

고주파 신호전송을 위한 고투자율 자심재료의 특성

김현식, 김종령, 김기욱, 이준희, 변우봉*, 박병석**, 이태영**
(주)매트론 기술연구소, 한국전기연구원, *한전전력연구원

Properties of High Permeability Magnetic Materials for Signal Transmission at the High Frequency

Hyun-Sik Kim, Jong-Ryung Kim, Ki-Uk Kim, Jun-Hyei Lee, Woo-Bong Byon*, Byung-Seok Park**, Tai-Young Lee**
MATTRON R&D Center, *KERI, **KEPRI

Abstract : 전력선 통신을 위한 커플러용 자심재료의 열처리 온도증가에 따라 결정이 성장하여 인덕턴스는 증가하였고, 550℃ 이상에서는 포화점을 나타내었다. 커플러는 자심재료의 투자율이 높을수록 커플러의 저주파 대역의 신호전송 특성이 우수하게 나타났지만, 주파수 증가에 따라 급격히 저하하는 불안정한 특성을 나타내었다. 그리고 절단면 사이의 Air gap 증가에 따라 10 MHz이하의 주파수 대역에서 신호전송특성이 급격히 감소하였고, 허용전류는 직선적으로 증가하였으며 Air gap이 600 μ m이상일 때 300A의 전류에서 특성을 발휘하였다.

Key Words : Inductive Coupler, PLC, Magnetic Material, Signal Transmission

1. 서 론

전력선 통신(Power Line Communication)은 전력선에 고주파 통신신호를 커플링하는 방식으로 최근 이에 대한 연구가 광범위하게 진행되고 있다. 전력선 통신은 전력선에 흐르는 통신신호를 가옥 내의 모뎀으로 최소 손실로 전송시켜야 하는데, 주상변압기를 통과한 음성 및 데이터는 수 MHz 이상에서부터 열적 손실에 따른 전송신호의 감쇄가 발생하여 신호전송 특성이 현저히 감소하게 된다. 이와 같은 신호전송 문제는 커플러(Coupler)를 통해 해결하게 되는데, 커플러는 고압선에서의 통신을 위해 필요한 통신 신호만을 선별하여 커플링 해주는 역할을 하는 전력선 통신에서의 핵심부품으로 고조파와 같은 노이즈뿐만 아니라 전송하고자 하는 통신신호까지도 변압기를 통해서 전송할 수 없으므로 커플러는 브리지 회로를 고압 주상변압기의 전·후단이 연결되도록 장착하여 신호전송 특성을 향상시켜주는 역할을 한다. 여기서 커플러는 점접촉식과 비점접촉식으로 나누어볼 수 있는데, 점접촉식의 경우 전력선에 직접적으로 연결되기 때문에 신호전송특성은 우수하나 체결의 위험성, 작업의 어려움, 높은 단가 등으로 인해 응용의 한계를 드러내고 있다. 반면 자기유도방식을 이용하는 비점접촉식은 전력선 외부에 쉽게 체결할 수 있고, 2~30MHz의 주파수범위 내에서 -5 dB 이상의 신호감쇄 특성만으로 적용가능하다고 할 수 있다. 이 비점접촉식 커플러의 신호감쇄 특성을 좌우하는 것은 자심재료라고 할 수 있는데, 전력선에는 수백 A의 전류가 흐르기 때문에 높은 투자율과 높은 포화전류 특성을 나타내어야 한다.

하지만 고투자율의 금속자심재료의 경우 해외기술에 의존하는 경우가 많고, 전력선 통신용 커플러에의 적용은 실행된 경우가 없으므로, 본 연구에서 금속계 고투자율 자심재료의 공정과 평가를 통해 고주파 신호전송의 매체로서의 응용성을 평가하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에 사용된 자심재료의 원료는 Fe계 금속재료로서, 8℃/min의 속도로 500℃까지 승온시키고 530~560℃의 범위까지 1℃/min의 속도로 승온시킨 후, 1시간 유지시켜 열처리하고, 공기 중에서 냉각시켰다. 냉각된 자심재료는 약 500℃에서 어닐링하여 내부스트레스를 제거하였다.

커플러 구성을 위해 내경×외경이 각각 64mm×94mm인 자심재료를 제조하였으며, 자심재료는 자심재료의 적층 및 고주파 임피던스 매칭을 통한 커플러 구성 후 전력선에 체결할 수 있도록 반원기둥 형태로 절단하였으며, 절단면 사이의 0~1000 μ m의 Air gap에 따라 신호감쇄 및 허용전류 특성을 측정하였다.

자심재료 및 커플러의 특성평가는 열처리 온도에 따른 결정상 형성을 XRD를 이용하여 분석하였고, 미세구조 및 결정상 분석을 각각 SEM과 TEM을 이용하여 분석하였으며, 제조된 코어의 인덕턴스를 Impedance Analyzer(4294A)를 이용하여 1~100MHz까지 측정하였다. 그리고 커플러의 신호 감쇄특성(S21)을 Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 열처리 온도에 따른 금속코어의 인덕턴스의 변화를 나타낸 것으로, 온도증가에 따라 결정이 성장하여 성장함으로써 인덕턴스는 증가하고, 550℃ 이상에서는 포화점을 나타내었다.

그림 2는 커플러의 구성에서 고주파 대역의 신호전송을 위한 회로와 임피던스 매칭을 제외한 상태에서 신호감쇄특성을 측정한 것으로, 온도증가에 따라 저주파 대역의 신호감쇄특성은 증가하였지만 10MHz 이상의 고주파 대역에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 자심재료의 저주파 대역에서의 인덕턴스 변화와 일치하는 경

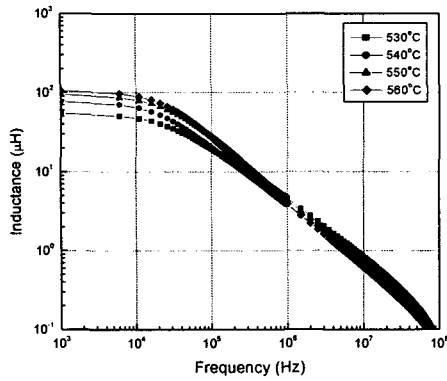


그림 1. 열처리온도에 따른 인덕턴스 변화

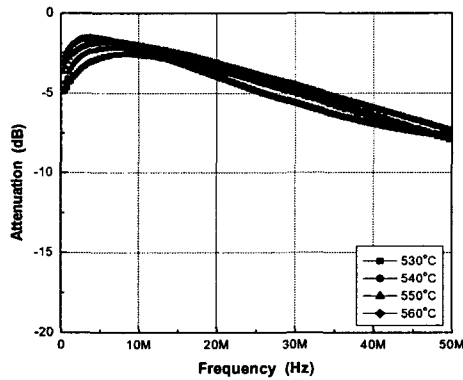


그림 2. 열처리온도에 따른 신호감쇄 특성

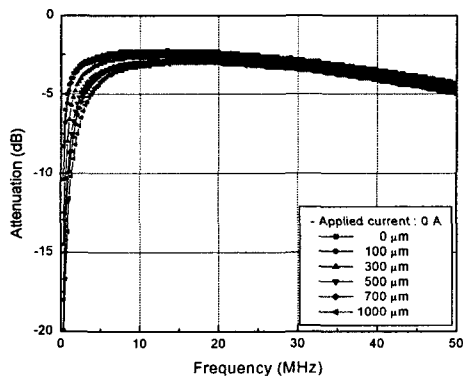


그림 3. Air gap에 따른 신호감쇄 특성

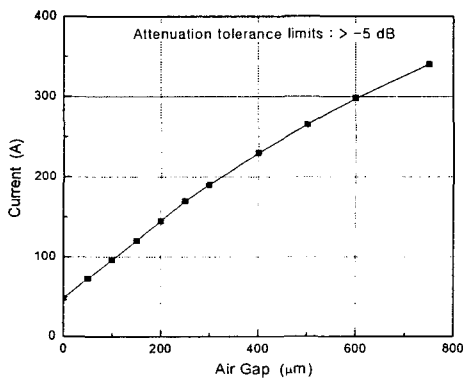


그림 4. Air gap에 따른 허용전류 변화

향을 나타내어 자심재료의 투자율이 높을수록 저주파 대역의 신호전송 특성이 우수하게 나타났다. 또한 약 30 MHz까지 약 -5 dB 이상의 신호감쇄 특성을 나타내었지만 주파수 증가에 따라 급격히 저하하여 불안정한 특성을 나타내므로 고주파 대역에서의 신호전송 특성의 개선이 요구됨을 알 수 있었다.

그림 3은 커플러의 구성에서 고주파 대역의 신호전송을 위한 회로와 임피던스 매칭회로를 내장한 상태에서 반원통 형태로 절단한 후, 절단면에서의 Air gap에 따른 신호감쇄 특성을 나타낸 것이다. Air gap의 증가에 따라 고주파대역의 신호감쇄 특성은 큰 변화를 나타내지 않지만 저주파 대역의 신호감쇄 특성은 급격히 감소하였다. 특히 Air gap이 500 μm 까지는 급격히 감소하여 그 이상에서는 서서히 감소하였다. 그리고 커플러를 통한 통신을 위해서는 2 MHz이상에서 -5 dB 이상의 신호전송 특성을 요구되는데, Air gap이 약 700 μm 에서 한계점을 나타내어 그 이하의 Air gap의 생성으로 커플러를 구성해야 할 것으로 판단되었다.

그림 4는 신호감쇄 특성이 -5 dB 이상이라는 조건하에서 Air gap에 따른 허용전류를 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 Air gap에 따라 허용전류는 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 도체의 면적이 325 mm²인 지중선의 경우 국내에서 사용되는 최대 전류가 약 300A 정도라는 것을 감안할 때, 600 μm 이상의 Air gap이 요구됨을 알 수 있다.

4. 결론

고투자율 자심재료를 이용한 고주파 대역에서의 신호전송 특성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 자심재료의 열처리 온도증가에 따라 결정이 성장하여 인덕턴스는 증가하였고, 550 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서는 포화점을 나타내었다.
2. 자심재료의 투자율이 높을수록 커플러의 저주파 대역의 신호전송 특성이 우수하게 나타났지만, 주파수 증가에 따라 급격히 저하하는 불안정한 특성을 나타내므로 고주파 대역에서의 신호전송 특성의 개선이 요구되었다.
3. 고주파대역에서는 Air gap의 증가에 따라 큰 영향을 나타내지 않지만, 10 MHz이하에서는 Air gap의 증가에 따라 급격히 감소하였다.
4. Air gap 증가에 따라 허용전류는 직선적으로 증가하였고, 사용 전류가 약 300A 정도인 지중선 케이블의 경우 600 μm 이상의 Air gap이 요구되었다.

참고 문헌

- [1] IEEE, "Guide for Power-Line Carrier Applications", IEEE Standard 643-1980.
- [2] Petrus A. J. V. Rensburg, H. C. Ferreira, Proc. of 7th ISPLC-2003, Kyoto, Japan, p. 204-209, 2003
- [3] K.H.J. Buschow, "Handbook of Magnetic Materials, Vol. 10, p. 417-460, 1997