

KAERI/CM-1195/2009

원위치 모니터링 시스템의 개발

Development of in-situ monitoring system

KAERI
건국대학교

2010. 2

한국원자력연구원

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2009년도 “원위치 모니터링 시스템의 개발에 관한 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 03. 10.

과 제 명 : 원위치 모니터링 시스템의 개발

과제책임자 : 이 봉 수

참 여 자 : 조 동 현

유 옥 재

허 지 연

요 약 문

I. 제 목

원위치 모니터링 시스템의 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

고준위폐기물처분을 위해 지질환경분야 연구에서 필요한 자연조건에서의 지구화학 파라미터를 실시간 모니터링 하는 기술이 필요하고 특히, 지하수 유동특성의 평가를 목적으로 지하수 온도의 변화특성을 지속적으로 측정할 수 있는 광섬유를 이용한 원위치 측정 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정임.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 1차년도 연구내용: Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도센서 기초연구
 - 광섬유 연구: 연구에 적합한 광섬유에 대한 조사 및 특성 연구, thermochromic 물질-광섬유간의 결합 연구, 최적의 광원 결정
 - 온도센서 연구: Thermochromic 물질을 이용한 센서팁(sensor-tip)의 제작, 딥 코팅(dip-coating) 방법과 광학용 에폭시와의 혼합 등의 결합 방법 및 광섬유 연마(polishing) 방법 연구, 광 파워미터(power-meter) 및 포토다이오드(photodiode)를 이용한 측정 시스템 구축, thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도센서의 설계 및 제작 등
 - 프로그램 제작: LabVIEW를 이용한 출력신호 처리 알고리즘 및 프로그램 구축 등
 - 성능평가: 온도 컨트롤러를 이용한 광섬유 온도센서의 성능 평가
- 2차년도 연구내용: Thermochromic 물질을 이용한 지하수 온도측정용 광섬유 센서의 개발
 - 센서구조 연구: 투과형 및 반사형 센서 설계 및 연구

- 센서팁의 효율성 연구: 거울 및 반사페인트 등을 이용한 효율성 향상 연구
- 성능평가: 온도 컨트롤러를 이용한 센서팁의 성능 평가 및 센서팁을 물속에 위치시킨 뒤, 물의 온도변화와 광섬유 센서의 형태에 따른 출력신호 측정

IV. 연구개발결과

무독성, 소수성 등의 성질을 가지는 thermochromic 물질을 이용하여 광섬유 온도 센서를 제작한 후 성능평가를 통해 물의 온도변화에 따른 출력신호를 측정

V. 연구개발결과의 활용계획

물의 영향을 받지 않는 무독성 물질의 사용으로 지하수의 온도측정 및 의료용 기기로 이용 가능하므로 산업계 및 의료계에서 활용 가능할 것으로 사료됨.



KAERI

SUMMARY

I. Project Title

Development of in-situ monitoring system

II. Objective and Importance of the Project

Development of in-situ monitoring system using an optical fiber to measure the real time temperature variation of subsurface water for the evaluation of flow characteristics

III. Scope and Contents of Project

- Feasibility study of fiber-optic temperature sensor using a thermochromic material
 - Research on optical fibers: Investigation of the optical fibers which are suitable for this study, and research on the polishing method of optical fibers
 - Research on the connection method between a sensor-tip and an optical fiber: Design and fabrication of the sensor-tip using a thermochromic material, and research on dip-coating and mixing method using thermochromic material and epoxy
 - Composition of the light detection system: Investigation and characterizations of the optical power-meter, photodiode and photo-multiplier tube
 - Development of output signal processing algorithm and program on the basis of LabVIEW system
 - Performance evaluation of a fiber-optic temperature sensor using a thermocouple and a temperature controller

- Development of the fiber-optic sensor-tip using thermochromic material for the temperature measurement of subsurface water
 - Research on the improvement of light transmission efficiency using a mirror and a reflective paint
 - Design and fabrication of the transmission and reflection types of fiber-optic temperature sensor system
 - Performance evaluation of fiber-optic temperature sensor: Measurements of output signals of the fiber-optic temperature sensor according to the structures of fiber-optic sensor and the temperature variation of water

IV. Result of Project

We describe the feasibility of developing a fiber-optic temperature sensor using a thermochromic material. A sensor-tip is fabricated by mixing of a thermochromic material powder, which has a non-toxic and hydrophobic characteristics, and an epoxy resin. The relationships between the temperatures and the output voltages of detectors are determined to measure the temperature of water.

V. Proposal for Applications

It is expected that the fiber-optic temperature monitoring sensor using thermochromic material can be used to measure the real time temperature variation of subsurface water.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

- Objective
- Necessity of Research
- Fiber-optic temperature sensor

Chapter 2. Current States of Research

- Current states of similar study
- Review and analysis on the technical details
- Review and analysis on the raw materials
- Current states of research in industry

Chapter 3. Experiments and Results

- * Feasibility study of fiber-optic temperature sensor using a thermochromic material
 - (1) Research on optical fibers
 - (2) Research on the connection method between a sensor-tip and an optical fiber
 - (3) Composition of the light detection system
 - (4) Development of output signal processing algorithm and program on the basis of LabVIEW system
 - (5) Performance evaluation of a fiber-optic temperature sensor
- * Development of the fiber-optic sensor-tip using thermochromic material for the temperature measurement of subsurface water
 - (1) Design and fabrication of the transmission and reflection types of fiber-optic temperature sensor

- Transmission type of fiber-optic temperature sensor using Lophine
 - Reflection type of fiber-optic temperature sensor using a mirror
 - Reflection type of fiber-optic temperature sensor using a Y-coupler
- (2) Fiber-optic temperature sensor using a thermochromic pigment

Chapter 4. Attainment of Research Goal

- * 1st year research
- * 2nd year research

Chapter 5. Applicable Planning of Research



목 차

제 1 장 서 론

- 가. 연구목적
- 나. 연구 개발의 필요성
- 다. 광섬유 온도센서

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

- 가. 유사 연구사례에 대한 조사 현황
- 나. 세부 기술사항의 검토 분석결과
- 다. 원자재에 대한 검토 분석
- 라. 산업계 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

* 개요

* 1차년도 주요연구 내용

- (1) Thermochromic 물질과 광섬유 특성 조사 및 연구
- (2) Thermochromic 물질을 이용한 센서팁의 제작 및 센서팁과 광섬유 간의 결합 연구
- (3) 최적의 광원 결정
- (4) Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도 측정 시스템의 구성
- (5) 온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가

* 2차년도 주요연구 내용

- (1) 투과형 및 반사형 센서의 구조 설계 및 성능평가
 - (가) 로핀 필름을 이용한 투과형 광섬유 온도센서의 실험결과
 - (나) 반사체를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험결과
 - (다) 광섬유 Y-커플러를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험결과
- (2) 시온안료를 이용한 광섬유 온도센서의 특성연구

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

* 1차년도 연구평가

* 2차년도 연구평가

(1) 연구범위 및 연구수행 방법

(2) 연구개발 수행내용 및 목표 달성도

제 5 장 연구개발결과의 활용계획



본 문

제 1 장 서 론

가. 연구목적

: 자연조건에서의 지구화학 파라미터를 실시간 모니터링 함으로써 지하수 유동특성의 평가를 목적으로 하는, 광섬유를 이용한 지하수 온도의 변화특성을 지속적으로 측정할 수 있는 원위치 측정 시스템의 개발.

최종목표	내용
Thermochromic 물질을 이용한 지하수 온도 측정용 광섬유 센서의 개발	○ Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도센서를 제작하여 물의 온도변화에 따른 출력신호 측정

나. 연구 개발의 필요성

: 고준위폐기물처분을 위해 지질환경분야 연구에서 필요한 자연조건에서의 지구화학 파라미터를 실시간 모니터링 하는 기술이 필요하고, 특히 지하수 유동특성의 평가를 목적으로 지하수 온도의 변화특성을 지속적으로 측정할 수 있는 광섬유를 이용한 원위치 측정 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정임.

- ① 지하처분연구시설내에서 전용 장비를 이용하여 터널내로 유입되는 지하수의 온도를 측정하고 있지만, 원거리 측정의 어려움 및 낮은 정확도 등의 단점을 지니므로 실시간 지하수 온도측정용 온도센서가 필요한 실정임.
- ② 광섬유를 이용한 온도센서는 원거리 온도 계측에 적합한 특성을 지녔으며, 제작비용이 저렴하고 사용방법이 간단하므로 경제 및 산업적 측면에서 우수할 것으로 기대됨.
- ③ 지하처분연구시설내에서의 지하수 온도측정을 위한 광섬유 온도센서는 방사성 폐기물의 누출에 따른 지하수의 온도변화를 실시간으로 신속하게 감지하여 불필요한 경제적 손실을 줄일 수 있을 것으로 예상되고, 방사성물질의 외부방출을 사전

에 방지함으로써 고준위폐기물처분 시설 주변 주민의 안전을 보장하며, 고준위 폐기물처분 시설에 대한 안전성 향상과 신뢰도 향상에 중요한 역할을 할 것으로 사료됨.

④ 광섬유를 이용한 온도 센서는 전자기장에 영향을 받지 않고 원거리 신호전송이 가능한 광섬유의 특성으로 인하여 별다른 보정이 필요치 않으므로 시스템적으로 안정적이며, 물의 영향을 받지 않고 무독성인 특수 thermochromic 물질의 사용으로 지하수의 온도측정 및 의료용 기기로 사용가능하므로 산업계 및 의료계에서 활용 가능할 것으로 사료되며, 특히 병원에서 열치료 시 온도분포 측정, 원자력 발전소에서 원자로의 온도측정, 방사선폐기물처리장에서 지하수 온도측정 등에서 사용 가능하므로 이용 범위가 넓은 장점을 가짐.

다. 광섬유 온도센서

: 본 연구에서 제안하는 광섬유 온도센서는 다음과 같은 장점을 지님.

- ① 실시간 온도계측 가능.
- ② 기존 온도센서로는 측정이 불가능한 강한 전자기장 영역 및 방사성 환경에서 사용가능
- ③ 계측 정보의 전달 과정에서 전자기과 장애로부터 간섭을 받지 않음.
- ④ 원거리 측정 가능.
- ⑤ 광 전달경로인 광섬유는 크기가 작고, 재질의 특성상 부식이 되지 않으며 유연함.
- ⑥ 광섬유 온도센서는 기존의 온도센서에 비해 제작비용이 저렴하고, 사용방법이 간단하며 부피 또한 줄일 수 있어 경제 및 산업적 측면에서 우수함.

제 2 장 국내 · 외 기술개발 현황

가. 유사 연구사례에 대한 조사 현황

(1) 외국의 경우

이스라엘 Tel Aviv University Applied Physics Group

- 1982년 온도측정용 원적외선 투과 광섬유 개발 연구
- 1986년 저온의 물체 온도측정용 적외선 광섬유 개발 연구
- 1994년 적외선 광섬유를 이용한 비접촉식 온도센서 개발 연구
- 2006년 실온에서 광섬유를 이용한 온도 측정에 관한 연구

일본

- 1983년 적외선 광섬유를 이용한 온도센서 개발 연구
- 1990년 적외선 광섬유 번들을 이용한 열 영상 획득에 관한 연구
- 1998년 원자로 환경에서 고온을 측정하기 위한 광학적 방법 연구
- 2002년 선형 열팽창 성질을 이용한 온도센서 디자인에 관한 연구

미국

- 1987년 적외선 광섬유를 이용한 온도측정 시스템 개발 연구
- 1990년 자기공명영상 환경에서 광섬유를 이용한 온도 측정에 관한 연구

영국

- 2000년 Silver halide 광섬유를 이용한 피부의 표면온도 측정용 온도센서에 관한 연구
- 2003년 가역성 Thermochromic 중합체 필름을 이용한 온도측정에 관한 연구

폴란드

- 1999년 Thermochromic 물질을 이용한 온도센서 프로브에 관한 연구

(2) 국내의 경우

- 국내의 경우 본 연구팀에서 LC 필름, 자체 개발한 TSCM 물질 그리고 적외선 투과 광섬유 등을 이용한 광섬유 온도센서를 개발함.

(3) 조사한 연구개발사례에 대한 자체분석 및 평가결과

- 국외의 경우, 광섬유를 이용한 온도센서에 대한 연구 결과가 논문으로 다수

발표되었으나 대부분 산업용으로 고온 측정용 센서로 개발되었고, 저온 측정용 광섬유 센서의 경우 대부분 광섬유의 길이가 10m 이내인 근거리용으로 연구 중에 있음.

- 국내의 경우, 본 연구팀에서 LC 필름, 자체 개발한 TSCM 물질 그리고 적외선 투과 광섬유 등을 이용한 광섬유 온도센서를 개발하였으나, 이 역시 의료용에 적합하도록 제작되어 근거리 측정에 적합한 온도센서임.

나. 세부 기술사항의 검토 분석결과

(1) 국내·외 세부기술 수준 비교표

비교 항목	국 외	국 내
적외선 광섬유 생산 기술	미국, 이스라엘 등 소수의 업체 및 대학 연구실에서 생산 중	없음
플라스틱 광섬유 생산 기술	일본, 미국 등 다수의 업체에서 생산 중이나 품질/가격 면에서 큰 차이가 있음	시작 단계 (광통신용)
광섬유 온도센서 개발 기술	고온측정을 목적으로 하는 산업용 온도센서는 상용화되었으며, 저온측정용 및 의료용 온도센서 연구 중	플라스틱 광섬유와 적외선 광섬유를 이용한 온도센서에 대한 기술은 본 연구팀이 보유 중

(2) 공정단위별 주요 기술(技術)내용 및 그 기술수준의 분석 결과

(가) 외국의 경우

- 플라스틱 광섬유 및 적외선 광섬유 제조 및 생산에 성공
- 원거리 저온 감지용 광섬유 온도센서 연구 수행 중

(나) 국내의 경우

- 광섬유 제조 기술이 확보되지 못한 상태
- 근거리 저온 및 고온 감지용 광섬유 온도센서 연구 수행 중

(3) 본 연구와 관련된 주요기술 현황

- 플라스틱 또는 유리 광섬유 생산 기술
- 적외선 광섬유 생산 기술

- Thermochromic 물질 생산 기술
- 상기 3 기술 모두 국내에서는 미비한 상태

다. 원자재에 대한 검토 분석

- (1) 원자재의 국내·외 공급현황 (생산, 수요, 수출입량 등) 및 그 전망
 - 일본의 Mitsubishi 사에서 플라스틱 광섬유 생산
 - 미국의 JT Ingram 사에서 적외선 광섬유 생산
 - Thermochromic 물질을 수입하는 실정
- (2) 원자재에 관련된 국내·외 기술의 현황분석 및 전망
 - 국내: 없음

라. 산업계 현황

- (1) 제품의 발전주기(Product life cycle)측면
 - (가) 세계시장에서 개발할 제품의 현재적 수준
 - 고온 측정용 광섬유 온도센서의 경우 상용화 되었으나, 저온 측정용 광섬유 온도 센서의 경우 현재 연구 진행 중임.
 - (나) 개발될 제품을 국내에서 생산 또는 수출을 시작할 때에 선진국에서의 동 제품의 위치

구분	개발기	도입기	성장기	포화기	쇠퇴기
표시	○				

- (2) 세계시장의 성격
 - 안정성이 큼
 - 영속성이 있음
 - 성장성이 있음
 - 독점성 (또는 과점성)이 있음

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

* 개요

○ 광섬유를 이용한 온도센서는 흡광도(absorbance), 투과율(transmissivity), 반사율(reflectance), 형광(fluorescence) 등의 분광학적 특성변화를 이용하여 온도변화에 따른 광 신호를 검출한다¹⁾. 광섬유 온도센서는 크게 광섬유와 광 계측장비로 나뉘고, 광섬유 부분이 감지부(sensing part)와 광 신호 전송부(light guide)의 역할을 동시에 수행하므로 기존의 전자식 센서에 비하여 빠른 응답성을 가진다. 대부분의 광섬유는 크기가 작고 유연하며, 재질의 특성상 부식이 되지 않고 무독성(non-toxic)이다²⁾. 또한 전자기장의 영향을 받지 않고, 신호의 장거리 전달능력을 가진다. 그러므로 광섬유를 이용한 온도센서는 일반 전자식 센서가 계측하지 못하는 환경(harsh environment)에서의 원거리 온도측정에 적합하며, 이러한 광섬유 온도센서는 비접촉식과 접촉식 온도센서로 나눌 수 있다³⁾.

○ 첫 번째로 비접촉식 온도센서에는 물체로부터 방출되는 긴 파장의 적외선을 전송시킬 수 있는 실버 할라이드(silver halide) 또는 칼코제나이드(chalcogenide) 적외선 투과 광섬유가 필요하며, 이를 이용하여 넓은 온도범위에서 온도를 비접촉으로 측정할 수 있다. 여러 종류의 적외선 투과 광섬유 중에서 실버 할라이드 광섬유는 유연하고 불용해성이며, 무독성이므로 산업계와 의료계에서 복사선 측정기(radiometry)와 열 영상(thermal

-
- 1) (가) A. Song, S. Parus, and R. Kopelman, "High-performance fiber-optic pH micro sensors for practical physiological measurements using a dual-emission sensitive dye", *Anal. Chem.*, vol. 69, pp. 863-867, 1997.
(나) B. Lee, J.-Y. Hong, Y.-M. Hwang, and S. Cho, "Feasibility study on the development of fiber-optic pH sensor for endoscope", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 13, pp. 213-217, 2004.
 - 2) (가) F. Baldini, "In vivo monitoring of the gastro oesophageal system using optical fibre sensors", *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 375, pp. 732-743, 2003.
(나) J. Goicoechea, C. R. Zamarreno, I. R. Matias, and F. J. Arregui, "Optical fiber pH sensors based on layer-by-layer electrostatic self-assembled Neutral Red", *Sens. Actuators B*, vol. 132, pp. 305-311, 2008.
(다) E. J. Netto, J. I. Peterson, M. McShane, and V. Hampshire, "A fiber-optic broad-range pH sensor system for gastric measurements", *Sens. Actuators B*, vol. 29, pp. 157-163, 1995.
 - 3) (가) A. Fernandez Fernandez, F. Berghmans, B. Brichard, P. M'egret, M. Decr'eton, and M. Blondel and A. Delchambre, "Multi-component force sensor based on multiplexed FBG strain sensors", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 7, pp. 810-813, 2001.
(나) A. Fernandez Fernandez, F. Berghmans, B. Brichard, A. Gusarov, O. Deparis, M. D'ereton, P. M'egret, and A. Delchambre, "Radiation-resistant WDM optical link for thermonuclear fusion reactor instrumentation", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 48, no. 5, pp. 1708-1712, 2001.
(다) P. Ferdinand, S. Magne, V. Marty, T. Georges, and M. Monerie, "Optical fiber bragg grating sensors for structure monitoring within the nuclear power plants", *Proc. Optical Fibre Sensing and Systems in Nuclear Environments*, SPIE vol. 2425, pp.11-20, Mol, Belgium, 1994.
(라) O'. Esteban, M. C. Navarrete, A. Gonza'lez-Cano, and E. Bernabeu, "Measurement of the degree of salinity of water with a fiber-optic sensor", *Apl. Opt.*, vol. 38, no. 25, pp. 5267-5271, 1999.
(마) A. D. Kersey, "A revire of recent development in fiber optic sensor technology", *Optic Fiber Technol.*, vol. 2, pp. 291-317, 1996.

imaging) 분야에 적용되어 연구 개발되고 있다⁴⁾. 하지만 적외선 투과 광섬유는 일반적으로 사용되는 플라스틱 또는 유리 광섬유보다 비싸고, 광 감쇄율(attenuation rate)이 높은 단점을 가지므로 원거리 온도계측에는 부적합하다. 또한 저온의 물체를 측정할 경우, 물체의 표면에서 방출되는 적외선의 복사에너지가 낮아 측정이 불가능하거나 오차가 커지므로, 현재 상용화된 대부분의 적외선 투과 광섬유를 이용한 비접촉식 온도센서는 산업계에서 고온측정용으로 이용되고 있는 실정이다.

○ 두 번째로 접촉식 온도센서의 경우, 일반 광섬유 또는 통신용 광섬유를 사용하므로 적외선 투과 광섬유와 비교하면 값이 싸고, 광 감쇄율이 낮으며 내구성이 뛰어나 원거리 온도계측이 가능하다는 장점을 가진다. 일반적으로 광섬유를 이용한 접촉식 온도센서의 센서팁(sensor-tip)에는 열에 의해 광학적 특성이 변하는 감지 물질(sensing material)이 필요하고, 대표적인 감지 물질로는 열변성 물질(thermochromic material)이 있다. 열변성 물질은 주위 환경의 온도변화에 따라 흡광도, 색의 변화 등의 광학적 성질이 변하는 물질로서 열변성 물질을 녹인 뒤, 딥 코팅(dip-coating)을 하거나 에폭시(epoxy)와의 혼합을 통해 광섬유를 이용한 온도센서의 감지부로 사용할 수 있다⁵⁾.

○ 본 연구는 지하수의 온도변화를 실시간으로 측정하기 위한 연구로서, 열변성 물질을 이용하여 광섬유 온도센서를 제작하였고, 필름 형태의 감지부와 반사체를 이용하여 온도변화에 따른 투과광 및 반사광의 강도(intensity) 변화를 분석하였다. 또한 프레넬 반사(Fresnel's reflection)에 의한 반사광을 측정하였으며, 광원의 파장에 따른 물의 온도와 광 검출기의 출력신호 사이의 관계식을 도출하였다.

4) (가) W. J. Yoo, D. H. Cho, S.-C. Chung, G.-R. Tack, J. H. Jun, B. Lee, S. H. Son, and S. H. Cho, "Feasibility study on the development of noncontact temperature sensor using infrared optical fiber", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 15, no. 3, pp. 179-185, 2006.

(나) W. J. Yoo, D. H. Cho, K. W. Jang, J. E. Oh, B. Lee, and G.-R. Tack, "Feasibility study on the development of respiration sensor using a chalcogenide optical fiber", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 16, no. 5, pp. 331-336, 2007.

(다) W. J. Yoo, J. K. Seo, D. H. Cho, K. W. Jang, S. H. Shin, B. Lee, G.-R. Tack, B. G. Park, and J. H. Moon, "Measurements of temperature distribution using and infrared optical fiber during radiofrequency ablation", *J. Kor. Sensors. Soc.*, vol. 17, no. 6, pp. 397-405, 2008.

(라) W. J. Yoo, B. Lee, D. H. Cho, S.-C. Chung, G.-R. Tack, and J. H. Jun, "Infrared radiation thermometer using a silver halides optical fiber for biomedical applications", *Proc. 5th IEEE Conf. on Sensors*, pp. 631-633, Daegu, Korea, 2006.

5) (가) N. Diaz-Herrera, M. C. Navarrete, O. Esteban, and A. Gonzalez-Cano, "A fiber optic temperature sensor based on the deposition of a thermochromic material on an adiabatic taper", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 15, pp. 353-358, 2004.

(나) C. Fernandez-Valdivielso, E. Egozkue, I. R. Matias, F. J. Arregui, and C. Barin, "Experimental study of a thermochromic material based optical fiber sensor for monitoring the temperature of the water in several applications", *Sens. Actuators B*, vol. 91, pp. 231-240, 2003.

* 1차년도 주요연구 내용

(1) Thermochromic 물질과 광섬유 특성 조사 및 연구

○ 열변성 물질(thermochromic material)은 주위 온도의 변화에 따라 파장, 굴절률, 투과율, 반사율 등의 광학적 성질이 변하는 물질로서 광섬유를 이용한 온도측정 센서의 센서팁(sensor-tip)으로 사용될 수 있다. 광섬유 온도센서를 제작하기 위해 사용한 열변성 물질은 로핀(Lophine, Thermo Fisher Scientific Inc.)으로 알려진 2,4,5-triphenylimidazole이다. 그림 1-1은 온도변화에 따른 로핀의 화학구조 변화를 보여주며, 주위온도가 원래대로 되돌아 올 경우, 로핀의 화학구조 역시 원래대로 되돌아가는 가역적 반응(reversibility)을 보임을 알 수 있다. 또한 로핀은 소수성(hydrophobic), 무독성(non-toxic) 물질이므로 물의 온도측정을 위한 광섬유 온도센서의 센서팁으로 사용하기에 유용한 특징을 가진다⁶⁾.

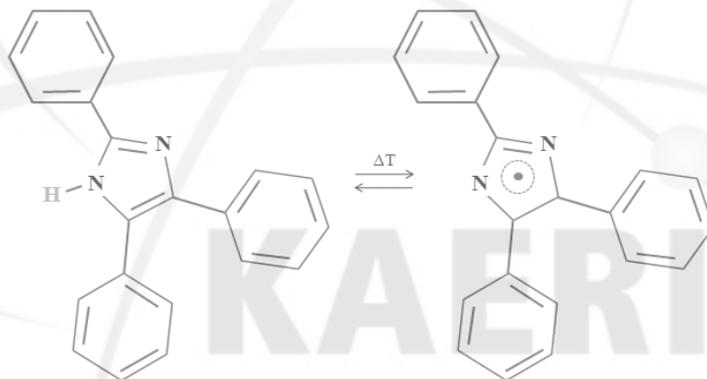


그림 1-1. 온도변화에 따른 로핀의 화학구조 변화

○ 본 연구에 사용된 플라스틱 광섬유(GH4001, Mitsubishi Rayon Co., Ltd.)는 계단형의 굴절률(step-index)을 갖는 멀티모드(multi-mode) 광섬유로서 코어(core)의 직경은 0.98 mm, 클래딩(cladding)을 포함한 외경은 1.0 mm이다. 광섬유에서 코어 부분은 폴리메틸 메타크릴레이트(polymethyl-methacrylate, PMMA) 재질로 굴절률은 1.49이고, 클래딩 부분은 불소 중합체(fluorinated polymer)로서 굴절률은 1.402이며 광섬유의 개구수(numerical aperture, NA)는 0.504이다.

6) K. Maeda, and T. Hayashi, "The mechanism of photochromism, thermochromism and piezochromism of dimers of triarylimidazolyl", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, vol. 43, pp. 429-438, 1970.

(2) Thermochromic 물질을 이용한 센서팁의 제작 및 센서팁과 광섬유 간의 결합 연구

○ 그림 1-2는 로핀을 이용한 광섬유 온도센서의 센서팁 구조를 보여준다. 센서팁은 로핀 가루와 에폭시(G14250, Thorlabs, Inc.)를 1:100, 5:100, 10:100, 15:100 총 4가지의 질량비율로 섞은 후, 반구(hemisphere) 형태로 제작하여 수광 광섬유(receiving optical fiber)의 끝단에 부착하였다.

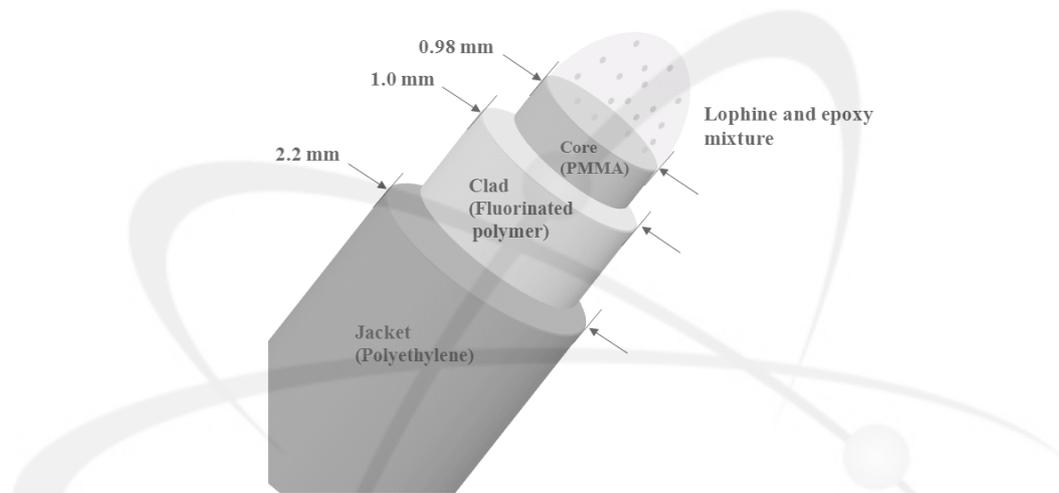


그림 1-2. 로핀과 에폭시 혼합을 이용한 광섬유 온도센서의 구조

(3) 최적의 광원 결정

○ 실험에 사용된 광원은 광섬유용 LED(IF-series, Industrial Fiber Optics Inc.)로서 각각의 파장은 적색(650 nm), 녹색(530 nm) 그리고 청색(430 nm)이다. 이 광원들의 반치폭(full width at half maximum, FWHM)은 40~60 nm이고, 광섬유의 끝단과 결합이 용이하여 광 손실이 적다는 장점을 가지고 있다.

(4) Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도 측정 시스템의 구성

○ 광 검출기로는 광 파워미터 시스템, 포토다이오드 시스템 그리고 광증배관(photomultiplier tube, PMT) 시스템을 사용하였고, 그림 1-3은 광 파워미터 시스템을 이용한 실험구성을 보여준다. 광 파워미터 시스템은 광 파워미터(2832-C dual-channel optical power-meter, Newport Inc.)와 실리콘 센서(818-SL,

Newport Inc.)로 구성되며, 실험에 사용된 광 파워미터 시스템은 0.19~1.8 μm 의 파장 범위에서 100 fW~2 W까지 측정이 가능하고, 실리콘 센서는 0.4~1.1 μm 의 측정 파장 범위에서 $\pm 2\%$ 의 정확도를 가진다.

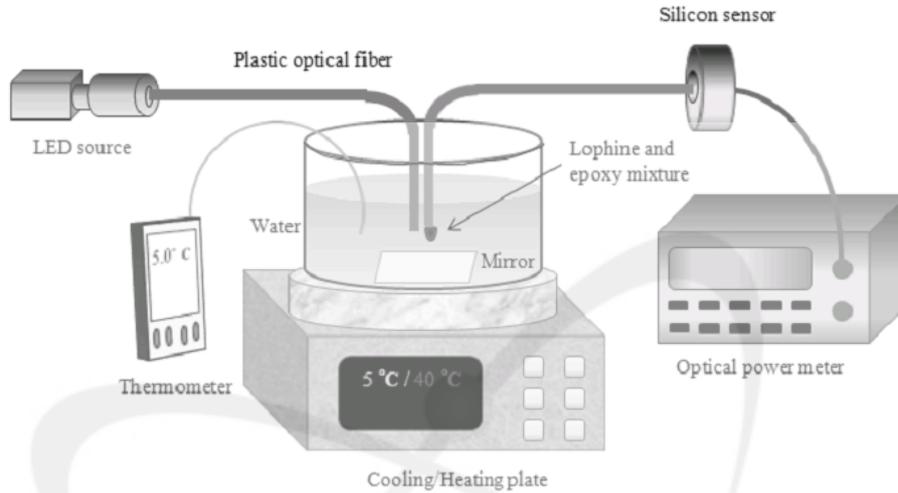


그림 1-3. 광 파워미터 시스템을 이용한 실험구성

○ 그림 1-4는 포토다이오드 시스템을 이용한 실험구성을 보여주며, 포토다이오드 시스템은 포토다이오드(S1336-18BK, Hamamatsu Co.)와 증폭회로(amplifier circuit)로 구성된다.

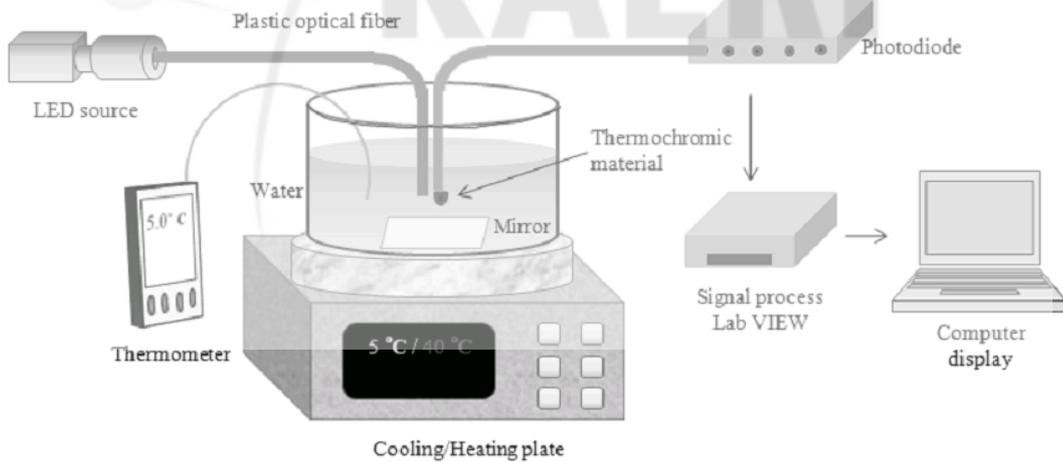


그림 1-4. 포토다이오드 시스템을 이용한 실험구성

○ 광원으로부터 방출된 빛은 50 cm 길이의 발광 광섬유(transmitting optical

fiber)를 따라 전달되고, 센서팁을 거쳐 수광 광섬유에 의해 광증배관으로 도파된다. 이 때, 물의 온도변화에 따라 로핀의 흡광도가 달라지므로 광증배관의 출력 신호가 변하게 되고, 신호수집장치(DAQ board, SCB-68, National Instruments Co.)를 거친 뒤 랩뷰(LabVIEW) 프로그램을 통해 디스플레이 및 저장된다. 실험 시, 물의 온도를 5~40℃ 범위 내에서 변화 및 유지시키기 위해서 온도 조절이 가능한 냉온 플레이트(cooling and heating plate, CP-7200GT, Intec Co.)를 사용하였고, 열전대(thermocouple, 54II thermometer, Fluke Co.)로 물의 온도를 실시간 모니터링 하였다.

(5) 온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가

○ 그림 1-5는 각 광원의 파장에 따른 온도와 광 파워 사이의 관계를 보여주고 있다. 물의 온도가 높아질수록 로핀의 흡광도가 낮아지므로 검출되는 광 파워가 커지는 것을 볼 수 있고, 특히 660 nm의 LED를 사용할 경우 온도변화에 따른 광 파워의 변화율이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

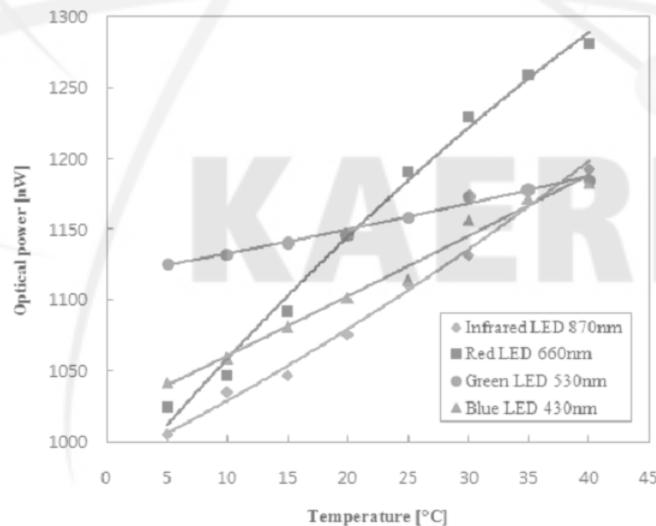


그림 1-5. 광원의 파장에 따른 온도와 광 파워 사이의 관계

○ 그림 1-6은 각 광원의 파장에 따른 온도와 포토다이오드 시스템의 출력전압 사이의 관계를 나타내고 있고, 온도와 출력전압 사이의 관계가 선형적인 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 결과와 동일하게 660 nm 파장의 LED를 사용할 경우, 온도변화에 따른 출력전압의 변화율이 가장 큰 것을 알 수 있다.

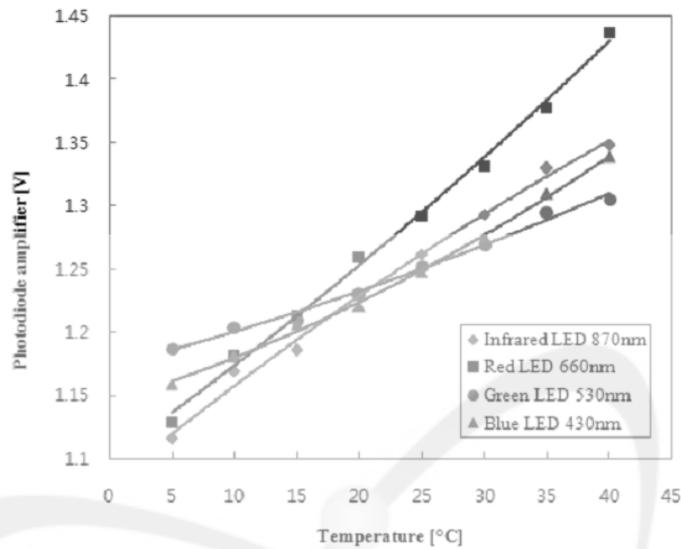


그림 1-6. 광원의 파장에 따른 온도와 포토다이오드 시스템의 출력전압 사이의 관계

○ 1차년도 연구에서는 온도변화에 따라 흡광도가 변하는 열변성 물질인 로핀을 광섬유 온도센서의 센서팁 물질로 사용하여 광섬유와 반사체의 거리 차이에 따른 반사광을 측정하였다. 또한 5~40°C의 물의 온도변화에 따른 광 파워미터 시스템의 광 파워와 포토다이오드 시스템의 출력전압을 측정하여 비교하였고 각 광원의 파장에 따른 온도와 광 파워 및 출력전압 사이에 선형적인 관계를 가짐을 확인하였다.

* 2차년도 주요연구 내용

(1) 투과형 및 반사형 센서의 구조 설계 및 성능평가

○ 그림 2-1은 광 검출기로 사용된 광증배관 시스템과 광섬유 온도센서를 이용한 실험구성을 보여주며, 광증배관 시스템은 광증배관 모듈(H5784, Hamamatsu Co.)과 증폭회로로 구성된다.

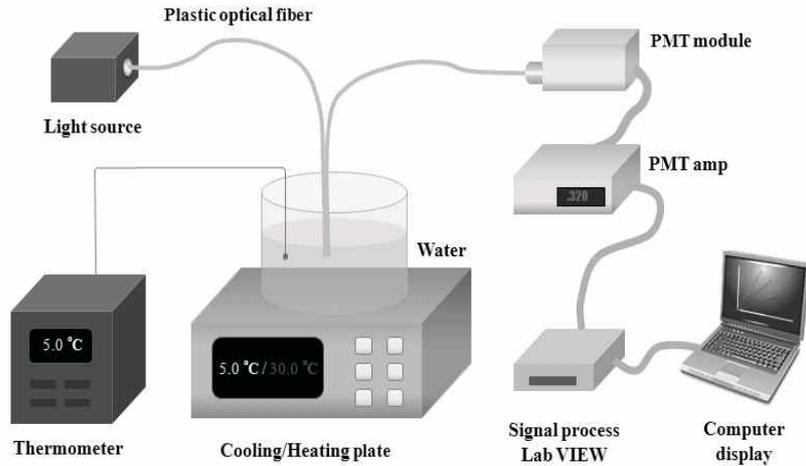


그림 2-1. 광섬유 온도센서를 이용한 실험구성

(가) 로핀 필름을 이용한 투과형 광섬유 온도센서의 실험결과

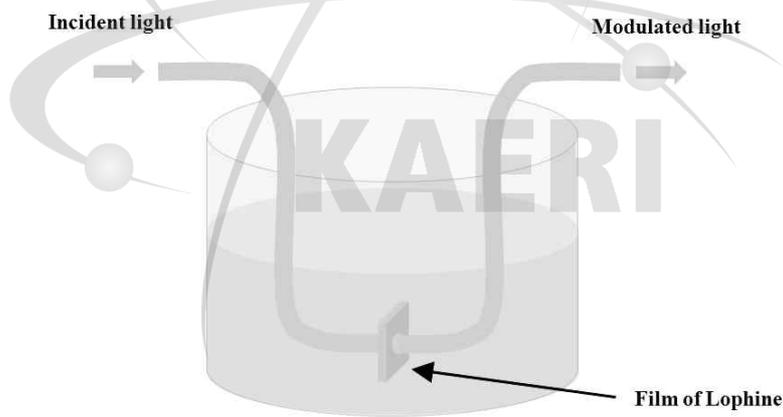


그림 2-2. 로핀 필름을 이용한 투과형 광섬유 온도센서

○ 그림 2-2는 로핀 필름을 이용한 투과형 광섬유 온도센서의 실험구성을 보여준다. 로핀 필름은 투명한 보호 필름층 사이에 로핀 가루를 채워 제작하였고, 온도 감지부가 되는 로핀층의 두께는 1 mm이며 광섬유와의 결합이 용이하도록 자체 제작한 PMMA 홀더로 고정시켜 사용하였다. 투과형 광섬유 온도센서의 경우, 광원에서 방출된 빛은 발광 광섬유를 통해 물속에 위치한 로핀 필름으로 전송되고, 로핀 필름을 투과한 빛은 수광 광섬유에 의해 광증배관으로 전송된다. 로핀의 광학적

특성을 평가하기 위해 구성된 투과형 광섬유 온도센서에서는 로핀의 흡광도에 따른 투과광을 측정하였고, 투과형 광섬유 온도센서에 적합한 광원의 파장을 결정하였다.

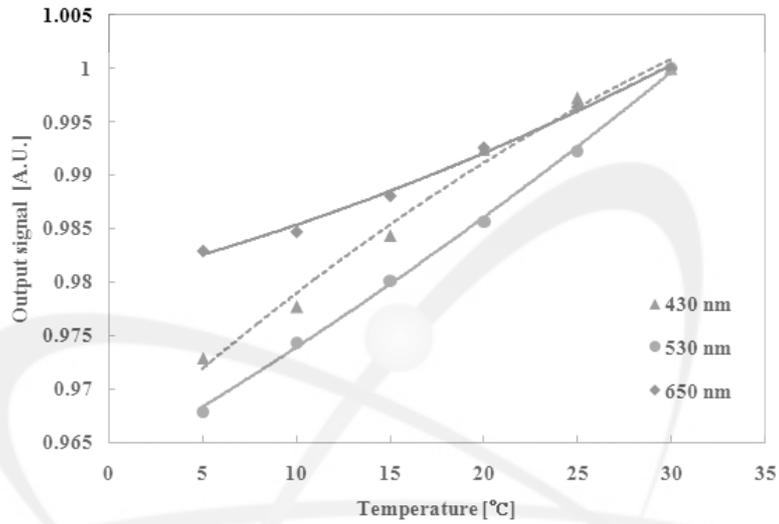


그림 2-3. 투과형 광섬유 온도센서를 사용하였을 경우, 광원의 파장에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계

○ 그림 2-3은 광원의 파장에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계를 보여준다. 냉온 플레이트를 이용하여 물의 온도를 5~30°C 범위 내에서 5°C 간격으로 증가시키며 측정한 결과, 물의 온도가 높아질 때 로핀의 흡광도가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 물의 온도가 높아질수록 필름을 통과하는 광량이 증가함을 알 수 있고, 특히 광원으로 530 nm의 LED를 사용한 경우에 출력신호의 총 변화량이 가장 크게 측정되었으므로 온도에 따른 민감도가 가장 높다고 할 수 있다.

○ 그림 2-4는 530 nm의 LED를 사용하였을 경우, 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 관계를 보여주고 있다. 물의 온도를 5~30°C 범위 내에서 2.5°C 간격으로 증가시키며 투과광량을 측정한 결과, 온도와 광증배관의 출력전압이 선형적인 관계를 가지는 것을 확인할 수 있다. 식 (2-1)은 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 값을 이용하여 유도한 2차 함수 관계식이고, 정확도는 99.8 %이며 이는 유도한 관계식과 측정값 사이의 오차가 0.2 %임을 의미한다.

$$y = 0.00002x^2 + 0.0027x + 2.6535 \quad (2-1)$$

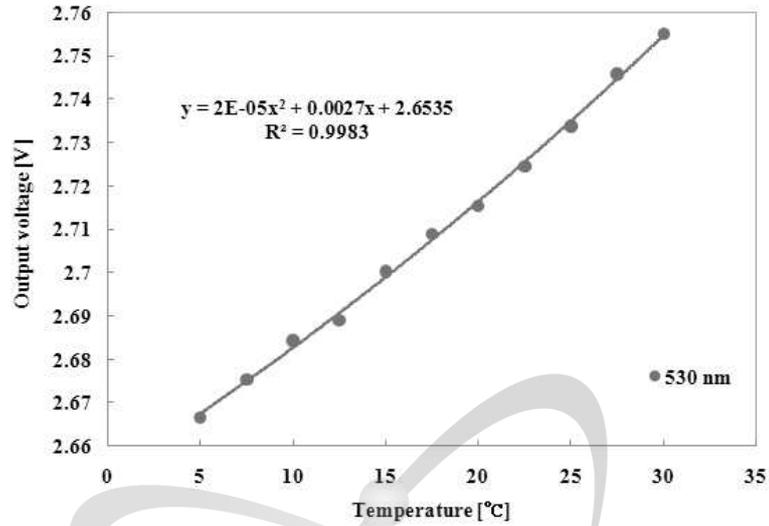


그림 2-4. 투과형 광섬유 온도센서를 사용하였을 경우, 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 관계

(나) 반사체를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험결과

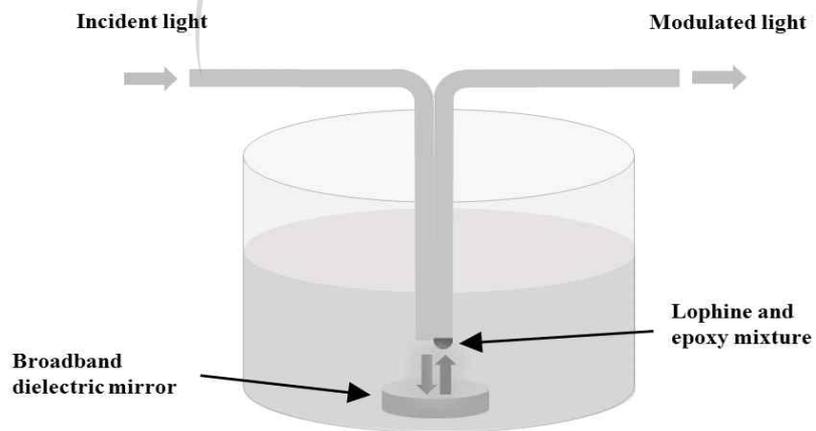


그림 2-5. 반사형 광섬유 온도센서

○ 프로브(probe) 형태의 온도센서 제작을 위해 반사형 광섬유 온도센서를 제작

하였고, 그림 2-5는 반사체(Broadband dielectric mirror, BB1-E02, Thorlabs, Inc.)를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험구성을 보여준다. 광원에서 방출된 빛은 발광 광섬유를 통해 반사체로 전송되고, 반사체에 의해 반사된 빛은 로핀과 에폭시를 혼합하여 제작한 센서팁을 거쳐 수광 광섬유를 통해 광증배관으로 전송된다. 반사형 광섬유 온도센서를 이용한 실험에서는 그림 1-2와 같은 구조의 센서팁을 로핀과 에폭시를 혼합하여 제작하였고, 최적의 혼합비율을 결정하였으며 반사체와의 거리에 따른 광증배관의 출력전압을 측정하였다.

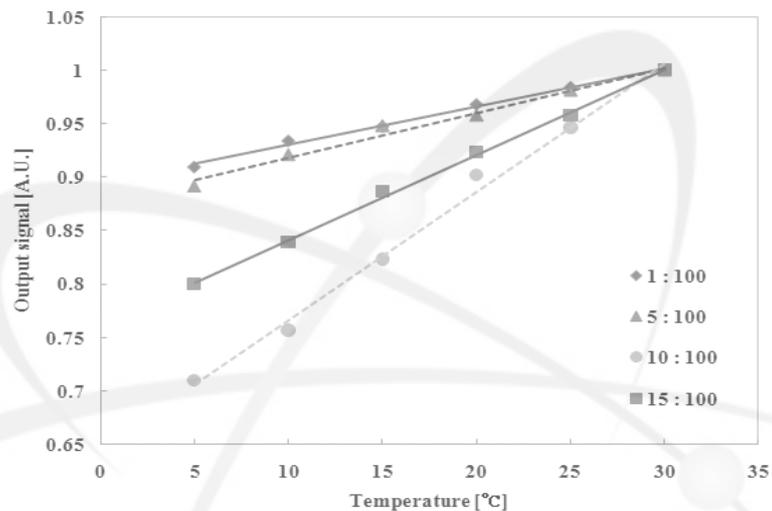


그림 2-6. 로핀과 에폭시의 비율에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계

○ 그림 2-6은 로핀과 에폭시를 혼합한 질량비율에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계를 보여준다. 물의 온도가 높아질수록 로핀의 흡광도가 작아지므로 검출되는 출력신호가 증가하는 것을 볼 수 있고, 특히 로핀과 광학용 에폭시의 혼합 질량비율이 10:100 비율의 센서팁을 사용할 경우, 온도변화에 따른 출력신호의 변화율이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 최적의 로핀/에폭시 혼합 질량비율은 10:100으로 결정하였고, 이후의 모든 실험에서는 로핀과 에폭시와의 혼합비율이 10:100인 센서팁을 사용하였다.

○ 그림 2-7은 광섬유 굽힘(macro bending) 각도에 따른 출력신호 변화를 보여준다. 0~45° 까지 15° 간격으로 측정하였고, 그 결과 광섬유 굽힘 각도가 증가할수록 출력신호의 변화량 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 굽힘손실(bending loss)의 최대 차이는 0.2%임을 확인할 수 있다.

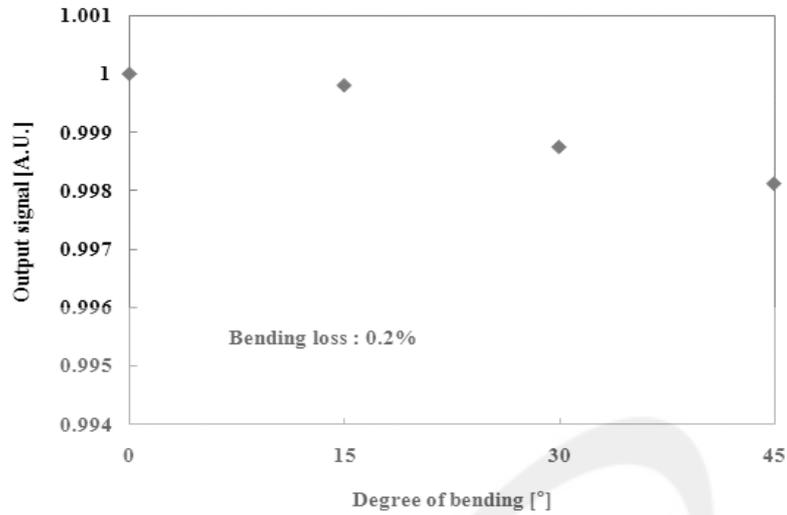


그림 2-7. 광섬유 굽힘 각도에 따른 출력신호 변화

○ 그림 2-8은 광섬유용 LED를 사용하였을 때, 광섬유와 반사체 사이의 거리에 따른 반사광의 강도 측정 결과를 보여주고 있다. 430 nm의 LED를 사용하였을 경우, 광섬유와 반사체 사이의 거리가 3 mm일 때 검출되는 광증배관의 출력전압이 최대였고, 530 nm와 650 nm의 LED를 사용하였을 경우에는 4~5 mm 범위 내에서 최대 출력전압이 측정되었다. 따라서 이후의 모든 실험에서는 광섬유와 반사체 사이의 거리를 각 광원에 최적화된 거리로 유지한 후 추가 실험을 수행하였다.

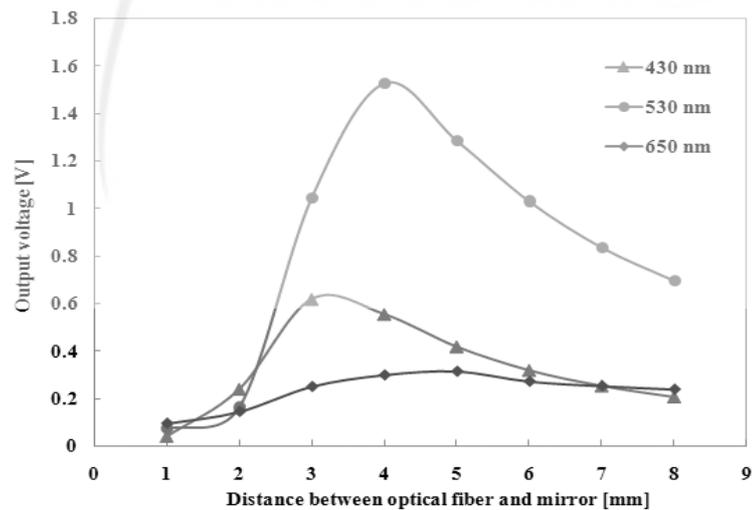


그림 2-8. 광섬유와 반사체 사이의 거리에 따른 반사광의 강도 측정

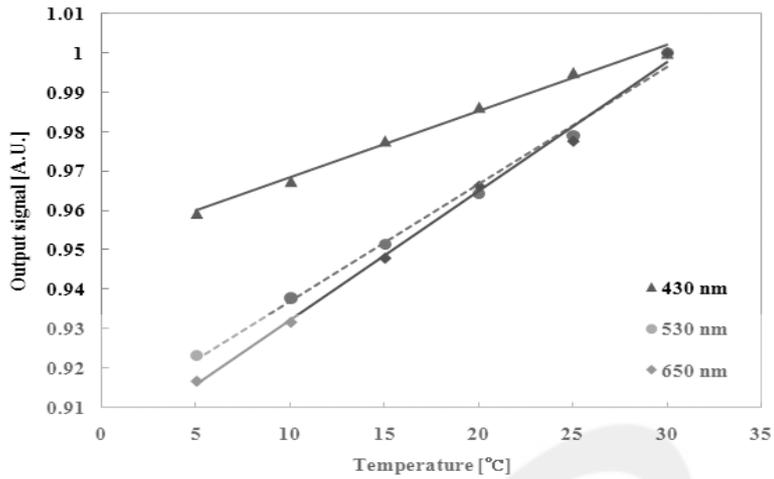


그림 2-9. 반사형 광섬유 온도센서를 사용하였을 경우, 광원의 파장에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계

○ 그림 2-9는 각 광원의 파장에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계를 나타낸 결과로서 투과형 광섬유 온도센서를 이용한 실험에서와 유사하게 530 nm의 LED를 사용하였을 때, 온도변화에 따른 출력신호의 변화율이 최대가 되는 것을 알 수 있다. 그림에서 530 nm의 LED와 650 nm의 LED를 사용하였을 때의 결과그래프가 비슷하지만 재현성 및 LED 광원 자체의 안정성을 고려하여 530 nm의 LED를 최적의 광원으로 선택하였다.

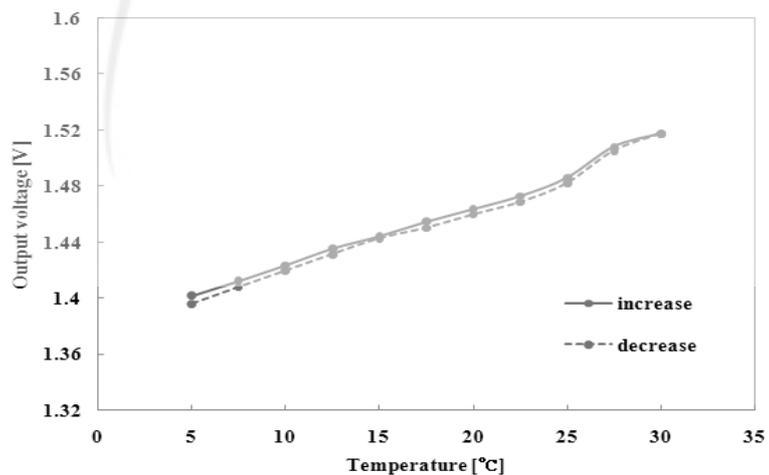


그림 2-10. 반사형 광섬유 온도센서를 사용하였을 경우, 5~30°C로 변하는 물의 온도에 따른 광증배관의 출력전압

○ 그림 2-10은 광섬유와 반사체 사이의 거리를 4 mm로 고정하고 530 nm의 LED를 사용하였을 때, 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 관계를 보여준다. 물의 온도를 5~30℃ 범위 내에서 2.5℃ 씩 증가시키면서 출력전압을 측정하였고 다시 감소시키면서 측정한 결과, 온도와 광증배관의 출력전압이 선형적인 관계를 가지는 것을 알 수 있고, 센서팁 물질로 사용한 로핀이 가역적 특성을 지니고 있는 것을 확인할 수 있다.

(다) 광섬유 Y-커플러를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험결과

○ 반사체를 사용하지 않고, 프레넬 반사(Fresnel's reflection)를 이용한 반사형 광섬유 온도센서를 제작하였고, 광섬유 Y-커플러(Y-coupler)를 이용한 반사형 광섬유 온도센서의 실험구성을 그림 2-11에서 볼 수 있다. 광원에서 방출된 530 nm의 빛은 광섬유 Y-커플러를 따라 전송되고, 센서팁과 광섬유 사이의 굴절률 차이에 의해서 발생하는 프레넬 반사에 의한 빛이 다시 광섬유 Y-커플러를 통해 광증배관으로 전송된다. 이와 같이 반사체를 사용하지 않은 프로브 형태의 반사형 광섬유 온도센서의 경우, 제작이 간편하고 물속 깊은 곳이나 가는 관 속에 집어넣어 원거리 온도측정을 할 수 있다는 장점을 가진다.

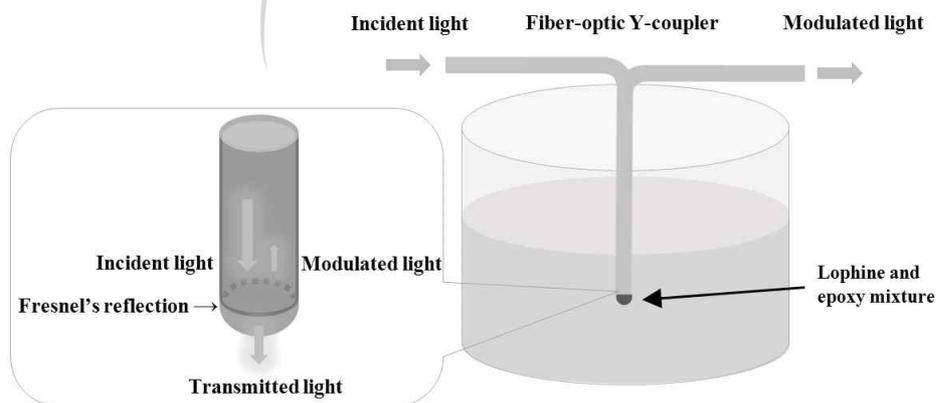


그림 2-11. 광섬유 Y-커플러를 이용한 반사형 광섬유 온도센서

○ 그림 2-12는 앞선 실험에서 선택한 로핀과 에폭시와의 혼합 질량비율이 10:100인 센서팁과 530 nm의 LED를 사용하였을 경우, 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 관계를 보여준다. 물의 온도를 5~30℃ 범위 내에서 2.5℃ 씩 증가시키며 측정한 결과, 로핀의 흡광도가 감소함에 따라 온도와 광증배관의 출력전압이 선형적인 관계를 가지면서 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 30℃까지 상승된 물의 온도를 2.5℃ 씩 낮추면서 측정한 결과, 로핀의 흡광도가 증가함에 따라 출력전압이 작아지는 것을 볼 수 있고, 온도를 높이면서 측정한 결과와 비교해보면 로핀을 사용한 반사형 광섬유 온도센서가 물의 온도에 따라 가역적 성질을 가지는 것을 확인할 수 있다.

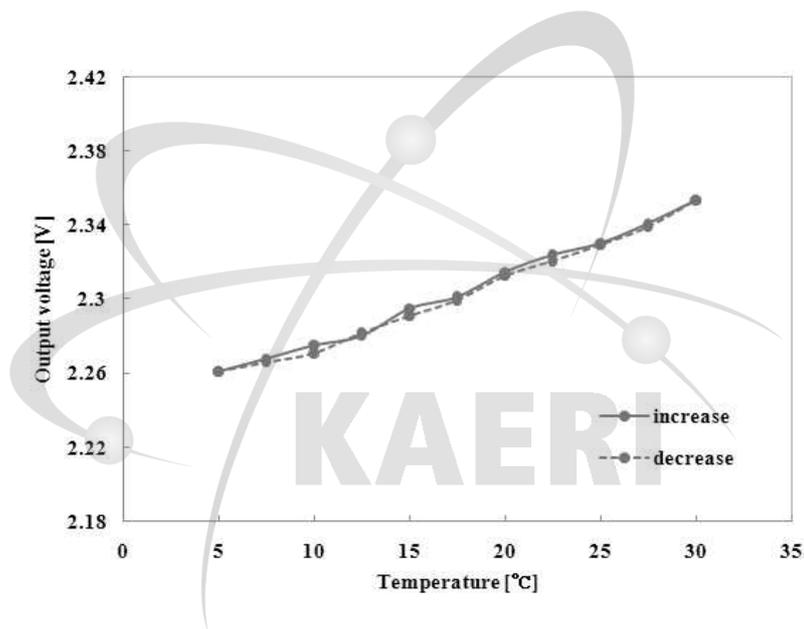


그림 2-12. 광섬유 Y-커플러를 이용한 반사형 광섬유 온도센서를 사용할 경우, 5~30℃로 변하는 물의 온도에 따른 광증배관의 출력전압

(2) 시온안료를 이용한 광섬유 온도센서의 특성연구

○ 광섬유 온도센서를 제작하기 위해 N102로 알려진 시온안료(thermochromic pigment, T-35℃ Black-Po)를 사용하였다. 그림 2-13은 N102의 분자구조를 보여주며 분자식은 $C_{31}H_{28}N_2O_3$ 이다. N102는 온도에 대해 가역적 성질을 가지고 무독성으로 온도센서의 감응물질로 사용하기에 적합하다.

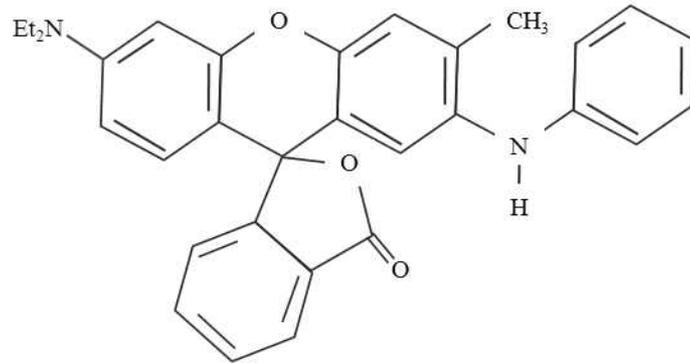


그림 2-13. N102의 분자구조

○ 광섬유 그림 2-14는 센서팁의 구조를 보여주고 있다. 센서팁은 N102 가루와 에폭시를 3:100, 4:100, 5:100의 질량비로 배합하여 제작하였고 센서팁의 두께는 0.1 mm이며, 센서팁과 광섬유를 결합하기 위해 직접 제작한 PMMA 홀더를 이용하였다.

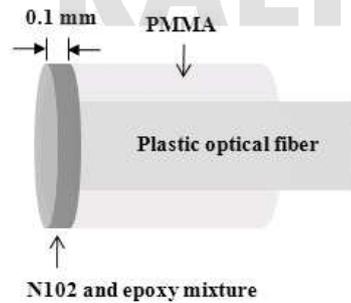
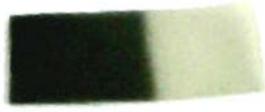


그림 2-14. N102와 에폭시를 혼합하여 제작한 광섬유 센서팁의 구조

○ 그림 2-15는 N102와 에폭시를 혼합하여 만든 센서팁의 온도변화에 따른 반응을 보여준다. N102는 본래 흑색을 띄고 있으나 주변온도 30℃를 기점으로 색을 점점 잃어 35℃ 이상이 될 경우 백색으로 변하는 특성을 가지고 있다.



(a) 주변온도 30°C 미만 (b) 주변온도 35°C 이상

그림 2-15. 온도변화에 따른 센서팁의 반응

○ 실험에 사용된 광원은 광섬유용 LED로서 각 파장은 650 nm(적색), 530 nm(녹색) 그리고 430 nm(청색)이다. 그림 2-16은 광 검출기로 사용된 광증배관 시스템과 광섬유 온도센서를 이용한 실험구성을 보여주며, 광증배관 시스템은 광증배관 모듈과 증폭회로로 구성된다. 광원으로부터 방출된 빛은 발광 광섬유를 따라 전달되고, 센서팁에서 반사된 빛이 수광 광섬유에 의해 광증배관으로 도파된다. 이 때, 물의 온도 변화에 따라 시온안료의 색이 달라지므로 광증배관의 출력신호가 변하게 되고, 신호 수집장치를 거친 뒤 랩뷰 프로그램을 통해 디스플레이 및 저장된다.

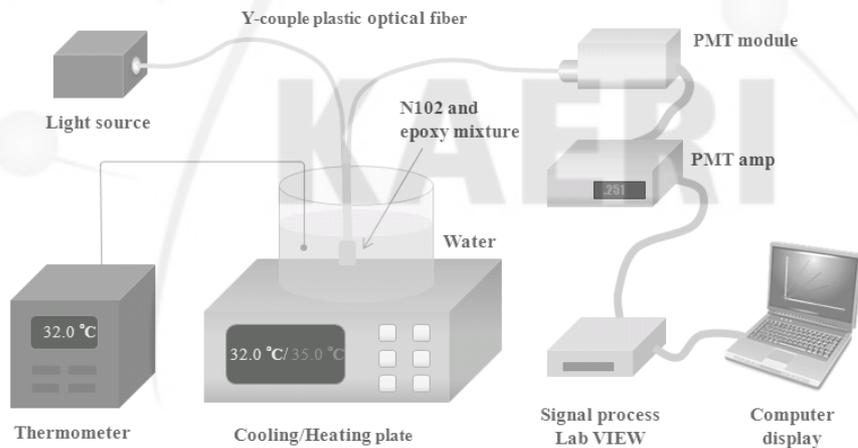


그림 2-16. 광섬유 온도센서를 이용한 실험구성

○ 실험 시, 물의 온도를 30~35°C 범위 내에서 변화 및 유지시키기 위해서 온도 조절이 가능한 냉온 플레이트를 사용하였고, 용기내부 물의 수직 및 수평의 온도구배에 대한 영향을 최소화하기 위해 자동 교반기를 이용하였으며 열전대로 물의 온도를 실시간 계측하였다.

○ 3:100, 4:100, 5:100의 질량비율로 배합하여 만든 센서팁을 이용하여 각각의 센서팁에 대해 430 nm, 530 nm 그리고 650 nm의 광원을 사용하였을 경우, 온도의 변화에 따른 출력신호의 변화율을 그림 2-17에 비교하여 나타내었다.

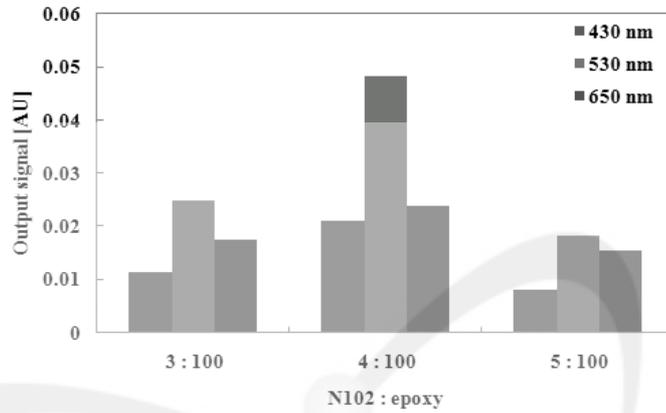


그림 2-17. 센서팁에 대한 각각의 파장에 따른 출력신호의 변화율 차이

○ 세 가지 센서팁 모두 530 nm 파장의 광원을 사용하였을 때, 가장 큰 출력신호의 변화율 차이를 볼 수 있고, 특히 N102 : 에폭시의 질량비가 4:100인 센서팁에서 출력신호의 변화율 차이가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 이후의 실험에서는 4:100 비율의 센서팁과 530 nm 파장의 광원을 사용하였다.

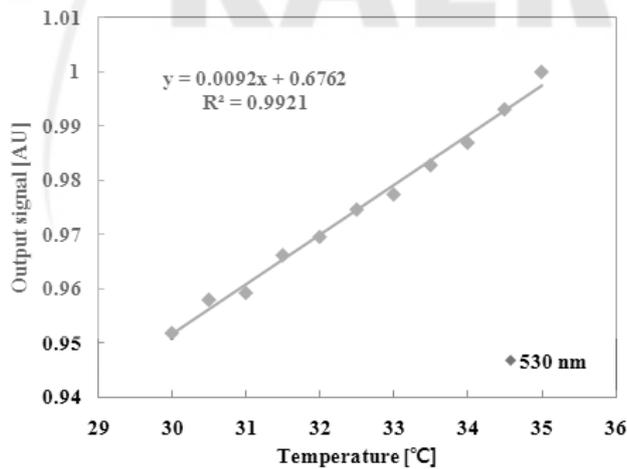


그림 2-18. 4:100 비율의 센서팁과 530 nm 파장의 광원을 사용할 때, 온도의 변화에 따른 광증배관의 출력신호 사이의 관계

○ 그림 2-18은 4:100 비율의 센서팁과 530 nm 파장의 광원을 사용할 때, 온도의 변화에 따른 광증배관의 출력전압 사이의 관계를 나타내고 있다. 냉온 플레이트를 이용하여 30~35℃ 범위에서 0.5℃ 간격으로 온도를 변화 및 유지를 시켜 주며 실험한 결과 선형적인 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 식 (2-2)은 물의 온도와 광증배관의 출력전압 사이의 관계식을 보여주며, 정확도는 99.21%이다.

$$y = 0.0092x + 0.6762 \quad (2-2)$$

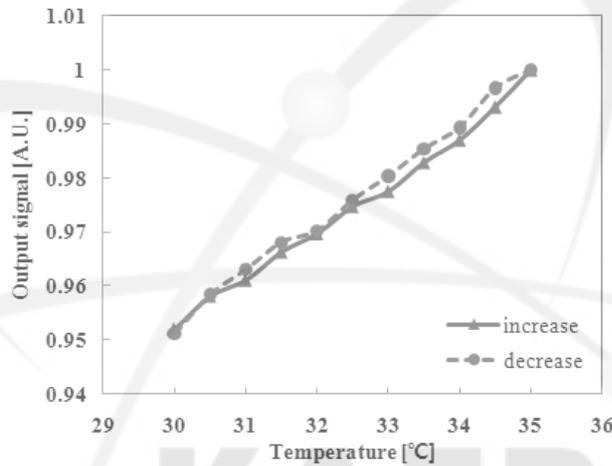


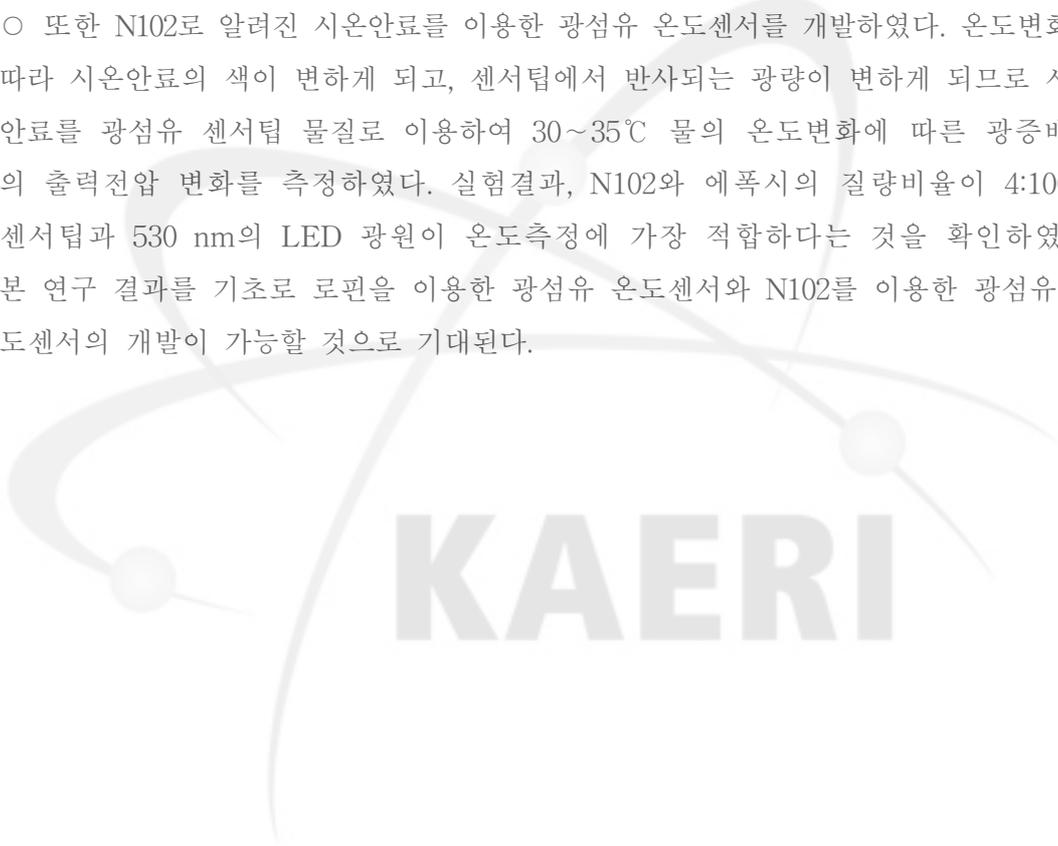
그림 2-19. 30~35℃로 변하는 물의 온도에 따른 광증배관의 출력신호

○ 그림 2-19는 30~35℃로 변하는 물의 온도에 따른 광증배관의 출력신호를 보여준다. 물의 온도를 30~35℃ 범위에서 0.5℃ 씩 증가시키며 측정된 결과, N102의 색이 백색으로 변함에 따라 반사되는 빛의 양이 증가하여 온도와 광증배관의 출력신호가 선형적인 관계를 가지면서 커지는 것을 확인할 수 있다. 35℃까지 상승된 물의 온도를 0.5℃ 씩 낮추면서 측정된 결과, N102의 색이 흑색으로 변함에 따라 출력신호가 작아지는 것을 볼 수 있고 온도를 높이면서 측정된 결과와 비교해보면 N102를 사용한 광섬유 온도센서가 물의 온도에 따라 가역적 성질을 가지는 것을 확인할 수 있다.

○ 본 연구는 지하수의 온도변화를 모니터링 할 수 있는 광섬유 온도센서 개발을 위한 기초연구로서, 열변성 물질을 이용하여 광섬유 온도센서를 제작하였다. 광섬유 온도센서의 특성 연구를 위해 열변성 물질인 로핀을 광섬유 센서팁 물질로

사용하여 5~30℃의 물의 온도변화에 따른 광증배관의 출력전압 변화를 측정하였다. 또한 로핀 필름을 이용하여 온도변화에 따른 로핀의 물질 특성을 분석하였고, 광섬유와 반사체 사이의 거리에 따른 반사광 강도를 측정하여 최적의 거리를 결정하였다. 마지막으로 최적의 센서팁 구성 비율 및 광원을 결정하였고, 광섬유 Y-커플러를 이용하여 프레넬 반사에 의한 반사광의 출력신호를 측정하였다. 실험결과, 각 광원의 파장에 따른 물의 온도와 출력신호가 선형적인 관계를 가지고, 특히 로핀과 에폭시의 질량비율이 10:100인 센서팁과 530 nm의 LED 광원이 온도측정에 가장 적합하다는 것을 확인하였다.

○ 또한 N102로 알려진 시온안료를 이용한 광섬유 온도센서를 개발하였다. 온도변화에 따라 시온안료의 색이 변하게 되고, 센서팁에서 반사되는 광량이 변하게 되므로 시온안료를 광섬유 센서팁 물질로 이용하여 30~35℃ 물의 온도변화에 따른 광증배관의 출력전압 변화를 측정하였다. 실험결과, N102와 에폭시의 질량비율이 4:100인 센서팁과 530 nm의 LED 광원이 온도측정에 가장 적합하다는 것을 확인하였다. 본 연구 결과를 기초로 로핀을 이용한 광섬유 온도센서와 N102를 이용한 광섬유 온도센서의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features the word "KAERI" in a bold, sans-serif font. Above the text is a stylized graphic consisting of several curved lines and dots, resembling a molecular structure or a network diagram.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

* 1차년도 연구평가

(1) 연구범위 및 연구수행 방법

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
Thermochromic 물질과 광섬유 특성 조사 및 연구	thermochromic 물질을 조사하고, 적용 환경에 적합한 광섬유의 특성 연구	○ Thermochromic 물질 조사 - 적용온도범위(지하수의 온도)에 적합하고, 물에 영향을 받지 않는 thermochromic 물질을 조사 ○ 광섬유 특성 연구 - 적용환경에 적합한 광섬유의 특성 연구
Thermochromic 물질을 이용한 센서팁의 제작	Thermochromic 물질을 이용한 온도변화에 민감한 형태의 센서팁 제작	○ 온도변화에 민감한 센서팁의 제작 및 형태를 결정 - 딥 코팅(dip-coating) 방법 - 광학적 에폭시와의 혼합방법
Thermochromic 물질-광섬유 간의 결합 연구	센서팁과 광섬유 간의 결합 연구	○ 센서팁의 형태에 따른 광섬유와의 결합 연구
최적의 광원 결정 및 측정 시스템 구축	Thermochromic 물질과 광원의 파장에 따른 측정치 분석, 수광 광섬유로 전송된 빛을 측정하기 위한 시스템 구성	○ Thermochromic 물질과 광원의 파장에 따른 측정치를 분석하여 최적의 광원 결정 ○ 광 파워미터(power-meter) 및 포토다이오드(photodiode)를 이용하여 측정 시스템 구축
출력 신호처리 알고리즘 및 software 개발	LabVIEW를 이용한 출력신호 처리 알고리즘 및 프로그램 구축	○ LabVIEW를 이용한 신호 보정과 실시간 측정 및 저장
온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가	열원의 온도변화에 따른 광섬유 온도센서의 출력 신호 측정	○ 온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가 - 온도 컨트롤러에 의해 변화 및 유지되는 열원의 온도변화에 따른 광섬유 온도센서의 출력신호 측정

(2) 연구개발 수행내용 및 목표 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
Thermochromic 물질을 이용한 센서팁의 제작 및 광섬유와의 결합 연구	온도변화에 민감한 센서팁의 제작 및 형태에 따른 광섬유와의 결합 연구	100
최적의 광원 결정	광원의 파장에 따른 측정치를 분석하여 최적의 광원 결정	100
측정 시스템 구축	광 파워미터 및 포토다이오드를 이용한 측정 시스템 구축	100
출력신호 처리 알고리즘 및 프로그램 구축	LabVIEW를 이용한 신호 보정과 실시간 측정 및 저장	100
온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가	온도 컨트롤러에 의해 변화 및 유지되는 물의 온도변화에 따른 광섬유 온도센서의 출력신호 측정	100

평가의 착안점	자 체 평 가
Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도센서의 센서부 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도변화에 민감한 센서팁의 제작 및 형태를 결정 - 광학적 에폭시와의 혼합에 의한 딥 코팅과 필름 형태의 센서팁 제작 완료
Thermochromic 물질을 이용한 광섬유 온도 측정 시스템 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ Thermochromic 물질과 광원의 파장에 따른 측정치를 분석하여 최적의 광원 결정 ○ 광 파워미터 및 포토다이오드를 이용한 측정 시스템 구축 완료
출력신호 처리 알고리즘 및 프로그램 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ LabVIEW를 이용한 신호 보정과 실시간 측정 및 저장
온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도 컨트롤러를 이용한 센서의 성능 평가 - 온도 컨트롤러에 의해 변화 및 유지되는 물의 온도변화에 따른 광섬유 온도센서의 출력신호 측정 완료

* 2차년도 연구평가

(1) 연구범위 및 연구수행 방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
센서팁의 효율성 연구	열변성 물질과 에폭시와의 혼합을 통한 필름형 및 반구형 센서팁 제작, 혼합 비율에 따른 효율성 비교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열변성 물질과 에폭시와의 혼합비율 및 형태에 따른 출력 신호의 변화 측정 - 로핀과 에폭시의 혼합비율이 10:100인 센서팁으로 결정 - 주위환경을 고려하여 센서팁을 적용하기 위해 여러 종류의 센서팁 제작 - 센서팁의 형태에 따른 광섬유와의 결합 연구
센서의 구조에 따른 최적의 광원 결정 및 원거리 전송 효율 연구	반사형 및 투과형 센서의 구조와 광원의 파장에 따른 출력신호 비교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 반사형 및 투과형 센서의 구조에 따른 최적의 광원 결정 및 원거리 측정에 따른 광섬유 굽힘손실 측정 - 온도변화에 따른 출력신호의 변화량이 가장 큰 530 nm LED로 결정 - 광섬유의 굽힘각도에 따른 광 손실 측정
반사형 및 투과형 센서의 구조 설계 및 비교 연구	반사형 및 투과형 센서 설계 및 제작, 출력신호 비교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 투과형, 반사형 그리고 프레넬 반사를 이용한 센서 구조 설계 및 제작 - 필름형 센서팁을 이용한 투과형 센서, 반구형 센서팁과 반사체를 이용한 반사형 및 프레넬 반사를 이용한 센서 제작 및 출력신호 측정
물의 온도변화와 광섬유 센서의 형태에 따른 출력신호 측정	센서팁을 물속에 위치시킨 뒤, 물의 온도변화와 광섬유 센서의 구조에 따른 출력신호 측정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 물의 온도변화에 따른 광섬유 온도센서의 출력신호 측정 - 광원의 파장, 센서의 구조에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계 획득

(2) 연구개발 수행내용 및 목표 달성도

목 표	연구개발 수행내용	달 성 도(%)
센서팁의 효율성 연구	열변성 물질과 에폭시를 혼합하여 제작한 필름형 및 반구형 센서팁의 혼합비율에 따른 효율성 비교	100
센서의 구조에 따른 최적의 광원 결정 및 원거리 전송 효율 연구	반사형 및 투과형 센서의 구조와 광원의 파장에 따른 출력신호 비교 및 원거리 전송을 고려한 광섬유의 굵힘각도에 따른 광 손실 측정	100
반사형 및 투과형 센서의 구조 설계 및 비교 연구	필름형 센서팁을 이용한 투과형 센서, 반구형 센서팁과 반사체를 이용한 반사형 및 프레넬 반사를 이용한 센서 제작 및 출력신호 측정	100
물의 온도변화와 광섬유 센서의 형태에 따른 출력신호 측정	광원의 파장, 센서의 구조에 따른 물의 온도와 광증배관의 출력신호 사이의 관계 획득	100

평가의 착안점	자 체 평 가
센서팁의 효율성 측정	○ Thermochromic 물질과 에폭시와의 비율 및 반사체 등을 이용한 효율성 향상 연구
센서 제작 여부 및 구조에 따른 성능 평가 제시	○ 투과형 및 반사형 센서 설계 및 연구 완료 - 투과형, 반사형 그리고 프레넬 반사를 이용한 센서 구조 설계 및 제작 완료
물의 온도변화에 따른 광섬유 센서의 출력신호 제시	○ 온도 컨트롤러를 이용한 센서팁의 성능 평가 및 센서팁을 물속에 위치시킨 뒤, 물의 온도변화와 광섬유 센서의 형태에 따른 출력신호 측정 완료

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

○ 별다른 보정이 필요치 않으므로 시스템적으로 안정적이며, 전자기장에 영향을 받지 않고 원거리 신호전송이 가능한 광섬유의 특성을 살리며, 물의 영향을 받지 않고 무독성인 특수 열변성 물질의 사용으로 지하수의 온도측정 및 의료용, 산업용 기기로 사용가능할 것으로 사료됨.

○ 광섬유를 이용한 온도 센서는 병원에서 열치료 시 온도분포 측정, 원자력 발전소에서 원자로의 온도 측정, 방사선편기물처리장에서 지하수 온도측정 등에서 사용 가능하므로 이용 범위가 넓은 장점을 가짐.

○ 광섬유 온도센서는 기존의 계측기에 비해 사용 범위가 넓고, 제작비용이 저렴하며 부피 또한 줄일 수 있어 많은 관련 기관에서 사용할 수 있을 것으로 기대되기 때문에 시장성이 매우 높을 것으로 판단됨.

○ 광섬유 센서의 생산을 위해 이와 같은 광섬유의 수요가 증가한다면 광섬유 생산 및 기술 향상에 큰 도움이 될 것으로 기대됨.

○ 광섬유 생산 및 시장이 활성화 될 경우 IT 관련 광통신(Home Network)의 기술 향상과 광섬유를 이용한 각종 물리, 화학, 생물학적 센서에 대한 연구 및 기술 개발이 활성화 될 것임.

○ 전 세계적으로 열변성 물질을 이용한 광섬유 온도센서는 아직 개발 단계에 있는 것으로 판단되는바 빠른 시일 내에 개발 완료된다면 국외로의 수출도 가능할 것으로 사료됨.

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호	INIS 주제코드
		KAERI/CM-1195/2009			
제목 / 부제		원위치 모니터링 시스템의 개발			
연구책임자 및 부서명		이봉수 / 의학공학부			
연구자 및 부서명		조동현 / 의학공학부 유옥재 / 의학공학부 허지연 / 의학공학부			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2010
페이지	30 p.	도표	있음(○), 없음()	크기	210 Cm.
참고사항					
공개여부	공개(○), 비공개()		보고서종류	위탁과제서	
비밀여부	대외비(), — 급비밀				
연구수행기관		건국대학교	계약번호		
초록 (15-20줄내외)		<p>고준위폐기물처분을 위해 지질환경분야 연구에서 필요한 자연조건에서의 지구화학 파라미터를 실시간 모니터링 하는 기술이 필요하고 특히, 지하수 유동특성의 평가를 목적으로 지하수 온도의 변화특성을 지속적으로 측정할 수 있는 광섬유를 이용한 원위치 측정 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 무독성, 소수성 등의 성질을 가지는 thermochromic 물질을 이용하여 광섬유 온도 센서를 제작한 후 성능평가를 통해 물의 온도변화에 따른 출력신호를 측정하였다. 향후 물의 영향을 받지 않는 무독성 물질의 사용으로 지하수의 온도측정 및 의료용 기기로 이용 가능하므로 산업계 및 의료계에서 활용 가능할 것으로 사료된다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)		광섬유 센서, 시온 물질, 지하수, 온도측정			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
		KAERI/CM-1195/2009			
Title/ Subtitle		Development of in-situ monitoring system			
Project Manager and Department		Bongsoo Lee / Department of Biomedical Engineering			
Researcher and Department		Dong Hyun Cho / Department of Biomedical Engineering Wook Jae Yoo / Department of Biomedical Engineering Ji Yeon Heo / Department of Biomedical Engineering			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2010
Page	30 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input type="radio"/>), No (<input type="radio"/>)	Size	210 Cm.
Note					
Open	Open(<input type="radio"/>), Closed (<input type="radio"/>)				
Classified	Restricted(<input type="checkbox"/>), <input type="checkbox"/> Class Document		Report Type	Sponsoring report	
Performing Org.	Konkuk university		Contract No.		
Abstract (15-20 Lines)	<p>Development of in-situ monitoring system using an optical fiber to measure the real time temperature variation of subsurface water for the evaluation of flow characteristics We describe the feasibility of developing a fiber-optic temperature sensor using a thermochromic material. A sensor-tip is fabricated by mixing of a thermochromic material powder. The relationships between the temperatures and the output voltages of detectors are determined to measure the temperature of water. It is expected that the fiber-optic temperature monitoring sensor using thermochromic material can be used to measure the real time temperature variation of subsurface water.</p>				
Subject Keywords (About 10 words)	fiber-optic sensor, thermochromic material, subsurface water, temperature measurement				