Cnt:991
2022-07-19 02:48:52.343	val:4.51	Sensor	Cnt:992
2022-07-19 02:48:52.343	val:4.51	Sensor	Cnt:993
2022-07-19 02:48:52.344	val:4.50	Sensor	Cnt:994
2022-07-19 02:48:52.345	val:4.51	Sensor	Cnt:995
2022-07-19 02:48:52.345	val:4.51	Sensor	Cnt:996
2022-07-19 02:48:52.346	val:4.51	Sensor	Cnt:997
2022-07-19 02:48:52.347	val:4.51	Sensor	Cnt:998
2022-07-19 02:48:52.347	val:4.53	Sensor	Cnt:999
2022-07-19 02:48:52.348	val:4.50	Sensor	Cnt:0
2022-07-19 02:48:52.349	val:4.52	Sensor	Cnt:1
2022-07-19 02:48:52.349	val:4.47	Sensor	Cnt:2

Fig. 31 Display event occurrence value

측정 항목에 대한 결과 확인은 로그 파일을 통해 1,000개 구간을 선택하여, 다음의 계산식으로 이벤트 응답속도(시간차)를 측정한다.

$$\text{염분감지 응답속도} = \frac{\sum_{k=0}^{999} [(K+1 \text{ 측정 시간값}) - (K \text{ 측정 시간값})]}{\text{측정 구간수}(1,000\text{개})}$$

여기서 염분감지 응답속도는 출력되는 원시값(raw value)을 1,000개 이상 단위로 하여 각 단위의 차이 값에 대한 평균값으로 결정한다.

염분감지 정확도 측정을 위한 사전 작업은 Fig. 32와 같이 염분감지 모듈을 챔버내에 위치시키고, 이 모듈을 염분감지 모니터링 서버에 연결한 후 염분 스프레이에 해수(정제된 바닷물)를 넣어 분사를 준비한다. Fig. 33과 같이 챔버 내부 상황 등을 고려하여 분사량, 분사 횟수 등을 결정한 후 챔버내에 준비된 염분 스프레이를 분사한다.

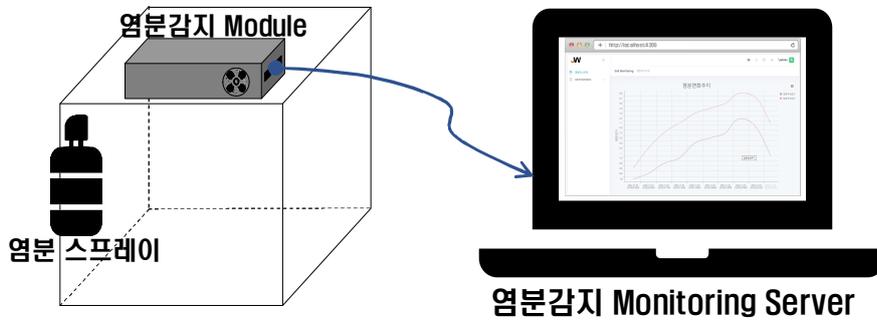


Fig. 32 Preparation for salt detection experiment

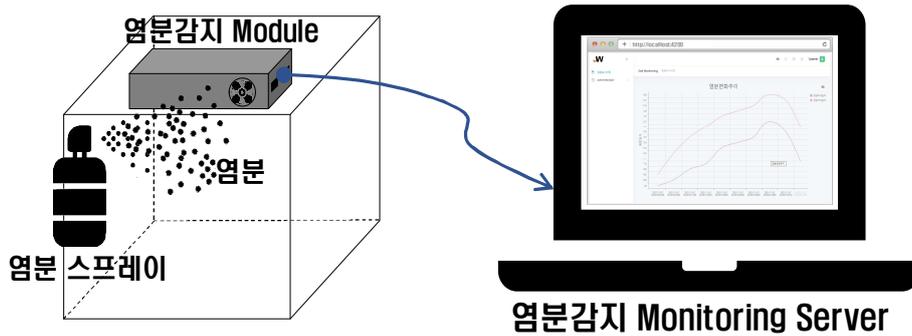


Fig. 33 Conduct salt detection experiments

측정한 결과 값이 염분의 분사에 따라 화면에 표출되고, 염분의 양에 따라 임계치 이상이 되면, 염분감지로 판단하고, 염분감지 모니터링 서버에서 해당 알람으로 표출한다. 측

정 항목에 대한 결과 확인은 염분감지 모니터링 서버 Web UI에서 “알림-(주의)염분” 알람을 육안으로 확인하는데, 위의 과정을 반복하여 5회를 실시한다. 단, 공기 중의 기체 실험 특성상 이전 회차의 실험이 다음 실험에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 일정 시간 간격을 두고 다음 회차 실험을 실시한다.

염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도 측정을 위해 Fig. 32와 같이 염분감지 모듈을 챔버내에 위치시키고, 이 모듈을 염분감지 모니터링 서버에 연결한 후 염분 스프레이에 해수를 넣어 분사를 준비한다. Fig. 33과 같이 챔버 내부 상황 등을 고려하여 분사량, 분사 횟수 등을 결정한 후 실험 챔버내에 준비된 염분 스프레이를 분사한다.

결과 값이 염분의 분사에 따라 화면에 표출되고, 염분의 양에 따라 임계치 이상이 되면 염분감지로 판단하고 염분감지 모니터링 앱에서 해당 알람으로 표출한다. 측정 항목에 대한 결과 확인은 염분감지 모니터링 앱에서 “염분 검출” 알람을 육안으로 확인하는데, 위의 과정을 반복하여 5회를 실시한다. 단, 공기 중의 기체 실험 특성상 이전 회차의 실험이 다음 실험에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 일정 시간 간격을 두고 다음 회차 실험을 실시한다.

3.3 실험 결과

Fig. 34는 염분감지 응답속도 실험 결과 확인 순서를 나타낸다. 염분감지 응답속도 측정 실험 결과는 다음과 같은 식으로 계산해도 같은 방식이다. 염분감지 모니터링 서버의 로그 파일은 카운터 번호 0부터 999까지 반복(1,000개)하고 있으므로 임의 구간을 선택하여 해당 구간의 카운터 번호 999(Cnt:999)의 데이터 응답시간과 카운터 번호 0(Cnt:0)의 데이터 응답시간의 차이를 구한다. 이 때, 결과값으로 나온 수치가 카운터 1,000개에 몇 초인지를 확인한다.

각 구간마다 속도가 다르기 때문에 다음의 실험 결과 데이터를 근거로 분석하여 식에 대입하여 보면, 2022-07-19 02:48:50.457 Particles:4.48 Sensor Cnt:0 ~ 2022-07-19 02:48:51.039 Particles:4.50 Sensor Cnt:999이므로 응답시간은 다음과 같다.

$$\text{응답시간} = (02:48:51.039) - (02:48:50.457) = 0.582 \text{ sec}$$

이 때, 카운터 1,000개에 대한 응답시간은 0.582초로 각 카운터 개수 당 반응 시간은 0.582 ms로 나타난다. 이는 임의 구간에 대한 데이터를 측정할 값이며, 구간별 응답시간은 모두 1초 이하의 범위에 있음을 확인할 수 있다.

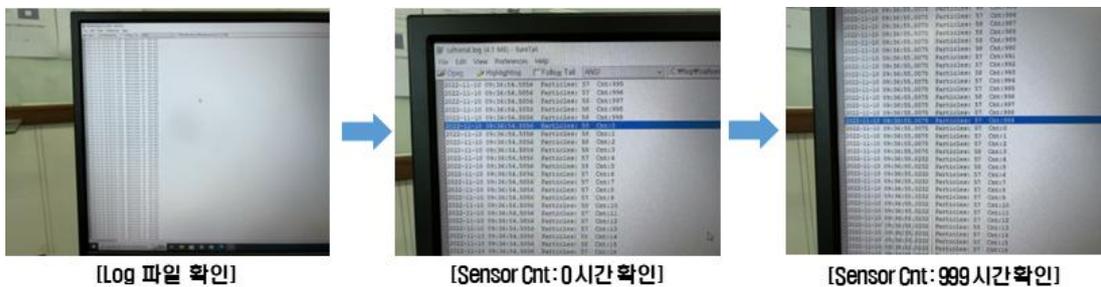


Fig. 34 Check salt sensing response rate experiment results

Fig. 35는 염분감지 정확도 실험 결과 확인 절차를 나타낸다. 염분감지 정확도 실험 결과는 염분감지 모니터링 서버의 Web UI에서 “알림-(주의)염분” 알림을 육안으로 확인하는데, 위의 과정을 반복하여 5회를 실시한 결과 5회 모두 임계치 이상의 염분이 검출되었음을 알리는 알림이 표시되었다.



Fig. 35 Check salt detection accuracy rate experiment results

Fig. 36은 염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도 실험 결과 확인 순서를 나타낸다. 염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도 실험 결과는 염분감지 모니터링 앱에서 “염분 검출” 알람을 육안으로 확인할 수 있는데, 위의 과정을 반복하여 5회를 실시한 결과 5회 모두 임계치 이상의 염분이 검출되었음을 알리는 알람이 표시되었다.



Fig. 36 Check salt detection status event alarm display accuracy experiment results

4. 결 론

본 논문에서는 해안가에 설치된 수배전반 등의 전기설비는 장기간 염해환경에 노출됨에 따라 시스템 내부로의 염화물 침입 및 이에 따른 부식 등이 심각하게 발생하게 되고, 이로 인한 성능저하나 구조적인 손상으로 이어져 전력중단의 상황에 이르게 되므로, 염해방지를 위한 광방식 염분감지 모니터링 시스템을 개발하였다.

전기설비에 적용되는 광방식 공기 중 염분감지 모니터링 시스템 구축을 위해 염분감지부 설계, 공기 중 염분 식별 모듈 및 입자량 식별 모듈을 포함하는 염분감지장치 하드웨어 및 소프트웨어, 염분감지 모니터링 웹 서버 및 모바일 앱을 구현하였다. 광방식의 공기 중 염분감지 모니터링 시스템의 신뢰성 검증을 위해 실험 장치를 구성하고, 다음과 같은 3가지 항목의 실험을 수행하였다.

첫째, 염분감지 응답속도 측정을 위해 임의의 구간 카운터 1,000개에 대한 응답시간을 계산한 결과 0.582초로 나타났고, 각 구간별 응답시간은 모두 1초 이하의 범위에 있음을 확인하였다. 둘째, 임계치 이상의 염분 검출 시 염분감지 모니터링 서버의 웹 UI에서 알람이 표시되는 정도를 확인하는 염분감지 정확도는 실험을 5회 실시한 결과 5회 모두 알람이 표시되었다. 마지막으로, 임계치 이상의 염분 검출 시 염분감지 모니터링 앱에서 알람이 표시되는 정도를 확인하는 염분감지 상태 이벤트 알람표시 정확도는 실험을 5회 실시한 결과 5회 모두 알람이 표시되었다.

실험을 통해 설계된 광방식 염분감지 모니터링 시스템은 염분감지 응답속도 1ms 이하로 염분입자량 변화를 빠르게 감지하여 실시간 모니터링이 가능하고, 임계치 이상의 염분 감지 시 모니터링 웹 서버 및 모바일 앱을 통해 “염분 검출”이라는 이벤트 알람을 표출하여 염분 제거를 위한 조치를 취할 수 있음을 확인하였다. 따라서 기존 수배전반 등의 전기설비에 본 논문에서 제안한 광방식 염분감지 모니터링 기능을 추가할 경우에는 염해로 인한 전기적 장애나 전기재해를 최소화하여 내구성 강화 및 개선이 이루어질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 전화영, “배전 설비의 염해 대책”, 2013, 월간전기.
- [2] 김우범, 발전소 구조재 및 내외장재의 염해방지 방안 연구, 한국건설기술연구원 보고서, 1997.
- [3] S. Patil, and A. Shaligram, “Refractometric fiber optic sensor for detecting salinity of water”, *Journal of Sensor Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 70-74, 2013.
- [4] X. Quan and E. S. Fry, “Empirical equation for the index of refraction of seawater,” *Applied Optics*, vol. 34, no. 18, pp. 3477-3480, 1995.
- [5] L. V. Nguyen, M. Vasiliev, and K. Alameh, “Water salinity fiber sensor with selectable sensitivity using a liquid-fillable composite in-fiber Fabry-Perot cavity,” 7th International Symposium on High-capacity Optical Networks and Enabling Technologies, Cairo, Egypt, pp. 161-165, 2010.
- [6] J. R. Guzman-Sepulveda, V. I. Ruiz-Perez, M. Torres-Cisneros, J. J. Sanchez-Mondragon, and D. A. May-Arriola, “Fiber optic sensor for high-sensitivity salinity measurement,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 25, no. 23, pp. 2323-2326, 2013.
- [7] D. Z. Stupar, J. S. Bajić, A. V. Joža, B. M. Dakić, M. P. Slankamenac, M. B. Živanov, and E. Cibula, “Remote monitoring of water salinity by using side-polished fiber-optic U-shaped sensor,” 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2012.
- [8] X. Wang, J. Wang, S. S. Wang, and Y. P. Liao, “Fiber-optic salinity sensing with a panda-microfiber-based multimode interferometer,” vol. 35, no. 23, pp. 5086-5091, 2017.
- [9] J. Shi, Y. Wang, D. Xu, G. Su, H. Zhang, J. Feng, C. Yan, S. Fu, and J. Yao, “Remote magnetic field sensor based on intracavity absorption of evanescent field,” *IEEE Photonics Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 1-7, 2016.
- [10] 조창선, 해양 수로 용어사전, 그린프린팅, 2015.

감사의 글

무작정 제주도로 이주해 모든 것이 새로운 환경 속에서 일과 병행하며 학위 과정을 마무리하는 것이 가능할지 걱정이 많았습니다. 불과 얼마 전 시작한 대학원 생활인거 같은데 어느덧 3년 6개월이라는 시간이 흘러 이렇게 감사의 마음을 전하는 순간이 오니 감회가 새롭습니다. 영광스러운 이 순간이 있기까지 도움을 주신 많은 분들께 감사의 말을 전하고자 합니다.

먼저, 부족한 저를 격려해주시고 용기를 북돋아주신 김호찬 지도교수님께 깊은 감사의 마음을 전합니다. 논문을 쓰는 과정에서도 세심하게 지도해주신 덕분에 무사히 마무리할 수 있게 되었습니다. 또한, 석사 과정 동안 많은 관심과 애정을 주신 이개명 교수님, 김세호 교수님, 황진택 교수님, 김일환 교수님, 김호민 교수님, 진영규 교수님, 최영준 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 논문 제출 관련하여 문의 할 때마다 항상 친절하고 상냥하게 응대해주신 전기공학과 사무실 정재홍 조교님께도 감사하다고 전하고 싶습니다.

대학원 동기에서 지금은 직장 동료가 된 은호씨, 그리고 동기 만형 동진이형, 홍일점 나현씨, 항상 성실하고 열심히 하는 완수씨, 학교생활 함께 할 수 있어서 큰 힘이 됐습니다. 다들 바빠서 자주는 못 보지만 지금처럼 가끔 만나 술한잔 기울이는 시간 계속 가졌으면 합니다.

그리고 배전반 및 전기 자동제어반 연구개발부서 책임자로서 부족한 점이 많지만 항상 내 일처럼 많은 도움을 주신 문상균 대표님, 제주국제대학교 부창진 교수님께도 진심으로 감사의 말씀 드립니다.

언제나 저를 믿어주시고, 응원해주시는 부모님 감사합니다. 성인이 된 이후로 타지에서 생활을 계속 하고 있어 자주 찾아뵙지는 못하지만, 열심히 노력해서 잘 사는 모습 보여드리도록 최선을 다할게요.

갈길 잃은 범대생을 전기인의 길로 인도해준 매형 덕분에 지금의 제가 있다고 생각합니다. 항상 감사한 마음 가지고 있습니다. 그리고 제가 힘들어 할 때마다 크나큰 힘이 되어준 누나, 앞으로는 나도 누나한테 힘이 되는 동생이 되도록 노력할게.

마지막으로 사랑하는 경란아. 나를 항상 사랑해주고, 믿어주고, 응원해주는 경란이 덕분에 지금이 더욱 값진 순간이 아닌가 싶어. 경란이를 만난 건 내 인생에서 다시없을 큰 행운이야. 평생 행복하게 함께 하자. 사랑해.

2023년 7월

정재창 올림