

초전도 모터의 상태진단을 위한 데이터 신호 무선처리 기법개발

서경철[†]·이민래^{*}·이준현^{*}·권영길^{**}·손명환^{**}

Development of the Wireless Technique for Health Monitoring of Superconducting Motor

K.C. Seo, M.R. Lee, J.H. Lee, Y.K. Kwon, and M.H. Shon

Key Words : superconducting motor(초전도 모터), wireless technique(무선처리기법), health (condition), monitoring(상태진단), slip ring(슬립링), low temperature(저온), temperature sensor(온도센서)

Abstract

This research is to development advanced health(condition) monitoring system of superconducting motors. Development of advanced condition monitoring systems offers the prospect of improved performance, assessment, and operation, simplified design, enhanced safety, and reduced overall cost of advanced and next generation superconducting motor. For advanced and next generation superconducting motor design, the opportunity exists to develop and implement real-time and continuous monitoring systems by integrating wireless and computational technique.

Generally, condition monitoring and control of temperature is essential for managing the superconducting motor components, rotor and structures. In this research, development of advanced monitoring in low temperature and high speed operating environments offers the potential to greatly improve the control of harsh environments. In conventional method, slip rings have been used to acquire data from these sensors. However, the increase of sensors leads to vibration of the rotation axis and noise signals due to kinematics contact. In this study, the wireless data acquisition technique was employed to develop more stable monitoring system adequate for high speed rotating system.

1. 서 론

초전도 모터는 기존의 발전기나 모터 등과 같은 회전기의 계자코일을 초전도한 것으로서 계자의 발생 자장을 크게 높임으로써, 기기의 효율과 출력을 높이고, 소형화 및 경량화, 안정도 향상 등의 많은 장점을 가지고 있다. 즉 동급 마력의 경우 무게와 부피를 1/2이하로 줄일 수 있고 같

은 크기에서는 출력을 2배 이상 증가시킬 수 있으며, 전기자권선은 높은 전기절연 능력을 갖는 재료로 지지가 되므로 대지와 절연 전압용량을 증대시킬 수 있어 충분히 높은 전압에서 운전이 가능하다. 또한 과열이나 절연파괴로 인한 정지 사고의 위험이 적을 뿐만 아니라 모터의 내부가 공심형으로 기존의 철로 된 고정자의 슬롯 형상의 요철에 의해 발생하는 잡음 및 진동현상이 기존의 모터보다 훨씬 적다.⁽⁵⁾

그러나 저온 초전도 모터의 경우, 고(전)압, 고에너지밀도 및 대용량화를 위하여 전기 저항이제로인 초전도 상태에서 이용되며 구조적으로 복잡한 냉각 시스템 및 단열 시스템이 요구된다.

특히, 장시간에 걸친 고자장, 고전류밀도 하에

[†] 부산대학교 대학원 기계설계공학과
E-mail: skckindom@pusan.ac.kr
TEL: 051)510-3078 FAX: 051)512-9835

^{*} 부산대학교

^{**} 한국전기연구원 초전도응용연구그룹

서의 초전도 계자코일 특성은 모터의 효율 및 안정성에 중요한 영향을 미치게 된다. 따라서 초전도 모터를 안정성 측면에서 보다 효율적으로 적용하기 위해서는 회전체 내부의 초전도 계자에 대한 실시간 모니터링이 필수적이다.

일반적으로 초전도 모터의 경우, 초전도 모터의 상태 감시를 위해서 초전도 계자권선 각 부에는 온도 측정을 위한 온도센서 뿐만 아니라 자장의 세기를 검출하기 위한 홀 센서 및 기체 헬륨의 압력을 측정하기 위한 압력 센서 등이 취부된다. 이들 센서의 신호들을 외부에서 모니터링하기 위해서 기존의 방식은 모터의 축상에 슬립링을 설치하여 여러 개의 브러시를 통해 각 센서의 신호들을 취득하고 있다. 하지만 이러한 방법은 센서의 수가 많아질수록 브러시의 수가 증가하여 축이 길어질 뿐만 아니라 이로 인해 축계의 진동 문제가 발생할 수 있으며 브러시의 기계적 접촉에 의한 신호 전송에 노이즈가 발생할 수 있다.

현재 구미 선진국에서는 이러한 초전도 모터의 내부 안정성을 확보하기 위한 방안으로서 여러 가지 모니터링 기법들이 사용되어지고 있으며, 그 중에서 특히 초전도 기기의 온도를 검출하기 위한 방안으로서 광섬유(Fiber optic)을 이용하여 온도를 모니터링 하는 연구들이 진행 중에 있다. 그러나 레이저를 이용한 온도검출방법은 노이즈에 상당히 민감할 뿐만 아니라 모니터링하기 위한 부수적인 장비들도 상당히 고가이다.

따라서 이러한 여러 가지 문제들을 해결하기 위해서 고속회전시스템에 가장 적절하다고 판단되는 무선전송방식을 이용한 신호전송기법을 개발하여 보다 안정적인 감시진단기법으로서의 그 타당성을 평가하고자 하였다.⁽¹⁾ 즉 본 연구에서는 무선 텔레메트리를 이용한 RF 방식의 신호 전송장치를 개발하게 되었다. 이 방식은 회전자나 축상에 탑재된 무선 신호 전송장치에서 센서 신호들을 디지털 값으로 변환한 후 RF신호로 변조하여 송수신하는 방식으로 회전자의 속도에 관계없이 원거리 까지 안정되게 수신할 수 있으며, 현재 8개의 센서 신호를 동시에 측정할 수 있으며 확장 또한 가능하도록 하였다. 본 시스템은 배터리를 사용함으로써 텔레메트리 크기를 최소화, 경량화 하였으며, 8시간 까지 연속 사용이 가능하며 자체 충전이 가능하도록 제작하였다.⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

Fig. 1은 초전도 모터에 기존의 슬립링을 이용한 신호전송 방식을 나타낸 사진이다.

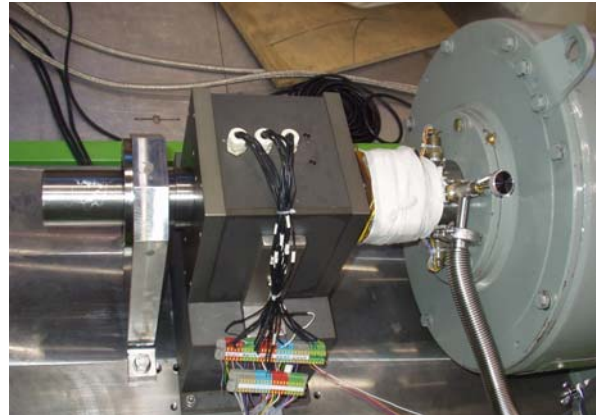


Fig. 1 Slip-ring installation

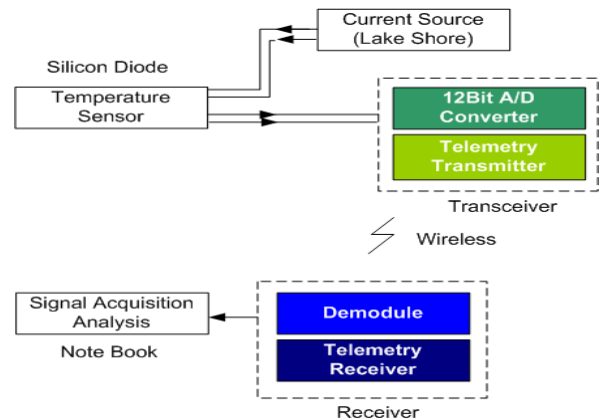


Fig. 2 Schematic diagram of wireless data acquisition system

2. 온도센서 무선송수신 장치 개발

본 연구에서 개발된 온도센서 무선 송수신 장치의 구성은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 송신부(transceiver)와 수신부(receiver)로 나뉘며 송신부는 무선 마이크로 프로세스 보드와 A/D보드(PCB) 및 안테나와 배터리로 이루어지고 수신부는 PC의 시리얼 포트에 연결되는 RF 수신부로 구성되어 있다.

온도센서(DT470) 무선송수신 장치는 소형, 경량화로 크기는 60mm×70mm 이며, 7.5V 배터리전압을 사용하도록 하였다. 무선 송수신 시스템의 출력전압은 0~1.7V DC전압이며, 데이터에 대한 검출 분해능은 12bit Resolution 로서 약 0.415mV

이다. 이는 실리콘 다이오드 온도센서의 감도 약 2배 정도 높게 구현하였다.

한편, 초전도 모터의 온도센서로부터 검출된 신호는 수신부의 A/D보드를 통해 디지털 신호로 변환되어 송신부로 무선 전송된다. 이 때 데이터 전송은 각 채널에서 샘플링이 60Hz 정도로서 모두 8채널에서 동시에 송수신할 수 있도록 하였다. 초전도 모터에 사용된 온도센서는 CGR 센서와 실리콘 다이오드 센서를 사용하였고 본 연구에서는 무선 데이터 송수신 장치를 실리콘 다이오드 센서에 적용하였다. 실리콘 다이오드 센서의 감도는 33.6mV ~ 2.41mV 로 온도에 따라 정해진 전압값(voltage)을 출력하게 된다.

Fig. 3은 본 연구에서 개발된 온도센서 무선 송수신기를 나타낸 사진이며 Fig. 4는 현재 100마력급 초전도 모터에 무선 송수신장치를 원형 지그를 제작하여 부착한 사진을 나타낸 것이다.

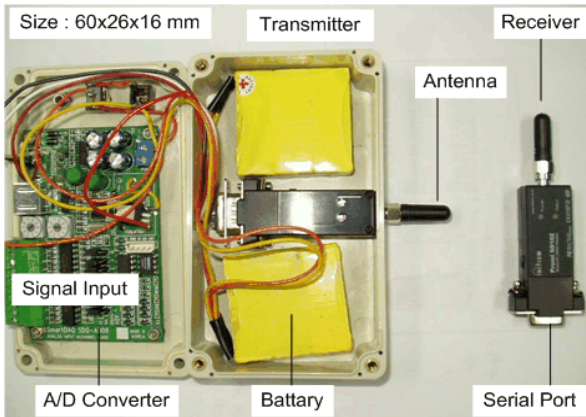


Fig. 3 Wireless data acquisition system



Fig. 4 Wireless transmitter attached on the shaft of superconducting motor

3. 재료 및 실험방법

본 연구에서는 현재 개발 중인 100마력급 고온 초전도 모터 모델기(100hp, 4극, 1800rpm, 30kVA)를 대상으로 기존에 사용하던 슬립링 방식에 의한 감시 시스템과 개발된 무선 송수신 시스템간의 특성실험을 비교 분석하였다.

먼저, 초전도 모터의 회전자 내부의 온도상태 감시를 위한 센서는 실리콘 다이오드 센서(DT-470)와 극저온용 CGR 온도센서를 부착하였다. 본 연구에서는 실리콘 다이오드 온도센서에 대해서 무선 송수신 실험을 수행하였다.

Fig. 5, 6은 실험의 전체적인 개요도 및 무선송수신기의 부착상태를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 초전도 모터 회전자 내부에 부착된 각각의 온도 센서로부터 취득한 아날로그 신호들은 RF 송신기에서 디지털 신호로 변환한 뒤 수신기로 무선 전송된다. 전송된 신호는 실리콘 다이오드 온도센서 특성곡선식에 따라서 보간법을 거쳐 전압값(Voltage)으로 나타나며 절대온도(K)값으로 내부 온도상태를 나타낸다.

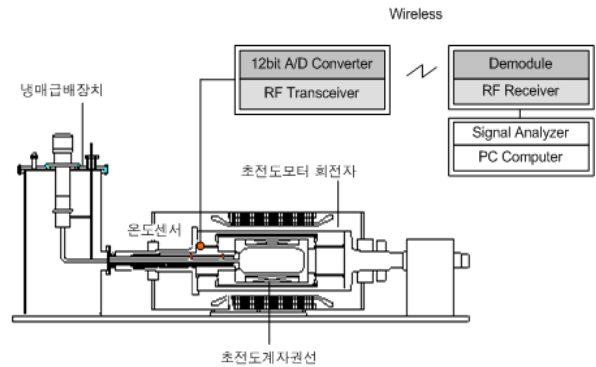


Fig. 5 Schematic diagram of experiment set up



Fig. 6 Wireless transmitter

4. 실험결과

4.1 모의 테스트 베드에서의 실험결과

4.1.1 회전수에 따른 데이터 송신기 측정결과

Fig. 7은 실험실에서의 모의 테스트베드에서 모터의 회전수에 따른 실리콘 다이오드 센서의 데이터 송수신 실험을 수행한 결과이다.

먼저, 정지상태에서 모터가 회전할 때 회전속도에 따른 데이터 전송의 상태변화를 정확히 관찰하기 위하여 모터를 정지시킨 상태에서 데이터를 송수신하기 시작하여 데이터를 송수신 하는 동안 모터의 회전속도를 연속적으로 변화시키며 데이터를 취득 하였다. 데이터 측정시의 모터 회전수는 0~1500rpm까지 변화시켜가며 지속적으로 데이터를 수신하였다.

모터가 정지상태에서와 각각500rpm, 1000rpm, 1800rpm으로 회전할 때 수신되는 온도센서 데이터는 그림에서 보는 바와 같이 회전수의 변화에 따라 영향을 거의 받지 않고 있으며, 이는 기존의 슬립링을 이용한 데이터 측정시스템(218model)의 결과와 비교해 볼 때 무선 송수신에서 취득한 데이터 값은 0.5286V로 무선 송수신기를 통해 수신된 데이터의 최대차이가 0.0008V로 절대온도 (1K)로 환산했을 때 센서보정값의 범위에 미치지 못하는 값으로 충분히 사용 가능함을 확인하였다. Fig. 8은 모의 테스트 베드에서의 실험장치를 나타낸 것이다.

4.1.2 거리에 따른 데이터 송수신 측정결과

Fig. 9는 무선 송수신 거리에 따른 온도센서 데이터를 나타낸 결과이다.

먼저 모터 측상에 무선 송수신 시스템을 설치하고 난 다음, 거리에 따라 데이터 송수신 상의 왜곡현상이나 급격한 변화를 관찰하기 위해 위치를 이동하면서 연속적으로 데이터를 송수신하였다. 프로토 타입으로 개발된 현재의 무선 송수신 장치에서는 안테나를 통해 30m 정도까지(송신부와 수신부 사이에 장애물이 없을 경우)데이터 송수신이 가능했으며 30m 이상의 거리에서는 데이터가 잘 수신되지 않았다. 그러나 무선 송수신 시스템에서 송수신 가용범위 내에서 거리에 따라 수신데이터의 왜곡현상 등의 다른 영향은 나타나지 않았다. 또한 송수신부 사이에 콘크리트 벽이나 다른 장애물이 존재할 경우 데이터 송수신이

가능한 거리가 짧아지는 것을 확인 할 수 있었다. 본 실험에서는 컨트롤 부와 초전도 모터 간의 거리가 30m이내로서 기존의 유선을 이용한 방법과 비교해 볼 때 충분한 타당성을 확인하였다.

한편, 무선 송수신에서 취득한 데이터 값은 앞선 회전수에 따른 실험결과와 마찬가지로0.5286V

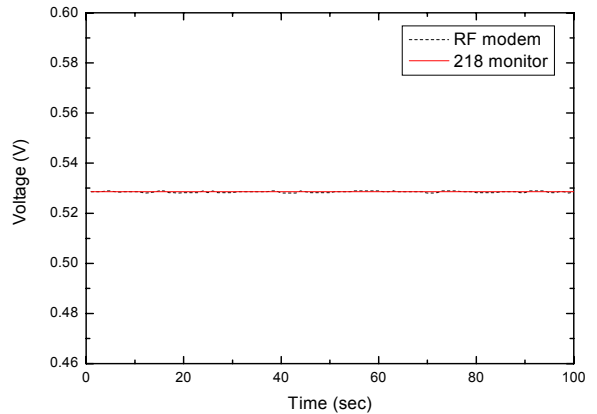


Fig. 7 DT470 sensor signal due to the variation of rotating speed

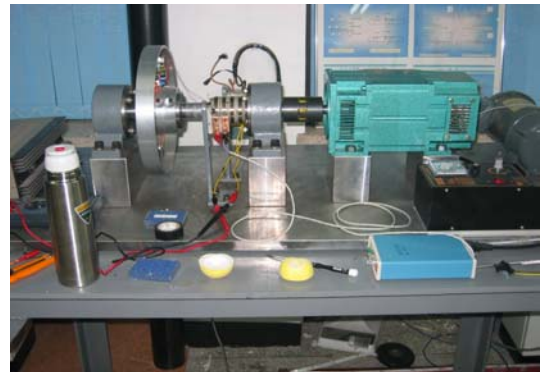


Fig. 8 Installation for simulation test

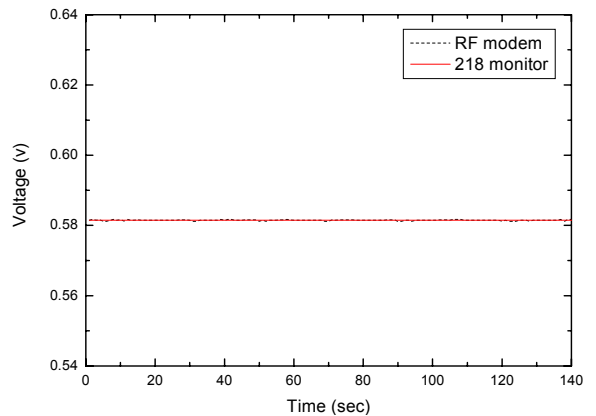


Fig. 9 DT470 sensor signal due to the variation of conveyance distance

로서 무선 송수신기를 통해 수신된 데이터의 최대차이가 거리에 따라서 모니터링기준치(1K)에 미치지 못하는 값으로 충분히 사용 가능성을 확인하였다.

4.2 실제 현장에서의 초전도 모터 실험

실제 초전도 모터에서는 극저온으로 냉각 되는 부위의 온도 감시는 CGR 센서를 사용하였고 실리콘 다이오드 센서는 토크튜브, 냉각기와 모터가 연결되는 부분, 냉매가 흘러가는 외부에 사용되었다. 초전도 모터의 운전상태에서 극저온 부의 온도는 20~30K 사이로 유지되지만 실리콘 다이오드 센서가 계측하는 온도 범위는 150K~280K으로 초전도 모터의 냉각부에서 비교적 온도가 높은 부분의 감시를 위해 사용된다.

본 연구에서는 실제 현장에서의 100마력급 초전도 모터의 온도상태를 모니터링하기 위해서 실리콘 다이오드 센서를 대상으로 실험을 수행하였다. 먼저 무선 데이터 송수신 시스템을 실제 모터에서 슬립링과 본체 사이의 커넥터가 있던 부분에 설치하고 초전도 모터 내부의 실리콘 다이오드 센서에서 데이터를 측정하였다. 앞선 모의 테스트 베드에서 측정한 방법과 마찬가지로 기존의 Model-218 장비와 개발된 무선데이터 송수신 시스템을 사용하여 동시에 수신하면서 두 데이터를 비교 분석하였다.

Fig. 10은 100마력급 실제 초전도 모터에 대해서 상온상태에서, 기존의 Model-218 monitor 장비에서 측정한 결과와 무선 송수신 시스템을 이용하여 측정한 결과값을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이, 기존의 Model-218 시스템을 사용하여 수신한 데이터값은 0.5301V로서 무선 송수신 시스템을 사용해 측정한 데이터와의 최대 오차값은 +/-0.0007V로 온도차로 환산하면 0.4K정도의 값으로 충분한 정확도를 가짐을 알 수 있었다.

Fig. 12, 13은 실제 운전 중인 초전도 모터에서의 온도변화를 측정한 결과이다. 초전도 모터에서 실리콘 다이오드 센서의 위치는 Fig. 11과 같다. Fig. 12는 기존의 Model-218 측정 장비로부터 측정한 결과이며 Fig. 13은 무선 송수신 시스템으로부터 측정한 결과이다. 기존의 모니터링 장비에서는 데이터 샘플링이 약 3Hz 정도이며 무선 송수신 시스템은 60Hz 정도이다.

그림에서 보는 바와 같이, 가동 중인 초전도 모터에서의 무선 송수신 시스템의 측정 결과값은 기존의 Model-218 측정 장비와 비교해 볼 때 매우 정확한 결과값을 나타내었으며, 무선 송수신 시스템의 적용 가능성을 확인하였다.

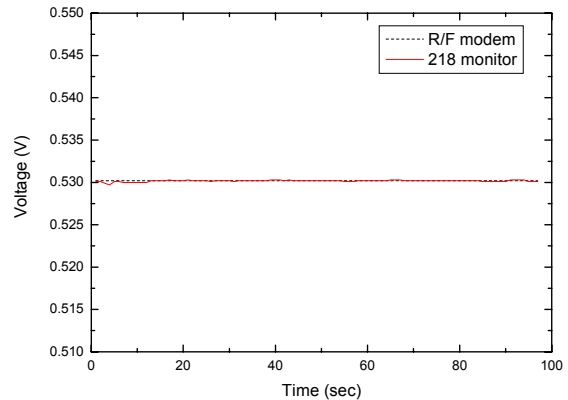


Fig. 10 DT470 sensor signal in the normal temperature

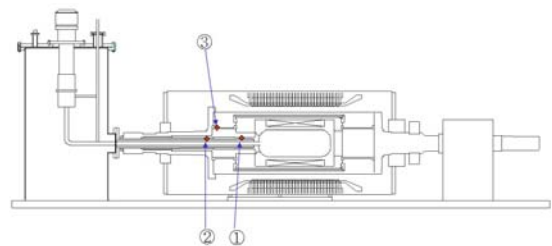


Fig. 11 Position of DT470 sensor in superconducting motor

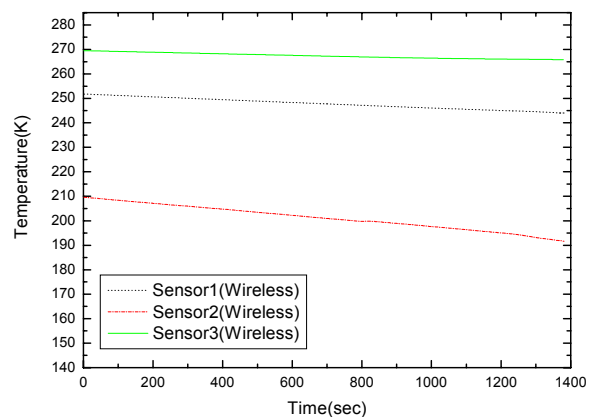


Fig. 12 Temperature of superconducting motor in operation (218 Monitor)

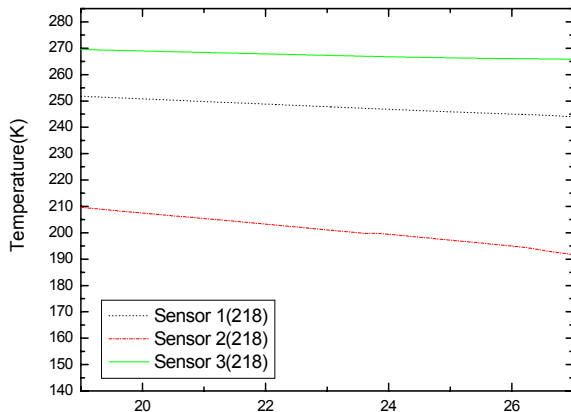


Fig. 13 Temperature of superconducting motor in operation (Wireless system)

4. 결 론

본 연구에서는 100마력급 초전도 모터의 개발에 따른 초전도 모터의 온도 상태를 실시간으로 감시하기 위하여 슬립링을 사용하던 기존방법의 단점을 보완하기 위하여 고속회전체에 적합한 무선 송수신 장치를 개발 하였다.

본 연구에서는 모의 테스트 베드에서의 무선 송수신 실험과 실제 현장에서의 초전도 모터에 대한 데이터 무선 송수신 실험을 수행하였으며, 기존의 모니터링 장비와 온도 상태의 감시를 비교, 분석하였다.

실험결과, 기존 모니터링 장비와의 비교해 볼 때 개발된 무선 송수신기를 사용하여 측정된 데이터와의 오차는 초전도운전 정상조건 범주인 $\pm 5K$ 미만이며, 이는 실제 초전도 모터 운전 시 초전도 상태에 문제가 되는 $\pm 5K$ 의 2% 이하의 오차로서 초전도 모터의 온도상태 감시에 충분히 활용될 수 있는 것으로 판단 된다. 또한 현재 초전도 모터에 장착되어지는 CGR 센서나 홀 센서의 수신에도 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대 된다.

후기

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Sung-Chul Lee, Ji-won Seo, 2003, "Remote Measurement for ECU Self-Diagnostic Signals Using RF Wireless Module," Technology Research. Vol. 34, pp137~146
- (2) Hack-Sun Kim, Yu-Song Yun "A Study on the Analysis and Design of Wireless LAN RF Transceiver System," Korean navigation institute Vol 6, No 4, pp296~306
- (3) Kwang-Seok Yun, Joonho Gil, Jinbong Kim, Hong-Jeong Kim, 2004, "A miniaturized lowpower wireless remote environmental monitoring system based on electrochemical analysis," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 102, Issue 1, pp. 27-34
- (4) Won-Suk Jang, Hong-seung Hong, Dong-Myung Jung, Byung-ik Kang, 1995, "A Study on the transfer system of the remote medical information using the RF Communication Network," WonKwang Bionics Vol. 2, No. 1, pp. 41-52.
- (5) Ock-Bae Hyun, 2001, "Superconduction material of High temperature," Metals and Materials Vol.14, No. 4, pp. 19-29.
- (6) Lake Shore "DT-470 Installation Instruction," .