

## 8-6 Smith Chart : 교재 4장

； 전송선로의 문제는 복잡한 방정식이 많이 포함되어 있는데 이를 간단히 해결하기 위한 방법으로 1939년 P.H. Smith에 의해 개발된 Smith chart

- 반사계수와 임피던스 관계를 도식한 것
- 마이크로파 회로설계를 위한 소프트웨어와 측정장비의 중요부분
- 전송선로와 임피던스 정합문제를 직관적으로 해결할 수 있음.

• by (8-88)  $\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = |\Gamma| e^{j\phi_r}$   
 = 유한선로, 손실선로

식 (8-88)에서 유한선로를 무손실 선로로 변경

즉,  $Z_0 \Rightarrow R_0$

$$\Gamma = \frac{Z_L - R_0}{Z_L + R_0} e^{j\phi_r} \quad (8-97)$$

위식을  $Z_L = Z_L / R_0 = R_L / R_0 + j(X_L / R_0) = r + jx$  (단위없음) (8-98)

： normalize(정규화)하면

$\therefore \Gamma = \text{Normalize}$  (8-99)

$$= \frac{Z_L / R_0 - 1}{Z_L / R_0 + 1}$$

$$= \frac{Z_L - 1}{Z_L + 1} = \Gamma_r + j\Gamma_i$$

$$\therefore Z_L = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} = \frac{1 + (\Gamma_r + j\Gamma_i)}{1 - (\Gamma_r + j\Gamma_i)} \quad (8-100)$$

by 식 (8-98), (8-99)

$$\therefore Z_L = \frac{1 + (\Gamma_r + j\Gamma_i)}{1 - (\Gamma_r + j\Gamma_i)} = \frac{(1 + \Gamma_r) + j\Gamma_i}{(1 - \Gamma_r) - j\Gamma_i} = r \pm jx \quad (8-101)$$

실수 부분

$$r = \frac{1 - \Gamma_r^2 - \Gamma_i^2}{(1 - \Gamma_r)^2 + \Gamma_i^2}, \quad (0 < r < \infty) \quad (8-102)$$

$$\left(\Gamma_r - \frac{r}{1+r}\right)^2 + \Gamma_i^2 = \left(\frac{1}{1+r}\right)^2 \quad (8-104)$$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{축 : } \Gamma_r, \Gamma_i \\ \text{중심 : } \Gamma_r = \frac{r}{1+r} \text{ 과 } \Gamma_i = 0 \text{ 인 원} \\ \text{반지름 : } \frac{1}{1+r} \end{cases}$$

where,  $r = 0 \sim +\infty$  이므로

①  $r = 0$  ; 중심=(0,0)

반지름=1

②  $r = \infty$  ; 중심=(1,0)

반지름=0

③  $r = 1$  ; 중심=(1/2,0)

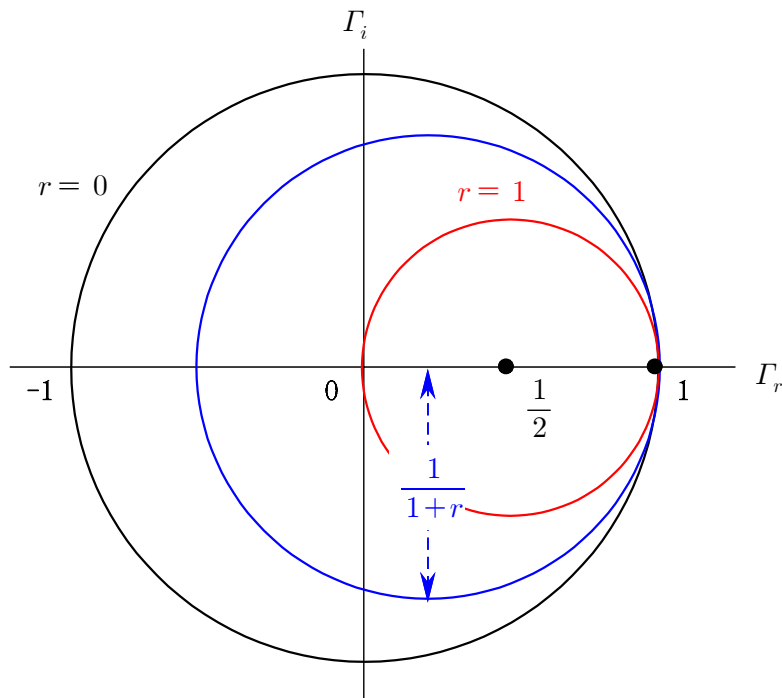
반지름=1/2

④  $0 < r < \infty$  ; 중심=( $r/(1+r)$ ,0)

반지름= $1/(1+r)$

$\therefore$  모든 원은 (1,0)을 통과, 중심은  $u$  축상만 존재

$\rightarrow$ 저항 곡선군(그림 8-6에서 실선부분)



허수부분

$$x = \frac{2\Gamma_i}{(1-\Gamma_r)^2 + \Gamma_i^2} \quad (8-103)$$

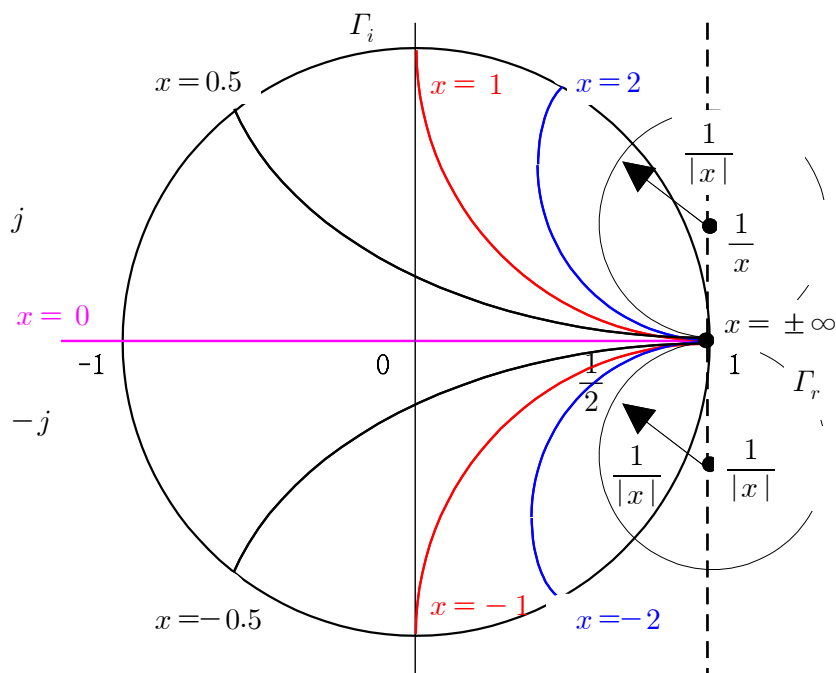
$$(\Gamma_r - 1)^2 + \left(\Gamma_i - \frac{1}{x}\right)^2 = \left(\frac{1}{x}\right)^2 \quad (8-105)$$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{축} : \Gamma_r, \Gamma_i \\ \text{중심} : \Gamma_r = 1 \text{과 } \Gamma_i = \frac{1}{x} \text{ 인 원} \\ \text{반지름} : \frac{1}{x} \end{cases}$$

where,  $-\infty < x < \infty$ 이므로

- ①  $x = -\infty$  ; 중심=(1,0), 반지름=0
- ②  $x = 0$  ; 중심=(1,  $\pm\infty$ ), 반지름= $\pm\infty$  → 즉  $u$  축 자신
- ③  $-\infty < x < 0$  ; 중심=(1,  $1/|x|$ ) : 부방향  
반지름= $1/|x|$  : Negative Reactance
- ④  $0 < x < \infty$  ; 중심=(1,  $1/x$ ) : 정방향  
반지름= $1/x$  : Positive Reactance
- ⑤  $x = +\infty$  ; 중심=(1,0), 반지름=0
- ⑥  $x = \pm 1$  ; 중심=(1,  $\pm 1$ ), 반지름= $\pm 1$

∴ 반원군 → Reactance 군(그림 8-6에서 점선부분)



ex)  $Z_L = 1 + j$  인 경우의 반사계수  $\Gamma_L = ?$ ,  $SWR = ?$

sol)

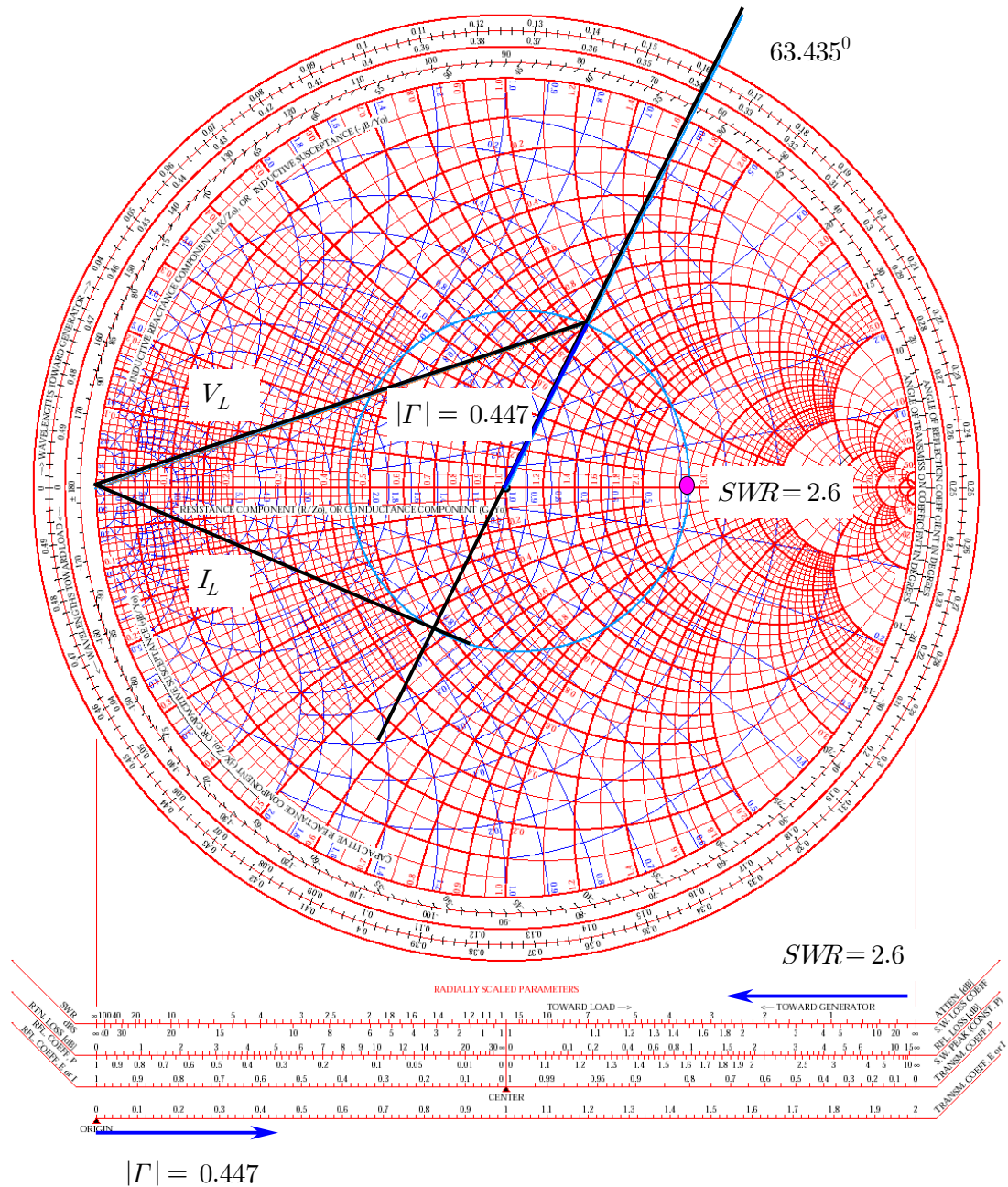
$$\begin{aligned}\text{식 (8-88)로부터 } \Gamma &= \frac{Z_L - 1}{Z_L + 1} = \frac{1 + j - 1}{1 + j + 1} = \frac{j}{2 + j} \\ &= \frac{1 \angle 90^\circ}{\sqrt{5} \cos^{-1} \frac{2}{\sqrt{5}}} = \frac{1 \angle 90^\circ}{\sqrt{5} \angle 26.565^\circ} \\ &= 0.447 e^{j 63.435}\end{aligned}$$

smith chart에서 구하는 법

- ① chart상에서  $Z_L = 1 + j$ 인 점을 찍는다. 즉,  $r = 1$ ,  $x = 1$ 인 점
- ② chart의 중심에서 부하점을 잇는 점선을 긋고 원주의 거리 눈금과 교차시킨 후  $0.162\lambda$ 를 읽는다.(대략 위상각  $\theta_r = 63.435^\circ$ )
- ③ 중심(0.0)이고 점 (1+j)를 지나는 정재파 원을 그린다.
  - 원의 반지름의 크기가 아래 참조 눈금에 해당하는 수치가 반사계수가 됨.  
(왼쪽 ORIGIN에서 시작됨)
  - 우측 실수축과 원이 교차하는 위치가 SWR임.(SWR=2.6)

|                          |                                                 |          |
|--------------------------|-------------------------------------------------|----------|
| NAME                     | TITLE                                           | DWG. NO. |
| SMITH CHART FORM ZY-01-N | COLOR BY J. COLVIN, UNIVERSITY OF FLORIDA, 1997 | DATE     |

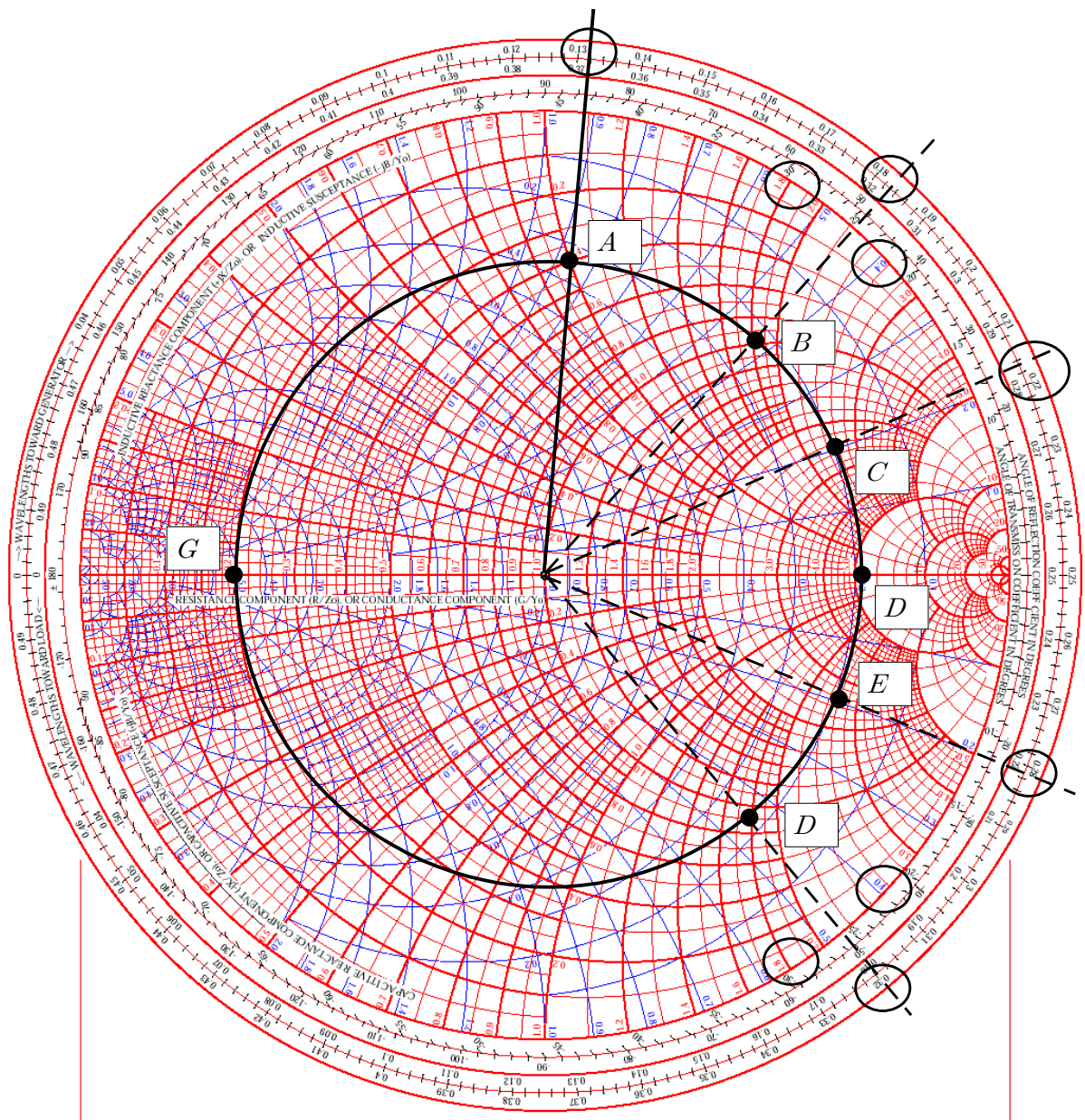
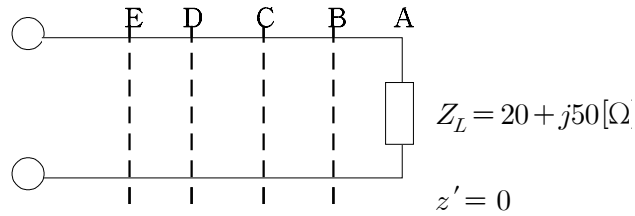
## NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



## ▣ Smith Chart 사용의 예

### 1) 입력 임피던스를 구하는 방법

무손실 선로의 경우, 선로의  $\text{Imp} = 50[\Omega]$



A점 :  $z' = 0$  ;  $Z(s) = Z_L = 0.4 + j1$  = normalized 부하 Imp

B점 :  $z' = 0.0522\lambda$  ;  $Z(s) = 1 + j1.84$  = 저항치가 특성 imp와 동일

C점 :  $z' = 0.0864\lambda$  ;  $Z(s) = 2.6 + j2.5$  = 정 reactance=최대

D점 :  $z' = 0.1182\lambda$  ;  $Z(s) = 5.2$  = 순저항최대 =SWR

E점 :  $z' = 0.15\lambda$  ;  $Z(s) = 2.6 - j2.5$  = 부 reactance=최대

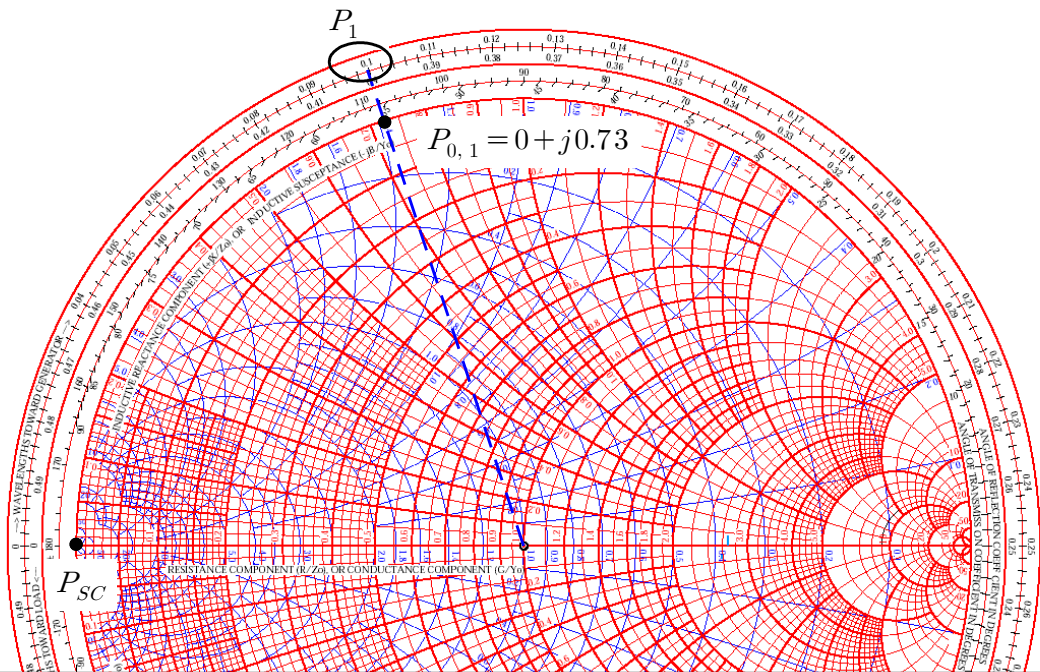
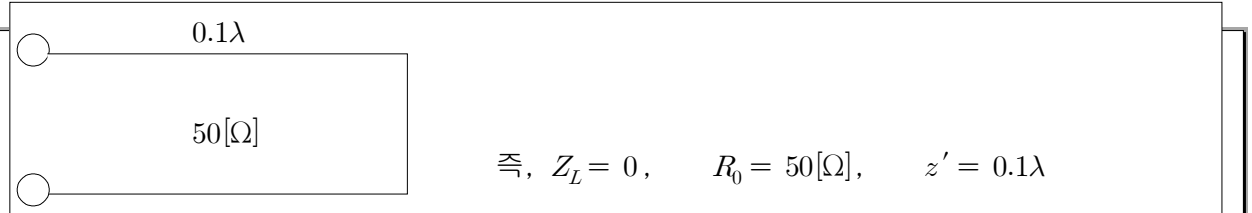
F점 :  $z' = 0.1842\lambda$  ;  $Z(s) = 1 - j1.84$  = 저항치가 특성 imp와 동일

G점 :  $z' = 0.3762\lambda$  ;  $Z(s) = 0.19$  = 순저항으로 저항 최소

H점 :  $z' = 0.5\lambda$  ;  $Z(s) = 0.4 + j1$  = 부하 imp

ex8-7, Smith chart를 이용해서 길이가 0.1파장이고 단락회로로 끝나는 50[Ω] 무손실 선로  
부분의 입력 임피던스를 구하라.

sol)



1.  $Z_L$ 을 정해야 하므로

$$Z_L = 0 \rightarrow \frac{r}{x} = \frac{0}{0} \rightarrow P_{SC}(\text{단락회로})$$

2. 부하에서 0.1λ 떨어진 점이므로

$$\rightarrow \text{발진기 쪽으로의 파수} : 0.1 \rightarrow P_1$$

3.  $P_{0,1\lambda}$  인 점을 읽는다.  $\rightarrow r = 0$ ,  $jx = j0.73$

4. 그러므로  $P_{0,1\lambda}$  에서  $Z_i = 50(0 + j0.73) = j36.5 = \text{유도성}$

식 (8-82)을 이용하면

$$Z_{is} = j R_0 \tan \beta l = j (50) \tan \left[ \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \times 0.1\lambda \right] = j \tan 0.2\pi$$

$$= j 50 \tan 36^\circ = j 36.3$$

ex 8-8) 길이가  $0.434\lambda$ 이고 특성임피던스가  $100[\Omega]$ 인 무손실 전송선로가 임피던스  $260+j180[\Omega]$ 으로 종단되었다.

sol)

$z' = 0.434\lambda$ ,  $R_0 = 100$ ,  $Z_L = 260 + j180$ 이므로 임피던스 정규화 :  $Z_L = 2.6 + j1.8$

a) 전압반사계수

① chart상에서  $Z_L = 2.6 + j1.8$ 인 점을 찍는다. 즉,  $r = 2.6$ ,  $x = 1.8$ 인 점  $\rightarrow P_2$

② 중심(0.0)이고 점  $(2.6+j1.8)$ 를 지나는 정재파 원을 그린다.

$\rightarrow$  원의 반지름의 크기가 아래 참조 눈금에 해당하는 수치가 반사계수가 됨.

(왼쪽 ORIGIN에서 시작됨  $|r| = 0.6$ )

$\rightarrow P_2$ 를 지나는 선과 원의 외면이 만나는 점을 읽음

즉, 발전기쪽으로 파수 = 0.22

반사계수 위상각 =  $(0.250 - 0.220) \times 4\pi = 0.12\pi [\text{rad}]$  or  $21.6^\circ$

where,  $2\beta z' = \frac{4\pi}{\lambda} z'$ 에서 측정되므로 파장변화에  $4\pi$ 를 곱함

$$\therefore \Gamma = |\Gamma| e^{j\theta_r} = 0.6 e^{j21.6^\circ}$$

$\rightarrow$  우측 실수축과 원이 교차하는 위치가 SWR임. (SWR=2.6)

b) 정재파비

• 중심(0.0)이고 점  $(2.6+j1.8)$ 를 지나는 정재파 원을 그린다

$\rightarrow$  우측 실수축과 원이 교차하는 점  $\Rightarrow P_M$

$$\text{SWR} = 0.4$$

c) 입력임피던스

( $P_2$ 에서 파수=0.22) + (선로의 길이( $z'$ )=0.434) - (0.5)=0.154  $\Rightarrow P_{30}$

$P_{30}$ 과 원점을 연결하여 원과 만나는 점  $\Rightarrow P_3 = 0.69 + j1.2$

그러므로 입력임피던스  $Z_i = R_0 Z_L = 100(0.69 + j1.2) = 69 + j120 [\Omega]$

d) 부하에서 가장 근접한 최대전압의 위치

정재파비가 최대인 점 즉  $P_M$ 에서 양의 실수축  $P_{OC}$ 와 교차점

즉, 최대전압은 부하로부터  $(0.25 - 0.22)\lambda = 0.030\lambda$

RESISTANCE COMPONENT OF  $Z_0$  OR CONDUCTANCE COMPONENT ( $G/Y_0$ )

INDUCTIVE REACTANCE COMPONENT ( $+jX/Z_0$ ) OR CAPACITIVE SUSCEPTANCE COMPONENT ( $+jB/Y_0$ )

CAPACITIVE REACTANCE COMPONENT ( $-jX/Z_0$ ) OR INDUCTIVE SUSCEPTANCE COMPONENT ( $-jB/Y_0$ )

ANGLE OF REFLECTION COEFFICIENT IN DEGREES

ANGLE OF TRANSMISSION COEFFICIENT IN DEGREES

WAVELENGTHS TOWARD GENERATOR

WAVELENGTHS TOWARD LOAD

RADIALLY SCALED PARAMETERS

TOWARD LOAD  $\rightarrow$

$\leftarrow$  TOWARD GENERATOR

ATTEN [dB]

SWR LOSS COEFF

REF LOSS COEFF

TRANSM COEFF  $\Gamma$

TRANSM COEFF  $\Gamma_{max}$

ORIGIN

CENTER

$P_2$

$P_3$

$P_M$

$P_9$

$P_{30}$

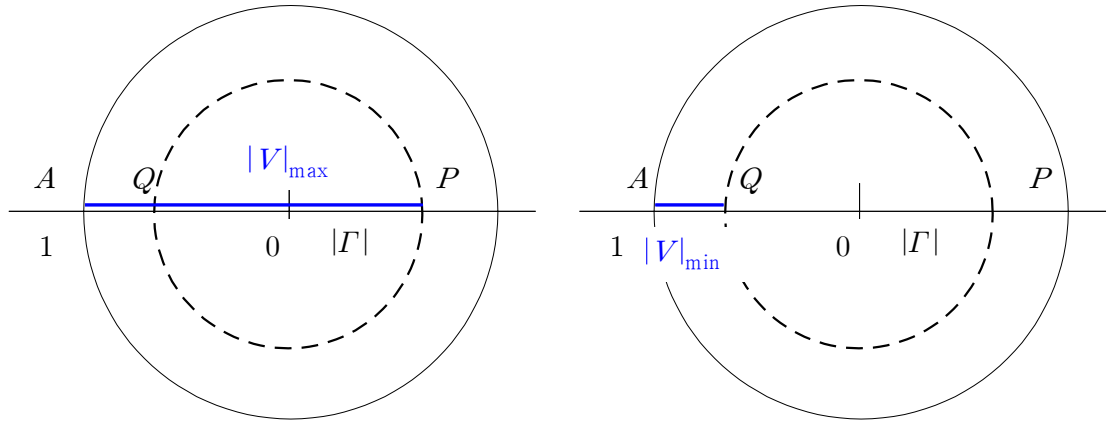
$0.154$

$0.184$

$21.6^\circ$

## 2) 부하 임피던스를 구하는 법

: 측정이 용이한 SWR로 정재비의 최소값이 위치하는 곳과 부하사이의 최소거리  $d_{\min}$  알 때  
부하 imp를 구하는 방법



$$|V|_{\max} = 1 + \Gamma_L, \quad |V|_{\min} = 1 - \Gamma_L$$

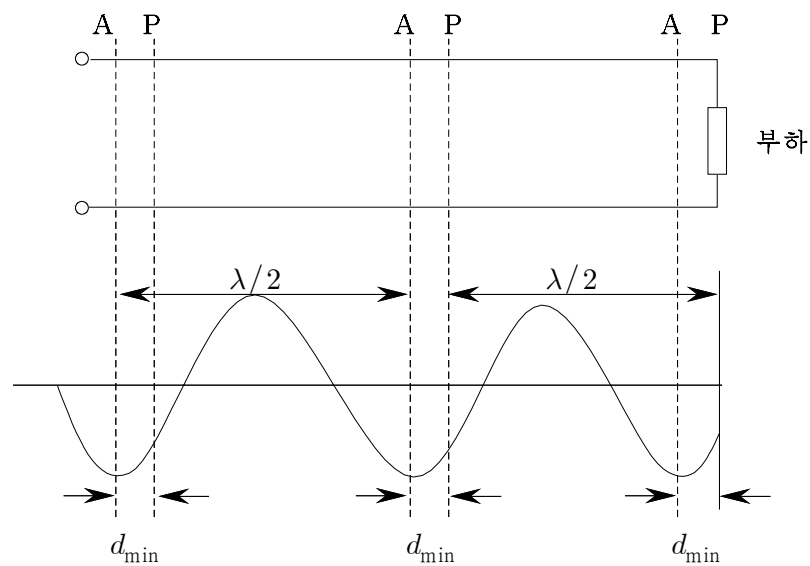
$$SWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

$$Z_{\max} = \frac{V_{\max}}{I_{\min}} = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L}$$

$$= r_{\max} \text{ (순저항)}$$

$$= SWR$$

$$\text{where, } Z_{\max} = Z_{\max} / Z_0$$



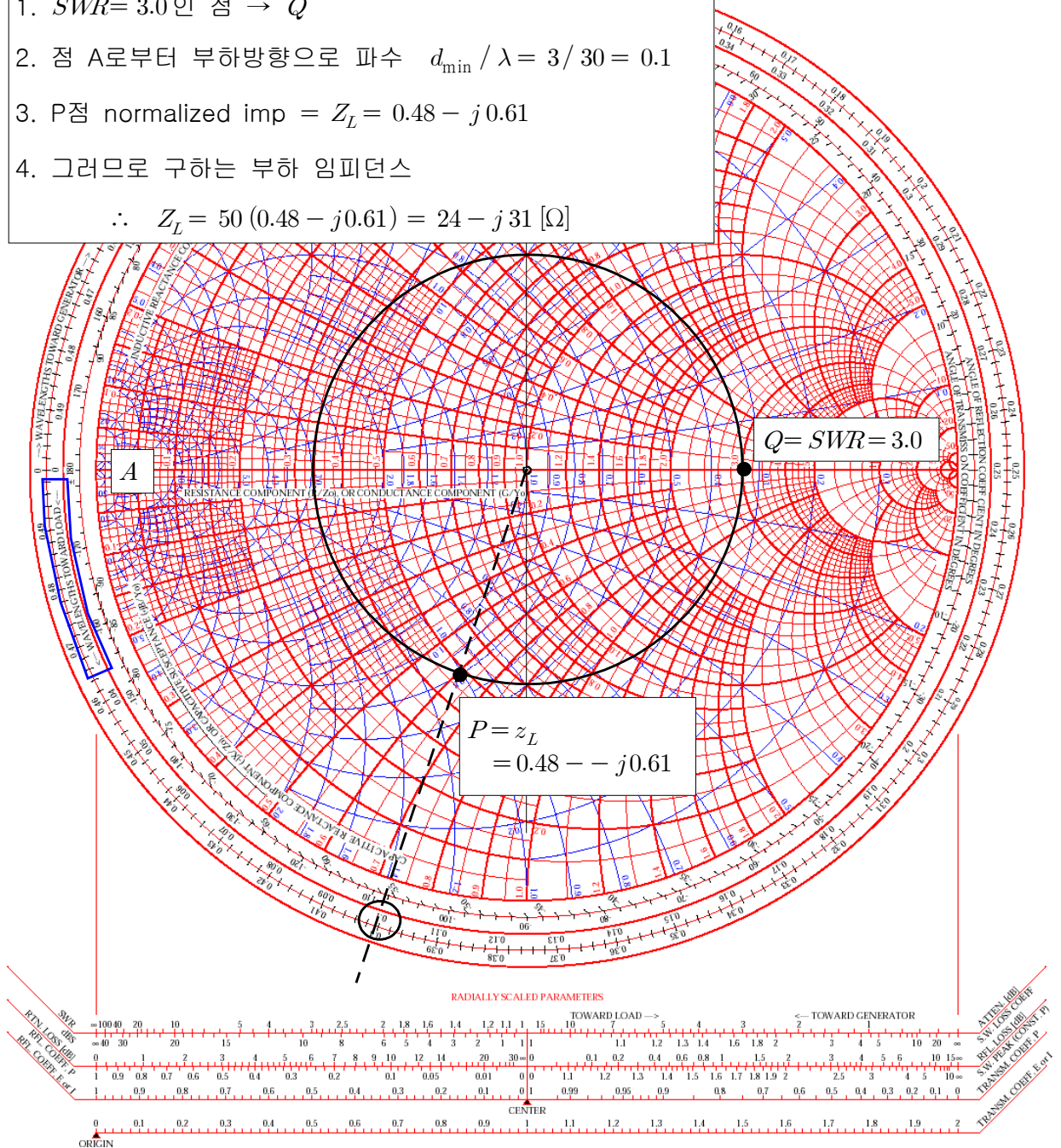
ex4-1) 특성임피던스  $Z_0 = 50[\Omega]$  인 동축선로의 종단(또는 수전단)에 접속한 부하 임피던스  $Z_L$  을 구하기 위해 주파수  $f = 1.0[\text{GHz}]$  인 발진기를 입력으로 사용하여 측정한 결과 전압정재파비  $SWR = 3.0$  이고 정재파 최소점으로부터 부하까지의 거리  $d_{\min} = 3.0[\text{cm}]$  이다 부하 임피던스=?

NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES

sol) 부하로부터 임의의 점까지의 거리 =  $d_{\min} / \lambda$

1.  $SWR = 3.0$  인 점  $\rightarrow Q$
2. 점 A로부터 부하방향으로 파수  $d_{\min} / \lambda = 3 / 30 = 0.1$
3. P점 normalized imp =  $Z_L = 0.48 - j0.61$
4. 그러므로 구하는 부하 임피던스

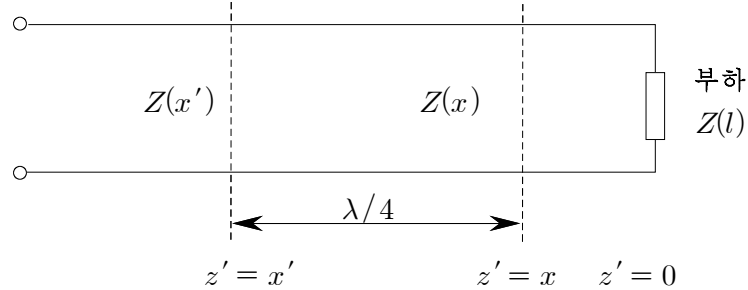
$$\therefore Z_L = 50 (0.48 - j0.61) = 24 - j31 [\Omega]$$



### 8-6.1 Admittance Chart

- 지금까지 Smith chart=imp chart

Smith chart 중 배우지 않는 변수 고찰



식 (8-100)에서

$$z' = x \text{ 에서 ; } Z_{in}(x) = \frac{1 + \Gamma(x)}{1 - \Gamma(x)} = \frac{1 + |\Gamma| e^{j\theta}}{1 - |\Gamma| e^{j\theta}}$$

$$z' = x' \text{ 점에서 } (\lambda/4) ; Z_{in}(x') = Z(x + \lambda/4) = \frac{1 + |\Gamma(x)| e^{-j2\beta(x + \lambda/4)}}{1 - |\Gamma(x)| e^{-j2\beta(x + \lambda/4)}} \\ = \frac{1 + |\Gamma(x)| e^{-j2\beta \frac{\lambda}{4}}}{1 - |\Gamma(x)| e^{-j2\beta \frac{\lambda}{4}}}$$

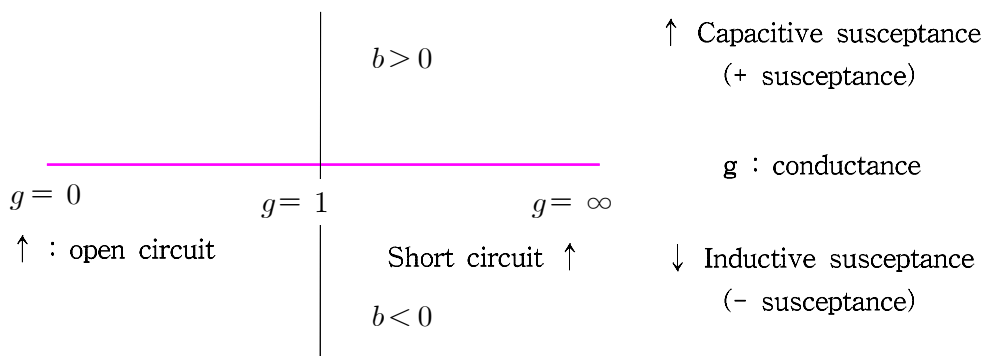
위식에  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  를 대입

$$e^{\pm j\pi} = -1$$

$$= \frac{1 + |\Gamma(x)| e^{-j\pi}}{1 - |\Gamma(x)| e^{-j\pi}} \quad (8-113)(4-6) \\ = \frac{1 - |\Gamma(x)|}{1 + |\Gamma(x)|} \\ = \frac{1}{Z(x)} = y(x) : \text{Admittance} \\ = g + jb$$

$\therefore$  Impedance chart를 반회전( $\lambda/2$ )( $=\pi$ ) ← 파수가 0 ~ 0.5까지 있으므로

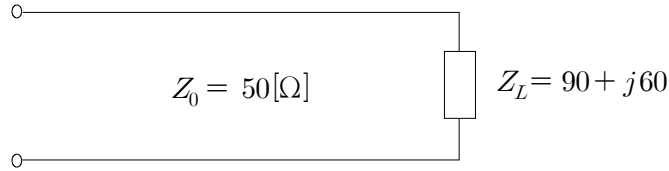
$\Rightarrow$  Admittance chart



ex) 특성임피던스  $Z_0 = 50[\Omega]$  인 전송선로의  $Z = 90 + j60$  일 때 부하 Admittance?

(cheng page 421 ex 8-9과 유사)

sol)



직접 계산에 의해

$$Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{90 + j60} = \frac{90 - j60}{90^2 + 60^2}$$

; 직접 계산하면 smith chart point와 상이함

⇒ smith chart는 normalize한 것이기 때문

$$Z_L = \frac{90 + j60}{50} = 1.8 + j1.2$$

그러므로 어드민턴스는

$$y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{1.8 + j1.2} = \frac{1.8 - j1.2}{1.8^2 + 1.2^2} = \frac{1.8 - j1.2}{4.68} = 0.38 - j0.25$$

Smith chart에서

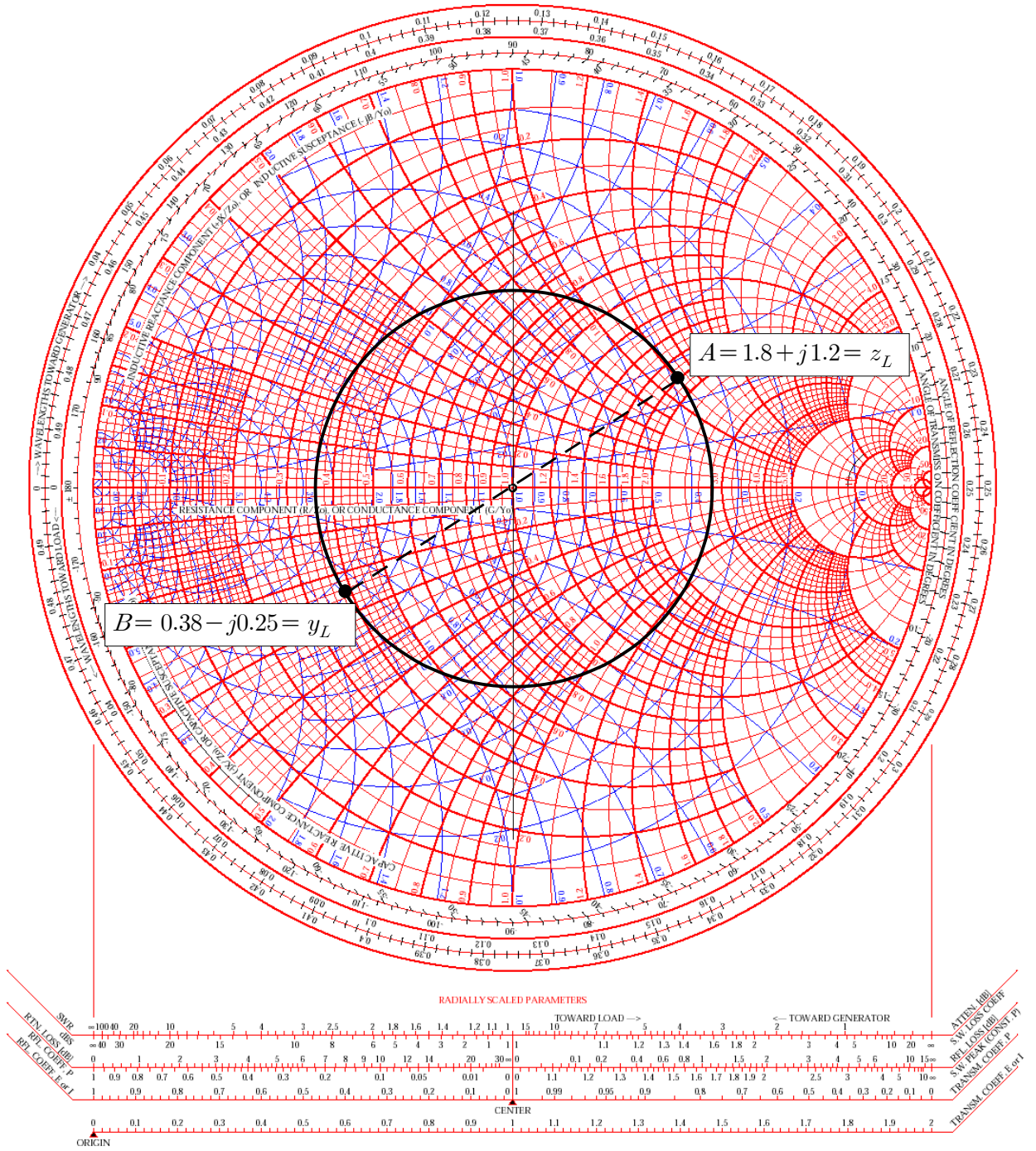
①  $Z_L = 1.8 + j1.2$  점을 표시 → A

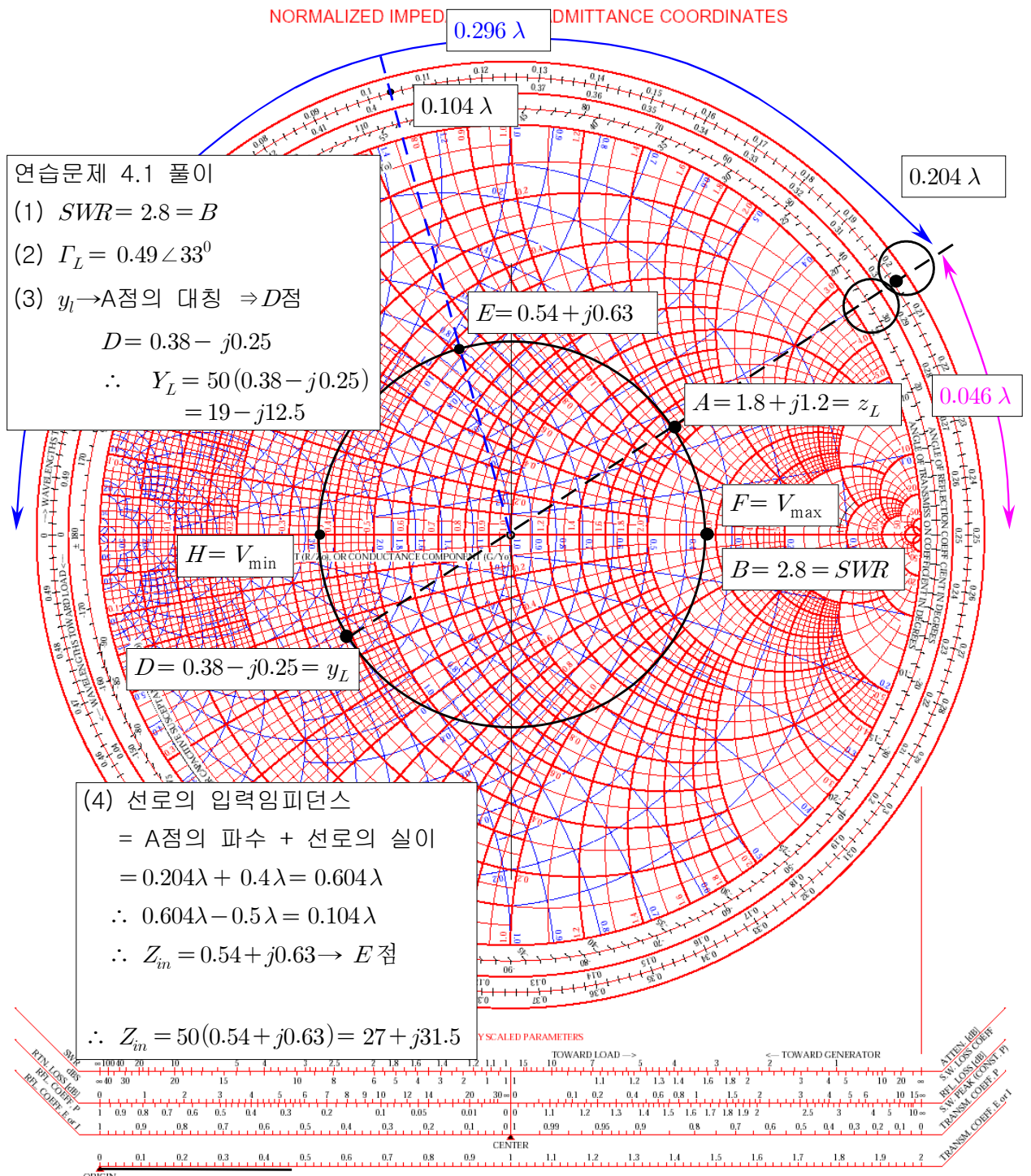
② 점 A의 대칭인점을 표시 → B

③ B점의 값 =  $y_L = 0.38 - j0.25$

$$Y_L = 50 y_L = 50(0.38 - j0.25) = 19 - j12.5$$

## NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES





(5) 부하로부터 첫 번째 최소 전압점까지의 거리 = H 점  
즉, 부하로부터이므로 A점의 파수에서 H점까지의 파수

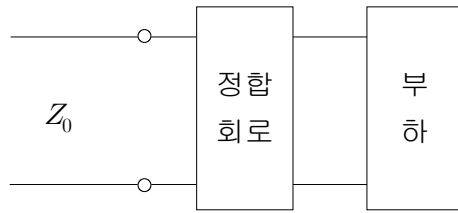
$$\therefore d_{\min} = 0.296\lambda$$

(6) 부하로부터 첫 번째 최대 전압점까지의 거리 = B(F) 점  
즉, 부하로부터이므로 A점의 파수로부터 F점까지의 파수

$$\therefore d_{\max} = 0.25\lambda - 0.204\lambda = 0.046\lambda$$

## 8-7 Impedance Matching(4.2)

목적 : 전력 손실 방지 → 무손실 회로



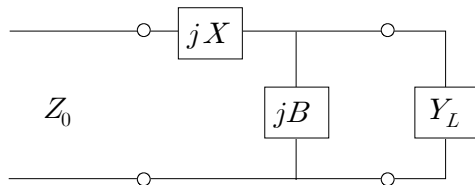
1. 선로에서 정합회로를 본 Imp = 정합회로에서 선로를 본 Imp.  $Z_0$
  2. 정합회로와 부하사이 반사파 존재
  3. 전송선로 쪽으로는 반사파 불 존재
- } *Tuning*

중요성 : 1. 전원 imp=선로 imp=부하 imp : 최대 전력 공급

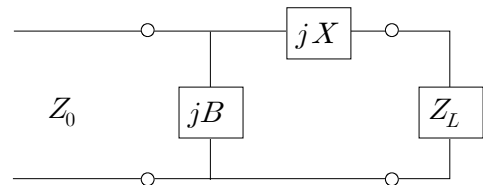
2. S/N 비 개선
3. 진폭, 위상오차 감소
4. 전원 보호

## [1] 집중 회로 소자

: L 형식 정합 회로 이용 : 1GHz 정도까지



$Z_L$  이  $1+jx$  원내에 있을 경우



$Z_L$  이  $1+jx$  원밖에 있을 경우

ex4-4 전원의 출력 imp  $Z_{out} = 100 - j100$ 이다. 이를  $50[\Omega]$  과 정합하고자 한다. Smith chart를 사용하여 이에 적합한 L 형 정합회로를 설계하라.

sol

① 정규화 출력 imp  $z_{out} = \frac{Z_{out}}{50} = 2 - j2$ 를 표시 → D점

②  $z_{out}$  에 해당하는 정규화 Admittance → C점  $= y_{out} = 0.25 + j0.25$

③ 정규화 단위저항  $r=1$  인 원에 대응하는  $g=1$  인 원

→ 원점 A를 통과하는 점선의 원

→ 원점에서 점 C를 통과하는 원을 그리면 컨덕턴스와 만나는 점 발생

$$\Rightarrow B = 0.25 = g(\text{컨덕터스})$$

→ 점 A는 정규화 부하  $z_L = 1$  또는  $y_L = 1$ 에 해당

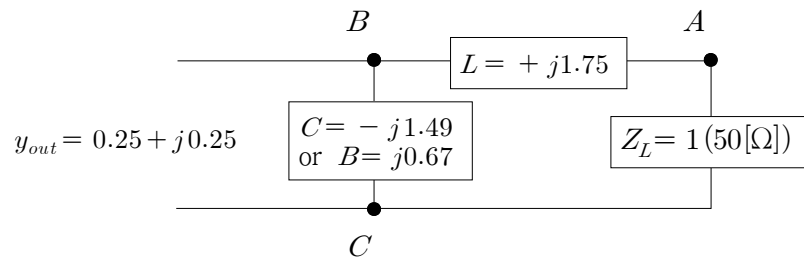
④ 따라서 부하  $y_L = 1$ 로부터 전원측을 향하여 회로를 설계하면 : 점 A → B → C

→ 점 B( $= 0.25 - j0.42$ )에 대응하는  $\text{imp} = E\text{점} = 1 + j1.75$ 이므로

직렬  $\text{imp}$ 는  $+j1.75$  (inductive reactance)를 부하와 직렬로 연결하면 점 E로 이동

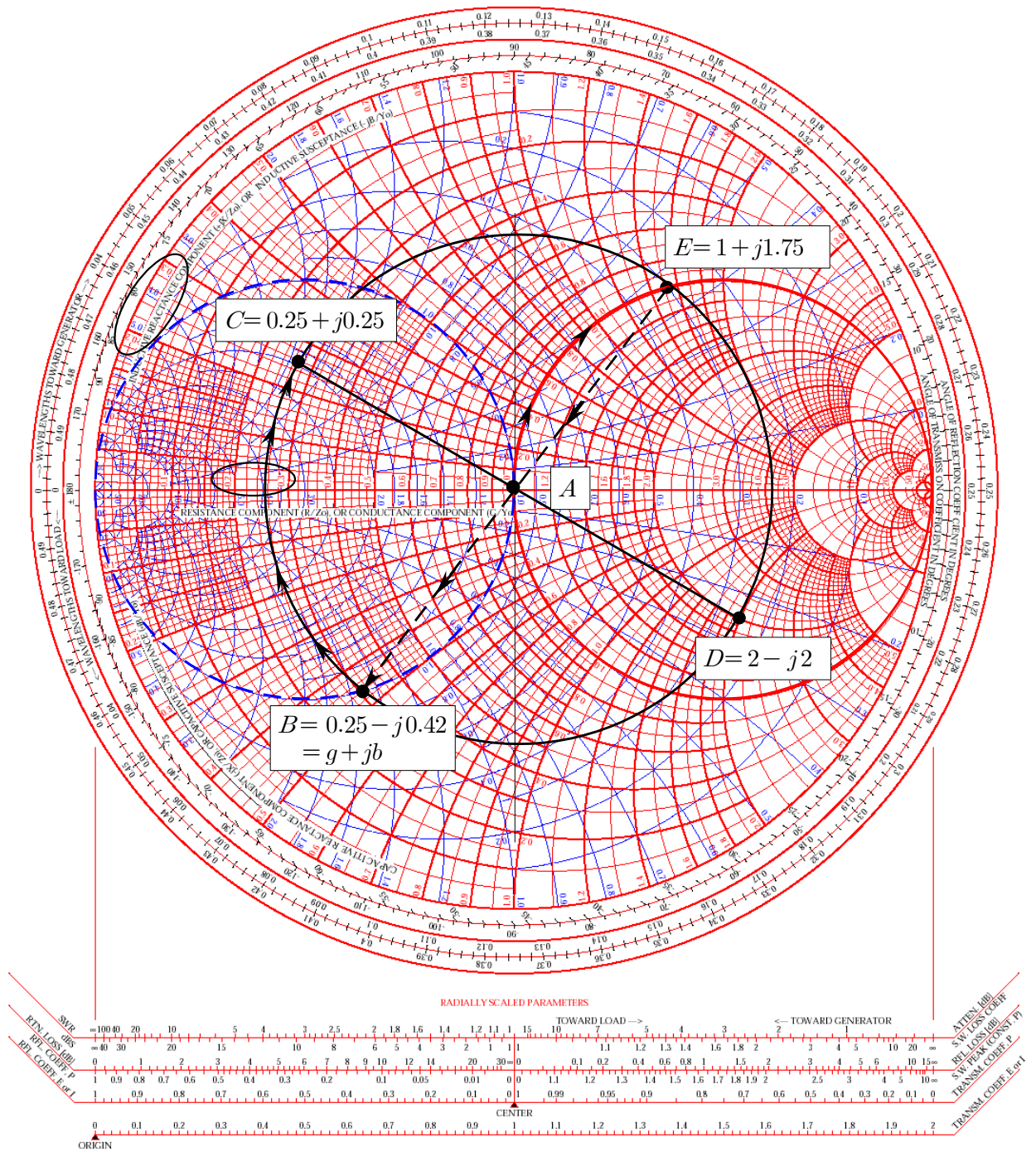
→ E점에 상응하는 어드민턴스로 표시하면 B점에 해당 즉,  $B = 0.25 - j0.42$

⑤ 점 B를 점 C로 옮기기 위해  $y_{shunt} = j(0.25 + 0.42) = j0.67$ 의 커패시터 서셉턴스 또는 커패시터 리액턴스  $z_{shunt} = -j1.49$ 를 병렬로 부가

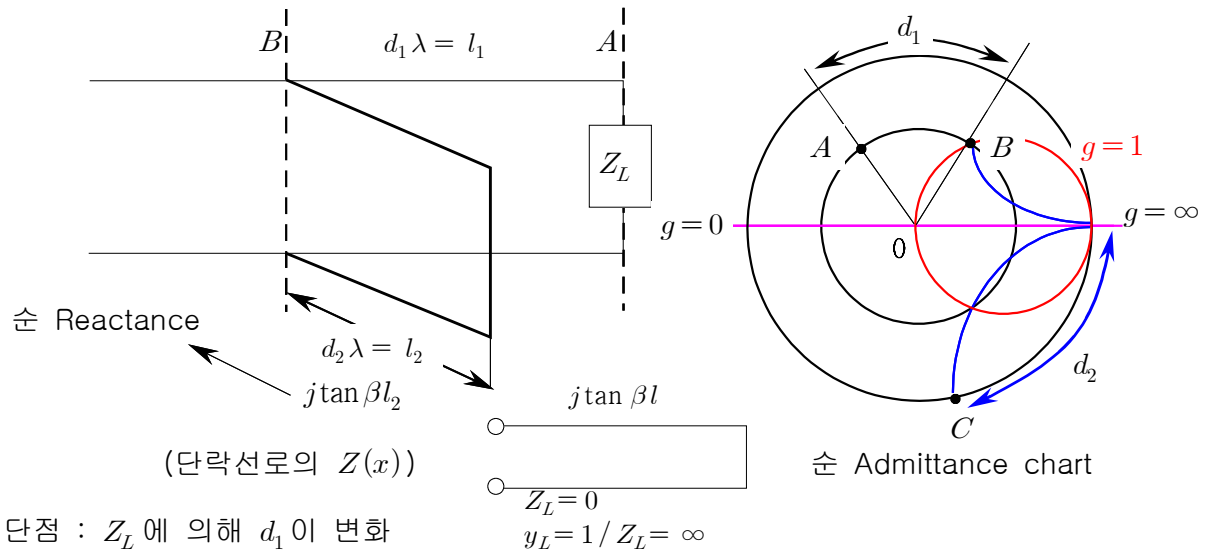


$$Z_L = 2 - j2 \text{ 이므로 원밖}$$

## NORMALIZED IMPEDANCE AND ADMITTANCE COORDINATES



[2] 단일 스테르브에 의한 임피던스 정합



단점 :  $Z_L$ 에 의해  $d_1$ 이 변화

① Admittance chart를 사용

$$\therefore \frac{1}{Z_L} = y_L = A \text{점} = g + jb \text{ 상태}$$

② 정합 =  $g \rightarrow 1$ 이고,  $jb = 0$  화 하는 것.

즉, 점 A를 점 B까지 이동  $\Rightarrow (g=1)$ 인 원과 교점 = B ; 점 A와 점 B의 파수 =  $d_1$

B 점의 Admittance =  $1 + jb$  상태

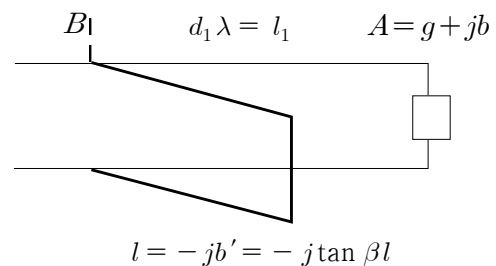
$\therefore jb$ 를 첨가(병렬로 첨가; stub) 하여 소거 (C점) : Stub의 길이 =  $l_2$

③ 결국  $g=1$ 인 순 conductance만 존재

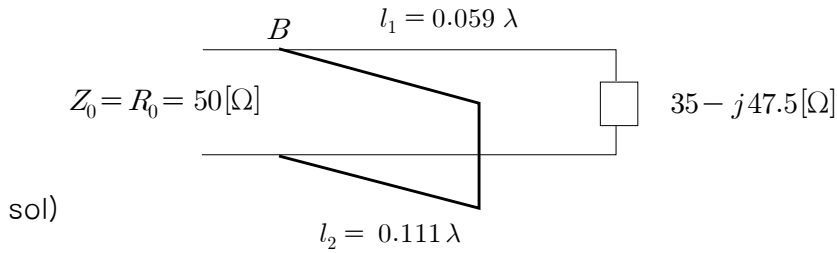
설명방법 순서 1.  $\frac{1}{Z_L} = y_L = A \text{점}$

2. 우선  $g=1$ 로 하여 만나는 점 :  $B = 1 + jb'$

3.  $-jb'$  연결  $\rightarrow$  stub로 해결



ex 8-11)  $50[\Omega]$ 의 전송 선로가 부하 임피던스  $Z_L = 35 - j47.5$ 에 결합되어 있다. 전송선로를 정합시키기 위해서 필요한 단락회로 스테브의 위치와 길이를 구하시오



$50 = 35 - j47.5$ 로 하기 위해서는

$$1. \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{35 - j47.5}{50} = 0.7 - j0.95 = z_L \rightarrow P_1 \text{ 점}$$

2.  $P_1$ 을 반경으로 하는 원을 그림

3.  $y_L$ 을 구함. 즉,  $P_1$ 의 대칭점  $\rightarrow P_2 = 0.5 + j0.68 = y_L$

4.  $P_2 = 0.5 + j0.68 \rightarrow 1$ 로 하기 위해서

$$P_2 = 0.5 + j0.68 \text{ 와 } g = 1 \text{ 인 원과의 교점 } \rightarrow P_3 = 1 + j1.2$$

$$P_3 \text{ 점 파수 } = P_3' = 0.16\lambda$$

5.  $g = 1$ 인 원과 교점  $\rightarrow P_4 = 1 - j1.2$

$$P_4 \text{ 점 파수 } = P_4' = 0.332\lambda$$

6. Stub 위치 =  $P_3$ 인 경우 =  $0.168\lambda - 0.109\lambda = 0.059\lambda$

$$= P_4 \text{ 인 경우 } = 0.332\lambda - 0.109\lambda = 0.223\lambda$$

7. 이제  $P_3, P_4$ 의  $j1.2$ 를 소거해야  $\rightarrow$  Stub 길이

$$\bullet P_3 = 1 + j1.2 + (-j1.2) = 1$$

Short stub 이므로  $y_L = \infty = P_{SC}$ 에서부터 계산해야

$$P_{SC} \text{ 파수 } = 0.25\lambda$$

$$-j1.2 \text{ 의 파수 } = 0.361\lambda$$

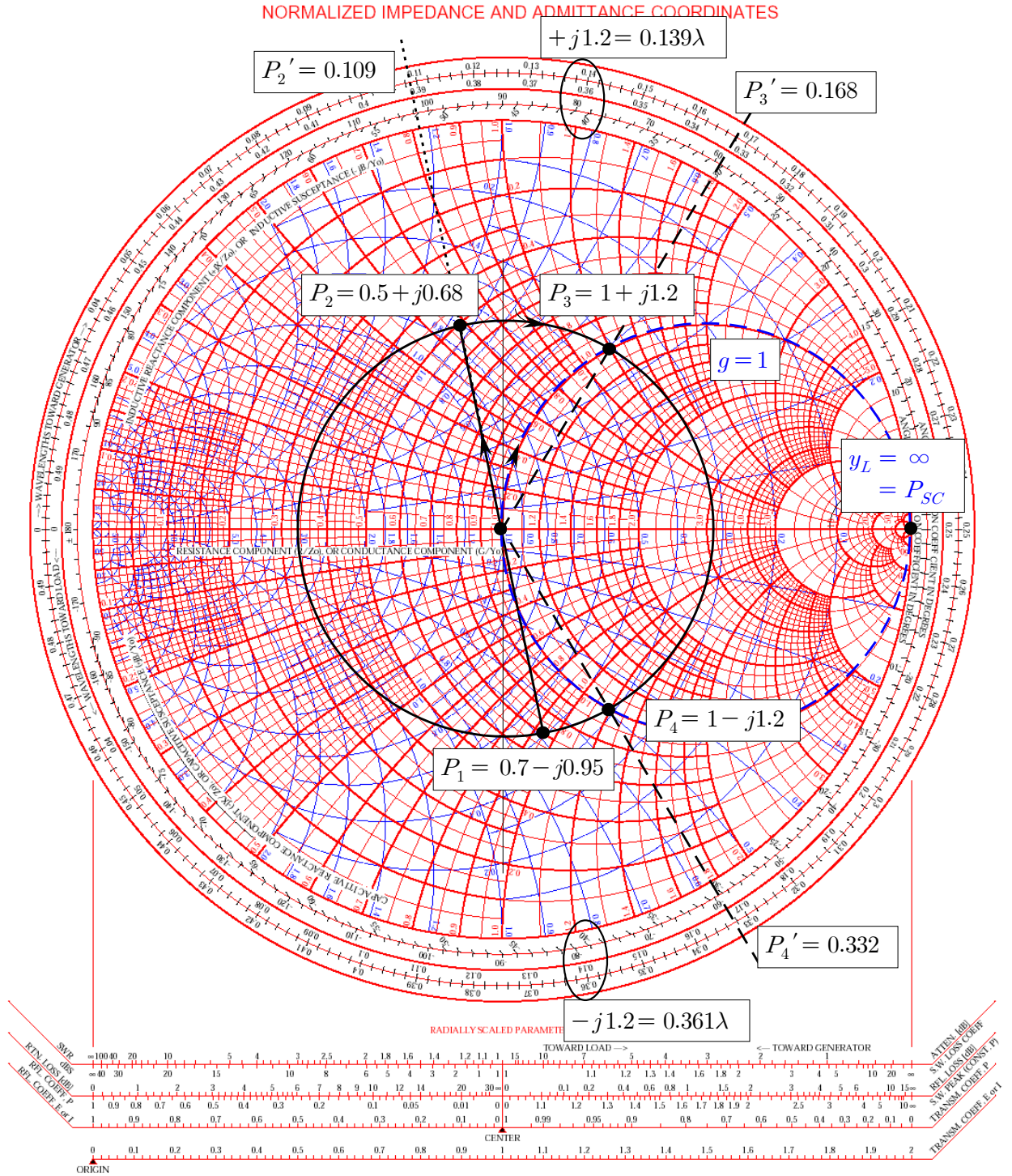
$$\therefore l_2 = (0.361\lambda - 0.25\lambda) = 0.111\lambda$$

$$\bullet P_4 = 1 - j1.2 + (j1.2) = 1$$

$$+j1.2 \text{ 의 파수 } = 0.139\lambda$$

$$\therefore l_2 = (0.139\lambda + 0.25\lambda) = 0.389\lambda$$

where,  $0.25\lambda$ 를 더한 것은  $y_L = \infty = 0.25\lambda$ 에서부터 읽어야 하므로



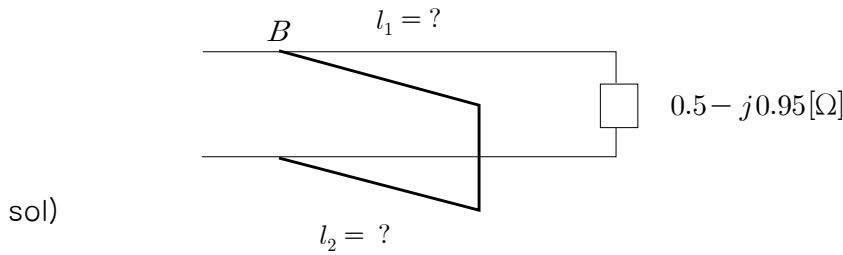
$$Z_L = 35 - j47.5$$

$$j\omega C = j47.5 = j2\pi f C$$

if  $f = 2\text{GHz}$

$$\therefore C = \frac{47.5}{2\pi \times 2 \times 10^6}$$

ex) 부하 임피던스  $Z_L = 0.5 - j0.95$  과 정합시키기 위한 필요한 단락회로 Stub의 위치와 길이를 구하시오



1.  $Z_L = 0.5 - j0.95$ 를 Smith chart 상에 표시  $\rightarrow P_1$  점

$P_1$ 을 반경으로 하는 원을 그림

$y_L$ 을 구함. 즉,  $P_1$ 의 대칭점  $\rightarrow P_2 = 0.43 + j0.82 = y_L$

$$\text{즉, } y_L = \frac{1}{z_L} = \frac{1}{0.5 - j0.95} = \frac{0.5 + j0.95}{0.5^2 + 0.95^2} = \frac{0.5 + j0.95}{1.1525} = 0.43 + j0.82$$

2.  $P_2$ 에서 시계방향(송단방향)으로 회전  $\rightarrow$  Conductance( $g=1$ )인 원과 교점  $\rightarrow P_3$

$P_2 = 0.43 + j0.82 = y_L$ 와  $g=1$ 인 원과의 교점  $\rightarrow P_3 = 1 + j1.5$

•  $P_3$ 점 파수 =  $P_3' = 0.176\lambda$

그러므로

$\Rightarrow$  부하로부터 stub의 위치  $l_1 = \overline{OP_2'} \sim \overline{OP_3'}$ 의 파수 =  $0.179\lambda - 0.118\lambda = 0.058\lambda$

3 stub의 길이를 구하기 위해  $P_3 = 1 + j1.5$ 의 서셉턴스,  $b_{P_3} = j1.5$ 이므로  $-j1.5$ 첨가  $\rightarrow P_4$

Short stub 이므로  $y_L = \infty = P_{SC}$ 에서부터 계산해야

그러므로

$\Rightarrow$  stub의 길이  $l_2 = \overline{OP_{SC}} \sim \overline{OP_4}$ 의 파수 =  $0.344\lambda - 0.25\lambda = 0.094\lambda$

$$\therefore l_2 = 0.094\lambda = j \tan \beta l_2$$

2.  $P_2$ 에서 반시계방향으로 회전  $\rightarrow$  Conductance( $g=1$ )인 원과 교점  $\rightarrow P_5$

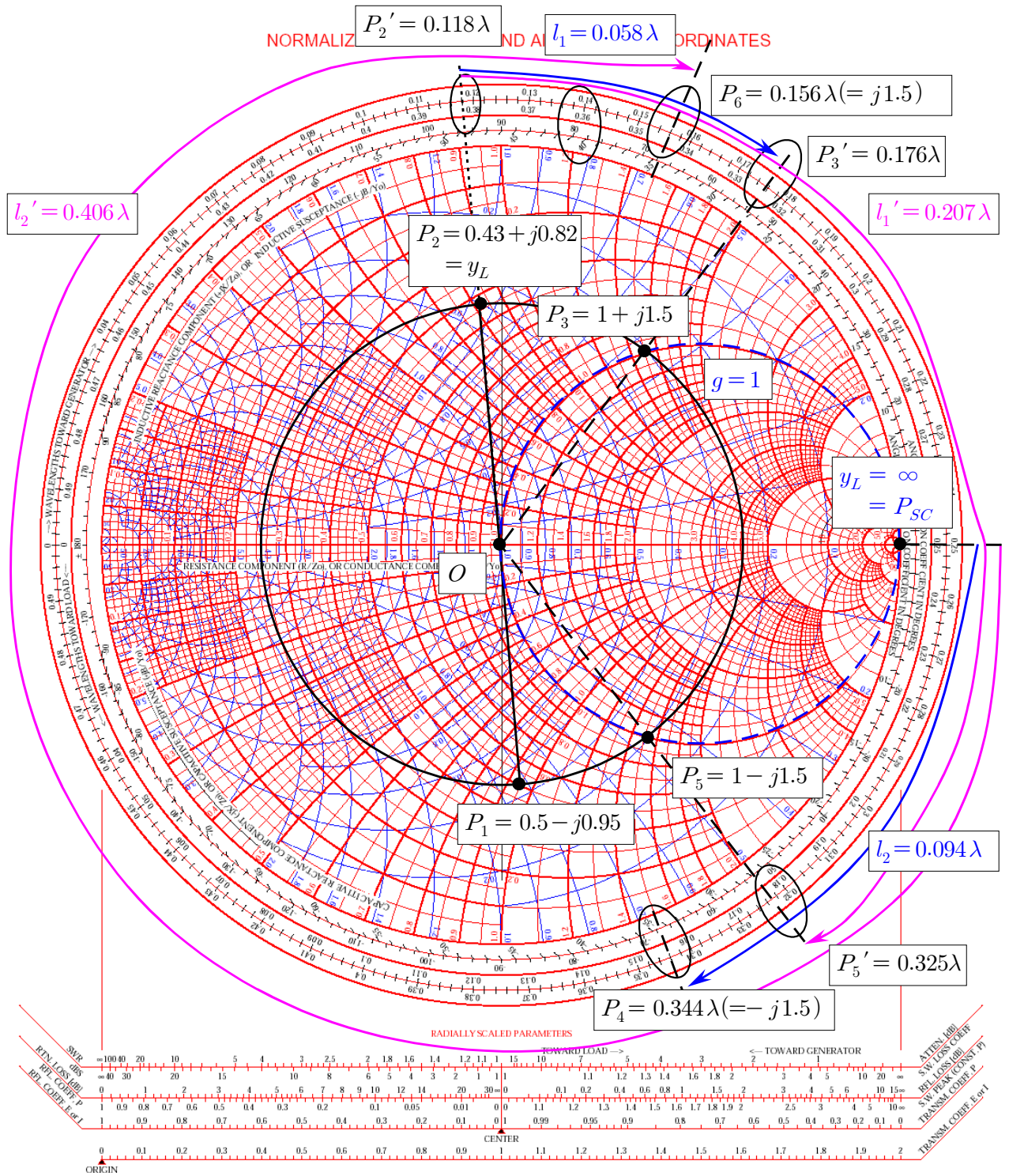
$\rightarrow P_5 = 1 - j1.5$ 점 파수 =  $P_5' = 0.325\lambda$

$\Rightarrow$  부하로부터 stub의 위치  $l_1' = \overline{OP_2'} \sim \overline{OP_5'}$ 의 파수 =  $0.325\lambda - 0.118\lambda = 0.207\lambda$

3 stub의 길이를 구하기 위해  $P_5$ 의 서셉턴스,  $b_{P_5} = -j1.5$ 이므로  $j1.5$ 첨가  $\rightarrow P_6$

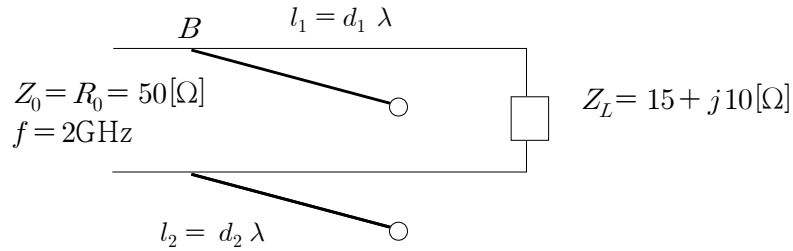
$\Rightarrow$  stub의 길이  $y_L = \infty = P_{SC}$ 에서  $P_6$ 점까지

$$\therefore l_2' = \overline{OP_{SC}} \sim \overline{OP_6}$$
의 파수 =  $0.25\lambda + 0.156\lambda = 0.406\lambda$



예제 4-5 Open circuit의 stub

단일 스테브 튜너를 사용하여  $Z_L = 15 + j10[\Omega]$  인 부하를 특성임피던스가  $50[\Omega]$ 인 전송선로에 접합하고자 한다.  $f = 2\text{GHz}$ 의 주파수에서 부하가 정합되었다고 할 때 단일 스테브에 의한 정합회로를 설계하고 이 회로의 반사계수에 대한 주파수 특성을 도시하라. 여기서 주파수 범위는  $1\sim 3\text{GHz}$ 이다.



sol 1) 1.  $Z_L = \frac{15 + j10}{50} = 0.3 + j0.2$

$y_L$ 을 구함. 즉,  $z_L$ 의 대칭점  $y_L = 2.30 - j1.54$

2. Imp. Matching =  $y_L = 2.30 - j1.54 \rightarrow "1"$

즉,  $g = 1$ 인 원상으로  $y_L$ 을 이동  $\rightarrow y_{L1}$

$y_{L1} = 1 - j1.3$

$\therefore y_L$ 을  $y_{L1}$ 으로 이동시키기 위해서는

부하로부터  $l_1$  만큼 떨어진 점에 stub가 달려야 함.

즉,  $l_1$  점에서의 input Imp이므로

$y_L$ 의 파수 = 0.284

$y_{L1}$ 의 파수 = 0.328

$\therefore l_1 = d_1\lambda$ 에서  $\therefore l_1 = 0.328\lambda - 0.284\lambda = 0.044\lambda$

3. 이제  $y_{L1} = 1 - j1.3$ 을 "1"로 해야 함

즉,  $+j1.3$ 을 첨가 하여 제거하면 됨.

방법 :  $+j1.3$  값을 갖는 Stub 연결



∴ Stub 길이를 구해야함 → Smith Chart

$$y_{L1} = 1 - j1.3 \text{ 이므로 } +j1.3 \text{ 을 부가 } \rightarrow y_{L1}'$$

$$+j1.3 \text{ 의 파수는 Open이므로 } Z_{open} = \infty \Rightarrow y_{open} = 0$$

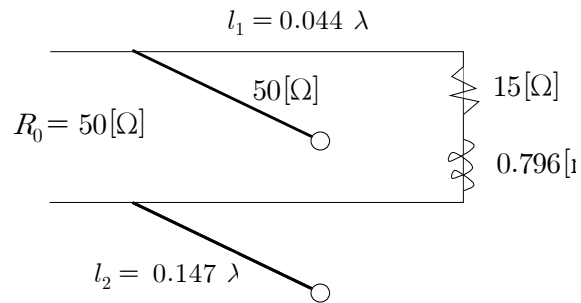
$$\therefore y = 0 \text{ 에서부터 읽어야 한다. } \rightarrow l_2 = d_2 \lambda = 0.147 \lambda$$

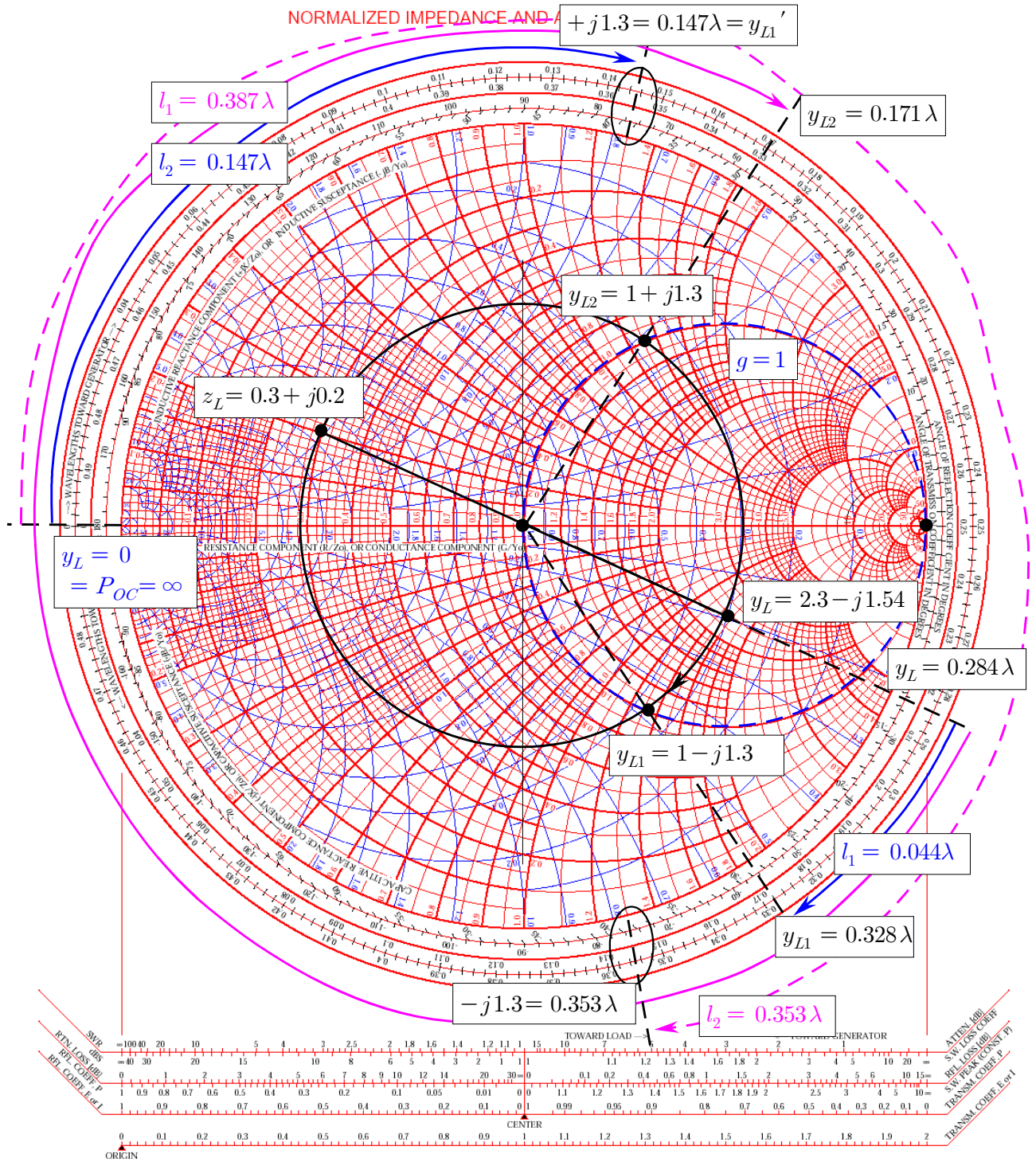
한편,  $Z_L = 15 + j10$  이므로

$$j\omega L = j10 = j2\pi \times 2 \times 10^9 L$$

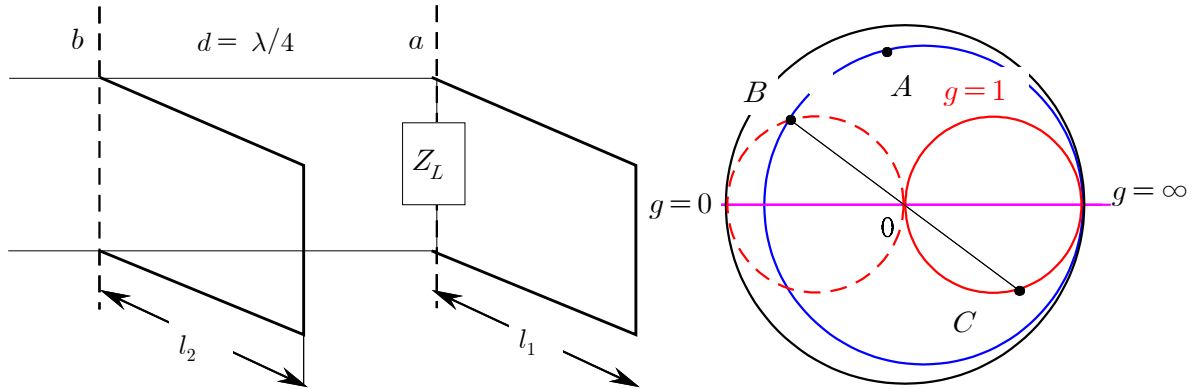
$$\therefore L = 0.796 \text{ nH}$$

그러므로 정합회로는





[3] 이중 스테브에 의한 임피던스 정합



① Admittance chart를 사용

부하 Admittance  $y_L$ 에 대하여 부하점에 길이  $l_1$ 의 stub을 연결

$$\therefore \frac{1}{Z_L} = y_L = A\text{점} = g + jb \text{ 상태}$$

② 부하로부터 일정한 거리  $d (= \lambda/4)$  만큼 떨어진 점에 또 하나의 stub(길이  $l_2$ )를 연결

여기서,  $d = \lambda/4 = 0.25\lambda$  편의에 의한 길이

$y_L$ 과  $y_L = g$ 인 원과 만나는 점  $\rightarrow$  A점

A점 파수로부터 시계방향으로  $0.25\lambda$ 인 점  $= g \rightarrow 1$ 과 교점  $\rightarrow$  B점

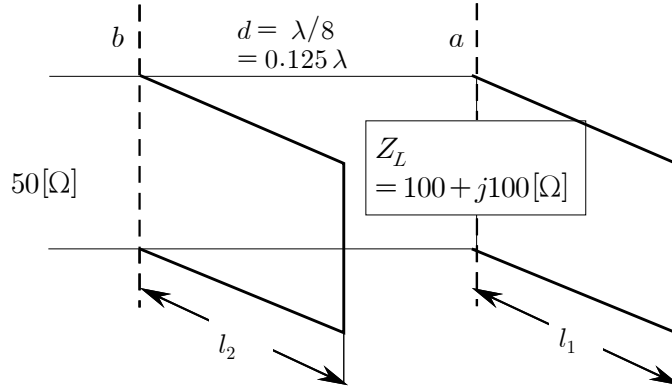
( $g = 1$ 인 원을  $180^\circ (= 0.25\lambda)$  회전시킬 때 생기는 원과  $y_L = g$ 의 원이 만나는 점)

B점 어드민턴스를 부하로부터  $d = \lambda/4 = 0.25\lambda$  떨어진 점에서 보면 스미스 도표에서  $180^\circ (= 0.25\lambda)$  회전한 위치로 이동 즉, c점의 어드민턴스가 됨.

c점의 어드민턴스에서 서셉턴스를 제거하면 stub의 길이  $l_2$ 가 됨.

예제 4-6 이중 스테르브에 의한 정합회로

부하임피던스  $Z_L = 100 + j100[\Omega]$ 을 특성임피던스가  $50[\Omega]$ 인 전송선로에 이중 스테르브를 사용하여 정합시키고자 한다. 여기서 스테르브 사이의 거리는  $d = \lambda/8$ 이다.



sol) 경우 a) 1.  $Z_L = \frac{100 + j100}{50} = 2 + j2$

$y_L$ 을 구함. 즉,  $z_L$ 의 대칭점  $y_L = 0.25 - j0.25$ (파수 =  $0.459\lambda$ )

2. Imp. Matching =  $y_L = 0.25 - j0.25 \rightarrow "1"$

$g = 0.25$ 인 원을 따라 시계방향으로 이동하여  $g = 1$ 인 원을

반시계방향으로  $90^\circ$  ( $d = \lambda/8$ )회전하여 형성된 보조원과 만나는 점

$\rightarrow A\text{점} = y_A = 0.25 + j0.34$

그러므로 부하점(A)에서 stub의 길이  $l_1$ 은

이동에 필요한 서셉턴스는  $jb_1 = j(0.25 + 0.34) = j0.59$ 에 해당하는 스테르브의 길이  
즉, 단락회로( $y = \infty$ )에서  $j0.59$ 점의 파수( $= 0.085\lambda$ )까지의 거리

$\therefore l_1 = 0.25\lambda + 0.085\lambda = 0.335\lambda$

(=단락회로로부터  $d = \lambda/8$ )이므로  $y_L$  파수로부터 전원방향으로  $0.125\lambda$ 만큼

이동된 점( $= j0.59$ )까지의 거리)

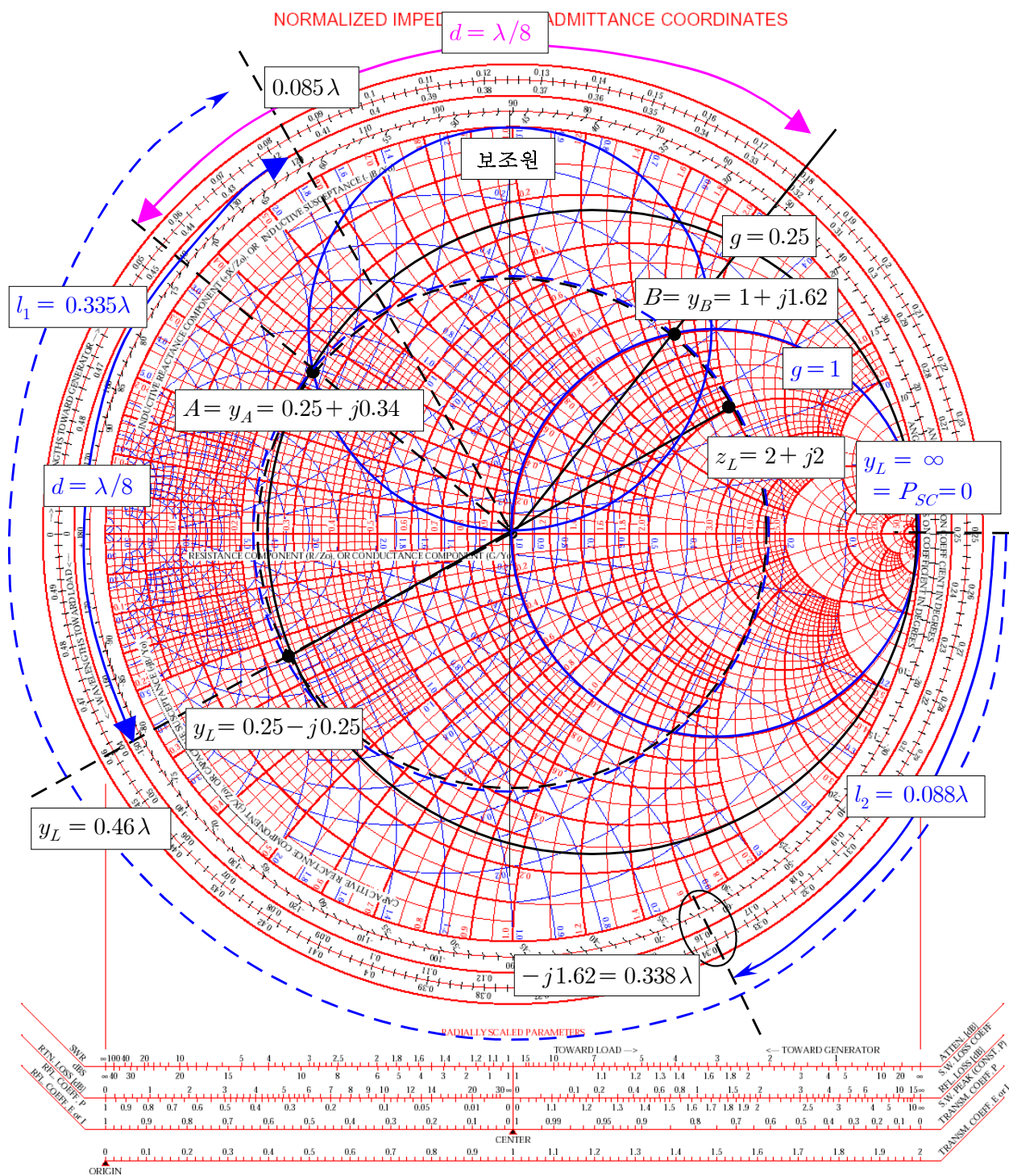
3. 거리  $d$ 만큼 떨어진 stub 길이  $l_2$ 를 구하기 위해

원점에서 점 A를 반경으로 하는 원을 그려 A점에서 시계방향으로  $g = 1$ 인 원과  
만나는 점 B 즉,  $y_B = 1 + j1.62$ 을 "1"로 해야 함

즉,  $-j1.62$ 을 첨가 하여 제거하면 됨.

$-j1.62$ 의 파수( $= 0.338\lambda$ )는 Short이므로  $Z_{open} = 0 \Rightarrow y_{short} = \infty$

$\therefore y = \infty$ 에서부터 읽어야 한다.  $\rightarrow l_2 = 0.338\lambda - 0.25\lambda = 0.088\lambda$



경우 b)

$$1. Z_L = \frac{100 + j100}{50} = 2 + j2$$

$y_L$  을 구함. 즉,  $z_L$  의 대칭점  $y_L = 0.25 - j0.25$  (파수 =  $0.459\lambda$ )

$$2. \text{Imp. Matching} = y_L = 0.25 - j0.25 \rightarrow "1"$$

$g = 0.25$  인 원을 따라 반시계방향으로 이동하여  $g = 1$  인 원을

반시계방향으로  $90^\circ$  ( $d = \lambda/8$ ) 회전하여 형성된 보조원과 만나는 점

$$\rightarrow A' = y_{A'} = 0.25 + j1.7$$

그러므로 부하점(A)에서 stub의 길이  $l_1$  은

이동에 필요한 서셉턴스는  $jb_1 = j(0.25 + 1.7) = j1.95$  에 해당하는 스테르브의 길이  
즉, 단락회로( $y = \infty$ )에서  $j1.95$  점의 파수( $= 0.175\lambda$ ) 까지의 거리

$$\therefore l_1 = 0.25\lambda + 0.172\lambda = 0.425\lambda$$

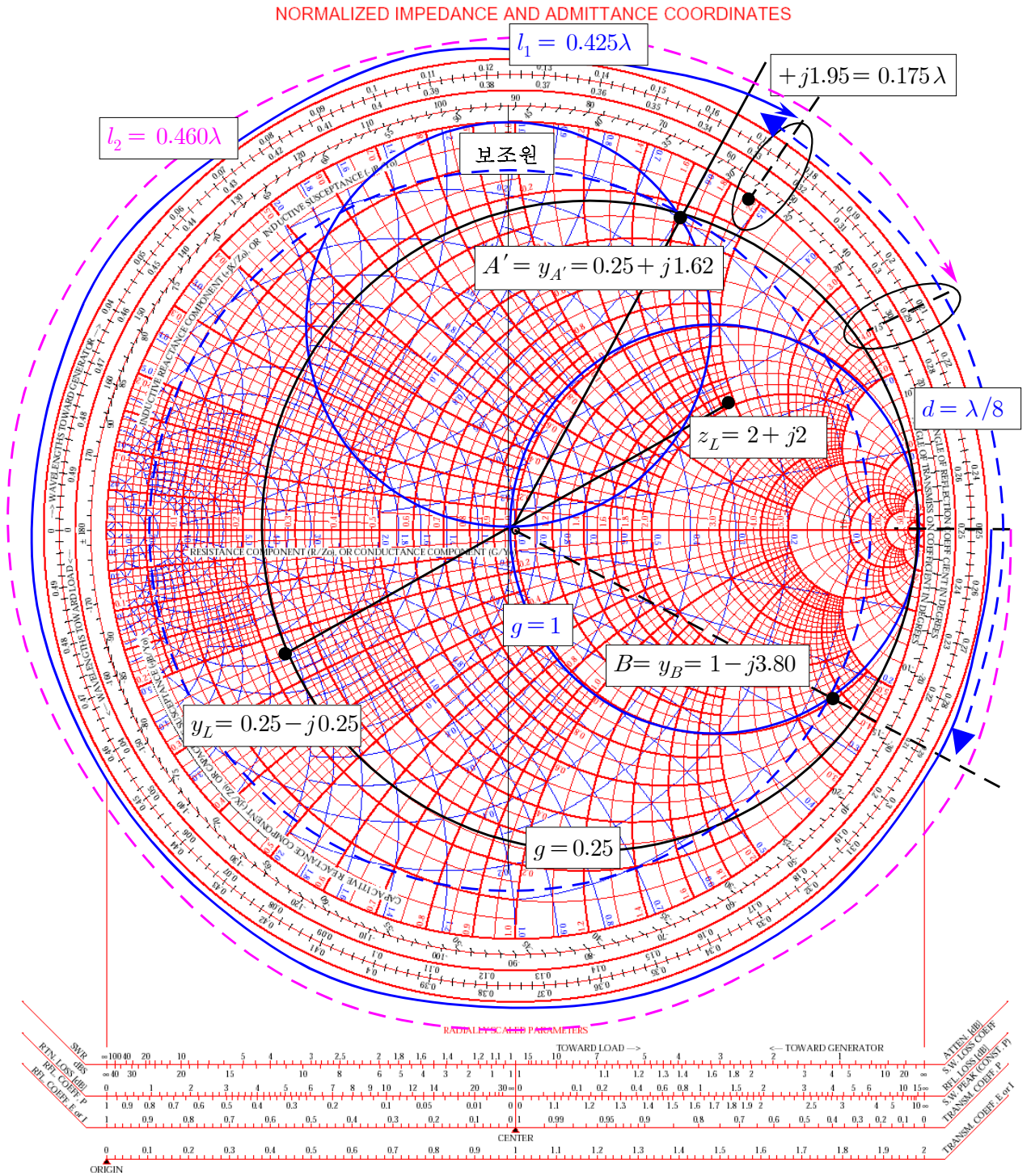
3. 거리  $d$  만큼 떨어진 stub 길이  $l_2$  를 구하기 위해

원점에서 점 A를 반경으로 하는 원을 그려  $A'$  점에서 반시계방향으로  $g = 1$  인 원과  
만나는 점 B 즉,  $y_B = 1 - j4.00$  을 "1"로 해야 함

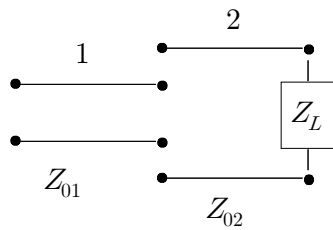
즉,  $+j4.00$  을 첨가 하여 제거하면 됨.

$$+j4.00 \text{의 파수}(= 0.211\lambda) \text{는 Short이므로 } Z_{open} = 0f \Rightarrow y_{short} = \infty$$

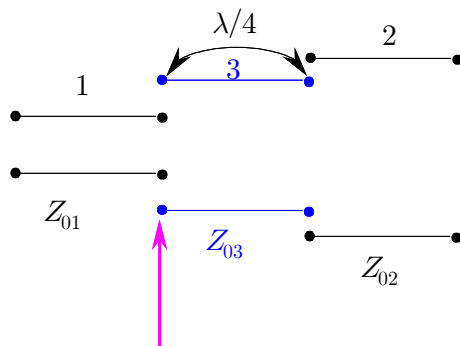
$$\therefore y = \infty \text{에서부터 읽어야 한다.} \rightarrow l_2 = 0.25\lambda + 0.210\lambda = 0.460\lambda$$



[4] 테이퍼

[5] quarte-wave( $\lambda/4$ ) transformer(3-11)

$$Z_L = Z_{02}$$

 $Z_L \neq Z_{02}$  : 반사파 존재  $\rightarrow$  stub 연결가능하다.
3번 선로( $=\lambda/4$ ) 삽입 $\rightarrow$  impedance matching

1,2 연결점에서 input imp  $Z_i = \frac{1}{Z_{02}}$  :  $\lambda/4$  이므로

 $Z_{03}$  으로 normalizing

$$\frac{Z_i}{Z_{03}} = \frac{Z_{03}}{Z_{02}} \text{ 이를 앞단 } Z_{01} \text{ 고 정합시키면}$$

 $Z_{01} = Z_i$  이므로

$$\frac{Z_{01}}{Z_{03}} = \frac{Z_{03}}{Z_{02}}$$

$$\therefore Z_{03} = \sqrt{Z_{01} Z_{02}} \quad (3-102)$$