

마이크로프로세서를 이용한 자기카메라 전용 임베디드형 AD 변환기 및 잡음 감소에 관한 연구

A Study of the Exclusive Embedded A/D Converter Using the Microprocessor and the Noise Decrease for the Magnetic Camera

이진이*†, 황지성**, 송하용***

Jin-Yi Lee*†, Ji-Seong Hwang** and Ha-Ryong Song***

초 록 자기적인 방법을 이용한 비파괴검사는 강자성체 표면 및 표면 근방의 균열을 탐상하는데 매우 유용하다. 균열을 평가하기 위해서는 시험편상의 누설자속분포를 정량적으로 취득해야 한다. 자기카메라는 큰 리프트오프에서 누설자속분포를 얻기 위하여 제안되었다. 자기카메라는 자원, 자기렌즈, AD 변환기, 인터페이스 및 컴퓨터로 구성되어 있다. 측정 대상체로부터 누설된 자속 또는 흐트러진 자장은 자기렌즈로 집속된 후, 배열된 작은 자기센서에 의하여 아날로그신호로 변환된다. 이러한 아날로그 신호는 AD 변환기에 의하여 디지털신호로 변환되고, 인터페이스 및 컴퓨터에 의하여 저장, 영상화 및 처리된다. 그러나, 지금까지의 자기카메라는 범용 AD변환기를 사용하기 때문에 변환 및 스위칭속도, 검출범위 및 분해능, 직접 메모리 액세스(DMA, direct memory access), 임시 저장속도 및 저장량에 한계점을 가지고 있었다. 또한, S/N비를 높이기 위하여 OP-AMP의 도입, 신호의 증폭, 배선의 감소, LPF의 사용과 같은 개선된 기술이 필요하다. 본 논문은 상술한 조건들을 만족하기 위하여 OP-AMP, LPF, 마이크로프로세서 및 DMA 회로를 포함한 자기카메라 전용 임베디드형 AD 변환기를 제안한다.

주요용어: 자기카메라, AD변환기, 직접 메모리 액세스, 저대역 통과 필터, S/N비, 마이크로프로세서

Abstract Magnetic nondestructive testing is very useful for detecting a crack on the surface or near of the surface of the ferromagnetic materials. The distribution of the magnetic flux leakage (DMFL) on a specimen has to be obtained quantitatively to evaluate the crack. The magnetic camera is proposed to obtain the DMFL at the large lift-off. The magnetic camera consists of a magnetic source, magnetic lens, analog to digital converters (ADCs), interface, and computer. The magnetic leakage fields or the distorted magnetic fields from the object, which are concentrated on the magnetic lens, are converted to analog electrical signals by arrayed small magnetic sensors. These analog signals are converted to digital signals by the ADCs, and are stored, imaged, and processed by the interface and computer. However, the magnetic camera has limitations with respect to converting and switching speed, full range and resolution, direct memory access (DMA), temporary storage speed and volume because common ADCs were used. Improved techniques, such as those that introduce the operational amplifier (OP-Amp), amplify the signal, reduce the connection line, and use the low pass filter (LPF) to increase the signal to noise ratio are necessary. This paper proposes the exclusive embedded ADC including OP-Amp, LPF, microprocessor and DMA circuit for the magnetic camera to satisfy the conditions mentioned above.

Keywords: Magnetic Camera, AD Converter, Direct Memory Access, Low Pass Filter, S/N Ratio, Microprocessor

1. 서 론

근래 원자력, 화력발전, 화학, 석유정제 플랜트 등의 대형기기 및 구조물들은 고온고압의 열악한 환경과 피로, 부식의 진전에 따른 안전성 확보 및 경년화에 따른 기기의 연장 가동이라는 경제성 문제에서 큰 관심을 모으고 있다. 따라서 경년열화 및 결함을 정확하게 계측하고 평가할 수 있는 기술이 대단히 중요하며, 그 중에서도 자기적 현상을 이용한 비파괴검사 방법은 강자성 구조물의 표면 결함 혹은 표면 근방에 존재하는 결함을 계측 평가하는데 유용한 방법이다.

자기적 현상을 이용하여 구조재료의 손상을 계측하는 방법 중, 자분탐상법[1,2]은 강자성체인 시험편을 자화시키고, 자분을 산포하면 결함 주변의 누설자속에 의하여 결함 모양대로 자분이 밀집하여 육안으로 검사하는 방법이다. 그러나 검사 전후의 세정 처리 및 숙련된 자분 도포기술이 필요하고, 유사 결함 형태의 구분이 어려워 정량적인 평가가 어렵다. 한편 누설자속 탐상법은 시험편을 자화했을 때 결함의 누설자속 분포를 자기센서로 검출하는 방법으로써, 주로 판두께 0.6mm 이하의 얇은 강판에 내재하는 개재물 검사에 많이 쓰이고 있다. 그러나 결함의 누설자속이 공간적, 강도적으로 미소하기 때문에 자기센서를 강판 표면에 접근시켜야 할 필요가 있다. 그리고 단일 센서의 스캔에 의한 측정 및 해석에 기인하여 많은 시간이 소요되지만 정량적 평가는 가능하다. 한편, 자기광학탐상법[3-7]은 결함을 내재한 시험편으로부터 발생한 누설자속의 수직성분이 자기광학소자의 자구를 자화하며, 이러한 자구의 형태를 페러데이 효과에 의하여 관찰함으로써 결함의 존재 여부등을 검사할 수 있는 방법이다. 그러나 상술한 누설자속 탐상법과 마찬가지로 시험편 표면에 근접 시켜야 하는데 센서 자체의 취성(brittleness) 때문에 한계가 있다.

한편, 고온, 분진, 진동 등과 같이 열악한 철강환경에서 누설자속 탐상법으로 강재의 표층 결함을 비접촉으로 검출하기 위해서는 검사 대상체와 센서면까지의 거리(lift-off)를 증대할 필요가 있다. 이를 위해서 검사 대상체에서 결함에 의하여 발생하는 누설자속을 증폭하고 집속하는 새로운 기술이 필요하며, 제안된 자기카메라[8-15]가 그 대안이 될 수 있다.

자기카메라는 자원에 의하여 시험편을 자화할 때 균열근방에서 발생하는 누설자속밀도 분포를 실시

간으로 정량적 가시화하는 장치이며, 특히 3차원 형상의 자성유체(이하 자기렌즈)를 자기센서 배열의 이면에 배치함으로써, 미약한 자속밀도분포를 집속하고, 증폭하는 것을 특징으로 한다. 이때 2차원 또는 3차원으로 배열된 자기센서에 의하여 자속밀도 분포를 측정된 후, AD 변환기를 이용하여 디지털 신호로 전환, 컴퓨터에 입력한다. 또한, S/N비를 높이기 위하여 증폭회로(이하 OP-Amp, operational amplifier)의 도입, 증폭배율의 조정, 배선의 감소, 저대역 통과필터(LPF, low pass filter)의 사용등과 같은 개선된 기술에 대한 연구가 수행되어 왔다. 한편, 지금까지의 자기카메라는 범용 AD 변환기를 사용하였기 때문에 신호변환속도 및 스위칭속도, 검출범위 및 분해능, 직접 데이터 액세스(이하 DMA, direct memory access), 임시저장속도 및 저장량에 있어서 한계점을 가지고 있었다.

본 연구에서는 (1) 선행 연구에 의하여 기개발된 OP-Amp, 신호증폭배율의 조정 회로, LPF를 표준 장착하여 S/N비를 높이고, (2) 이들 회로들이 각각의 자기센서와 1:1 대응할 수 있도록 하여 각 센서의 S/N비를 높이고, (3) 신호 배선을 간략화하여 외부 잡음의 유입을 최소화하고, (4) 12비트의 분해능으로 자기장의 신호를 디지털 변환하며, (5) 멀티플렉싱 회로의 도입에 의하여 여러 개의 센서로부터의 디지털 회로를 보다 적은 수의 고속 메모리에 DMA 방식으로 저장할 수 있도록 하며, (6) 저장된 각각의 센서로부터의 디지털 신호를 처리함으로써 잡음을 감소시킬 수 있는 프로그램을 내장한, 마이크로프로세서를 이용한 자기카메라 전용 임베디드형 AD 변환기를 제안한다.

2. 원 리

2.1. 자기렌즈와 자성유체

종래의 실험 및 이론적인 연구 결과를 보면, 자기렌즈로서 투자율이 강자성체 금속보다 작은 자성유체를 사용하더라도 충분한 자속집속효과[11]를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서, 자기렌즈로서 자성유체를 사용함으로써 잔류자화와 자기히스테리시스가 거의 없는 경량의 3차원 형상의 자기렌즈를 실현할 수 있다. 또한, 원형, 사각형 및 마름모형 자기렌즈에서 자속집속효과와 리프트오프 증대효과를 얻을 수 있었다. 이러한 효과는 시험편과 자기

렌즈의 사이에서 가장 큰 리프트오프를 가지는 자기렌즈의 표면에서 극대화될 수 있었다. 따라서, 센서가 시험편으로부터 이격되어야만 하는 고온환경과 같은 열악한 조건에서 유용하게 사용되어질 수 있다. 한편, 사각형 자기렌즈를 사용함으로써 자속 집속효과 및 리프트오프 증대효과를 얻을 수는 있지만, 렌즈의 선단에서 발생하는 에지효과 때문에 S/N비는 감소될 수 있다. 더욱이, 원형 및 마름모형 자기렌즈에 비하여 렌즈의 표면에 배열할 수 있는 센서의 개수가 감소하여, 공간분해능이 제한될 수 있다. 한편, 자기렌즈의 사용으로, 감도는 약 30%, peak to peak 출력은 최대 약 50%, 결함검출능력은 최대 45%까지 증대[13,14] 될 수 있다. 또한, 3차원 형상의 용기에 자성유체를 채움으로써 간단히 3차원 형상의 강자성체로 형상화할 수 있다. 뿐만 아니라, 용기를 바꿔 채움으로써 재활용이 가능하며, 철의 밀도인 7880kg/m^3 에 비하여 자성유체의 밀도는 1277kg/m^3 (Ferrotec co., exp.92017)로서, 약 16%정도 경량화할 수 있다. 그리고, 3차원 형상의 용기의 재료를 고무와 같은 탄력성 재료로 만들 경우에는 그 형상을 변화시킬 수 있으므로 자기렌즈의 재료로서 적합하다.

2.2. 자기카메라

자기카메라는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 자원, 대상체, 2차원 배열의 자기센서, 3차원 형상의 자기렌즈, AD변환기, 인터페이스, 컴퓨터 및 모니터로 구성된다[8-15]. 이러한 구성에 의하면, 균열의 존재에 기인하는 시험편 근방의 누설자속이 자기렌즈에 집속되고, 배열된 자기센서에 의하여 전기신호로

변환된다. 또한, 자장분포는 실시간으로 가시화되고, 해석을 위한 정량적인 데이터를 제공하기 위하여 기록된다. 여기에서 대상물이 강자성체인지 또는 상자성체인지에 따라, 전자석, 유도전류, 헬륨홀츠코일 또는 지자기를 자원으로 활용할 수 있다. 특히 강자성체 재료의 시험편인 경우에는 요크형 자화코일이 많이 사용된다.

2.3. 저잡음 고속 차동증폭회로

홀소자는 두 개의 전원핀과 두 개의 출력핀으로 구성된다. 두 개의 출력 핀의 전압차는 센서면에 수직으로 입사하는 외부자장의 세기에 비례한다. 따라서, 외부자장의 세기는 차동식 연산증폭기 (이하 OP-Amp)를 이용하여 두 개의 출력사이의 전압차를 측정함으로써 계산할 수 있다. 한편, 고정밀한 증폭회로를 위해서 AD620을 도입하였다. AD-620은 우수한 동특성을 가지고 있어, 저잡음 고속 자기 카메라의 증폭회로로서 유용하며, 홀소자와의 연결예를 Fig. 2에 나타낸다.

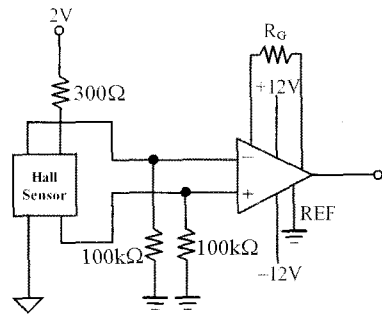


Fig. 2 An electrical circuit using a Hall element and AD620 to measure the magnetic field

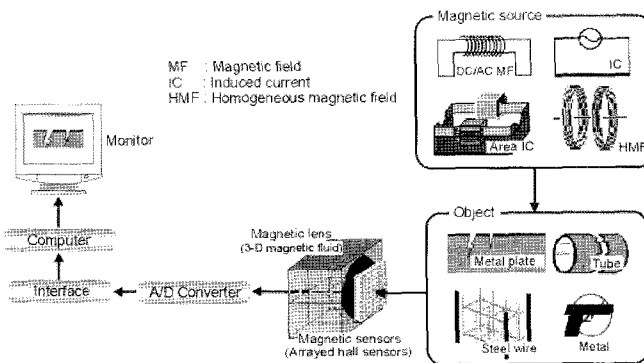


Fig. 1 Schematic of the magnetic camera

2.4. 저대역 통과 필터

필터는 원하지 않는 잡음과 주파수 대역신호를 감소시키기 위하여 사용된다. 특히, 저대역 통과 필터(LPF, low pass filter)는 차단주파수보다 낮은 신호주파수를 통과시킨다. 따라서, 홀센서의 열잡음과 같은 고주파수 잡음은 LPF를 사용함으로써 감소시킬 수 있다. 특히, Chebyshev 필터보다는 3차 Butterworth LPF가 보다 효과적으로 고주파수 잡음을 소거할 수 있다. Fig. 3(a)는 저잡음 고속 차동증폭회로를 통과한 홀센서 출력의 FFT (Fast Fourier Transform) 해석 결과의 한 예를 나타낸다.

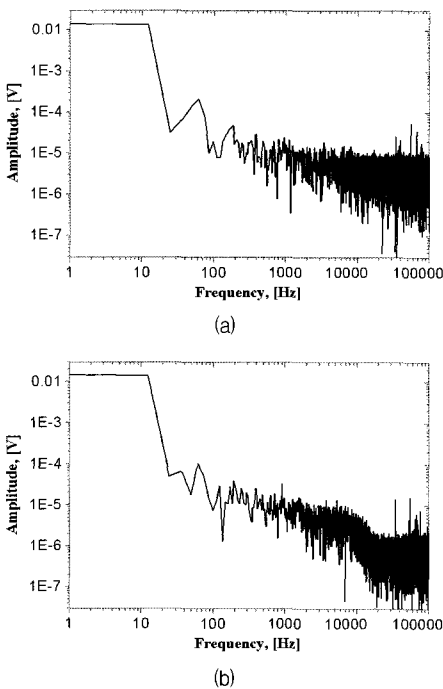


Fig. 3 FFT analysis results (a) before and (b) after the 3rd Butterworth LPF

전원주파수인 60Hz 및 그의 배수에 해당하는 주파수에서 전원노이즈가 발생하고 있으며, 1kHz 이상에서 열잡음으로 추정되는 잡음이 발생하고 있다. 한편, 지금까지의 강자성체를 대상으로 하는 재료의 탐상 뿐 아니라, 차후 상자성체를 대상으로 하는 비파괴검사에 본 기술을 적용하기 위해서는 유도전류 등의 도입이 불가피하다. 종래의 연구결과[4]에 의하면 1.6kHz에서 6.4kHz의 유도전류를 활용하더라도 표면 결함 및 박편의 이면결함 탐상이 가능하므로 본 연

구에서는 LF356 OP-Amp를 이용하여 10kHz의 차단주파수(cut-off frequency)를 가지는 3차 Butterworth LPF를 자체 제작하여 도입하였다. Fig.3(b)는 자체 제작한 3차 Butterworth LPF를 적용한 후의 홀센서 출력의 FFT 해석결과를 보이고 있으며, 10kHz 이상의 신호가 현저히 저하되었음을 보여준다.

3. 실험 및 고찰

3.1. AD 변환회로

강자성체 시험편에 존재하는 균열에 의하여 누설되는 자기장은 배열된 자기센서, OP-Amp, LPF에 의하여 높은 S/N비를 가진 전기신호로 변환된다. 또한, 이러한 전기신호배열은 자기카메라의 AD 변환기와 마이크로프로세서에 의하여 변환, 가공, 계산 및 가시화된다. 본 연구에서는 12비트 축차근사형 AD 변환기로서, 8bit 또는 16비트 마이크로프로세서에 직접 연결하여 디지털 신호로 변환할 수 있는 AD574A를 자기카메라 전용 AD변환기로 채택하였다. 또한, 한 개의 칩 안에 고정밀 참조 전압 및 클럭회로가 포함되어 있어, 외부회로 및 클럭신호를 부여하지 않고도 고유의 성능을 발휘할 수 있다. 본 연구에서는 -10V에서 +10V까지의 검출영역에서 아날로그 신호를 입력하는 바이폴라형 AD변환을 시도하였다. 이때, 분해능은 약 4.88mV가 된다.

3.2. 멀티플렉싱 회로

본 연구에서는 2차원 또는 3차원으로 배열된 고감도 자기센서를 이용하는 자기카메라에 대하여 다루고 있다. 따라서, 센서 또는 AD 변환기 이후의 디지털 신호선을 단순화하기 위한 멀티플렉싱(multiplexing)이 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 LPF와 OP-Amp를 개별적으로 장착한 8개의 홀센서를 멀티플렉스하기 위하여 DG408 single 8-channel CMOS 아날로그형 멀티플렉서(multiplexer)를 도입하였다. DG408의 경우, 마이크로프로세서에 의한 3비트 상당의 디지털 신호(논리회로입력, logic decode inputs)를 입력하여 8개의 아날로그신호의 입출력이 가능하다. 따라서, 예를 들면 각각 2, 4, 8개의 멀티플렉서와 6, 12, 24 비트의 논리 해독 입력에 의하여 64(8×8), 256(16×16), 1024(32×32)개의 배열된 홀센서를 구동할 수 있다.

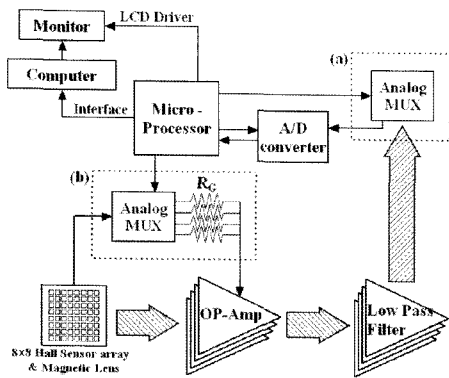


Fig. 4 Multiplexing for switching of (a) the multiple sensors and (b) the amplifying magnitudes

한편, 고입력 임피던스하에서 AD620 OP-Amp를 사용함으로써 고정밀 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 검출영역을 고정된 상태에서 보다 높은 누설자속 분해능을 얻고자 하는 경우에는 홀센서 출력의 증폭 배율을 높이면 된다. 증폭배율은 Fig. 2의 저항 R_G 에 의하여 변환될 수 있다. 예를 들면, R_G 가 5.6kΩ, 1kΩ, 510Ω, 240Ω일 때, 홀센서 출력은 각각 9.82, 50.4, 97.86, 206.8 배씩 증폭될 수 있으며, 상술한 고정된 검출영역에서는 각각 0.58μT, 2.9μT, 5.76μT, 11.52μT의 분해능을 얻을 수 있다. 따라서, DG408 CMOS 아날로그 멀티플렉서와 릴레이 스위치의 조합에 의하여 Fig. 4(b)에서 나타낸 바와 같이 배율을 조정할 수 있다

3.3. 마이크로프로세서와 데이터 처리

AD변환기와 멀티플렉서는 마이크로프로세서에 의하여 공급되는 펄스신호로 제어할 수 있다. 더욱이, 마이크로프로세서가 충분한 입출력 포트를 가지고 있다면, 홀센서, LPE, 멀티플렉서와 AD 변환기를 통과한 디지털신호는 조정, 저장, 가공될 수 있다. 본 연구에서는 128k 바이트의 시스템 프로그래머블 플래시 메모리(in-system programmable flash), 4k 바이트의 EEPROM, 4k바이트의 SRAM과 53개의 다목적 입출력 포트를 가지고 있는 ATmega128을 마이크로프로세서로 도입하였다. 또한, 62256과 같은 고속 SRAM은 수 ns에서 수십 ns의 고속으로 ATmega128의 메모리를 확장할 수 있다. 본 연구에서는 DMA(direct memory access)를 위하여 ATmega128과 SRAM 62256을 사용하였다.

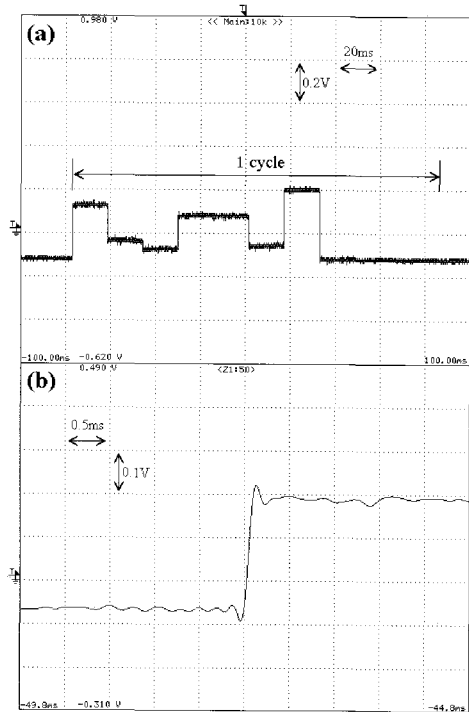


Fig. 5 The 8 Hall voltages after multiplexer DG408

한편, 본 논문에서 사용한 AD변환기는 12비트인 반면, ATmega128과 SRAM62256은 8비트 소자이다. 물론 80196과 같은 16비트 마이크로프로세서를 사용하면 간단히 해결할 수 있으나, 본 연구에서는 12비트의 홀전압 데이터를 조정, 저장 및 가공하기 위하여 2개의 8비트 레지스터를 사용하였다. Fig.5(a)는 외부장장이 인가되지 않은 상태에서 멀티플렉서 DG408을 통과한 8개의 홀전압을 보여주고 있다. 한번의 주기에 소요되는 전체 시간은 AD 변환속도인 0.035ms와 각각의 홀센서로부터 출력되는 8비트 512개의 데이터가 SRAM 레지스터에 저장될 때 소요되는 처리속도 및 인터페이스 시간을 포함하여 약 180ms이다. 여기에서 8비트 512개의 데이터란 12비트 256개의 데이터를 의미한다. 한편, 본 연구에서는 RS-232 직렬 통신방법을 사용하였기 때문에 마이크로프로세서로부터 컴퓨터에 전송하는 인터페이스 속도는 55.2ms로서 저속이다. 그러나, USB 통신 등과 같이 고속 통신방법을 도입하면 보다 빠른 인터페이스 속도를 실현할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, 컴퓨터에의 인터페이스 라인이 생략되고, 한 개의 데이터라인만 사용된다면 12비트인 8, 64, 256개의 데이터를 취득하는데 소요되는 시간은

각각 0.49, 3.9, 15.6ms가 된다. 이것은 이론적으로 16×16개의 홀센서 배열을 가지는 자기카메라의 최대 영상 속도가 약 64 frame/s를 가질 수 있음을 의미한다. 그러나, Fig. 5(b)에 나타낸 바와 같이 홀전압이 안정하는데 멀티플렉싱 펄스의 전후에서 각각 0.0735ms정도가 소요된다. 이러한 안정에 소요되는 시간은 멀티플렉싱 펄스의 전후에서 각각 1개의 데이터를 취득하는데 소요되는 시간에 해당된다.

Fig. 6는 총 1024개의 데이터중에서 최대값중 $N_{ign,mx}$ 개를 빼고, 또한 최저값중 $N_{ign,mn}$ 개를 뺀 나머지 $1024 - (N_{ign,mx} + N_{ign,mn})$ 개의 데이터중에서 최대값과 최저값의 차이, 즉 최대오차를 보인다. 이 그래프에서 "1 digit"는 약 4.88mV와 5.76 μ T에 해당한다. $N_{ign,mx}$ 와 $N_{ign,mn}$ 의 합인 $N_{ign,t}$ 가 0일 때, 최대오차는 3~66 digits에 해당함을 알 수 있다. 그러나, $N_{ign,t}$ 가 2를 넘으면, 최대오차는 2~4 digits로 거의 비슷하게 된다. 일반적으로 Fig. 5(b)에 나타낸 바와 같이, 최대값 또는 최소값은 멀티플렉싱 펄스 신호 근방에서 발생하는 데이터의 안정에 소요되는 시간이므로 각 데이터의 초기 또는 마지막에서 나타난다. 이러한 불합리한 신호는 본 연구에서 제안하는 AD 변환기가 마이크로프로세서에 의하여 제어되며, 일시 저장되므로 제거될 수 있다. 즉, 2 digits의 $N_{ign,t}$ 를 제외한 나머지 모든 데이터의 평균을 구할 수 있으며, 이를 실험평균이라 정의하자.

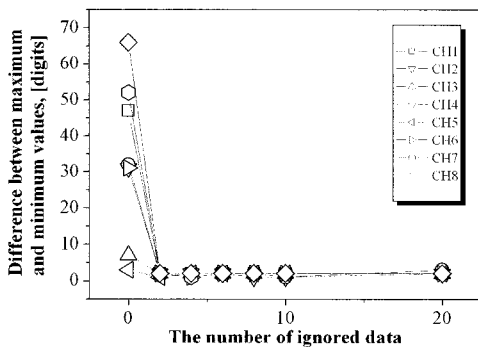


Fig. 6 The error corresponding to the $N_{ign,t}$

기존의 연구결과로부터 LPF를 사용함으로써 S/N비가 향상되었지만, 마이크로프로세서를 이용하는 임베디드형 AD 변환기의 경우 상술한 실험평균을 이용함으로써 S/N비의 향상을 기대할 수 있다. 총 1024개의 데이터를 모집단으로 하고, 모집단의 실험평균을 모집단 평균이라 하자. 또한, 모집단중에서 시간순으로 8~512개의 샘플을 추출하여 구한 실험평균을 샘플평균이라 하자. Fig. 7는 모집단 평균과 샘플평균의 차이, 즉 잡음을 나타낸 것으로서, 데이터의 개수가 64개 이상이면 이들 차이는 ± 1 digits으로서 거의 일정함을 알 수 있다. 이것은 8개의 샘플평균일 때 최대 15 digits의 잡음, 64개의 샘플평균일 때 최대 2 digits로 감소하여 약 13%의 잡음 감소효과를 얻을 수 있음을 보여준다.

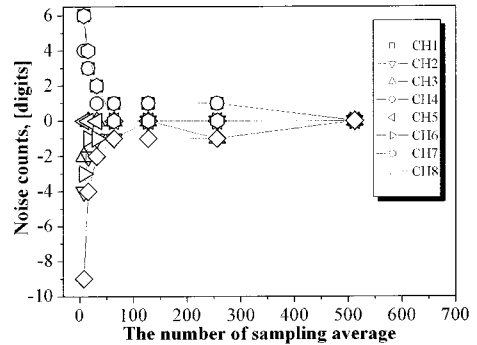


Fig. 7 The difference between the population average and the sampling average

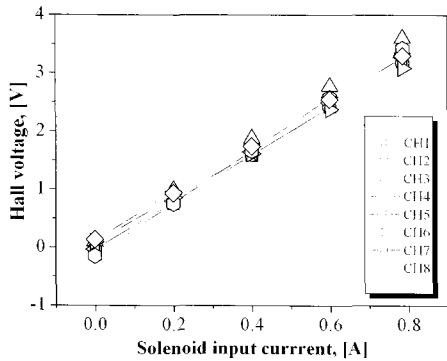
Fig. 8(a)는 대형 솔레노이드 코일에 의한 일정 자기장 안에서 LPF와 OP-Amp를 내장한 Hall 센서의 출력을 측정함으로써 얻어진 솔레노이드 입력전류와 홀전압의 관계, 즉 $I-V_H$ 곡선을 나타낸다. 한편, 솔레노이드 입력전류는 홀센서의 수직방향 자속밀도와 비례하므로 상기 곡선은 $B-V_H$ 곡선으로 이해할 수 있다. 홀 전압은 외부 자속밀도의 크기, 즉 솔레노이드 입력전류에 따라 선형적으로 변화하고, 이러한 관계는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

Table 1 Sensitivity and offset voltage at each Hall sensor

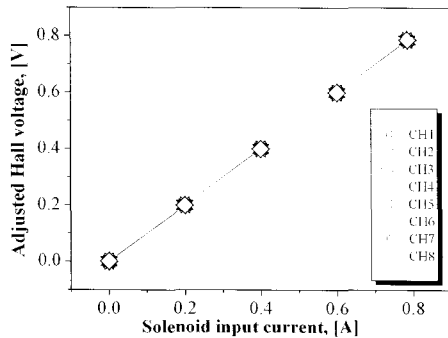
No.	sensitivity, C_1	offset voltage, C_2	No.	sensitivity, C_1	offset voltage, C_2
1	4.1901861	- 0.089899	5	4.2182062	- 0.0402252
2	4.0873624	0.0644513	6	3.8171507	0.089534
3	4.4629519	0.0965943	7	4.5452644	- 0.1506248
4	4.0919675	- 0.0404697	8	4.0313637	0.1311352

$$V_H = C_1 \cdot I + C_2 \quad (1)$$

여기에서, C_1 과 C_2 는 각각 감도와 오프셋 전압을 의미한다[15]. 이러한 값들은 Table 1과 같이 각 홀센서의 특성치로서, 기존에는 컴퓨터에 입력한 후 계산 및 보정에 사용하였다[15]. 그러나, 본 연구에서와 같이 마이크로프로세서를 이용하여 A/D변환기를 제작할 때, 레지스터에 각 홀센서의 C_1 과 C_2 값을 기억하고 계산하여, Fig. 8(b)에 나타난 바와 같이 교정할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 8 Relationship between the magnetic field and Hall voltages, (a) before compensation (b) after compensation

3.4. 적용 예

Fig. 9는 상술한 OP-Amp, LPF, 멀티플렉싱 회로, AD변환기 및 마이크로프로세서 데이터 처리회로를 포함한 8×8개의 홀센서에 의하여 구성되는 센서헤드의 일례를 나타낸다. 이러한 센서헤드에 의하여 공간분해능 3.5mm, 측정면적 24.5×24.5mm의 영역에서 자기장 분포를 측정할 수 있다. 자기렌즈를 배제한 센서헤드를 이용하여, Fig. 10에 나타난 바

와 같이 폭 100mm, 길이 200mm, 두께 5mm의 SS41 강판에 도입한 길이 10mm, 폭 0.7mm, 깊이 2mm의 구형 슬롯의 표면 및 이면 탐상 결과를 각각 Fig. 11과 Fig. 12에 나타낸다. 시험편은 극간거리 160mm, 4000권수의 요크형 전자석에 0.82A의 직류전류를 입력하여 시험편을 길이방향으로 자화하였고, 센서의 리프트오프는 4.2mm로 하였다. 각각의 결과는 자화방향으로 인접한 센서간의 출력차(이하, $\partial B/\partial x$)의 분포를 나타낸다. 자기카메라에 대한 종래의 연구결과[12-15]에 의하면 $\partial B/\partial x$ 는 결함의 정보를 추출하는데 적합한 데이터 처리방법 중 하나이다. 한편, 실험결과에서 xy평면은 센서헤드면을 나타내며, 각각의 눈금은 3.5mm로서 센서간격을 의미한다. 각각의 실험결과에서 마름모형태가 보이는 것은 센서의 간격이 커서 발생하는 현상으로서, 공간분해능이 1mm정도로 높아지면 소멸될 것으로 기대된다. Fig. 11(a)의 표면결함 탐상 결과에서 $\partial B/\partial x$ 분포의 중앙에서 주위보다 높은 수치를 보이고 있어 결함이 존재하고 있음을 알 수 있다. 특히 이러한 경향은 실시간으로 관찰할 수 있어 센서헤드를 임의의 방향으로 움직임으로써 결함의 유무, 위치를 확연히 알 수 있다. 한편, 기존의 LPF, 실험평균 처리 및 보정과정을 포함하지 않으면, Fig. 11 (b)에 나타난 바와 같이 결함 정보가 주변신호와 혼재되어 결함 정보의 추출이 곤란하다. 즉, 해당 그림의 $\partial B/\partial x$ 분포의 중앙부분에 백색으로 둘러싸인 흑색부분이 결함의 존재를 시사하고 있을 뿐 상기 Fig. 11(a)에서와 같이 확인한 결함존재에 관한 정보를 제시하지는 못한다. 뿐만 아니라, S/N비의 저하에 의하여 영상의 떨림 현상이 현저하게 나타난다. 한편, 이러한 경향은 리프트오프가 큰 이면결함 탐상의 경우와 같이 누설자속이 미약하여 홀전압



Fig. 9 A photograph of the sensor head

신호가 잡음신호와 혼재되면 탐상능력에 지대한 영향을 미쳐, Fig. 12(b)에 나타난 바와 같이 결함의 존재 유무 및 위치를 확인하는데 많은 숙련도를 필요로 하게 된다. 그러나, Fig. 12(a)에 나타난 바와 같이 LPF, 실패균 처리 및 보정과정을 거치면, 리프트오프 4.2mm에서 이면결함은 표면결함 탐상 결과와 마찬가지로 $\partial B/\partial x$ 분포의 중앙에서 주위보다 높은 수치를 보이고 있어 결함의 유무 및 위치를 알 수 있다.

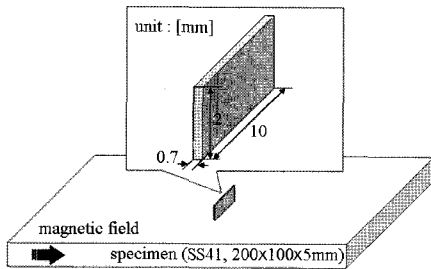
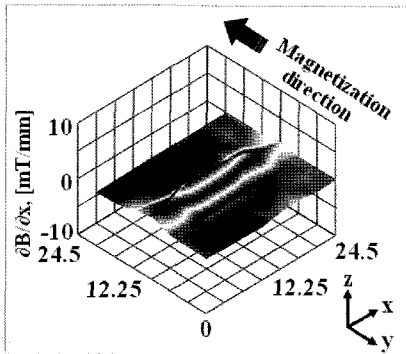
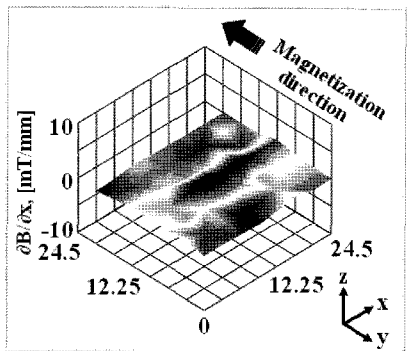


Fig. 10 Specimen

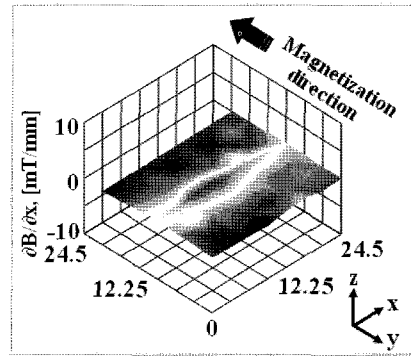


(a) with LPFs, data processing and compensation

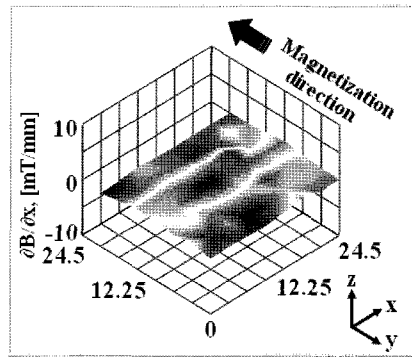


(b) without LPFs, data processing and compensation

Fig. 11 The near side crack detection results at the lift-off 4.2mm



(a) with LPFs, data processing and compensation



(b) without LPFs, data processing and compensation

Fig. 12 The far side crack detection results at the lift-off 4.2mm

4. 결론

본 논문에서는 0.035ms의 변환속도를 가지는 자기카메라 전용 임베디드형 12bit AD변환기를 제안하였다. 이러한 AD변환기는 DG408 CMOS 아날로그 멀티플렉서를 이용함으로써 다중 홀센서로부터 자기장의 분포를 측정하는데 사용될 수 있다. 또한, 각각의 AD변환기는 홀전압을 증폭하고, 동특성을 향상하기 위하여 차동증폭기인 AD620을 내장하고 있다. 한편, 마이크로프로세서 ATmega128과 SRAM 62256을 이용하여 AD 변환기로부터의 디지털신호가 직접 메모리 액세스(DMA) 방식으로 저장될 수 있도록 하였다. 한편, 멀티플렉서의 펄스 신호가 입력될 때, 홀전압 신호가 안정될 때까지 약 0.0735ms가 소요된다. AD변환 후 SRAM에 저장된 64개의 신호배열중에서 멀티플렉서 펄스 신호의 입력 전후에 해당하는 최대값 및 최소값 각각 1개씩의 데이터를 제외한 실패균을 이용함으로써, 13%의 잡음 제

거 효과를 얻을 수 있었다. 또한, 마이크로프로세서의 레지스터에 각 홀센서의 감도와 오프셋 전압을 저장하고, 계산함으로써 보정할 수 있었다. 이러한 OP-Amp, LPF, DMA를 포함한 AD변환 회로 기술들을 이용하여, 마이크로프로세서를 이용한 자기카메라 전용 임베디드형 AD변환기를 실현하였다.

사 지

이 논문은 2005년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

- [1] 임창현 편저, "비파괴검사공학", 기전연구소, p. 159, (1993)
- [2] H. Fukuoka, et. al., "Nondestructive Evaluation," JSNDI, p. 78, (1998)
- [3] J. Lee, T. Shoji, D. Minkov and M. Ishihara "Novel NDI by use of magneto optical film," Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 64, No. 619, pp. 825-830, (1998)
- [4] J. Lee and T. Shoji, "Nondestructive inspection for the paramagnetic materials using the magneto optical NDI system," Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 6, No. 4, pp. 337-342, (1998)
- [5] J. Lee, S. Lyu and Y. Nam, "An algorithm for the characterization of surface crack by use of dipole model and magneto-optical non-destructive inspection system," KSME International Journal, Vol. 14, No. 10, pp. 1072-1080, (2000)
- [6] J. Lee, T. Shoji and D. Seo, "Theoretical consideration of nondestructive testing by use of vertical magnetization and magneto-optical sensor," KSME International Journal, Vol. 18, No. 4, pp. 640-648, (2004)
- [7] J. Lee, J. Hwang, T. Shoji and J. Lim, "Modeling of characteristics of magneto-optical sensor using FEM and dipole model for nondestructive evaluation," Key Engineering Materials, Vols. 297-300, pp. 2022-2027, (2005)
- [8] J. Lee, M. Kim, M. Kang, D. Kim, W. Choe, T. Shoji, H. Kato and K. Kageyama, "Development of magnetic camera using 2D arrayed hall elements," Proc. APCFS & ATEM'01, pp. 222-227, (2004)
- [9] J. Lee, W. Choe, M. Kim, D. Kim and M. Kang, "Magnetic flux density apparatus for, E.G., Detecting an internal crack of a metal or a shape of the metal," US patents 6,683,452 B2., (2004)
- [10] J. Lee, W. Choe, M. Kim, D. Kim and M. Kang, "A display apparatus of magnetic flux density using 2D array magnetic sensor and 3D magnetic fluid," International Application Published Under the Patent Cooperation Treaty, WO 02/08745, (2002)
- [11] J. Lee, D. Seo and T. Shoji, "Numerical consideration of lens of magnetic camera for quantitative nondestructive evaluation," Key Engineering Materials, Vol. 207-273, pp. 630-635, (2004)
- [12] J. Lee, J. Hwang and S. Choi, "The QNDE using image processing of the magnetic camera," International Journal of Modern Physics B, in press, (2006)
- [13] J. Lee and J. Hwang, "The detection probability improvement of the far side crack on the high lift off using the magnetic camera," International Journal of Modern Physics B, in press, (2006)
- [14] J. Lee, J. Hwang, S. Choi and J. Lim, "Detection probability improvement for nondestructive evaluation using a magnetic camera," Key Engineering Materials, Vols. 306-308, pp. 241-246, (2006)
- [15] J. Lee, J. Hwang, K. Lee and S. Choi, "A study of leakage magnetic flux detector using Hall sensors array," Key Engineering Materials, Vols. 306-308, pp. 235-240, (2006)