

Establishment of Equivalent Circuit Model about Planar-type Inductively Coupled Plasma Sources

李宗圭\* · 權得哲\* · 柳東勳\* · 尹南植†

(Jong-Kyu Lee · Deuk-Chul Kwon · Dong-Hun Yu · Nam-Sik Yoon)

**Abstract** - Impedance matching characteristics of planar type inductively coupled plasma sources are investigated utilizing the previously reported two-dimensional theory[1] of the anomalous skin effect. Two types of matching networks are considered, and the values of the circuit elements are expressed as functions of various reactor parameter. Also, two cases of perfect and imperfect matching conditions are considered and the functional dependence of the values of matching capacitance and reflection coefficient on the various reactor parameters are investigated using the present circuit model.

**Key Words** : Plasma, 등가회로, 임피던스, 정합 Network

1. 서 론

평판형 유도결합 플라즈마(Planar-type ICP) 장치는 외부 자장이 없는 저압의 조건에서도 고밀도의 균일한 플라즈마를 발생시킬 수 있는 장점 때문에 반도체 및 디스플레이 제작 등의 산업 분야에서 다양한 응용 범위를 가지고 있으며 최근 까지 많은 이론 및 실험적 연구의 주제가 되어왔다. 평판형 유도결합 플라즈마 장치에서는 플라즈마 발생을 위한 고주파 전원공급기가 임피던스 정합 network를 통해 플라즈마 반응기와 연결(그림 1)된다.

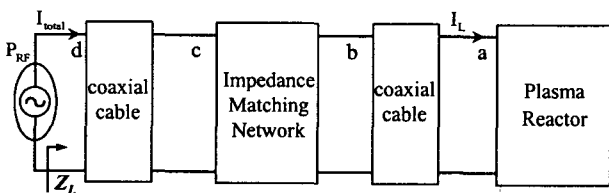


그림 1. 평판형 유도결합 플라즈마 장치의 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of a planar-type ICP device

이러한 전체 장치의 설계 및 성능 개선을 위해서는 전체 등가회로[2]에 대한 이론적인 이해가 필수적일 것이다. 특히 임피던스 정합의 추세는 자동정합 회로의 개발이 요구되는 상황으로 가고 있으며, 자동정합 회로의 설계를 위해서는 비선형적 특징으로 인해 물리학적 특성을 이해하기가 매우 어

려운 플라즈마 반응기의 임피던스 값( $Z_L$ )이 여러 가지 장치 및 플라즈마 변수들의 함수로 표현되어야 한다. 이러한  $Z_L$ 은 플라즈마 발생을 위한 기본 과정인 전자가열 과정에 대한 맥스웰-볼츠만 식의 해를 구한 뒤에 결정할 수 있으며 근래에 보고된 연구 결과[1]에 의하면 통상적으로 10 mTorr(Argon 플라즈마의 경우) 이하의 저압 조건에서도 적용 가능하기 위해서는 anomalous skin effect(ASE)가 포함되어야 한다. 참고문헌 [1]의 ASE 이론에서는 field 정의[3]에 입각한 장치 임피던스 표현식을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 [1]의 임피던스 표현식의 결과를 이용하였다.

전원 단에서 바라본 부하는 플라즈마와 고주파 안테나를 포함하는 복소 임피던스이기 때문에 플라즈마 발생을 위한 최대 전력전달이 이루어지기 위해서는 전원 측과 부하 측 사이에 별도의 회로, 즉 수동 소자로 이루어진 임피던스 정합 network가 삽입되어야만 한다. 2장의 본문에서 등가 회로 모델을 구성하는 이론적인 식들을 설명하였고, 3장에서는 여러 가지 상황에 대해 정합 특성을 분석하였으며 4장에서 종합하여 정리하였다.

2. 본 론

본 연구에서 고려된 정합 network들은 통상적으로 널리 사용되는 Standard-type과 Alternate-type의 두 가지이다. 완전 정합 조건의 경우에는 정합회로의 소자 값들인 부하 커패시터  $C_L$ 과 조정 커패시터  $C_T$ 를 다양한 플라즈마 변수들의 함수로 표현하여 그 의존성을 분석하였고, 불완전 정합을 가정한 경우에는 반사파에 대한 반사계수와 반사율을 계산하였다.

2.1 완전 정합 조건의 경우

본 연구에서 고려한 Standard-type(이하 Type I)과

† 교신저자, 正會員 : 忠北大學 電氣電子컴퓨터工學部 副教授  
E-mail : nsyoon@chungbuk.ac.kr

\* 學生會員 : 忠北大學 電氣工學科 碩士課程  
接受日字 : 2005年 3月 3日  
最終完了 : 2005年 3月 31日

Alternate-type(이하 Type II)의 정합회로는 그림 2와 같다. 기본적으로 장치의 리액턴스는 유도성 리액턴스만을 고려하였으므로 정합회로는 가변 커패시터만으로 구성되어 있고 부하 커패시터  $C_L$ 과 조정 커패시터  $C_T$ 는 임피던스 정합 조건에 의해서 결정된다.

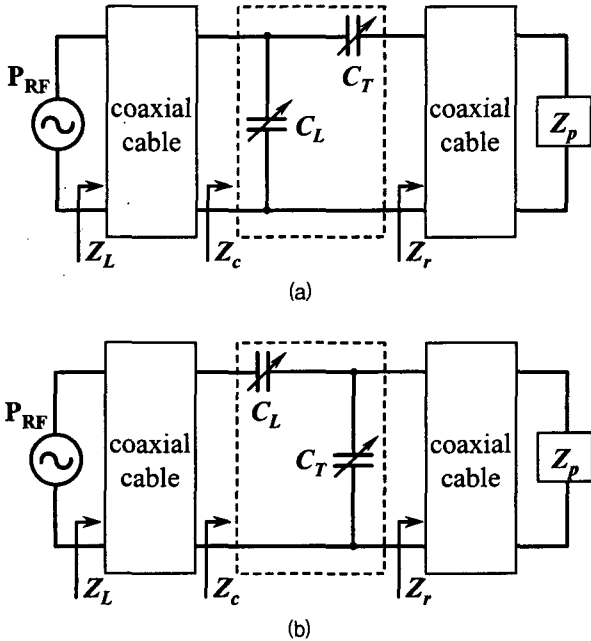


그림 2. 임피던스 정합회로  
(a) Standard-type (b) Alternate-type  
Fig. 2 Impedance matching circuit  
(a) Standard-type (b) Alternate-type

장치의 부하 임피던스  $Z_c$ 는 anomalous skin effect가 포함되어 저압 조건에서 적용 가능한 2차원 전자 가열 이론[1]을 기반으로 계산된 값에 장치 쪽 동축케이블의 임피던스를 더한 값이며 동축케이블의 길이는 임의로 0.2 m로 가정했고, 완전 정합 조건의 경우 전원공급기 쪽 동축케이블의 임피던스는 길이에 상관없이 무한한 전송선로의 특성 임피던스  $Z_0$ 가 되어 회로 상에서 의미가 없으므로 고려하지 않았다. 따라서 플라즈마 임피던스  $Z_p$ 와 정합회로가 보는 부하 임피던스  $Z_r$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Z_r = R_r + jX_r = Z_0 \frac{Z_p \cos \beta l + jZ_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + jZ_p \sin \beta l} \quad (1)$$

$$Z_p(n_p, T_e, \omega, \nu, R, L_p, L_s, r_c, z_c) = R_p + jX_p \quad (2)$$

여기서  $\beta$ 는 입사파의 위상정수,  $l$ 은 동축케이블의 길이,  $n_p$ 는 전자 밀도,  $T_e$ 는 전자 온도,  $\omega$ 는 공급 주파수,  $\nu$ 는 충돌 주파수,  $R$ 은 챔버 반경,  $L_p$ 는 플라즈마 길이,  $L_s$ 는 챔버 뚜껑의 길이이고  $r_c$ 와  $z_c$ 는 각각 고주파 안테나의 반경과 축방향( $z$ )으로의 위치이다.(그림 3)

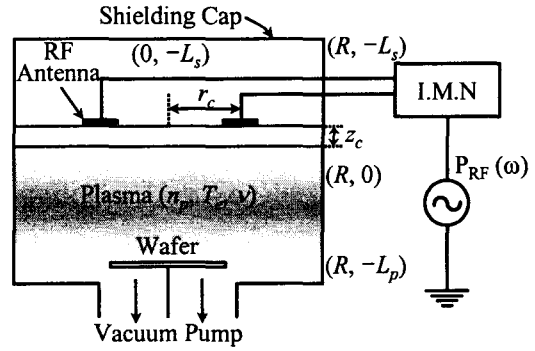


그림 3. 평판형 유도결합 플라즈마 장치의 개략도  
Fig. 3 Schematic diagram of a planar-type ICP device

공급 전원 측의 내부 임피던스는 일반적으로  $Z_0(=R_0+j0)$ 이고 부하 커패시터  $C_L$ 을 전원 쪽으로, 조정 커패시터  $C_T$ 를 부하 임피던스 쪽으로 포함시킨 후 각각을  $Z_A(=R_A-jX_A)$ ,  $Z_B(=R_B-jX_B)$ 로 정리하면 다음과 같고,

$$R_{I,A} = \frac{R_0 X_{CL}^2}{R_0^2 + X_{CL}^2}, \quad X_{I,A} = \frac{R_0^2 X_{CL}}{R_0^2 + X_{CL}^2} \quad (3)$$

$$R_{I,B} = R_r, \quad X_{I,B} = X_{CT} - X_r \quad (4)$$

$$R_{II,A} = R_0, \quad X_{II,A} = X_{CL} \quad (5)$$

$$R_{II,B} = \frac{R_r X_{CT}^2}{R_r^2 + (X_r - X_{CT})^2},$$

$$X_{II,B} = \frac{X_{CT} [X_r (X_r - X_{CT}) + R_r^2]}{R_r^2 + (X_r - X_{CT})^2} \quad (6)$$

공액 정합 조건(Conjugate matching condition)[4]을 적용하여 각 정합회로에 대한 소자 값을 결정할 수 있다.

$$X_{I,CL} = \sqrt{\frac{R_0^2 R_r}{R_0 - R_r}} \quad (7)$$

$$X_{I,CT} = X_r - \frac{R_0^2 X_{CL}}{R_0^2 + X_{CL}^2} \quad (8)$$

$$X_{II,CT} = \frac{X_r \pm \sqrt{\frac{R_r}{R_0} \sqrt{R_r^2 + X_r^2 - R_0 R_r}}}{1 - R_r/R_0} \quad (9)$$

$$X_{II,CL} = \frac{X_{CT} [X_r (X_{CT} - X_r) - R_r^2]}{R_r^2 + (X_{CT} - X_r)^2} \quad (10)$$

식 (3)-(10)의  $R_0$ 는 공급 전원 측의 내부 임피던스이고,  $X_{CL}=1/\omega C_L$ ,  $X_{CT}=1/\omega C_T$ , 첫 번째 첨자 'I', 'II'는 각각 Type I과 Type II를 나타낸다.

## 2.2 불완전 정합 조건의 경우

자동 정합회로 등을 고려하기 위해서는 불완전 정합의 경우에 회로적인 특성을 예측할 수 있는 것이 중요할 것이다. 그러므로 완전 정합 뿐 아니라 불완전 정합의 경우에 반사

계수  $\Gamma$ 와 반사율  $\nu$  등의 장치 및 플라즈마 변수 의존성을 분석할 필요가 있다.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{z_L - 1}{z_L + 1}, \quad z_L = \frac{Z_L}{Z_0} = r + jx \quad (11)$$

$$\gamma = |\Gamma|^2 = \left| \frac{z_L - 1}{z_L + 1} \right|^2 \quad (12)$$

여기서  $Z_L$ 은 정합 network를 포함하는 부하 측의 임피던스로 식 (13)과 같이 표현되며,  $z_L$ 은  $Z_L$ 을  $Z_0$ 로 정규화한 임피던스이다[5].

$$Z_L = Z_0 \frac{Z_c \cos \beta l + j Z_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + j Z_c \sin \beta l} \quad (13)$$

$$\text{Re}[Z_{I,c}] = \frac{R_r X_{CL}^2}{R_r^2 + (X_r - X_{CL} - X_{CT})^2} \quad (14)$$

$$\text{Im}[Z_{I,c}] = \frac{X_{CL}(X_r - X_{CT})(X_{CL} - (X_r - X_{CT}))}{R_r^2 + [X_{CL} - (X_r - X_{CT})]^2} - \frac{X_{CL} R_r^2}{R_r^2 + [X_{CL} - (X_r - X_{CT})]^2} \quad (15)$$

$$\text{Re}[Z_{II,c}] = \frac{R_r X_{CT}^2}{R_r^2 + (X_{CT} - X_r)^2} \quad (16)$$

$$\text{Im}[Z_{II,c}] = \frac{X_r X_{CT}(X_{CT} - X_r) - R_r^2 X_{CT} - X_{CL}}{R_r^2 + (X_{CT} - X_r)^2} \quad (17)$$

위의  $Z_L$ 식 (14)-(17)로부터 Type I의  $X_{CL}$ 과 Type II의  $X_{CT}$ 는 임피던스의 실수부를  $R_0$ 로 맞춰주는 역할[식 (14), (16)]을 하고 Type I의  $X_{CT}$ 와 Type II의  $X_{CL}$ 은 허수부를 0으로 만드는 역할[식 (15), (17)]을 함을 알 수 있다. 이는 3장의 계산 결과를 통해서도 확인할 수 있다.

### 3. 결 과

플라즈마의 임피던스가 여러 변수들의 함수이므로 정합소자 값인  $X_{CL}(1/\omega C_L)$ 과  $X_{CT}(1/\omega C_T)$ 도 역시 여러 장치 및 플라즈마 변수들의 함수로 표현될 수 있다. 따라서 정합 특성은 매우 많은 수의 변수들에 대한 의존성을 가지고 있을 것이며 상대적으로 중요한 변수의 선택 또한 상황에 따라 달라질 것이다. 본 연구에서는 주된 플라즈마 변수인 플라즈마 밀도 및 함수 의존성 변화 폭이 큰 장치 변수들에 대한 의존성 분석 결과들을 정리하였으며 계산에 가정된 기본 조건은  $n_p = 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ,  $T_e = 5 \text{ eV}$ ,  $\omega/2\pi = 13.56 \text{ MHz}$ ,  $\nu = 0$ ,  $R = 0.1 \text{ m}$ ,  $L_p = 0.2 \text{ m}$ ,  $L_s = 0.1 \text{ m}$ ,  $r_c = 0.07 \text{ m}$ ,  $z_c = -0.01 \text{ m}$ 이다.

#### 3.1 완전 정합

그림 4의 (a)는 13.56 MHz와 50 MHz의 주파수에 대한  $X_{CL}$ 의 밀도 의존성을 각 Type에 대해 비교한 것이다.

Type I의  $X_{CL}$ 은 낮은 밀도에서 증가하다가 최대점을 지난 후 감소하고 그 최대점은 주파수에 대해 민감한 의존성을 가

지고 있으며  $R_p$ 의 의존성과 유사하다. Type II의  $X_{CL}$ 은 밀도에 따라 지속적으로 감소하고 주파수에 대해서는 증가하고 있다. 그림 (b)는 각 Type의  $X_{CT}$ 와  $X_p$ 를 비교한 것으로 두 Type 모두  $X_p$ 와 유사한 결과를 보이고 있으며 특히 13.56 MHz에서는  $X_p$ 와 Type II의  $X_{CT}$ 가 10 %이내의 차이를 보이고 있다. 이는 각 Type의  $X_{CT}$ 가 결정되는데 있어서  $X_p$ 에 큰 영향을 받는다는 것을 의미한다.

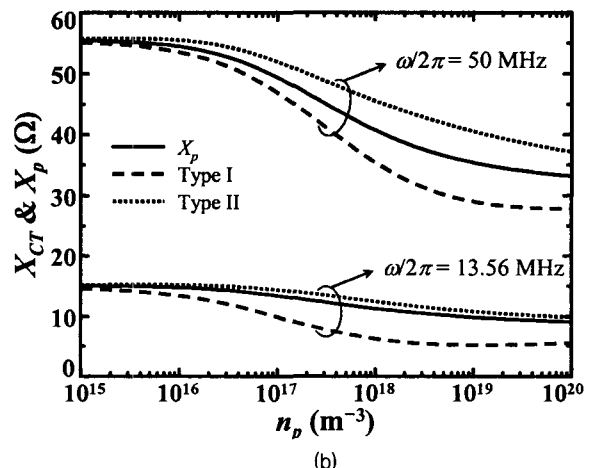
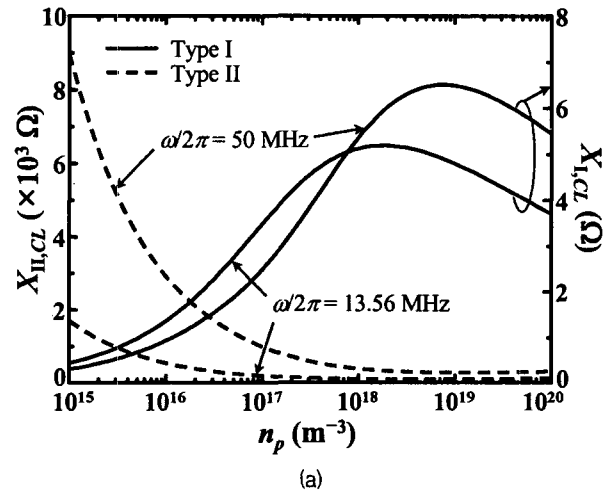


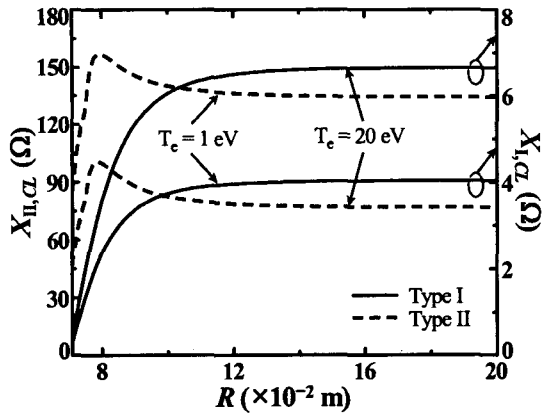
그림 4. RF 주파수에 대한 정합소자 값의 밀도 의존성

(a) 부하 커패시터  $X_{CL}(1/\omega C_L)$

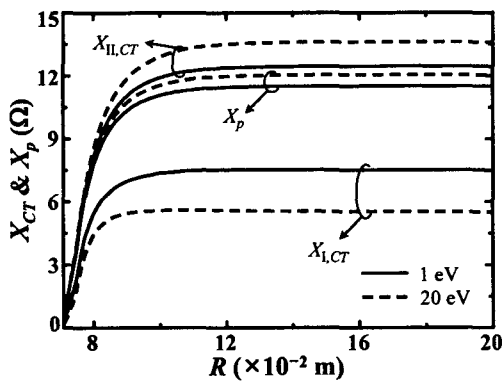
(b) 조정 커패시터  $X_{CT}(1/\omega C_T)$ 와 플라즈마 리액턴스  $X_p$

Fig. 4 Density dependence of matching value on the excitation frequency (a) loading capacitor  $X_{CL}(1/\omega C_L)$ , (b) tuning capacitor  $X_{CT}(1/\omega C_T)$  and plasma reactance  $X_p$

그림 5는 전자온도 1 eV와 20 eV에서의 정합소자 값의 챔버 반경 의존성이다. Type I의  $X_{CL}$ 은 그림 4의 밀도 의존성의 경우와 같이  $R_p$ 의 의존성을 따라가고 있다. Type II의  $X_{CL}$ 은 챔버 반경에 따라 증가하다가 최고점을 지난 후 감소하고 있는데 이는 커패시터의 용량( $1/\omega X_{CL}$ ) 측면으로 봤을 때 가장 적은 용량으로 임피던스 정합을 할 수 있는 지점이 존재한다는 것을 의미한다. 각 Type의  $X_{CT}$ [그림 5(b)]는  $X_p$ 의 의존성을 따라가는 점에 있어서는 그림 4의 (b)의 밀도 의존성의 결과와 유사하지만, 전자 온도에 대한 의존성은 Type I과 II가 각기 다른 양상을 보이고 있다.



(a)

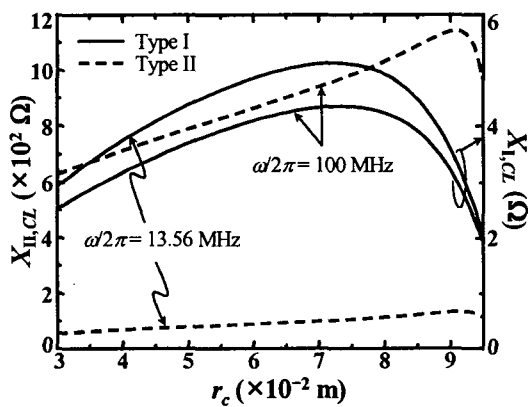


(b)

그림 5. 전자 온도에 대한 정합소자의 챔버 반경 의존성

- (a) 부하 커패시터  $X_{\alpha}(1/\omega C_L)$
- (b) 조정 커패시터  $X_{CT}(1/\omega C_T)$ 와 플라즈마 리액턴스  $X_p$

Fig. 5 Chamber radius dependence of matching value on the electron temperature (a) loading capacitor  $X_{\alpha}(1/\omega C_L)$ , (b) tuning capacitor  $X_{CT}(1/\omega C_T)$  and plasma reactance  $X_p$

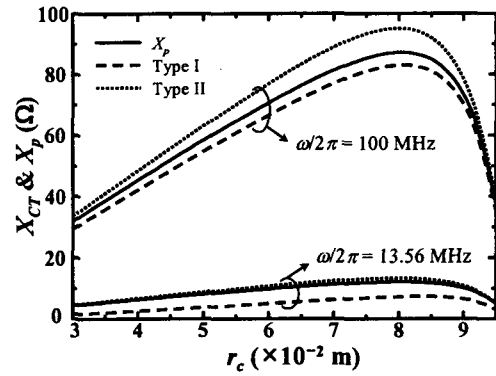


(a)

그림 6. RF 주파수에 대한 정합소자의 고주파 안테나 반경 의존성

- (a) 부하 커패시터  $X_{\alpha}(1/\omega C_L)$
- (b) 조정 커패시터  $X_{CT}(1/\omega C_T)$ 와 플라즈마 리액턴스  $X_p$

Fig. 6 Antenna coil radius dependence of matching value on the excitation frequency (a) loading capacitor  $X_{\alpha}(1/\omega C_L)$ , (b) tuning capacitor  $X_{CT}(1/\omega C_T)$  and plasma reactance  $X_p$



(b)

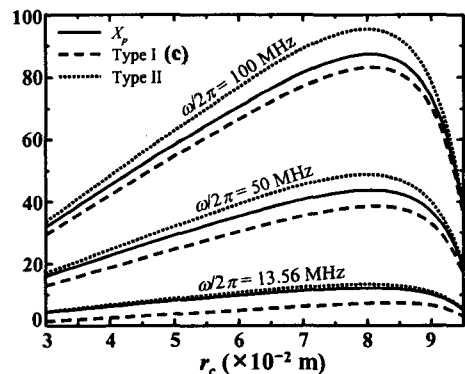
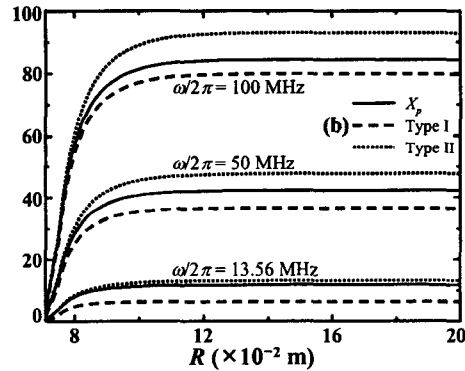
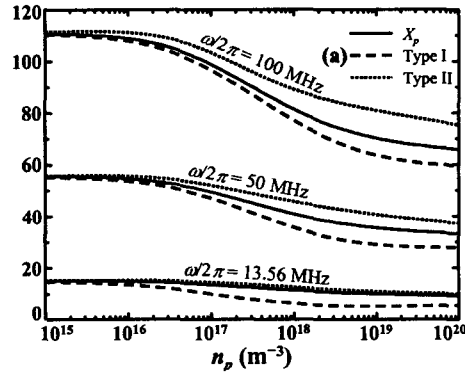


그림 7. 플라즈마 리액턴스  $X_p$ 와 조정 커패시터  $X_{CT}$ 의 비교 (a) 밀도 의존성, (b) 챔버 반경 의존성, (c) 안테나 코일 반경 의존성

Fig. 7 Comparison of the plasma reactance  $X_p$  with tuning capacitor  $X_{CT}$  (a) density dependence, (b) chamber radius dependence, (c) antenna coil radius dependence

그림 6은 13.56 MHz와 100 MHz에서의 정합소자 값의 주파수 안테나 반경 의존성이다. 그림 (a)에서 Type I의  $X_{CL}$ 은  $R_p$ 와 유사한 의존성을 보이는 점에 있어서 앞의 결과[그림 4(a), 5(a)]들과 일치하며, Type II의  $X_{CL}$ 은 코일 반경에 따라 증가하다가 최대점을 지나 감소하고 있다. 그림 (b)에서 각 Type의  $X_{CT}$ 는 앞의 결과[그림 4(b), 5(b)]들에 의한 예상대로  $X_p$ 와 유사한 의존성을 보이고 있으며, 13.56 MHz에서는  $X_p$ 와 Type II의  $X_{CT}$ 가 10 %이내의 차이를 보이고 있다.

그림 7은 여러 주파수에 대한 밀도, 챔버 반경, 안테나 코일 반경에 대한 의존성을 플라즈마 리액턴스  $X_p$ 와 Type I, II의 조정 커패시터  $X_{CT}$ 에 대해 비교한 것이다. 식 (15), (16)에서 Type I, II의  $X_{CT}$ 가  $X_r$ 에 의존적이기 때문에 앞의 결과 [그림 4(b), 5(b), 6(b)]에서와 같이  $X_p$ 와 유사한 의존성을 보이고 있으며, 특히 Type II의  $X_{CT}$ 는 식 (16)에서  $R_r$ 과  $X_r$ 만으로 결정이 되는데  $X_r$ 이 보통  $R_r$ 에 비해 수십 배정도 크기 때문에 [1,6-8] 주로  $X_r$ 에 의한 영향을 받을 것이라는 것을 예상할 수 있다.

3.2 불완전 정합

그림 8은 불완전 정합의 경우에 대한 상황을 고려한 것으로 그림 (a)는 특정 밀도에서만 정합이 되고 있는 상황에 대한 반사 계수  $\Gamma$ 를 복소 평면상에 나타낸 것이다. Type I과 Type II의 반사 계수가 서로 대칭인 형태를 보이고 있으며, Type I의 경우에는 밀도가 증가할수록 부하 특성이 유도성 리액턴스(복소 평면의 위쪽)로, Type II의 경우에는 축전성 리액턴스(복소 평면의 아래쪽)로 바뀌는 특성을 보이고 있다. 그림 (b)는 각 반사 계수에 대한 반사율로서 특정 밀도에서만 정합이 이루어지는 것을 나타내고 있다.

불완전 정합의 경우에는 전원공급기 쪽 동축케이블의 길이가 달라짐에 따라  $Z_L$ 과  $Z_c$ 의 차이가 매우 클 수 있으므로 장치변수와 동축케이블의 길이를 동시에 고려해야 하지만 주어진 정합회로의 기초적인 특성 분석이 주된 목적인 본 연구에서는 전원공급기 쪽 동축케이블의 길이를 0으로 가정했다.

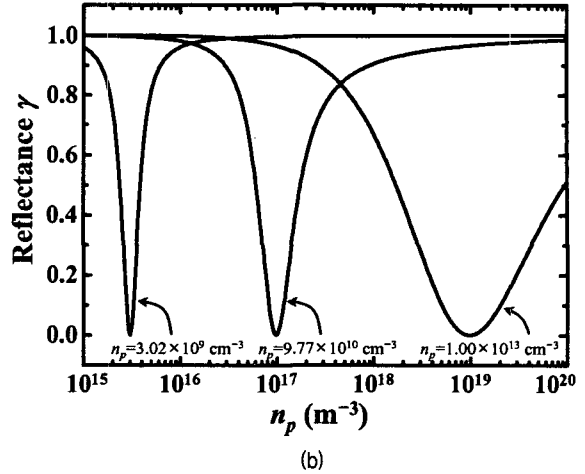
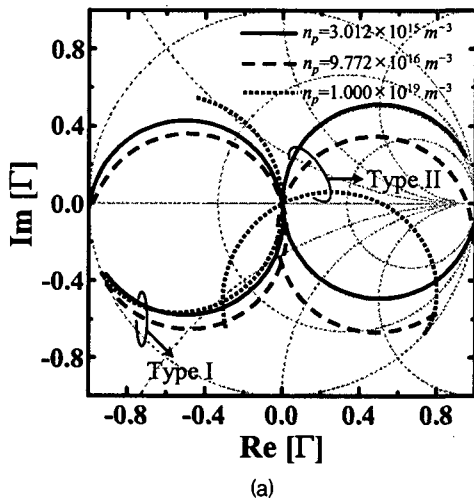


그림 8. 불완전 정합의 경우 (a) 반사 계수  $\Gamma$ , (b) 반사율  $\gamma$   
 Fig. 8 In the imperfect matching case (a) reflection coefficient  $\Gamma$ , (b) reflectance  $\gamma$

4. 결 론

2차원 전자 가열 모델을 기반으로 한 임피던스 계산을 이용하여 평판형 유도 결합 플라즈마 장치에 대한 등가회로 모델을 정립하여 Standard-type과 Alternate-type의 두 가지 정합회로에 대한 정합 특성을 비교, 분석하였다. 정합 network의 소자 값은 임피던스 정합 조건에 의하여 결정되며, 완전 정합 조건의 경우에 장치 및 플라즈마 변수들의 변화에 따른 정합소자 값의 의존성을 조사하였고, 불완전 정합을 가정한 경우에는 반사파에 대한 반사 계수와 반사율을 계산하였다. 또한 각 Type의 정합소자 값이 결정되는데 있어서 Type I의  $X_{CL}$ 은 주로  $R_r$ 의 의존성에 의한 영향을 받고 Type I과 II의  $X_{CT}$ 는  $X_r$ 에 강한 의존성을 보이며, Type II의  $X_{CL}$ 은 식 (17)의  $(X_{CT}-X_r)$ 항이 매우 작아지게 되어서 나머지  $R_r$ 과  $X_{CT}$ ,  $X_r$ 에 의한 복합적인 영향을 받게 된다는 것을 계산 결과들로서 확인하였다.

본 연구의 결과로 완성된 정합 특성 분석 프로그램은 장치 설계나 자동 정합회로 등의 보조도구로 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 아울러 기초적인 특성 분석이 주목적인 본 연구에서 사용한 임피던스 값에는 여러 부분에서의 기생저항 등이 포함되지 않았으며 장치의 축전용량 또한 고려되지 않았다. 현재 장치 표면에서의 표면전류 계산 등에 의한 기생저항 계산과 저주파의 경우까지 적용 범위를 확대하기 위하여 축전용량 계산 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

**감사의 글**  
 이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] N. S. Yoon, S. M. Hwang, Duk-In Choi, "Two-dimensional Non-local Heating Theory of Planar-type Inductively Coupled Plasma Discharge", Phys. Rev. E 55, 7536-7549 (1997).
- [2] 이종규, 권득철, 유동훈, 윤남식, 김정형, 신용현, "평판형 유도 결합 플라즈마 장치에 대한 Alternate type Impedance matching 회로 분석", 2004년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 C, pp. 1933-1935 (2004.)
- [3] J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, Wiley, New York, pp. 264-267, 1975.
- [4] Y. Sun, J. K. Fidler, "Design method for impedance matching networks", IEE Proc. -Circuits Devices Syst., vol. 143, 186. (1996).
- [5] William H. Hayt, John A. Buck, Engineering Electromagnetics, McGraw-Hill, p. 441, 2001.
- [6] K. -I. You and N. S. Yoon, "Discharge impedance of solenoidal inductively coupled plasma discharge", Phys. Rev. E 59, 7074-7084 (1999.)
- [7] N. S. Yoon, J. H. Han, S. M. Hwang and Duk-In Choi, "Two-dimensional Electron Heating Theory of Inductively Coupled Discharge", J. Korean Phys. Soc. 31, S196-S200 (1997.)
- [8] N. S. Yoon, S. S. Kim, C. S. Chang, and Duk-In Choi, "One-dimensional solution for electron heating in an inductively coupled plasma discharge", Phys. Rev E, 54, 757-767 (1996.)

저 자 소 개



**이 종 규(李宗圭)**

1979년 2월 12일생. 2004년 충북대학교 전기공학과 졸업(학사). 2004년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : 041-834-5830, Fax : 043-263-2419  
E-mail : soulljk304@chungbuk.ac.kr



**권 득 철(權得哲)**

1977년 3월 8일생. 2004년 충북대학교 전기공학과 졸업(학사). 2004년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : 054-673-3532, Fax : 043-263-2419  
E-mail : dooltough@hotmail.com



**유 동 훈(柳東勳)**

1977년 3월 8일생. 2004년 충북대학교 전기공학과 졸업(학사). 2004년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : 054-673-3532, Fax : 043-263-2419  
E-mail : ydong77@hotmail.com



**윤 남 식(尹南植)**

1966년 3월 10일생. 1990년 서강대 물리학과 졸업(학사). 1996년 한국과학기술원 대학원 졸업(박사). 현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 부교수.  
Tel : 043-261-2420, Fax : 043-263-2419  
E-mail : nsyoon@chungbuk.ac.kr