

원자로 내부 검사용 수중로봇의 위치검출 시스템 구현

Development of a Position Detection System for Reactor Underwater Robot

*서용칠, **김명환, ***이흥호, ****김승호

Yong-Chil Seo, Myung-Hwan Kim, Heung-Ho Lee, Seung-Ho Kim

Abstract - This paper presents a study of a position finding system using PSD Sensor and Pan/Tilt. The position of PSD(Position Sensitive Detector) sensor is calculated by the degree of pan-tilt and the difference in height between pan-tilt and PSD. For that, the DSP which control pan-tilt is used for precise operation. The PIC microcontroller process PSD sensor data that indicate light incident position. A user using computer can acquire the conditions of pan-tilt and PSD and issue an order.

Key Words : Position Finding, PSD, Pan/Tilt, DSP

1. 장 서론

원자로 압력 용기는 내부의 핵연료를 이용하여 고온 고압의 열을 생성하는 기능을 하는 것으로서 핵반응 물질을 취급하게 되므로 용기의 건전성 확보는 매우 중요한 일 중의 하나이다. 원자로 내부의 수중을 이동하며 이상 유무를 검사하는 로봇은 원자로 압력 용기 내를 점검함으로써 용기의 건전성을 유지하는데 일조를 하게 된다. 하지만 잠수정 로봇을 조종하는데 있어 문제점은 로봇의 정확한 위치를 알지 못해 원하는 지점으로 정확히 이동하는데 어려움이 있다는 것이다. 또한, 자칫 잘못하면 로봇이 원자로 압력 용기와 충돌하는 사태가 일어나게 되어 건전성 확보란 목적에 오히려 반하는 역할을 할 수 있다. 이러한 문제점이 발생하는 주된 이유는, 로봇을 조정하기 위해 필요한 위치 정보를 특정 센서 데이터와 카메라를 통해 들어온 영상 정보 등을 조합해 조정자인 인간이 대략적으로 추정하는 방법을 사용하기 때문이다. 원자로 압력 용기 내 잠수정 로봇의 정확한 위치를 파악하고 로봇을 원하는 위치에 이동시키기 위해 본 연구에서는 센서 내에 입사된 빛의 위치를 파악할 수 있는 PSD(Position Sensitive Detector)센서와 레이저를 장착한 팬틸트(Pan/Tilt)를 사용하여 위치파악 시스템을 구현하였다.

2. 장 본론

2.1 절 PSD 센서

PSD(Position Sensitive Device)는 일반적인 광센서와 달

리 빛이 도달한 수광부의 위치를 알 수 있는 센서이다. 이외에도 위치검출용 광센서에는 포토다이오드 어레이, 리니어 이미지 센서, 에어리어 이미지 센서 등이 있는데 이들은 일정 크기의 센서 영역이 합해진 분할형이나 PSD는 연속적인 위치정보를 얻을 수 있는 비분할형이다. 또한 위치 해상도가 높고 주변회로가 비교적 단순하며 응답속도가 빠르다는 장점이 있다. 그림 1에 1차원 PSD의 단면도를 나타내었다.

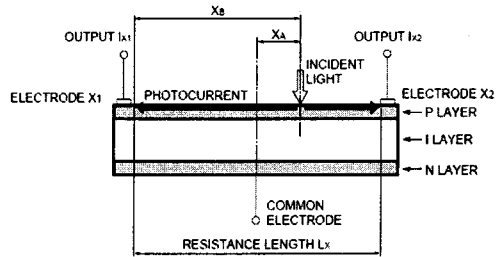


그림 1. PSD 센서의 단면도

이 센서는 p-i-n 접합 구조로 되어있고 P층과 N층은 균일한 저항층이다. PSD에 입사한 광은 광에너지에 비례하는 전하를 입사한 위치에 발생시킨다. 이 전하는 P층의 양단에 설치된 전극을 향하여 균일한 저항 층에서 분기하게 되므로 각 전극에 도달한 전하량은 이동으로 발생하는 광전류로부터 다음과 같이 입사광의 위치를 알 수 있다. 그림 1에서

$$I_{x1} = \frac{L_x - X_A}{L_x} \times I_0$$

$$I_{x2} = \frac{L_x + X_A}{L_x} \times I_0$$

이며, L_x 와 I_0 는 전극간의 거리와 광에너지에 비례하는 전체 광전류를 나타낸다. 위의 식으로부터

저자 소개

- * 準 會 員 : 韓國原子力研究所
- ** 正 會 員 : 忠南大學 電氣工學科 碩士課程
- *** 正 會 員 : 忠南大學 電氣工學科 教授 · 工博
- **** 正 會 員 : 韓國原子力研究所

$$\frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} = \frac{2X_A}{L_X}$$

와 같이 광에너지 I_0 에 관계없는 위치정보만의 수식이 얻어진다. 따라서

$$X_A = \frac{L_X}{2} \cdot \frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}}$$

이며, 알고 있는 값 L_X 와 측정된 값 I_{X1} , I_{X2} 로부터 입사광의 위치 X_A 를 광에너지에 무관하게 구할 수 있다.

본 논문에서 사용한 PSD의 종류는 Pin-cushion type인 2차원 PSD로 활성영역이 $1.2\text{cm} \times 1.2\text{cm}$ 이며 그림 2의 (a)에 센서의 외관이 나와 있다.

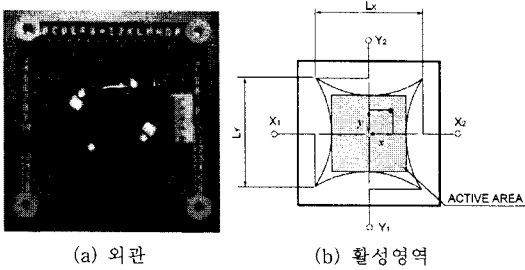


그림 2. PSD 센서

그림 2의 (b)는 S1880의 활성영역을 보여주는 그림이다. 중심에서 입사지점까지의 좌표를 각각 x 와 y 라고 하면 그 좌표는 다음식으로 구할 수 있다.

$$\frac{(I_{X2} + I_{Y1}) - (I_{X1} + I_{Y2})}{I_{X1} + I_{X2} + I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2x}{L_X}$$

$$\frac{(I_{X2} + I_{Y2}) - (I_{X1} + I_{Y1})}{I_{X1} + I_{X2} + I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2y}{L_Y}$$

2.2 절 시스템구성

팬틸트 구동, PSD 센서 데이터 취득 및 통신을 위한 하드웨어 구성은 그림 3과 같다. 컴퓨터는 종합적인 상황을 사용자에게 알려주게 되고, DSP 보드는 팬틸트에 사용된 DC 서보 모터를 제어함과 동시에 PSD 보드로부터 들어온 좌표값을 처리하여 그 값에 따른 동작을 취하게 된다. PSD 보드는 센서 내에 입사된 빛의 좌표를 계산하는 역할을 한다.

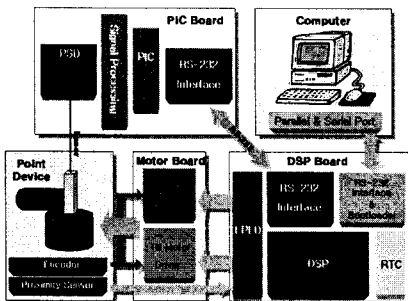


그림 3. 시스템 블록도

2.2.1 절 PSD 센서 처리부

PSD 센서와 연결되어 센서값을 취득 및 처리하여 DSP 보드에 전송하는 역할을 하는 PSD 보드의 사진이 그림 4에 있다. 보드의 구성에는 전류 신호를 전압으로 변환하는 부분, 레이저 신호에 최적화 할 수 있도록 한 필터 부분, PSD 센서의 4개 축으로부터 입력된 신호를 PIC의 A/D 컨버터 핀에 선택적으로 전달하는 아날로그 MUX 부분, A/D 변환된 데이터를 처리하여 좌표값을 계산하고 시리얼로 전송하는 역할을 하는 마이크로컨트롤러부 등이 있다. 컨트롤러에는 10bit A/D컨버터가 내장된 PIC16F873이 사용되었으며 LCD를 통해 좌표값 및 센서 각 축의 전압값을 확인할 수 있다.

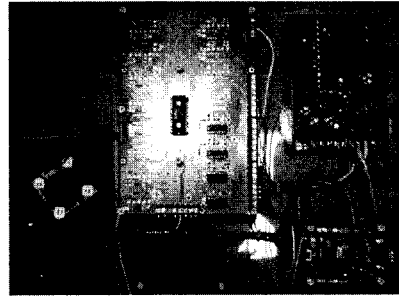


그림 4. PSD 보드 외관

2.2.2 절 DSP 보드

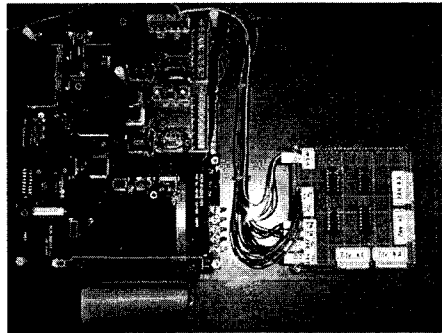


그림 5. DSP 및 팬틸트 인터페이스 보드

팬틸트에 사용된 DC 서보 모터를 제어하고 각 장치들의 중심에서 시리얼 통신을 처리하는 DSP 보드는 메인 프로세서로 TI사의 TMS320C32를 사용하였다. C32는 일반 마이크로 컨트롤러에 비해 고속의 데이터 처리가 가능하고 컴퓨터에서 컴파일한 파일을 자체 내장한 부트로더를 이용해 손쉽게 다운로드 받을 수 있는 장점들을 가지고 있다. DSP 보드는 C32를 중심으로 외부 메모리(램, 플래시 메모리) 및 각종 장치(RTC, 모터 컨트롤러, LED 등)들로 구성되어 있고, 각각의 장치들을 액세스하기 위하여 로직 신호를 적절히 분배해주는 EPLD가 어드레스 디코더로서의 역할을 한다. RS-232 통신을 위해 16C550이 2개 사용되었으며, 각각은 PC와 PSD 보드와의 시리얼 통신을 담당한다. 모터 컨트롤 및 드라이브 제어의 용이성 및 정밀성을 위해 National사의 LM629 정

밀 모션 컨트롤러와 LMD18200 H-Bridge 모터 드라이버를 사용하였다. 그림5는 모터 컨트롤러 보드를 장착한 DSP 보드(좌측)와 팬틸트와의 인터페이스를 위해 사용된 보드(우측)를 보여주고 있다. 인터페이스 보드는 팬틸트에 사용된 근접 센서 출력전압이 +24V이기 때문에, 이를 TTL레벨로 낮춰주는 역할을 함과 동시에 커넥터를 사용하여 팬틸트와 DSP 보드의 와의 연결을 손쉽게 할 수 있도록 하였다.

2.3 절 실험

2.3.1 절 실험 환경 구성

원자로 환경에서 실험을 하기 전에, 팬틸트와 PSD 센서 그리고 DSP보드의 전반적인 동작 상태를 점검하고 알고리즘을 연구하기 위하여 캐비닛 내부에 실험 환경을 구축하였다. 그림 6은 캐비닛의 전면 사진이다. 그림을 보면 크게 4부분으로 나눌 수 있는데, 제일 상층부에는 그림 5에 나와 있는 보드가 놓이게 된다. DSP 보드와 팬틸트 연결 보드가 아크릴 판에 고정되어 캐비닛 상층부에 있음을 확인할 수 있다. 그 다음 층에 파워서플라이가 놓여, 보드와 팬틸트에 전원을 공급하게 된다. 실험단계이기 때문에 전류값을 확인해야 할 필요가 있어 SMPS 대신 파워서플라이를 사용하였다. 파워서플라이 아래층에 팬틸트가 원자로에 설치되는 것과 같은 방향으로 즉, 천장을 밑면으로 해서 부착되어 있으며 바닥면에 PSD 센서를 장착되어 있다. 밑면 바닥은 약한 자성을 가지도록 처리되어 있어 PSD 센서가 움직이지 않고 고정될 수 있도록 하였다. 하단층에는 PSD 센서 신호를 처리하여 DSP 보드에 전송하는 그림 4의 PSD 보드가 놓이게 된다.

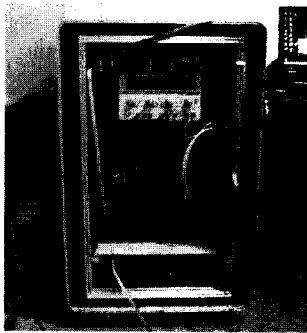


그림 6. 캐비닛 전면

2.3.2 절 실험 결과

구성한 시스템이 제대로 동작하는가를 확인하기 위해 팬틸트를 조이스틱으로 조작해가며 PC상에서 시스템의 상태를 점검해 보았다. 그림 7은 센서에 레이저가 입사된 사진과 그때의 해당 윈도우 디스플레이 화면이다. 레이저 포인터의 위치와 윈도우 화면이 약간 틀리게 보이는 것은 센서 걸면 유리에 빛이 반사되면서 나타난 잔상 때문이다. 그림 8은 실제 실험 공간상의 팬틸트 레이저 포인터의 위치와 그에 해당하는 윈도우 프로그램 화면을 보여주고 있다. 그림들에서 보면 알 수 있듯이 PSD센서의 공간상 위치와 센서 내에 입사된 레이저의 위치가 실제 데이터와 일치하고 있음을 알 수 있다.



그림 7. 센서 위치 화면과 실제 사진

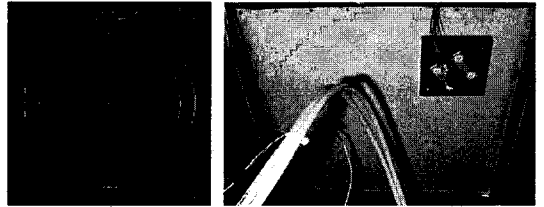


그림 8. 센서 위치 화면과 실제 사진

3. 장 결론

본 연구는 원자로 내부 검사용 로봇이 벽면과 충돌하지 않고 임무를 수행할 수 있도록 로봇의 위치를 파악하고 추종 제어하기 위한 시스템 개발의 기초 연구로 수행되었다. 시스템의 하드웨어적 소프트웨어적 구성을 완료한 후, 센서의 현재 위치와 PSD 센서 내 입사광의 위치를 파악하는 실험을 통해 위치 파악 시스템으로서의 가능성을 검증해 보았다. 팬틸트가 PSD 센서를 추종하는 부분에 대한 연구는 관련 이론 연구와 계속적인 실험을 통해 개선되어야 할 부분이다.

참 고 문 헌

- [1] 김명환, 이승민, 이홍호, 이남호, 김승호, “팬틸트와 PSD 센서를 이용한 수중 로봇의 위치추적 시스템 구현”, 정보 및 제어 학술회의 논문집, p.536~539, 2003
- [2] 김명환, 이승민, 이남호, 김승호, 이홍호, “원자로 검침로봇의 위치 파악시스템 구현”, 2004 대한전기학회 하계학술대회. p.2665~2667,2004
- [3] 김재희, 엄홍섭 외, “원자로 자동 탐상 시스템 개발”, 과학기술부, 2002
- [4] 김재희, 엄홍섭 외, “원전 지능형 제어 및 자동화기술 연구”, 한국원자력연구소, 1996
- [5] 윤덕용, “TMS320C32 마스터”, Ohm사, 1999
- [6] 이은옥, 김도우, “DSP(TMS320C32)의 이해와 활용”, KAIST MRDEC 강의자료, 2003
- [7] 김상형, “Windows API 정복”, 가남사, 2001