

가스 배관 진단 시스템을 위한 항법 데이터 저장 시스템 개발

진 용, 박찬국, 박태웅, 노용우
*광운대학교, **한국가스공사 연구개발원

Development of Navigation Data Storage System for Geometry Piging System

Jun Yong, Park Chan Gook, Park Tae Woong, Rho Y. W.
*Kwangwoon University, **Korea Gas Corporation R&D Center

Abstract - 가스 배관 진단 시스템은 배관 내부에 삽입되어 배관 내에 주입된 가스에 의해 추진되는 시스템으로 배관의 건설, 유지, 보수, 해체 등의 작업을 위한 여러 정보를 수집한다. 배관 진단을 위한 대표적인 센서로는 배관 내부의 찌그러짐(dent)과 주름(wrinkle)의 형태 및 크기를 측정하는 캘리퍼(caliper) 센서와 배관 외부의 파손을 측정하는 MFL(Magnetic Flux Leakage) 센서 그리고 배관 내의 환경 정보를 측정하기 위한 온도 센서와 압력 센서가 있다. 이러한 센서들로 수집된 정보를 활용하기 위해서는 정확한 위치 정보가 필요하므로 IMU(Inertial Measurement Unit)와 주행 거리계를 사용하는 결합 항법 시스템도 필요하다. 본 논문에서는 가스 배관 진단 시스템을 위한 항법 데이터 저장 시스템을 개발한다. 배관 진단 시스템의 특성상 일반적인 측정 센서는 700Hz 이상의 주기로 측정되고 항법 정보는 100Hz 주기 이상으로 측정되며 배관 내 이동 시간은 2시간에서 24시간 이상으로 다양하므로 많은 데이터를 효율적으로 저장할 수 있어야 한다. 따라서 데이터 저장 장치로는 DAT를 사용하게 되며 많은 센서 데이터를 실시간으로 저장하기 위해서 마스터-슬레이브 구조를 갖는 멀티 프로세서 구성을 이용한 항법 데이터 저장 시스템을 설계 제작하였다.

1. 서 론

배관 진단 시스템은 PIG(Pipeline Inspection Gauge)라고 지칭되며 주로 시스템을 배관 내부에 삽입한 후, 배관내에 주입되는 가스 등의 압력에 의하여 추진되는 장치로서, 처음에는 매체의 흐름을 방해하는 퇴적물 등을 제거하기 위해서 사용되었으나 오늘날에는 배관의 건설, 유지, 보수, 해체 등을 포함한 배관 운용을 위한 모든 작업에 사용되고 있다.

현재 사용되고 있는 PIG는 용도에 따라 Utility PIG와 Inspection PIG로 분류되며 Utility PIG는 배관을 건설한 후, 배관 내부에 존재하는 파편이나 장애물의 유무를 점검한 후, 제거하거나 기록하는 역할을 한다. Utility PIG로는 Cleaning PIG와 Sealing PIG가 있다. Inspection PIG는 배관 내부의 상태를 센서를 이용하여 파악한 후, 그 손상 정도를 측정하기 위해 사용하는 것으로 용도에 따라 Geometry PIG와 MFL PIG 그리고 Ultrasonic PIG 등으로 구분된다.

이러한 Inspection PIG는 배관 내의 손상 체크 뿐 아니라 정확한 배관 내의 위치를 파악하여야만 배관의 유지, 보수 작업이 원활하게 이루어 질 수 있다. 이를 위해서 주행거리계를 이용하는 방법이 있다. 그러나 이는 정확한 지리 정보가 있어야 실제 위치를 주행 거리를 기준으로 계산할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 INS(Inertial Navigation System)과 같은 항법장치를 장착하여 정확한 항법해를 계산할 수 있는 PIG도 개발되고 있다.

본 논문에서는 국내 상황에 적합한 PIG 시스템을 개발하기 위하여 Geometry PIG와 MFL PIG의 데이터를

처리할 수 있는 항법 데이터 저장 시스템을 연구, 개발한다. 기본적으로는 Geometry PIG의 역할을 수행하도록 하기 위하여 항법 계산에 필요한 Litton사의 LN-200 IMU와 3축의 주행 거리계 데이터를 저장할 수 있도록 되어 있다. 배관의 상태 측정을 위해서는 mechanical finger라고 하는 캘리퍼 시스템을 이용한다. 본 연구에서 개발된 시스템은 센서 데이터 수집 보드의 교환으로 용도에 따라 MFL PIG로도 사용할 수 있도록 설계되었는데 이를 위하여 DAT를 주 저장 장치로 사용하게 된다.

본 논문의 결과는 PIG 외에도 항공기나 차량 등의 블랙박스나 AUV 등의 데이터 저장 시스템을 개발하는데도 사용할 수 있다.

2. 본 론

2.1 PIG 기본 구조

본 연구에서 개발된 항법 데이터 저장 시스템이 적용된 PIG는 먼저 Geometry PIG로 그림 1과 같은 형태를 가지며, 크게 외부에는 구동킵, mechanical finger, 주행 거리계(odometer)와 위치 추적 모듈(tracking module)로 구성되어 있고, 내부에는 Battery와 IMU 그리고 항법 데이터 저장 시스템을 탑재하게 된다. 그림 1에서 구동킵은 실제 배관과 접촉하게 되며 구동킵에 가해지는 가스의 압력으로 이동하게 된다. IMU와 주행 거리계는 항법 계산에 사용되며 보다 정확한 항법해를 계산하기 위하여 위치 추적 모듈의 정보를 사용한다. 이는 주행 중에 일정한 신호를 발신하며 이를 지상에서 GPS와 연동된 수신 모듈이 수신하여 현재 위치에 대한 이동 시간을 기록하여 후처리 작업에서 위치 오차 보정에 사용한다.

2.2 센서

2.2.1 IMU

IMU는 3축의 자이로와 가속도계로 구성되어 있으며 100~500Hz 주기로 항법 연산에 필요한 항체의 각속도와 가속도 정보를 제공한다. PIG의 경우 실제 운용 시에 50~600km 정도의 거리를 운행하며 최대 24시간 이상 운용되며, 이동하면서 가스관의 굴곡에 따라 여러 가지 충격이 가해질 수 있다.

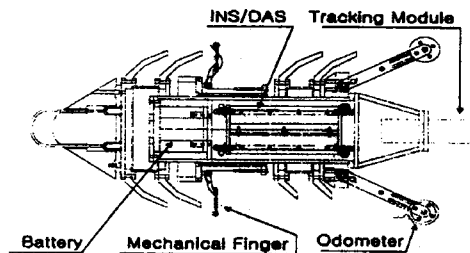


그림 1. Geometry PIG 기본 구조

표 1. LN-200 IMU 사양

	Gyro	Accelerometer
바이어스	3°/HR	1.5mG
랜덤워크	0.15°/√HR	
환산계수 오차	100 PPM	1000 PPM
비정렬 오차	0.3MR	0.3MR

따라서 증급 이상의 IMU를 사용하여 하며 DTG와 같은 기계적인 자이로 보다는 RLG나 FOG와 같은 동작 범위가 넓고 충격에 보다 강한 광학 자이로가 적합하다. 이를 위하여 Litton 사의 LN-200 IMU를 사용한다. LN-200은 FOG(Fiber Optic Gyro)와 MEMS 가속도계로 구성되어 있다. 동작 범위는 자이로의 경우는 1000 [°/sec], 가속도계는 40[G]이다. 주요한 오차 사양은 표 1과 같다. IMU의 데이터는 SDLC 방식의 동기 통신 방식을 사용하므로 이를 위한 통신 포트가 데이터 저장 시스템에 필요하다.

2.2.2 주행 거리계

IMU의 데이터만을 이용하여서 항법 연산을 수행하는 경우에는 관성 항법 장치의 특성이 초기 자세 오차와 센서 오차 등에 의하여 시간이 경과함에 따라 오차가 발산하게 된다. 이를 보정하기 위하여 보조 센서가 필요하며 PIG의 경우에는 보조 센서로 주행 거리계를 사용한다. 주행 거리계는 PIG의 뒤쪽에 장착되며 약 120도의 간격으로 3개의 주행 거리계가 장착된다. 사용되는 주행 거리계는 펄스당 1cm의 분해능을 갖는다.

2.2.2 Mechanical finger

Mechanical finger 시스템은 총 24개로 구성되어 있으며 30인치 배관의 경우 15° 간격으로 배관을 검사할 수 있도록 되어 있다. Mechanical finger의 동작 원리는 그림 2와 같으며 스프링에 의해 배관벽에 밀착된 회전바퀴(wheel)가 PIG 진행에 따라 회전하게 되고 만약 배관내의 찌그러짐(dent) 등을 만나게 되면 finger arm에 각변위가 생기게 된다. 이 각변위를 측정하면 배관의 찌그러짐의 크기와 길이 정도를 계산할 수 있다. 한국가스공사 연구개발원에서 개발한 이방성 자석을 이용한 각변위 측정 신호의 증폭없이도 90도의 각 변위를 5V 크기로 측정할 수 있도록 되어 있다.

2.3 항법 데이터 저장 시스템

2.3.1 하드웨어

PIG는 배관에 따라서 최소 2시간, 최대 24시간 이상을 배관내에서 이동하면서 배관 내의 여러 데이터를 수집하게 된다. IMU는 100Hz 주기로 데이터를 출력하며 mechanical finger와 MFL 센서의 경우는 약 700~800Hz 주기로 데이터를 수집하여 저장하게 된다.

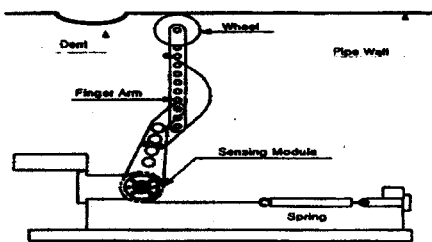


그림 2. Mechanical finger 동작 원리

표 2. 데이터 저장량

센서	샘플 데이터 수	총 데이터량 (12시간 기준)
IMU	12byte(100Hz)	약 49Mbyte
Mechanical Finger	48byte(800Hz)	약 1.54Gbyte
MFL	640byte(800Hz)	약 20.6Gbyte
Odometer	6byte(100Hz)	약 24.5Mbyte

30인치 배관의 경우 mechanical finger는 24개의 센서로 구성되고 MFL 센서의 경우는 센서 모듈당 9개의 홀센서와 1개의 와전류(eddy current) 측정센서로 이루어지며 총 64개의 센서 모듈을 사용하므로 매 샘플링 주기마다 640개의 센서 데이터가 저장되게 된다. 시스템 설계를 위해서 12시간 동안 운행 시에 필요한 저장 용량을 계산하여 정리하면 표 2와 같다. 따라서 이와 같은 저장 공간을 가지며 추가의 저장 공간 확보가 용이하고 충격에 비교적 강해야 하므로 저장 장치로는 DAT 저장 장치를 사용하게 된다.

본 연구에서 개발된 항법 데이터 저장 시스템은 크게 두 부분으로 구분되는데 주 시스템 운용은 Embedded PC를 이용하며 주로 데이터 저장 및 시스템 결함 판별, 초기화나 데이터 백업 등을 위한 전체 관리를 담당한다. 시스템 운용에 사용될 주 저장 장치는 외부 충격에 비교적 강한 flash drive를 사용하며 실제 센서 데이터의 저장은 12G(24G : 압축 알고리즘 이용시)의 크기를 갖는 DAT를 이용하게 된다. DAT의 경우 SCSI 방식의 인터페이스를 사용하므로 저장 공간 확장이 필요한 경우 최대 6개를 이용할 수 있다. 센서 데이터의 처리는 16bit 마이크로 컨트롤러 보드를 이용하게 된다. 두 시스템은 독립된 구조를 가지고 있으며 공유 메모리를 이용해 데이터를 교환하게 된다. 센서 데이터 처리 보드의 구조는 그림 3과 같다.

센서 데이터 처리를 위해서 80C296SA 16비트 마이크로 컨트롤러를 사용한다. 이는 내부 타이머와 연동되어 동작하는 4개의 EPA 로직을 내장하고 있어서 주행 거리계를 위한 별도의 I/O를 부착할 필요가 없으며 4개의 외부 인터럽트 신호 처리 단자가 있어서 I/O 확장이 쉽다. 1Mbyte의 메모리 공간을 처리할 수 있어서 많은 데이터 처리 시에 비교적 쉽게 설계가 가능한 구조를 가지고 있다.

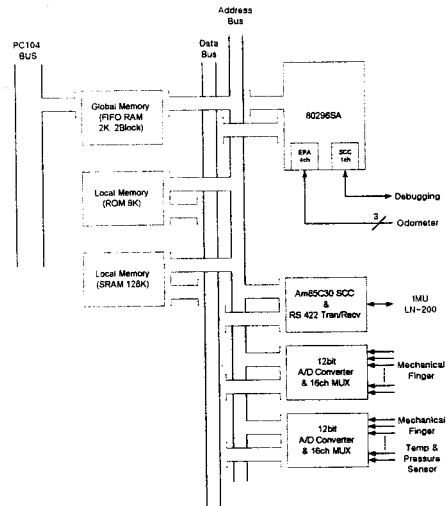


그림 3. Geometry PIG용 센서 데이터 처리 보드 구조



그림 4. 항법 데이터 저장 시스템

IMU의 SDLC 직렬 동기 통신 데이터는 Am85C30 SCC를 이용하여 mechanical finger와 온도계, 압력계를 위한 A/D 변환기는 1Msps의 속도를 갖는 12bit급 A/D 변환기를 2개 사용한다. 약 26채널의 데이터를 처리하기 위하여 16채널 아날로그 MUX로 입력단을 32채널로 확장하였다.

공유 메모리의 경우 하드웨어 FIFO 구조를 이용하여 주 시스템과 부 시스템이 동시에 메모리에 접근할 수 있는 구조를 가지고 있다. 또한 FIFO의 데이터 접근 시에 보다 안정적으로 동작하기 위하여 부 시스템은 주 시스템에 데이터 저장 완료 시점을 인터럽트 신호에 의하여 알리며 2개의 메모리가 뱅크 구조를 가지고 있어서 실제로는 서로 다른 메모리에 접근하여 최대한 메모리 충돌이 없도록 하였다.

MFL PIG를 위한 데이터 처리 보드는 Geometry PIG를 위한 데이터 처리 보드와 동일한 구조를 가지고 있으며 640채널의 센서 데이터를 처리하기 위하여 센서와 데이터 처리 보드 중간에 독립되어 있는 아날로그 MUX를 제어하기 위한 신호단과 4채널의 아날로그 신호를 동시에 처리할 수 있는 8비트 A/D 변환기로 구성되어 있다.

전원부의 경우는 16.7V의 리튬 이온 배터리의 전압을 $\pm 15V$, $\pm 5V$, $12V$ 로 변환하여 사용하게 된다. PIG의 특징상 가스관 내에서 완벽하게 밀봉되어야 하므로 외부의 모든 케이블은 내압 케이블을 사용하게 되고 별도의 전원 스위치를 사용할 수 없다. 이를 위하여 일부 커넥터의 접점을 오픈 시키면 전원이 인가되는 구조를 가지며 실제 배관내 사고 등에 의하여 PIG가 배관에서 24시간 이상 동작하는 경우에 배터리 완전 방전을 막기 위하여 전원 검출 회로와 자체 차단 회로를 갖는 2중 스위치 구조로 설계된다.

그림 4는 실제 제작된 Geometry PIG를 위한 항법 데이터 저장 시스템의 전체 구조이다. 왼쪽은 배터리이고 오른쪽이 실제 저장 시스템이다.

2.3.2 소프트웨어

개발된 항법 데이터 저장 시스템은 주 시스템과 부 시스템이 대부분 독립적으로 동작한다. 데이터의 교환은 부 시스템에서의 인터럽트 요청 신호를 인가하여 이루어진다. 주 시스템의 경우 DAT의 제어를 용이하게 하고 크게 전체 시스템 관리 및 데이터 저장 그리고 데이터 백업 시의 통신 등을 담당하기 쉽도록 Real Time Linux를 사용한다. 데이터 저장 시의 인터럽트 요청에 의한 부하를 줄이기 위하여 Geometry PIG의 경우 부 시스템에서는 5나 10ms 주기로 데이터를 모은 후 인터럽트 요청을 한다.

부 시스템의 경우는 기능의 확장 및 관리를 쉽게 하기 위하여 real time OS인 uC/OS-II의 커널을 일부 사용한다. 크게 3가지의 작업(task)을 수행하는데 IMU와 mechanical finger를 위한 데이터 처리는 모두 인터럽트 처리 방식에 의하여 이루어진다. 주행 거리계를 위한 데이터 처리는 주행 거리계에서 출력되는 펄스 신호의 하강 경계 시점을 기록하며 이를 다시 10ms 주기의 작업 1에 의하여 펄스수 및 시간 간격으로 환산하게 된다. 10~20ms 주기의 작업 2에 의하여 수집된 데이터를

FIFO로 이동시키고 인터럽트 요청을 하도록 구성되어 있다. 1s 주기의 작업 3에서는 온도계와 압력계 등의 A/D 변환 결과와 전원 감시를 수행하고 필요한 경우 전원 차단 등의 동작을 담당한다.

3. 결 론

본 논문에서는 가스 배관 진단 시스템인 PIG 시스템을 위한 항법 데이터 저장 시스템을 연구, 개발하였다.

PIG의 특성상 데이터 저장 시스템은 매우 오랜 시간 동안 많은 센서 데이터를 저장하게 된다. 센서 데이터에는 항법을 위한 데이터 외에도 실제 배관의 상태를 파악하기 위한 여러 데이터가 저장되게 된다.

전체 데이터 저장 시스템은 데이터 저장 및 전체 시스템 운용을 위한 주 시스템과 데이터 획득 및 처리를 위한 부 시스템으로 분리되며 FIFO 형태의 공유 메모리를 사용하여 부 시스템에서 주 시스템으로 데이터가 전달된다. 또한 PIG의 특성상 진단 목적에 따라 센서의 종류나 개수가 변경되므로 데이터 처리 보드만 변경하면 가능한 구조를 갖도록 두 시스템이 초기화 이후에는 독립적으로 동작한다.

개발된 데이터 저장 시스템의 동작은 한국가스공사에서 제작된 Geometry PIG의 1차 시제품과 연동하며 데이터 저장 능력을 확인하였으며 이후에는 실제 배관 테스트를 진행시에 문제없도록 전체 시스템의 안정성 테스트를 수행해야 한다.

본 연구에서 개발된 내용은 PIG와 같은 가스 배관 진단 시스템 외에도 항법 데이터와 여러개의 진단 센서들을 가진 무인 시스템 또는 차량, 항공기 등의 사고 기록 장치 등에도 적용 될 수 있다.

후 기

본 논문은 한국가스공사 연구개발원의 연구비 지원에 의하여 이루어졌습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. B. Nestleroth, T. A. Bubenik 외, GRI Pipeline Simulation Facility Magnetic Leakage Test Bed Vehicle - Final Report, Gas Research Institute, 1996
- [2] R. L. Wade, J. R. Adams, An Integrated Approach For Pipeline Fitness for Purpose Determination using Corrosion and Geometry Pipeline Pig Inspection Systems, Pipe Tech, 1995