

DSP를 이용한 교류누설 자속 탐상 시스템의 설계

임형석*, 이영훈**

Design of a AC Magnetic Leakage Flux Scan System use in DSP

Hyung sok Lim *, Yung hun Lee **

요 약

본 논문에서는 와전류탐상을 기본으로 제작하였으며, 현재 교류 누설 방법을 채용한 비파괴검사는 원리적으로나 장치 구성상의 한계, 및 검출율의 한계를 가지고 있으므로, 본 논문에서는 이러한 점들을 보완, 기존의 시스템보다 장치의 소형화, 시스템 구성비용의 절감화, 결함의 정확한 정량화를 이룰 수 있도록 교류누설 자속탐상 시스템을 설계하였다. 또한, 교류누설탐상 시스템은 특성상 표면의 미세 크랙에 대하여 높은 정밀도를 가지고 있으며, 시스템 제작이 용이하다는 장점을 가지므로 표면 크랙에 중점을 둔 시스템으로 설계하였으며, 기존의 장치와 비교하여, 결함측정시간을 단축하기 위해 DSP320C31(floating 연산가능) 칩을 채용함으로써 넓은 범위의 시편에 대한 결함을 검출하는데 빠르고 정확한 정량화를 이룰 수 있게 하였다. 한편 앞으로의 fuzzy 및 membership함수를 채택하여 스텝모터 및 DC모터에 PID제어, PC system-matlab을 이용 하여 관련분야 지식이 부족한 이를 위하여 실시간으로 PC에 3차원 영상의 결합값을 보일 수 있도록 한 system상 교두보를 제시하였다.

Abstract

In this paper, we designed add current scan system basically. Although NDT system using AC method in now days had problem with limit of detection rate and limit of device organization, in this paper, we made up these problem so that designed device smaller than system used, reduction of cost of system organization and precision of measuring crack. Also, AC leakage flux system had high accuracy about minute crack in the surface and advantage of designing system easily so that we designed system for concerning about crack of surface. Furthermore, it can be able to detect exact crack of reference in wide area by using DSP320C31 chip to reduce the time of measuring crack.

▶ Keyword : 와전류탐상, DSP320C31, real time

* 한남대학교 전자공학과 석사과정

** 한남대학교 전자공학과 교수

I. 서론

현재 우리나라에서 사용되고 있는 NDT(Non destructive Testing)의 방법으로는 방사선 투과검사, 초음파 탐상 검사, 자기 탐상 검사, 침투 탐상 검사, 누설탐상 검사 등이 있다[1]. 이들은 모두 시스템적으로 대형화에 이루고 있으며, 결함을 측정하는데 있어, 인체에 위험하거나 다루기에 어려운 부분이 있다는 것이 현재의 형편이다. 시스템 제작 또한 복잡하고 어려운 실정이며 제작 비용역시 만만치 않은 것이 사실이다[12]. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 와전류탐상이라는 기본포커스를 두고 제작하였으며, 이는 현재 원리적으로나 장치 구성상의 한계, 및 검출율의 한계가 있었던 것이기는 하지만, 본 논문은 이러한 점들을 보완하며, 기존의 시스템보다 성능이 우수한 시스템을 설계하고자 하였다. 여기서 와전류탐상이란 무엇인가에 대해 설명하고자 하는데, 이 시스템은 폐회로 안에 코일을 감아주고 전류를 흘려주어 전자기장을 만들고 이로 금속성 대상체에 인가하며, 이로 인하여 유도되는 전류를 감지하는 방법을 기본으로 하는 검사이다. 특성상 표면의 미세 크랙에 대하여 높은 정밀도를 가지고 있으며, 시스템 제작이 용이하다는 장점을 가지고 있다[1]. 이 논문이전에 본인이 제안 하였던 NDT 시스템에 DSP320C31이라는 DSP 칩을 사용하여 모터에 부착된 센서를 구동시키며 정확한 Data를 산출해 내기위하여 1000번의 sampling중 500번째 즉, 한 가운데의 Data값을 불러들여 LPF 처리후 DVM값을 엑셀로 띄우는 형식의 program 및 자체 보드를 제작하였다. 여기서 사용되는 AD converting은 A/D7804, 12bit 처리를 수행할 수 있는 chip을 채택했으며 또한 8255 확장포트를 사용 step motor 구동, 동시에 넓은 영역에 걸친 검사가, 기존의 방법보다 빠르고 정확하게 검사할 수 있도록 설계하였다. 이를 위하여 기존의 4상 step motor 의 resource를 필요로 하는 4개의 pin을 step motor드라이버를 사용하여 확장포트의 24pin 에 물리는 방법으로 방향키 한 편 및 구동속도 및 간격을 정해주는 편으로 두개의 편으로 하나의 모터를 구동시킬 수 있도록 함수지정 하드웨어제작을 통해 12개의 센서를 동시에 구동시킬 수 있도록 제작하였다. 무엇보다도 본 논문에서는 기존의 AC NDT시스템으로

결함의 정량화를 검출하지 못 한데에 비해 본 논문에서는 이를 보완 크랙을 정확하게 정량화 할 수 있다는 데에 가장 큰 장점을 가지고 있다. 또한, DSP칩의 floating 연산기능을 통하여 fuzzy의 membership함수를 통하여 실시간으로 어떠한 crack이 어느 부분에서 발생되었는지를 알 수 있는 기반의 틀 또한 제시하였다.

II. 기본 SYSTEM 및 NOISE

기본 시스템으로 결함 과 기본 탐상제작을 두고 Faraday 유도법칙을 기본원리로 하고 있다.

교류누설 자속탐상(ACMFL : Alternating Current Magnetic Flux Leakage Testing) 시험체를 1kHz에서 100kHz정도의 주파수로 자화시키고 이에의해 자화된 시편에 결함부분에서 생기는 누설자속을 자기센서로 검출하는 방법을 기본으로 하고 있다[12].

앞에서 언급한바 있듯이 분해능이 가장 높은 교류자장 측정방법으로 Faraday 유도 법칙을 기본 원리로 하고 있다. 이는 자기선속의 자기장 B안에서 면적요소 dA에 대한 다음과 같은 식을 만족한다[5].

$$\Phi_B = \int B \cdot dA = \int B dA \cos \Phi \dots\dots\dots (1)$$

Faraday 유도법칙은 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$\epsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

매질 속에서의 맥스웰(Maxwell) 방정식은 다음을 만족한다[5].

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

$$\nabla \times B = \mu (\sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}) \dots\dots\dots (4)$$

reference에서의 crack은 일반 제철공정에서 실제 나올 수 있는 crack을 모사하였고, reference 재질을 HSS (High Speed Steel)을 사용했다[12].

[그림 1]은 기본적인 크랙의 모습이다.

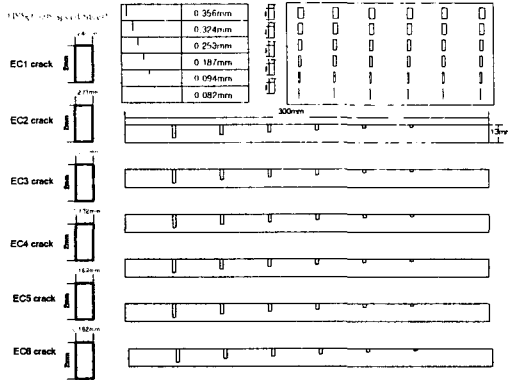


그림 1. 시스템에 사용되는 reference 결함 HSS
Fig 1. reference crack HSS used in System

여기서 lift-off 에 의한 잡음은 여러 번의 실험을 통한 경험으로 줄일 수 있는 잡음이다.

III. DSP를 이용한 Program 및 설계

기존의 400W급 전력을 필요로 하여 자화시켜주는 요크 대신 자그마한 센서에 코일을 감아주어 자화시켜주고 그 다음 그 곳에서 나오는 누설 전류를 감지하는 형식으로 시스템의 소형화를 가져오도록 센서를 설계하였다. 센서의 종류로는 앞에서 나온 차등형 센서와 단일 코일 센서를 사용함. (그림 2)와 같이 센서에 코일을 감아주고 센서에 전류를 흘려주도록 설계하였으며, 누설전류의 와전류를 사용하였다.

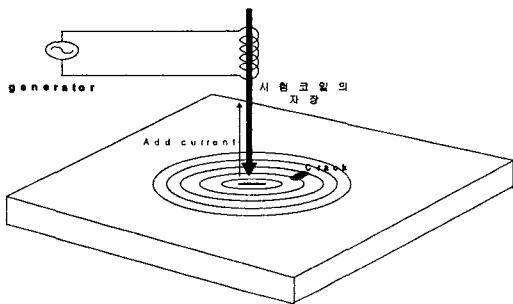


그림 2. 20kHz~150kHz에 대한 자화 와전류 및 누설전류
Fig 2. A leakage and magnetic eddy current for 20kHz~150kHz

여기서 주파수발생기 또한 자체적으로 8Hz에서 150kHz 까지의 범위에서 자화시켜줄 수 있도록 자체 제작하였다. VEE Program 과 차이점을 두는 다른 하나는 실시간 보다 좀더 정확한 Data를 뽑기 위해, 시스템의 맨 처음 시작부터 A/D Converting을 해주며, 이때 쓰여지는 device는 AD7804로 8bit sampling을 하는 칩으로 사용하였다. 다음은 개략적인 schematic을 구현한 그림이다. (그림 3)에서 보는 바와같이 X-Y scan Program 은 (DSP + Plus) 를 사용하여 Step motor를 구동하였으며, extension port 8255를 사용하여 2개 뿐 아니라 20개까지의 센서를 달 수 있도록 설계 하였다. signal conditioning amplifier 의 부분은 AD7804이며 DSP mux 4 ch에 연결되어있다. 이는 DSP + Plus의 프로그램(c언어)에 인하여 1000번의 sampling 중 500번째의 sampling을 채택하여 좀더 정확한 값을 유추해냈고 DSP보드와 LPT병렬 포트에 연결되어 저 있으며, DVM에 처리된 결과 값은 excel 로 저장 처리되도록 설계하였다(6),(7),(8),(9),(10),(11),(12).

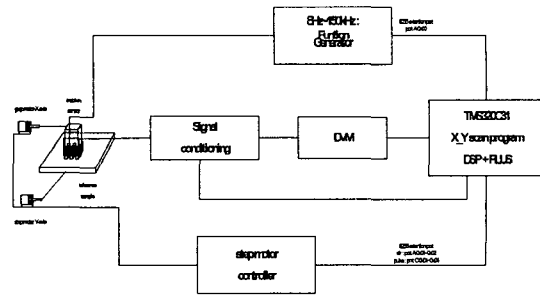


그림 3. DSP를 이용한 시스템의 블록도
Fig 3. Block diagram of system using DSP

기본 센서는 search coil 및 차등형 센서를 제작, 사용하였으며 아래는 각 센서의 제작을 schematic한 것이다. (그림 4)는 search coil sensor부로, 제작은 1mm 2mm 10mm의 Ferrite 0.1mm 의 코일을 200회 권선하여 제작 하였다.(그림 5)는differential sensor의 기본형이며, 여기서 앞의 실험과 다른점은 각 폴을 센서부로 입력 한 것이 아니라, 가운데의 폴을 자화 코일 센서로 사용하였고 나머지 양 옆의 폴을 감지 코일로 지정 제작하였다는 것이다. 이 센서들에 8kHz에서 150kHz사이의 교류를 입력해주기 위하여 자체 제작 함수발생기를 제작하였으며 (그림 6) 이의 schematic을 보여준다. 또한 센서부에서 감지된 voltage를 differential sensor로 감지 증폭 및 AD converting 하여주었고 이를 위하여 sensor 부의 schematic을 보여주고 있다.

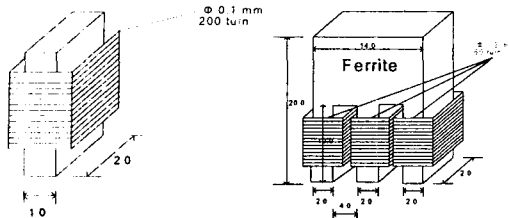


그림 4

그림 4. 감지 코일 센서의 개략도
Fig 4. schematic of Search coil sensor

그림 5

그림 5. 차등형 센서의 개략도
Fig 5. schematic of differential sensor

〈그림 7〉에서 보이는 왼쪽 아래 부분에서의 capacitance로 주파수의 가능 범위를 정하여 주계 설계하여, 모든 capacitance를 개방하였을 때의 주파수는 150kHz로 동작을 하게 설계하였다. 디스토션을 제거하게끔, 및 듀티 사이클을 조정하여 DC 모터를 하드웨어적으로 PWM파를 생성할 수 있게끔 설계하였다. 후반부 증폭부를 달아주어 Amplitude 또한 가변할 수 있도록 설계하였다. 〈그림7〉의 센서부 출력단에는 AD7804 12bit converter를 연결하여 주었고 또한 이 컨버터에서 나오는 출력은 20*2의 LCD창에 16진수로 뿌려주며, 그 값을 다시 DVM으로 전송하도록 제작하였다.

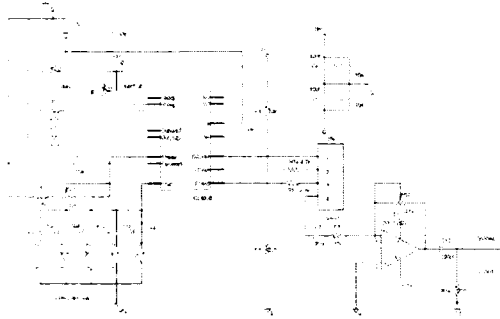


그림 6. 5kHz에서 150kHz까지의 함수 발생기 설계
Fig 6. Design of function generator for 5kHz~150kHz

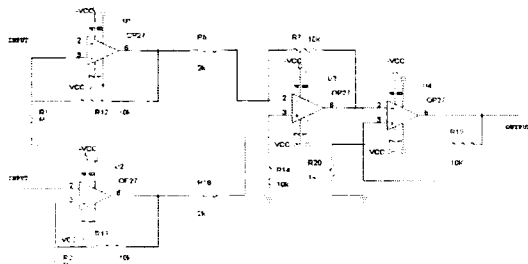


그림 7. 차등형 센서의 회로도
Fig 7. Circuit of differential sensor part

IV. DSP + Plus Program

DSP + Plus의 프로그램상 8255 확장포트를 사용하여 step motor 및 DC motor를 구동 시켜주었고, 이는 8255의 Port A에서 Pulse를 인가해주며, 이는 step motor인 경우 4pulse인가의 port당비를 motor드라이버를 장착함으로써, 방향 및 pulse에대한 1나의 motor당 2개의 port를 사용하게 만들어져, 총 24bit의 확장포트에 12개의 센서를 달 수 있도록 만들었다. 또 정량화를 위해 DC모터의 속도에 대하여는 듀티사이클로 P제어를 해주었으며, 측정 결과 step motor나 DC motor나 별반 다른 결과를 얻음을 확인하였고 이에 따라, 저렴한 가격에 맞춘 step motor를 채용하는 방식으로 설계하였다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 DSP를 이용한 본 시스템은 시작 초기화와 동시에 AD converting을 해줌으로써, 한번의 sampling중 1000번의 카운트, 중간 값 즉, 500번지 buffer에 들어간 값을 읽어내는 방식으로 정량화에 좀더 신중을 기하였고, DSP + Plus를 이용 AD converter7804를 초기화 부터 구동 하는 program 및 LCD 값에 Buffer에 들어있는 값을 16진수로 뿌려주는 program을 작성하여 시스템을 구동시켰다.

V. Data sample in DSP + PLUS program

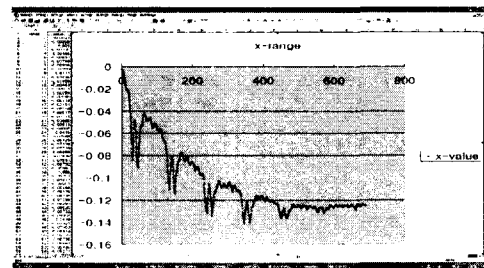


그림 8. EC1 타입 선형결합 - 100kHz
Fig 8. Type of EC1 linear crack for 100kHz
(EC1 : 가로2mm 세로0.248mm 깊이0.356mm 부피0.1766mm³ 선형결합)

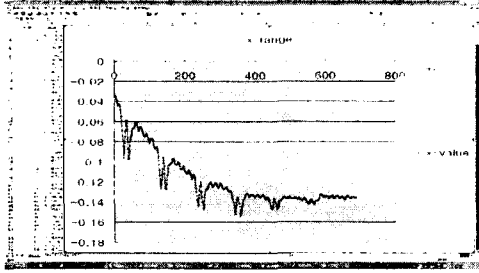


그림 9. EC2 타입 선형결함 - 100kHz
 Fig 9. Type of EC2 linear crack for 100kHz
 (EC2:가로2mm 세로0.233mm 깊이0.324mm 부피0.1510mm³ 선형결함)

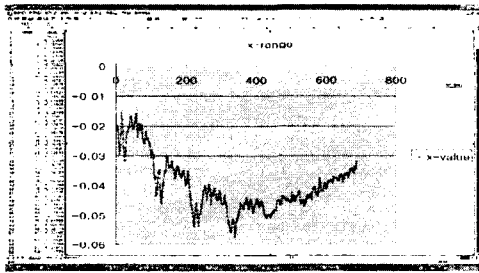


그림 10. EC3-타입 선형결함- 100kHz
 Fig 10. Type of EC3 linear crack for 100kHz
 (EC3:가로2mm 세로0.211mm 깊이0.253mm 부피0.1082mm³ 선형결함)

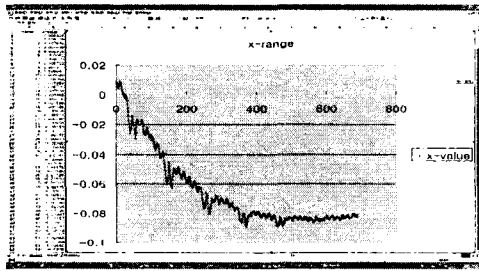


그림 11. EC4 타입 선형결함 - 100kHz
 Fig 11. Type of EC4 linear crack for 100kHz
 (EC4:가로2mm 세로0.132mm 깊이0.187mm 부피0.0443mm³ 선형결함)

모두 가로 2.0mm, 세로 0.169mm, 깊이 0.094mm(C5 크랙) 까지 탐상이 가능하도록 제작하였다. 기존의 탐상 방법에서는 신호의 크기로, 결함의 깊이를 알기에 어려움이 있었으나, 본 논문에서의 DSP를 이용한, 교류 누설 자속 탐상법은 결함의 깊이에 따라, 다른 누설 자속 신호의 크기를 얻음으로써 결함의 정량화가 가능할 수 있음을 보여줄 수 있게 되었다.

DSP320C31 DSP chip(floating연산가능)을 채택하여 자체 제작된 센서를 구동시키며 기존의 방법보다 정확한 Data를 산출을 위하여 1000개의 버퍼 입력 값 중 500번째 즉, 중심 Data값을 불러들여 LPF 처리 후 DVM 값을 엑셀로 띄우는 형식의 program 및 자체 보드를 제작하였으며, 사용되는 AD converting은 A/D7804, 12bit 처리를 수행할 수 있는 chip을 채택하였다. 또한 8255 확장포트를 사용 step motor 구동, 동시에 넓은 영역에 걸친 검사가, 기존의 방법보다 빠르고 정확하게 검사할 수 있도록 설계하였다. 또한, 시스템의 소형화를 위하여 자체 함수발생기를 8Hz에서 150kHz까지의 범위에서 듀티사이클, 전압증폭, 및 주파수의 가변을 할 수 있는 소형 시스템으로 제작하였으며, 이로 인하여, 시스템의 축소화 및 정확한 정량화와 함께 기존의 system 보다 가격적으로 저렴한 system 을 구축하였다.

DC 모터를 쓰는 것이 STEP모터를 쓰는 것 보다 정량화된 값을 얻을 수 있을 것 이라 생각했지만 STEP모터 DC 모터 둘다 샘플링 결과 거의 같은 결과를 보였으며, AD converting 의 샘플링을 늘임으로 좀더 정량화된 결과를 얻을 수 있음을 알아내게 되었다.

차후로 DSP의 연산속도의 장점을 살려 결함부분의 정량화된 결과를 가지고 어떠한 결함인지 fuzzy 알고리즘을 (membership 함수이용) 이용 실시간으로 어떤 결함이 어느 부분에서 발생했는지를 나타낼 수 있는 system 을 제작할 수 있으며, real time으로 관련지식이 부족한 사람들도 본 시스템을 가지고 결함이 어느 부분에서 어떤 결함이 생겼는지를 알 수 있는 시스템의 확장 또한 생각 할 수 있게 되었다.

VI. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 X-Y 탐상대를 직접 제작, 이를 이용하여 결함들에 대하여 search coil, differential induction sensor

Ⅶ. 참고문헌

- [1] 우준원, "금속 롤러에서의 교류누설자속을 이용한 금속 표면 결함탐상에 관한 연구", pp. 1-9, Feb. 2000. 한남대학교 물리학과.
- [2] M.. Uesaka, K, Hakuta, K. Miya, K. Aok A.Takahashi, "Eddy-Current testing by flexible Microloop Magnetic sensor array," IEEE Trans. Mag. Vol. 34, No.4, pp.2287-2297, July, 1988.
- [3] VEE pro User's Guide, Agilent Technologies, March, 2000.
- [4] VEE Pro Advanced Techniques, Agilent Technologies, March, 2000.
- [5] DAVID K. CHENG. "Engineering Electromagnetics," no3, pp. 256-276 반도출판사
- [6] 윤덕용, "DSP 마스터 시리즈 1 TMS320C31 마스터 TMS-31 키트," pp. 312-343 ohm사
- [7] 황재호, "-TMS 320-31 응용 - DSP 하드웨어에 의한 디지털 신호처리," pp.247-250 교우사
- [8] Digital Signal Processing LABORATORY 2000, 한백전자
- [9] DSP 하드웨어 실험키트에 의한 디지털 신호처리의 실현, 한백전자
- [10] 김재양, "다수의 모터를 구동하는 실시간 제어 시스템 구현에 관한 연구", pp.39, June, 1994.
- [11] 정화영, "DSP를 이용한 DC 모터 서보제어기의 구현", pp41, Oct, 1994.
- [12] 임형석, "교류누설 자속 탐상 시스템의 설계", pp89-98, Sept, 2003.

저자 소개

임형석

2002년 한남대학교
전자공학과 학사
한남대학교
광전자물리학과 학사.

200년 3월 ~ 현재
한남대학교 대학원
전자공학과 석사과정
〈관심분야〉 집적회로 설계, DSP,
Fuzzy, PID, NDT 등

이영훈

1973년 동아 대학교
전자공학과 학사

1980년 숭실대학교
전자공학과 석사

1984년 경희대학교
전자공학과 박사

2003년 3월 ~ 현재
한남대학교 정보통신멀티
미디어 공학부 교수
〈관심분야〉 집적회로설계

