

# 테이퍼형 임피던스 정합선로의 설계를 위한 역산란 이론의 응용

## Application of the Inverse Scattering Theory to the Design of the Tapered Impedance-Matching Line

송 충 호 · 이 상 설

Choong-Ho Song · Sang-Seol Lee

### 요 약

일차원 매질에 대한 역산란법을 이용하여 테이퍼형 임피던스 정합선로를 설계한다. 역산란법으로 유전율 분포를 추정하는 과정에서 오차를 줄이기 위하여 위상 보정인자(PCF: Phase Compensation Factor)를 도입한다. 설계하고자 하는 정합선로와 동일한 반사특성을 갖는 가상(virtual) 일차원 유전체의 유전율 분포를 추정하여 정합선로를 합성한다. 이 설계법은 등가회로에 대한 회로망 이론을 적용하지 않고 임의의 대역 특성을 갖는 정합선로를 설계할 수 있다. 주파수 영역의 반사계수를 사용함으로써 시간 영역의 반사계수를 사용하는 설계법에서 필연적으로 나타나는 오차를 피할 수 있다.

### Abstract

A tapered impedance-matching line is designed by an inverse scattering method for the one-dimensional medium. The phase compensation factor(PCF) is introduced in order to reduce the error in the inverse scattering process to reconstruct the permittivity profile. By estimating the permittivity profile of the virtual one-dimensional dielectric medium whose reflection characteristic is the same as that of the specified matching line, the matching line is synthesized. The method can be used to design impedance-matching lines with arbitrary passband characteristics without any equivalent circuit analysis. The inevitable errors in the method using the time-domain reflection coefficient can be avoided by using the frequency-domain reflection coefficient.

### I. 서 론

역산란법은 측정된 반사파나 반사계수로부터 물체의 전기적 특성을 찾아내는 방법이다. 이 방법은 의학적 이미징(medical imaging), 비파괴 검사(non-destructive evaluation), 이온층의 분포추정(ionospheric profiling), 마이크로파 검출(microwave sensing) 등에 응용된다<sup>[1]</sup>.

마이크로파 대역의 수동 선형 디바이스(microwa-

ve passive linear devices)에 대한 역산란 문제의 해는 원하는 주파수 특성을 만족하는 디바이스의 특성 임피던스 분포이다. 역산란 문제는 커러게이트형 도파관 필터(corrugated waveguide filter), Chebyshev 대역통과 필터 등의 디바이스 설계에 응용되었다<sup>[2,3]</sup>. R. P. Moreira 등은 역산란 TLM(Transmission-Line Matrix)법을 이용하여 Butterworth 저역통과 필터와 Chebyshev 저역통과 필터를 설계하였다<sup>[4]</sup>. Moreira의 방법은 좋은 설계법을 제시하지

한양대학교 전자전기공학부(Division of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20010911-120

· 수정완료일자 : 2001년 10월 22일

만, 큰 구조물에 대한 씨물레이션 시간이 길고 시간 영역 반사계수의 일부 정보를 제거하고 표본화(sampling)하는 과정에서 필연적으로 발생하는 오차를 갖게 된다.

이 논문에서는 일차원 매질에 대하여 새로운 역산란법을 제안하고 이를 테이퍼형 임피던스 정합선로의 설계에 응용한다. 정합선로와 동일한 반사특성을 갖는 가상 일차원 유전체의 유전율 분포를 추정한다. 이 과정에서, 선형근사 위상보정 역산란법(linearly approximated and phase compensated inverse scattering method)을 적용한다. 이 역산란법은 선형화된 Riccati 방정식을 이용하여 그 해를 빠르고 쉽게 구할 수 있고, 위상 보정인자를 도입함으로써 정확하게 유전율 분포를 추정할 수 있는 장점을 갖는다. 복원된 가상 유전체의 고유 임피던스와 설계하려는 정합선로의 특성 임피던스가 동일하다고 가정하고 특성 임피던스의 분포에 맞게 정합선로를 합성한다. 지수함수 테이퍼형 정합선로와 삼각 테이퍼형 정합선로를 설계함으로써 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

## II. 유전율 분포의 추정

### 2.1 유전율 분포의 위상보정 추정법

그림 1은 비유전율(relative permittivity)  $\epsilon(x)$ 가 거리에 따라 변하는 일차원 비균일 유전체의 유전율 분포를 나타낸다. 파수(wave number)  $k$ 의 TEM 파가 매질의 왼쪽에서 수직으로 입사한다.

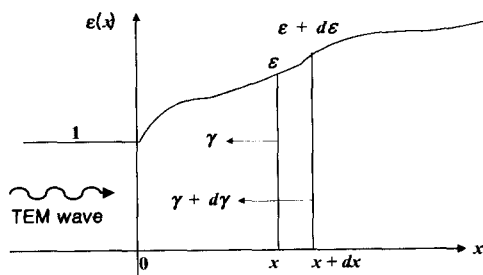


그림 1. 일차원 비균일 유전체  
Fig. 1. One-dimensional inhomogeneous dielectric medium.

주파수 영역의 반사계수  $\gamma(k, x)$ 에 대한 비선형 Riccati 미분 방정식은 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$\frac{d\gamma(k, x)}{dx} = j2k\sqrt{\epsilon(x)}\gamma(k, x) + \frac{1}{4\epsilon(x)} [1 - \gamma^2(k, x)] \frac{d\epsilon(x)}{dx} \quad (1)$$

Razzaghi와 Ahmad<sup>[6]</sup>는 식 (1)에 분수식 선형변환(fractional linear transformation)을 적용하고  $\gamma^2(k, x)$ 이 1보다 매우 작다는 가정에서 다음과 같은 유전율 분포의 근사식을 얻었다.

$$\epsilon(x) \approx \epsilon(0) \left[ \frac{1 - 2 \int_0^x R(u) du}{1 + 2 \int_0^x R(u) du} \right] \quad (2)$$

여기서  $R(u)$ 는  $\gamma(k, 0)$ 의 역후리에 변환식(inverse Fourier transform)이고,

$$t = 2 \int_0^x \sqrt{\epsilon(v)} \frac{1 + \alpha^2(v)}{1 - \alpha^2(v)} dv \quad (3a)$$

$$\alpha(v) = \frac{\sqrt{\epsilon(v)} - \sqrt{\epsilon(0)}}{\sqrt{\epsilon(v)} + \sqrt{\epsilon(0)}} \quad (3b)$$

이다.

Razzaghi와 Ahmad가 분수식 선형변환을 통하여 얻은 Riccati 방정식에는  $\epsilon(x)$ 의 도함수가 포함되지 않는다. 따라서 식 (2)는 유전율 분포에 불연속점을 갖는 매질에도 적용할 수 있다. 그러나, 불연속 매질에서는 추정된 유전율 분포에서 위상오차에 의한 거리방향의 편이(longitudinal shift)가 발생한다. 이 위상오차의 원인을 규명하고 유전율 분포를 정확히 추정하기 위하여 그림 2와 같이 자유공간에 놓인 두

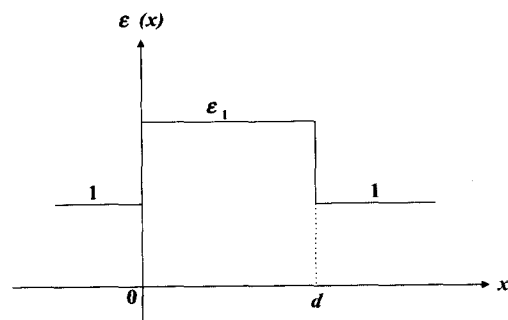


그림 2. 두께 d의 유전체 슬랩  
Fig. 2. A dielectric slab with the thickness d.

계  $d$ 인 유전체 슬랩(dielectric slab)을 생각한다.

$\chi=0$ 에서 반사계수는 다음과 같다.

$$\chi(k,0) = \frac{\Gamma - \Gamma e^{-j2k\sqrt{\epsilon_1}d}}{1 - \Gamma^2 e^{-j2k\sqrt{\epsilon_1}d}} \quad (4a)$$

$$\Gamma = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_1}}{1 + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (4b)$$

식 (4a)를 기하급수로 전개하면 다음과 같다.

$$\chi(k,0) = \Gamma + (-\Gamma + \Gamma^3)e^{-j2k\sqrt{\epsilon_1}d} + (-\Gamma^3 + \Gamma^5)e^{-j4k\sqrt{\epsilon_1}d} + \dots \quad (5)$$

식 (5)를 역후리에 변환하여 다음 식을 얻는다.

$$R(u) = \Gamma\delta(u) + (-\Gamma + \Gamma^3)\delta(u - 2\sqrt{\epsilon_1}d) + (-\Gamma^3 + \Gamma^5)\delta(u - 4\sqrt{\epsilon_1}d) + \dots \quad (6)$$

식 (6)을 식 (2)에 대입하면,

$$\int_{0^-}^t R(u) du = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \Gamma, & 0 \leq t < 2\sqrt{\epsilon_1}d \\ \Gamma^3, & 2\sqrt{\epsilon_1}d \leq t < 4\sqrt{\epsilon_1}d \\ \vdots, & \vdots \end{cases} \quad (7)$$

이고, 유전율 분포는 다음과 같이 추정된다.

$$\epsilon(x) \approx \begin{cases} \epsilon(0^-) = 1, & t < 0 \\ \epsilon(0^-) \frac{1 - 2\Gamma}{1 + 2\Gamma}, & 0 \leq t < 2\sqrt{\epsilon_1}d \\ \epsilon(0^-) \frac{1 - 2\Gamma^3}{1 + 2\Gamma^3}, & 2\sqrt{\epsilon_1}d \leq t < 4\sqrt{\epsilon_1}d \\ \vdots, & \vdots \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\epsilon(0^-)$ 는  $\chi$ 가 0으로 접근할 때  $\epsilon(\chi)$ 의 좌극한값이다. 식 (7)에서,  $t=0$ 에 대응되는  $x=0$ 에서 유전율의 불연속점을 포함시키기 위하여 적분의 하한값을  $0^-$ 로 한다.  $|\Gamma| < 1$ 이므로 식 (8)에서 세 번째 구간 이후의  $\epsilon(\chi)$  값은  $\epsilon(0^-) = 1$ 에 근사적으로 수렴한다. 그림 2와 식 (8)을 비교하면,  $x=d$ 일 때  $t = 2\sqrt{\epsilon_1}d$ 이어야 한다. 그러나,  $x=d$ 에 대하여 식 (3a)로부터  $t$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$t = 2 \int_{0^-}^d \sqrt{\epsilon(v)} \frac{1 + \alpha^2(v)}{1 - \alpha^2(v)} dv$$

$$\begin{aligned} &= 2 \int_{0^-}^d \sqrt{\epsilon_1} \frac{1 + \left( \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon(0^-)}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon(0^-)}} \right)^2}{1 - \left( \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon(0^-)}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon(0^-)}} \right)^2} dv \\ &= 2 \int_{0^-}^d \frac{\epsilon_1 + 1}{2} dv \\ &= (\epsilon_1 + 1)d \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에 의한  $t$ 값의 변화가 추정된 유전을 분포에서 거리 방향의 편이를 발생시킨다. 이 편이를 줄이고 유전을 분포를 정확히 추정하기 위하여 다음과 같이 위상 보정인자  $b$ 를 도입한다.

$$b = \frac{2\sqrt{\epsilon_1}}{(\epsilon_1 + 1)} \quad (10)$$

이 보정인자를 이용하여 식 (2)에서 적분의 상한값  $t$ 를 다음과 같이 보정한다.

$$\hat{t} = bt \quad (11)$$

따라서 식 (2)는 다음과 같이 보정된다.

$$\hat{\epsilon}(x) \approx \epsilon(0^-) \left[ \frac{1 - 2 \int_{0^-}^{\hat{t}} R(u) du}{1 + 2 \int_{0^-}^{\hat{t}} R(u) du} \right] \quad (12)$$

비대칭 유전체 슬랩(그림 2에서  $x \geq d$ 에 대하여  $\epsilon(x) \neq 1$ 인 경우)에 대해서는 반사계수식 만 식 (4a)와 다를 뿐, 식 (10)과 (11)은 여전히 성립한다.

그림 3은 유전율  $\epsilon_1$ 과 보정인자  $b$ 의 관계를 나타낸다. 유전율의 값에 따라 보정인자  $b$ 의 값도 달라

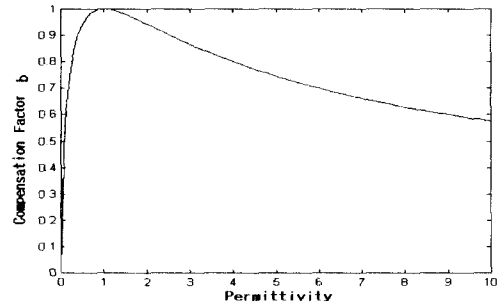


그림 3. 유전율과 보정인자와의 관계  
Fig. 3. Relationship between the permittivity and the compensation factor.

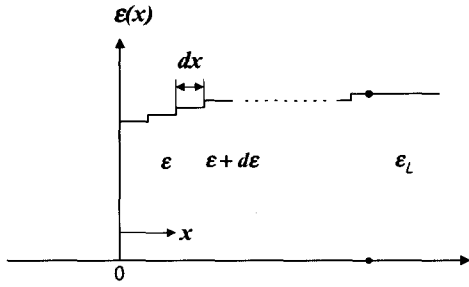


그림 4. 유전율이 연속적으로 변하는 매질의 근사 모델

Fig. 4. Approximated model of a continuous varying dielectric medium.

진다. 식 (12)를 이용하여 추정된 유전율 분포의 오차가 크게 감소됨을 다음 절의 예를 통하여 입증할 수 있다.

이 방법은 유전율이 연속적으로 변하는 매질에도 적용할 수 있다. 임의의 연속 매질을 그림 4와 같이 매우 얇은 균일 유전체 슬랩들이 연속적으로 결합된 형태로 근사 모델링(approximated modeling)하고 각각의 유전체 슬랩에 대한 유전율을 연속적으로 추정해 간다. 각 유전체 슬랩의 두께를 충분히 작게 함으로써 모델링 오차를 무시할 수 있다. 이 추정 방법은 각각의 유전체 슬랩에 대하여 유전율을 추정할 때 오차가 누적되지 않으므로 연속 매질의 유전율 분포를 정확히 추정할 수 있다.

### 2-2 유전율 분포의 계산 예

식 (12)를 이용하여 몇 개의 유전율 분포를 계산한다. 첫 째는 대칭 유전체 슬랩으로, 유전율이 다음과 같이 주어지는 경우를 생각한다.

$$\epsilon(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ 1.96, & 0 \leq x < 0.5 \\ 1, & x \geq 0.5 \end{cases} \quad (13)$$

이에 대한 주파수 영역에서의 반사계수는 다음과 같다.

$$\gamma(k,0) = \frac{-\frac{1}{6} + \frac{1}{6} e^{-j1.4k}}{1 - \frac{1}{36} e^{-j1.4k}} \quad (14)$$

두 번째 예는 비대칭 유전체 슬랩으로, 유전율 분포가 다음과 같이 주어지는 경우이다.

$$\epsilon(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ 1.96, & 0 \leq x < 0.5 \\ 1.69, & x \geq 0.5 \end{cases} \quad (15)$$

반사계수는 다음 식으로 표현된다<sup>[7]</sup>.

$$\gamma(k,0) = \frac{-\frac{1}{6} + \frac{1}{27} e^{-j1.4k}}{1 - \frac{1}{162} e^{-j1.4k}} \quad (16)$$

그림 5와 6은 위의 두 예에 대하여 추정된 유전율 분포를 나타낸다. 실선은 식 (13)과 식 (15)에 의한 정확한 분포이고 점선은 각각 식 (12)와 식 (2)를 이용하여 추정된 분포를 나타낸다. 식 (2)를 이용하여 추정된 분포에서 거리 방향의 편이가 나타난다. 그러나, 식 (12)를 이용하여 추정된 분포

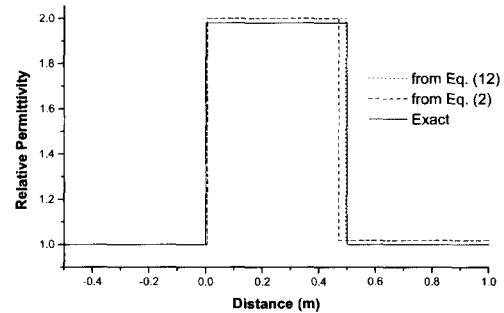


그림 5. 식 (13)의 추정된 유전율 분포

Fig. 5. Reconstructed profiles of Eq. (13).

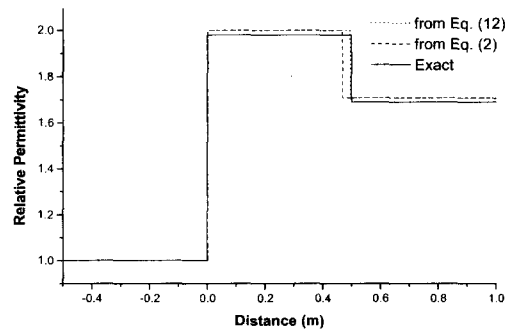


그림 6. 식 (15)의 추정된 유전율 분포

Fig. 6. Reconstructed profiles of Eq. (15).

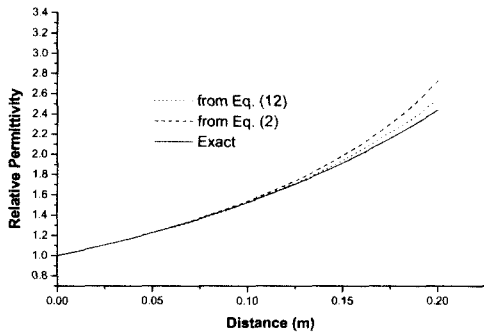


그림 7. 식 (17)의 추정된 유전율 분포  
Fig. 7. Reconstructed profiles of Eq. (17).

는 정확한 분포와 잘 일치한다. 보정인자를 도입함으로써 매우 정확한 유전율 분포를 추정할 수 있다. 한편, 제안된 방법은 간단하면서도 효과적이다. 불연속의 시작점에서 유전율의 초기값  $\epsilon(0^+)$ 를 해석적 방법<sup>[8]</sup>으로 계산해야 하는 참고문헌 [9]의 방법과 비교할 때, 이 방법에서는 그런 사전 정보가 불필요하다.

다음은 연속 매질로서, 유전율과 반사계수가 각각 다음과 같이 주어지는 경우를 생각한다.

$$\epsilon(x) = \frac{1}{(1-x)^4}, \quad 0 < x < 1 \quad (17)$$

$$\gamma(k, 0) = \frac{-0.5}{0.5 + jk} \quad (18)$$

그림 7의 실선은 식 (17)을 만족하는 유전율 분포이고 점선과 줄선은 각각 식 (12)와 식 (2)에 의해 추정된 분포를 나타낸다. 거리가 증가함에 따라 식 (2)에 의해 추정된 값보다 식 (12)에 의해 추정된 값이 더 정확함을 확인할 수 있다.

### III. 임피던스 정합선로의 설계

#### 3-1 유전율 추정법을 이용한 정합선로의 설계

그림 8은 임피던스가  $\bar{Z}_L$  인 부하를 특성 임피던스가  $\bar{Z}_0$  인 선로에 정합시키기 위한 테이퍼형 임피던스 정합선로를 나타낸다. 여기서, 임피던스는 모두 정규화된 임피던스(normalized impedance)를 의미한다. 파수  $k$ 의 TEM파가 정합선로의 입력점에 입사한다. 주파수 영역의 반사계수에 대한 비선형

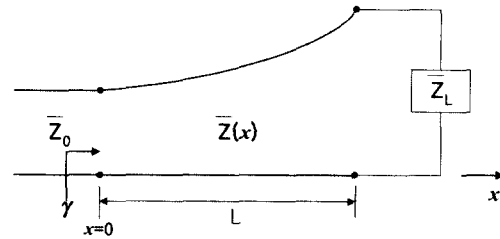


그림 8. 테이퍼형 임피던스 정합선로  
Fig. 8. Schematic of a tapered impedance-matching line.

Riccati 미분방정식은 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$\frac{d\gamma}{dx} = j2\beta\gamma - \frac{1}{2} [1 - \gamma^2] \frac{d(\ln \bar{Z})}{dx} \quad (19)$$

여기서  $\beta$ 는 전파상수(propagation constant),  $\gamma$ 는 반사계수, 그리고  $\bar{Z}(x)$ 는 거리  $x$ 에서의 정규화된 국소 특성 임피던스(normalized local characteristic impedance)를 나타낸다. 테이퍼형 정합선로를 설계하기 위해서는 원하는 반사특성을 나타내는 특성 임피던스 분포  $\bar{Z}(x)$ 를 알아내야 한다. D. C. Alencar<sup>[10]</sup> 등은 윌터를 설계하는 과정에서 변형된 소반사 이론(modified small reflections theory)을 적용하여 식 (19)로부터  $\bar{Z}$ 를 구하였다. 이 방법으로 구한 결과에 의하면 윌터의 길이가 설계하고자 하는 윌터의 길이보다 길어진다. 따라서, 신뢰성 있는 해석법에 의하여 윌터의 크기를 조정해야 한다. 최근에, 임피던스 분포의 근사해에 일차의 오차항(error term of the first degree)을 추가한 다음, 반복적 수치계산을 통하여 원하는 특성의 정합선로를 설계하는 방법이 제안되었다<sup>[11]</sup>. 이 방법은 엘거리즘이 간단하면서도 좋은 설계 결과를 주지만, 임피던스 분포의 정확한 해를 얻기 위해서는 반복 계산의 횟수를 늘려야 한다.

식 (19)로부터  $\bar{Z}$ 를 직접 구하는 대신에, 그림 8의 테이퍼형 정합선로와 동일한 반사특성을 갖는 가상의 일차원 유전체를 생각한다. 이때, 식 (19)의 특성 임피던스  $\bar{Z}$ 는 매질의 정규화된 고유 임피던스(normalized intrinsic impedance)  $\bar{Z}_{in}$ 에 대응되고 TEM파에 대해서 다음 식이 성립한다.

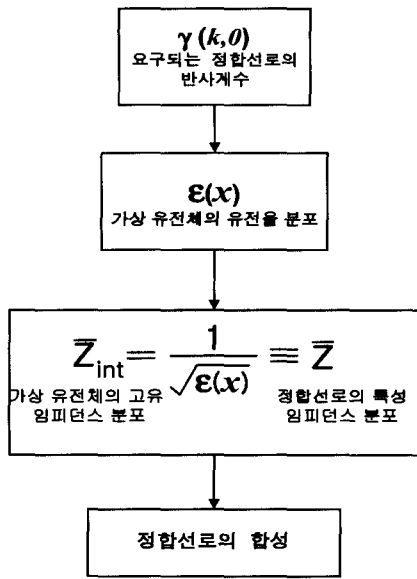


그림 9. 설계 절차  
Fig. 9. Design procedure.

$$\bar{Z}_{int}(x) = 1/\sqrt{\epsilon(x)} \quad (20a)$$

$$\beta(x) = k\sqrt{\epsilon(x)} \quad (20b)$$

식 (19)는 식 (20a), (20b)를 이용하여 식 (1)로 변환된다. 따라서, 주어진 반사계수에 대하여 식 (1)에서  $\bar{Z}$ 를 알아내는 문제는, 식 (1)에서 유전율 분포  $\epsilon(x)$ 를 구하는 문제로 변환된다. 이때, 유전율 분포의 추정은 2장에서 제안한 위상보정 추정법을 이용한다. 유전율 분포가 추정되면 식 (20a)로부터 유전체의 고유 임피던스 분포가 구해진다. 가상 유전체의 고유 임피던스 분포가 설계하려는 정합선로의 특성 임피던스 분포와 같다고 가정하여 정합선로를 합성한다. 즉, 합성된 정합선로는 가상 유전체와 동일한 반사특성을 갖는다. 그림 9는 제안된 설계법을 요약한 것이다.

### 3-2 설계 예

첫째로, 특성 임피던스가 지수적으로 변화하는(exponentially tapered) 정합선로를 설계한다. 선로의 반사계수는 다음과 같다<sup>[12]</sup>.

$$\gamma(\beta, 0) = \frac{1}{2} e^{-j\beta L} \ln\left(\frac{\bar{Z}_L}{\bar{Z}_0}\right) \frac{\sin \beta L}{\beta L} \quad (21)$$

여기서  $L$ 은 정합선로의 길이이고,  $100\Omega$  ( $\bar{Z}_L = 2$ )의 부하를  $50\Omega$  ( $\bar{Z}_0 = 1$ )의 선로에 정합시키도록 정합선로를 설계한다.

다음은  $100\Omega$ 의 부하를  $50\Omega$ 의 선로에 정합시키는 삼각 테이퍼형(triangularly tapered) 정합선로이다. 반사계수는 다음 식으로 주어진다<sup>[12]</sup>.

$$\gamma(\beta, 0) = \frac{1}{2} e^{-j\beta L} \ln\left(\frac{\bar{Z}_L}{\bar{Z}_0}\right) \left[\frac{\sin(\beta L/2)}{\beta L/2}\right]^2 \quad (22)$$

식 (12)를 이용하여 식 (21), (22)로 주어진 반사계수에 대응되는 가상 유전체의 유전율 분포를 추정하고 식 (20a)를 이용하여 고유 임피던스 분포를 구하면 그림 10과 같다. 그림 10의 고유 임피던스 분포가 정합선로의 특성 임피던스 분포와 같도록 다음 관계식을 이용하여 마이크로스트립으로 정합선로를 합성한다<sup>[12]</sup>.

$$w/h = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2}, & w/h < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[ B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right], & w/h > 2 \end{cases} \quad (23a)$$

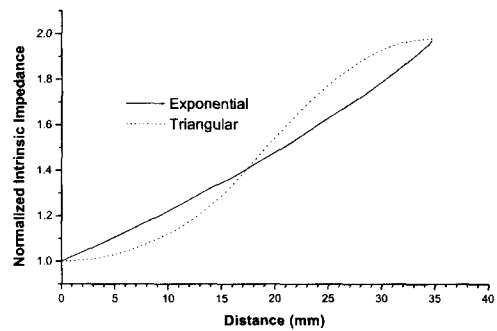


그림 10. 식 (21), (22)의 반사계수를 발생시키는 가상 유전체의 복원된 고유 임피던스 분포

Fig. 10. Reconstructed intrinsic impedance profiles of the virtual dielectrics which generate the reflection coefficients specified by Eq. (21) and Eq. (22).

$$A = \frac{Z}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (23b)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z\sqrt{\epsilon_r}} \quad (23c)$$

여기서  $Z$ 는 특성 임피던스,  $w$ 는 마이크로스트립 도체의 폭,  $h$ 와  $\epsilon_r$ 은 각각 유전체 기판의 두께와 비유전율을 나타낸다. 그림 11은 식 (23a)~(23c)를 이용하여 그림 10의 임피던스 분포로부터 변환된 마이크로스트립 도체의 패턴을 보이고 있다. 사용된 유전체 기판의 비유전율은 4.4이고 정합선로의 길이는 모두 34.7 mm이다.

정합선로의 반사계수는 다음 식으로 계산된다.

$$\gamma(\beta, 0) = \frac{1}{2} \int_0^L e^{-j2\beta x} \frac{d}{dx} \ln \left( \frac{\bar{Z}}{Z_0} \right) dx \quad (24)$$

식 (20a)로 주어지는  $\bar{Z}$ 는 이산데이터(discrete data)이므로 수치 보간법(numerical interpolation)에 의하여  $x$ 에 관한 연속함수로 나타낸다. 그림 12는 설계된 정합선로의 주파수에 따른 반사계수 크기의 변화를 나타낸다. 점선은 시뮬레이션 결과이고 실선은 설계목표로 주어진 식 (21), (22)를 만족하는 반사특성을 나타낸다. 설계된 정합선로의 반사특성이 목표값과 잘 일치한다.

제안된 설계법의 장점은 등가회로에 의하여 정합선로의 특성을 해석하지 않고서 임의의 주파수 특

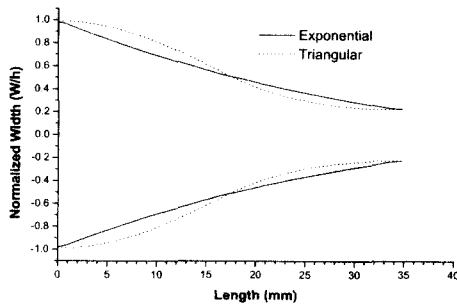


그림 11. 그림 10의 임피던스 분포로부터 변환된 마이크로스트립 도체의 패턴

Fig. 11. The patterns of microstrip conductors converted from the impedance profiles of Fig. 10.

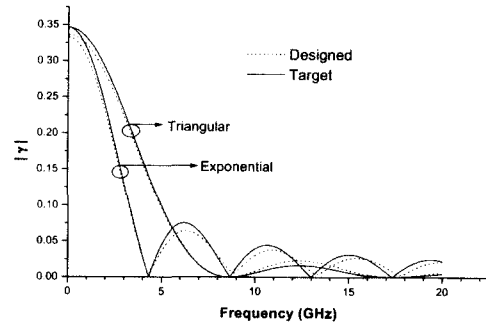


그림 12. 설계된 테이퍼형 임피던스 정합선로의 주파수에 따른 반사계수 크기의 변화

Fig. 12. The magnitude variations of the reflection coefficients versus frequency for the designed tapered impedance-matching lines.

성을 갖는 정합선로를 설계할 수 있는 점이다. 즉, 정합선로의 주파수 영역에서의 반사계수 특성만 주어지면 설계가 가능하다. 이 방법에서는 TLM에 의한 설계법<sup>[4]</sup>에서 필연적으로 나타나는 오차가 발생하지 않으므로 더욱 정확한 설계를 할 수 있다. 또한, 반복 수치계산법<sup>[11]</sup>에 비하여 짧은 시간 안에 원하는 정합선로를 정확히 설계할 수 있다.

마이크로스트립을 이용하여 정합선로를 실제 제작하고 반사계수의 크기를 측정하면 측정 값과 목표 값 사이에 오차가 존재한다<sup>[3], [4], [10]</sup>. 이것은 제작 기술의 정확도 및 후린징 필드(fringing fields)에 의한 유효 길이(effective length)의 변화 등을 그 원인으로 들 수 있다. 이러한 오차가 정합선로의 원하는 특성에 무시할 수 없는 영향을 준다면, 유효길이의 교정 등을 통하여 보다 정확한 특성을 갖는 정합선로를 설계 및 제작할 수 있다.

#### IV. 결 론

일차원 매질의 유전율 분포를 정확히 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안하고 이 방법으로 임피던스 정합선로를 설계하였다. 설계하려는 정합선로의 반사계수 특성으로부터 가장 유전체의 유전율 분포를 추정하고, 유전체와 동일한 반사특성을 갖는 정합선로를 합성하였다. 설계된 지수함수 테이퍼형 정

합선로와 삼각 테이퍼형 정합선로에 대하여 반사계수 크기의 씨물레이션값과 목표값이 잘 일치함을 보임으로써 제안된 방법의 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] I. T. Rekanos and T. D. Tsiboukis, "An iterative numerical method for inverse scattering problems", *Radio Science*. vol. 34, no. 6, pp. 1401-1412, Nov. 1999.

[2] G. H. Song and S. Y. Shin, "Design of corrugated waveguide filters by the Gel'fand-Levitan-Marchenko inverse scattering method", *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 2, pp. 1905-1915, 1985.

[3] P. P. Roberts and G. E. Town, "Design of microwave filters by inverse scattering", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 43, no. 4, pp. 739-743, Apr. 1995.

[4] R. P. Moreira and Leonardo R. A. X. Menezes, "Direct synthesis of microwave filter using inverse scattering transmission-line matrix method", *IEEE Trans Microwave Theory Tech.* vol. 48, no. 12, pp. 2271-2276, Dec. 2000.

[5] R. E. Collin, *Foundations for microwave engineering*, McGraw-Hill, Inc., 1966.

[6] M. Razzaghi and F. Ahmad, "Reconstruction of

permittivity profiles through a transformation of the differential equation for the reflection coefficient", *J. Electromag. Wave Appl.* vol. 13, pp. 757-765, 1999.

[7] W. C. Chew, *Waves and Fields in inhomogeneous media*, VNR, 1990.

[8] K. I. Hopcraft and P. R. Smith, "Geometrical properties of backscattered radiation and their relation to inverse scattering", *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 6, pp. 508-516, 1989.

[9] T. J. Cui and C. H. Liang, "Reconstruction of the permittivity profile of an inhomogeneous medium using an equivalent network method", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 41, no. 12, pp. 1719-1726, Dec. 1993.

[10] D. C. Alencar and Leonardo R. A. X. Menezes, "Direct synthesis of microwave filters using modified small reflections theory", *IEEE MTT-S IMOC '99 Proc.* pp. 183-186, 1999.

[11] S. Kim, H. Jwa, and H. Chang, "Design of impedance-matching circuits with tapered transmission lines", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 20, no. 6, pp. 403-407, Mar. 1999.

[12] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, Addison Wesley, 1990.

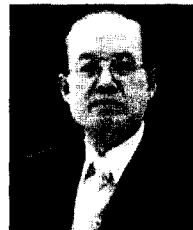
송 중 호



1973년 10월 3일생  
 1996년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1998년 2월: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)  
 1998년 3월~현재: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나, 전자파 역산란 해석 및 응용, 마이크로파 회로

이 상 설



1961년: 한양대학교 전기공학과 (공학사)  
 1966년: 한양대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1977년: 프랑스 그로노블대학교 (공학박사)  
 1987년~현재: 특허청 심사자문위원

원  
 1996년: 대한전자공학회 회장  
 1996년~현재: 한국과학기술총연합회 이사  
 현재: 한양대학교 전자전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 안테나 및 전자파 이론