

두 개의 동축케이블을 이용한 결합기의 연구

김수현, 신철재
아주대학교 전자공학부

전화: (031) 219-2374 / 팩스: (031) 212-9531

Analysis of the Coupler Using Two Coaxial Cable

Suhyun Kim, Chull Chai Shin
School of Electronics Engineering, Ajou University

E-mail : himan72@freechal.com

요약

본 논문에서는 두 동축케이블을 사용한 고주파용 결합기 설계 시 결합폭, 외경과 내경의 비 그리고 결합길이의 변수 변화에 따른 특성을 나타내었다. 또한 두 개의 동축케이블 사이에 금속봉을 삽입하여 고주파 대역에서 결합도가 향상된 새로운 구조를 제안하였다. 본 논문에서 제시한 구조는 일반적인 구조에 비하여 지향성과 반사손실 특성을 유지시키면서 결합도가 약 1.8 dB 향상되었다.

1. 서론

세계의 무선통신환경은 폭발적으로 증가하는 통신 수요와 지능화 되고 있는 통신 환경에 의해 고전력을 필요로 하는 통신시스템이 증가하고 있다. 뿐만 아니라 점점 복잡해지는 현재의 통신환경을 전자파 문제(EMI)라는 새로운 문제를 야기시키고 있다.

동축케이블을 이용한 결합기는 스트립라인과 planar 전송 결합기에 비해 고전력 전송이 가능한 장점이 있어 저주파 대역을 중심으로 많이 연구되어 왔다. 이러한 동축케이블 결합기는 높은 방향성과 낮은 SWR, 그리고 우수한 차폐 특성을 가지고 있어 복잡해진 무선통신환경에 유리하다[1]-[4]. 본 논문에서는 고주파 대역에서 동축케이블의 특성에 영향을 주는 요소들을 FEM을 이용한 상용소프트웨어 HFSS (High Frequency Structure Simulator, Ansoft, ver. 7.0)를 이용하여 분석하였다. 본 논문에서는 결합기의 결합 길이, 외경과 내경의 비 그리고

결합폭의 변화에 따른 특성을 살펴보고 고주파 사용가능성을 확인하였다. 또한 두 개의 동축케이블 사이에 금속봉을 삽입하여 향상된 결합특성을 갖는 구조를 새로이 제안하고 분석하였다.

2. 결합기 구조

그림 1에는 동축케이블을 이용한 결합기 구조를 보여준다. 결합기는 두 개의 동축케이블을 사용하여 옆면을 잘라내고 붙여진 구조이다. port 1로 신호를 입력하고 port 2는 결합도를, port 3는 신호가 통과하는 정도를, port 4는 격리도를 나타낸다. 동축케이블을 이용한 결합기 특성에 영향을 주는 변수로 그림 1에 표시한 동축케이블의 결합길이 l 과 결합폭 h , 내심 반경 a 와 외심 반경 b 를 들 수 있다. 여기서, 결합폭 h 란 각각의 동축케이블의 중심에서 동축케이블을 잘라낸 곳까지의 거리를 말하며, 그림 1에 나타나 있다.

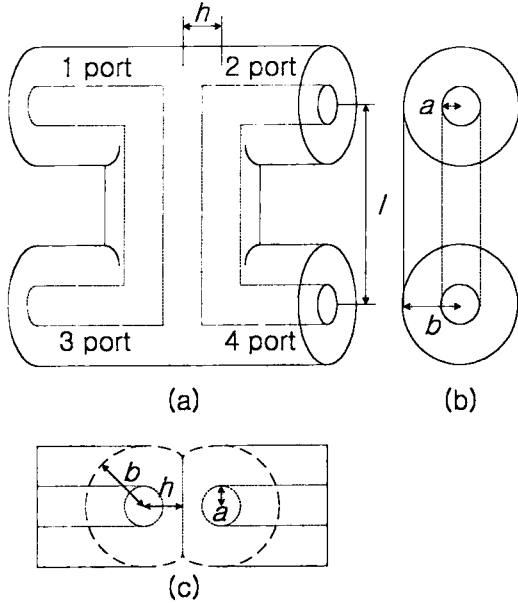


그림 1. 제안된 결합기 구조
 (a) 윗면에서 본 구조
 (b) 측면에서 본 구조
 (c) 정면에서 본 구조

FEM 해석과 curve fitting 기술에 근거를 두고, 결합기의 우 모드와 기 모드 임피던스(Z_{oe}, Z_{oo})를 다음과 같은 식으로 표현된다[4].

$$Z_{oe}(u) = Z_0[1 + k_0 u^{k_1} + k_2 \sin(6u^2)] \quad (1)$$

$$Z_{oo}(u) = Z_0[(1 - u^4)^k - 1.25(12 - 10u)^{-6} - 0.01k \sin(6u^2)] \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 각각의 변수는 다음과 같다.

$$r = \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$k_0 = |0.1623 + 0.371r - 0.696r^2|$$

$$k_1 = 1.15(r + 1)$$

$$k_2 = 0.025 \tanh\left(\frac{r^3}{5}\right)$$

$$u = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{h}{b}\right)}{\cos^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)}$$

따라서 동축케이블의 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_0 = \frac{60}{\epsilon_r} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

동축케이블 결합기의 사용 주파수 대역은 동축케이블의 결합 길이(l)에 의해 결정된다[5]. 결합 길이(l)가 변함에 따라 중심 주파수 변화를 그림 2에 나타내었다. 고주파에서 변화 여부를 검정하기 위하여 비교적 정확한 수치해석법인 FEM을 이용한 HFSS (High Frequency Structure Simulator, Ansoft, ver. 7.0)를 이용하여 분석하였다. 여기서 다른 변수에 영향을 고정하기 위해 내경과 외경의 비 $b/a = 11$ ($a = 0.5 \text{ mm}$, $b = 5.5 \text{ mm}$)로 하고 결합폭 h 를 1 mm 로 하였다. 또한, 케이블 내부 유전율 $\epsilon_r = 2.5$ 로 하였다. 그림 2에 보는 바와 같이 일반적인 결합 길이(l)에 따른 계산 결과와 HFSS 결과에 의한 데이터가 거의 일치한다.

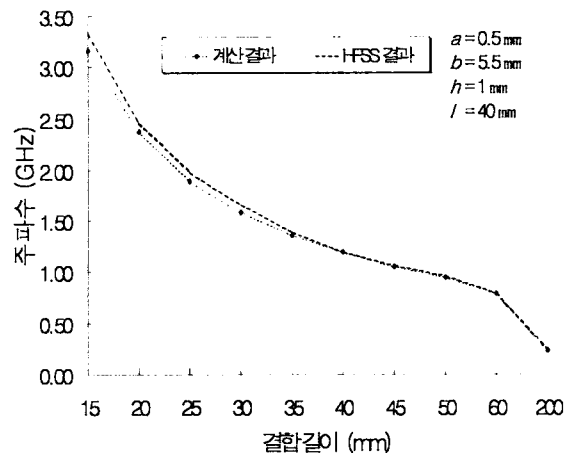


그림 2. 결합 길이(l)에 따른 주파수의 변화

3. 결합기 특성

앞에서 살펴본 바와 같이 주파수 대역의 선택은 결합기의 길이와 상관이 있다[5]. 따라서 1.2 GHz대의 결합기의 구조에 따른 특성을 알기 위해 결합기의 길이를 계산하여 40 mm로 선택하였다. 내경(a)은 0.5 mm로 고정하고, 외경(b)과 결합폭 h 의 변화에 따른 결합기 특성 변화를 살펴보았다.

그림 3은 결합기의 내경과 외경의 비(b/a)에 따

른 결합기 특성을 보여준다. 본 논문에서는 분석의 편의를 위하여 내경 a 를 0.5 mm로 고정한 후, 외경 b 를 변화시키는 방법을 사용하였다. 그림 3에서 보이는 것처럼 외경이 커질수록 결합도가 좋아지지만 격리도가 나빠진다. 따라서 결합기의 원하는 특성에 따라 적당한 비를 선택해야 한다.

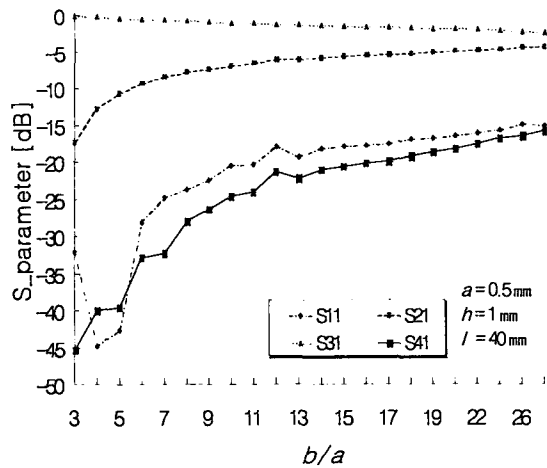


그림 3. 내경 (a)과 외경 (b)의 비에 따른 결합기의 특성

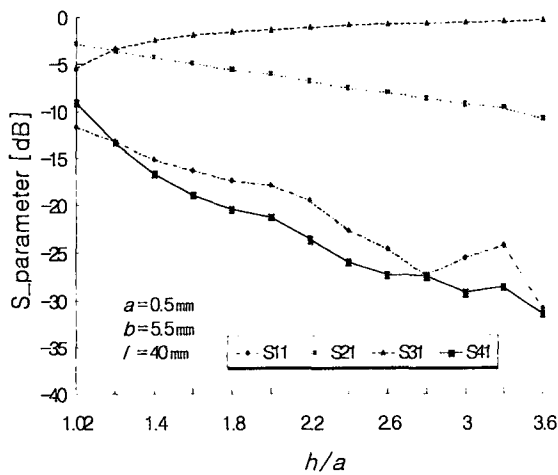


그림 4. 내경 (a)과 결합폭 (h)의 비에 따른 결합기의 특성

동축케이블 결합기에서 결합폭은 결합도 (S_{21})와 격리도 (S_{41})를 특정 짓는 주요한 변수이다. 그림 4는 결합폭에 따른 결합기의 특성을 보여준다. 외경과 내경의 비 (b/a)를 11로 하고 ($a = 0.5$ mm, $b = 5.5$ mm), 결합 길이를 40 mm로 하여 1.2 GHz에서

분석하였다. 그림 4에서 보는 것처럼 결합폭 (h)가 작아지면 결합도는 좋아지지만 격리도가 나빠진다.

4. 금속봉을 삽입한 결합기의 특성

기존의 동축케이블 결합기 구조를 그대로 고주파에서 사용할 경우 좋은 결합 특성을 구현하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 결합도를 좋게 하기 위하여 기존의 결합기 구조에서 가운데 금속봉을 삽입한 그림 5와 같은 새로운 구조를 제안하였다. 이러한 봉을 삽입할 경우 봉의 길이와 크기에 따라 결합기의 특성이 달라질 수 있다. 그림 5에서 c 는 삽입한 봉의 반지름을, l_c 는 봉의 길이를 나타낸다.

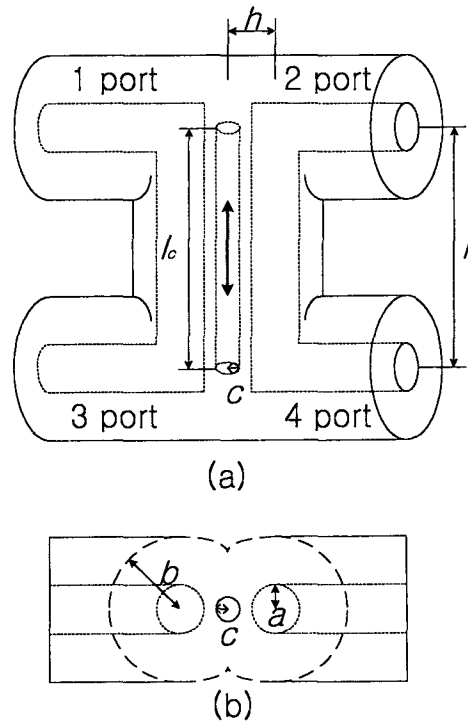


그림 5. 가운데 봉을 삽입한 결합기 구조
(a) 윗면에서 본 구조
(b) 정면에서 본 구조

봉의 길이에 따른 특성을 보기 위하여 지름이 일정한 봉 ($c = 0.4$ mm)을 삽입한 후, 1.2 GHz에서 봉의 길이에 따른 특성 변화를 분석하였다. 이때 $b/a = 11$ ($a = 0.5$ mm, $b = 5.5$ mm), 결합폭 (h)을 1 mm로 하였다. 삽입된 봉의 길이에 따른 특성변화는 그림 6에 나타난다. 그림 6에서 보듯이 봉의 길이가 길어지면 길어질수록 결합도 (S_{21})는 좋아지

는 반년 격리도(S_{41})는 나빠진다. 봉이 없을 때보다 있을 때가 더 좋은 결합도를 나타내는 것은 봉에 의한 정전용량의 증가에 기인한다.

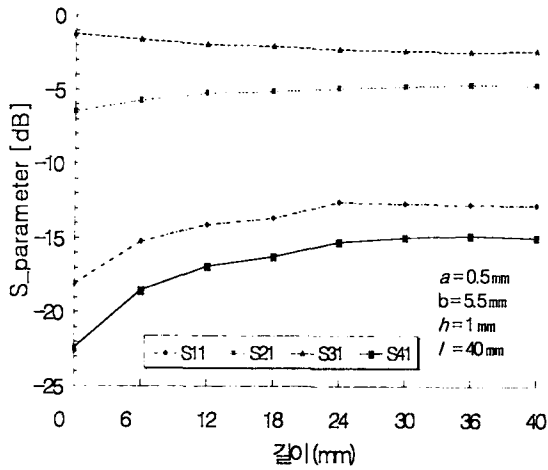


그림 6. 동축케이블 사이의 금속봉의 길이 변화에 따른 S값 변화

삽입된 봉의 지름에 따른 특성은 그림 7에 나타나 있다. 봉의 지름이 커지면 결합도가 향상된다. 하지만 격리도(S_{41})는 나빠지므로 적절한 봉의 지름을 선택해야 한다. 지름의 변화가 정전용량의 변화에 영향을 주므로 이러한 결과가 나타난다. 위에서 살펴본 바와 같이 봉을 삽입할 경우 결합폭과 외경과 내경의 비의 변화 없이 봉의 길이와 크기에 따라 결합도를 향상시킬 수 있다.

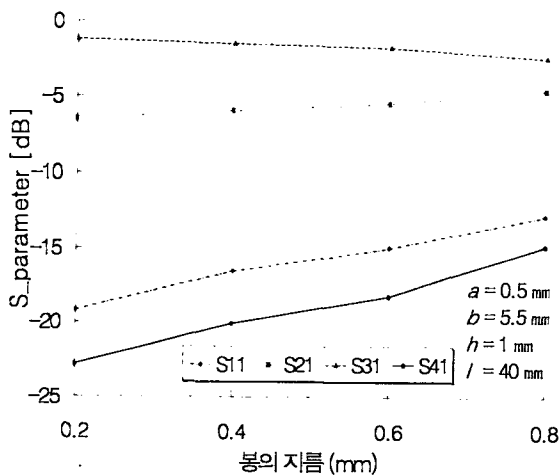


그림 7. 동축케이블 사이의 금속봉의 지름 변화에 따른 S값 변화

그림 8은 금속봉이 있을 때와 없을 때의 결합도(S_{21})를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 금속봉이 있는 새로 제안된 구조가 이전 구조에 비해 우수한 결합도를 갖게 되는데, 1.2 GHz에서 금속봉이 있을 때가 없을 때 보다 약 1.8 dB정도 향상되었다.

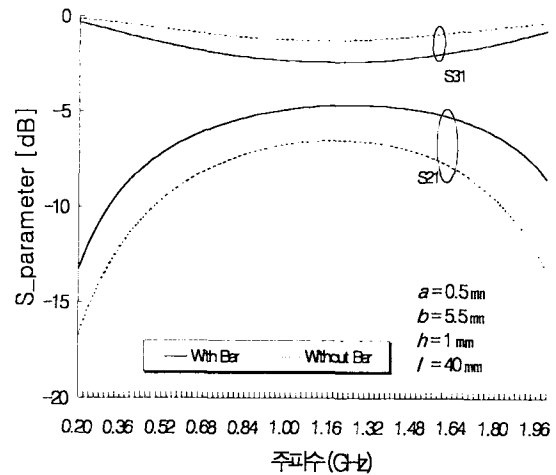


그림 8. 금속봉이 있을 때와 없을 때의 결합도(S_{21}) 비교

5. 결론

본 논문에서는 동축케이블을 이용한 고주파용 결합기 설계 시 결합기의 구조에 따른 특성을 분석하였다. 결합기 구조 변수인 결합 길이(l), 외경(b/a) 그리고 결합폭(h)의 변화에 따른 결합기의 특성을 고찰하여 고주파에서 동축케이블 결합기의 사용가능성을 확인하였다. 또한 보다 향상된 결합도를 가지는 구조로 내부에 봉을 삽입한 새로운 동축케이블 결합기를 제안하였으며 봉의 변화에 따른 특성을 분석하였다. 봉을 삽입할 경우 결합폭의 변화 없이 봉의 길이와 크기에 따라 결합도를 향상시킬 수 있음을 보였다. 제안된 방법에 의해 설계된 동축케이블 결합기는 1.2 GHz에서 결합도가 봉이 없을 때에 비해 1.8 dB정도 향상되었다.

참고문헌

- [1] H. An, T. Wang, R. G. Bossio and K. Wu, "Accurate Closed Form Expression for Characteristic Impedance of Coupled Line with Sliced Coaxial Cable," *IEE Proceedings*, Vol. 31, No. 23, pp. 2019 ~ 2020, Nov. 1995.
- [2] H. An, O. Monti, R. G. Bossio and K. Wu, "A Novel Type of Low Cost High Performance Coaxial Cables Couplers," *25th European Microwave Coupl. (EuMG'95)*, pp. 701 ~ 704, 1995.
- [3] H. An, R. G. Bossio and K. Wu, "Ultra Wide Band Directional Couplers with Coaxial Cable," *Canadian Conference Electr. and Comp. Eng.*, pp. 1160 ~ 1163, 1995.
- [4] H. An, R. G. Bossio, K. Wu and T. Wang, "A 50:1 Bandwidth Cost-Effective Coupler with Sliced Coaxial Cable," *IEEE MTT-S*, pp. 789 ~ 792, 1996.
- [5] William H. Hayt, Jr., *Engineering Electromagnetics*, Fifth Ed., *MacGraw-Hill*, pp. 345 ~ 347, 1989.