

로봇을 이용한 자기장 측정 시스템 개발

Development of Magnetic Field Mapping System Using Robot

김만길*, 안인석**, 이평기***, 박상배****, 이성환*****

* 위덕대학교 정보전자공학과(전화:(054)760-1628, 팩스:(054)760-1506, E-mail : kimg1003@wsmail.uiduk.ac.kr)

** 위덕대학교 정보전자공학과(전화:(054)760-1623, 팩스:(054)760-1506, E-mail : isahn@mail.uiduk.ac.kr)

*** 위덕대학교 정보전자공학과(전화:(054)760-1621, 팩스:(054)760-1506, E-mail : pglee@mail.uiduk.ac.kr)

**** 위덕대학교 정보전자공학과(전화:(054)760-1622, 팩스:(054)760-1506, E-mail : sbpark@mail.uiduk.ac.kr)

***** 위덕대학교 정보전자공학과(전화:(054)760-1625, 팩스:(054)760-1506, E-mail : hwaney@mail.uiduk.ac.kr)

Abstract : This dissertation is reference to measure visual information about the configuration of magnetic field automatically and materialize the new magnetic field mapping system for the rapid and clear measure by using of the mediocrity orthogonal robot in the three-dimensional space required the measure of magnetic field concurrently. The measuring sensor is composed to be available for the measure of three-dimensional direction of magnetic field by vertically conjoining each of three hall sensors utilized of the hall effect and installed Gaussmeter, which is devised to receive the sensor result and the robot controller, away from the measuring robot in order to minimize the affection of magnetic field. Also, the controller and Gaussmeter are composed of Use interface, RS-232C and IEEE-488.2 communication. Interface system is written in NI's LabVIEW and composed to be able to set up a measuring area, the measuring number of times, two and three-dimensional graph, the velocity of robot and the magnetic field distribution graph of each element by inputting parameters. The materialized magnetic field mapping system expect the collection of the data easily and the effect of utilizing data.

Keywords : Cartesian Coordinate Robot, Magnetic Field Mapping, Magnetic Field Measurement

I. 서론

산업 기술의 발달로 인하여 자기장은 우리의 생활과 밀접한 관계를 이루고 있다. 우리가 비록 공기의 고마움을 모르고 살고 있지만 공기가 없이는 한 순간도 살수가 없듯이 자기장도 마찬가지이다. 일상생활에서 많이 사용하는 크고 작은 모터, 오디오 스피커, 텔레비전 브라운관에서부터 시작해서 거대한 댐의 수력발전기, 병원에서 사용하는 MRI(자기공명영상장치)등과 같이 자기장을 이용한 기구나 설비들은 우리 삶에 많은 부분을 차지하고 있다.[1][8]

이렇게 많은 크고 작은 자기장의 영향 속에서 생활하고 있는 우리는 자기장의 크기를 알아야 할 때가 있다. 예를 들어 모터나 스피커를 만드는 회사에서는 자기장이 발생하는 부품의 특성을 알아야 더 질 높은 품질의 모터나 스피커를 만들 수 있을 것이고 또한 자기장의 영향을 받지 않아야 할 곳에 자기장이 있는지의 유무를 판단하기 위해서도 자기장을 측정하는 시스템이 필요할 것이다. 특히 규모가 큰 부품이나 대량으로 생산되는 부품에서도 자기장을 측정하는 시스템이 필요하다. 이러한 자기장의 측정을 직접 손으로 행한다면 더 많은 시간을 필요로 할뿐만 아니라 일률적인 측정이 불가하여 정확한 측정값을 얻을 수 없게 된다.

거대한 코일의 자기장을 측정하기 위한 기존의 방법은 바닥에 모눈눈금을 그리고 그 모눈눈금의 위치에서 어

는 특정한 기구에 자기장센서를 장착하여 코일의 자기장을 눈금마다 일일이 측정하는 것이었다. 이러한 방법을 사용함에 있어 시간이 오래걸릴 뿐만 아니라 정확히 맞춘다해도 측정포인트마다 자장센서의 위치나 각도가 일률적이지 못할 때가 있다. 또한 미세한 눈금으로 자기장을 측정할 때 이러한 문제는 더욱 심각해짐을 알 수 있다.

본 논문에서는 지금까지 수동으로 진행되어 왔던 자기장의 측정을 자동으로 행함으로써 기존의 측정에서 발생한 문제점들을 보완하고 데이터의 수집을 쉽게 할 뿐만 아니라 데이터를 3차원 그래프로 나타냄으로써 자기장의 현상을 한눈에 볼 수 있는 시스템을 개발하는데 목적이 있다.

비교적 정밀한 제어가 가능한 범용적교로봇의 엔드이펙트에 300G~300kG까지의 측정 범위를 가진 Lakeshore사의 Hall 센서를 장착시킨다. 이때 Gaussmeter가 Hall 센서의 전압값을 받아 자기장을 측정한다. 그리고 LabVIEW를 이용하여 핵심기술인 측정 프로그램 및 User Interface를 개발, 훨씬 쉽고 빠른 측정을 행할 수 있고, 이로 인해 얻어지는 많은 데이터를 3차원 그래프로 나타내어 한눈에 자기장 현상을 볼 수 있다. 이러한 시스템의 개발을 통해 보다 쉬운 자기장 측정에 기여하고자 한다.

II. 자기장 매핑

전자석 및 영구자석 등에서 발생하는 자기장을 Mapping System을 이용하여 임의 평면이나 라인 좌표를 정하고 일정한 간격으로 자기장을 측정할 후 측정 데이터를 수집하여 저장하고 이를 이용한 그래프를 그려 인간의 눈에 보이지 않는 자기장의 세기를 한눈에 알 수 있게 가시화 시키는 것을 자기장 매핑이라 한다.

1. Surface Mapping

그림 1과 같이 사용자가 입력한 파라미터를 이용하여 측정할 평면을 지정하고 측정할 평면의 좌표를 설정한 후 측정점 배열을 형성하고 형성된 2차원 배열($n \times m$)을 따라 자기장을 측정하는 방식을 말한다.

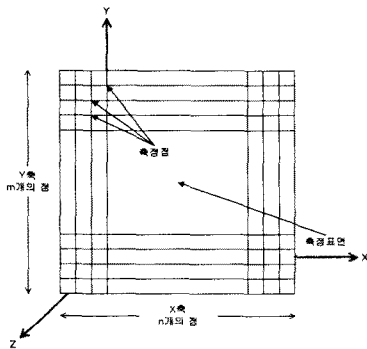


그림 1. Surface Mapping
Fig. 1. Surface Mapping

2. Line Mapping

그림 2와 같이 사용자가 입력한 파라미터를 이용하여 측정할 두 점을 지정하고 그 두 점을 양끝으로 하는 직선을 따라 좌표를 설정한 후 측정점 배열을 형성하고 형성된 배열(n)을 따라 자기장을 측정하는 방식을 말한다.

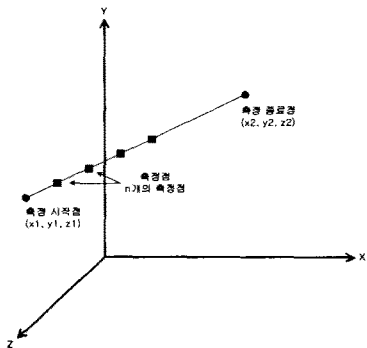


그림 2. Line Mapping
Fig. 2. Line Mapping

III. 시스템 구성 및 기능

1. 시스템 구성

본 시스템은 로봇, 측정장치 그리고 User Interface로 이루어진다. 개략적으로 로봇은 프레임과 3개의 직교축

그리고 제어기로 구성되고, 측정장치는 Hall 센서와 Gaussmeter로 구성된다.

시스템에서 프레임($885mm \times 885mm \times 3000mm$)은 선정된 로봇의 고정, 작업환경 및 설치공간 등을 고려하여 설계된다. 피측정 대상인 코일의 사이즈가 측정 로봇에 비해 크기 때문에 로봇의 이동이 불가피하므로 구조가 복잡하지 않고 가벼운 알루미늄 재질로 한다. 또한 로봇의 구성품인 모터나 센서부분이 자기장에 영향을 받지 않도록 로봇을 높이 들어줄 필요가 있어 프레임을 높게 설계한다. 프레임의 크기로 보아 프레임이 로봇을 안정하게 지지 하기에 부족하게 보일지 모르나 로봇이 고속으로 움직이거나 급격한 방향전환을 필요로 하지 않게 측정 알고리즘이 설계되었기 때문에 측정로봇을 지지하기에는 충분하다.

시스템에서는 3자유도를 가진 3축 직교로봇을 선정하였다. 선정기준은 역시 피측정 대상을 기준으로 해서 각 축($X = 1200mm$, $Y = 800mm$, $Z = 600mm$)의 길이가 결정되고 제어방식이나 말단장치에 부착될 기구의 영향을 받아 모터 및 제어가 선정된다. 피측정대상인 코일의 크기가 직경이 $1270mm$ 이고 높이가 $1200mm$ 의 규모를 가지므로 측정하고자 하는 코일의 내부 자기장 범위를 만족시키기 위해 충분한 축의 길이를 선정하였다. 로봇의 적재하중은 로봇 말단장치에 부착될 센서의 무게가 거의 무시될 만큼 작으므로 축의 무게만을 견딜 수 있으면 되기에 고려되지 않는다.

제어기는 뛰어난 능력은 없으나 운동능력을 담당하는 인간의 손과 같은 기능을 하는 것으로 컴퓨터에서 데이터를 받고 구동기의 운동을 제어하고 센서에서 오는 정보로 운동의 좌표축을 설정하는 기능을 한다.[2][3][4][9]

제어기는 Master Unit과 Slave Unit으로 구성되며, Master Unit으로는 단축제어만 가능하므로 본 시스템과 같이 3축을 가진 로봇을 제어하기 위해서는 2개의 Slave Unit을 접속하여야 한다. 본 제어기는 PTP(point to point)와 SEMI CLOSED 루프제어방식으로 제어하며 콤팩트한 외관으로 설치의 편리함을 가진다.[6]

자기장 센서로는 1879년에 발견된 Hall 효과를 이용하는 Hall 센서를 사용하였다. 코일의 규모에서 알 수 있듯이 피측정코일에서 커다란 자기장이 발생한다. Hall 효과는 다른 기술보다 분해능이 높진 않지만 본 시스템의 조건에 만족할만한 자기장 측정 범위를 가지며 구조 또한 간단하여 사용에 적합하다. Hall 효과는 전류가 흐르고 있는 도체가 자기장에 놓여져 있을 때 도체를 가로지르는 전압이 외부 자기장의 영향 하에 있을 때 도체에서 전자 drift가 일어난다. 이러한 움직이는 충전된 입자들이 자기장에 노출되었을 때 속도와 자기장 방향 둘다에 수직인 힘이 발생한다. 이러한 힘은 도체의 가장자리를 대전시키게 된다. 대전된 가장자리는 Lorents 힘과 관련된 자기장에 의해 같거나 반대 방향의 전기장을 형성한다. 이 도체의 폭을 가로지르는 전압을 Hall 전압이라고 부른다. Hall 전압은 아래 식 (1)과 같이 주어질 수 있다.[7][8]

$$V_H = \gamma_B B \sin \theta \quad (1)$$

여기서 V_H : 홀 전압 (mV)

γ_B : 자기 감도 (mV/kG)(고정전류에 의한)

B : 자속밀도 (kilo Gauss)

θ : Hall Generator의 면과 자속의 방향 사이의 각

위 식 (1)에서 알 수 있는 것처럼 Hall 전압은 감지된 자속과의 각(θ)에 의해 변한다. 자기장이 Hall Generator의 면에 수직일 때 \sin 값이 최대가 되어 홀 전압이 최대가 된다. 수직이 아닐 경우 아래 식 (2)에 의해 퍼센트 오차가 발생한다.

$$Error (\%) = (1 - \cos \theta) \cdot 100 \quad (2)$$

본 시스템에 사용된 Gaussmeter는 LakeShore사의 460 모델을 사용하였으며, 높은 정확성과 넓은 측정 범위를 가진다. 독립된 3개의 채널을 가지므로 3축의 입체적 자기장 측정이 한번에 가능하고, 뒷면에 채널별 자기장 값에 대응하는 $\pm 3V$ 출력이 있어 출력을 다른 용도로 사용이 가능하다. Gaussmeter는 병렬의 IEEE-488과 직렬의 RS-232C 두 가지 컴퓨터 인터페이스를 제공하며 모든 기능을 통신으로 제어가 가능하므로 User Interface로 제어를 수행하는 본 시스템에 적합하다. User Interface가 설치된 Host Computer와 직교로봇은 RS-232C 통신을 하고 측정장치는 IEEE-488.2통신으로 명령어와 데이터를 주고 받는다.[5]

2. 자기장 측정 과정

로봇 및 측정기 초기화는 소프트웨어 구동과 더불어 실행된다. 로봇의 초기화는 로봇의 위치를 Home으로 명명된 좌표(0,0,0)로 이동시키고 속도 및 이동 정밀도 등을 프로그램을 통해 설정한 후 PC로부터 명령을 전달받는 상태인 Remote Mode로 전환한다. 측정기의 초기화는 센서의 측정값 범위 등을 설정하고 역시 Remote Mode로 전환한다. 측정점 Array는 측정점들로 이루어진 배열로써 자기장을 측정할 위치를 의미한다. 본 소프트웨어는 직교좌표계에서 X평면, Y평면 혹은 Z평면에 나란한 임의의 평면에서 자기장을 측정하는 방식과 임의의 두 점을 양 끝점으로 하는 직선을 따라 자기장을 측정하는 두 가지의 측정방식을 가지고 있다. 사용자가 정해진 파라미터를 입력하면, 소프트웨어는 로봇이 이동해야 할 좌표를 계산하여 측정점 Array를 구성한 후 측정이 시작되는 위치로 로봇(말단위치에 부착된 자장센서)을 이동시킨다. 측정점에 도달한 로봇은 한 위치에서 여러 번 자기장을 측정하여 평균을 취한다. 이는 로봇 이동시의 진동이 자기장 측정의 정밀도를 떨어뜨리는 것을 최소화하기 위한 것이다. 자기장센서에 의해 n회 측정된 자기장은 전압값으로 변환되어 측정기에 입력되고 측정기는 이 값을 자기장의 세기로 변환하여 IEEE 488.2통신을 통해 PC로 전송한다. PC에서는 오차율을 최소화하기 위해 측정기로부터 받은 데이터 값을 모두 더한 후 그 수로 나눈다. 측정값을 화면에 수치 및 그래프로 나타냄

과 동시에 파일로 저장하게 된다. 이런 순서를 통해 측정점 Array 구성에서 정해진 횟수만큼 로봇을 이동시켜 측정을 계속하게 된다. 정해진 모든 점에서 측정이 끝났을 경우 로봇을 Home으로 복귀시킨 후 측정을 마치게 된다.

IV. 구현 및 결과

1. User Interface

LabVIEW는 범용 언어로써 장비와의 통신 기능이 강화되어 상용이 용이하고, 특히 그래프를 이용한 User Interface 구현이 쉽다. 그리고 프로그램의 모듈화로 향후 Version의 개선이 자유롭게 이루어 질 수 있다.

그림 3은 축의 속도가 1, 측정 대기 시간이 3초이고, 한 측정점에서 측정 횟수가 5로 설정된 X, Y, Z축 3차원 공간에서의 Mapping동작을 하는 User Interface를 나타낸 것이다. 또한 3차원 그래프에선 Graph Control 기능이 없지만 2차원 그래프의 하단에 있는 Graph Control을 이용하여 각 포인트의 값을 수치로 나타내어 자기장 값의 해석을 용이하게 하고, 자기장의 측정에 따라 그래프 모양을 변화시킬 수 있어 더욱 확인이 편한 자기장 해석이 가능하다. 몇 가지의 Tap Control를 이용하여 Surface 및 Line Mapping과 그래프의 2D/3D 및 각 성분(Bx, By, Bz, |B|)별 자기장 값의 원하는 성분의 그래프를 선택하여 볼 수 있으므로 편리한 자기장 해석이 가능하다.

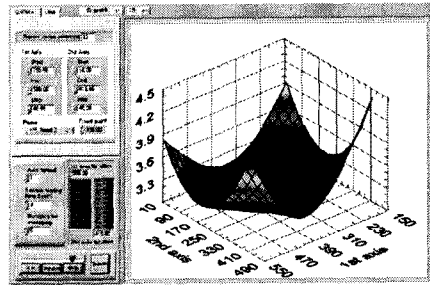


그림 3. 3D Surface Mapping User Interface

Fig. 3. 3D Surface Mapping User Interface

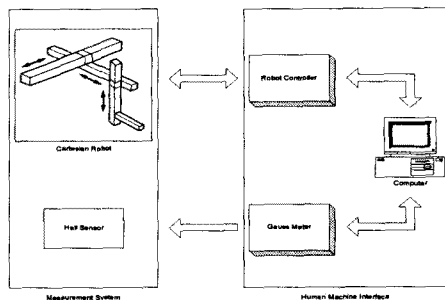


그림 4. 시스템 개략도

Fig. 4. System Diagram

2. 시스템 구현

대형 원형 코일 내부에 로봇 지지프레임을 세우고 그 위에 로봇을 설치하여 로봇에서 멀리 떨어져 있는 HMI(Human Machine Interface) System에서 측정에 필요한 파라미터를 User Interface를 통해 입력하고 측정을 시작하면 측정이 자동으로 이루어지게 된다. 측정에서 얻어진 모든 Data 및 Graph가 HMI에서 확인이 가능함과 동시에 지정된 파일에 자동 저장된다.

본 측정 시스템의 전체 개략도를 그림 4에서 보이고 실제 구현하여 적용된 시스템을 그림 5에서 보인다.

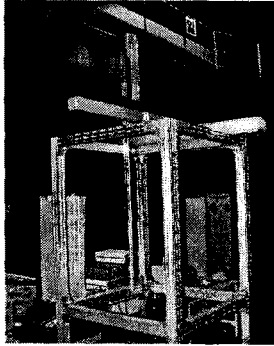


그림 5. 실제 적용된 로봇과 센서
Fig. 5. Fact, applied robot and sensor

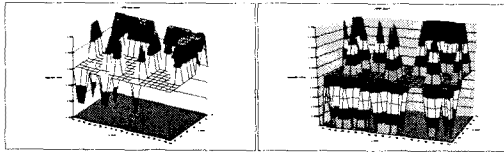


그림 6. Surface mapping B_x graph (Left)

Fig. 6. Surface mapping B_x graph (Left)

그림 7. Surface mapping B_y graph (Right)

Fig. 7. Surface mapping B_y graph (Right)

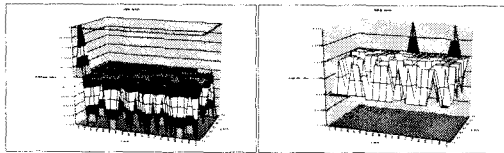


그림 8. Surface mapping B_z graph (Left)

Fig. 8. Surface mapping B_z graph (Left)

그림 9. Surface mapping $|B|$ graph(Right)

Fig. 9. Surface mapping $|B|$ graph(Right)

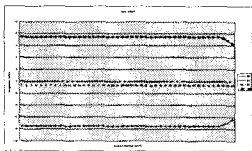


그림 10. Line mapping ($B_x, B_y, B_z, |B|$) graph

Fig. 10. Line mapping ($B_x, B_y, B_z, |B|$) graph

3. 결과

시스템으로 측정된 자기장의 값을 파일로 저장하고 저장된 각 성분별 데이터를 위의 그림 6 ~ 그림 10에 보인다. 데이터 값의 자동저장으로 측정 속도가 빨라지고, 많은 데이터의 보관이 편리해졌은 물론 보관된 데이터를 이용하여 표나 그래프로 나타냄으로 더 우수한 코일의 생산을 기대할 수 있다.

V. 결론

본 논문을 통해 자기장의 측정이 필요한 임의 공간에서 자기장의 측정을 자동화하고, 획득된 데이터들의 처리를 용이하게 하는 자기장 매핑 시스템이 개발 되었다. 범용 직교 로봇과 일반 연구용 계측기간의 상호 통신을 용이하게 하고 자기장을 3차원 그래픽으로 가시화 할 수 있는 기능을 가진 User Interface를 개발하였다. 산업 현장에서 사용되는 직교 로봇을 연구 개발 장비로 활용하여 자기장 관련 분야 연구의 효율성을 높이게 되었다. 이는 실제 로봇과 자기장센서를 사용하여 자기장을 측정하는 검증 절차를 거쳤다. 또한 자계 형상에 대한 특성 해석의 구현으로 인하여, 이를 필요로 하는 MRI등 산업용 전자석에 향후 응용된다면, 산업용 마그넷 시스템의 최적화에 많은 향상을 가져오는 효과를 볼 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 수작업에 의해 진행됨에 따라 데이터의 부정확성 및 시간 지연 등의 문제점들이 해결되어 대용량 자계 형상 데이터를 필요로 하는 시스템의 운용에 상당한 효과를 가져 올 것이다. 모니터링 시스템 구축의 원천기술 확보 및 본 개발품의 현장 적용으로 생산품의 품질개선과 원가절감 등의 효과가 기대된다.

참고문헌

- [1] Kidong Oh, Optical Fiber Farot Interferometer based Sensor Instrumentation System for Low Magnetic Field Measurement.
- [2] James G. Keramas, Robot Technology Fundamentals
- [3] Klafter, Chmielewski, Negin, Robotic Engineering An Integrated Approach
- [4] Spong, Vidyasagar, Robot Dynamics And Control
- [5] LakeShore Corp., Model 460 Manual
- [6] Shibaura Machatronics Corp., Roibot Manual
- [7] James E. Lenz, A Review of Magnetic Sensors, 1990 IEEE
- [8] 손대락, 자기센서의 개발동향 및 응용
- [9] 김정하, 엄영일, 로봇공학, 사이텍미디어