

자심재료 특성에 따른 전력선 통신용 비접촉식 커플러의 특성

변우봉<sup>1</sup>, 이준희<sup>2</sup>, 김종령<sup>2, 3</sup>, 정원재<sup>2</sup>, 김현식<sup>2</sup>, 오영우<sup>3</sup>, 광귀일<sup>4</sup>, 주성호<sup>4</sup>  
 한국전기연구원<sup>1</sup>, (주)매트론 기술연구소<sup>2</sup>, 경남대학교<sup>3</sup>, 한전전력연구원<sup>4</sup>

Properties of an inductive coupler for power line communication as magnetic materials

W. B. Byun<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>2</sup>, J. R. Kim<sup>2, 3</sup>, W. C. Jung<sup>2</sup>, H. S. Kim<sup>2</sup>, Y. W. Oh<sup>3</sup>, K. I. Gwak<sup>4</sup>, S. H. Ju<sup>4</sup>  
 KERI<sup>1</sup>, MATTRON R&D Center<sup>2</sup>, Kyungnam University<sup>3</sup>, KEPRI<sup>4</sup>

**Abstract** - 비정질 합금재료와 페라이트를 사용하여 비접촉식 커플러를 제조하여 각각의 재료가 적용가능한 범위를 규명하고자 하였다. 비정질 합금재료에 비해 페라이트는 안정적인 특성을 발휘하는 주파수 대역이 좁으며, 낮은 포화자속밀도로 인해 내전류 특성이 떨어졌다. 즉 페라이트는 20 MHz 이하의 주파수 대역과 비정질 재료가 적용되는 선로보다 유입전류가 낮은 전력선에 적용 가능할 것으로 보인다.

(PC40, TDK)와 나노결정질 합금재료(Finemet, Hitachi Metal)를 이었다. 자심재료의 크기는 도체 단면적이 325 mm<sup>2</sup>인 지중 전력선에 적용 가능하도록 내경×외경이 70×94 mm로 설정하였다. 또한 예비실험을 통해 자심재료의 높이를 80 mm로 설정하였다.

열처리된 자심재료는 투자율과 전력손실 등의 전자기적 특성을 평가하였으며, 이들 자심재료를 이용하여 커플러를 구성한 후 커플러의 절단면에 에어-갭을 삽입함으로써 대전류에서의 포화를 방지하였으며, 이때의 최적의 에어-갭 크기를 선정하고자 하였다. 그리고 페라이트와 비정질 재료 각각에 대해 사용 가능한 최대 전류 및 통신 주파수 범위에 대해 삽입손실(S21)을 기준으로 평가하였다. 자심재료의 투자율과 전력손실 등의 전자기적 특성은 Impedance Analyzer (4294A, Agilent)와 B-H Analyzer (SY-8232, IWATSU)를 이용하여 측정하였다. 그리고 커플러의 신호 감쇄특성(S21)은 Network Analyzer(8751A, Agilent)를 이용하여 측정하였다.

1. 서 론

현재 홈네트워킹 및 초고속가입자망의 저렴한 구축에 대한 수요 증대를 만족시킬 수 있는 매체로 전력선통신이 부각되고 있으며, 이러한 수요에 부응하여 급속한 기술개발이 진전되고 있다. 이 전력선 통신을 원활하게 실현하기 위해서는 전력선에 흐르는 통신신호를 모뎀까지 최소 손실로 전송시켜야 한다. 전력선에서 통신신호를 분리하여 모뎀으로 전달하는 역할을 하는 것을 커플러(Coupler)라고 하는데, 특히 비접촉식 커플러는 전력선의 통신신호를 자기유도원리에 의해 모뎀측 케이블로 전달시킨다. 이것은 전력선에 쉽게 체결할 수 있고 고전압에 대한 안정성이 높으며, 접촉식에 비해 무게, 부피, 단가 등이 낮기 때문에 적용범위가 보다 넓은 형태이다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 비정질 합금재료와 페라이트의 주파수에 따른 투자율을 나타낸 것으로서, 비정질 합금재료는 수 kHz 이하에서 60,000 이상의 투자율을 나타내었고, 페라이트는 약 2,200의 투자율로 600 kHz까지 균일한 특성을 나타내었다. 비접촉식 커플러용 자심재료는 높은 투자율과 자속밀도가 요구되는데, 일반적으로 높은 투자율을 나타내는 재료는 주파수 안정성이 낮아 주파수에 따라 급격히 감소하게 되므로 고주파대역에서 안정적인 특성을 나타내기가 어렵다. 하지만 그림 1에서는 페라이트가 균일한 특성을 나타내는 모든 영역에서 비정질 재료가 보다 높은 값을 나타내고 있어, 투자율 특성만으로 평가한다면 페라이트는 커플러용 자심재료로 부적합하다.

이 비접촉식 커플러의 신호전달 특성을 좌우하는 것은 자심재료의 특성과 고주파대역에서의 신호전송 향상 기술이라고 할 수 있는데, 자심재료의 경우 전력선에는 수 백 A의 전류가 흐르기 때문에 높은 투자율과 높은 포화전류 특성을 나타내어야 한다. 하지만 현재 사용되고 있는 자심재료는 해외기술에 의존하는 고투자율 비정질 자심재료를 사용하는 경우가 많아 비교적 높은 제조단가로 인해 전력선 통신의 상용화에 큰 장애로 취급되고 있다. 현재 페라이트 등의 대체 재료를 이용한 비접촉식 커플러의 제조에 대해 연구가 이루어지고 있으나 아직까지 구체적인 결과나 나타나지 않고 있다. 또한, 국내에는 아직까지 비접촉식 커플러 제조에 대한 깊이 있는 연구가 이루어진 경우가 없었기 때문에 고주파대역에서 발생하는 신호감쇄를 최소화하기 위한 제조기술이 제시되지 않은 상태이므로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 비정질 합금재료와 페라이트를 이용하여 비접촉식 커플러를 제조하여 제조 변수에 대한 신호전송 특성을 평가함으로써 각 재료의 적용범위를 제시하고, 비접촉식 커플러용 자심재료로 응용 가능한 조건에 대해 고찰하고자 하였다.

2. 실험 방법

페라이트와 비정질재료 등의 자심재료에 따른 커플러 제조와 특성 실험에서 사용된 재료는 Mn-Zn 페라이트

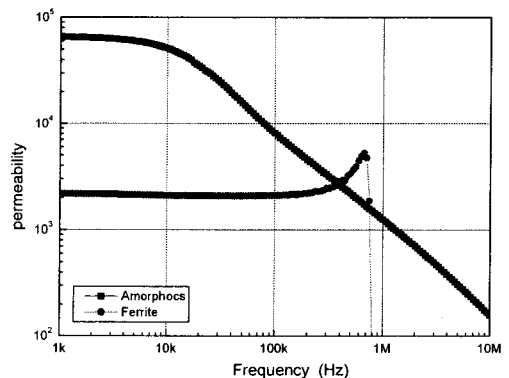


그림 1. 주파수에 따른 재료별 투자율 변화

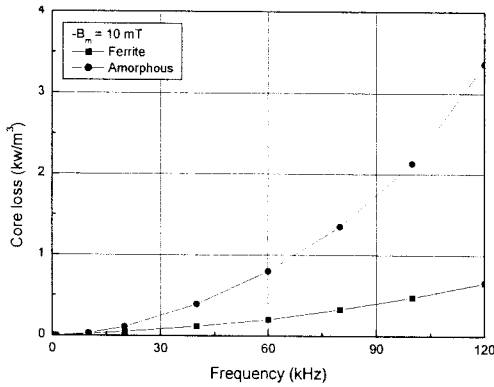


그림 2. 주파수에 따른 재료별 코어손실 변화

그림 2는 비정질 합금재료와 페라이트의 주파수에 따른 코어손실을 나타낸 것으로서, 페라이트는 주파수 증가에 따라 완만한 코어손실의 증가 경향을 나타내지만, 비정질 합금재료는 주파수 증가에 따라 급격한 코어손실을 나타내고 있다. 한편, 고속 전력선 통신이 이루어지는 주파수 대역이 2 ~ 30 MHz임을 감안하면 통신 주파수 대역에서 비정질 재료와 페라이트의 코어손실 차는 엄청날 것으로 유추해 볼 수 있다. 코어손실이 높다는 것은 동작 중에 에너지 소비가 많아 열에너지로 발산한다는 뜻이며, 비접촉식 커플러는 수 백 A 이상의 고전류가 흐르는 고압 지중선로 또는 고압 가공선로에 적용되므로 발열량은 아주 높을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 코어손실의 측면에서는 페라이트 재료가 고전류가 흐르는 전력선에 채용되는 비접촉식 커플러용 자심재료로 보다 더 우수한 재료라고 할 수 있으며, 비정질재료는 고유저항 증진방법에 대한 연구를 통해 코어손실의 감소가 요구된다.

그림 3은 비정질 합금재료를 이용하여 제조한 커플러의 출력 권선수에 따른 신호전송 특성을 나타낸 것으로서, 전력선 통신용 커플러에서 입력 신호선은 전력선의 1회 권선으로 고정 되므로 출력 권선 수 변화에 대한 특성 변화를 나타내었다.

출력선의 권선수가 1회인 경우, 출력선의 권선수가 2회와 3회인 경우에 비해 4 MHz 이상의 고주파 대역에서는 더 우수한 신호전송 특성을 나타내지만, 4 MHz 이하의 주파수 영역에서는 출력선의 권선수가 1회인 경우가 2회의 권선수보다 더 낮은 특성을 나타내었다. 그리고 출력선의 권선수가 3회인 경우, 전 주파수 대역에서 가장 낮은 신호전송 특성을 나타내었다. 여기서 출력선의 권선수가 많을수록 입력선으로 부터 여기되는 자속량이 증가하여 신호전송 특성이 향상될 수 있지만 권선수가 증가함에 따라 선로(線路) 손실도 증가하게 된다. 본 연구 결과에서는 자속 여기량의 증가보다 선로손실에 의한 특성 저하가 보다 크게 작용하는 것으로 보인다. 한편, 4 MHz 이상의 고주파영역에서는 출력선의 권선수가 1회인 경우가 가장 높고 안정적인 신호전송 특성을 나타내었는데, 이 경우에는 선로손실이 보다 낮기 때문인 것으로 보인다.

그림 4는 페라이트를 자심재료로 이용하여 제조한 커플러의 출력 권선수에 따른 신호전송 특성을 나타낸 것으로서, 1회 권선에서는 3 ~ 4 MHz에서 최대값을 나타내는 포물선을 나타내어 주파수에 따라 불안정한 특성을 나타내었다. 하지만 2회 권선에서는 전 주파수 대역에서 가장 우수하면서 안정적인 신호전송 특성을 나타내었다. 하지만 페라이트를 자심재료로 이용한 커플러는 약 20 MHz 이후에는 급격하게 특성이 저하되었다. 전력선 통신 주파수가 2 ~ 30 MHz인 것을 감안하면, 전대역 통신용으로 사용하기에는 어려우며, 20 MHz 이하의 통신 주파수 대역에서만 적용 가능할 것으로 보인다.

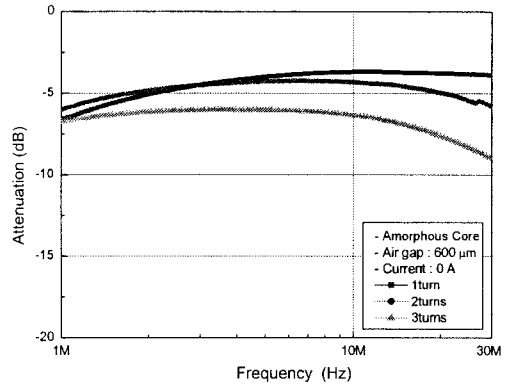


그림 3. 비정질재료의 출력 권선수에 따른 삽입손실

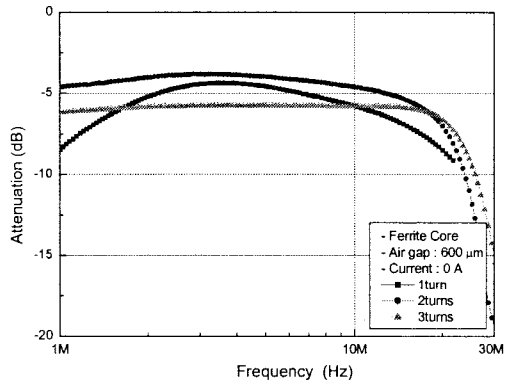


그림 4. 페라이트의 출력 권선수에 따른 삽입손실

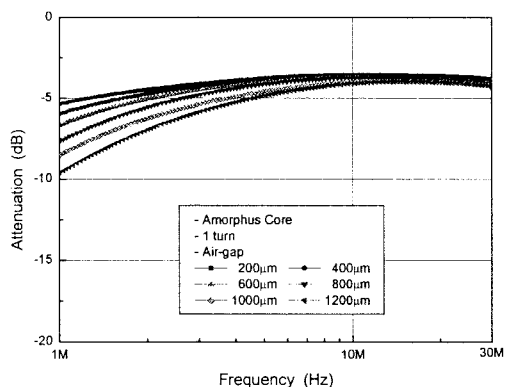


그림 5. 비정질재료의 에어-갭에 따른 삽입손실

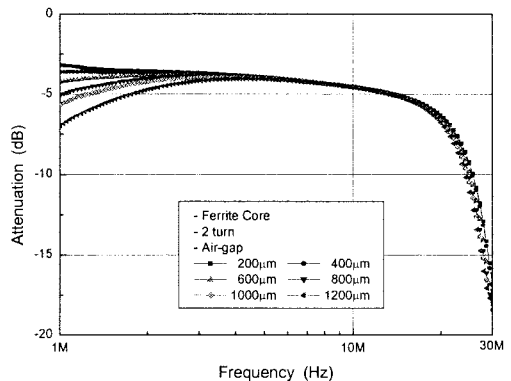


그림 6. 페라이트의 에어-갭에 따른 삽입손실

그림 5와 그림 6은 비정질 합금재료와 페라이트를 자심재료로 각각 사용하여 제조한 커플러의 에어-갭에 따른 삽입손실 변화를 나타낸 것이다. 그림 5에서 비정질 합금재료를 사용한 커플러의 경우, 에어-갭 증가에 따라 10 MHz 이상의 고주파 특성은 거의 변화가 없으나 저주파 특성은 연속적으로 손실이 증가하고 있음을 알 수 있다. 한편 고속통신용 비접촉식 커플러는 일반적으로 -5 dB 내외의 삽입손실을 나타내어야 하고, 에어-갭이 클수록 내전류 특성은 향상되므로 약 600  $\mu\text{m}$ 이 가장 적당할 것으로 생각된다. 그리고 페라이트를 자심재료로 사용한 그림 6은 비정질재료와 마찬가지로 에어-갭 증가에 따라 고주파 특성은 변화가 없으나 저주파 특성이 연속적으로 저하되었는데, 에어-갭이 600  $\mu\text{m}$ 까지는 비교적 안정적인 특성을 나타내지만 그 이상에서는 저주파 특성의 감소율이 증가하였다.

그림 7과 그림 8은 비정질 합금재료와 페라이트를 자심재료로 각각 사용하여 제조한 커플러의 인가전류에 따른 삽입손실 변화를 나타낸 것이다. 그림 7은 비정질 합금재료를 사용한 커플러의 전류특성을 나타낸 것으로서, 약 250 A까지는 비교적 안정적인 전류특성을 나타내었으나, 이 이상의 전류에 대해서는 급격한 삽입손실의 증가 현상이 나타났다. 따라서 그 이상의 전류가 유입되는 고압 지중선 또는 가공선로에 적용하기 위해서는 자심재료의 부피와 에어-갭을 증가시키거나 자심재료의 전자기 특성의 증가가 요구된다. 그림 8은 페라이트를 이용한 커플러의 전류특성을 나타낸 것으로서, 150 A까지는 비교적 안정적인 특성을 나타내지만, 그 이상의 전류에 대해서는 급격하게 삽입손실이 증가하였다. 이것은 페라이트가 비정질 재료에 비해 포화자속밀도가 매우 낮기 때문에 같은 크기에 대해 전류 특성이 그 만큼 떨어지기 때문이다. 따라서 페라이트는 그림 4의 고찰에서처럼 20 MHz 이하의 통신주파수를 가지고 유입전류가 비교적 낮은 선로에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

비정질재료와 페라이트 자심재료를 이용한 커플러의 제조와 각 변수에 대한 신호전송 특성 변화와 각 재료의 응용조건에 대한 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 페라이트는 주파수에 따라 전력손실의 증가율이 낮은 반면, 비정질 합금재료는 주파수에 따라 코어손실이 급격하게 증가하여 코어손실의 저하방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.
2. 커플러의 권선수는 비정질 합금을 사용한 커플러는 1회 권선이 가장 우수하며, 페라이트 자심재료를 이용할 커플러는 2회 권선에서 가장 우수한 신호전송 특성을 나타내었다.
3. 커플러의 절단면 사이에 삽입되는 에어-갭은 페라이트나 비정질 합금재료 모두 약 600  $\mu\text{m}$ 일 때, 가장 안정적이면서 우수한 특성을 나타내었다.
4. 페라이트는 안정적인 특성을 발휘하는 주파수 대역이 좁아 20 MHz 이하의 주파수 대역에 적용 가능할 것으로 보이며, 낮은 포화자속밀도로 인해 내전류 특성이 비정질 합금재료에 비해 떨어졌다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김현식, 김종령, 변우봉 외 4인, "고투자율 자심재료의 대전류 및 고주파대역에서의 신호전송 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2005
- [2] 김현식, 김종령, 변우봉 외 4인, "고주파 신호전송을 위한 고투자율 자심재료의 특성", 한국전기전자재료학회, 하계학술대회 논문집, 2005
- [3] 김현식, 김종령, 변우봉 외 5인, "Signal Transmission Properties of the Inductive Coupler Using High Permeability magnetic Materials", 한국전기전자재료학회, 19권 4호, 2006
- [4] IEEE, "Guide for Power-Line Carrier Applications", IEEE Standard 643-1980.

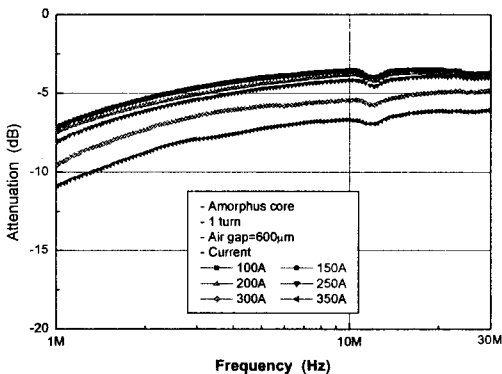


그림 7. 비정질 재료를 이용한 커플러의 내전류 특성

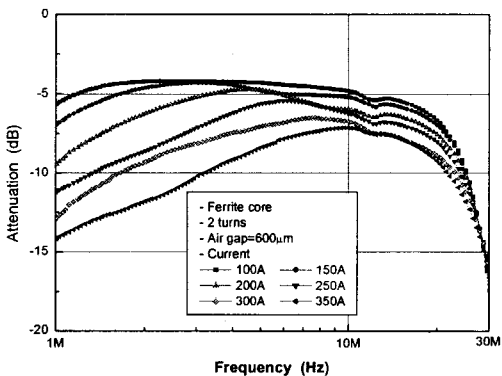


그림 8. 페라이트를 이용한 커플러의 내전류 특성