

송전선용 대용량 신호결합장치의 설계

김현식, 변우봉*, 김종령, 배을록**, 이동철**, 이해연, 이준희, 지민권
(주)매트론 기술연구소, *한국전기연구원, **한전 KDN

Design of an Inductive Coupler for Power Transmission line

H. S. Kim, W. B. Byun*, J. R. Kim, E. R. Bae**, D. C. Lee**, H. Y. Lee, J. H. Lee, M. K. Ji
MATTRON R&D center, *KERI, **KDN

Abstract : An inductive coupler, which feeds communication to the electric power transmission line, is required to establish Power Line Communication(PLC). The electro-magnetic property of magnetic core and design technology for coupler are very important to manufacture an inductive coupler for power transmission line. The magnetic core with superior electro-magnetic property was manufactured by using nano-crystalline alloy and an inductive coupler, which can operate at the maximum 2,000 A current, was designed and manufactured by establishment of current saturation, signal out winding, and electro-magnetic simulation in this study. Communication speed of 14 Mbps in 600 m communication distance of the real electric power transmission line was obtained by using the inductive coupler and application possibility of the inductive coupler for the electric power transmission line was certified.

Key Words : Power Line Communication, Power Transmission line, Inductive Coupler, Nano-Crystalline

1. 서론

송전선과 같은 고압선에서 전력선 통신(PLC) 시스템을 구현하기 위해서는 전력선과 모뎀 사이에서 통신신호의 전달 기능을 하는 비접촉식 커플러(Inductive Coupler)가 요구되는데, 현재까지 국내뿐만 아니라 해외에서도 송전선용 비접촉식 커플러를 개발하였거나, 연구사례도 없어 송전선에서 전력선 통신을 이용한 전력 감시/제어 시스템의 구축 또는 상용화가 전혀 이루어지지 않고 있다.

송전선용 비접촉식 커플러를 개발하기 위해서는 대용량 자기코어의 설계와 제조, 커플러 구성기술, 회로기술, 손실 제어 기술, 주파수 특성 제어 기술 등의 다양한 기술이 융합되어야 한다. 즉, 154 kV급 송전선에는 최대 2,000 A의 전류가 유입되므로 비접촉식 커플러에 내장되는 자기코어는 이와 같은 대전류에서 자기 포화되지 않고 낮은 삽입손실(Insertion loss, S_{21})특성으로 통신 주파수 대역에서 안정적인 전자기적 특성을 발휘해야 한다. 그리고 커플러가 최소의 삽입손실 특성을 발휘하기 위해서는 신호 출력부의 권선조건 및 커플러의 구성 기술이 확립되어야 한다. 또한 고전압에 대한 절연연구도 병행되어야 통신 시스템으로의 적용이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 송전용 비접촉식 커플러를 설계 및 제조하여 그 적용 가능성을 관찰하였다.

2. 실험 방법

송전선용 비접촉식 커플러의 설계 및 제조에서, 자기코어는 투자율과 자속밀도가 높고 코어손실이 작은 나노결정립 재료(Fe-Si-B-Nb-Cu)를 사용하고, 450 ~ 530 °C의 범

위에서 1 시간동안 열처리하여 공기 중에서 냉각시켰다.

그리고 커플러 구성에서, 자기코어가 대전류에서 포화되지 않도록 Flux 2D 프로그램을 이용하여, 전자장 모의 해석을 통해 자기코어의 형상 조건을 설정하였다. 또한 전력선통신 주파수대역(2 ~ 30 MHz)에서 최소 손실을 나타내는 권선회로를 적용하기 위한 실험이 진행되었고, 삽입손실은 네트워크 분석기(8751A, Agilent)를 이용하여 측정하였다. 커플러의 제조는 자기코어 형상 설정, 케이스 설계, 권선조건 설정, 에폭시 몰딩, 절단 등의 순서로 진행되었다. 그리고 가공 송전선은 외부 절연피복이 없으므로, 절연 지그를 제작하여 결합하였다.

제작된 비접촉식 커플러의 응용 가능성을 평가하기 위해, 현재 운용중인 154 kV급 가공 송전선에서 통신실험을 진행하였다. 통신실험에 사용된 전력선 모뎀은 Intellion社 칩셋을 적용한 200 Mbps급이었고, 전기적 안정성을 고려하여 송전선은 휴전상태에서 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 전력선의 도체에 2,000 A의 전류가 흐를 때, 자기코어의 path 길이와 에어-갭 크기에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 나노결정립 합금 재료의 포화자속밀도는 1.2 T인데, 자기코어에 에어-갭이 형성되면 에어-갭 사이로 자속의 누설이 발생하고, 누설되는 자속의 양만큼 포화 전류량은 증가하게 된다.

그림에서 에어-갭이 4 mm일 때까지는 자속밀도가 약 1.2 T로 자기코어가 포화됨을 알 수 있으며, 그 이후 에어

-갭의 크기가 증가함에 따라 자기코어의 자속밀도는 감소하였다. 일반적으로 전자부품에 사용되는 자기코어는 사용 전류가 코일에 흐를 때, 최대자속밀도의 50 ~ 75% 정도가 되도록 설계된다. 따라서 에어-갭이 약 6 ~ 7 mm일 때가 2,000 A의 전류에서 가장 효율적으로 동작할 수 있을 것이라 예측되었다.

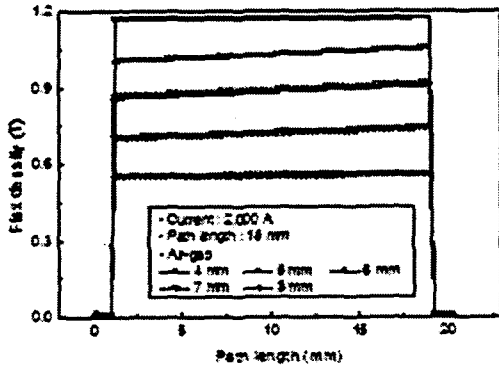


그림 1. 2,000 A에서 에어-갭 크기에 따른 자속밀도 변화

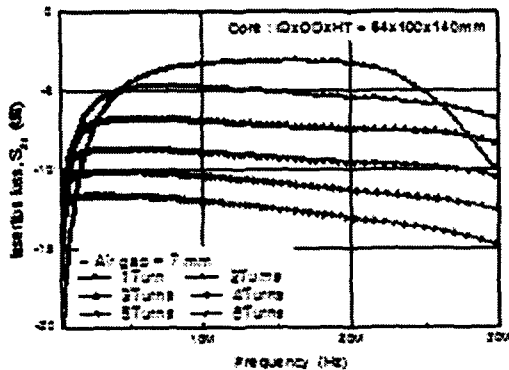


그림 2. 에어-갭 크기와 권선수에 따른 삽입손실 변화

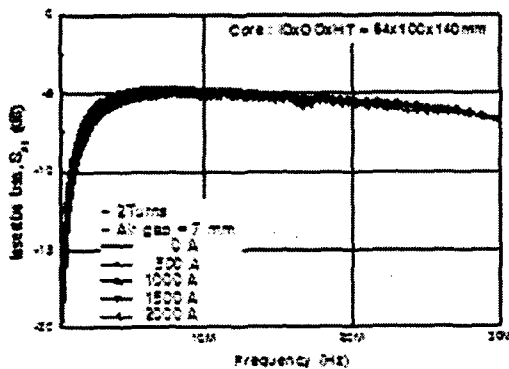


그림 3. 에어-갭과 전류에 따른 삽입손실 변화

그림 2는 커플러가 전력선에 체결되었을 때 환경에서, 전력선을 1회 권선을 가지는 신호선으로 가정하여 구성하여, 커플러의 출력 신호선의 권선수에 따른 삽입손실변화를 나타낸 것이다. 이 때, 입력 및 출력 신호선 간의 전기 기계 결합계수(k_p)를 증가시키기 위해 출력 신호선은 가능한 높은 비표면적으로 가지도록 박판을 사용하여 구성하

였다. 그림에서 에어-갭의 크기에 관계없이 자성재료의 삽입손실(S_{21})은 권선수가 증가할수록 증가하였다. 이것은 유도 자장의 증가에 의한 삽입손실의 감소 효과보다 권선수 증가에 따른 고주파 손실의 급격한 증가로 인해 삽입손실의 증가 효과가 더 크게 작용하기 때문인 것으로 분석된다. 그러나 5 MHz 이하에서는 그 반대의 경향으로 권선수가 증가함에 따라 삽입손실이 감소하였다.

여기서 커플러는 전력선 통신 주파수 대역인 2 ~ 30 MHz에서 가장 작은 삽입손실을 나타내어야 하므로, 2회 권선이 가장 적합한 조건으로 판단되었다.

그림 3은 자기코어에 2회 권선을 적용하여 비접촉식 커플러를 제작하여 전류량에 따른 삽입손실 변화를 나타낸 것이다. 통신 주파수 전 대역에서 약 6 ± 1 dB 정도 삽입손실 특성으로 2,000 A까지 안정적인 경향을 나타내었다.

표 1은 휴전상태의 154 kV급 실제 송전선에서 본 연구에서 제작된 커플러를 이용하여 통신시험을 실시하여 그 결과를 나타낸 것으로서, 통신 기기의 전원은 배터리를 이용하였다. 통신시험 최대 거리인 800 m까지 통신이 성공하였고, 통신 속도는 250 m와 600 m에서 각각 22 Mbps와 14 Mbps의 속도를 나타내었고, 800 m에서 0.3 Mbps로 급격히 감소하였다. 거리증가에 따라 통신 속도가 감소하는 것은 통신 신호 레벨에 비해 잡음(Noise)의 레벨이 점점 증가하여 전력선 모델에서의 처리속도가 늦어지기 때문인 것으로 분석되었다.

표 1. 송전선 통신 시험 결과

송전선 구간	A	B	C
거리 (m)	250	600	800
통신 속도 (Mbps)	22	14	0.3

4. 결론

송전선용 비접촉식 커플러를 제조하기 위한 본 연구에서, 전자기 모의해석을 통해 대용량의 자기코어의 형상과 에어-갭 조건을 설정할 수 있었다. 또한 출력 권선수, 전류 포화특성 등에 대한 조건을 확립하여 2,000 A급 비접촉식 커플러를 제조할 수 있었다. 이 대용량 비접촉식 커플러는 실제 운용 중인 송전선에 설치되어 거리 600 m에서 14 Mbps의 통신 속도를 발휘하여, 전력선 통신 시스템으로의 적용 가능성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] 김현식, 김종영, 이해연 외 7인, "Signal Transmission Properties of the Inductive Coupler using the High Permeability Magnetic Materials", 전기전자재료학회는 문지, 19권, 4호, p. 339, 2006.
- [2] H. S. Kim, J. R. Kim, K. U. Kim, et al., "Signal Transmission Characteristics of High Permeability Magnetic Materials at the High Current and Frequency", KIEE, Summer conf., 2005.