

제 1 차년도
연차보고서

WAVEGUIDE 및 FILTER 제조기술 개발

Development On Manufacturing
Process Of Waveguide & Filter

주관연구기관 : 통신시스템연구조합

과 학 기 술 처

제 출 문

과학 기술처 장관 귀하

본 보고서를 특정연구과제 “Waveguide 및 Filter 제조기술 개발” 연구의 연차 보고서로 제출합니다.

1993년 12 월 15일

주관연구기관명 : 통신시스템 연구조합

총괄연구책임자 : 진 용 욱

연구 원 : 이 종 현
나 호 승

협동연구기관명 : 한국전자진흥(주)

협동연구책임자 : 양 동 유

협동연구기관명 : (주) 대 주 전 자

협동연구책임자 : 박 용 욱

요 약 문

I. 제 목

Waveguide 및 Filter 제조기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

가. 목적

본 연구는 마이크로파 통신시스템의 기본 구성요소인 도파관 및 필터의 제작과 최적 설계기술을 개발하고 부차적으로 도파관과 플랜지의 접합기술을 향상시켜 고효율화 방법을 확보하는 것을 목적으로하며, 일차년도인 당해년도에는 성능이 우수한 구형도파관의 최적 설계를 전제로하여 CAD (Computer-Aided Design)에 의한 도파관 설계방식을 개발하고 이를 소프트웨어로써 구현하고자 한다.

나. 중요성

마이크로파 기술은 첨단산업분야에서 그 응용의 잠재적 적용범위가 매우 넓기 때문에 선진 외국에서는 이 기술에 대한 연구가 제2차 세계대전 이후 오늘에 이르기까지 활발하게 진행되어 왔으며, 민간기업 뿐만 아니라 범 국가적인 차원에서 조직적인 연구가 이루어져서 레이더 시스템, 무선폭발장치 및 미사일 전자시스템 등의 국방분야는 물론 TV, 전화전송, 위성통신, 전파천문학 그리고 가전제품 등의 민수산업분야에 이르기까지 상당한 진전을 성취하고있다. 이에 비해 국내에서는 이 분야의 연구가 일부 산업체와 대학에서 산발적으로 밖에 진행되지 못하여 그 응용범위도 좁고 기술축적도 미흡한 상태에 있는 실정이다. 그러나 '95년 이후 통신

위성의 운용 및 이동통신산업의 발달로 무선통신기기의 민간응용이 크게 확산될 전망이므로 이에 대응하여 지금부터라도 마이크로파 통신시스템의 주요부분인 도파관 및 필터의 양질생산을 위한 제조기술을 개발하고 기술 축적을 도모함이 우리의 현실성에 비추어볼 때 시급한 문제로 주목하지 않을 수 없다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

가. 최적설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 이론

- (1) 기본 모드에 의한 도파관 파라미터 해석
- (2) CAD 접근방법 개발

나. 적용재료 분석

- (1) 표피효과에 따른 감쇠특성
- (2) 표면의 거칠음(Surface Roughness)에 따른 감쇠특성
- (3) 도파관 재료의 종류 및 특성분석

다. 도파관과 플랜지(Flange)의 접합기술

- (1) 플랜지의 특성 분석
- (2) 접합기술 방법 모색

라. 도파관 제조기술

- (1) 도파관의 감도특성 해석
- (2) 도파관 허용범위

마. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램 개발

- (1) 설계 요구조건을 만족시키는 합성프로그램
- (2) 도파관 특성분석 프로그램
- (3) 도파관 제조를 위한 감도분석 프로그램

IV. 연구개발 결과의 활용 방안

가. 최적 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션

- 활용방안 : (1) 마이크로파 디바이스 해석에 활용 가능
(2) CAD에 의한 마이크로파 도파관 설계에 활용가능

나. 적용재료 분석

- 활용방안 : (1) 금속재료의 비파괴검사에 활용가능
(2) 표면 마무리(Surface Finish)를 요하는 분야에서 활용가능

다. 도파관 제조기술

- 활용방안 : (1) 구형도파관 제작에 활용가능
(2) 마이크로파 소자설계에 활용가능

라. 도파관 최적 설계를 위한 CAD프로그램 개발

- 활용방안 : (1) 마이크로파 회로 분석 및 합성에 활용가능
(2) 마이크로파 도파관 제작에 활용가능

S U M M A R Y

In this age of information society, the world's need to share information and communicate has been exploding. Microwave technology of course has proven to be one of the most efficient means of transmitting information from place to place. Activities that only a few short years ago were not even dreamed of, have now become commonplace. In the context of the world situation today, industries and universities must be planning to improve and save the microwave technology. As the first step, the development of the fabrication and design techniques for waveguides has been shown in good agreement with the above situation.

This project has been carried out as one of the '92 National Projects, and will be continued by 1994. The final goal of this project is to develop the fabrication technology for waveguides, Rigid Line and filters.

We have developed the Computer-Aided Design Program for rectangular waveguides and had basic studies on the fabrication and joint technology

The main activities and results of this project are summarized as follows :

- 1 . Design Consideration on Waveguide
 - design parameter analysis
 - computer-aided design approach
- 2 . Fabrication Consideration on Waveguide
 - sensitivity analysis on waveguide

- tolerance analysis on waveguide
 - moulding design approach
- 3 . CAD Program Development for Rectangular Waveguide
- waveguide dimensional synthesis program
 - characteristic analysis program
 - sensitivity analysis program
- 4 . Basic Research
- microwave materials for waveguides
 - flange joint techniques

The above R & D will contribute to expedite research activities for various type of microwave components in Korea, and will be a basis for the development of CAD system for microwave devices.

CONTENTS

(영문목차)

Chapter 1. Introduction	13
Section 1. Objective	13
Section 2. Scope and Contents	14
Chapter 2. Design Consideration on Waveguide	20
Section 1. Introduction	20
Section 2. Design Parameters with Dominant Mode.....	21
1. Field Components	21
2. Cutoff Wavelength	29
3. Guide Wavelength	29
4. Power-Carrying Capacity of Waveguide.....	30
5. Characteristic Impedance	31
6. Attenuation Constant	34
Section 3. Computer-Aided Design Approach	37
1. Synthesis Method with Design Data	37
2. CAD Approach for Waveguide	41
Chapter 3. Characteristics of Waveguide Materials	43
Section 1. Introduction	43
Section 2. Surface Losses and Skin Effect	43
Section 3. Surface Losses and Surface Roughness	49

Section 4. Waveguide Materials and its Electrical Characteristics	52
Chapter 4. Flange Joint Techniques	54
Section 1. Introduction	54
Section 2. Flange Joint Technical Approach	55
1. Sport Welding	56
2. Powder Soldering	56
Chapter 5. Fabrication Consideration on Waveguide	60
Section 1. Introduction	60
Section 2. Sensitivity Analysis on Waveguide	61
1. Definition of Sensitivity	61
2. Sensitivity Analysis on Rectangular Waveguide	61
3. Sensitivity Analysis on Circular Waveguide	64
Section 3. Tolerance Analysis of Waveguide	64
1. Definition of Tolerance	64
2. Tolerance Analysis on Rectangular Waveguide Dimensions	65
Section 4. Moulding Design Approach	66
1. Metal Mold of Waveguide	66
2. Mold of Flange	67
3. Mold's Plating	68

Chapter 6. CAD Program Development for Rectangular	
Waveguide	69
Section 1. Introduction	69
Section 2. Waveguide Dimensional Synthesis Program	74
Section 3. Characteristic Analysis Program	86
Section 4. Sensitivity Analysis Program	95
Section 5. Source Program	101
Chapter 7. conclusion	144
Appendix (Text of MWGDP Program)	150

목 차

제 1 장. 서 론	13
제 1 절. 연구개발의 필요성	13
제 2 절. 연구개발내용 및 범위	14
제 2 장. 최적설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 이론	20
제 1 절. 서 설	20
제 2 절. 기본모우드에 의한 도파관 설계 파라미터	21
1. 전자계 분포식	21
2. 차단파장	29
3. 관내파장	29
4. 최대 전송 전력	30
5. 특성 임피던스	31
6. 감쇠 정수	34
제 3 절. CAD (Computer-Aided Design) 접근방법 개발	37
1. 도파관 설계 데이터에 의한 합성방법	37
2. 도파관의 최적 설계를 위한 CAD 구성 방법	41
제 3 장. 적용 재료 분석	43
제 1 절. 서 설	43
제 2 절. 표피효과에 따른 감쇠특성	43
제 3 절. 표면 거칠기에 따른 감쇠특성	49
제 4 절. 도파관 재료의 종류 및 그 특성	52

제 4 장. 도파관과 플랜지(Flange)의 접합기술	54
제 1 절. 서 설	54
제 2 절. 도파관과 플랜지의 접합기술 방법 모색	55
1. 용접 방식	56
2. 분말 방식	56
제 5 장. 도파관 제조기술	60
제 1 절. 서 설	60
제 2 절. 도파관 감도 해석	61
1. 감도의 정의	61
2. 구형도파관에 대한 감도해석	61
3. 원형도파관에 대한 감도해석	64
제 3 절. 도파관의 허용 범위 해석	64
1. 허용범위의 정의	64
2. 구형도파관의 크기에 대한 허용범위 해석	65
제 4 절. 금형 설계 방식 모색	66
1. 도파관의 금형	66
2. 플랜지의 금형	67
3. 금형의 도금	68
제 6 장. 도파관 최적설계를 위한 CAD 프로그램 개발	69
제 1 절. 서 설	69
제 2 절. 도파관 크기 합성 프로그램	74
제 3 절. 도파관 특성분석 프로그램	86
제 4 절. 감도분석 프로그램	95

제 5 절. 원시 프로그램	101
제 7 장. 결 론	144
부 록 (MWGDP 사용설명서)	150

제 1 장. 서론

제 1 절. 연구 개발의 필요성

마이크로파 기술은 제2차 대전중에 레이더에 이용되면서부터 그 효능이 인정된 이래로 세계각국의 경쟁적인 연구노력으로 현재는 각종 레이더 시스템이나 무선항법 분야는 물론 TV, 전화전송, 위성통신, 전파천문학, 미사일전자시스템 그리고 가전제품에 이르기까지 광범위하게 그 응용기술이 확대되고있다. 더욱이 첨단 정보화시대인 오늘날 팽창하고 있는 지식과 정보활동을 볼 때 마이크로파가 갖는 광 대역성과 고속성에 그 성능을 기대하지 않을 수 없으며 마이크로파 기술은 정보전송에 중요한 매체로서 그 역할이 훌륭히 수행될 것이다. 특히 가까운 미래에 위성방송 및 이동통신 시대를 맞이할 우리의 현실을 바라볼 때 마이크로파 기술확보에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있으나 마이크로파 관련 제품생산에 관한 국내의 기술축적은 미흡하다고 할 수 있을 것이다. 이에 여러가지 이유가 있겠으나 그중에서도 국내 수요가 적다는 것이 주요한 요인으로 지적될 수 있다.

그러나 '95년 이후 통신위성의 운용 및 이동통신 산업의 확장으로 무선 통신 기기의 민간 사용량이 크게 확산될 전망이므로 최근에 와서는 민수산업의 무선 통신분야가 각광을 받고 이에 대한 관심은 날로 고조되어 지고 있으며 동시에 기존의 유선계통도 무선계통 시스템으로 전환되고 있는 실정이다. 이에 부응하여 국가적인 차원에서도 RF 및 마이크로파 통신부품 개발과 기초연구에 많은 투자욕을 보이고 있다는 점은 주지의 사실이므로 국내의 산업체나 대학에서도 하이테크(High-Tech)산업의 한 분야로서 마이크로파 기술을 습득하고 축적하는데 지속적인 노력을 경주해야 할 것이다.

현재 국내에서 마이크로파 관련 주요부품 중의 하나인 도파관은 양산이 전무한 상태에 있으며 수요자는 수입에 의존하여야 하는 실정이므로 도파관 제작의 국내개발은 무선 통신시대에 대비하여 수요자에게 소량 다품종의 주문제작을 용이하게 할 수 있고 수입대체효과는 물론 통신선진국에도 수출이 기대되며 고부가가치 산업으로 육성할 필요성이 증가되고 있으므로 본 연구에서는 도파관 개발기술 확보를 제1차 목표로 하였고 이것은 첨단 마이크로파 기술을 우선적으로 확보하려고 하는데 매우 적절하다고 판단된다.

제 2 절. 연구개발 내용 및 범위

1. 최적설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 이론

가. 기본모우드에 의한 도파관 파라미터 해석

- 구형 및 원형 도파관의 모우드를 해석하고 기본 모우드에 대한 전자계 분포식을 도출함.
- 도파관의 특성분석을 위해 차단파장, 관내파장, 특성임피던스, 최대전송전력, 감쇠정수 등에 관해 그 특성을 조사하고 설계 파라미터로써 사용할 수 있도록 정리함.

나. CAD (Computer-Aided Design) 접근방법 개발

- 도파관을 최적설계 하기 위한 CAD 체계를 구성
- 도파관 제조의 정밀성을 얻기 위한 CAD 체계를 개발

2. 적용재료 분석

- 도파관의 손실을 최소화 하기 위해 표피효과 및 표면 거칠기에 관한 해석체계를 정립
- 도파관 재료로서 적합한 재료의 특성을 조사

3. 도파관과 플랜지의 접합 기술

- 도파관과 플랜지의 접합 기술 방법 모색

4. 도파관 최적설계를 위한 CAD 프로그램 개발

가. 설계 요구 조건을 만족시키는 합성 프로그램

- 도파관 설계 데이터에 따라서 도파관 크기 합성

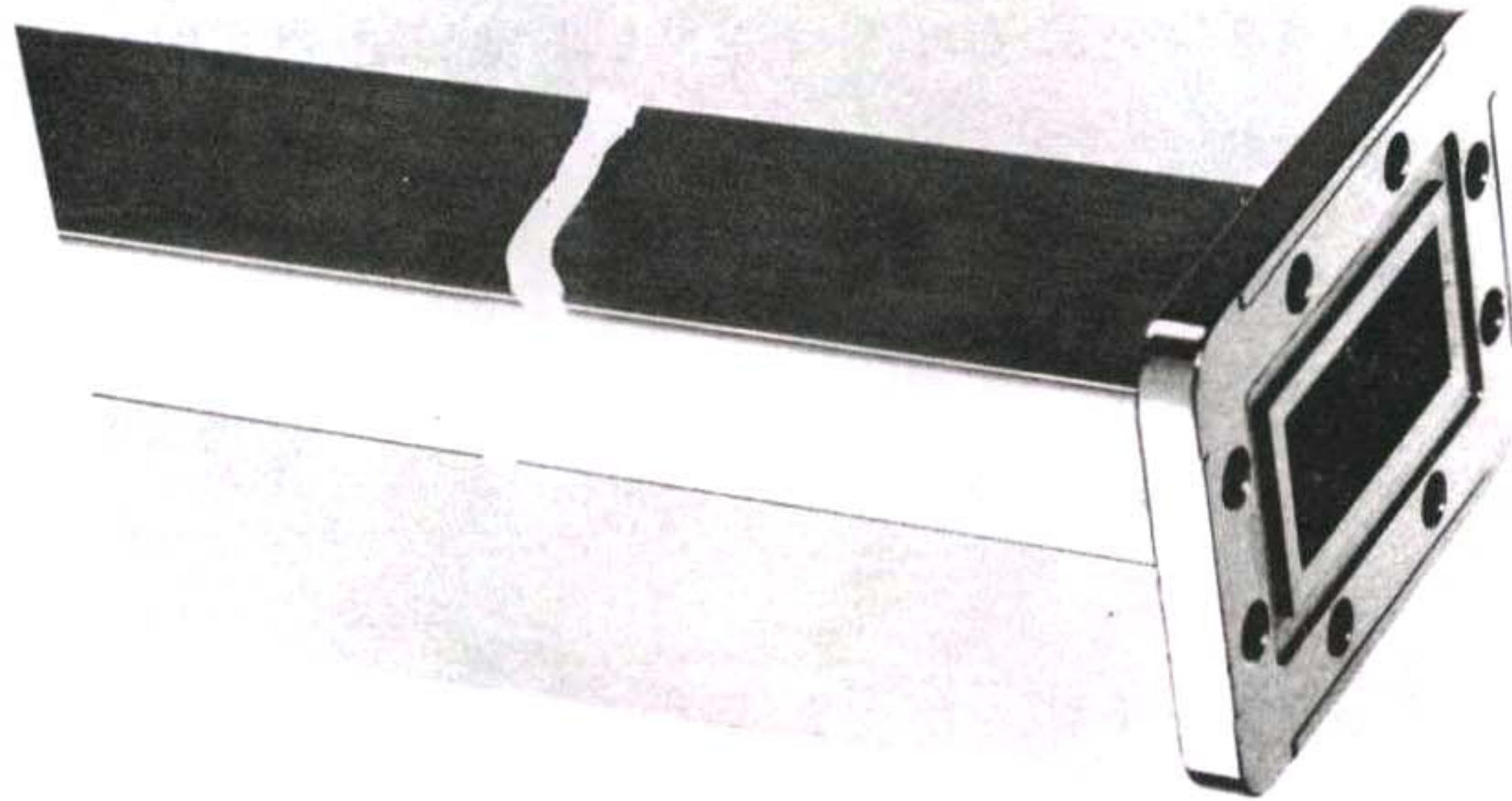
나. 도파관 특성분석 프로그램

- 도파관의 크기합성이 완성된 후 이에 대한 특성을 분석하는 프로그램을 개발

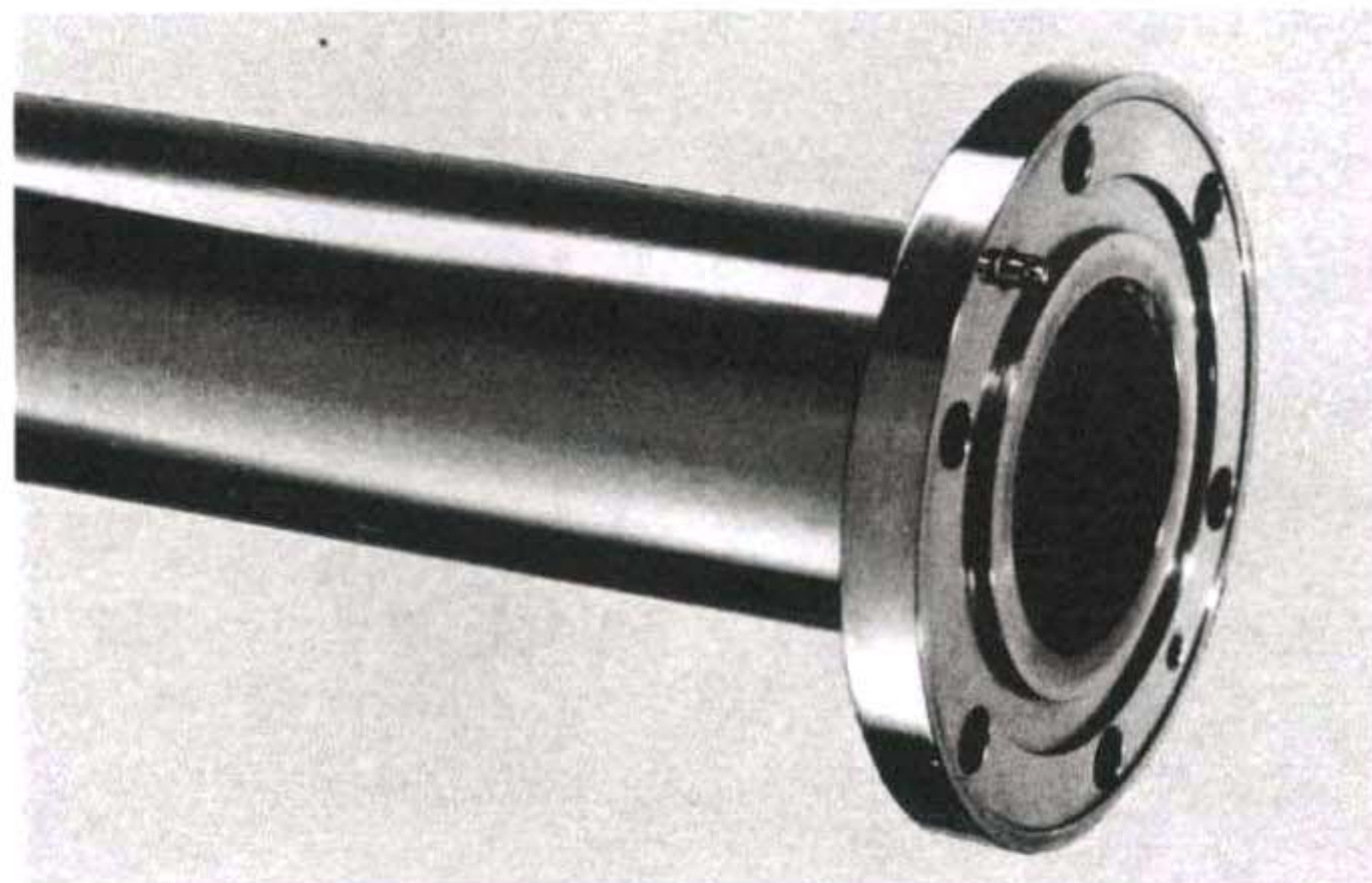
다. 도파관 제조를 위한 감도 분석 프로그램

- 합성된 도파관을 제조하기 위해 허용범위를 결정하는 감도분석 프로그램 개발

5. Waveguide 및 Filter



Rectangular Waveguide



Circular Waveguide

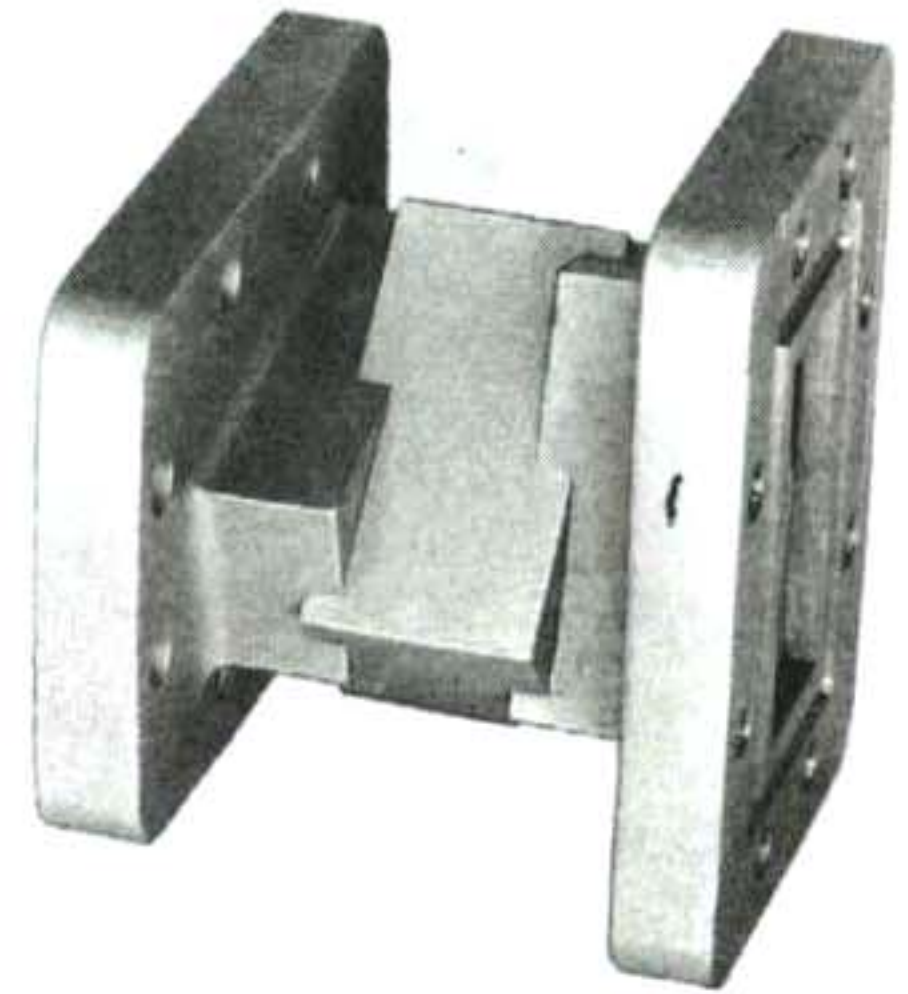
그림 1-1. 웨이브가이드 종류
(fig.1-1. Type of Waveguide)



Stright



Twist



90 ° Twist



Flexible



E & H Plane Elbow

그림 1-2. 각종 웨이브가이드
(fig.1-2. Various Waveguide)

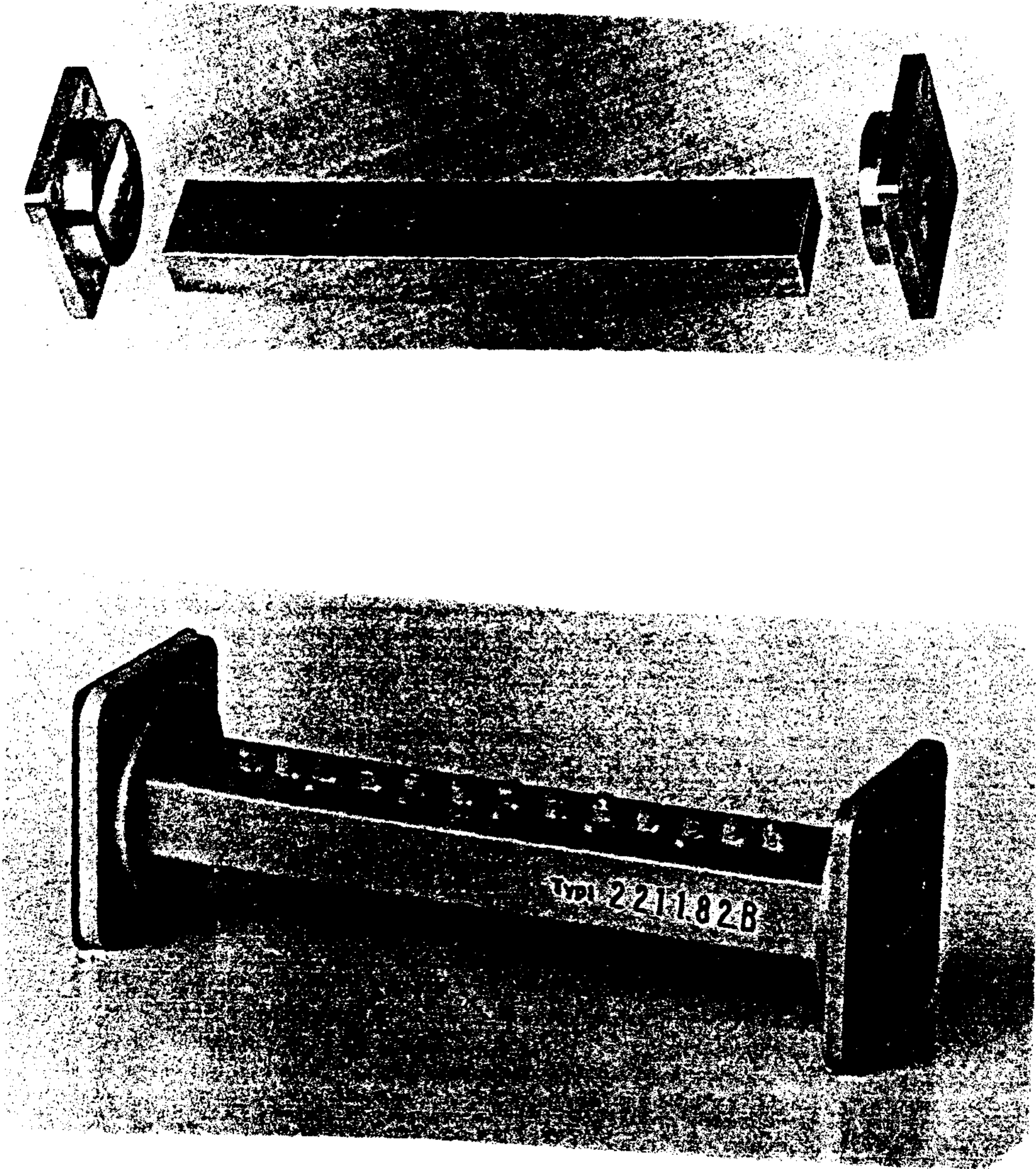


그림 1-3. 웨이브가이드용 밴드패스 필터
(fig.1-3. Waveguide Bandpass Filter)

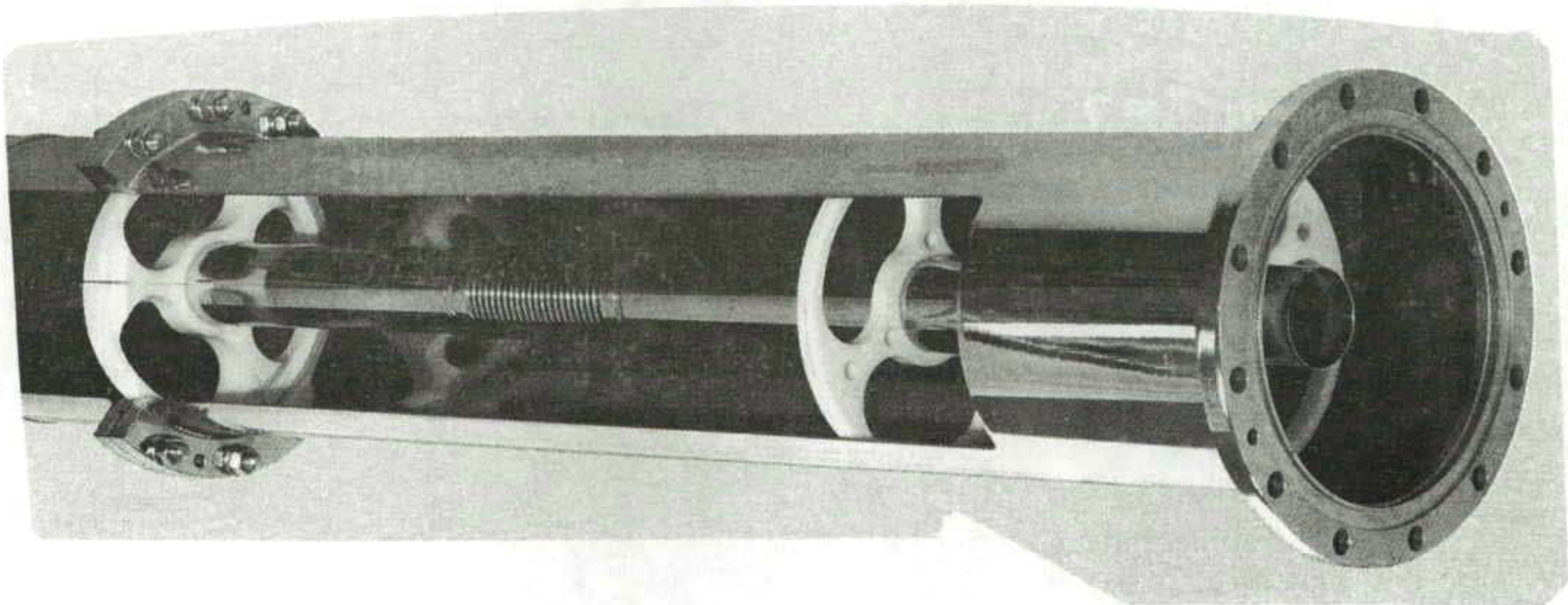
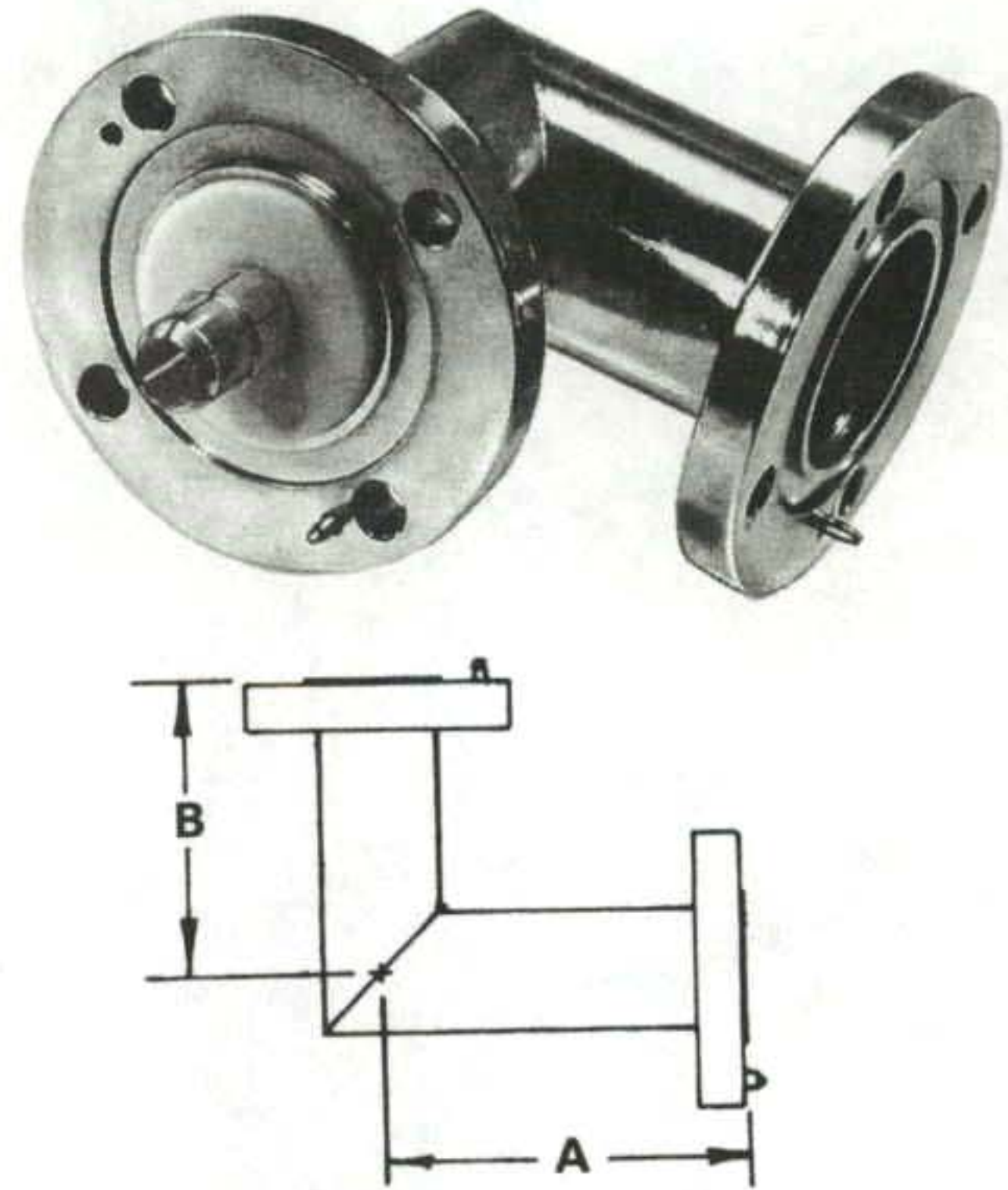
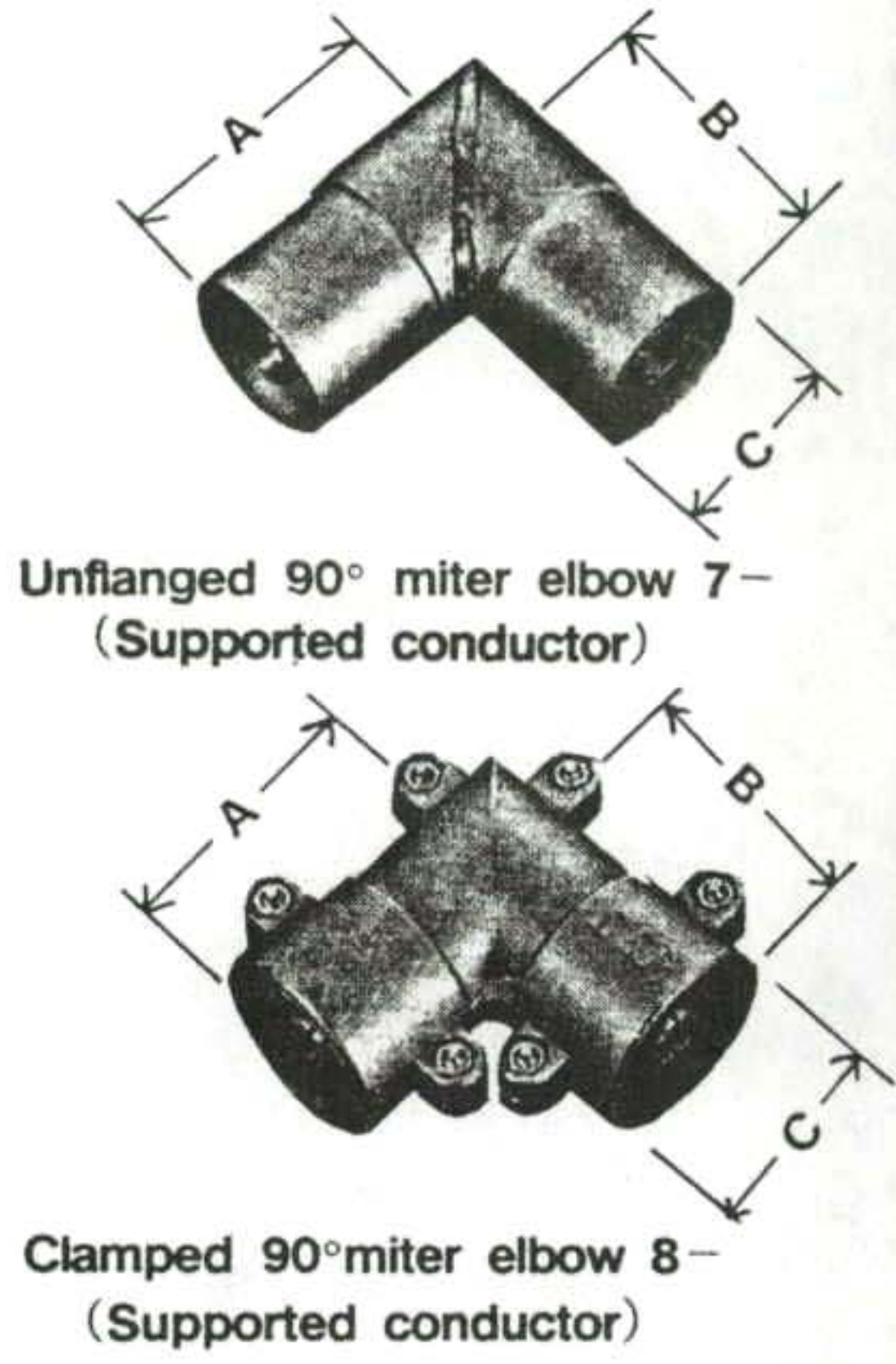


그림 1-4. 리지드와 아답터
(fig.1-4. Rigid-Lind & Adapten)

제 2 장. 최적설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 이론

제 1 절. 서 설

마이크로파 에너지를 전송하는 선로에는 여러가지 종류가 있으나 가장 대표적인 것이 도파관이다. 도파관의 성능은 전자파 에너지를 입력단에서 출력단까지 최소한의 손실을 갖고 전송하는 능력으로 평가될 수 있다.

성능의 저하는 도파관 내에서 전력의 흡수 또는 반사에 따른 전력손실이 발생할 때 일어난다. 따라서 도파관의 성능은 도파관의 크기와 전류가 흐르는 도파관 표면의 전기적 특성에 의해서 완전히 평가될 수 있다. 도파관의 크기가 주어졌을 때 도파관의 특성을 해석하기 위해서 보통의 교류이론을 사용할 경우에는 전압과 전류값을 임의적으로 정의할 수 없으므로 마땅하지 않으며 전자계 분포식을 얻을 수 있는 특별한 이론이 필요하게 된다. 일반적으로 도파관내의 전자계 분포는 모우드 해석법에 의해 구해지며 도파관의 크기가 주어지면 전송 모우드는 각각 한개의 차단파장을 갖게 된다.

이들 모우드중에서 차단파장이 가장 큰 모우드를 기본모우드(dominant mode)라고 부르며 일반적으로 사용하는 도파관은 주로 이 기본 모우드만이 전파할 수 있도록 설계, 제작된다. 구형 도파관의 기본 모우드는 TE_{10} 모우드이며 원형도파관에서는 TE_{11} 모우드이다.

도파관의 전력손실 메카니즘은 주로 표피효과에 의한 도체 손실과 도파관 표면의 거칠기(roughness) 정도에 따른 반사손실 그리고 도파관 내를 채우는 유전체에 따른 유전체 손실 등에 의해서 결정된다.

본 연구에서는 성능이 우수한 도파관을 설계하고자 도파관의 특성을 분석하기 위한 도파관 파라미터를 이론적으로 해석하였고 이를 바탕으로 CAD 접근방법을

개발하였다.

제 2 절. 기본 모드에 의한 도파관 설계 파라미터 해석

1. 전자계 분포식

가. 구형 도파관

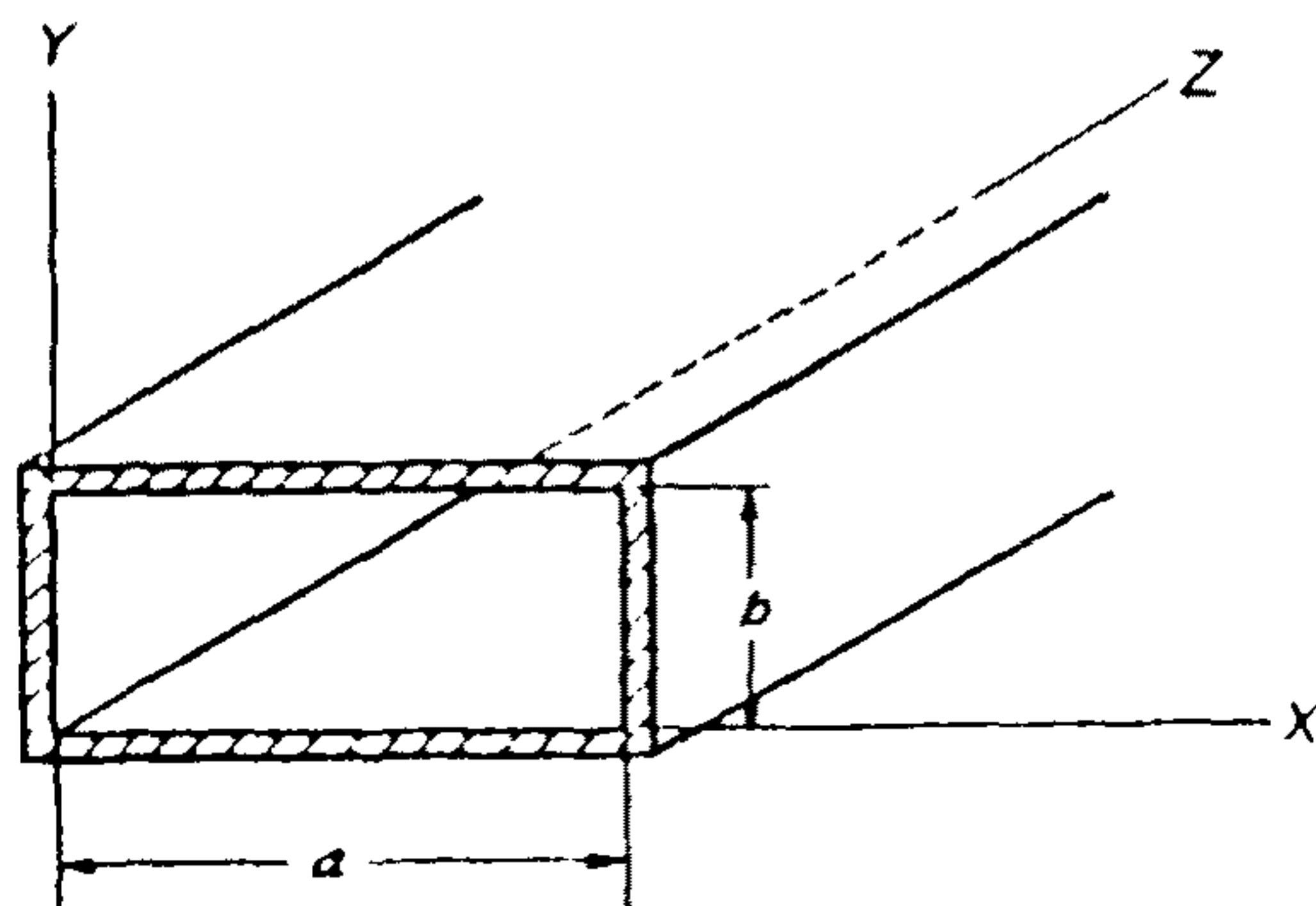


그림 2-1 . 구형 도파관
(Fig.2-1. Rectangular waveguide)

그림 2-1.에서 보여주는 구형도파관에 대한 전자계 분포식과 특성 파라미터에 관한 결과식을 요약하여 정리하면 표 2-1.에 보인 바와 같다.

표 2-1. 구형도파관에 대한 결과식의 요약
(Table 2-1. Properties of modes in a rectangular waveguide)

	TE _{mn} 모드	TM _{mn} 모드
k	$\omega \sqrt{\mu\epsilon}$	$\omega \sqrt{\mu\epsilon}$
k_c	$\sqrt{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2}$	$\sqrt{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2}$
β	$\sqrt{k^2 - k_c^2}$	$\sqrt{k^2 - k_c^2}$
λ_c	$\frac{2\pi}{k_c}$	$\frac{2\pi}{k_c}$
λ_0	$\frac{2\pi}{\beta}$	$\frac{2\pi}{\beta}$
v_p	$\frac{\omega}{\beta}$	$\frac{\omega}{\beta}$
α_d	$\frac{k^2 \tan \delta}{2\beta}$	$\frac{k^2 \tan \delta}{2\beta}$
E_z	0	$B_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$
H_z	$A_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$	0
E_x	$\frac{j\omega\mu n\pi}{k_c^2 b} A_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\beta m\pi}{k_c^2 a} B_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$
E_y	$\frac{-j\omega\mu m\pi}{k_c^2 a} A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\beta n\pi}{k_c^2 b} B_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$
H_x	$\frac{j\beta n\pi}{k_c^2 a} A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$	$\frac{j\omega\epsilon n\pi}{k_c^2 b} B_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$
H_y	$\frac{j\beta m\pi}{k_c^2 b} A_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\omega\epsilon m\pi}{k_c^2 a} B_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{-j\beta z}$
Z	$Z_{TE} = \frac{k\eta}{\beta}$	$Z_{TM} = \frac{\beta\eta}{k}$

그림 2-2는 구형도파관에서 몇가지 모드에 대해 전자계 분포도를 나타내었다.

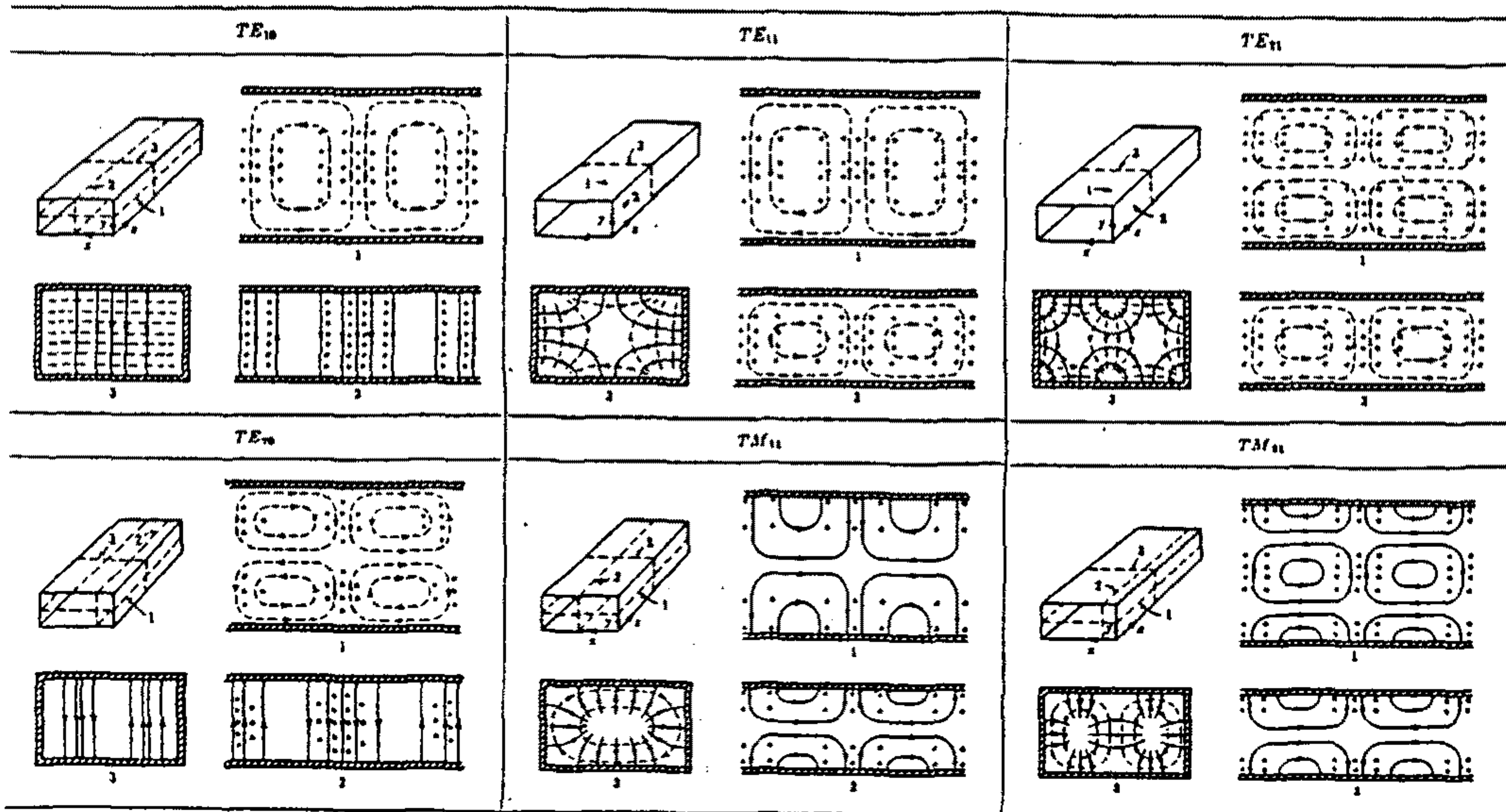


그림 2-2. 구형도파관에서 몇가지 모드에 대한 전자계 분포도
(Fig.2-2. Summary of wave types for rectangular waveguide)

TE₁₀ 모우드의 경우에 전계의 세기는 도파관의 횡단면 중심부에서 가장 강함을 알 수 있으며 TE₁₀ 모우드에 관한 전자계 분포식을 요약하면 다음과 같다.

TE₁₀ 모우드 (기본 모우드)

$$E_x = E_z = H_y = 0$$

$$E_y = A \frac{\cos \frac{\pi x}{a}}{k^2 a} \sin (\omega t - \beta z)$$

$$H_x = A \frac{\beta \pi}{k^2 a} \sin \frac{\pi x}{a} \sin (\omega t - \beta z)$$

$$H_z = A \cos \frac{\pi x}{a} \cos (\omega t - \beta z)$$

여기서 A 는 임의의 진폭상수이며 β 는 위상정수로써

$$\beta = \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2}{a^2} \quad \text{이고}$$

k 는 자유공간의 파수로써

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - \beta^2 \quad \text{으로 표현된다.}$$

나 . 원형도파관

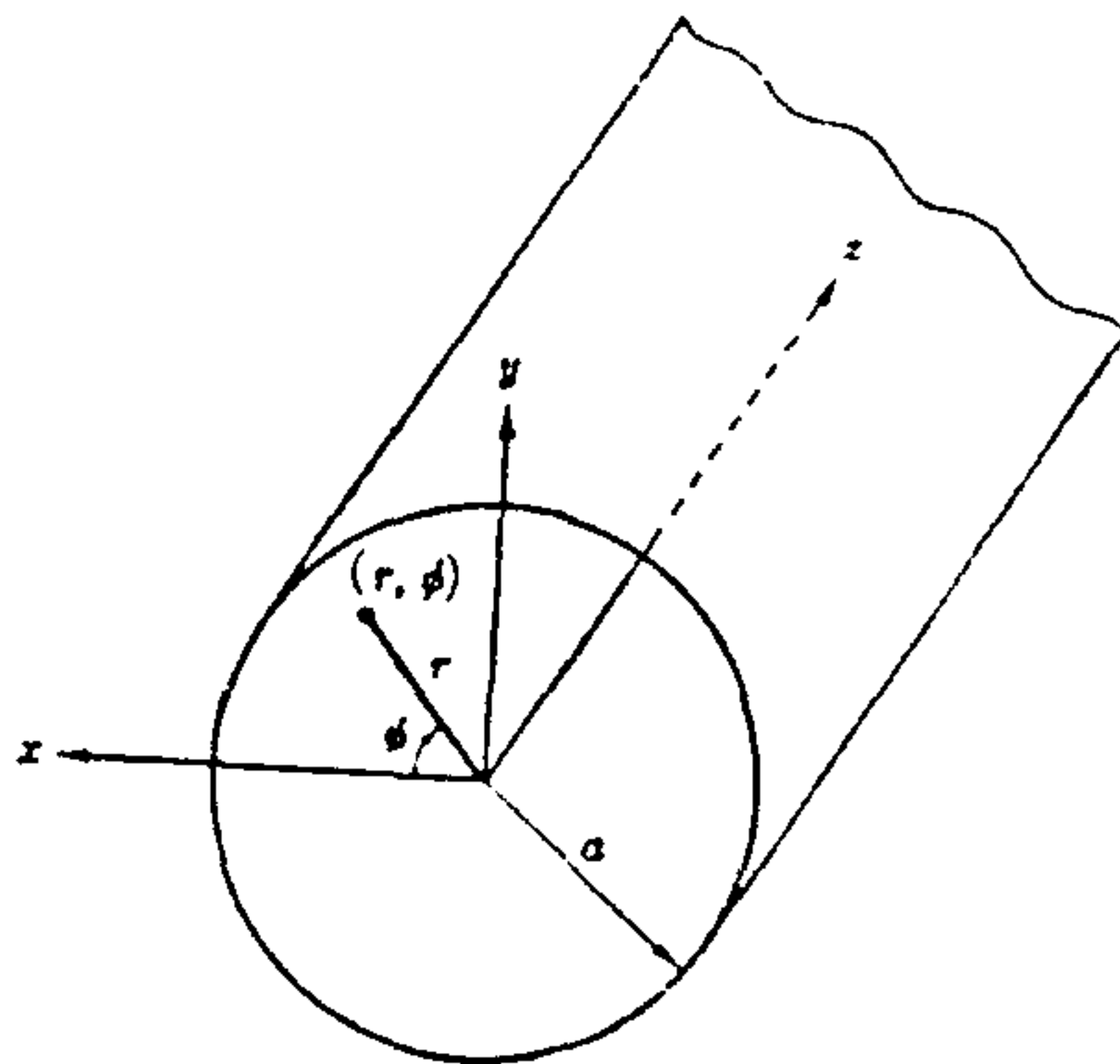


그림 2-3 . 원형도파관
(Fig.2-3. Circular waveguide)

그림 2-3.에서 보여주는 원형도파관에 대한 전자계 분포식과 특성 파라미터에 관한 결과식을 요약하여 정리하면 표 2-2.에 보인 바와 같다.

표 2-2 . 원형도파관에 대한 결과식의 요약
(Table 2-2. Properties of modes in circular waveguide)

	TE_{nm}	TM_{nm}
k	$\omega \sqrt{\mu\epsilon}$	$\omega \sqrt{\mu\epsilon}$
k_c	$\frac{p'_{nm}}{a}$	$\frac{p_{nm}}{a}$
β	$\sqrt{k^2 - k_c^2}$	$\sqrt{k^2 - k_c^2}$
λ_c	$\frac{2\pi}{k_c}$	$\frac{2\pi}{k_c}$
λ_o	$\frac{2\pi}{\beta}$	$\frac{2\pi}{\beta}$
v_p	$\frac{\omega}{\beta}$	$\frac{\omega}{\beta}$
α_d	$\frac{k^2 \tan \delta}{2\beta}$	$\frac{k^2 \tan \delta}{2\beta}$
E_z	0	$(A \sin n\phi + B \cos n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$
H_z	$(A \sin n\phi + B \cos n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$	0
E_ρ	$\frac{-j\omega\mu n}{k_c^2 \rho} (A \cos n\phi - B \sin n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\beta}{k_c} (A \sin n\phi + B \cos n\phi) J'_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$
E_ϕ	$\frac{j\omega\mu}{k_c} (A \sin n\phi + B \cos n\phi) J'_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\beta n}{k_c^2 \rho} (A \cos n\phi - B \sin n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$
H_ρ	$\frac{-j\beta}{k_c} (A \sin n\phi + B \cos n\phi) J'_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$	$\frac{j\omega\epsilon n}{k_c^2 \rho} (A \cos n\phi - B \sin n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$
H_ϕ	$\frac{-j\beta n}{k_c^2 \rho} (A \cos n\phi - B \sin n\phi) J_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$	$\frac{-j\omega\epsilon}{k_c} (A \sin n\phi + B \cos n\phi) J'_n(k_c \rho) e^{-j\beta z}$
Z	$Z_{TE} = \frac{k\eta}{\beta}$	$Z_{TM} = \frac{\beta\eta}{k}$

그림 2-4.는 원형도파관에서 몇가지 모드에 대해 전자계 분포도를 나타내었다.

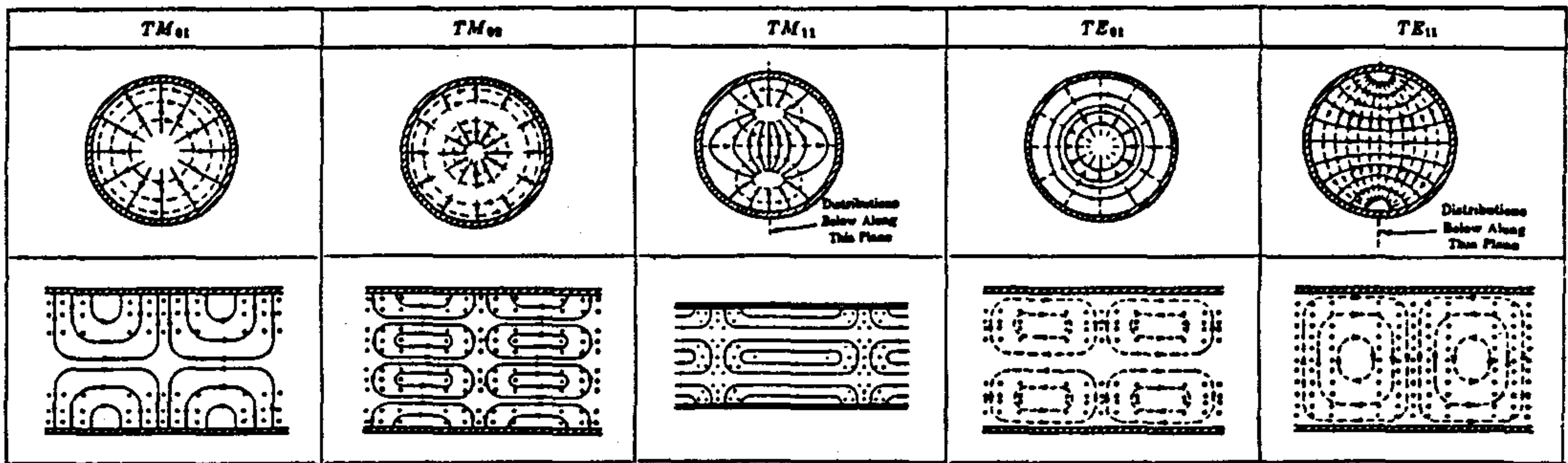


그림 2-4. 원형도파관의 모드 형태
(Fig.2-4. Summary of wave types for circular waveguide)

원형도파관의 기본모우드인 TE_{11} 모우드의 경우에 전계의 세기는 도파관의 중심에서 가장 세며 TE_{11} 모드에 관한 전자계 분포식을 요약하면 다음과 같다.

TE₁₁ 모드 (기본 모드)

$$H_r = A \frac{\beta a}{2u'} \left[J_0 \left(u' \frac{r}{a} \right) - J_2 \left(u' \frac{r}{a} \right) \right] \cos \phi \sin (\omega t - \beta z)$$

$$H_\phi = -A \frac{\beta a^2}{u_1 r} J_1 \left(u' \frac{r}{a} \right) \sin \phi \sin (\omega t - \beta z)$$

$$H_z = A J_1 \left(u' \cdot r/a \right) \cos \phi \cos (\omega t - \beta z)$$

$$E_r = -\mu \frac{\omega}{\beta} H_\phi$$

$$E_\phi = \mu \frac{\omega}{\beta} H_r$$

$$E_z = 0$$

여기서 $u' = 1.841$

$$u_1 = 3.39$$

$$\beta = (\omega/c)^2 - (u'/a)^2$$

2. 차단파장

가. 구형 도파관

도파관은 고역 통과 필터의 특성을 가지며 신호의 파장이 차단파장보다 작을 때만 주어진 모드에서 전자파를 전송한다. 차단파장은 전송 모드에 의존하며 TE₁₀ 모드의 차단파장은 다음 식으로 주어진다.

$$\lambda_c = 2\pi / k_c = 2a$$

나. 원형 도파관

원형도파관의 차단파장은 도파관의 직경과 파장의 비에 의존하며 TE₁₁ 모드의 차단파장은 다음 식으로 주어진다.

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{1.841} = 3.41a$$

여기서 a 는 도파관의 반경이다.

3. 관내파장

공기로 채워진 도파관에서 감쇠를 무시할 경우에 관내파장(λ_g)은 자유공간 파장(λ) 보다 큰 값을 갖는다. 이것은 도파관 내를 전파하는 파의 전파속도는 광속을 초과한다는 것을 의미한다. 실제로 공기로 채워진 도파관내의 위상속도는 $V_p = f\lambda_g$ 로써 주어지며 λ_g/λ 만큼 광속보다 크다. 그러나 도파관내에서 전송에 너지의 전달속도는 군속도 V_g 로서 나타내고 광속보다 작으며 다음의 관계식으

로 표현된다.

$$V_g = c^2/V_p$$

가. 구형도파관

TE₁₀ 모드에서 a/λ 와 a/λ_g 사이의 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$a^2/\lambda_g^2 = a^2/\lambda^2 - 0.25$$

나. 원형 도파관 (TE₁₁ 모드)

$$a^2/\lambda_g = a^2/\lambda^2 - 0.086$$

4. 최대 전송 전력

공기로 채워진 도파관에서 전송될 수 있는 최대전력은 방전을 일으키지 않는 최대 전계강도에 의해 결정된다. 최대 허용 방전 포텐셜이 정해졌을 때 도파관의 최대 전송전력은 도파관의 크기와 관내 파장이 주어지면 알 수 있다. 온도, 압력, 습도의 표준상태에서 우리가 자주 사용하는 방전 전계강도의 값은 30 KV/cm 이다.

가. 구형 도파관

TE₁₀ 모드에서 동작하는 도파관의 최대 전력은 다음 식으로 주어진다.

$$\frac{P_{\max}}{E_{\max}^2} = 6.63 \times 10^{-4} ab (\lambda/\lambda_g)$$

여기서 a, b 는 도파관 크기(cm)이고, E_{\max} 는 최대 전계강도(V/cm)이다. 윗 식에서 $E_{\max}=30$ kV/cm 라고 하면 최대전력은 $P_{\max}=0.5968 ab(\lambda/\lambda_g)$ 로써 주어진다. 그러나 실제에서 방전은 위의 주어진 값보다 매우 낮은 값에서 일어나므로 보통 안전계수로서 1/4을 취하면 윗 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{\max} = 0.15 ab (\lambda/\lambda_g)$$

나. 원형 도파관

TE₁₁ 모드에서 동작하는 도파관의 최대 전력과 최대 허용 전계강도 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{P_{\max}}{E_{\max}^2} = 1.99 \times 10^{-3} a^2 (\lambda/\lambda_g)$$

여기서 a 는 도파관의 반경 (cm)

λ 는 자유공간 파장 (cm)

λ_g 는 관내 파장 (cm)

이고, 최대 전계강도는 도파관의 중심에서 일어난다.

5. 특성 임피던스

평행판 선로의 TEM파의 경우는 전계가 동전계일 때도 전송방향으로 수직한

단면에서는 정전계와 같은 상태가 되므로 전위차가 일의적으로 정해지고 선로의 특성 임피던스는 일정한 값을 갖는다.

그러나 도파관에서는 TEM파가 존재하지 못하므로 특성 임피던스는 일의적으로 정의될 수 없다. 따라서 특성 임피던스는 주어진 전압 또는 전류에 대한 전송전력의 항에서 정의되거나 전압과 전류비의 항에서 정의되며 다음 식으로 표현한다.

전력-전류 임피던스(Power-current Impedance) :

$$Z(P, I) = \frac{2P}{I \cdot I^*}$$

전압-전력 임피던스(Voltage-power Impedance) :

$$Z(P, V) = \frac{V \cdot V^*}{2p}$$

전압-전류 임피던스(Voltage-current Impedance) :

$$Z(V, I) = \frac{V}{I}$$

파동 임피던스(Wave Impedance):

$$Z_w = \frac{E_t}{H_t}$$

위에서 정의한 4종류의 임피던스는 일반적으로 서로 다른 값을 나타낸다. 그러나 주파수 특성은 모두 동일하며 다음과 같다.

$$Z(f) = \frac{Z_{f \rightarrow \infty}}{\sqrt{1 - (f_e/f)^2}}$$

$Z_{f \rightarrow \infty}$ 조건하에서 표준도파관의 특성임피던스를 구하면 다음과 같다.

$$Z_w = 377 \Omega, \quad Z(P, I) = 233 \Omega, \quad Z(P, V) = 377 \Omega, \quad Z(V, I) = 296 \Omega$$

가. 구형 도파관

TE₁₀ 모드에 대한 특성 임피던스는 다음 식으로 주어진다.

$$Z_{w(1,0)} = \frac{\eta}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}} = \eta(\lambda_g/\lambda)$$

여기서 $\eta = (\mu/\epsilon)^{1/2}$ 는 도파관 내의 매질의 고유 임피던스이다.

$$Z(P, I) = \frac{\pi^2 b}{8a} Z_{w(1,0)}$$

$$Z(P, V) = \frac{2 b}{a} Z_{w(1,0)}$$

$$Z(V, I) = \frac{\pi b}{2 a} Z_{w(1,0)}$$

나. 원형 도파관

TE₁₁ 모드에 대한 파동 임피던스는 다음 식으로 주어진다.

$$Z_{w(1,1)} = \eta(\lambda_g/\lambda) \\ = \frac{\eta}{\sqrt{1-(\lambda/3.41a)^2}}$$

6. 감쇠 정수

도파관 벽은 유한한 도전율을 갖는 금속으로 구성되어 있으며 표면 전류에 의한 전력 손실을 일으킨다. 도체 손실전력은 표피효과에 의한 도체의 표면저항과 밀접한 관계를 가지며 감쇠정수 항에서 표현될 수 있다.

가. 구형 도파관

TE₁₀ 모드에 대해 도체 손실에 의한 감쇠정수는 다음식으로 주어진다.

$$\alpha_c = \frac{8.686R_s}{b\eta\sqrt{1-(f_c/f)^2}} \left[1 + \frac{2b}{a} (f_c/f)^2 \right] \text{ dB/m}$$

여기서 $R_s = 1/\sigma\delta = [\omega\mu/2\sigma]^{1/2}$ 는 도체의 표면저항이다.

나. 원형 도파관 TE₁₁ 모드에 대한 감쇠정수는 다음 식으로 표현된다

$$\alpha_c = 8.686 \frac{R_s}{a\pi} \frac{1}{\sqrt{1 - (f_c/f)^2}} [(f_c/f)^2 + 0.420]$$

7. 구형도파관의 특성파라미터는 대부분 λ_g / λ 의 함수로써 표현 되므로 표 2-3. 과 그림 2-5. 를 이용하면 설계를 용이하게 할 수 있다.

표 2-3 . a/λ 값에서 a / λg 값의 산출 도표
(Table 2-3. a / λg from a/λ)

a/λ	MEAN DIFFERENCES																		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.60	0.3317	3335	3353	3371	3388	3406	3424	3442	3459	3477	2	4	5	7	9	11	12	14	16
0.61	0.3494	3512	3529	3546	3564	3581	3598	3615	3632	3649	2	3	5	7	9	10	12	14	15
0.62	0.3666	3683	3700	3717	3733	3750	3767	3783	3800	3816	2	3	5	7	8	10	12	13	15
0.63	0.3833	3849	3866	3882	3898	3914	3931	3947	3963	3979	2	3	5	6	8	10	11	13	15
0.64	0.3995	4011	4027	4043	4059	4075	4090	4106	4122	4138	2	3	5	6	8	9	11	13	14
0.65	0.4153	4169	4185	4200	4216	4231	4247	4262	4277	4293	2	3	5	6	8	9	11	12	14
0.66	0.4308	4323	4339	4354	4369	4384	4400	4415	4430	4445	2	3	5	6	8	9	11	12	14
0.67	0.4460	4475	4490	4505	4520	4535	4549	4564	4579	4594	1	3	4	6	7	9	10	12	13
0.68	0.4609	4623	4638	4653	4668	4682	4697	4711	4726	4740	1	3	4	6	7	9	10	12	13
0.69	0.4755	4770	4784	4798	4813	4827	4842	4856	4870	4885	1	3	4	6	7	9	10	12	13
0.70	0.4899	4913	4928	4942	4956	4970	4984	4998	5013	5027	1	3	4	6	7	9	10	11	13
0.71	0.5041	5055	5069	5083	5097	5111	5125	5139	5153	5167	1	3	4	6	7	8	10	11	13
0.72	0.5181	5195	5208	5222	5236	5250	5264	5278	5291	5305	1	3	4	6	7	8	10	11	12
0.73	0.5319	5333	5346	5360	5374	5387	5401	5415	5428	5442	1	3	4	5	7	8	10	11	12
0.74	0.5455	5469	5482	5496	5509	5523	5536	5550	5563	5577	1	3	4	5	7	8	9	11	12
0.75	0.5590	5604	5617	5630	5644	5657	5670	5684	5697	5710	1	3	4	5	7	8	9	11	12
0.76	0.5724	5737	5750	5763	5777	5790	5803	5816	5829	5843	1	3	4	5	7	8	9	11	12
0.77	0.5856	5869	5882	5895	5908	5921	5934	5948	5961	5974	1	3	4	5	7	8	9	10	12
0.78	0.5987	6000	6013	6026	6039	6052	6065	6078	6091	6103	1	3	4	5	7	8	9	10	12
0.79	0.6116	6129	6142	6155	6168	6181	6194	6207	6219	6232	1	3	4	5	7	8	9	10	12
0.80	0.6245	6258	6271	6283	6296	6309	6322	6334	6347	6360	1	3	4	5	6	8	9	10	12
0.81	0.6373	6385	6398	6411	6423	6436	6449	6461	6474	6487	1	3	4	5	6	8	9	10	11
0.82	0.6499	6512	6524	6537	6550	6562	6575	6587	6600	6612	1	3	4	5	6	8	9	10	11
0.83	0.6625	6637	6650	6663	6675	6687	6700	6712	6725	6737	1	2	4	5	6	7	9	10	11
0.84	0.6750	6762	6775	6787	6800	6812	6824	6837	6849	6861	1	2	4	5	6	7	9	10	11
0.85	0.6874	6886	6899	6911	6923	6936	6948	6960	6973	6985	1	2	4	5	6	7	9	10	11
0.86	0.6997	7009	7022	7034	7046	7059	7071	7083	7095	7107	1	2	4	5	6	7	9	10	11
0.87	0.7120	7132	7144	7156	7169	7181	7193	7205	7217	7229	1	2	4	5	6	7	9	10	11
0.88	0.7242	7254	7266	7278	7290	7302	7314	7326	7339	7351	1	2	4	5	6	7	8	10	11
0.89	0.7363	7375	7387	7399	7411	7423	7435	7447	7459	7471	1	2	4	5	6	7	8	10	11

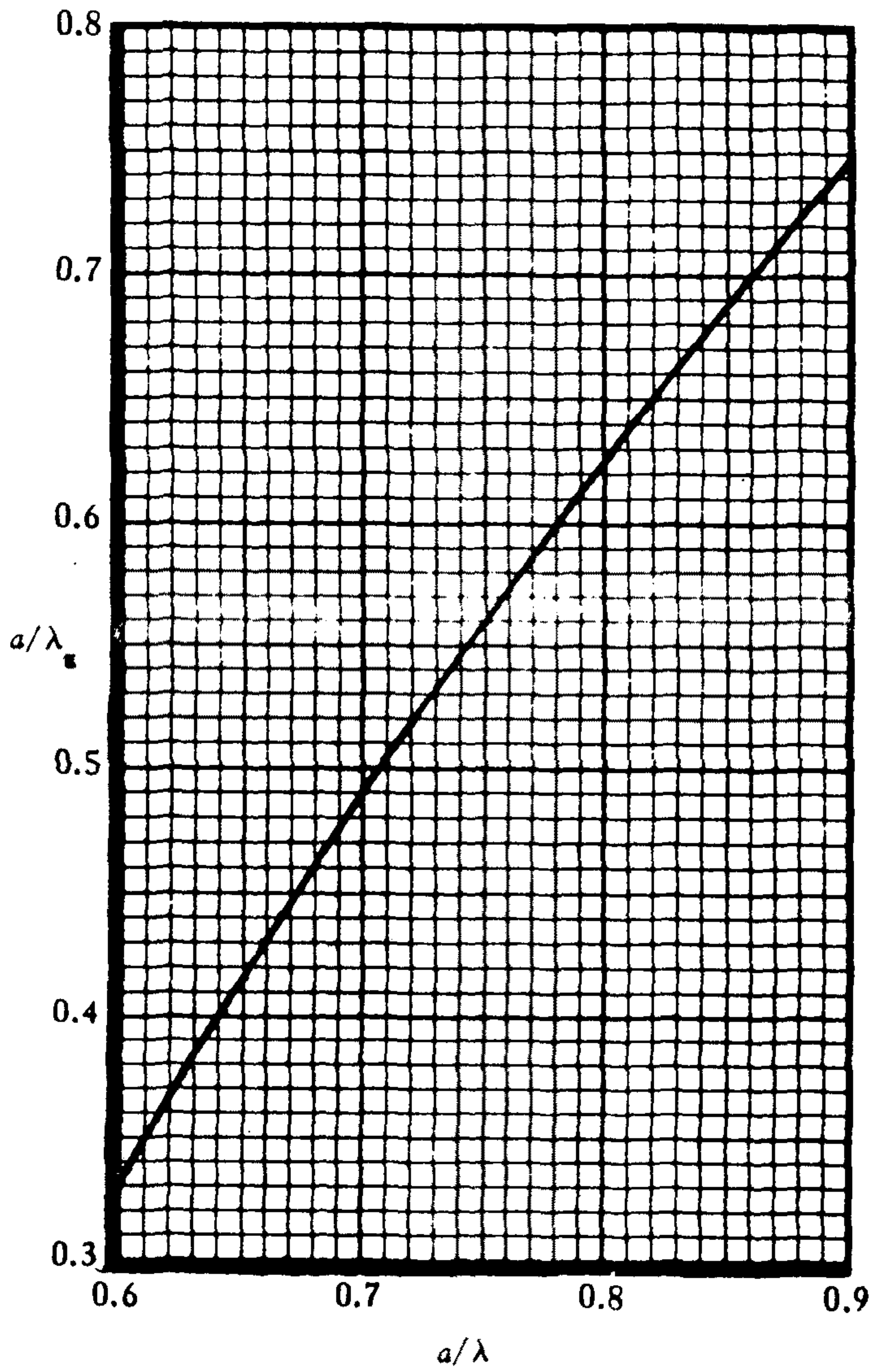


그림 2-5 . a/λ 와 a/λ_g 사이의 관계 (λ_g / λ)
(Fig. 2-5. a/λ_g versus a/λ)

제 3 절. CAD(Computer-Aided Design) 접근 방법 개발

1. 도파관 설계 데이터에 의한 합성방법

가. 도파관 크기 (a,b) 의 범위

구형 도파관을 설계할 때는 우선 주어진 규격 내의 주파수범위에서 기본 모드 (TE_{10}) 만이 존재할 수 있도록 도파관의 폭(a)을 결정해야 한다. TE_{10} 모드의 차단파장을 λ_{c10} 이라 하고 그 다음 TE 모드인 TE_{01} 모드의 차단파장을 λ_{c01} 이라고 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda_{c10} = 2a : TE_{10} \text{ 모드}$$

$$\lambda_{c01} = 2b : TE_{01} \text{ 모드}$$

전송하고자 하는 마이크로파의 파장을 λ 라고 할 때 $\lambda_{c01} < \lambda < \lambda_{c10}$ 이 되도록 도파관의 폭을 선정한다. 즉, $2b < \lambda < 2a$ 이다. 그러나 일반적으로 대부분의 도파관은 $a \approx 2b$ 로써 설계되므로 위의 식을 정리하면 도파관 크기의 범위는 다음 식과 같이 주어진다.

$$0.5 < a/\lambda < 1$$

$$0.25 < b/\lambda < 0.5$$

나. 도파관 높이(b) 의 선정시 고려할 사항

- (1) 도파관의 감쇠손실은 도파관 높이(b) 에 의존하며 b가 작을수록 감쇠손실은 커진다.

(2) 도파관의 전압방전 특성은 b 에 의존하므로 최대 전송전력용량은 b 에 의해서 결정된다. 대용량을 요구할 때는 a 와 b 를 가능한한 크게 만들어야 한다.

다. 차단주파수

주파수 규격이 주어졌을 때 차단주파수는 도파관의 분산특성곡선을 사용하여 도파관 파라미터들이 완만한 변화를 갖는 범위로부터 멀리 떨어지도록 하고 고차모우드가 발생하지 않도록 선정되어야 한다.

라. 동작 주파수

경험적으로 도파관의 동작주파수는 차단주파수의 1.5 배가 되도록 선정한다.

마. 도파관 두께의 범위

구형도파관은 보통 동 또는 황동으로 만들어진 후에 은도금이 실시되고 있다. 마이크로파에 있어서 표피두께는 제3장 2절에서 설명하는 바와 같이 매우 얇은 미크론(수 μ) 정도이므로 극단적으로 말해서 내벽에 수 미크론 정도 두께의 금속도금이 있으면 재질은 플라스틱과 같은 것으로 해도 상관 없다는 것이다. 그러나 일반적으로 기계적 강도의 관계로부터 1~5 mm 두께의 금속이 사용되고 있다.

바. 마이크로파 주파수 대역 구분

일반적으로 마이크로파는 1~300 GHz의 주파수 범위를 가지며 표 2-4.는 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서 지정된 주파수 대역에 대한 명칭을 보여준다.

표 2-4. IEEE 마이크로파 주파수 대역
(Table 2-4. IEEE Microwave frequency band)

명 칭	주 파 수 범 위
HF	0.003 - 0.030
VHF	0.030 - 0.300
UHF	0.300 - 1.000
L band	1.000 - 2.000
S band	2.000 - 4.000
C band	4.000 - 8.000
X band	8.000 - 12.000
Ku band	12.000 - 18.000
K band	18.000 - 27.000
Ka band	27.000 - 40.000
Millimeter	40.000 - 300.000
Submillimeter	>300.000

표 2-5.는 국제 규격으로 정해진 주파수대역에서 도파관의 규격을 보여준다

표 2-5. 국제 도파관 규격
(Table 2-5. International waveguide standards)

I.E.C. R()	U.K. WG. ()	Al. Brass	US. JMI. RG. ()/U	E.I.A. WR. ()	INSIDE DIMENSIONS			OUTSIDE DIMENSIONS			MAX. RAD. INT. CORNER	RAD. OF OUTSIDE CORNER	a/b	MIN. FREQ. GHz	MAX. FREQ. GHz	FREQ. GHz.	THEORETICAL dB/m.	MAX. dB/m.	(λ _g /λ) _{P_{max}}	
					a	b	Tol.	A	B	Tol.										Min
3			2300		584.20	292.10				1.50		2.0	0.32	0.49	0.386	0.00078	0.0011	256 MW.		
4			2100		533.40	266.70				1.50		2.0	0.35	0.53	0.422	0.00090	0.0012	213		
5	1	201	1800		457.20	228.60				1.50		2.0	0.41	0.62	0.490	0.00113	0.0015	157		
6	2	202	1500		381.00	190.50				1.50		2.0	0.49	0.75	0.59	0.00149	0.002	109		
8	3	203	1150		292.10	146.05				1.50		2.0	0.64	0.98	0.77	0.00222	0.003	64.0		
9	4	204	975		247.65	123.82				1.20		2.0	0.76	1.15	0.91	0.00284	0.004	46.0		
12	5	205	770		195.58	97.79				1.20		2.0	0.96	1.46	1.15	0.00405	0.005	28.7		
14	6	103	69	650	165.10	82.55	0.330	169.16	86.61	0.200	1.20	1.00	1.50	2.0	1.14	1.73	1.36	0.00522	0.007	20.4
18	7			510	129.54	64.77	0.260	133.60	68.83	0.200	1.20	1.00	1.50	2.0	1.45	2.20	1.74	0.00749	0.010	12.6
22	8	105	104	430	109.22	54.61	0.220	113.28	58.67	0.200	1.20	1.00	1.50	2.0	1.72	2.61	2.06	0.0097	0.013	8.95
9					88.90	44.45	0.200	92.96	48.51	0.200	1.20	1.00	1.50	2.0	2.17	3.30	2.53	0.0132		5.93
26	9A	113	112	340	86.26	43.18	0.170	90.42	47.24	0.170	1.20	1.00	1.50	2.0	2.17	3.30	2.51	0.0138	0.018	5.59
32	10	75	48	284	72.14	34.04	0.140	76.20	38.10	0.140	1.20	1.00	1.50	2.119	2.60	3.95	3.12	0.0189	0.025	3.68
35	10A				76.20	25.40	0.140			0.140	1.20	1.00	1.50	3.000	2.46	3.74	2.95	0.0224		2.90
					66.37	29.50	0.140	70.37	33.50	0.150	1.20	1.00	1.50	2.250	2.82	4.29	3.39	0.0223	0.029	2.94
40	11				60.25	28.499	0.120	63.50	31.75	0.120	1.20	0.80	1.30	2.095				0.0246		2.58
41	11A			229	58.17	29.083	0.120	61.42	32.33	0.120	1.20	0.80	1.30	2.0	3.22	4.90	3.87	0.0249	0.032	2.54
					57.00	25.330	0.120	61.00	29.33	0.150	1.20	0.80	1.30	2.25	3.29	5.00	3.95	0.0280	0.035	2.17
F45	12A				50.80	16.940								3.0	3.68	5.60	4.43	0.0411		1.29
48	12	95	49	187	47.55	22.149	0.095	50.80	25.40	0.095	0.80	0.90	1.30	2.151	3.94	5.99	4.73	0.0355	0.046	1.58
58	13			159	40.39	20.193	0.081	43.64	23.44	0.081	0.80	0.90	1.30	2.0	4.64	7.05	5.57	0.0431	0.056	1.22
70	14	106	50	137	34.95	15.799	0.070	38.10	19.05	0.070	0.80	0.80	1.30	2.0	5.38	8.17	6.45	0.0576	0.075	825 KW.
84	15	68	51	112	28.499	12.624	0.057	31.75	15.88	0.057	0.80	0.80	1.30	2.257	6.57	9.99	7.89	0.0794	0.103	540
100	16	67	52	90	22.860	10.160	0.046	25.40	12.70	0.050	0.80	0.65	1.15	2.250	8.20	12.5	9.84	0.110		348
120	17				19.050	9.525	0.038	21.59	12.06	0.050	0.80	0.65	1.15	2.0	9.94	15.0	11.8	0.133		272
140	18				15.799	7.899	0.031	17.83	9.93	0.050	0.40	0.50	1.0	2.0	11.9	18.0	14.2	0.176		197
180	19				12.954	6.477	0.026	14.99	8.51	0.050	0.40	0.50	1.0	2.0	14.5	22.0	17.4	0.238		126
220	20	121	53	42	10.668	4.318	0.021	12.70	6.35	0.050	0.40	0.50	1.0	2.470	17.6	26.7	21.1	0.370		68.9
250	21				8.536	4.318	0.020	10.67	6.35	0.050	0.40	0.50	1.0	2.0	21.7	33.0	26.1	0.435		55.9
320	22			Ag.	7.112	3.556	0.020	9.14	5.59	0.050	0.40	0.50	1.0	2.0	26.4	40.0	31.6	0.593		37.9
400	23			97	5.690	2.845	0.020	7.72	4.88	0.050	0.30	0.50	1.0	2.0	32.9	50.1	39.5	0.915		24.3
500	24			19	4.775	2.388	0.020	6.81	4.42	0.050	0.30	0.50	1.0	2.0	39.2	59.6	47.1	1.06		17.1
620	25				3.759	1.890	0.020	5.79	3.91	0.050	0.20	0.50	1.0	2.0	49.8	75.8	59.9	1.52		10.1
740	26				3.099	1.549	0.020	5.13	3.58	0.050	0.15	0.50	1.0	2.0	60.5	91.9	72.6	2.03		7.20
900	27				2.540	1.270	0.020	4.57	3.30	0.050	0.15	0.50	1.0	2.0	73.8	112	88.6	2.74		4.84
1200	28				2.032	1.016	0.020	4.06	3.05	0.050	0.15	0.50	1.0	2.0	92.2	140	110.0	3.82		3.10
1400	29				1.651	0.826								2.0	114	173	136.2	5.21		2.05
1800	30				1.295	0.648								2.0	145	220	173.6	7.50		1.26
2200	31				1.092	0.546								2.0	172	261	205.9	9.70		0.71
2600	32				0.864	0.432								2.0	217	350	260.2	13.3		0.56

2. 도파관의 최적설계를 위한 CAD 구성방법

CAD의 구성과정에는 Modeling, Analysis 그리고 Optimization 등의 3가지 중요한 부분이 있으며 마이크로파 회로설계에서는 능동소자의 Modeling 과정이 어렵기 때문에 CAD 구성에 제한을 받는다. 그러나 수동소자인 도파관을 위한 CAD구성과정은 보다 쉽게 이루어지며 그림 2-6.에서 보여진다.

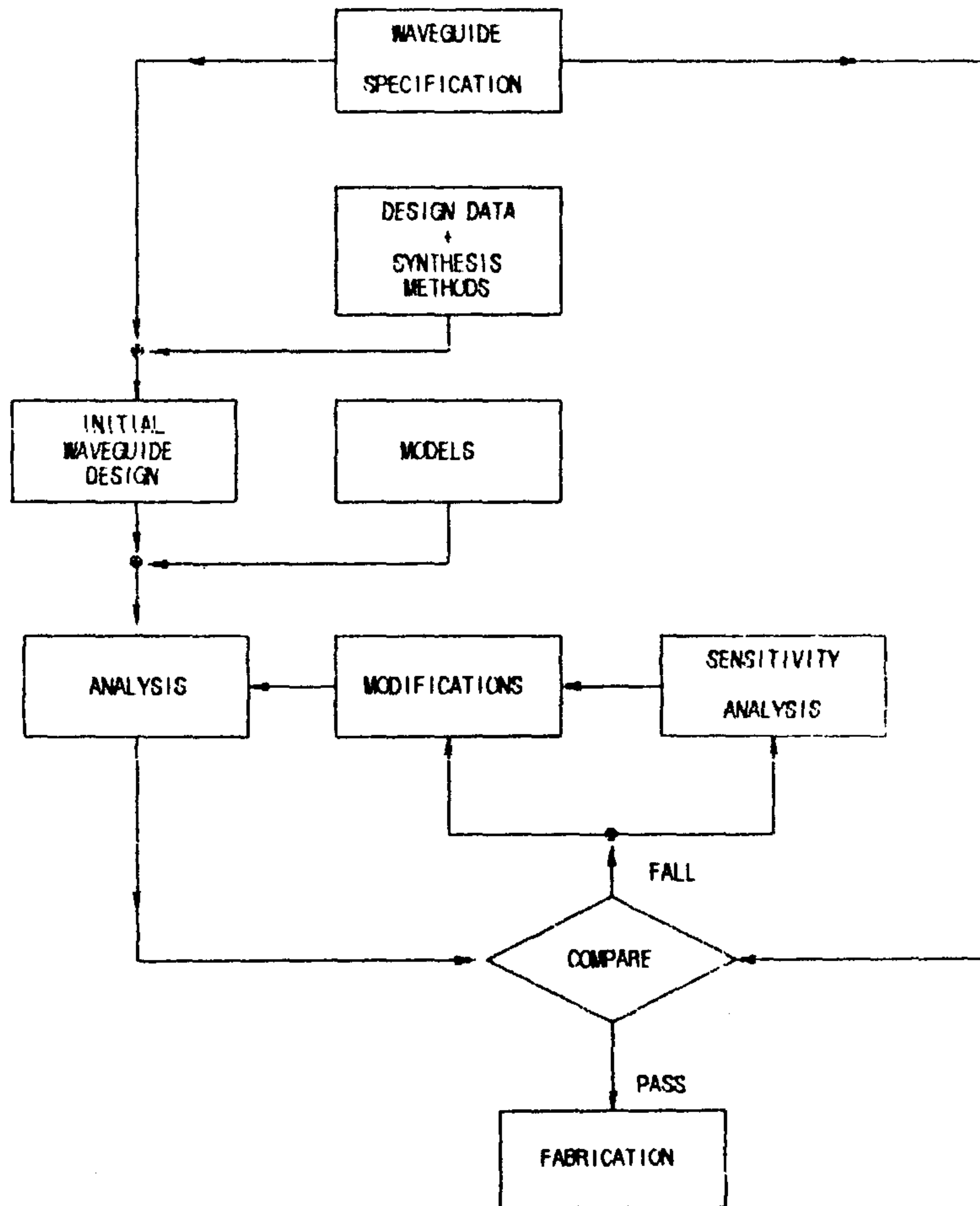


그림 2-6. 도파관 설계를 위한 CAD 과정의 흐름도
(Fig.2-6. Flow-chart of the CAD process for waveguide design)

그림 2-6.에서 우리는 제조하려는 도파관의 규격을 가지고 시작한다. 설계 데이터와 합성방법은 도파관 설계의 초기단계로써 이용된다. 일차적으로 설계된 도파관의 성능은 도파관 분석을 위한 소프트웨어에 의해서 평가되며 그 결과는 주어진 규격과 비교하게된다. 이 때 만족한 결과를 얻지 못하면 도파관의 설계 파라미터들은 체계적인 방법을 거쳐 수정되고 다시 원래의 과정으로 돌아가서 만족한 결과를 얻을 때까지 반복처리된다. 이와같은 반복과정을 최적화 과정이라고 할 수 있으며 여기서 수정을 위해 사용되는 과정을 감도 분석과정이라고 부른다. 감도 분석과정은 도파관의 최적설계를 위한 중요과정으로써 도파관 제조과정에서 허용범위(tolerance)를 결정해준다.

제 3 장. 적용재료 분석

제 1 절. 서 설

도파관 재료의 선정은 우선적으로 도파관에 의해 전송되는 에너지의 전력손실을 고려해야하며 두번째로 도파관 제조시 성형가공의 난이성을 고려해야 한다.

대표적인 도파관 재료로서 많이 사용되는 금속에는 동, 알루미늄, 은 등이 있으며 이들은 모두 저손실을 일으키는 양도체로서 전기적 특성이 우수하다. 사용목적에 따라서 경제성을 고려하여 선정한다. 일반적으로 마이크로파 주파수에서 표피깊이는 수 미크론 정도이므로 부식성이 높은 동을 사용할 경우에는 도파관 내부에 은 도금을 하여 도파관을 제조한다.

본 연구에서는 도파관 설계 과정에서 도파관의 전기적 특성을 분석하기 위하여 도파관의 손실 메카니즘에 대해 해석하였으며 이를 위하여 제2절에서는 도체 손실에 관련된 표피효과를 다루고 제3절에서는 반사손실을 일으키는 도파관 표면의 거칠기에 대해 다룬다. 그리고 제4절에서는 도파관 재료의 선정시 고려할 사항과 도파관재료로서 많이 사용되는 금속재료의 종류와 그 특성을 조사한다.

제 2 절. 표피효과에 따른 감쇠특성

교번 전류 밀도는 금속 도체의 표면을 침투할 때 지수함수적으로 감소하며 보통의 도파관 재료에서 이 전류는 마이크로파 주파수에서 그림 3-1. 에서 보여

주는 바처럼 표면 결함 정도(수 마이크론정도)의 작은 표면층을 흐른다. 그러나 이 결과는 path length를 증가시키며 smooth surface 에서 보다 높은 손실을 가져온다. 금속에서 표피효과에 의한 표피 깊이(δ)는 다음 식으로 주어 진다.

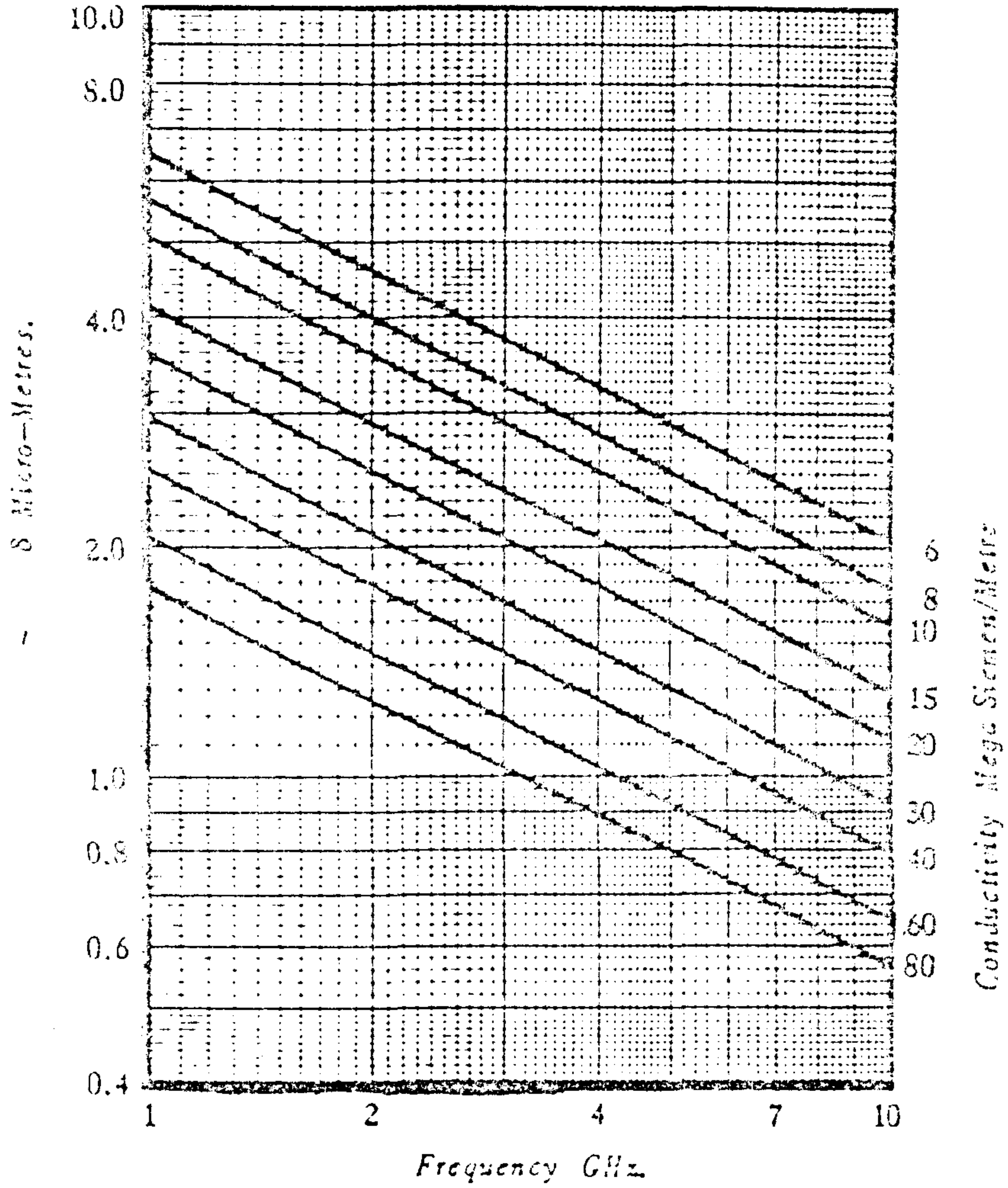
$$\delta = \frac{2}{\sqrt{\omega\mu\sigma}} \quad [v/m]$$

표 3-1. 은 일부 도파관에서 사용하는 금속의 표피깊이와 표면 저항의 값들을 보여주며 그림 3-1. (a), (b)는 도전율이 6 ~ 80Ms/m인 금속재료에 대해 1 ~ 100GHz 주파수 범위에서 표피깊이를 보여준다.

표 3-1. 금속 재료의 표피 깊이와 표면 저항

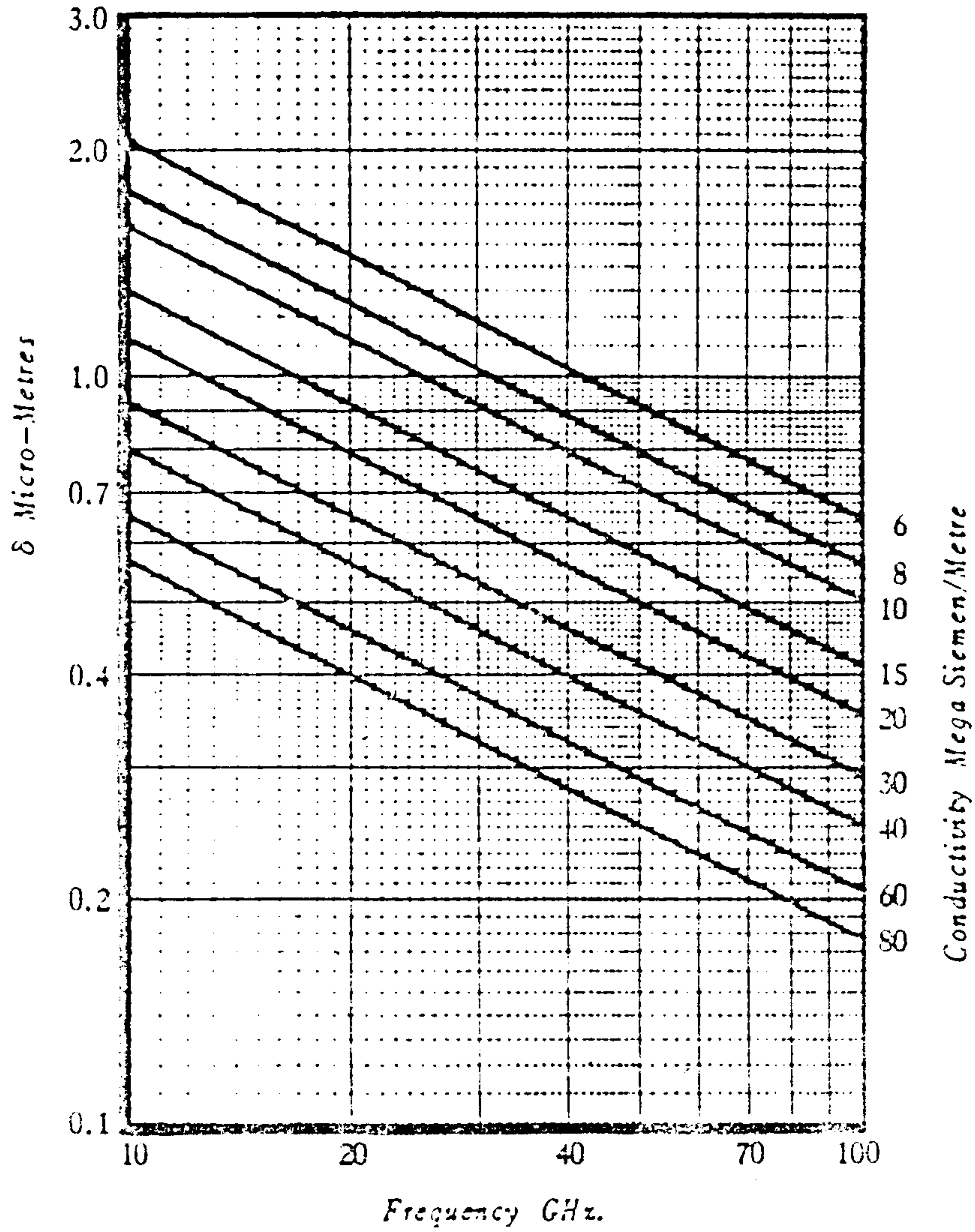
(Table 3-1. Skin depth and surface resistivity in metals)

	Conductivity mhos/meter σ	Permeability henrys/meter μ	Depth of Penetration meters δ	Surface Resistivity ohms R_s
Silver	6.17×10^7	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{0.0642}{\sqrt{f}}$	$2.52 \times 10^{-7} \sqrt{f}$
Copper	5.80×10^7	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{0.0660}{\sqrt{f}}$	$2.61 \times 10^{-7} \sqrt{f}$
Aluminum	3.72×10^7	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{0.0826}{\sqrt{f}}$	$3.26 \times 10^{-7} \sqrt{f}$
Representative brass	1.57×10^7	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{0.127}{\sqrt{f}}$	$5.01 \times 10^{-7} \sqrt{f}$
Representative solder	0.706×10^7	$4\pi \times 10^{-7}$	$\frac{0.185}{\sqrt{f}}$	$7.73 \times 10^{-7} \sqrt{f}$



(a) 1~10 GHz

그림 3-1. 주파수변화에 따른 표피 깊이
(Fig. 3-1. Skin depth versus frequency)



(b) 10~100 GHz

그림 3-1. 주파수 변화에 따른 표피 깊이
(Fig.3-1. Skin depth versus frequency)

표 3-1.을 살펴보면 표면 저항은 주파수 \sqrt{f} 에 비례하므로 주파수가 높을수록 표면저항은 커짐을 알 수 있다. 그림 3-1.에서 동의 경우 표피깊이는 1~100(GHz)범위에서 약 0.2~2.0(μ)정도 임을 알 수 있다.

TE₁₀ 모우드를 전송하는 구형도파관의 표피깊이에 따른 감쇠정수는 다음식으로 주어진다.

$$\alpha_c = \frac{1}{2b} \sqrt{\frac{1}{1-(\lambda/\lambda_c)^2}} \sqrt{\frac{4\pi\mu}{\lambda\mu_0 c \sigma}} \left\{ 1 + \frac{2b}{a} \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_c} \right]^2 \right\}$$

여기서 μ 는 도파관 금속벽의 투자율이며

c 는 전자파의 속도이다.

그림 3-2.는 $a=2"$, $b=1"$ 인 구형도파관에서 주파수 변화에 따른 감쇠정수를 보여주며 이 그림에서 감쇠의 정도는 전파모우드에 따라 크게 달라지는 것을 알 수 있으며 TE₁₀ 모우드가 마이크로파 주파수에서 가장 감쇠가 작음을 볼 수 있다.

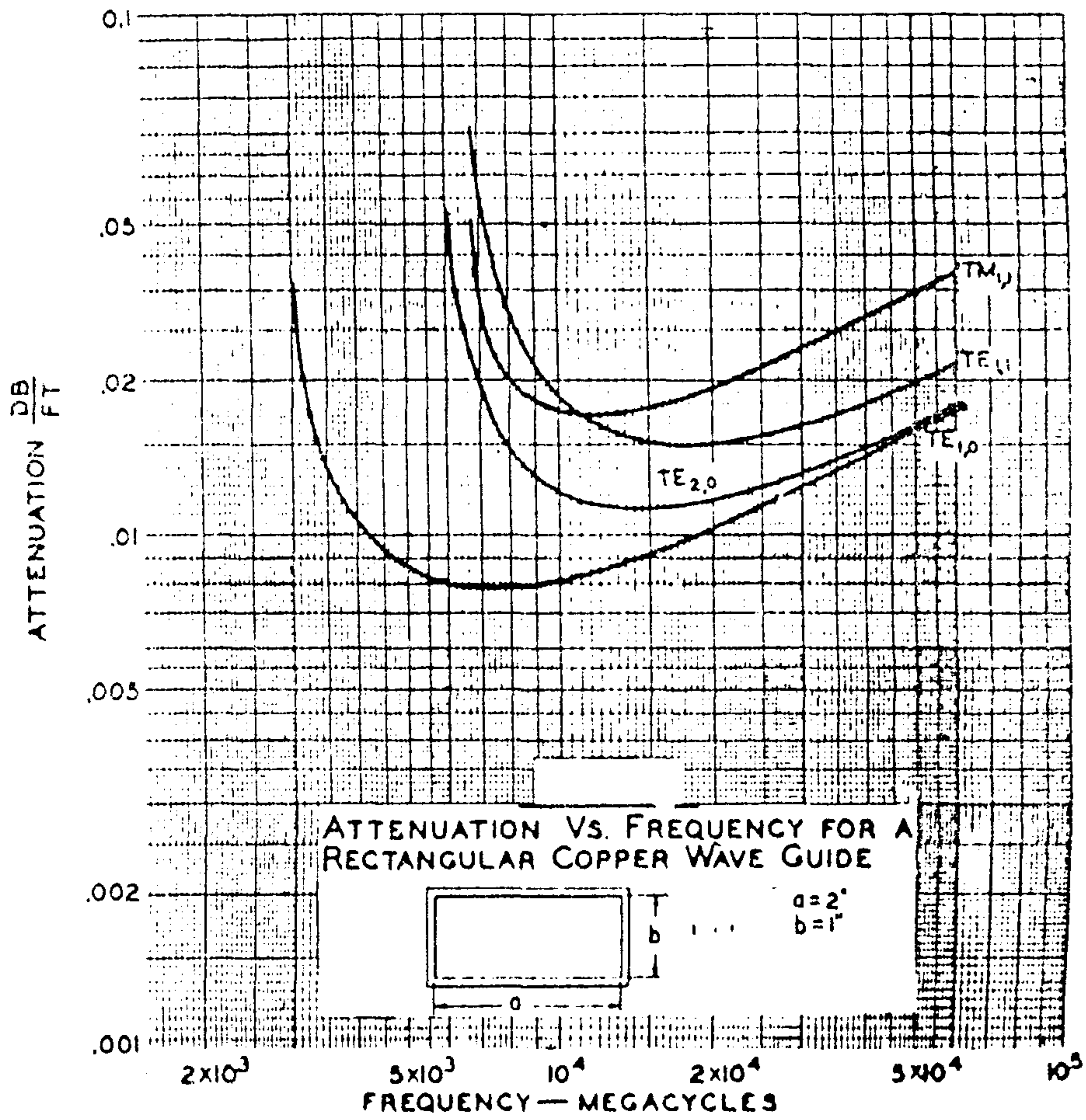


그림 3-2. 주파수 변화에 따른 감쇠 정수
(Fig.3-2. Attenuation Constant versus frequency)

제 3 절. 표면의 거칠기에 따른 감쇠특성

금속표면의 마이크로파 특성은 제조기술에 의해서 상당히 영향을 받으며 표면 상태에 따른 감쇠 특성은 표면 거칠기 정도에 의해 표현된다. 표면 거칠기 (Roughness) 정도를 알기 위하여는 표면조도 측정 장치를 사용하여 표면조도의 최대치와 최소치를 구하고 다음 식에 의해 평균 값을 산출한다.

$$\bar{x}(\text{평균값}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

여기서 x_j 는 최대값 또는 최소값이다.

이때 표면조도의 허용범위(Tolerance)는 다음 식에 의해 구해진다.

$$S(\text{허용범위}) = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \right)}$$

표 3-2. 는 surface finish의 등급에 따른 표면 surface roughness값들을 보여 준다.

표 3-2. 표면 거칠기 일람표
(Table 3-2. A list of surface roughness)

Common Name for Finish	Root-Mean Squard Roughness (u")	Average pk-pk Height (u")	Usual Tolerance Specified (inches)
Mirror	4	15	0.0002
Polished	8	28	0.0005
Ground	16	56	0.001
Smooth	32	118	0.002
Fine	63	220	0.003
Semi-fine	125	455	0.004
Medium	250	875	0.007
Semi-rough	500	1750	0.013
Rough	1000	3500	0.025

이외에 금속 표면의 결함은 표피 깊이에 영향을 주므로써 도체 손실을 일으키며 그림 3-3.에서 보여주는 바처럼 전류의 통과 거리를 연장시킨다. 특히 마이크로파 주파수에서는 미세한 결함까지도 제거할 수 있는 surface finish 기술이 필요하다.

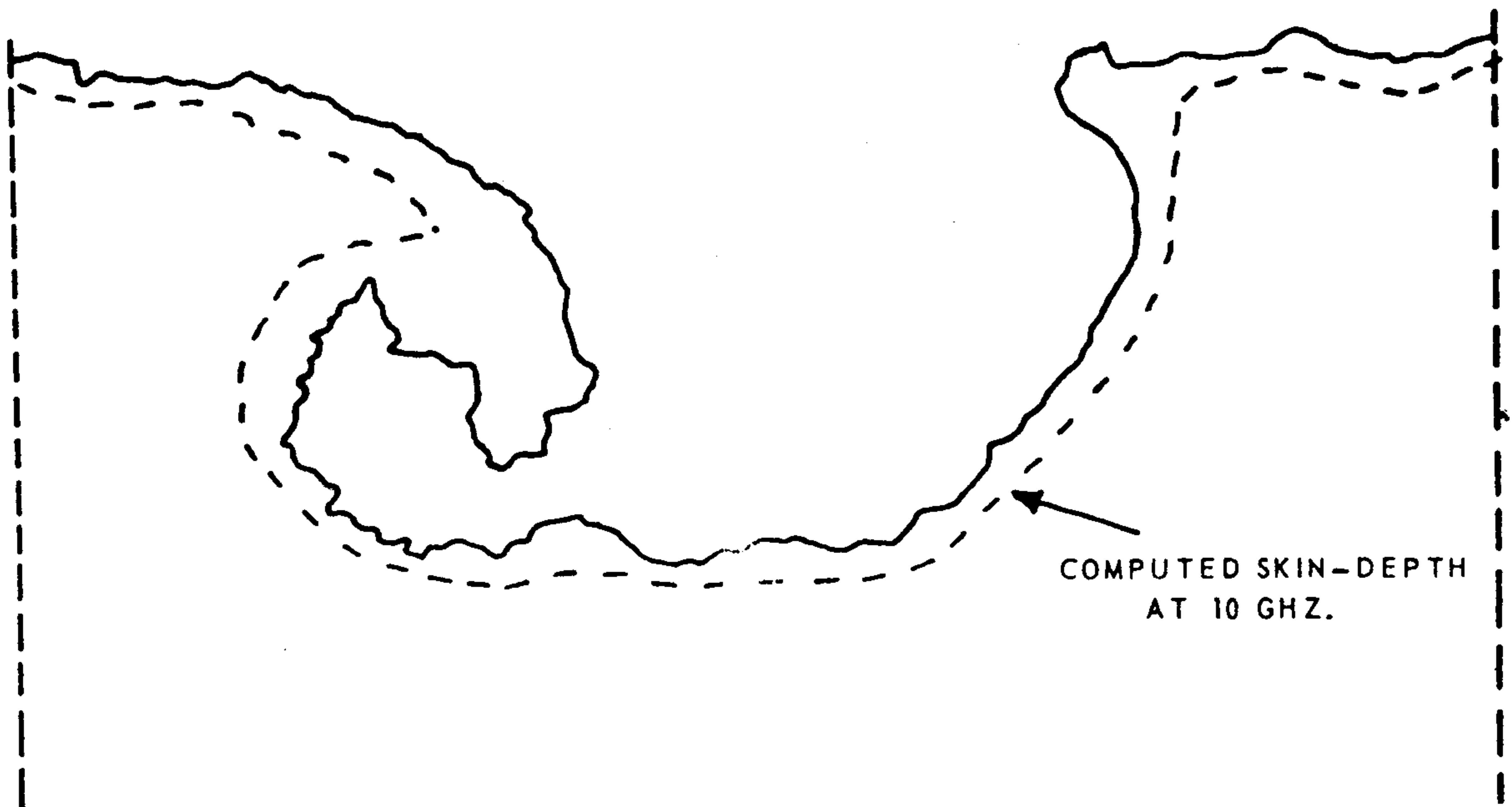


그림 3-3. 전형적인 OCCLUDED PIT 구역의 표피깊이
(Fig.3-3. Typical skin depth of Occluded Pit region)

제 4 절. 도파관 재료의 종류 및 그 특성

도파관 재료의 선정은 사용 목적에 따라서 다음 사항을 고려하여야 한다.

1. 전기적 특성 (도전율)
2. 견고성
3. 열적 특성 (열팽창율)
4. 부식율 (대기 또는 바닷물)
5. 가공성 (형태 변형)
6. 무게
7. 경제성 (가격)

표 3-3.은 대표적인 도파관 재료의 종류를 보여준다.

표 3-3. 금속재료의 종류 및 저항률
(Table 3-3. Type and Resistivity of metals)

FOR POPULAR METALS
(Room Temperature)

Material	Resistivity (Micro-ohm-cm)	% IACS (Copper)
1. Aluminum:		
- 1100 Alloy	2.92	59
- 6061-T6	4.01	43
2. Brass (Yellow)	7.0	24
3. Bronze	18.0	9.5
4. Copper:		
- OFHC	1.69	101.7
- Pure	1.724	100
- DLP, CDA-120	1.779	97
- TE, CDA-145	1.815	95
5. Gold	2.35	73.3
6. Magnesium	4.45	38.7
7. Nickel	6.85	25.1
8. Silver (99.98%)	1.629	105.3
9. Solder:		
- SN-63	15.5	9
- SN-95	26.3	15
10. Zinc	5.92	29.1

Notes:

1. IACS = International Annealed Copper Standard.
2. IACS Resistivity for
Annealed Copper = 1.7241 Micro-ohm-cm.

제 4 장. 도파관과 플랜지(Flange)의 접합 기술

제 1 절. 서 설

일반적으로 두개의 도파관을 결합할 때 플랜지가 사용된다. 도파관벽에는 전류가 흐르고 있으므로 결합부의 전기적 접촉에 주의하지 않으면 안된다. 고출력에서 사용할 경우에는 전압 방전이 이 결합부에서 발생하기 쉽다. 일반적으로 사용하는 플랜지에는 cover flange 와 choke flange 의 2종류가 있다. cover flange 는 구조가 단순하여 제작이 용이하므로 일반적으로 많이 사용하고 있으며 공작 정밀도가 좋으며 SWR 이 1.03 이하까지 기대할 수 있지만 면접촉 불량이나 두면사이의 매끄러움에 있어서 현격한 차이가 있으면 그 특성이 급격히 열화한다. choke flange에서는 그림4-1.에서 보여주는 바처럼 결합부에 간극을 만들면 일종의 마이크로파 선로가 되는 것이므로 $AB \approx BC \approx \lambda_g/4$ 로 하여 두면이 선로는 점 A에서 단락 종단되어 이 점에서 반파장 떨어진 C도 전기적 단락 상태가 된다. 그리고 점 B는 개방 상태가 되어 플랜지의 접촉부에는 전류가 흐르지 않는다. 이 특성은 전압 방전을 피할 수 있게 해준다. cover-to-choke 결합은 보통 고출력 사용에서 사용되며 SWR은 1.05 이하이나 cover-to-cover결합에 비해 주파수 변화에 민감한 단점을 갖는다.

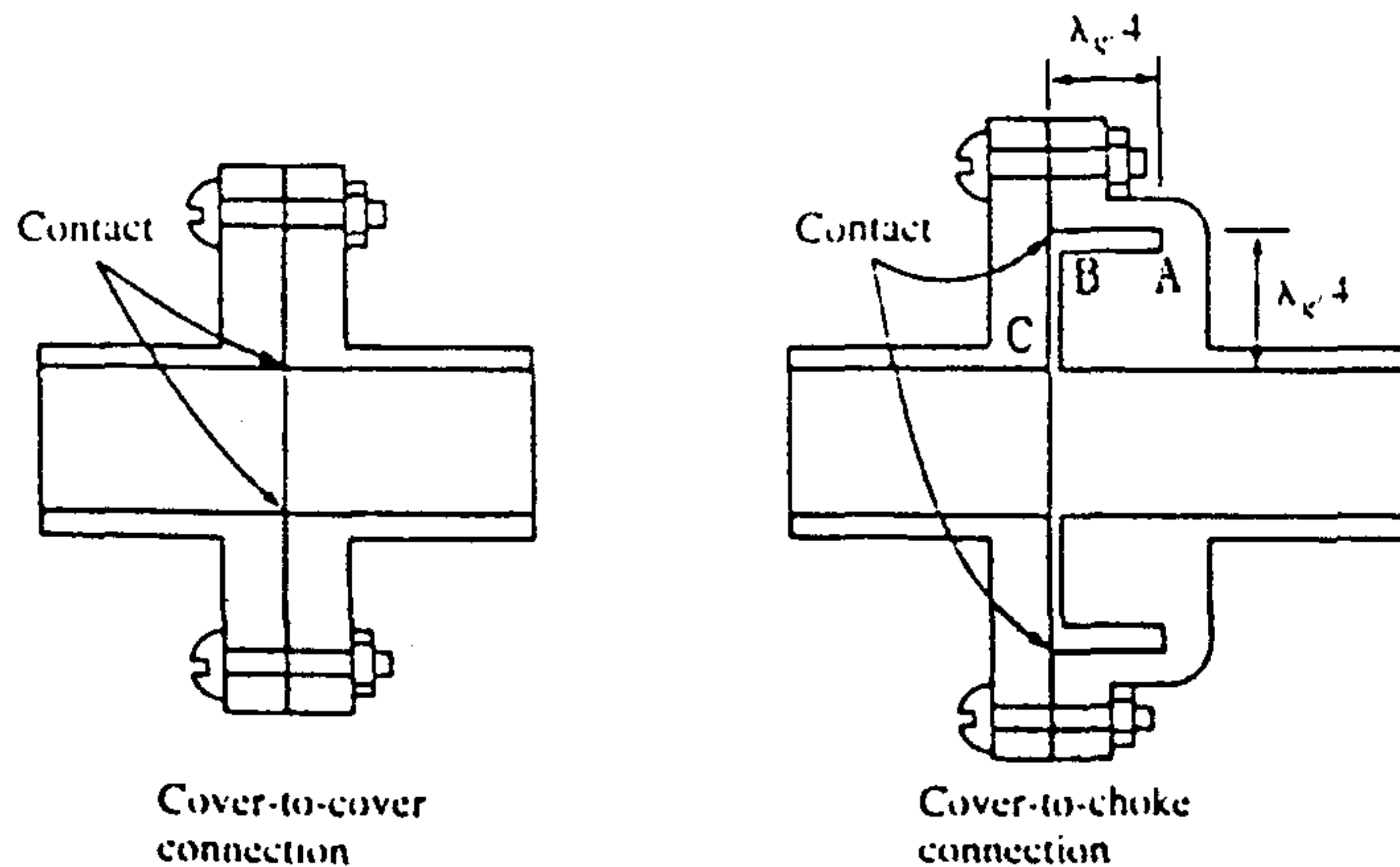


그림 4-1. 플랜지의 결합형태
(Fig.4-1. Type of Coupling Flange)

제 2 절. 도파관과 플랜지의 접합 기술 방법 모색

두 도파관을 결합할때 플랜지 접촉부에는 RF전류가 흐르기 때문에 접촉 표면을 거칠음없이 매우 매끄럽게 되도록 표면 마무리를 잘 해야만 접촉부에서 반사 및 도체 손실을 감소시킬 수 있다. 도파관과 플랜지의 결합 부분은 전기적 불연속이 발생하지 않도록 정밀한 전기 용접 기술이나 soldering 기술 등이 요구된다.

도파관의 종단부형태는 원형, 타원형, 직사각형등이 있으나 프랜지는 그림4-2, 그림4-3과 같이 도파관과의 결합부분에 따라 다양한 형태가 있다. 이 형태에 따라 접합방법과 그 기술도 복잡하고 도파관과 프랜지 두 재질에 따라 접합방식도 다양해 진다.

또 도파관과 프랜지를 결합시는 기구적으로 강도가 높아야 하기 때문에 용접방식이 많이 사용되고 두 물질간에 미세각도차를 밀착시킨 Tapping방식 및 압착기구와 볼트넛트를 사용하여 결합, 분리가 가능한 시험용으로 사용되는 방식 등이 있다.

1. 용접(Sport Welding) 방식

용접방법으로는 다음과 같다.

- 가. 산소등 가스를 이용하여 접합부분만 용접봉을 녹여서 접착시키는 방법
- 나. 전기용접방식으로 접합부분만 용접봉을 녹여서 접착시키는 방법
- 다. 전기용접방식으로 자체재질을 녹여서 접착시키는 방법

2. 분말(Powder Soldering) 방식

도파관 재료보다 용점이 낮은 도체성분말을 접합면에 발라 고열로 가열하면 분말이 녹아 골고루 퍼져 접착되는 방법이다.

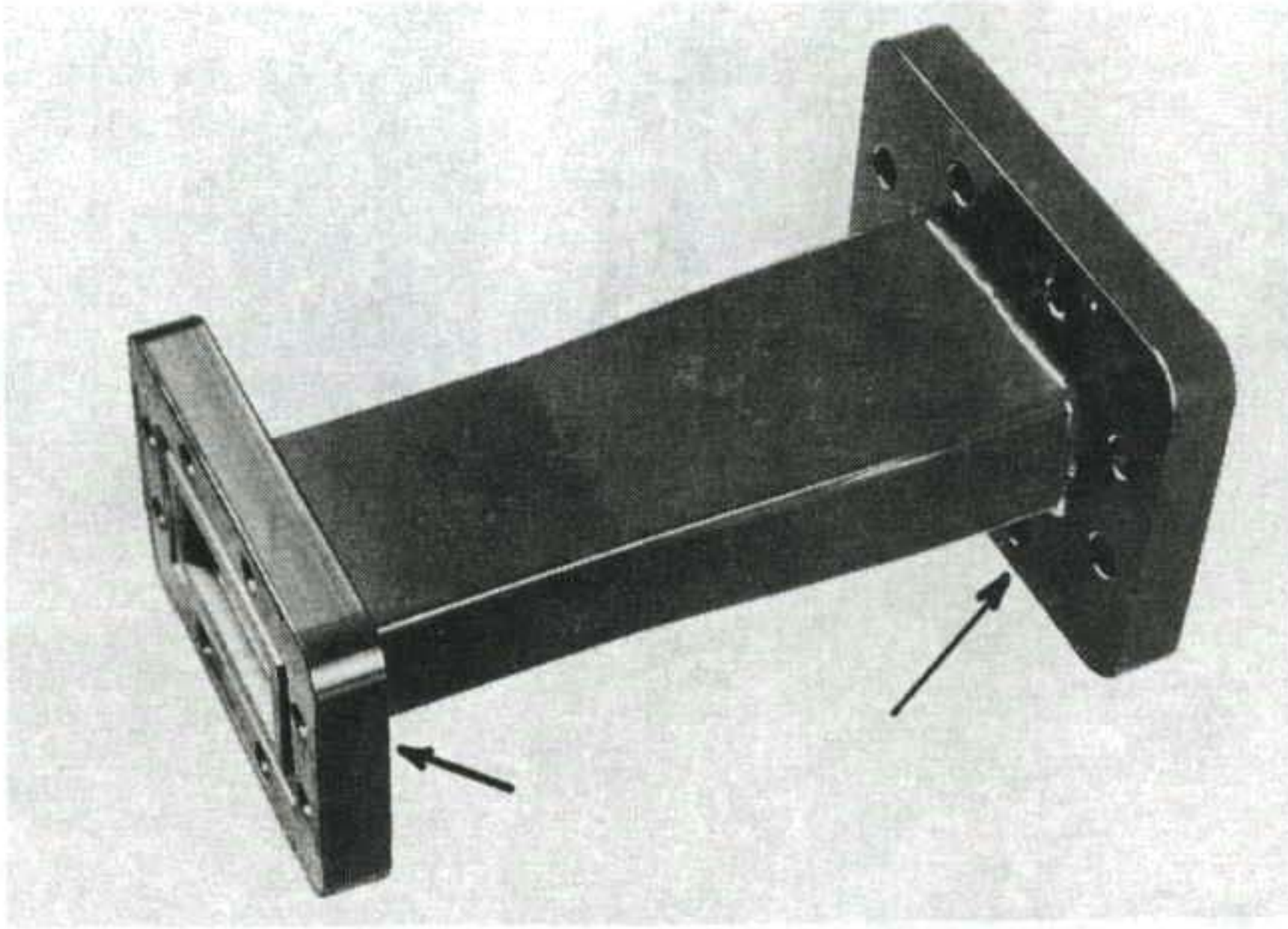
본 과제에서는 도파관의 재질로써는 동을 사용하고 프랜지는 황동을 사용하므로 재질간의 상작용으로 접합도가 저하되는 것이 일반적이다. 고로 용접방법중 고급용접재료를 사용하여 접착성을 높일 필요성이 있도록 용접봉 선택에 신중을 기해야 한다.

용접재질 선택은 접합물질간의 재질에 따라 AL계열과 동계열로 대별

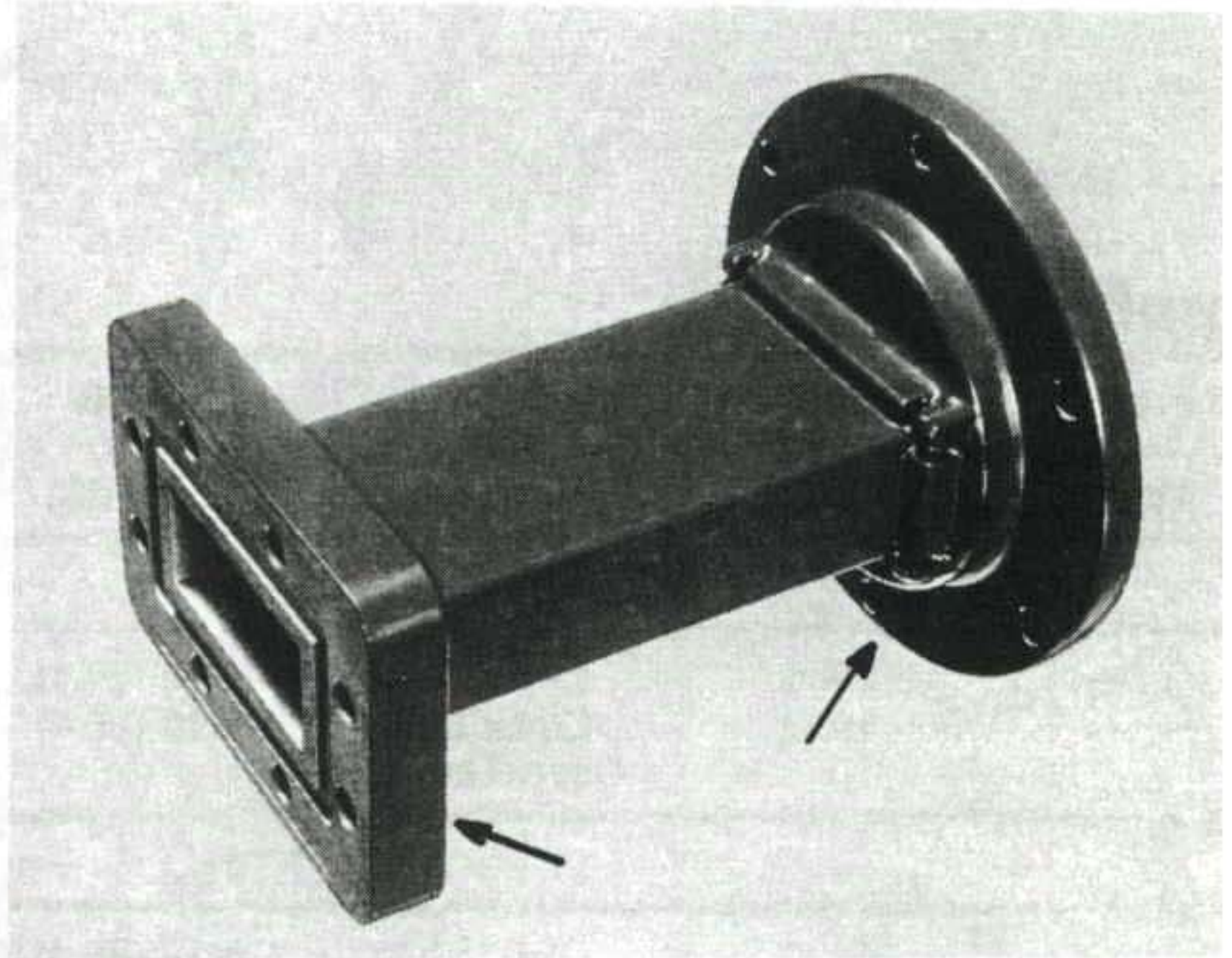
되며 결합별방법은 AL+동계열과 같이 별개재질결합, 동+황동과 같이 유사재질결합등으로 구별할 수 있다.

또한 현실적으로 수요자요구, 사용목적 및 기능수준(금액)에 따라 용접봉재질의 선택이 달라진다.

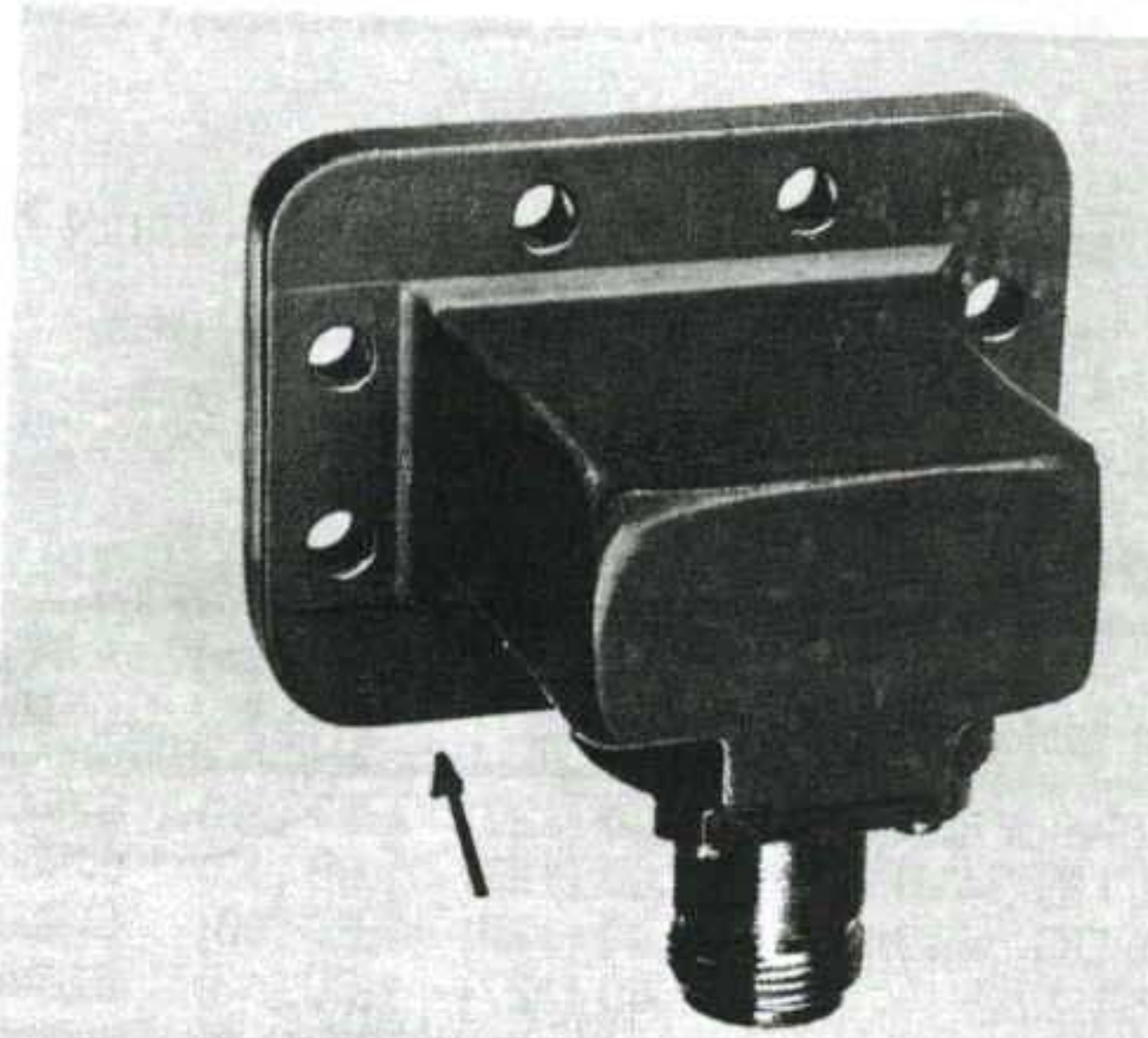
용접봉의 재질도 위 결합체에 따라 다양한 종류와 이에 따른 가격 또한 천차만별이다. 이러한 고급제품에서는 일반적으로 은이 함유된 용접봉이 만히 사용된다. 2차년도 연구시에는 이 용접봉재질에 따라 용접시 결합물체를 가열하는 방법이 모색되어야 하고 가열온도변화에 따른 강도특성을 실험후 Data화 할 계획이다.



Tapered Waveguide Transition.

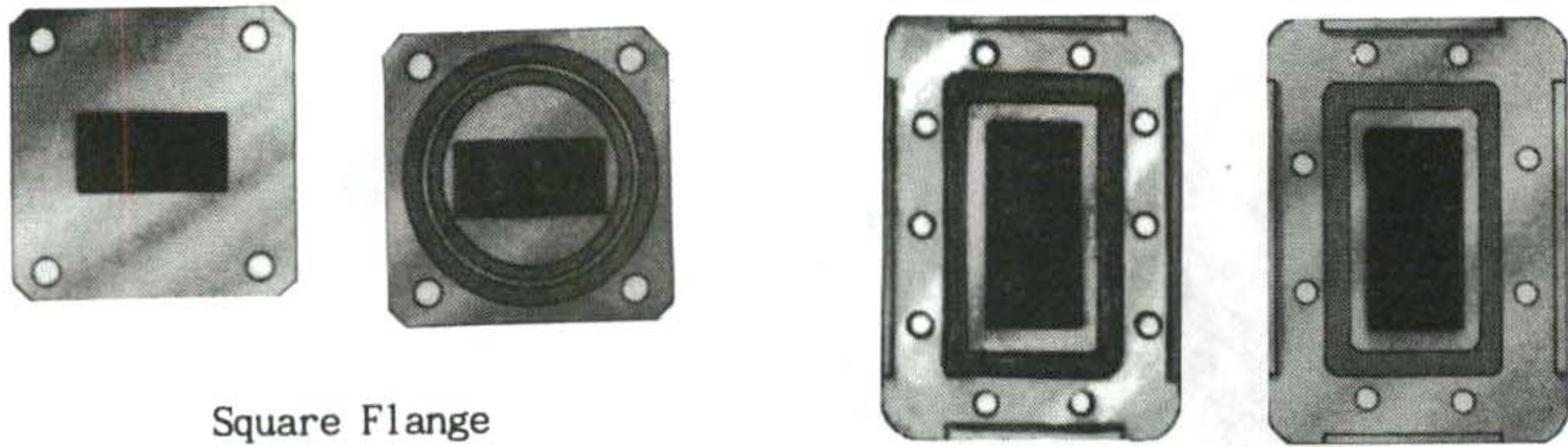


Flange Adaptor.



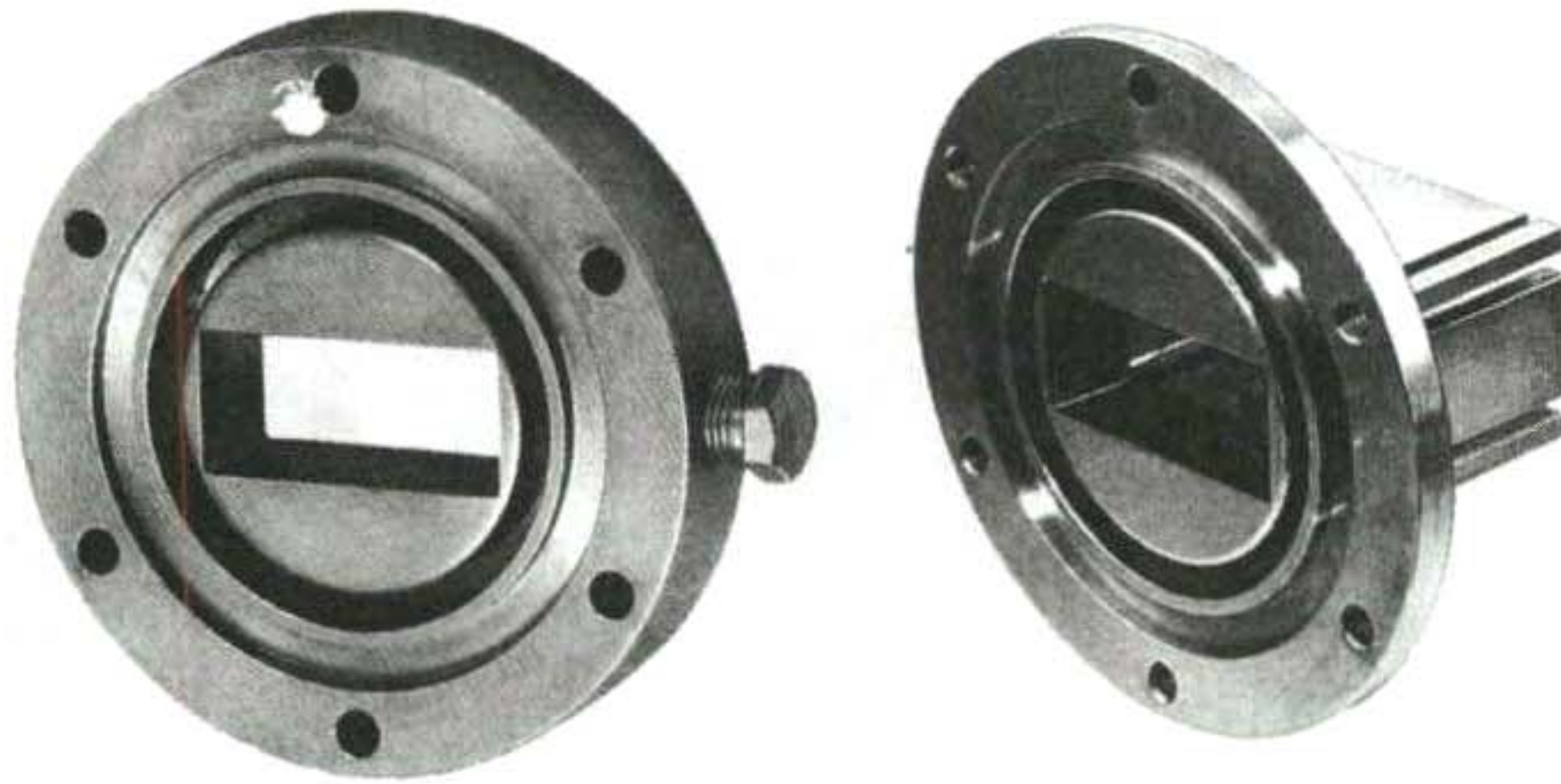
Transition to Type N Jack (Female).

그림 4-3. 플랜지의 결합
(fig.4-3. Flange Joint)

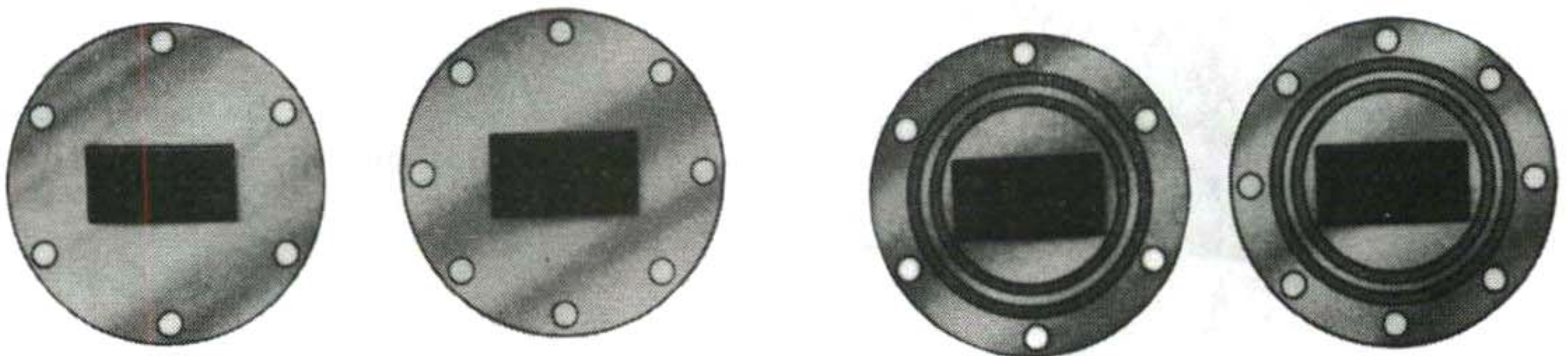


Square Flange

Rectangular Flange



Components



Cover Flange

Choke Flange

그림 4-4. 각종 플랜지
(fig.4-4. Various Flange)

제 5 장. 도파관 제조기술

제 1 절. 서 설

도파관을 정밀 제조하기 위해서는 도파관 크기에 대한 허용범위(Tolerance)가 주어져야 하며 이 허용범위 내에서 제조된 도파관은 주어진 규격을 만족시키는 전기적 특성을 나타낼 것이다.

이와 같은 허용범위를 구하기 위해서 도파관의 특성임피던스 크기변동율에 따른 특성임피던스 변동율을 나타내 주는 감도(Sensitivity)를 구해야 한다. 도파관 설계에서 감도의 평가는 도파관 성능의 최적치와 허용범위를 해석하는데 기초가 된다. 도파관의 물리적 변수에 대한 허용범위가 제조기술의 한계성에서 오는 경우에는 변수들이 허용범위는 설계규격에 편차를 일으키므로 규격을 만족시키는 도파관을 제조하기 위하여 허용범위를 도파관의 여러 변수들에 할당시키는 설계문제에 직면한다. 이와 반대로 주어진 설계규격을 만족시키기에 적합한 제조기술이 요구될 수도 있다. 이와같은 상황에서 감도해석은 규격과 허용범위 사이의 절충을 조사하기 위한 최상의 방법이다. 이를 위하여 제2절에서는 도파관 특성 파라미터에 대한 감도특성을 해석하였고 제3절에서는 이 결과를 이용하여 구형도파관의 허용범위를 계산하는 방법을 연구하였으며 제4절에서는 도파관 제조를 위한 금형설계 방식에 대해 기술하였다.

제 2 절. 도파관 감도해석

1. 감도(Sensitivity)의 정의

임의의 파라미터 x 에 대한 함수 F 의 감도는 다음 식으로 정의한다.

$$S_X^F = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta F}{F}}{\frac{\Delta X}{X}}$$

또는

$$S_X^F = \frac{X}{F} \frac{\partial F}{\partial X}$$

2. 구형도파관에 대한 감도해석

구형도파관의 특성은 주로 위상정수(β)와 차단주파수 (f_c) 그리고 특성임피던스에 의해서 주어진다. 따라서 도파관 크기(a, b) 에 대한 이들의 감도를 구해보면 다음식으로 쓸 수 있다.

$$S_a^{f_c} = -\left(\frac{c}{2\pi f_c \sqrt{\epsilon_r}} \frac{m\pi}{a}\right)^2 = -1 - S_b^{f_c}$$

$$S_b^{fc} = -\left(\frac{c}{2\pi f_c \sqrt{\epsilon_r}} n \frac{\pi}{b}\right)^2 = -1 - S_a^{fc}$$

$$S_a^{\beta} = \left(m \frac{\pi}{\beta a}\right)^2$$

$$S_b^{\beta} = \left(\frac{n\pi}{\beta b}\right)^2$$

$$S_x^Z = -\frac{1}{x} S_x^{\beta}$$

여기서 X 는 a 또는 b 이다.

구형도파관의 특성 임피던스는 임의적으로 정의할 수 없다는 것을 앞에서 언급하였으나 TE₁₀ 모드에 대한 Z(P,I), Z(P,V), 그리고 Z(V,I) 값들은 파라미터 a 와 b 에 관하여 동일한 의존성을 가지므로 위의 3개의 특성임피던스는 다음과 같이 하나의 식으로 표현할 수 있다.

$$Z_0 = \eta \frac{kb}{a} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}}$$

여기서 Z(P,I)에 대한 K의 값은 $\pi^2/8$ 이고

Z(P,V)에 대한 K의 값은 2 이며

Z(V,I)에 대한 K의 값은 $\pi/2$ 이다.

이 식을 사용하여 TE₁₀ 모우드를 위한 감도를 구하면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$S_b^{Z_0} = 1$$

$$S_a^{Z_0} = - \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2 \right\}^{-1}$$

그림 5-1.은 X대역 구형도파관에서 TE₁₀ 모우드를 위한 Z₀ 와 β 의 감도특성을 보여준다.

그림 5-1. X-대역 구형 도파관의 Z₀ 와 β 의 감도특성
(Fig.5-1. Sensitivity characteristics of Z₀, β for X-band rectangular waveguide)

3. 원형도파관에 대한 감도해석

원형도파관의 파동임피던스에 대한 감도식은 구형도파관과 동일한 식으로 표현되며 차단주파수와 위상정수에 대한 감도표현식은 다음과 같이 주어진다.

$$S_a^{f_c} = -1$$

$$S_a^{\beta} = \left(\frac{A}{\beta a} \right)^2$$

여기서 $A=u'$ 는 $J_n'=0$ 근이다.

제 3 절. 도파관의 허용범위 해석

1. 허용범위의 정의

도파관에서 특성 임피던스의 변화량 ΔZ 는 다음 관계식에 의하여 파라미터 B의 허용범위 ΔB 와 관련된다.

$$\frac{\Delta Z}{Z_0} = \frac{\Delta B}{B} S_B^{Z_0}$$

여기서 Z_0 는 ΔB 가 영일 때의 특성임피던스이다.

Z_0 가 N 개의 독립변수 B_n 의 함수일 때 Z_0 의 총변화량은 다음 식으로 주어진다.

$$\frac{\Delta Z}{Z_0} = \sum_{n=1}^N \frac{\Delta B_n}{B_n} S_{B_n}^{Z_0}$$

ΔZ 의 최대값은 최악의 상태를 결정해 주며 다음 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{(\Delta Z)_{\max}}{Z_0} = \pm \sum_{n=1}^N \left| \frac{\Delta B_n}{B_n} S_{B_n}^{Z_0} \right|$$

2. 구형도파관의 크기에 대한 허용범위 해석

구형 도파관의 폭(a)에 대한 허용범위는 다음 식으로 표현된다.

$$\Delta a = \frac{\overline{\Delta Z}}{Z_0} a S_{Z_0}^2$$

여기서 $\overline{Z_0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{0i}$

$$\overline{\Delta Z} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{0i} - \overline{Z_0})^2} \quad \text{이다.}$$

구형도파관의 높이(b)에 대한 허용범위도 동일한 방법으로 구해진다.

제 4 절. 금형설계방식 모색

도파관과 Flange의 금형은 일반적으로 사용되는 철판 프레스금형, 모울드금형, 플라스틱등의 압출금형과는 그 방법과 금형후 가공처리가 다르다. 특히 이 제품은 대량생산이 아니고 거의 소량다품종이기 때문에 수작업 및 N.C머신에 의한 마무리 작업이 당연시 되어 왔으며 앞으로도 이 과정은 별로 변할것 같지 않다.

1. 도파관의 금형

도파관의 재질은 비철금속으로 유연성이 많은것을 사용해야한다. 이것은 전도 특성과 제품제작 작업성을 용이하게 하기 위한 당연한 조치이다.

가장 많이 적용되는 금형방식으로는 引拔(Drawing)금형(Die Set=다이셋)이며 다이셋의 재질이 도파관의 표면정밀도를 좌우하게된다. 전체적 칫수(가로×세로)는 도파관재질에 따라서 열팽창계수가 달라 다이셋설계시 수축공차를 보상하여 설계하면 되지만 도파관 전송손실에서 중요 변수인 도파관내의 표면거칠기 精度이다.

도파관내의 표면미세화(Surface Polish)작업은 다음요소가 필요하다.

- 다이셋내부측용 볼을 거울과 같은 밀도로 광택이 나야하며
- 도파관이 다이셋에서 인발된후 도파관내부의 Polish작업을 하는방법이다.

이 작업이 완료되더라도 인발 사용빈도가 많아지면 다이셋이 마모되므로 새로운 다이셋으로 교체하여 앞제품과 품질균율을 맞추도록 해야한다. 이러한 과정때문에 금형숫자가 많아지고 제품가격이 상승하게된다.

본 연구과제에서 시험적으로 사용한 금형은 인발방식으로 도파관제품형태는 직사각형(Rectangular)이 아닌 원형을 선택하였다. 이 원형인발 다이셋은 기존공기구를 사용할 수 있고 실험적 응용은 적격이기 때문이다.

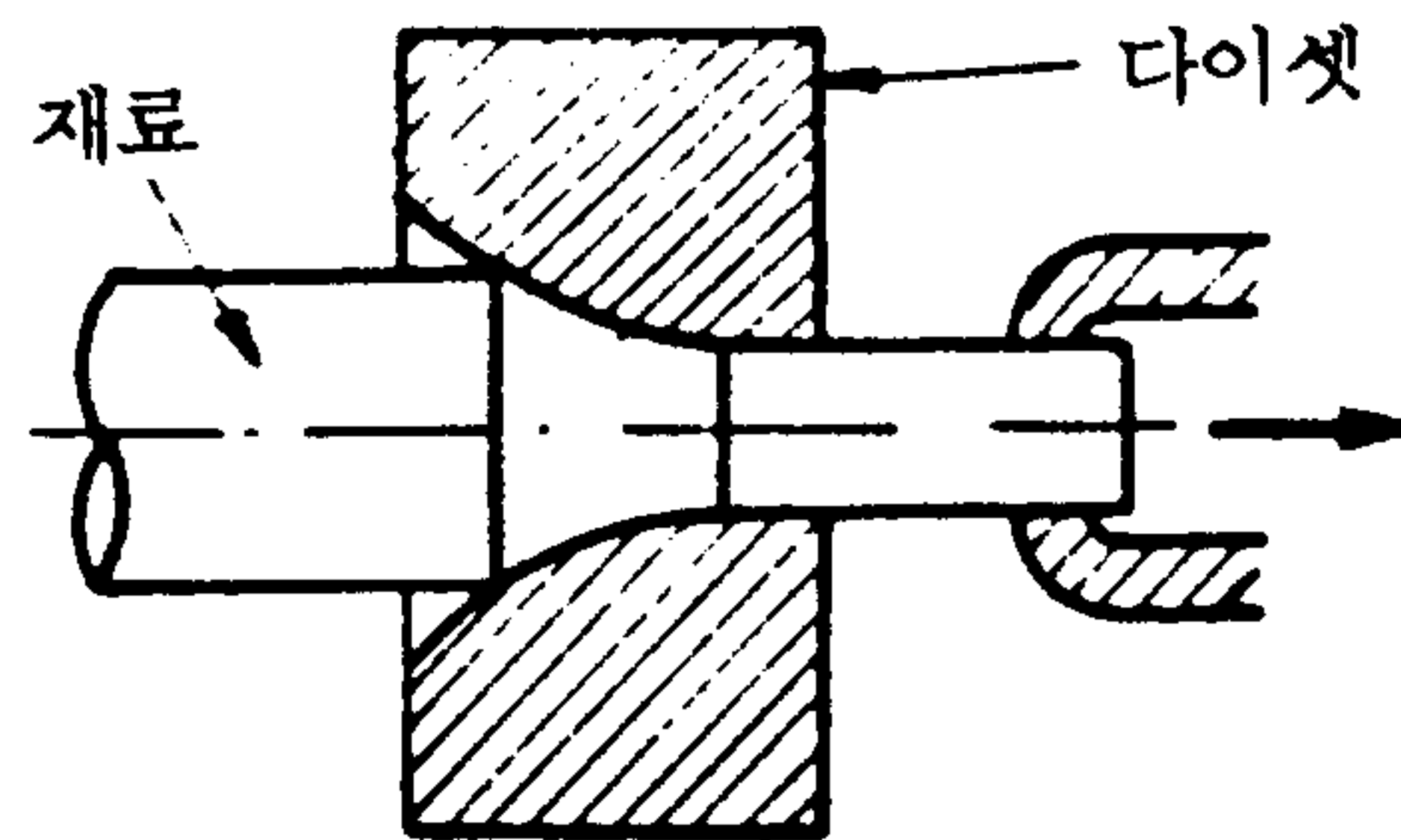


그림5-2 인발 다이셋구조
(Fig5-2 View of Drawing Die Set)

2. 프랜지의 금형

프랜지금형은 제품가공 이전에

- 재료를 단조(Forging)하는 롤단조(Roll Forging)금형과
- 제품가공용 단조프레스금형으로 구분하여 제작해야 한다.

가. 단조금형

단조금형은 재료를 내간, 열간압연하는 과정을 거치게 되며, 규정된 두께로 압연 되도록 측정공구가 금형에 부착되어야 한다. 그러나 본 과제에서는 양산화가 아니기 때문에 수동형 측정공기구로 규정두께 범위로 압연한다.

나. 프랜지금형

프랜지금형으로써는 프레스 펀칭, 방전가공, Wire Cutting 방식등을 이용할 수 있으나 프랜지의 특성상 프랜지내부에 핀홀(Pin Hole)등 거칠기에 영향을 줄이기 위하여 프랜지재질 경도가 균일해야한다.

이러한 이유로 인하여 프랜지 금형은 평범하지만 특수한 방법인 단조프레스방식이 이용되고 있다. 이 방법은 가열된 프랜지재료를 프레스하여 제품형태(단조형)가 나오도록하므로 금형자체가 외부열에 강한 재질이 요구된다. 특히 밀판금형은 열을 많이 받으므로 열팽창에 의한 치수변형이 미세하도록 금형 주변에도 금속으로 잘 정리되어야 한다.

다. 밀링금형(N.C형)

프랜지금형에서 단조형제품이 프레스된후 N.C머신에 의한 정밀가공이 필요하므로 컴퓨터 프로그램에 의한 밀링가공용 보조금형(Utility Tools)을 제작한다.

이 금형은 N.C머신의 S/W에 기준위치, 가공치수등을 입력시키고 제품주변고정 등 일반적인 기본장치만 정리하면 된다.

3. 금형의 도금

제품의 표면밀도를 곱게하기 위하여 금형에 도금처리, 또는 연마광택을 해야한다. 본 제품용 금형은 일반적 도금처리 방식으로서는 제품가공상시에 그 도금의 내구력 유지가 발열, 압력 등으로 불가능하므로 연마광택방식을 택해야 한다.

연마액에 의한 금형의 마모는 설계시 고려하고 제품가공 진행시 연마액사용후 이에 따른 제품 치수변화는 거의 무시될 정도일 것이다.

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

제 1 장. 서 설

도파관의 최적설계를 위한 CAD 프로그램은 크게 도파관 분석 프로그램과 도파관 합성프로그램으로 분류된다. 분석프로그램은 임피던스 분석프로그램과 감도 분석 프로그램 그리고 모우드 분석 프로그램을 포함하며 합성프로그램은 주파수 설계 규격에 의한 도파관 합성 프로그램과 임피던스 설계규격에 의한 도파관 합성 프로그램 그리고 감도분석에 의한 도파관 합성 프로그램을 포함한다. 구형도파관의 최적설계값을 구하기 위해서는 합성프로그램과 분석프로그램을 반복처리해야 하며 이때 감도분석 프로그램은 도파관 합성값이 설계규격을 만족하는지를 판정해준다. 만일 설계규격을 만족시키지 못한 경우는 최적상태에 이를때 까지 반복처리된다.

그림 6-1 은 MWGDP 프로그램의 주 흐름도이며 도파관 특성 분석과 도파관 크기 합성의 부프로그램으로 구성된다. 주프로그램은 도파관의 특성을 분석할지 또는 도파관의 크기를 합성할지를 사용자가 선택하도록 하였으며 선택에 따라 관련된 부프로그램이 수행되도록 하였다. 부프로그램의 수행이 완료되면 프로그램의 흐름은 주프로그램으로 복귀되어 MWGDP 프로그램을 계속 수행할 것인지 종료할 것인지를 판단한다. 만일 MWGDP 프로그램을 계속 수행할 경우에는 프로그램의 초기 부분으로 복귀하여 도파관의 특성을 분석할 것인지 크기합성을 할 것인지를 판단한다.

그림 6-2 는 그림 6-1 의 주프로그램에서 선택된 도파관 분석(선택1)에 해당하는 부프로그램의 흐름도이다. 이러한 도파관 분석 프로그램은 임피던스 분석, 감도분석, 모우드분석 하는 부프로그램을 포함한다. 그림 6.2 의 흐름도에서 프로그램의 흐름은 선택된 번호에 따라 부프로그램이 선택되어 실행되고 이때 1 번은 임피던스 분석경우로서 프로그램을 실행하여 그 결과를 가지고 도파관의 임피던스, 손실, 허용전력 등의 값을 출력하고 2 번은 감도 분석경우로서 프로그램을 실행하여 그결과를 가지고 도파관의 관내파장과 감도특성의 값을 출력하고 3 번은 모우드 분석경우로서 프로그램을 실행하여 그 결과를 가지고 도파관에서 사용가능한 모우드의 수를 출력한다. 도파관 분석의 부프로그램이 실행되어 결과값을 출력하면 프로그램의 흐름은 다시 주프로그램으로 복귀하게 된다.

그림 6-3 은 그림 6-1 의 주프로그램에서 선택된 도파관 크기 합성(선택2)에 해당하는 부프로그램의 흐름도이다. 도파관 합성 프로그램은 임피던스 설계규격에 의한 도파관 합성과 주파수 설계 규격에 의한 도파관 합성 그리고 감도분석에 의한 도파관 합성 부프로그램들을 포함한다. 그림6-3은 흐름도에서 선택번호에 따라 부프로그램이 선택되며 이 때 1번은 임피던스에 의한 도파관의 크기 합성을 출력하고 2번은 주파수변화에 의한 도파관의 크기합성을 출력하고 3번은 감도분석에 의한 도파관 합성의 결과를 출력한다. 도파관 크기 합성의 부프로그램이 실행하여 결과값을 출력하면 주흐름도로 복귀된다.

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

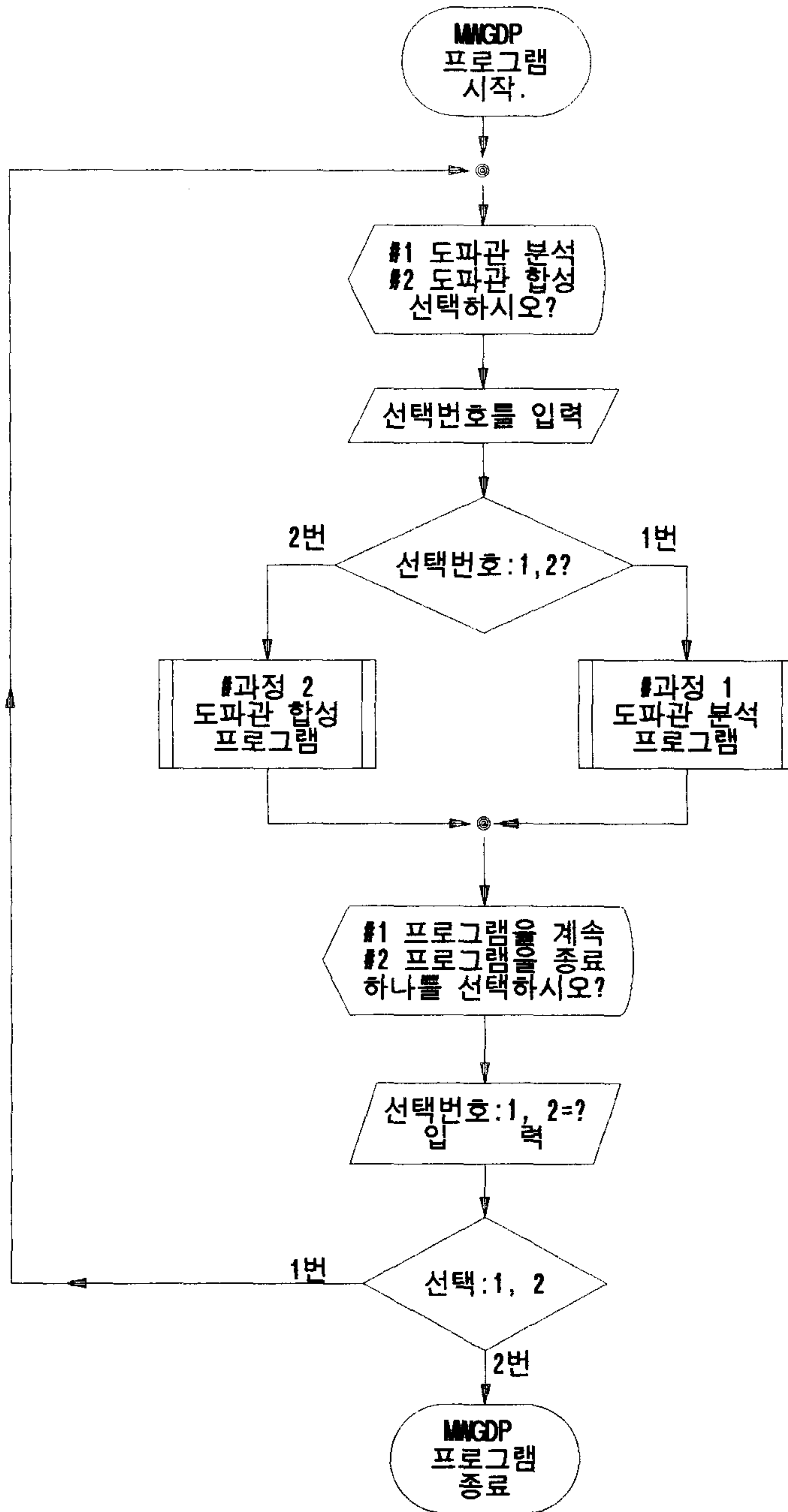


그림 6-1. MWGDP 주 프로그램 흐름도
(Fig. 6-1. Flow-chart of the main program MWGDP)

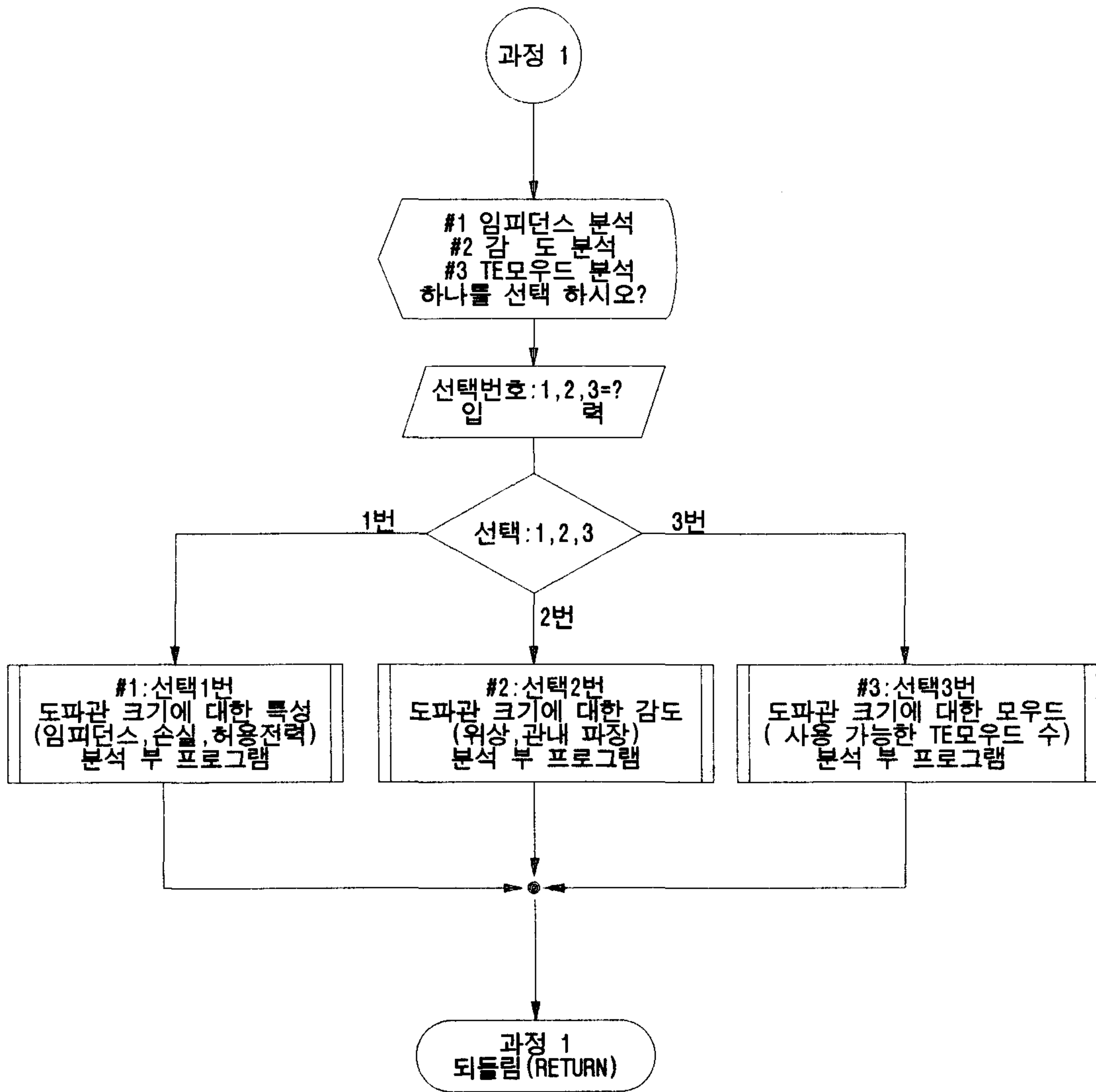


그림 6-2. 도파관 분석 프로그램 흐름도
(Fig.6-2. Flow-chart of the W/G analysis program)

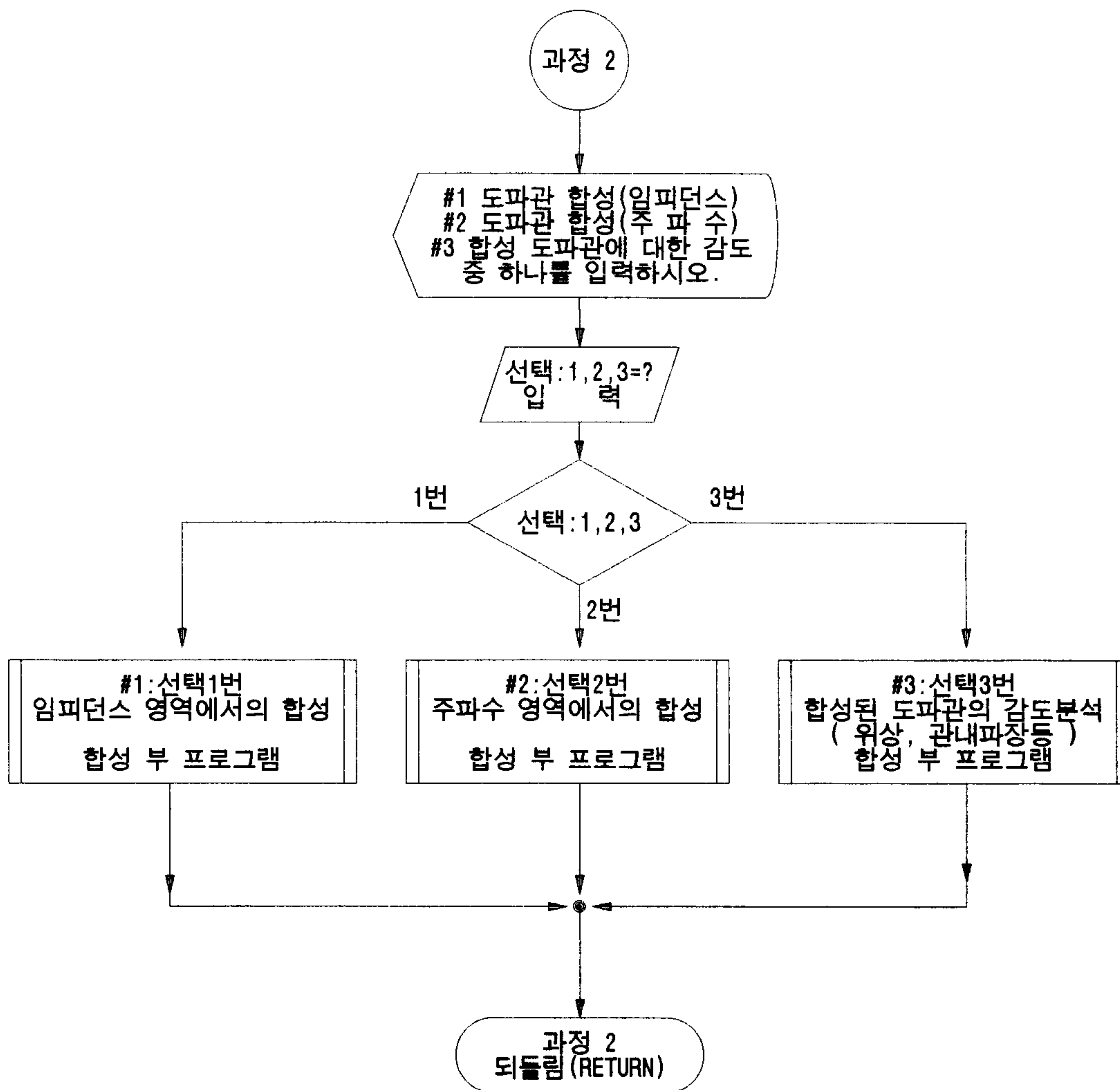


그림 6-3. 도파관 합성 프로그램 흐름도
(Fig. 6-3. Flow-chart of the program for W/G synthesis)

제 2 절. 도파관 크기 합성 프로그램

1. 임피던스에 의한 도파관 크기합성

그림 6-4 는 그림 6-3 의 흐름도에서 선택 1 에 해당하는 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 도파관의 크기합성을 위한 데이터가 입력될 때 임피던스 설계 규격에 의한 도파관의 크기를 합성하는 프로그램이다. 부프로그램의 흐름은 도파관의 크기를 합성하기 위하여 도파관의 높이와 폭중 하나를 선택하며 이때 1번은 도파관 폭의 치수를 합성하는 경우로 도파관의 높이과 도파관에 사용되는 재질의 표면저항, 거칠기 그리고 임피던스 설계규격을 데이터 값으로 프로그램에 입력되어지고 2 번은 도파관 높이의 치수를 합성하는 경우로 도파관의 폭과 도파관에 사용되는 재질의 표면저항과 거칠기 그리고 임피던스영역이 도파관의 합성을 위한 데이터 값으로 프로그램에 입력 되어진다. 데이터 입력이 끝나면 프로그램의 흐름은 특성 임피던스를 선택하게 되며 사용자가 사용하고자 하는 특성 임피던스를 번호로 선택하면 해당하는 특성 임피던스에 따른 프로그램이 실행된다. 이때 선택번호는 1 번, 2 번 , 3 번을 선택할 수 있으며 1 번은 특성임피던스가 전력-전류 임피던스인 경우이고 2 번은 특성임피던스가 전압-전류 임피던스인 경우이며 3 번은 특성임피던스가 전력-전압 임피던스인 경우이다. 특성 임피던스의 판단 선택이 끝나면 프로그램의 흐름은 출력될 데이터 처리에 관한 선택판단을 하게되며 만일 출력될 데이터가 화면에만 출력될 때에는 2번의 흐름을 따르고 출력될 데이터가 파일로 저장된 후 화면에 출력될 때에는 1번의 흐름을 따른다. 출력결과를 얻기위해서 프로그램의 모든 선택과 데이터 입력이 완료되면 임피던스 설계규격에 의한 도파관 크기합성 결과는 그림 6-5 에서 보인 #D 부프로그램의 실행에 의해 얻어진다. #D 부프로그램은 입력된

데이터 값을 이용하여 초기 임피던스의 값이 증가하여 최대값이 될때까지 반복 처리되고 관내파장이 차단파장보다 큰 경우에만 결과값을 출력한다. #D 부프로그램이 실행되어 임피던스에 의한 도파관의 크기 합성에 관련된 결과값을 출력하면 프로그램의 흐름은 그림 6-4 의 프로그램으로 복귀되며 또한 #1 의 프로그램에서 그림 6-3 프로그램으로 되돌아 간다. 그림 6-6 과 그림 6-7 은 임피던스에 설계 규격에 의한 도파관 크기 합성프로그램의 실행결과 예이다. 그림 6-6 은 도파관이 폭 2.286(cm), 표면저항값 1.724×10^{-6} (ohm-cm) , 거칠기 32 , 동작 주파수 10 GHz , 특성임피던스가 300 ohm ~ 600 ohm 인 조건에서 임피던스에서 도파관 높이의 합성값을 보여주고 있다. 그림 6-6 에서 임피던스가 증가함에 따라 도파관 손실은 감소하나 허용전력은 증가하며 또한 합성된 도파관의 높이도 증가함을 알 수 있다. 따라서 임피던스와 손실을 비교하면 적절한 도파관의 높이를 설정할 수 있다. 그림 6-7은 조건이 도파관 높이 1.016 (cm) 이고 그 외의 조건은 위의 내용과 같을 때 각 임피던스에서 도파관 폭의 합성값을 보여주고 있다. 그림 6-7 에서 출력된 값을 보면 임피던스가 증가함에 따라 도파관의 폭도 증가하고 손실도 증가함을 알 수 있다. 그림 6-6 과 그림 6-7 에서 얻은 결과값을 비교 분석하여 보면 손실이 가장 적은 도파관 크기 합성값을 얻을 수 있다.

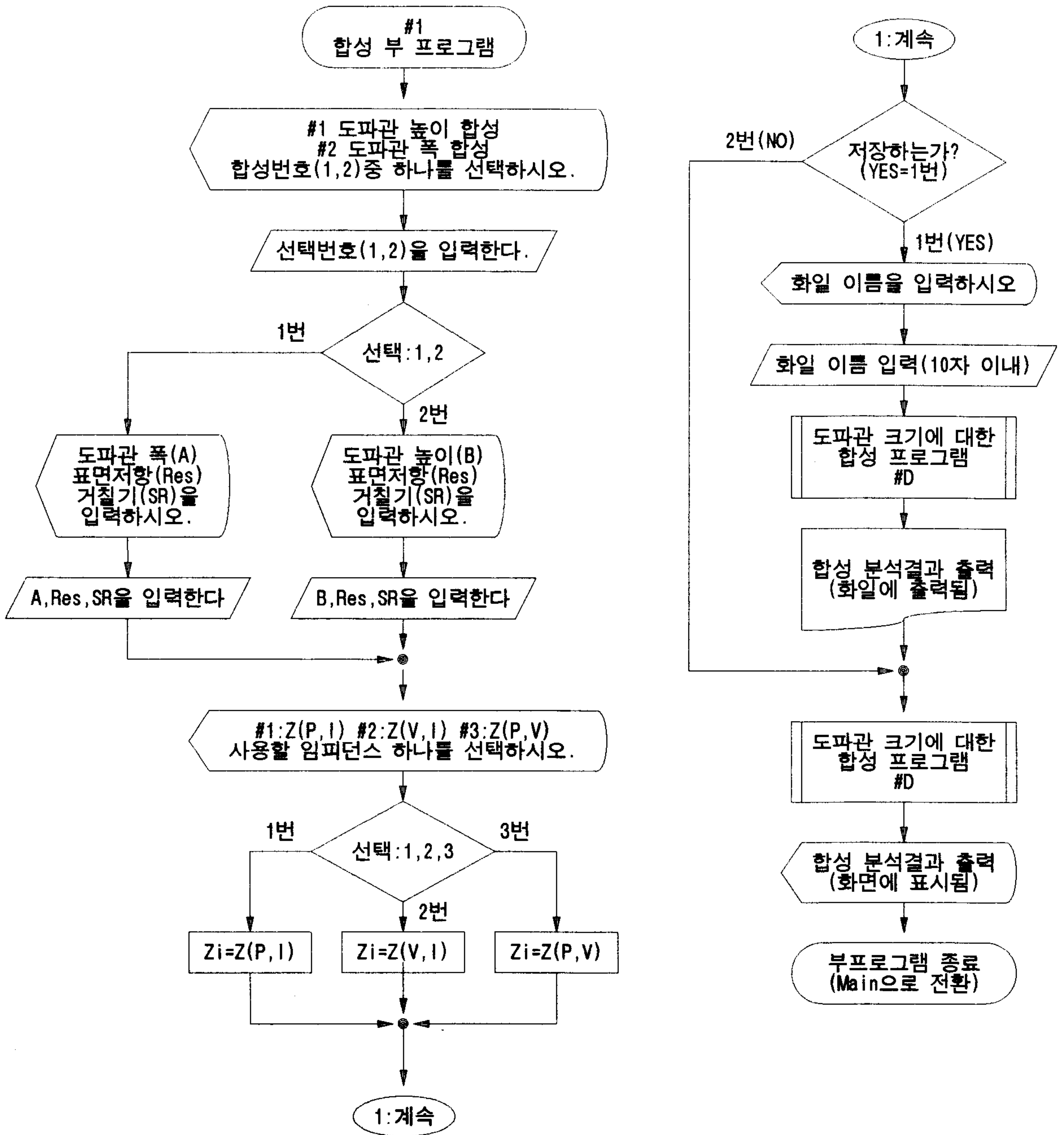


그림6-4. 임피던스에 의한 도파관 합성 프로그램의 흐름도 I
 (Fig.6-4. Flow-chart of the W/G synthetic program with frequency I)

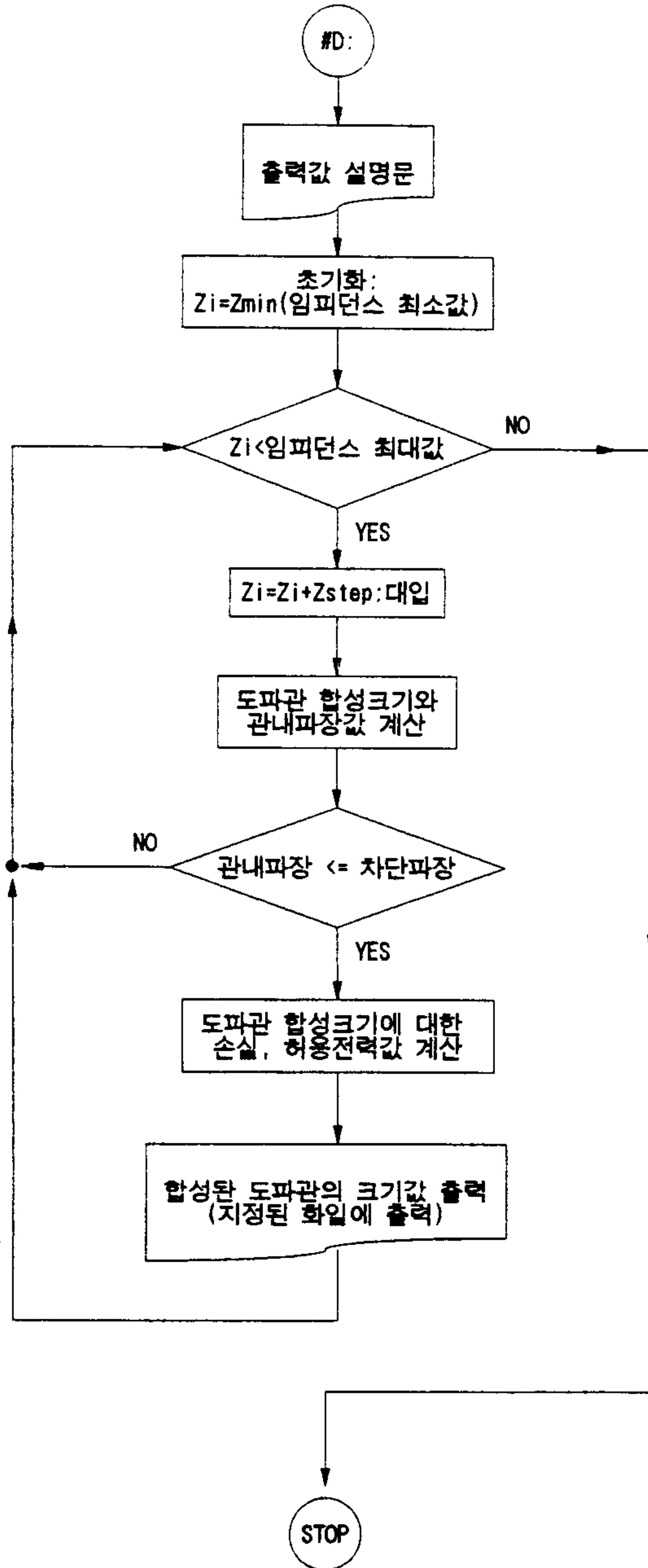


그림6-5. 임피던스에 의한 도파관 합성 프로그램의 흐름도 II
 (Fig.6-4. Flow-chart of the W/G synthetic program with frequency II)


```

-----
Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

( A ) : 2.286 cm      W/G Height Synthesis      Res : 1.72400
Operating          -----          SR   : 32.0000
Frequency : 10.000 GHz      OPTION 2

-----
| Cutoff| Wavelength [cm] | W/G | Guide Impedance [ohm] | Total-| Peak-|
| Freq- |-----| Height |-----| Loss | Power |
| (GHz) |Free-sp|Guide-sp | B | Z(P,I)| Z(V,I)| Z(P,V)| [dB/m]| [ kW ] |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
*****
| 6.5572  2.9980  3.9708  0.8750  235.62  300.00  381.97  0.1620  225.32 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  0.9041  243.47  310.00  394.70  0.1580  232.83 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  0.9333  251.33  320.00  407.44  0.1543  240.34 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  0.9625  259.18  330.00  420.17  0.1509  247.85 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  0.9916  267.04  340.00  432.90  0.1476  255.36 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.0208  274.89  350.00  445.63  0.1446  262.87 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.0500  282.74  360.00  458.37  0.1417  270.38 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.0791  290.60  370.00  471.10  0.1389  277.89 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.1083  298.45  380.00  483.83  0.1363  285.40 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.1375  306.31  390.00  496.56  0.1338  292.91 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.1666  314.16  400.00  509.30  0.1315  300.43 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.1958  322.01  410.00  522.03  0.1293  307.94 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.2250  329.87  420.00  534.76  0.1271  315.45 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.2541  337.72  430.00  547.49  0.1251  322.96 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.2833  345.58  440.00  560.23  0.1232  330.47 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.3124  353.43  450.00  572.96  0.1213  337.98 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.3416  361.28  460.00  585.69  0.1196  345.49 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.3708  369.14  470.00  598.42  0.1179  353.00 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.3999  376.99  480.00  611.15  0.1163  360.51 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.4291  384.85  490.00  623.89  0.1147  368.02 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.4583  392.70  500.00  636.62  0.1132  375.53 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.4874  400.55  510.00  649.35  0.1118  383.04 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.5166  408.41  520.00  662.08  0.1104  390.55 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.5458  416.26  530.00  674.82  0.1091  398.06 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.5749  424.12  540.00  687.55  0.1078  405.57 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.6041  431.97  550.00  700.28  0.1066  413.08 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.6333  439.82  560.00  713.01  0.1054  420.60 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.6624  447.68  570.00  725.75  0.1042  428.11 |
| 6.5572  2.9980  3.9708  1.6916  455.53  580.00  738.48  0.1031  435.62 |
*****

```

그림6-6. 임피던스에 의한 합성 프로그램 실행결과
 -도파관의 높이를 합성한 경우-
 (Fig.6-6. Synthesis program results with impedance)
 -Case of the W/G height synthesis-

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

-----
Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

(B) :1.016 cm      W/G Width Synthesis      Res :1.72400
Operating          =====
Frequency :10.000 GHz      OPTION 1      SR :32.0000
-----

Cutoff | Wavelength [cm]| W/G | Guide Impedance [ohm] | Total-| Peak-
Freq-  |-----| Height |-----| Loss | Power
(GHz) |Free-sp|Guide-sp| A | Z(P,I)| Z(V,I)| Z(P,V)| [dB/m]| [ kW ]
*****=
: 5.9894 2.9980 3.7437 2.503 235.62 300.00 381.97 0.1278 303.81 :
: 6.1152 2.9980 3.7890 2.451 243.47 310.00 394.70 0.1312 294.01 :
: 6.2365 2.9980 3.8352 2.404 251.33 320.00 407.44 0.1347 284.82 :
: 6.3534 2.9980 3.8822 2.359 259.18 330.00 420.17 0.1383 276.19 :
: 6.4662 2.9980 3.9301 2.318 267.04 340.00 432.90 0.1419 268.07 :
: 6.5748 2.9980 3.9789 2.280 274.89 350.00 445.63 0.1457 260.41 :
: 6.6795 2.9980 4.0284 2.244 282.74 360.00 458.37 0.1495 253.18 :
: 6.7804 2.9980 4.0787 2.211 290.60 370.00 471.10 0.1533 246.33 :
: 6.8775 2.9980 4.1297 2.180 298.45 380.00 483.83 0.1573 239.85 :
: 6.9712 2.9980 4.1815 2.150 306.31 390.00 496.56 0.1613 233.70 :
: 7.0613 2.9980 4.2339 2.123 314.16 400.00 509.30 0.1653 227.86 :
: 7.1482 2.9980 4.2870 2.097 322.01 410.00 522.03 0.1694 222.30 :
: 7.2319 2.9980 4.3408 2.073 329.87 420.00 534.76 0.1735 217.01 :
: 7.3125 2.9980 4.3951 2.050 337.72 430.00 547.49 0.1777 211.96 :
: 7.3902 2.9980 4.4501 2.028 345.58 440.00 560.23 0.1820 207.14 :
: 7.4650 2.9980 4.5056 2.008 353.43 450.00 572.96 0.1862 202.54 :
: 7.5371 2.9980 4.5617 1.989 361.28 460.00 585.69 0.1905 198.14 :
: 7.6066 2.9980 4.6183 1.971 369.14 470.00 598.42 0.1949 193.92 :
: 7.6736 2.9980 4.6754 1.953 376.99 480.00 611.15 0.1992 189.88 :
: 7.7381 2.9980 4.7330 1.937 384.85 490.00 623.89 0.2036 186.01 :
: 7.8003 2.9980 4.7910 1.922 392.70 500.00 636.62 0.2081 182.29 :
: 7.8603 2.9980 4.8496 1.907 400.55 510.00 649.35 0.2125 178.71 :
: 7.9181 2.9980 4.9085 1.893 408.41 520.00 662.08 0.2170 175.27 :
: 7.9739 2.9980 4.9679 1.880 416.26 530.00 674.82 0.2215 171.97 :
: 8.0277 2.9980 5.0277 1.867 424.11 540.00 687.55 0.2261 168.78 :
: 8.0797 2.9980 5.0879 1.855 431.97 550.00 700.28 0.2306 165.71 :
: 8.1298 2.9980 5.1485 1.844 439.82 560.00 713.01 0.2352 162.76 :
: 8.1781 2.9980 5.2095 1.833 447.68 570.00 725.75 0.2398 159.90 :
: 8.2248 2.9980 5.2708 1.823 455.53 580.00 738.48 0.2444 157.14 :
: 8.2699 2.9980 5.3324 1.813 463.39 590.00 751.21 0.2490 154.48 :
: 8.3135 2.9980 5.3944 1.803 471.24 600.00 763.94 0.2536 151.91 :
*****

```

그림6-7. 임피던스에 의한 합성 프로그램 실행 결과.

-도파관의 폭을 합성한 경우-

(Fig.6-7. Synthesis program results with impedance)

- Case of W/G width synthesis-

2 주파수에 의한 도파관 크기합성

그림 6-8 은 그림 6-3 의 흐름도에서 선택 2 에 해당하는 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 도파관의 크기 합성을 위한 데이터가 입력될 때 주파수 설계규격에 의한 도파관의 크기를 합성 하는 프로그램이다. 프로그램의 흐름은 선택 1 과 동일하게 도파관 높이와 폭을 선택하고 그림 6-3 의 선택 1 과 동일하게 1 번은 도파관 폭의 치수를 합성하는 경우이고 2 번은 도파관 높이의 치수를 합성하는 경우이다. 도파관 합성을 위한 데이터 입력이 끝나면 프로그램의 흐름은 특성 임피던스를 선택하고 선택 1 에서와 동일하게 사용자의 사용용도에 따라 선택하면 해당되는 특성 임피던스에 따른 출력결과를 얻을 수 있다. 주파수 설계규격에 의한 도파관의 크기합성 결과는 그림 6-9 에 보인 #E 부프로그램의 실행에 의해서 얻어지며 #E 부프로그램은 주파수 변화값이 최고주파수가 될 때까지 반복 처리되며 주파수가 증가할때 마다 결과값을 출력한다. #E 부프로그램은 증가한 주파수값이 최고주파수 보다 클 경우 종료되어 그림 6-8 흐름도로 복귀되고 또한 이때 프로그램의 흐름은 다시 #2 의 프로그램에서 그림 6-3 프로그램으로 복귀된다. 그림 6-10 과 6-11 은 주파수에 대한 합성프로그램 실행 결과의 예이다. 그림 6-10 에서는 도파관 폭, 2.286(cm) , 표면저항 $1.724 \times 10^{-6}(\text{ohm-cm})$, 거칠기 32 , 동작주파수 10GHz , 특성임피던스가 300 ohm 인 조건하에서 도파관의 높이와 주파수에 의한 합성된 도파관의 총손실 및 허용전력을 보여주고 있다. 합성된 도파관은 주파수가 증가함에 따라 총손실이 감소되나 허용전력은 증가함을 알 수 있다. 설계규격 주파수와 임피던스 그리고 도파관 폭에 의해 도파관 높이의 합성은 주파수에 의한 도파관 합성 프로그램을 이용함으로써 구할 수 있고 또한 주파수 변화에 대한 임피던스 변화 정도와 손실정도도 구할 수 있다. 이때 합성된 도파관의 높이는 1.021 cm 를 얻을 수 있었다. 그림 6-11 은 도파관 높이가 1.016 cm 이고 그외 조건은 위의 내용과

같은때 주파수 변화에 대한 합성프로그램의 실행 예이다. 그림 6-11 의 결과에서 합성된 도파관의 폭을 얻을 수 있었고 또한 주파수 변화에 따른 임피던스의 변화정도와 손실의 정도도 구할 수 있었다. 이때 합성된 도파관의 폭은 2.280 (cm) 를 얻었다.

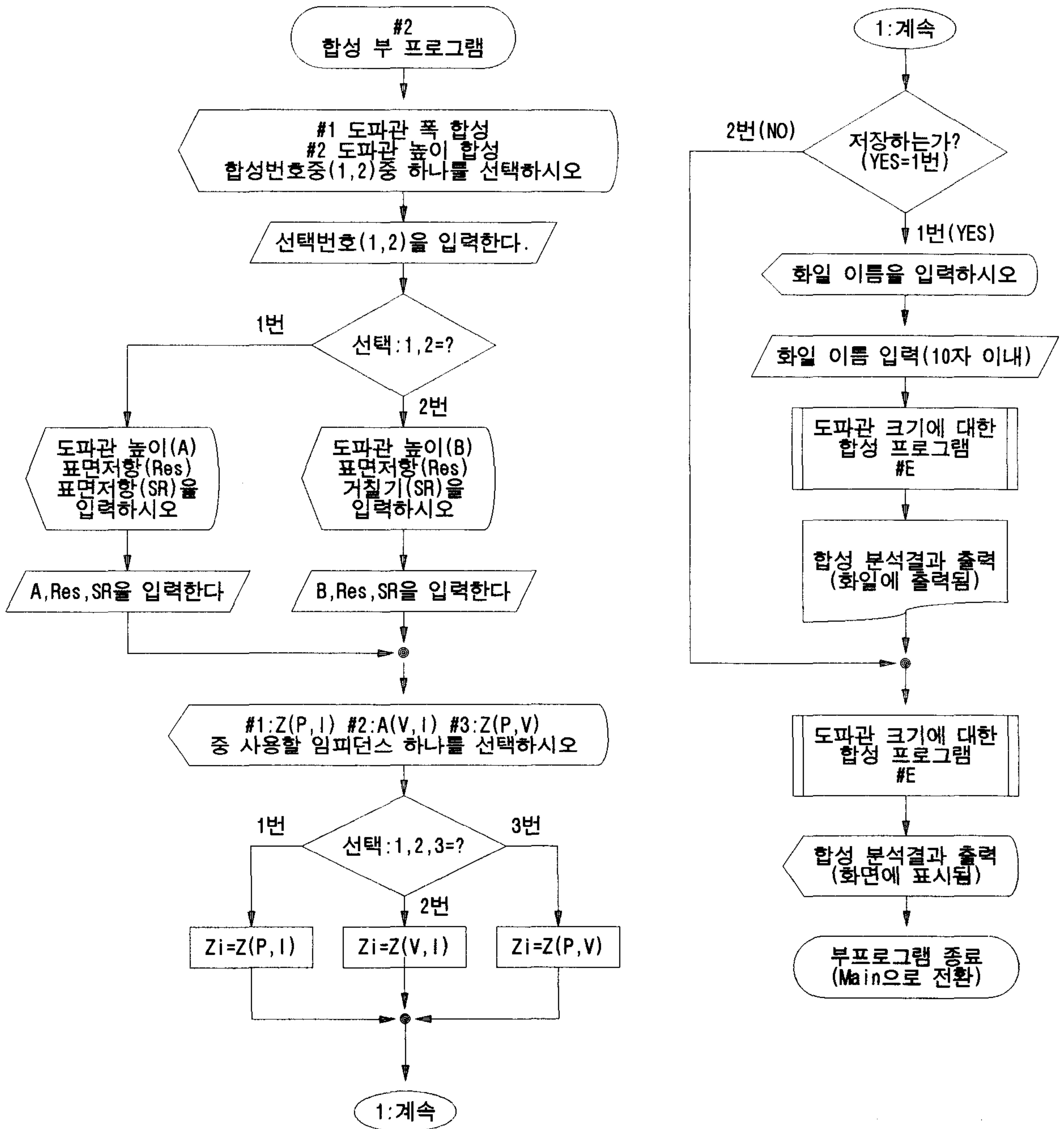


그림6-8. 주파수에 의한 크기 합성 프로그램 흐름도 I
(Fig.6-8. Flow-chart of the synthetic program with frequenc t I)

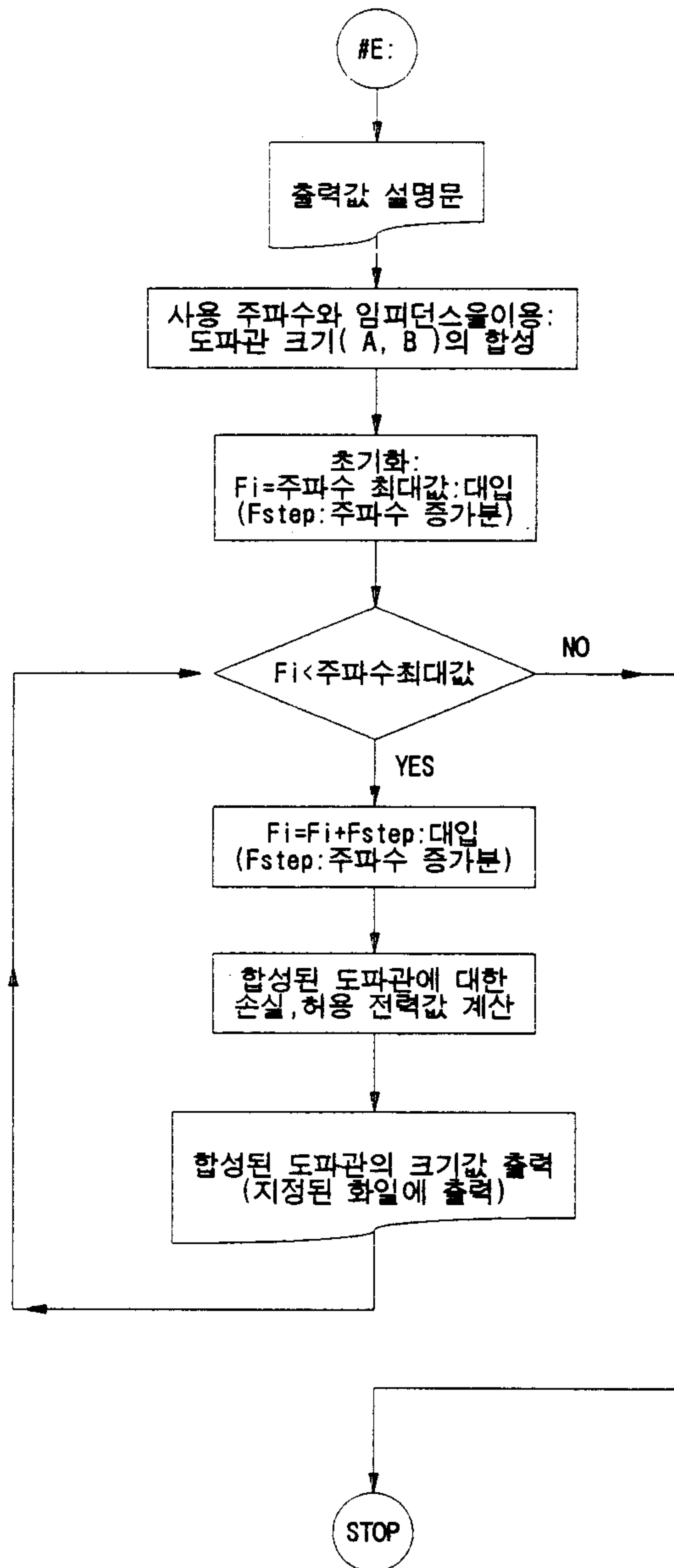


그림6-9. 주파수에 의한 크기 합성 프로그램 흐름도 II
 (Fig.6-9. Flow-chart of the synthetic program with frequenc t II)

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

W/G Height Synthesis								
A	: 2.286 cm					Res	: 1.72400	
B	: 1.021 cm					SR	: 32.000	
Cutoff Length : 4.572 cm		OPTION 2		TE(10) Freq : 6.557 GHz				
				TE(20) Freq : 13.114 GHz				
Z(V, I) = 350.000 ohm at 10.000 GHz								
Freque-ncy (GHz)	Wavelength [cm]	Guide Impedance [ohm]	Total-Loss [dB/m]	Peak-Power [kW]				
	Free-sp	Guide-sp	Z(P, I)	Z(V, I)	Z(P, V)			
8.200	3.6560	6.0888	345.64	440.09	560.33	0.1868	209.06	
8.350	3.5904	5.7991	335.22	426.82	543.44	0.1805	215.56	
8.500	3.5270	5.5429	326.17	415.29	528.76	0.1750	221.55	
8.650	3.4658	5.3142	318.23	405.18	515.89	0.1702	227.07	
8.800	3.4068	5.1083	311.20	396.23	504.50	0.1659	232.20	
8.950	3.3497	4.9216	304.94	388.26	494.35	0.1622	236.97	
9.100	3.2945	4.7513	299.32	381.11	485.24	0.1588	241.42	
9.250	3.2410	4.5951	294.25	374.65	477.02	0.1558	245.57	
9.400	3.1893	4.4512	289.66	368.80	469.57	0.1531	249.47	
9.550	3.1392	4.3179	285.47	363.47	462.79	0.1506	253.13	
9.700	3.0907	4.1942	281.64	358.60	456.58	0.1484	256.57	
9.850	3.0436	4.0787	278.13	354.12	450.88	0.1464	259.81	
10.00	2.9980	3.9708	274.89	350.00	445.63	0.1446	262.87	
10.150	2.9537	3.8695	271.90	346.19	440.78	0.1429	265.76	
10.300	2.9106	3.7743	269.12	342.66	436.29	0.1413	268.50	
10.450	2.8689	3.6845	266.55	339.38	432.11	0.1399	271.10	
10.600	2.8283	3.5997	264.15	336.32	428.22	0.1386	273.56	
10.750	2.7888	3.5193	261.91	333.47	424.59	0.1375	275.90	
10.900	2.7504	3.4431	259.81	330.80	421.19	0.1364	278.13	
11.050	2.7131	3.3707	257.85	328.30	418.01	0.1354	280.24	
11.200	2.6767	3.3018	256.00	325.96	415.02	0.1345	282.26	
11.350	2.6414	3.2361	254.27	323.75	412.21	0.1336	284.19	
11.500	2.6069	3.1733	252.63	321.66	409.56	0.1328	286.03	
11.650	2.5734	3.1133	251.09	319.70	407.06	0.1321	287.79	
11.800	2.5406	3.0559	249.63	317.84	404.69	0.1315	289.47	
11.950	2.5088	3.0009	248.25	316.09	402.46	0.1308	291.08	
12.100	2.4777	2.9481	246.95	314.42	400.34	0.1303	292.62	
12.250	2.4473	2.8973	245.71	312.84	398.33	0.1298	294.09	
12.400	2.4177	2.8486	244.53	311.34	396.42	0.1293	295.51	

그림6-10. 주파수에 의한 합성 프로그램 실행 결과
-도파관 높이를 합성한 경우-
(Fig.6-10.Synthesis program results with frequency)
-Case of W/G height synthesis-

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

A :2.280 cm      W/G Height Synthesis      Res :1.72400
B :1.016 cm      =====                          SR :32.000
Cutoff Length :4.56 cm      OPTION 2      TE(10) Freq : 6.575 GHz
                                           TE(20) Freq :13.150 GHz

Z(V,I) =350.00000 ohm
at 10.000 GHz.
    
```

Freque-ncy (GHz)	Wavelength [cm] Free-sp	Guide Impedance [ohm] Guide-sp	Z(P,I)	Z(V,I)	Z(P,V)	Total-Loss [dB/m]	Peak-Power [kW]
8.200	3.65604	6.1180	346.60	441.30	561.88	0.1889	206.53
8.350	3.59037	5.8243	336.00	427.80	544.70	0.1823	213.05
8.500	3.52701	5.5649	326.80	416.09	529.79	0.1767	219.04
8.650	3.46585	5.3336	318.74	405.83	516.72	0.1718	224.58
8.800	3.40677	5.1255	311.61	396.76	505.17	0.1675	229.72
8.950	3.34967	4.9370	305.27	388.68	494.89	0.1636	234.49
9.100	3.29446	4.7651	299.58	381.44	485.67	0.1602	238.94
9.250	3.24103	4.6076	294.46	374.91	477.35	0.1571	243.10
9.400	3.18932	4.4625	289.81	369.00	469.82	0.1543	247.00
9.550	3.13922	4.3283	285.58	363.61	462.96	0.1519	250.66
9.700	3.09068	4.2037	281.71	358.68	456.69	0.1496	254.10
9.850	3.04361	4.0875	278.16	354.16	450.93	0.1475	257.35
10.00	2.99796	3.9789	274.89	350.00	445.63	0.1457	260.41
10.150	2.95365	3.8770	271.87	346.16	440.74	0.1440	263.30
10.300	2.91064	3.7812	269.07	342.59	436.20	0.1424	266.04
10.450	2.86886	3.6909	266.47	339.28	431.99	0.1410	268.63
10.600	2.82826	3.6057	264.05	336.20	428.07	0.1397	271.10
10.750	2.78880	3.5249	261.79	333.33	424.41	0.1384	273.43
10.900	2.75042	3.4484	259.68	330.64	420.98	0.1373	275.66
11.050	2.71308	3.3756	257.70	328.12	417.77	0.1363	277.78
11.200	2.67675	3.3064	255.84	325.75	414.76	0.1354	279.79
11.350	2.64137	3.2404	254.10	323.53	411.93	0.1345	281.72
11.500	2.60692	3.1774	252.45	321.43	409.26	0.1337	283.56
11.650	2.57335	3.1172	250.90	319.45	406.74	0.1330	285.31
11.800	2.54064	3.0596	249.43	317.58	404.36	0.1323	286.99
11.950	2.50875	3.0044	248.04	315.81	402.10	0.1317	288.60
12.100	2.47765	2.9514	246.72	314.14	399.97	0.1311	290.14
12.250	2.44731	2.9005	245.47	312.55	397.95	0.1306	291.61
12.400	2.41771	2.8516	244.29	311.04	396.03	0.1301	293.03

그림6-11. 주파수에 의한 합성 프로그램 실행 결과
 - 도파관 폭을 합성한 경우-
 (FIG.6-11. synthesis program results with frequency)
 - Case of W/G width synthesis-

제 3 절. 도파관 특성 분석 프로그램

1 도파관의 임피던스 분석

그림 6-12 은 그림 6-2 의 흐름도에서 선택 1 에 대한 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 도파관의 크기와 도파관 재질의 표면저항 및 거칠기 그리고 임의의 주파수영역이 입력될 때 도파관의 임피던스분석을 출력한다. 도파관의 크기와 도파관 재질의 표면저항과 거칠기 그리고 임의의 주파수영역에 대한 데이터 입력이 끝나면 프로그램의 흐름은 출력될 데이터 처리에 대한 판단을 하게된다. 출력될 데이터가 화면에만 출력될 때에는 2 번의 흐름을 따르고 출력될 데이터가 화일로 저장된후 화면에 출력될 때에는 1 번의 흐름을 따른다. 도파관 크기에 대한 임피던스 분석결과는 #A 부프로그램의 실행에 의하여 얻어진다. #A 부프로그램은 최저주파수가 증가하여 최고주파수가 될때까지 반복처리되며 주파수가 증가할 때 마다 도파관의 임피던스 분석결과를 출력한다. 증가한 주파수가 최고주파수보다 클때 #A 부프로그램은 종료되고, 프로그램의 흐름은 #1의 부프로그램으로 복귀한다. 또한 프로그램의 흐름은 다시 #1 의프로그램에서 그림 6-1 의 프로그램으로 복귀한다. 그림 6-13 은 도파관 임피던스 분석 프로그램 실행 결과의 예이며 폭 2.286 (cm) , 높이 1.016 (cm)인 도파관에 대한 임피던스 분석 결과값이다. 이때 출력값은 주파수 변화에 대한 전력-전류임피던스, 전압-전류임피던스, 전력-전압임피던스의 값을 출력하고 각각의 주파수에 대한 손실과 허용전력을 보여준다. 주파수가 증가함에 따라 임피던스와 허용전력은 증가하고 손실은 감소됨을 알 수 있다.

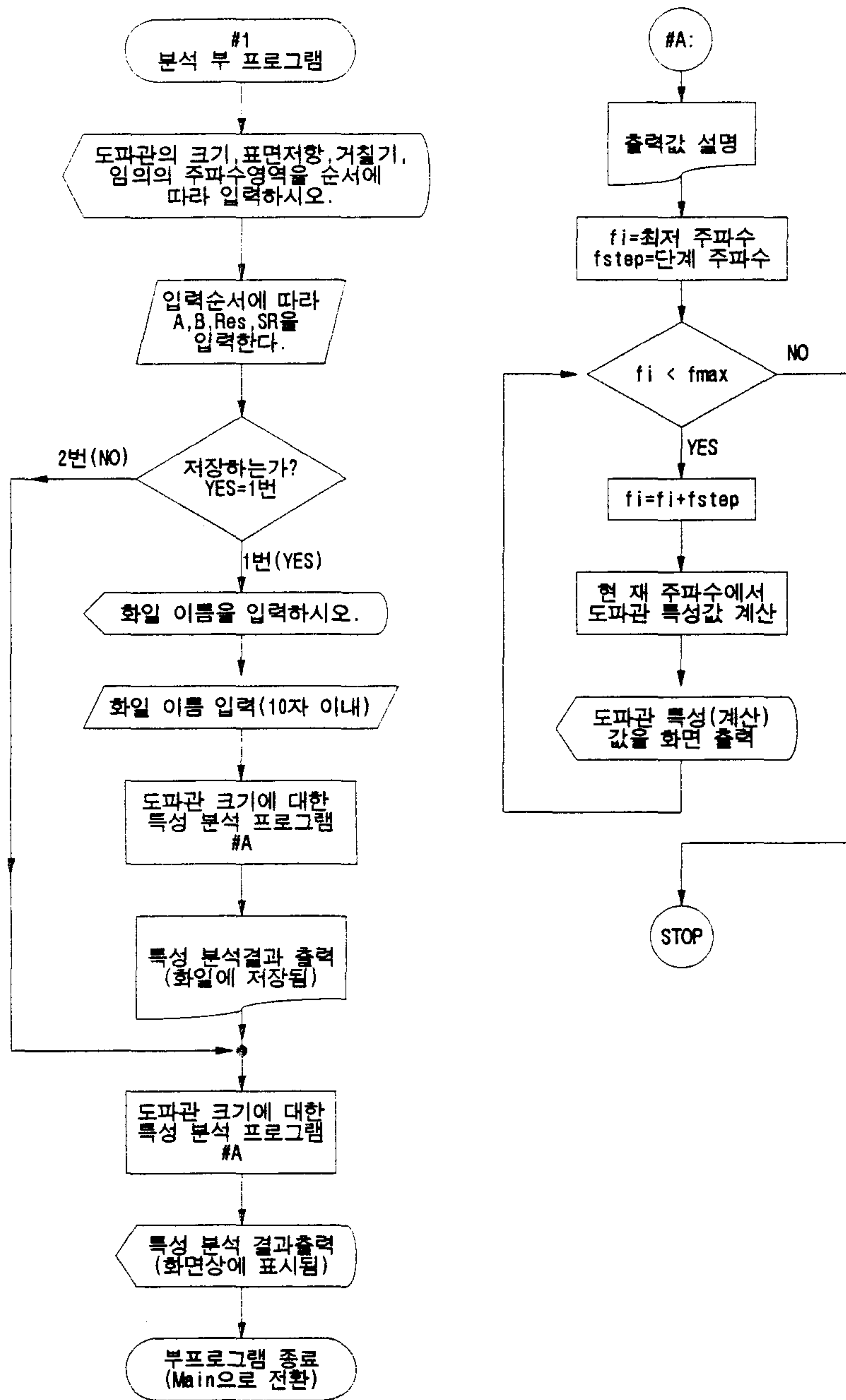


그림6-12. 도파관 임피던스 분석 프로그램 흐름도.
(fig.6-12. Flow-chart of the program for
W/G impedance analysis)

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

-----
Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

      A : 2.286 cm      Impedance Analysis      Res : 1.72400
      B : 1.016 cm      =====
Length : 4.57200 cm      OPTION 1      TE(10) Freq : 6.557 GHz
                                      TE(20) Freq : 13.114 GHz
-----

| Freque | Wavelength [cm] | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- |
| -ncy   | -----       | -----               | Loss   | Power |
| (GHz) | Free-sp | Guide-sp| Z(P,I) | Z(V,I) | Z(P,V) | [ dB/m ] | [ kW ] |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 8.200 | 3.6560 | 6.0888 | 344.02 | 438.02 | 557.70 | 0.0571 | 208.080 |
| 8.350 | 3.5904 | 5.7991 | 333.65 | 424.81 | 540.89 | 0.0552 | 214.550 |
| 8.500 | 3.5270 | 5.5429 | 324.64 | 413.34 | 526.28 | 0.0535 | 220.505 |
| 8.650 | 3.4658 | 5.3142 | 316.73 | 403.27 | 513.46 | 0.0520 | 226.007 |
| 8.800 | 3.4068 | 5.1083 | 309.74 | 394.37 | 502.13 | 0.0507 | 231.110 |
| 8.950 | 3.3497 | 4.9216 | 303.51 | 386.43 | 492.02 | 0.0496 | 235.856 |
| 9.100 | 3.2945 | 4.7513 | 297.91 | 379.32 | 482.96 | 0.0486 | 240.283 |
| 9.250 | 3.2410 | 4.5951 | 292.87 | 372.89 | 474.78 | 0.0476 | 244.421 |
| 9.400 | 3.1893 | 4.4512 | 288.30 | 367.07 | 467.37 | 0.0468 | 248.299 |
| 9.550 | 3.1392 | 4.3179 | 284.13 | 361.77 | 460.61 | 0.0461 | 251.939 |
| 9.700 | 3.0907 | 4.1942 | 280.32 | 356.91 | 454.44 | 0.0454 | 255.364 |
| 9.850 | 3.0436 | 4.0787 | 276.82 | 352.46 | 448.77 | 0.0448 | 258.591 |
| 10.00 | 2.9980 | 3.9708 | 273.60 | 348.36 | 443.54 | 0.0442 | 261.637 |
| 10.150 | 2.9537 | 3.8695 | 270.62 | 344.56 | 438.71 | 0.0437 | 264.517 |
| 10.300 | 2.9106 | 3.7743 | 267.86 | 341.05 | 434.24 | 0.0432 | 267.242 |
| 10.450 | 2.8689 | 3.6845 | 265.30 | 337.79 | 430.08 | 0.0428 | 269.825 |
| 10.600 | 2.8283 | 3.5997 | 262.91 | 334.75 | 426.21 | 0.0424 | 272.276 |
| 10.750 | 2.7888 | 3.5193 | 260.68 | 331.91 | 422.60 | 0.0420 | 274.604 |
| 10.900 | 2.7504 | 3.4431 | 258.59 | 329.25 | 419.22 | 0.0417 | 276.819 |
| 11.050 | 2.7131 | 3.3707 | 256.64 | 326.76 | 416.05 | 0.0414 | 278.928 |
| 11.200 | 2.6767 | 3.3018 | 254.80 | 324.42 | 413.07 | 0.0411 | 280.938 |
| 11.350 | 2.6414 | 3.2361 | 253.08 | 322.23 | 410.27 | 0.0409 | 282.855 |
| 11.500 | 2.6069 | 3.1733 | 251.45 | 320.15 | 407.63 | 0.0406 | 284.685 |
| 11.650 | 2.5734 | 3.1133 | 249.91 | 318.20 | 405.14 | 0.0404 | 286.434 |
| 11.800 | 2.5406 | 3.0559 | 248.46 | 316.35 | 402.79 | 0.0402 | 288.107 |
| 11.950 | 2.5088 | 3.0009 | 247.09 | 314.60 | 400.57 | 0.0400 | 289.708 |
| 12.100 | 2.4777 | 2.9481 | 245.79 | 312.95 | 398.46 | 0.0399 | 291.241 |
| 12.250 | 2.4473 | 2.8973 | 244.55 | 311.37 | 396.45 | 0.0397 | 292.711 |
| 12.400 | 2.4177 | 2.8486 | 243.38 | 309.88 | 394.55 | 0.0396 | 294.121 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
*****

```

그림6-13. 도파관 임피던스 분석 프로그램 실행 결과.
 (Fig.6-13. Program results for W/G impedance analysis)

2 도파관의 감도 분석

그림 6-14는 그림 6-2 의 흐름도에서 선택 2 에 대한 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 도파관의 크기와 임의의 주파수 영역이 입력될때 도파관의 관내파장과 감도분석을 출력한다. 도파관의 크기와 주파수영역이 입력되면 프로그램의 흐름은 #1 의 부프로그램 흐름도와 같이 출력될 데이터처리에 대한 판단을 하게 된다. 도파관 크기에 대한 감도분석 결과는 #B 부프로그램의 실행에 의해 얻어진다. #B 부프로그램은 #A 부프로그램과 같이 최저주파수가 증가하여 최고 주파수가 될 때까지 반복처리되며 주파수가 증가할 때 마다 감도분석 결과를 출력한다. 증가한 주파수가 최고주파수보다 클때 #B프로그램은 종료되어 프로그램의 흐름은 #1의 부프로그램으로 복귀되며 또한 프로그램의 흐름은 다시 #1 의프로그램에서 그림 6-1 의 프로그램으로 복귀한다. 그림 6-15 는 도파관 감도분석 프로그램 실행 결과의 예이다. 출력 결과는 도파관 폭이 2.286(cm)이고 높이가 1.016(cm)일때 주파수 변화에 대한 관내파장의 감도와 위상정수 감도를 출력한다. 그림 6-15 에 출력된 모든 감도 특성은 차단 주파수 부근에서 감도가 급격히 변화하고 주파수가 증가함에 따라 감도변화가 완만해짐을 알 수 있고 위상정수 감도와 관내파장의 감도는 크기가 같고 부호가 반대임을 알 수 있다. 이때 TE_{10} 모우드의 차단주파수는 6.557 GHz 였다.

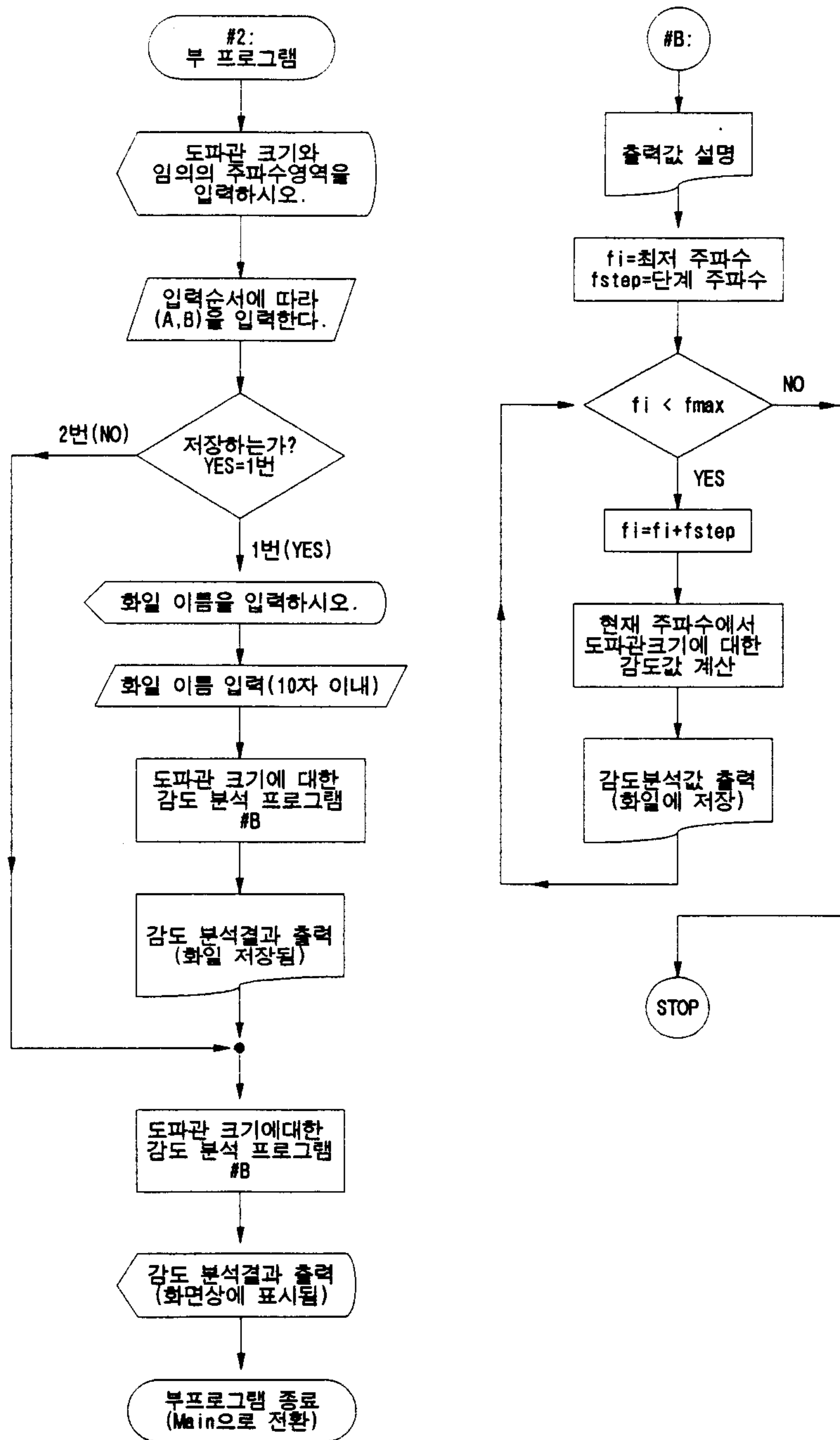


그림6-14. 도파관 감도 분석 프로그램 흐름도.
(Fig.6-14. Flow-chart of the program for W/G sensitivity analysis)

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

A :2.286 cm      W/G Height Synthesis      TE(10) Freq: 6.557GHz
B :1.016 cm      =====
                   OPTION 2              Cutoff length:4.572
    
```

Freque-ncy (GHz)	Wavelength cm	Free-sp Guide-sp	Sensitivity of Guide Wavelength to W/G Width (A)	Height(B)	Sensitivity of Insertion to W/G Width(A) Wavelength	Phase
8.200	3.6560	6.0888	-2.7736	1.000	-1.7736	1.7736
8.350	3.5904	5.7991	-2.6088	1.000	-1.6088	1.6088
8.500	3.5270	5.5429	-2.4698	1.000	-1.4698	1.4698
8.650	3.4658	5.3142	-2.3510	1.000	-1.3510	1.3510
8.800	3.4068	5.1083	-2.2484	1.000	-1.2484	1.2484
8.950	3.3497	4.9216	-2.1588	1.000	-1.1588	1.1588
9.100	3.2945	4.7513	-2.0800	1.000	-1.0800	1.0800
9.250	3.2410	4.5951	-2.0101	1.000	-1.0101	1.0101
9.400	3.1893	4.4512	-1.9478	1.000	-0.9478	0.9478
9.550	3.1392	4.3179	-1.8920	1.000	-0.8920	0.8920
9.700	3.0907	4.1942	-1.8415	1.000	-0.8415	0.8415
9.850	3.0436	4.0787	-1.7959	1.000	-0.7959	0.7959
10.00	2.9980	3.9708	-1.7543	1.000	-0.7543	0.7543
10.150	2.9537	3.8695	-1.7163	1.000	-0.7163	0.7163
10.300	2.9106	3.7743	-1.6815	1.000	-0.6815	0.6815
10.450	2.8689	3.6845	-1.6494	1.000	-0.6494	0.6494
10.600	2.8283	3.5997	-1.6199	1.000	-0.6199	0.6199
10.750	2.7888	3.5193	-1.5925	1.000	-0.5925	0.5925
10.900	2.7504	3.4431	-1.5671	1.000	-0.5671	0.5671
11.050	2.7131	3.3707	-1.5435	1.000	-0.5435	0.5435
11.200	2.6767	3.3018	-1.5215	1.000	-0.5215	0.5215
11.350	2.6414	3.2361	-1.5010	1.000	-0.5010	0.5010
11.500	2.6069	3.1733	-1.4817	1.000	-0.4817	0.4817
11.650	2.5734	3.1133	-1.4637	1.000	-0.4637	0.4637
11.800	2.5406	3.0559	-1.4468	1.000	-0.4468	0.4468
11.950	2.5088	3.0009	-1.4308	1.000	-0.4308	0.4308
12.100	2.4777	2.9481	-1.4158	1.000	-0.4158	0.4158
12.250	2.4473	2.8973	-1.4016	1.000	-0.4016	0.4016
12.400	2.4177	2.8486	-1.3882	1.000	-0.3882	0.3882

그림6-15. 도파관 감도 분석 프로그램 실행 결과.
 (Fig.6-15.Program results for W/G sensitivity analysis)

3 도파관의 모우드 분석

그림 6-16 은 그림 6-2 의 흐름도에서 선택 3 에 대한 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 도파관의 크기와 임의의 주파수영역이 입력될 때 도파관의 모우드 분석결과를 출력한다. 도파관의 크기와 주파수영역이 입력되면 #1 부프로그램의 흐름도와 같이 프로그램의 흐름은 출력될 데이터 처리에 대한 판단을 하게 된다. 도파관 크기에 대한 감도분석 결과는 #C 의 부프로그램의 실행에 의해 얻어진다. #C 부프로그램은 최저주파수가 증가하여 최고주파수가 될 때까지 반복처리하며 이때 모우드가 결정되고 차단주파수와 비교하여 차단주파수 이하의 경우만을 선택한 후 사용가능한 모우드의 수를 출력한다. #C 부프로그램은 주파수가 증가할때마다 모우드분석 결과를 출력한다. 증가한 주파수가 최고주파수보다 클 때 #C프로그램은 종료되며 프로그램의 흐름은 #1 의 부프로그램으로 복귀된다. 또한 이 흐름은 다시 #1 의 프로그램에서 그림 6-1 의 흐름도로 복귀된다. 그림 6-17은 도파관 모우드 분석 프로그램 실행결과의 예이다. 출력 결과는 도파관 폭 2.286(cm) , 높이 1.016(cm)일 때 주파수 변화에 대한 사용가능한 모우드 수와 종류 및 각 모우드에 대한 차단주파수를 출력한다. 그림 6.17 에서 제시된 도파관의 경우 TE₁₀ 모우드만이 존재하는 주파수 구간은 8 GHz 에서 13 GHz 까지임을 알 수 있다

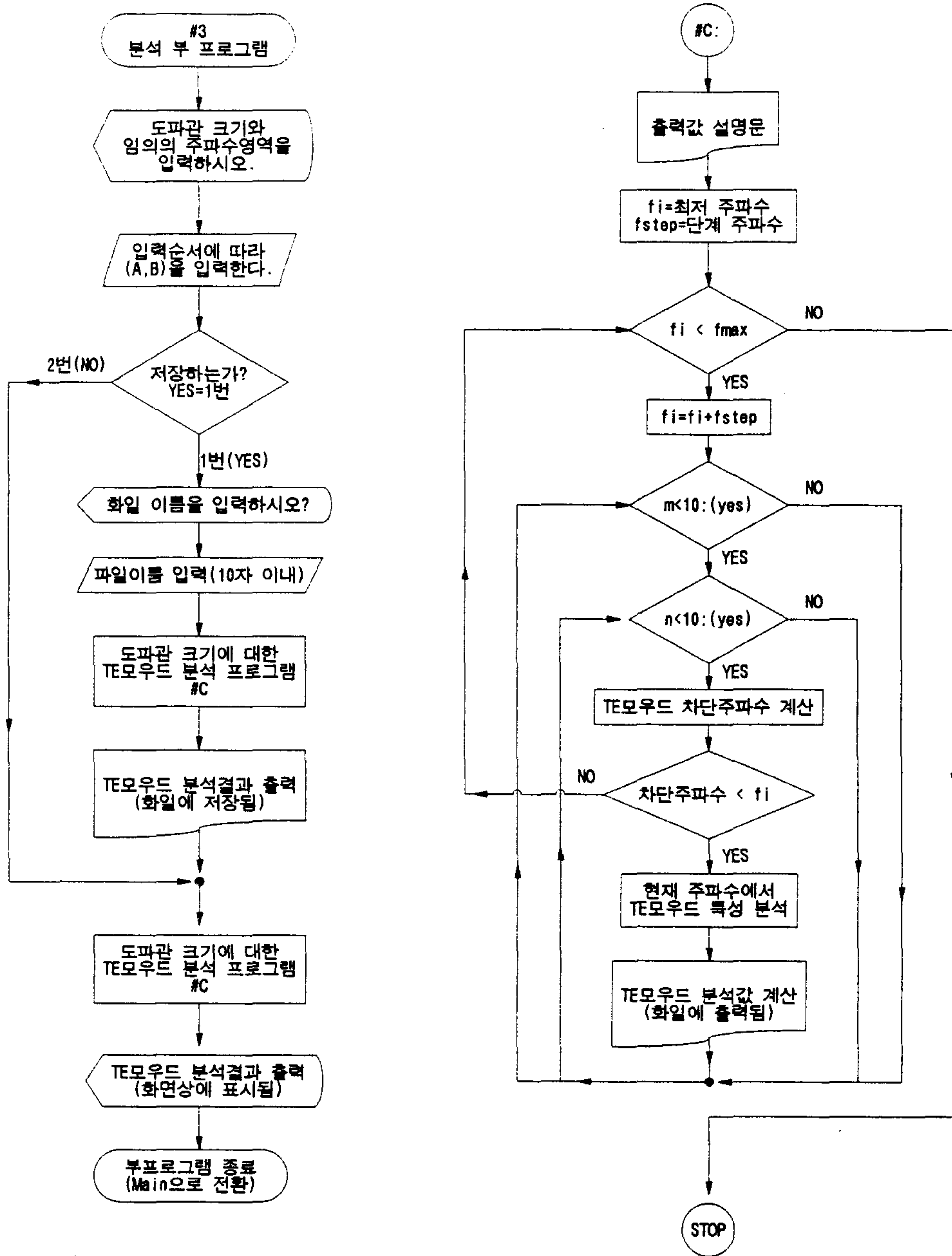


그림6-16. 도파관 TE모우드 분석 프로그램 흐름도.

(Fig.6-16. Flow-chart of the program for W/G TE mode analysis)

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

-----
Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

A : 2.286 cm      TE-MODE Analysis
B : 1.016 cm      =====
                    OPTION 3

                    Properties of TE(m,n) Mode:
-----
Analysis | Free-Space | Mode | Cutoff | Guide
Frequency | Wavelength | Index | Frequency | Wavelength
(GHz) | (cm) | m n | (GHz) | (cm)
-----
*****
8.0000 | 3.7474 | 1 0 | 6.5572 | 6.5416
9.0000 | 3.3311 | 1 0 | 6.5572 | 4.8631
10.000 | 2.9980 | 1 0 | 6.5572 | 3.9708
11.0000 | 2.7254 | 1 0 | 6.5572 | 3.3945
12.0000 | 2.4983 | 1 0 | 6.5572 | 2.9830
13.0000 | 2.3061 | 1 0 | 6.5572 | 2.6708
14.0000 | 2.1414 | 1 0 | 6.5572 | 2.4237
        |         | 2 0 | 13.1144 | 6.1180
15.0000 | 1.9986 | 1 0 | 6.5572 | 2.2222
        |         | 2 0 | 13.1144 | 4.1175
        |         | 0 1 | 14.7537 | 11.0750
16.0000 | 1.8737 | 1 0 | 6.5572 | 2.0542
        |         | 2 0 | 13.1144 | 3.2708
        |         | 0 1 | 14.7537 | 4.8425
17.0000 | 1.7635 | 1 0 | 6.5572 | 1.9114
        |         | 2 0 | 13.1144 | 2.7715
        |         | 0 1 | 14.7537 | 3.5497
        |         | 1 1 | 16.1453 | 5.6325
18.0000 | 1.6655 | 1 0 | 6.5572 | 1.7884
        |         | 2 0 | 13.1144 | 2.4316
        |         | 0 1 | 14.7537 | 2.9074
        |         | 1 1 | 16.1453 | 3.7672
19.0000 | 1.5779 | 1 0 | 6.5572 | 1.6812
        |         | 2 0 | 13.1144 | 2.1806
        |         | 0 1 | 14.7537 | 2.5042
        |         | 1 1 | 16.1453 | 2.9930
20.0000 | 1.4990 | 1 0 | 6.5572 | 1.5867
        |         | 2 0 | 13.1144 | 1.9854
        |         | 3 0 | 19.6716 | 8.3063
        |         | 0 1 | 14.7537 | 2.2202
        |         | 1 1 | 16.1453 | 2.5398
        |         | 2 1 | 19.7398 | 9.3234
*****

```

그림6-17 도파관 TE 모드 분석 프로그램 실행 결과
(Fig.6-17. Program results for W/G TE mode analysis)

제 4 절. 감도 분석에 의한 도파관 크기 합성

그림 6-18 은 그림 6-3의 흐름도에서 선택 3 에 대한 부프로그램의 흐름도이다. 이 프로그램은 감도분석에 의한 도파관 크기를 합성하는 프로그램이다. 프로그램의 흐름은 도파관의 크기를 제조하기 위하여 높이와 폭중 하나를 선택하는 판단을 하게되며 이 때 1 번은 도파관 폭의 치수를 결정하는 경우이고 2 번은 높이의 치수를 결정하는 경우이다. 프로그램에서 데이터 입력이 완료되면 프로그램의 흐름은 특성임피던스의 선택을 판단해야 하며 특성 임피던스 선택판단이 끝나면 도파관 분석 프로그램에성과 마찬가지로 출력될 데이터처리를 선택해야 한다. 감도 분석을 위한 프로그램의 모든 선택과 데이터 입력이 완료되면 도파관 제조를 위한 감도 분석결과는 그림 6-19 에서 보인 #F 부프로그램의 실행에 의하여 얻어진다. #F 부프로그램은 주파수가 최고주파수가 될때까지 반복처리되고 주파수가 증가할 때 마다 결과값을 출력한다. #F 부프로그램은 증가한 주파수값이 최고주파수보다 클 경우 종료되어 프로그램의 흐름은 그림 6-19 의 프로그램으로 복귀한다. 또한 프로그램의 흐름은 #3 프로그램에서 그림 6-3 의 프로그램으로 복귀한다. 그림 6-20 과 그림 6-21은 도파관 임피던스 분석 프로그램의 실행 결과의 예이다. 그림 6-20 에서 도파관 폭이 2.286(cm)이고 10 GHz 의 동작주파수에서 임피던스가 350 ohm을 가질 때 합성된 높이가 1.021(cm)임을 볼 수 있다. 합성된 도파관 크기에 대한 관내파장 감도와 위상정수 감도가 그림 6-20 에 출력되며 이때 TE_{10} 모우드의 차단주파수는 6.557 GHz이고 TE_{20} 모우드의 차단주파수는 13.114 GHz 임을 알 수 있다. 그림 6-21 의 출력결과는 도파관 높이 1.016 cm, 차단주파수 8.253 GHz 그외 조건은 그림 6-20 의 조건과 동일한 경우로서 합성된 도파관의 폭이 1.816 cm 임을 알 수 있다. 이때 TE_{20} 모우드의 차단주파수는 15,505 GHz 가 출력된다. 그림 20 과 그림 21 의 출력결과에서

공통적으로 감도 변화율이 적은 주파수영역은 9.7 GHz 이상이고 13 GHz 이하임을 알 수 있다.

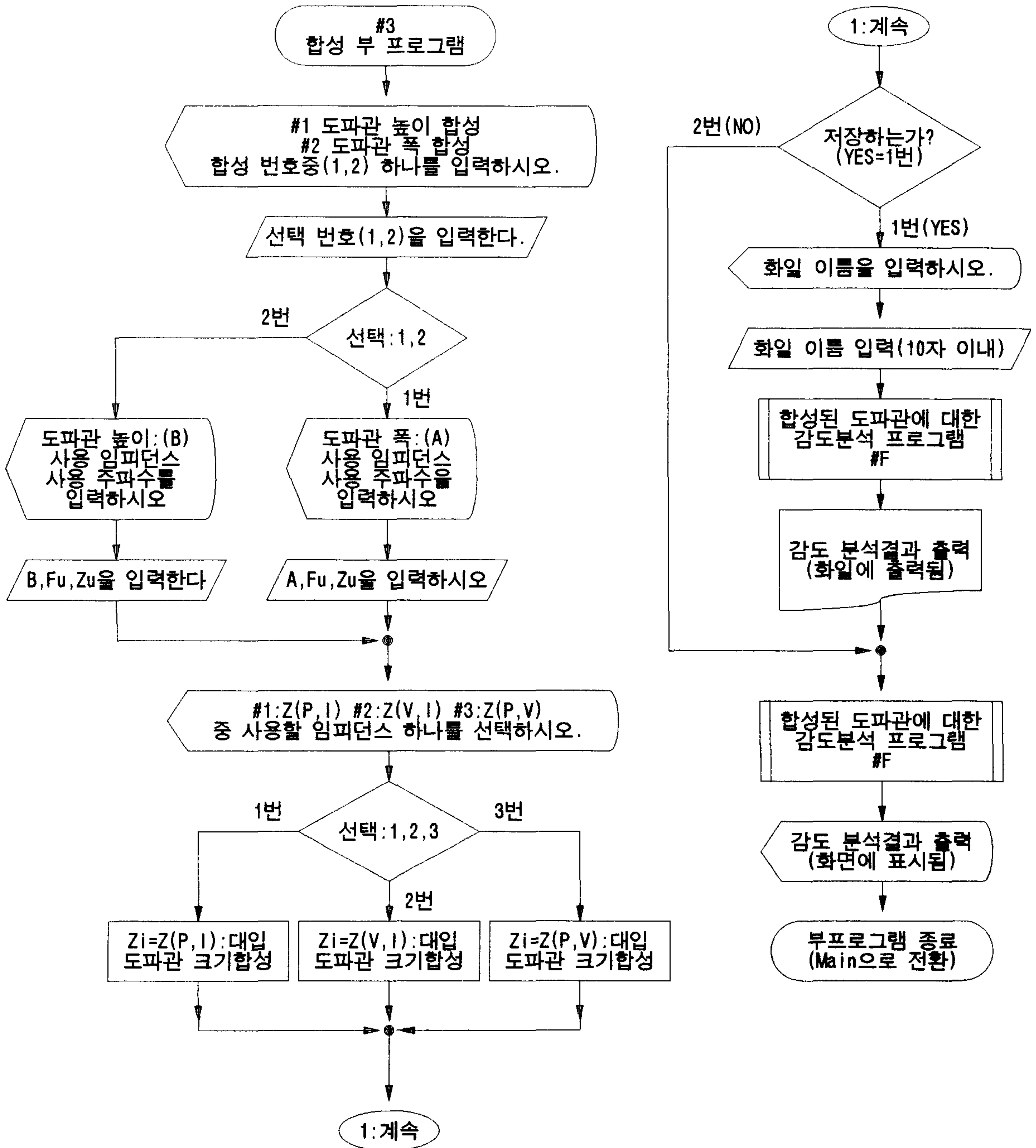


그림6-18. 도파관 합성을 위한 감도 분석 프로그램 흐름도 I.
(Fig.6-18. Flow-chart of the sensitivity analysis program for W/G synthesis I)

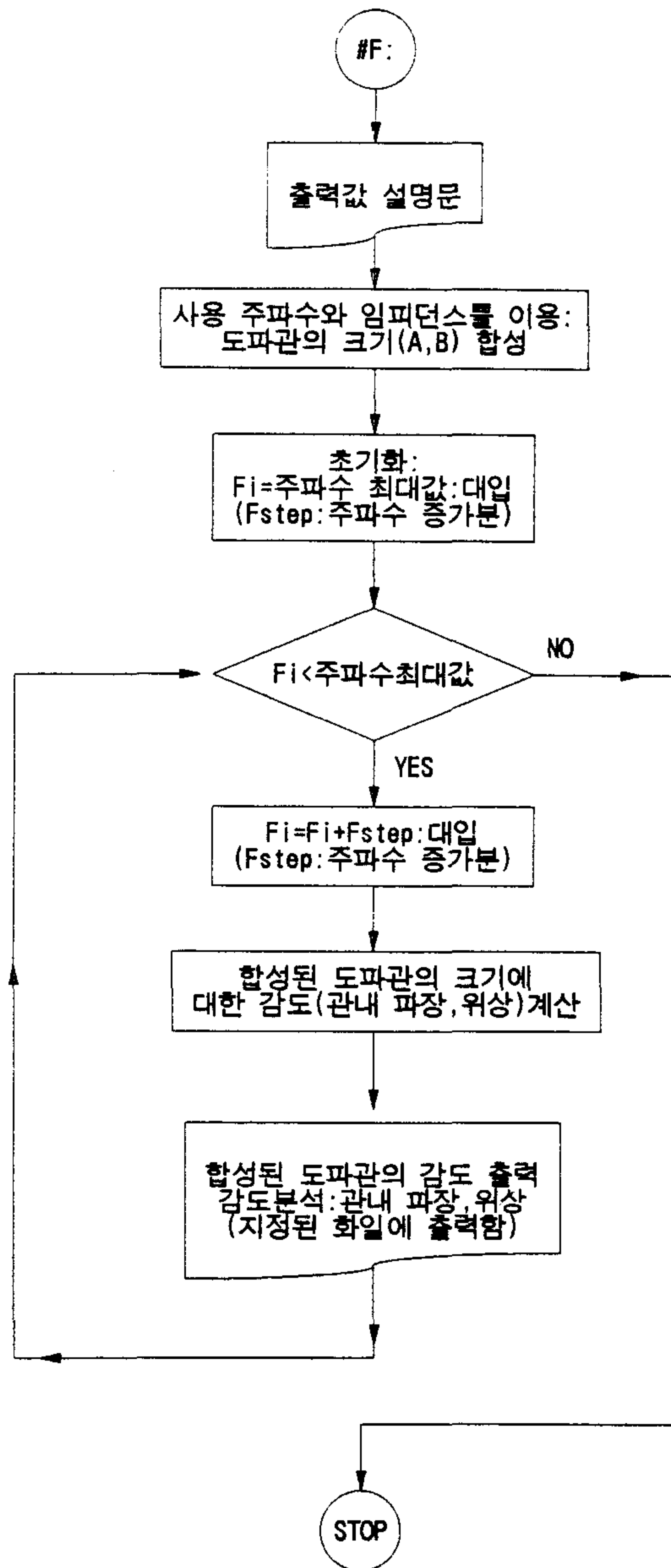


그림6-19. 도파관 합성을 위한 감도 분석 프로그램 흐름도 II.
(Fig.6-19. Flow-chart of the sensitivity analysis program
for W/G synthesis II)

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines						
A	: 2.286 cm	W/G Height Synthesis	TE(10) Freq: 6.557GHz			
B	: 1.021 cm	=====	TE(20) Freq: 13.114GHz			
Z(V, I)	: 350.00 ohm	OPTION 3	Cutoff length: 4.572cm			
	at 10.000 GHz					

Freque-ncy (GHz)	Wavelength [cm]	Sensitivity of Guide Impedance to W/G Width (A)	Sensitivity of Guide Impedance to W/G Height (B)	Sensitivity of Insertion to W/G Width (A)	Sensitivity of Insertion to W/G Height (B)	Phase
Free-sp	Guide-sp	Width (A)	Height (B)	Wavelength	Phase	
8.200	3.6560	6.0888	-2.7736	1.000	-1.774	1.774
8.350	3.5904	5.7991	-2.6088	1.000	-1.609	1.609
8.500	3.5270	5.5429	-2.4698	1.000	-1.470	1.470
8.650	3.4658	5.3142	-2.3510	1.000	-1.351	1.351
8.800	3.4068	5.1083	-2.2484	1.000	-1.248	1.248
8.950	3.3497	4.9216	-2.1588	1.000	-1.159	1.159
9.100	3.2945	4.7513	-2.0800	1.000	-1.080	1.080
9.250	3.2410	4.5951	-2.0101	1.000	-1.010	1.010
9.400	3.1893	4.4512	-1.9478	1.000	-0.948	0.948
9.550	3.1392	4.3179	-1.8920	1.000	-0.892	0.892
9.700	3.0907	4.1942	-1.8415	1.000	-0.842	0.842
9.850	3.0436	4.0787	-1.7959	1.000	-0.796	0.796
10.00	2.9980	3.9708	-1.7543	1.000	-0.754	0.754
10.150	2.9537	3.8695	-1.7163	1.000	-0.716	0.716
10.300	2.9106	3.7743	-1.6815	1.000	-0.681	0.681
10.450	2.8689	3.6845	-1.6494	1.000	-0.649	0.649
10.600	2.8283	3.5997	-1.6199	1.000	-0.620	0.620
10.750	2.7888	3.5193	-1.5925	1.000	-0.593	0.593
10.900	2.7504	3.4431	-1.5671	1.000	-0.567	0.567
11.050	2.7131	3.3707	-1.5435	1.000	-0.544	0.544
11.200	2.6767	3.3018	-1.5215	1.000	-0.522	0.522
11.350	2.6414	3.2361	-1.5010	1.000	-0.501	0.501
11.500	2.6069	3.1733	-1.4817	1.000	-0.482	0.482
11.650	2.5734	3.1133	-1.4637	1.000	-0.464	0.464
11.800	2.5406	3.0559	-1.4468	1.000	-0.447	0.447
11.950	2.5088	3.0009	-1.4308	1.000	-0.431	0.431
12.100	2.4777	2.9481	-1.4158	1.000	-0.416	0.416
12.250	2.4473	2.8973	-1.4016	1.000	-0.402	0.402
12.400	2.4177	2.8486	-1.3882	1.000	-0.388	0.388

그림6-20. 도파관 합성을 위한 감도 분석 프로그램 실행 결과의 예
-도파관 높이를 합성한 경우-

(Fig.6-20. Sensitivity analysis program results for W/G synthesis)
-Case of the W/G height synthesis-

제 6 장. 도파관 최적 설계를 위한 CAD 프로그램의 개발

```

-----
Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

A :1.816 cm      W/G Height Synthesis      TE(10) Freq: 8.253GHz
B :1.016 cm      =====
Z(V,I) :350.000 ohm      OPTION 3      Cutoff lenght: 3.633cm
at 10.000 GHz

-----

:      :      :      Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inser-
: Freque | Wavelength [cm] | Wavelength to W/G | tion to W/G Width(A)
: -ncy   | ----- | ----- | -----
: (GHz)  | Free-sp | Guide-sp | Width (A) | Height(B) | Wavelength | Phase
:*****
: 8.200  | 3.6560  | ----   | guide in Cutoff Frequency | 8.253 GHz | ----
: 8.350  | 3.5904  | 23.573 | -43.107 | 1.000   | -42.11  | 42.11
: 8.500  | 3.5270  | 14.725 | -17.431 | 1.000   | -16.43  | 16.43
: 8.650  | 3.4658  | 11.567 | -11.139 | 1.000   | -10.14  | 10.14
: 8.800  | 3.4068  | 9.812  | -8.296  | 1.000   | -7.30   | 7.30
: 8.950  | 3.3497  | 8.655  | -6.677  | 1.000   | -5.68   | 5.68
: 9.100  | 3.2945  | 7.818  | -5.631  | 1.000   | -4.63   | 4.63
: 9.250  | 3.2410  | 7.175  | -4.901  | 1.000   | -3.90   | 3.90
: 9.400  | 3.1893  | 6.661  | -4.362  | 1.000   | -3.36   | 3.36
: 9.550  | 3.1392  | 6.238  | -3.949  | 1.000   | -2.95   | 2.95
: 9.700  | 3.0907  | 5.881  | -3.621  | 1.000   | -2.62   | 2.62
: 9.850  | 3.0436  | 5.575  | -3.355  | 1.000   | -2.36   | 2.36
: 10.00  | 2.9980  | 5.308  | -3.135  | 1.000   | -2.14   | 2.14
: 10.150 | 2.9537  | 5.073  | -2.950  | 1.000   | -1.95   | 1.95
: 10.300 | 2.9106  | 4.864  | -2.793  | 1.000   | -1.79   | 1.79
: 10.450 | 2.8689  | 4.676  | -2.657  | 1.000   | -1.66   | 1.66
: 10.600 | 2.8283  | 4.507  | -2.539  | 1.000   | -1.54   | 1.54
: 10.750 | 2.7888  | 4.352  | -2.435  | 1.000   | -1.44   | 1.44
: 10.900 | 2.7504  | 4.210  | -2.343  | 1.000   | -1.34   | 1.34
: 11.050 | 2.7131  | 4.080  | -2.261  | 1.000   | -1.26   | 1.26
: 11.200 | 2.6767  | 3.959  | -2.188  | 1.000   | -1.19   | 1.19
: 11.350 | 2.6414  | 3.847  | -2.122  | 1.000   | -1.12   | 1.12
: 11.500 | 2.6069  | 3.743  | -2.062  | 1.000   | -1.06   | 1.06
: 11.650 | 2.5734  | 3.646  | -2.007  | 1.000   | -1.01   | 1.01
: 11.800 | 2.5406  | 3.555  | -1.957  | 1.000   | -0.96   | 0.96
: 11.950 | 2.5088  | 3.469  | -1.912  | 1.000   | -0.91   | 0.91
: 12.100 | 2.4777  | 3.388  | -1.870  | 1.000   | -0.87   | 0.87
: 12.250 | 2.4473  | 3.312  | -1.831  | 1.000   | -0.83   | 0.83
: 12.400 | 2.4177  | 3.239  | -1.795  | 1.000   | -0.80   | 0.80
:*****

```

그림6-21. 도파관 합성을 위한 감도분석 프로그램 실행 결과
 -도파관의 폭을 합성한 경우-
 (Fig.6-21. sensitivity analysis program results for W/G synthesis)
 -Case of the width synthesis-

제 5 절 원시 프로그램

```

/* */
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<string.h>
#define pi 3.14159265359
#define inch 2.54
#define ghelz 1000000000
void sub11(void);
void sub12(void);
void sub13(void);
void sub211(void);
void sub212(void);
void sub221(void);
void sub222(void);
void sub231(void);
void sub232(void);
main()
{
  int selt1, selt2, selt3;
  printf("          This Program is Microwave Computer-Aided Design   Wn");
  printf("          for Rectangular Waveguide Transmission Lines   WnWn");
  label:
  ;
  printf("**** Please Select Following Menu: **** Wn");
  printf("    #1 : Analysis of Characteristic Wn");
  printf("    #2 : Synthesis of Waveguide Dimension Wn");
  printf("---- Input Menu Selection ? ");
  scanf("%2d", &selt1);
  switch(selt1)
  {
    case 1: printf("          **** Please Select Following Menu: **** Wn");

```



```

printf("          #1 : Impedance Analysis versus Frequency Wn");
printf("          #2 : Sensitivity Analysis versus Frequency Wn");
printf("          #3 : TE(m,n) Mode Analysis versus Frequency WnWn");
printf("---- Input Menu Selection ? ");
scanf("%2d",&sel2);
switch(sel2)
{
  case 1: sub11();
          break;
  case 2: sub12();
          break;
  case 3: sub13();
          break;
}
break;

case 2: printf("          **** Please Select Following Menu: **** Wn");
printf("          #1 : Dimensional Synthesis versus Impedance Wn");
printf("          #2 : Dimensional Synthesis with Frequency AnalysisWn");
printf("          #3 : Dimensional Synthesis with Sensitivity AnalysisWnWn");
printf("---- Input Menu Selection ? ");
scanf("%2d",&sel2);
switch(sel2)
{
  case 1: printf("          **** Please Select Following Dimensional Menu: **** Wn");
printf("          #1 : Synthesis of Waveguide Height (B): Wn");
printf("          #2 : Synthesis of Waveguide Width (A): Wn");
printf("          ---- Input Menu Selection ? ");
scanf("%2d",&sel3);
switch(sel3)
{

```

```

        case 1: sub211();
                break;
        case 2: sub212();
                break;
    }
    break;
case 2: printf("        **** Please Select Following Dimensional Menu: **** Wn");
        printf("        #1 : Synthesis of Waveguide Height (B): Wn");
        printf("        #2 : Synthesis of Waveguide Width (A): Wn");
        printf("        ---- Input Menu Selection ? ");
        scanf("%2d",&sel3);
        switch(sel3)
        {
            case 1: sub221();
                    break;
            case 2: sub222();
                    break;
        }
    break;
case 3: printf("        **** Please Select Following Dimensional Menu: **** Wn");
        printf("        #1 : Synthesis of Waveguide Height (B): Wn");
        printf("        #2 : Synthesis of Waveguide Width (A): Wn");
        printf("        ---- Input Menu Selection ? ");
        scanf("%2d",&sel3);
        switch(sel3)
        {
            case 1: sub231();
                    break;
            case 2: sub232();
                    break;
        }
    break;

```

```
                |
                | break;
                |
        |
        | printf("                **** Please Select Following Menu: **** \n");
        | printf("                #1 : Program Continue \n");
        | printf("                #2 : Stop the Program \n");
        | printf("                ---- Input Menu Selection ? ");
        | scanf("%2d",&selt3);
        | if (selt3==1) goto label;
        |
void subl1()
|
  int select9;
  float a,b,myu,eip,fmax,fmin,fj,f10,f20,res,rs,sr,alpa;
  float fstep,fi,c,pimax,landai,landaj,z0,zn,rate1,rate2,landag,landac,zvi,zpi,zpv;
  char filename[10];
  FILE *fp;
  myu= 4*pi* 0.000000001;
  eip= 8.854*0.000000000000001;
  c=1/sqrt(myu*eip);
  printf("\n\n                **** Please Input the Following Message: **** \n");
  printf("                # Waveguide Width [ cm ] : (A) = ");
  scanf("%10f",&a );
  printf("                # Waveguide Height [ cm ] : (B) = ");
  scanf("%10f",&b);
  printf("                # Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =");
  scanf("%10f",&res);
  printf("                # Surface Roughness [micro-inches] =");
  scanf("%10f",&sr);
```

```

f10= c/(2*a*ghelz);
f20= c/(a*ghelz);
printf("\n
printf("
printf("
scanf("%5f",&fmin);
printf("
scanf("%5f",&fmax);
printf("
scanf("%5f",&fstep);
z0=376.734;
printf("
scanf("%2d",&select9);
if(select9==1)
{
printf("
scanf("%s",filename);
fp=fopen(filename,"w");
fprintf(fp,"-----|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
printf("Microwave Computer-Aided Design for|Wn");
printf("Rectangular Waveguide Transmission Lines|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
fprintf(fp,"|Wn");
}

```



```

fprintf(fp, " |Wn");
fprintf(fp, " |Wn");
fprintf(fp, " | Freque | Wavelength [cm] | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- |Wn");
fprintf(fp, " | -ncy | ----- | ----- | Loss | Power |Wn");
fprintf(fp, " | (GHz) | Free-sp |Guide-sp | Z(P, I) | Z(V, I) | Z(P, V) | [ dB/m ] | [ kW ] |Wn");
fprintf(fp, " *****Wn");
for(fi=fmin*ghelz; fi<=fmax*ghelz; fi=fi+fstep*ghelz)
|
    landai=c/fi;
    landac=2*a;
    if(fi<(f10*ghelz))
        | fprintf(fp, " | %6.3f   %7.4f   ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ---- |Wn",
            fi/ghelz, landai, f10);
        continue;
    |
    ratel=landai/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landai/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    rs=sqrt(pi*fi*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
    alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*ratel*ratel)*30.48;
    pimax=(900*a*b*(landai/landag)*1000)/(4*1508);
    fprintf(fp, " | %6.3f   %7.4f   %7.4f   %7.2f   %7.2f   %7.2f   %6.4f   %7.3f |Wn",
            fi/ghelz, landai, landag, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
|
fprintf(fp, " *****Wn");
fclose(fp);
|

```

```

printf("----- Wn");
printf("----- Wn");
printf("----- Wn");
printf("----- Wn");
printf("----- Wn");
printf("      A  :%5.3f cm      Impedance Analysis      Res  :%7.5f |Wn", a, res);
printf("      B  :%5.3f cm      ===== SR  :%7.4f |Wn", b, sr);
printf(" Length :%7.5f cm      OPTION 1      TE(10) Freq :%7.3f GHz |Wn", 2*a, f10);
printf("                                         TE(20) Freq :%7.3f GHz |Wn", f20);
printf("----- Wn");
printf("----- Wn");
printf("  Freque | Wavelength [cm] | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- |Wn");
printf("  -ncy   | ----- | ----- | Loss   | Power |Wn");
printf("  (GHz)  | Free-sp |Guide- sp| Z(P,I) | Z(V,I) | Z(P,V) | [ dB/m ] | [ kW ] |Wn");
printf("*****Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz)
{
  landaj=c/fj;
  landac=2*a;
  if(fj<(f10*ghelz))
  { printf("| %6.3f  %7.4f  ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz ---- |Wn",
        fj/ghelz, landaj, f10);
    continue;
  }
  ratel=landaj/landac;
  rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
  landag=landaj/rate2;
  zn= z0/rate2;
  zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
  zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
  zpv=2*(b/a)*zn;
}

```

```

rs=sqrt(pi*fj*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch*inch);
alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*rate1*rate1)*100;
pimax=(900*a*b*(landaj/landag)*1000)/(4*1508);
printf("| %6.3f   %7.4f   %7.4f   %7.2f   %7.2f   %7.2f   %6.4f   %7.3f |%n",
      fj/ghelz, landaj, landag, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
|
printf("*****%n");
|
void subl2()
|
int selt9;
float a,b,salg,sbeta,sbzvi,sazvi,myu,eip,fmax,fmin,f10,f20;
float fstep,fi,fj,c,landai,landaj,z0,zn,rate1,rate2,landag,landac,zvi,zpi,zpv;
char filename[10];
FILE *fp;
myu=4*pi*0.000000001;
eip=8.854*0.000000000000001;
c=1/sqrt(myu*eip);
z0=376.734;
printf("          **** Please Input the Following Message: **** %n");
printf("          # Waveguide Width [ cm ] : (A) = ");
scanf("%10f",&a );
printf("          # Waveguide Height [ cm ] : (B) = ");
scanf("%10f",&b );
f10=c/(2*a*ghelz);
f20=c/(a*ghelz);
landac=2*a;
printf("%n          **** Please Input Frequency Range for Sensitivity Analysis: **** %n");
printf("          # TE10 Mode Cutoff Frequency %6.4f GHz %n",f10);
printf("          # Analysis START Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fmin);

```

```
printf("                                     # Analysis STOP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fmax);
printf("                                     # Analysis STEP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fstep);
printf("#n                                     # Output Data Save to File(Yes=1,No=2) ? = ");
scanf("%2d",&sel9);
if(sel9==1)
{
    printf("                                     # Input Filename [sample.dat] =");
    scanf("%s",filename);
    fp=fopen(filename,"w");
    fprintf(fp,"----- Wn");
    fprintf(fp,"| Wn");
    fprintf(fp,"|                                     | Wn");
    fprintf(fp,"|      Microwave Computer-Aided Design for | Wn");
    fprintf(fp,"|      Rectangular Waveguide Transmission Lines | Wn");
    fprintf(fp,"|                                     | Wn");
    fprintf(fp,"|      A  :%5.3f cm       W/G Height Synthesis   TE(10) Freq:%6.3fGHz |Wn",
    fprintf(fp,"|      B  :%5.3f cm       ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz |Wn",
    fprintf(fp,"|                                     OPTION2      Cutoff lenght:%5.3f |Wn",
    fprintf(fp,"|                                     | landac);
    fprintf(fp,"| Wn");
    fprintf(fp,"|----- Wn");
    fprintf(fp,"| Freque | Wavelength [cm] | Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inser- | Wn");
    fprintf(fp,"| -ncy   | ----- | Wavelength to W/G   | tion to W/G Width(A) | Wn");
    fprintf(fp,"| (GHz) | Free-sp| Guide-sp | Width (A) | Height(B)| Wavelength | Phase | Wn");
    fprintf(fp,"| ***** Wn");
    for(fi=fmin*ghelz; fi<=fmax*ghelz; fi=fi+fstep*ghelz)
    {
```



```

landai=c/fi;
if(fi<(f10*ghelz))
    { fprintf(fp,"| %6.3f   %7.4f   ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz ---- |Wn",
              fi/ghelz,landai,f10);
      continue;
    }
rate1=landai/landac;
rate2=sqrt(1-rate1*rate1);
landag=landai/rate2;
zn= z0/rate2;
zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
zpv=2*(b/a)*zn;
sbzvi=1.0;
salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
sazvi=-(landag*landag)/(landai*landai);
sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);
fprintf(fp,"| %6.3f   %7.4f   %7.4f   %7.4f   %6.3f   %7.4f   %6.4f |Wn",
        fi/ghelz,landai,landag,sazvi,sbzvi,salg,sbeta);
}
fprintf(fp,"*****Wn");
}
printf("-----Wn");
printf("|Wn");
printf("|Wn");
printf("Microwave Computer-Aided Design for |Wn");
printf("Rectangular Waveguide Transmission Lines |Wn");
printf("|Wn");
printf("A :%5.3f cm   Sensitivity Analysis   TE(10) Freq:%6.3fGHz |Wn",a,f10);
printf("B :%5.3f cm   ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz |Wn",b,f20);
printf("OPTION2   Cutoff length:%5.3f |Wn",landac);
printf("|Wn");

```

```

printf(" |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Wn");
printf(" |           |           |           |           |           |           |           |           |Wn");
printf(" | Freque   | Wavelength [cm] |           |           |           |           |           |           |Wn");
printf(" | -ncy     | -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Wn");
printf(" | (GHz)    | Free-sp| Guide-sp | Width (A) | Height(B) | Wavelength | Phase    | Wn");
printf(" | *****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz)
{
    landaj=c/fj;
    if(fj<(f10*ghelz))
        { printf(" | %6.3f   %7.4f   ----  Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----  |Wn",
                fj/ghelz, landaj, f10);
          continue;
        }
    ratel=landaj/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landaj/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    sbzvi=1.0;
    salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
    sazvi=-(landag*landag)/(landaj*landaj);
    sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);
    printf(" | %6.3f   %7.5f   %7.5f   %7.4f   %6.3f   %7.4f   %6.4f   |Wn",
           fj/ghelz, landaj, landag, sazvi, sbzvi, salg, sbeta);
}
printf(" | *****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|Wn");
}
void sub13()

```

```

int select9, m, n;
float a, b, myu, eip, fmax, fmin, fj, landa1, landa2;
float fstep, fi, fc1, fc2, c, landai, landaj, ratel, rate2, landag, landac2;
char filename[10];
FILE *fp;
myu= 4*pi* 0.000000001;
eip= 8.854*0.000000000000001;
c=1/sqrt(myu*eip);
landa1=0.0;
landa2=0.0;
printf("          **** Please Input Following Message: ****\n");
printf("          # Waveguide Width [ cm ] : (A) = ");
scanf("%10f", &a );
printf("          # Waveguide Height [ cm ] : (B) = ");
scanf("%10f", &b);
printf("\n          **** Please Input Frequency for Mode Analysis: ****\n");
printf("          # Analysis START Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fmin);
printf("          # Analysis STOP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fmax);
printf("          # Analysis STEP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fstep);
printf("\n          # Output Data Save to File(Yes=1, No=2) ? = ");
scanf("%2d", &select9);
if(select9==1)
{
printf("          # Enter Filename [sample.dat] =");
scanf("%s", filename);
fp=fopen(filename, "w");
fprintf(fp, "-----\n");
}

```



```

fc2=(c/(2*pi))*sqrt(((m*m*pi*pi)/(a*a))+((n*n*pi*pi)/(b*b)));
landac2=c/fc2;
if(landac2<landaj) continue;
rate1=landaj/landac2;
rate2=sqrt(1-rate1*rate1);
landag=landaj/rate2;
if(landa2==landaj) printf("%2d %2d %8.4f
%8.4f |Wn", m, n, fc2/ghelz, landag);
else {
printf("%8.4f %8.4f %2d %2d %8.4f %8.4f |Wn",
fj/ghelz, landaj, m, n, fc2/ghelz, landag);
landa2=landaj;
}
}
}
printf("*****Wn");
}

void sub211()
{
int selt9, selt8;
float a, b, myu, eip, zmax, zmin, zi, zvi, zpi, zpv, res, rs, sr, pimax, alpa;
float zstep, fu, zj, c, fc, landa, z0, zn, ratel, rate2, landag, landac;
char filename[10];
FILE *fp;
myu=4*pi*0.000000001;
eip=8.854*0.000000000000001;
c=1/sqrt(myu*eip);
z0=sqrt(myu/eip);
printf("
**** Please Input the Following Message: **** Wn");
printf("
# Waveguide Width [ cm ] : (A) = ");

```

```

scanf("%5f",&a );
printf("                                # Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =");
scanf("%10f",&res);
printf("                                # Suface Roughness [ micro-inches] =");
scanf("%10f",&sr);
fc=c/(2*a*ghelz);
printf("\n ***** Input Operating Frequency where Impedance Exists: ***** \n");
printf("                                # Operating Frequency [GHz] = ");
scanf("%5f",&fu);
printf("                                # MINimum Impedance at Frequency %5.3fGHz [ohm] = ",fu);
scanf("%5f",&zmin);
printf("                                # MAXimum Impedance at Frequency %5.3fGHz [ohm] = ",fu);
scanf("%5f",&zmax);
printf("                                # STEP Impedance at Frequency %5.3fGHz [ohm] = ",fu);
scanf("%5f",&zstep);
printf("\n ***** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ***** \n");
printf("                                1 Power -Current Imp. : Z(P,I) \n");
printf("                                2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I) \n");
printf("                                3 Power -Voltage Imp. : Z(P,V) \n");
printf("                                ---- Input Impedance Selection ? = ");
scanf("%2d",&selt8);
printf("\n ***** Output Data Save to File(Yes=1,No=2) ? = ");
scanf("%2d",&selt9);
if(selt9==1){
printf("                                # Enter Filename [sample.dat] =");
scanf("%s",filename);
fp=fopen(filename,"w");
fprintf(fp,"----- \n");
fprintf(fp,"| \n");
fprintf(fp,"| Microwave Computer-Aided Design for \n");
fprintf(fp,"| Rectangular Waveguide Transmission Lines \n");
}

```

```

fprintf(fp, "|
fprintf(fp, "|      ( A ) :%5.3f cm      W/G Height Synthesis      Res :%7.5f      |Wn");
fprintf(fp, "| Operating      =====      SR :%7.4f      |Wn",
      sr);
fprintf(fp, "| Frequency :%5.3f GHz      OPTION 2      |Wn",
      fu);
fprintf(fp, "|      |Wn");
fprintf(fp, "| -----|Wn");
fprintf(fp, "| Cutoff| Wavelength [cm] | W/G | Guide Impedance [ohm] | Total-| Peak- |Wn");
fprintf(fp, "| Freq- |-----| Height |-----| Loss | Power |Wn");
fprintf(fp, "| (GHz) |Free-sp| Guide-sp| B | Z(P, I)| Z(V, I)| Z(P, V)| [dB/m]| [ kW ] |Wn");
fprintf(fp, "*****|Wn");
for(zi=zmin; zi<=zmax; zi=zi+zstep)
|
    landa=c/(fu*ghelz);
    landac=2*a;
    ratel=landa/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landa/rate2;
    zn=z0/rate2;
    switch(selt8){
        case 1: zpi=zi;
                b=(zpi*8*a)/(pi*pi*zn);
                break;
        case 2: zvi=zi;
                b=(2*a*zvi)/(zn*pi);
                break;
        case 3: zpv=zi;
                b=(zpv*a)/(2*zn);
                break;
    }

```



```

    |
    zpi=(zn*pi*b*pi)/(8*a);
    zvi=(zn*pi*b)/(2*a);
    zpv=(2*b*zn)/(a);
    rs=sqrt(pi*fu*ghelz*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
    alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*rate1*rate1)*100;
    pimax=(900*(a*b)*(landa/landag)*1000)/(4*1508);
    fprintf(fp,"| %6.4f   %6.4f   %6.4f   %5.4f   %6.2f   %6.2f %7.2f   %6.4f   %6.2f |Wn",
                                                    fc, landa, landag, b, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
    |
    fprintf(fp," *****Wn");
    fclose(fp);
|
printf("-----Wn");
printf("|Wn");
printf("|
           Microwave Computer-Aided Design for |Wn");
printf("|
           Rectangular Waveguide Transmission Lines |Wn");
printf("|Wn");
printf("|
           (A) :%5.3f cm           W/G Height Synthesis           Res :%7.5f |Wn", a, res);
printf("|
           Operating           =====           SR :%7.4f |Wn", sr);
printf("|
           Frequency :%5.3f GHz           OPTION 2           |Wn", fu);
printf("|Wn");
printf("-----Wn");
printf("| Cutoff| Wavelength [cm] | W/G | Guide Impedance [ohm] | Total-| Peak- |Wn");
printf("| Freq- |-----| Height |-----| Loss | Power |Wn");
printf("| (GHz) |Free-sp|Guide-sp | B | Z(P,I)| Z(V,I)| Z(P,V)| [dB/m]| [ kW ] |Wn");
printf("*****Wn");
for(zj=zmin; zj<=zmax; zj=zj+zstep)
|
    landa=c/(fu*ghelz);
    landac=2*a;

```

```

rate1=landa/landac;
rate2=sqrt(1-rate1*rate1);
landag=landa/rate2;
zn=z0/rate2;
switch(selt8){
  case 1: zpi=zj;
          b=(zpi*8*a)/(pi*pi*zn);
          break;
  case 2: zvi=zj;
          b=(2*a*zvi)/(zn*pi);
          break;
  case 3: zpv=zj;
          b=(zpv*a)/(2*zn);
          break;
}
zpi=(zn*pi*b*pi)/(8*a);
zvi=(zn*pi*b)/(2*a);
zpv=(2*b*zn)/(a);
rs=sqrt(pi*fu*ghelz*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
alpa=((8.68589*rs)/(b*inch*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*rate1*rate1)*100;
pimax=(900*(a*b)*(landa/landag)*1000)/(4*1508);
printf("| %6.4f  %6.4f  %6.4f  %5.4f  %6.2f  %6.2f  %7.2f  %6.4f  %6.2f |Wn",
          fc, landa, landag, b, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
|
printf("*****Wn");
|
void sub212(void)
{
  int selt8, selt9;
  float a, b, rs, res, sr, fci, fcj, pimax, myu, eip, landau, zmax, zmin, landacj;
  float zstep, zi, zj, fu, c, z0, zn, alpa, rate1, rate2, landag, landaci, zvi, zpi, zpv;

```

```

char filename[10];
FILE *fp;
myu=4*pi*0.000000001;
eip=8.854*0.000000000000001;
c=1/sqrt(myu*eip);
z0=376.734;
printf("
**** Please Input the Following Message: **** \n");
printf("
# Waveguide Height [ cm ] : (B)= ");
scanf("%10f",&b );
printf("
# Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =");
scanf("%10f",&res);
printf("
# Surface Roughness [micro-inches] =");
scanf("%10f",&sr);
printf("\n
**** Input Operating Frequency where Impedance Exists: **** \n\n");
printf("
# Operating Frequency [GHZ] = ");
scanf("%10f",&fu );
landau=c/(fu*ghelz);
printf("
# Minimum Impedance at Frequency %5.3fGHz [ohms] = ",fu);
scanf("%5f",&zmin);
printf("
# Maximum Impedance at Frequency %5.3fGHz [ohms] = ",fu);
scanf("%5f",&zmax);
printf("
# Impedance STEP size at Frequency %5.3fGHz [ohms] = ",fu);
scanf("%5f",&zstep);
printf("\n
**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? **** \n");
printf("
1 Power -Current Imp. : Z(P,I) \n");
printf("
2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I) \n");
printf("
3 Power -Voltage Imp. : Z(P,V) \n");
printf("
---- Input Impedance Selection ? = ");
scanf("%2d",&sel8);
printf("\n
# Output Data Save to File(Yes=1,No=2) ? = ");
scanf("%2d",&sel9);

```

```

if(selt9==1) {
    printf("                # Enter Filename [sample.dat] =");
    scanf("%s", filename);
    fp=fopen(filename, "w");
    fprintf(fp, "----- Wn");
    fprintf(fp, " | Wn");
    fprintf(fp, " |                Microwave Computer-Aided Design for | Wn");
    fprintf(fp, " |                Rectangular Waveguide Transmission Lines | Wn");
    fprintf(fp, " |                (B) :%5.3f cm      W/G Width Synthesis      Res :%7.5f | Wn",
    fprintf(fp, " |                Operating      =====      SR :%7.4f | Wn",
    fprintf(fp, " |                Frequency :%6.3f GHz      OPTION 1      | Wn",
    fprintf(fp, " |                fu);
    fprintf(fp, " | Wn");
    fprintf(fp, " |----- Wn");
    fprintf(fp, " | Cutoff | Wavelength [cm] | W/G | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- | Wn");
    fprintf(fp, " | Freq-  |-----| Height |-----| Loss | Power | Wn");
    fprintf(fp, " | (GHz)  |Free-sp|Guide-sp| A      | Z(P, I) | Z(V, I) | Z(P, V) | [dB/m] | [ kW ] | Wn");
    fprintf(fp, " |***** Wn");
    for(zi=zmin; zi<=zmax; zi=zi+zstep)
    {
        switch(selt8)
        {
            case 1:  zpi=zi;
                    landaci=sqrt( ((pi*pi*pi*pi*b*b*z0*z0)/(4*4*zpi*zpi))+(landau*landau));
                    a=0.5*landaci;
                    break;
            case 2:  zvi=zi;
                    landaci=sqrt( ((pi*pi*b*b*z0*z0)/(zvi*zvi))+(landau*landau));

```



```

        a=0.5*landaci;
        break;
    case 3:  zpv=zi;
            landaci=sqrt( ((16*z0*z0*b*b)/(zpv*zpv))+(landau*landau));
            a=0.5*landaci;
            break;
    }
    fci=c/landaci;
    ratel=landau/landaci;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landau/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    rs=sqrt(pi*fu*ghelz*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
    alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*ratel*ratel)*100;
    pimax=(900*(a*b)*(landau/landag)*1000)/(4*1508);
    fprintf(fp, "%7.4f %7.4f %7.4f %6.3f %6.2f %6.2f %7.2f %6.4f %7.2f |Wn",
            fci/ghelz, landau, landag, a, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
    }
    fprintf(fp, "*****Wn");
    fclose(fp);
}
printf("-----Wn");
printf(" |Wn");
printf(" |Wn");
printf(" |Wn");
printf(" |Wn");
printf(" |Wn");
printf(" (B) :%5.3f cm W/G Width Synthesis Res :%7.5f |Wn", b, res);
printf(" Operating ===== SR :%7.4f |Wn", sr);

```

```

printf(" | Frequency :%6.3f GHz          OPTION 1                                |Wn", fu);
printf(" |                                                                    |Wn");
printf(" |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Wn");
printf(" | Cutoff | Wavelength [cm]| W/G cm | Guide Impedance [ohm] | Total-| Peak- |Wn");
printf(" | Freq-  |-----| Height |-----| Loss  | Power |Wn");
printf(" | (GHz)  |Free-sp|Guide-sp| B      | Z(P,I)| Z(V,I)| Z(P,V)| [dB/m]| [ kW ] |Wn");
printf(" |*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|Wn");
for(zj=zmin; zj<=zmax; zj=zj+zstep){
    switch(selt8){
        case 1: zpi=zj;
                landacj=sqrt( ((pi*pi*pi*pi*b*b*z0*z0)/(4*4*zpi*zpi))+(landau*landau));
                a=landacj/2;
                break;
        case 2: zvi=zj;
                landacj=sqrt( ((pi*pi*b*b*z0*z0)/(zvi*zvi))+(landau*landau));
                a=landacj/2;
                break;
        case 3: zpv=zj;
                landacj=sqrt( ((16*z0*z0*b*b)/(zpv*zpv))+(landau*landau));
                a=landacj/2;
                break;
    }
    fcj=c/(landacj*inch);
    ratel=landau/landacj;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landau/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    rs=sqrt(pi*fu*ghelz*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
}

```

```

    alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*rate1*rate1)*100;
    pimax=(900*a*b*(landau/landag)*1000)/(4*1508);
    printf("|%7.4f %7.4f %7.4f %6.3f %6.2f %6.2f %7.2f %6.4f %7.2f |%n",
           fcj/ghelz, landau, landag, a, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
}
printf(" *****%n");
}
void sub221(void)
{
    int selt8, selt9;
    float a, b, alpa, pimax, myu, landaj, eip, fmax, fmin, res, sr, rs, f10, f20;
    float fstep, fi, fj, fu, c, landai, z0, zn, znu, zu, rate1, rate2, landag, landac, zvi, zpi, zpv;
    float landau;
    char filename[10], zname[7];
    FILE *fp;
    myu=4*pi*0.000000001;
    eip=8.854*0.000000000000001;
    c=1/sqrt(myu*eip);
    z0=376.734;
    printf("          **** Please Input the Following Message: **** %n");
    printf("          # Waveguide Width [ cm ] : (A) = ");
    scanf("%5f", &a);
    printf("          # Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =");
    scanf("%10f", &res);
    printf("          # Suface Roughness [micro-inches] =");
    scanf("%10f", &sr);
    f10=c/(2*a*ghelz);
    f20=c/(a*ghelz);
    printf("%n          **** Please Input Operating Frequency where Impedance Exists: **** %n");
    printf("          # Operating Frequency [GHz] = ");
    scanf("%10f", &fu);
}

```

```

printf("                                # Impedance at %6.2f GHz [ohm] = ", fu);
scanf("%10f", &zu );
printf("                                # TE10 Mode Cutoff Frequency [ GHz ] = %6.4f WnWn", f10);
printf("Wn                                **** Please Input Frequency Range for Impedance Analysis: **** Wn");
printf("                                # Analysis START Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fmin);
printf("                                # Analysis STOP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fmax);
printf("                                # Analysis STEP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f", &fstep);
printf("Wn                                **** Selected Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? **** Wn");
printf("                                1 Power -Current Imp. : Z(P, I) Wn");
printf("                                2 Voltage-Current Imp. : Z(V, I) Wn");
printf("                                3 Power -Voltage Imp. : Z(P, V) Wn");
printf("                                ---- Input Impedance Selection ? = ");
scanf("%2d", &selt8);
landau=c/(fu*ghelz);
landac=2*a;
znu=z0/sqrt(1-(landau/landac)*(landau/landac));
switch(selt8)
{
case 1: strcpy(zname, "Z(P, I)");
        b=(8*a*zu)/(znu*pi*pi);
        break;
case 2: strcpy(zname, "Z(V, I)");
        b=(2*a*zu)/(znu*pi);
        break;
case 3: strcpy(zname, "Z(P, V)");
        b=(2*zu)/(znu*a);
        break;
}

```



```

printf("\n                                         # Output Data Save to File (Yes=1) ? = ");
scanf("%2d",&sel9);
if(sel9==1)
{
    printf("                                         # Enter Filename [sample.dat] =");
    scanf("%s",filename);
    fp=fopen(filename,"w");
    fprintf(fp,"----- Wn");
    fprintf(fp,"| Wn");
    fprintf(fp,"| A :%5.3f cm W/G Height Synthesis Res :%7.5f |Wn",
a,res);
    fprintf(fp,"| B :%5.3f cm ===== SR :%6.3f |Wn",
b,sr);
    fprintf(fp,"| Cutoff Length :%6.3f cm OPTION 2 TE(10) Freq :%6.3f GHz |Wn",
2*a,f10);
    fprintf(fp,"| TE(20) Freq :%6.3f GHz |Wn",
f20);
    fprintf(fp,"| %s =%7.3f ohm |Wn",
zname,zu);
    fprintf(fp,"| at %6.3f GHz |Wn",
fu);
    fprintf(fp,"| Wn");
    fprintf(fp,"|----- Wn");
    fprintf(fp,"| Freque | Wavelength [cm] | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- |Wn");
    fprintf(fp,"| -ncy |----- |----- | Loss | Power |Wn");
    fprintf(fp,"| (GHz) |Free-sp |Guide-sp | Z(P,I) | Z(V,I) | Z(P,V) | [ dB/m ] | [ kW ] |Wn");
    fprintf(fp,"| ***** Wn");
    for(fi=fmin*ghelz; fi<=fmax*ghelz; fi=fi+fstep*ghelz)
    {
        landai=c/fi;
        landac=2*a;
    }
}

```

```

if(fi<(f10*ghelz))
    { fprintf(fp,"| %6.3f   %7.4f   ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----   |Wn",
              fi/ghelz,landai,f10);
      continue;
    }
rate1=landai/landac;
rate2=sqrt(1-rate1*rate1);
landag=landai/rate2;
zn=z0/rate2;
zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
zpv=2*(b/a)*zn;
rs=sqrt(pi*fi*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
alpha=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*rate1*rate1)*100;
pimax=(900*a*b*(landai/landag)*1000)/(4*1508);
fprintf(fp,"| %7.3f   %7.4f   %7.4f   %8.2f %8.2f %8.2f   %6.4f   %7.2f |Wn",
         fi/ghelz,landai,landag,zpi,zvi,zpv,alpha,pimax);
    }
fprintf(fp,"*****Wn");
fclose(fp);
}
printf("----- Wn");
printf("   |Wn");
printf("           Microwave Computer-Aided Design for  |Wn");
printf("           Rectangular Waveguide Transmission Lines |Wn");
printf("   |Wn");
printf("           A :%5.3f cm          W/G Height Synthesis          Res :%7.5f   |Wn",a,res);
printf("           B :%5.3f cm          =====              SR :%6.3f   |Wn",b, sr);
printf(" Cutoff Length :%6.3f cm          OPTION 2          TE(10) Freq :%6.3f GHz   |Wn",2*a,f10);
printf("   |Wn          TE(20) Freq :%6.3f GHz   |Wn",f20);
printf(" %s =%7.3f ohm          |Wn",zname,zu);

```

```

printf(" |          at %6.3f GHz |Wn", fu);
printf(" |          |Wn");
printf(" |-----|Wn");
printf(" | Freque | Wavelength [cm] | Guide Impedance [ohm] | Total- | Peak- |Wn");
printf(" | -ncy |-----|-----| Loss | Power |Wn");
printf(" | (GHz) |Free-sp |Guide-sp | Z(P, I) | Z(V, I) | Z(P, V) | [ dB/m ] | [ kW ] |Wn");
printf(" *****Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz)
{
    landaj=c/fj;
    landac=2*a;
    if(fj<(f10*ghelz))
    { printf(" | %6.3f   %7.4f   ----   Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----   |Wn",
            fj/ghelz, landaj, f10);
        continue;
    }
    ratel=landaj/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landaj/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    rs=sqrt(pi*fj*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
    alpa=((8.68589)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*ratel*ratel)*100;
    pimax=(900*a*b*(landaj/landag)*1000)/(4*1508);
    printf(" |%7.3f   %7.4f   %7.4f   %8.2f %8.2f %8.2f   %6.4f   %7.2f |Wn",
            fj/ghelz, landaj, landag, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
}
printf(" *****Wn");
}

```

```

void sub222(void)
{
    int selt8,selt9;
    float a,b,rs,res,sr,fc1,fc2,fi,fj,pimax,myu,eip,landau,fmax,fmin,zu,landaj;
    float fstep,fu,c,z0,zn,alpa,rate1,rate2,landag,landac,landai,zvi,zpi,zpv;
    char filename[10],zname[7];
    FILE *fp;
    myu=4*pi*0.000000001;
    eip=8.854*0.000000000000001;
    c=1/sqrt(myu*eip);
    z0=376.734;
    printf("          **** Please Input Following Message: **** \n\n");
    printf("          # Waveguide Height [ cm ] : (B)= ");
    scanf("%10f",&b );
    printf("          # Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =");
    scanf("%10f",&res);
    printf("          # Suface Roughness [micro-inches] =");
    scanf("%10f",&sr);
    printf("\n          **** Input Operating Frequency where Impedance exists: **** \n");
    printf("          # Operating Frequency [GHz] = ");
    scanf("%10f",&fu );
    landau=c/(fu*ghelz);
    printf("          # Impedance at %6.2fGHz [ohm] = ",fu);
    scanf("%5f",&zu);
    printf("\n          **** Please Input Frequency Range for Impecance Analysis: **** \n");
    printf("          # Analysis START Frequency [ GHz ] = ");
    scanf("%5f",&fmin);
    printf("          # Analysis STOP Frequency [ GHz ] = ");
    scanf("%5f",&fmax);
    printf("          # Analysis STEP Frequency [ GHz ] = ");
    scanf("%5f",&fstep);
}

```



```

printf("#n          **** Select Guide Impedance for SYNTHESIS ? **** #n");
printf("          1 Power -Current Imp.   : Z(P, I) #n");
printf("          2 Voltage-Current Imp.   : Z(V, I) #n");
printf("          3 Power -Voltage Imp.    : Z(P, V) #n");

printf("          ---- Input Impedance Selection ? = ");
scanf("%2d",&selt8);
switch(selt8)
{
  case 1: strcpy(zname, "Z(P, I)");
          landac=sqrt( ((pi*pi*pi*pi*b*b*z0*z0)/(4*4*zu*zu))+(landau*landau));
          a=0.5*landac;
          break;
  case 2: strcpy(zname, "Z(V, I)");
          landac=sqrt( ((pi*pi*b*b*z0*z0)/(zu*zu))+(landau*landau));
          a=0.5*landac;
          break;
  case 3: strcpy(zname, "Z(P, V)");
          landac=sqrt( ((16*z0*z0*b*b)/(zu*zu))+(landau*landau));
          a=0.5*landac;
          break;
}
fc1=c/(landac*ghelz);
fc2=c/(a*ghelz);
printf("#n          # Output Data Save to File (Yes=1) ? = ");
scanf("%2d",&selt9);
if(selt9==1){
  printf("          # Enter Filename [sample.dat] =");
  scanf("%s", filename);
  fp=fopen(filename, "w");
  fprintf(fp, " ----- #n");
}

```



```

printf("| (GHz) |Free-sp |Guide-sp | Z(P,I) | Z(V,I) | Z(P,V) | [ dB/m ] | [ kW ] |Wn");
printf(" *****Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz){
    landaj=c/fj;
    if(fj<(fcl*ghelz))
        { printf("| %6.3f   %7.4f   ----   Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----   |Wn",
                fj/ghelz, landaj, fcl);
            continue;
        }
    ratel=landaj/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landaj/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    rs=sqrt(pi*fj*myu*res*0.000001)*(1+sr*0.0001*inch*inch*inch*inch);
    alpa=((8.68589*rs)/(b*z0*rate2))*(1+2*(b/a)*ratel*ratel)*100;
    pimax=(900*a*b*(landaj/landag)*1000)/(4*1508);
    printf("|%7.3f   %7.5f   %7.4f   %7.2f   %7.2f   %7.2f   %6.4f   %7.2f |Wn",
            fj/ghelz, landaj, landag, zpi, zvi, zpv, alpa, pimax);
}
printf(" *****Wn");
}
void sub231(void)
{
    int selt9,selt8;
    float a,b,salg,sbeta,sbzvi,sazvi,myu,eip,fmax,fmin,f10,f20,landaj;
    float fstep,fi,fj,fu,c,landai,z0,zn,znu,zu,ratel,rate2,landag,landac,zvi,zpi,zpv,landau;
    char filename[10],zname[7];
    FILE *fp;

```



```

switch(selt8)
{
  case 1: strcpy(zname, "Z(P, I)");
          b=(8*a*zv)/(znu*pi*pi);
          break;
  case 2: strcpy(zname, "Z(V, I)");
          b=(2*a*zv)/(znu*pi);
          break;
  case 3: strcpy(zname, "Z(P, V)");
          b=(2*zv)/(znu*a);
          break;
}
printf("\n                                # Output Data Save to File (Yes=1) ? = ");
scanf("%2d",&selt9);
if(selt9==1){
  printf("                                # Enter Filename [sample.dat] =");
  scanf("%s",filename);
  fp=fopen(filename,"w");
  fprintf(fp,"-----Wn");
  fprintf(fp,"|Wn");
  fprintf(fp,"|                                Microwave Computer-Aided Design for |Wn");
  fprintf(fp,"|                                Rectangular Waveguide Transmission Lines |Wn");
  fprintf(fp,"|Wn");
  fprintf(fp,"|                                A :%5.3f cm      W/G Height Synthesis      TE(10) Freq:%6.3fGHz |Wn",
          a,f10);
  fprintf(fp,"|                                B :%5.3f cm      ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz |Wn",
          b,f20);
  fprintf(fp,"|                                %s :%6.2f ohm      OPTION 3      Cutoff length:%5.3fcm |Wn",
          zname,zv,landac);
  fprintf(fp,"|                                at %6.3f GHz |Wn",
          fu);
}

```

```

fprintf(fp, " |Wn");
fprintf(fp, "-----|Wn");
fprintf(fp, " | Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inser- |Wn");
fprintf(fp, " | Freque | Wavelength [cm] | Impedance to W/G | tion to W/G Width(A) |Wn");
fprintf(fp, " | -ncy | ----- | ----- | ----- |Wn");
fprintf(fp, " | (GHz) | Free-sp | Guide-sp | Width (A) | Height(B) | Wavelength | Phase |Wn");
fprintf(fp, "*****|Wn");
for(fi=fmin*ghelz; fi<=fmax*ghelz; fi=fi+fstep*ghelz)
{
    landai=c/fi;
    if(fi<(f10*ghelz))
    { fprintf(fp, " | %6.3f   %7.4f   ----  Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----  |Wn",
        fi/ghelz, landai, f10);
        continue;
    }
    ratel=landai/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landai/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    sbzvi=1.0;
    salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
    sazvi=-(landag*landag)/(landai*landai);
    sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);
    fprintf(fp, " | %6.3f   %7.4f   %7.4f   %8.4f   %4.3f   %8.3f   %8.3f |Wn",
        fi/ghelz, landai, landag, sazvi, sbzvi, salg, sbeta);
}
fprintf(fp, "*****|Wn");
}

```

```

printf("-----Wn");
printf("-----Wn");
printf("          Microwave Computer-Aided Design for      Wn");
printf("          Rectangular Waveguide Transmission Lines    Wn");
printf("-----Wn");
printf("          A  :%5.3f cm      W/G Height Synthesis      TE(10) Freq:%6.3fGHz Wn",
a, f10);
printf("          B  :%5.3f cm      ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz Wn",
b, f20);
printf("          %s :%6.2f ohm      OPTION 3      Cutoff length:%5.3fcm Wn",
zname, zu, landac);
printf("          at %6.3f GHz Wn",
fu);
printf("-----Wn");
printf("-----Wn");
printf("          |          |          Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inset- | Wn");
printf("          | Freque  |          Wavelength [cm] | Impedance to W/G | tion to W/G Width(A) | Wn");
printf("          | -ncy    |          ----- | ----- | ----- | Wn");
printf("          | (GHz)   | Free-sp| Guide-sp | Width (A) | Height(B) | Wavelength | Phase | Wn");
printf("          | ***** | ***** | ***** | ***** | ***** | ***** | ***** | Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz)
{
    landaj=c/fj;
    if(fj<(f10*ghelz))
    { printf("          | %6.3f  | %7.4f  | ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz ---- | Wn",
fj/ghelz, landaj, f10);
        continue;
    }
    rate1=landaj/landac;
    rate2=sqrt(1-rate1*rate1);
    landag=landaj/rate2;
}

```



```

zn= z0/rate2;
zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
zpv=2*(b/a)*zn;
sbzvi=1.0;
salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
sazvi=-(landag*landag)/(landaj*landaj);
sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);
printf("| %6.3f   %7.4f   %7.4f   %8.4f   %4.3f   %8.3f   %8.3f |Wn",
        fj/ghelz, landaj, landag, sazvi, sbzvi, salg, sbeta);
}
printf("*****Wn");
}
void sub232(void)
{
int selt9, selt8;
float a, b, salg, sbeta, sbzvi, sazvi, myu, eip, fmax, fmin, fstep, fcl, fc2;
float fi, fj, fu, c, landai, landaj, z0, zn, zu, ratel, rate2, landag, landac;
float zvi, zpi, zpv, landau;
char filename[10], zname[7];
FILE *fp;
myu=4*pi*0.000000001;
eip=8.854*0.000000000000001;
c=1/sqrt(myu*eip);
z0=376.734;
printf("          **** Please Input the Following Message: **** Wn");
printf("          # Waveguide Height [ cm ] : (B)= ");
scanf("%10f", &b );
printf("Wn          **** Input Operating Frequency where Impedance Exists: **** Wn");
printf("          # Operating Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%10f", &fu );

```

```

landau=c/(fu*ghelz*inch);
printf("                # Impedance at %5.3fGHz [ohms] = ", fu);
scanf("%5f",&zu);
printf("#n                **** Please Input Frequency Range for Sensertivity Analysis: **** #n");
printf("                # Analysis START Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fmin);
printf("                # Analysis STOP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fmax);
printf("                # Analysis STEP Frequency [ GHz ] = ");
scanf("%5f",&fstep);
printf("#n                **** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS : **** #n");
printf("                1 Power -Current Imp. : Z(P, I) #n");
printf("                2 Voltage-Current Imp. : Z(V, I) #n");
printf("                3 Power -Voltage Imp. : Z(P, V) #n");

printf("                ---- Input Impedance Selection ? = ");
scanf("%2d",&sel8);
switch(sel8)
{
case 1: strcpy(zname, "Z(P, I)");
        landac=sqrt( ((pi*pi*pi*pi*b*b*z0*z0)/(4*4*zu*zu))+(landau*landau));
        a=0.5*landac;
        break;
case 2: strcpy(zname, "Z(V, I)");
        landac=sqrt( ((pi*pi*b*b*z0*z0)/(zu*zu))+(landau*landau));
        a=0.5*landac;
        break;
case 3: strcpy(zname, "Z(P, V)");
        landac=sqrt( ((16*z0*z0*b*b)/(zu*zu))+(landau*landau));
        a=0.5*landac;
        break;
}

```

```

}
fc1=c/(landac*ghelz);
fc2=c/(a*ghelz);

printf("\n
scanf("%2d",&selt9);
if(selt9==1)
{
printf("
scanf("%s",filename);
fp=fopen(filename,"w");
fprintf(fp,"----- Wn");
fprintf(fp,"| Wn");
fprintf(fp,"| Microwave Computer-Aided Design for | Wn");
fprintf(fp,"| Rectangular Waveguide Transmission Lines | Wn");
fprintf(fp,"| Wn");
fprintf(fp,"| A :%5.3f cm W/G Height Synthesis TE(10) Freq:%6.3fGHz | Wn",
a,fc1);
fprintf(fp,"| B :%5.3f cm ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz | Wn",
b,fc2);
fprintf(fp,"| %s :%7.3f ohm OPTION 3 Cutoff length:%5.3fcm | Wn",
zname,zu,landac);
fprintf(fp,"| at %6.3f GHz | Wn",
fu);
fprintf(fp,"| Wn");
fprintf(fp,"|----- Wn");
fprintf(fp,"| Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inse- | Wn");
fprintf(fp,"| Freque | Wavelength [cm] | Wavelength to W/G | tion to W/G Width(A) | Wn");
fprintf(fp,"| -ncy | ----- |----- | Wn");
fprintf(fp,"| (GHz) | Free-sp| Guide-sp | Width (A) | Height(B)| Wavelength | Phase | Wn");
fprintf(fp,"| ***** Wn");

```

```

for(fi=fmin*ghelz; fi<=fmax*ghelz; fi=fi+fstep*ghelz)
{
landai=c/fi;
if(fi<(fcl*ghelz))
| fprintf(fp, "| %6.3f   %7.4f   ----   Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz   ----   |Wn",
fi/ghelz, landai, fcl);
continue;
}
ratel=landai/landac;
rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
landag=landai/rate2;
zn= z0/rate2;
zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
zpv=2*(b/a)*zn;
sbzvi=1.0;
salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
sazvi=-(landag*landag)/(landai*landai);
sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);
fprintf(fp, "| %6.3f   %8.4f   %8.3f   %8.3f   %4.3f   %8.2f   %8.2f   |Wn",
fi/ghelz, landai, landag, sazvi, sbzvi, salg, sbeta);
}
fprintf(fp, "*****Wn");
}
printf("----- Wn");
printf("| Wn");
printf("| Microwave Computer-Aided Design for |Wn");
printf("| Rectangular Waveguide Transmission Lines |Wn");
printf("| Wn");
printf("| A :%5.3f cm   W/G Height Synthesis   TE(10) Freq:%6.3fGHz |Wn",
a, fcl);
printf("| B :%5.3f cm   ===== TE(20) Freq:%6.3fGHz |Wn",
b, fc2);
printf("| %s :%7.3f ohm   OPTION 3   Cutoff length:%5.3f cm   |Wn",

```



```

                                                                    zname, zu, landac);
printf(" |          at %6.3f GHz                                     |Wn",
                                                                    fu);
printf(" |                                                                    |Wn");
printf(" |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Wn");
printf(" |          |          |          |          |          |          |          |          |Wn");
printf(" | Freque  | Wavelength [cm] | Sensitivity of Guide | Sensitivity of Inse- |Wn");
printf(" | -ncy    | -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|Wn");
printf(" | (GHz)   | Free-sp| Guide-sp | Width (A) | Height(B) | Wavelength | Phase |Wn");
printf(" | *****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|*****|Wn");
for(fj=fmin*ghelz; fj<=fmax*ghelz; fj=fj+fstep*ghelz)
{
    landaj=c/fj;
    if(fj<(fc1*ghelz))
        { printf(" | %6.3f   %7.4f   ---- Guide in Cutoff Frequency %6.3f GHz ---- |Wn",
                                                                    fj/ghelz, landai, fc1);
          continue;
        }
    ratel=landaj/landac;
    rate2=sqrt(1-ratel*ratel);
    landag=landai/rate2;
    zn= z0/rate2;
    zvi=(pi/2)*(b/a)*zn;
    zpi=(pi*pi*b*zn)/(8*a);
    zpv=2*(b/a)*zn;
    sbzvi=1.0;
    salg=-(landag*landag)/(4*a*a);
    sazvi=-(landag*landag)/(landaj*landaj);
}

```

```
    sbeta=(landag*landag)/(4*a*a);  
    printf("| %6.3f   %8.4f   %8.3f   %8.3f   %4.3f   %8.2f   %8.2f |Wn",  
          fj/ghelz, landaj, landag, sazvi, sbzvi, salg, sbeta);  
    |  
    printf("*****Wn");  
    |
```

제 7 장. 결 론

본 연구에서는 마이크로파 전송선로 중의 하나인 도파관을 제조하기 위한 최적설계 방식으로서 최적화 과정을 포함하는 CAD 프로그램을 개발하였고 그 성능을 시험하기 위해 X-대역에서 도파관의 합성과 분석을 모의실험을 통해 검토한 결과 우수한 성능을 보였다. 설계 파라미터들은 도파관의 특성파라미터를 분석하여 도출하였으며 특히 도파관의 손실 메카니즘을 해석함으로써 양질의 도파관 재료 선정은 물론 전력 전송의 고효율화를 도모할 수 있었다.

본 연구개발의 첫번째 성과로는 국내 최초로 CAD 에 의한 도파관 설계이론을 정립하고 이를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 검토했다는 점이다. 이는 앞으로 여러 가지 마이크로파 전송선로를 최적 설계하는데 기본적인 알고리즘으로써 활용될 수 있을 것이다.

두번째 성과로는 도파관의 치수 규격의 허용범위가 제조기술의 한계를 초과할 경우에는 설계규격에 편차를 일으키므로 도파관 크기에 따른 감도해석을 CAD 과정에 삽입시켜 설계규격과 허용범위 사이를 절충해 줌으로써 제조상의 문제를 해결했다는 점을 들수있다. 이는 여타 마이크로파 소자를 설계하는데 좋은 참고가 될 것이다.

세번째 성과로는 마이크로파 대역에서 표면 거칠기에 의한 전력손실을 해석하여 CAD 과정에 감쇠정수로 표현함으로써 실제 도파관 제조과정에서 표면 마무리 (Surface Finish)의 영향을 알고리즘의 한 요소로 모델링했다는 점을 들 수 있다. 이는 마이크로파 소자 제조 시 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

네번째 성과로는 도파관과 플랜지의 접합 기술 방법을 정립함으로써 접합기술의 고효율화를 기할 수 있으며, 이는 제품생산이 실현되면 이와 관련된 접착

재, 방수재, 가스킷등의 관련재료를 정밀, 고급화로 유발하게 될 가능성이 높은 것으로 전망된다.

끝으로 도파관의 제조는 이론과 더불어 실제의 제조기술에 관한 know-how 의 축적이 매우 중요하므로 제안하고 싶은 내용은 이 분야의 연구에 더 많은 투자를 하여 관련 마이크로파 소자를 국내 기술에 의해 개발하는 연구도 계속 추진했으면 하는 것이다.

참 고 문 헌

1. S.F.Adam, "Microwave Theory and Applications", Prentice-Hall, ch.2, 1969
2. K.C.Gupta, R.Gary and R.Chadha, "Computer-Aided Design of Microwave Circuits", Artech, 1981.
3. T.Moreno, "Microwave Transmission Design Data", Sperry Gyroscope Co., ch.4, ch.5, 1944.
4. T.S.Saad, "Microwave Engineers' Handbook", Vol.1, Artech House, 1971.
5. W.B.W.Alison, "A Handbook for the Mechanical Tolerancing of Waveguide Components", Artech House, ch.1, 1972.
6. R.E.Collins, "Foundations for Microwave Engineering", McGraw-hill, ch.3, 1992.
7. S.Ramo, J.R.Whinnery and T.V.Duzer, "Field and Waves in Communication Electronics", John Wiley & Sons, ch.8, 1965.
8. N.Marcuvitz, "Waveguide Handbook", McGraw-Hill, ch.1, ch.2, 1951.
9. S.Y.Liao, "Microwave Devices and Circuits", Prentice-Hall, ch.4, 1985.
10. T.S.laverghetta, "Microwave Materials and Fabrication Techniques", Artech House, 1984.
11. A.F.HARVEY, "Microwave Engineering", Academic Press, p.50, 1963.
12. J.ALLISON and F.A.BENSON, "Surface Finish and Attenuation of Aluminium Waveguides", Electronic Engineering, Vol.29, p.36-38, Jan. 1957.
13. A.C.BECK and R.W.DAWSON, "Conductivity Measurements at Microwave Frequencies", Proc. IRE., Vol.38, p.1181-1189. 1950.
14. F.A.BENSON, "Waveguide Attenuation and its Correlation with Surface

- Roughness", Proc. IEE, Vol. 100-III, p. 85-90, 1953
15. F.A. BENSON, "Attenuation and Surface Roughness of Electroplated Waveguides", Proc. IEE., Vol. 100-III, p. 213-216, 1953.
 16. F.A. BENSON and D.H. STEVEN, "Rectangular-Waveguide Attenuation at Millimetre Wavelengths", Proc. IEE, Vol. 110B, p. 1008-1014, 1963.
 17. H.E. BUSSEY, "Standards and Measurements of Microwave Surface Impedance, Skin Depth, Conductivity and Q", Trans. IRE., Vol. 8, Pt. 2, p. 171-175, Sept. 1960.
 18. R.E. HIATT, T. B. A. SENIOR and V.H. WESTON, "A Study of Surface Roughness and its Effect on the Back Scattering Cross-Section of Spheres", Proc. IRE., Vol. 48, Pt. 12, p. 2008-2016, Dec. 1960.
 19. E. MAXWELL, "Conductivity of Metallic Surfaces at Microwave Frequencies", J. App. Phys., Vol. 18, p. 629, July. 1947.
 20. S. SAITO, "Surface Loss of Silver-Plated Metal Plates at 9000 Mc/s and its Correlation with Surface Roughness", Proc. IRE., Vol. 42, Pt. 12, p. 1810, Dec. 1954.
 21. J. S. THORP, "R.F. Conductivity in Copper at 8mm Wavelengths", Proc. IEE., 101-III, p. 357-359, 1954.
 22. A. E. KARBOWIAK, "Theory of Imperfect Waveguides: The Effect of Wall Impedance", Proc. IEE, Vol. 102B, p. 698-708, 1955.
 23. M. P. RUBERT, "Measuring Surface Roughness", Engineering, Vol. 189, p. 108, March 25, 1960.
 24. J. ALLISON and F. A. BENSON, "Attenuation and Permeability of Ferromagnetic Waveguide between 9000 & 9670 Mc/s, Proc. IEE, Vol. 103C., p. 205-211, 1956.

25. J.C.ANDERSON, "Surface Impedance ; Measurement at VHF, Electronic and Radio Engineering", Vol.36, Pt.2, p.56-60, February 1959.
26. H.C.von BAEYER, "The Effect of Silver-Plating on Attenuation at Microwave Frequencies", Microwave J.Vol.3, p.47-50, April 1960.
27. H.H.SCHOLEFIELD, H.H.H.GREEN and R.E.GOSSETT, "Manufacture of Waveguide parts by Investment Casting from Frozen-Mercury Patterns", Proc.IEE, Vol.106B, p.431-434, 1959.
28. A.E.KARBOWIAK, "Waveguide Characteristics. Electronic and Radio Engr.", Vol.34, p.379-387, Oct.1957.
29. S.P.MORGAN, "Effect of Surface Roughness on Eddy Current Losses at Microwave Frequency", J.App.Phys., Vol.20, p.352, 1949.
30. G.ALMASSY, "A Microwave Method of Measuring Surface Roughness", Periodica Polytechnica ; Elect.Eng, Vol.4,No.1, p.17-29, 1960
31. A.F.HARVEY, "A Surface-Tecture Comparator for Microwave Structures", Proc.IEE, Vol.102B, p.219-222, 1955.
32. OLSEN, BRUEL and KJOER, "On the Standardization of Surface Roughness Measurements", Tech.Rev., No.3, 1961.
33. B.PIPER and W.P.CALLIS, "Surface Finish Measurement on Non-Ferrous Materials", American Machinery, Vol.103, p.105-120, Aug.1959.
34. C.TIMMS and C.A.SCOLES, "Surface Finish Measurement", Metal Treatmint and Drop Forging, Vol.18, No.73, p.450-454, October 1951.
35. C.WAGNER, "On the Determination of the Roughness of Metallic Surfaces", J.Electrochemical Soc., Vol.97, No.3, p.71-74, March 1950.
36. P.A.JACQUET, "The Principle and Scientific Applications of the Electrolytic Polishing of Metals", Proc.3rd Int. Conf.on

참 고 문 헌

- Electrodeposition, p.3-14,1947.
37. A.C.BECK, "Conductivity Measurements at Microwave Frequencies", Bell
Lab.Rec., Vol.28, Pt.10, p.433-437. Oct.1950,

부 록

MWGDP 사용 설명서

제 1 장. MWGDP 주 메뉴 선택방법

MWGDP 프로그램을 실행하기 위하여는 DOS 상에서 MWGDP를 입력하고 리턴키를 치면 그림 A1-1.과 같은 초기 화면이 나타난다.

c:>mwgdp 

```

**** Please Select Following Menu : ****
# 1 : Analysis of Waveguide Characteristics
# 2 : Synthesis of Waveguide Dimensions
---- Input Menu Selection ? = █

```

그림 A1-1. MWGDP 실행의 초기 주 메뉴
(Fig. A1-1. The initial main menu to execute MWGDP)

MWGDP를 실행하면 화면상에는 “도파관의 특성을 분석할 것인가 ?” 또는 “도파관의 크기를 합성할 것인가 ?” 에 대한 선택메뉴가 출력된다. 사용자는 도파관 특성분석(선택 1)과 도파관 크기 합성(선택 2) 프로그램 중 하나를 선택할 수 있으며 이때 사용자는 메뉴의 번호(1 또는 2)를 입력하여 사용할 프로그램을 결정한다.

제 1 절. 구형도파관의 특성을 분석하는 경우

그림 A1-1.의 메뉴에서 선택 1은 구형도파관의 특성을 분석하는 경우이다. 1을 입력한 후 리턴키를 치면 화면상에는 그림 A1-2.에서 보는 바와 같이 구형도파관 특성분석을 위한 3가지의 선택 메뉴가 화면에 출력된다.

```

**** Please Select Following Menu : ****
# 1 : Impedance Analysis versus Frequency
# 2 : Sensitivity Analysis versus Frequency
# 3 : TE(m,n) Mode Analysis versus Frequency
---- Input Menu Selection ? = █

```

그림 A1-2. 도파관 특성분석을 위한 선택메뉴

(Fig. A1-2. The selection menu for characteristic analysis of waveguide)

사용자는 사용하고자 하는 항목의 번호를 입력하고 리턴키를 치면 다음 단계의 메뉴가 화면에 출력된다. 도파관 특성 분석을 위한 매개변수의 입력에 관한 자세한 내용은 제 3 장에서 설명한다.

제 2 절. 구형도파관의 크기를 합성하는 경우

동일한 방법으로, 초기 주 메뉴에서 2번을 선택하면 구형도파관 크기의 합성에 관련된 메뉴가 화면상에서 그림 A1-3. 과 같이 출력된다.

```

**** Please Select Following Menu : ****
# 1 Dimensional Synthesis versus Impedance
# 2 Dimensional Synthesis with Frequency Analysis
# 3 Dimensional Synthesis with Sensitivity Analysis
---- Input Menu Selection ? = █

```

그림 A1-3. 도파관 크기합성을 위한 선택메뉴

(Fig. A1-3. The selection menu for waveguide size synthesis)

도파관 특성 분석 메뉴에서 사용한 방법과 동일하게 사용자가 사용하고자하는 프로그램의 번호를 입력하면 구형도파관의 크기를 합성하는 데 필요한 다음 단계의 입력화면이 출력된다. 구형도파관의 크기를 합성하는데 필요한 매개변수의 입력에 관한 내용은 제 4 장에서 설명한다.

제 3 절. 도파관분석 및 합성결과에 대한

출력처리 선택메뉴

모든 분석 또는 합성 프로그램의 입력사항이 끝난 후에 그림 A1-4. 와 같은 프로그램의 실행결과를 “출력 데이터를 저장할 것인가(Yes=1)?” 또는 “단지 화면에서만 출력할 것인가(No=2)?”를 묻는 메뉴가 화면에 나타난다. 1번을 선택할 경우(출력 데이터 저장시)에는 데이터 화일이름을 10글자 내외로 입력해야 한다.

```
# Output Data Save to File (Yes=1, No=2) ? = 1
```

```
# Input Filename [sample.dat] =test.dat
```

그림 A1-4. 출력결과 처리 선택 메뉴

(Fig. A1-4. The selection menu to process resultant output)

출력 데이터를 저장할 필요가 없을 때는 2번(No=2)을 선택하며 이때의 결과는 화면상에만 출력된다.

MWGDP는 분석 및 합성이 순차적으로 처리되기 때문에 출력결과 처리 후에는 “도파관 분석 또는 합성 프로그램을 계속할 것인가?” 또는 “종결할 것인가?”를 선택하는 메뉴가 그림 A1-5. 와 같이 화면에 출력된다.

```
**** Please Select Following Menu : ****  
  
# 1 Program Continue  
  
# 2 Stop the Program  
  
---- Input Menu Selection ? = █
```

그림 A1-5. MWGDP 프로그램의 반복 또는 종결 선택메뉴
(Fig. A1-5. The selection menu to repeat or end MWGDP)

MWGDP를 계속 반복 사용을 원하는 경우에 1번을 입력하면 그림 A1-1.에서 보여준 주 메뉴가 다시 화면에 출력되고 입력순서는 동일하다. 2번을 입력하면 MWGDP는 종결되고 화면은 DOS상태로 되돌아간다.

제 2 장. 구형도파관 특성분석을 위한 메뉴

MWGDP를 실행하여 구형도파관의 특성분석을 하기 위하여는 주 메뉴에서 1번을 선택하고 이 때 화면상에는 그림 A2-1. 과 같은 메뉴가 출력되게 된다.

```

**** Please Select Following Menu : ****
# 1 : Analysis of Waveguide Characteristics
# 2 : Synthesis of Waveguide Dimensions
---- Input Menu Selection ? = 1 

```

```

**** Please Select Following Menu : ****
# 1 : Impedance Analysis versus Frequency
# 2 : Sensitivity Analysis versus Frequency
# 3 : TE(m,n) Mode Analysis versus Frequency
---- Input Menu Selection ? = 

```

그림 A2-1. 구형도파관의 특성분석을 위한 선택 메뉴

(Fig. A2-1. The selection menu for characteristic analysis of the rectangular waveguide)

MWGDP에서는 구형도파관의 주파수 변화에 대한 임피던스, 감도 그리고 모드 특성을 분석한다. 위에서 언급한 3가지 특성을 모두 살펴보기 위해서는 모든 옵션을 순차적으로 선택하여 반복처리를 통해 분석할 수 있으며 또한, 특정 부분

만을 분석할 수도 있다. 이때 입력되는 선택번호는 1, 2, 3 으로써, 선택 1은 주파수변화에 따른 임피던스값을 주며, 선택 2는 구형도파관의 주파수변화에 따른 감도특성을 출력하고, 선택 3은 구형도파관의 주파수의 변화에 따른 도파관 내의 허용 가능한 모우드를 출력한다.

제 1 절. 구형도파관의 임피던스 분석 (선택 1번)

그림 A2-1.에서 1 번을 선택하고 리턴키를 치면 그림 A2-2.와 같은 메시지가 화면에 출력된다.

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = █

그림 A2-2. 구형도파관 임피던스 분석을 위한 데이터입력
(Fig. A2-2. The data input for the impedance analysis of rectangular waveguide)

사용자는 화면의 커서가 위치한 부분에 분석하고자하는 구형도파관에 대한 폭의 값을 입력한 다음 계속해서 동일한 방법으로 도파관의 높이, 저항율, 표면 거칠기값들을 입력한 후 리턴키를 친다. 구형도파관의 데이터 입력이 완료되면 그림 A2-3.과 같이 분석 주파수 범위의 설정을 묻는 메시지가 화면에 출력된다.

```

**** Please Input Frequency Range
                                for Impedance Analysis : ****
# TE10 Mode Cutoff Frequency 6.557 [ GHz ].
# Anlalysis START Frequency [ GHz ] = █




```

그림 A2-3. 분석주파수 설정 화면
(Fig. A2-3. The display to set up the analysis frequency)

입력되는 값은 사용자가 분석하고자하는 주파수범위에서 주파수의 시작부분과 끝부분, 그리고 주파수 간격이다. 구형도파관의 임피던스 분석에 대한 예는 다음 그림 A2-4.에서 보여준다.





조건) 도파관 폭과 높이 : X-밴드(8.2~12.4GHz)용 표준 구형도파관
WR-90 (2.286 1.016)
도파관의 재질 : 표면저항 SR이 1.724 (ohm-cm*10e-6)인 순동
표면 거칠기 : 32
분석 주파수
최저 주파수 : 8.2 GHz
최고 주파수 : 12.4 GHz
주파수 간격 : 0.15 GHz

```

**** Please Input Following Message: ****
# Waveguide Width [ cm ] : (A) = 2.286 
# Waveguide Height [ cm ] : (B) = 1.016 
# Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =1.724 

```

```

# Surface Roughness [micro-inches] = 32 
**** Please Input Frequency Range
                                for Impedance Analysis : ****
# TE10 Mode Cutoff Frequency 6.557 [ GHz ].
# Analysis START Frequency [ GHz ] = 8.2 
# Analysis STOP Frequency [ GHz ] = 12.4 
# Analysis STEP Frequency [ GHz ] = 0.15 

```

그림 A2-4. 구형 도파관 임피던스 분석을 위한 선택 1의 입력 예
(Fig.A2-4. The example of selection 1 for analysis of
rectangular waveguide impedance)

입력이 끝나고 나면 출력결과가 나오기 전에 출력결과의 처리를 위해서 “출력 결과를 화일로 저장할 것인가?(선택 1)” “단지 화면상에만 표시할 것인가?(선택 2)” 선택하는 메뉴가 나타난다(2장 설명). 1번을 선택하면 출력결과는 데이터 화일로 저장된 후 결과값은 화면에 출력된다. 그림 A2-6.은 그림 A2-4.와 그림 A2-5.의 조건에 대한 출력결과의 예이다.

```

# Output Data Save to File (Yes=1,No=2) ? = 1
# Enter Filename [Sample.dat] ? = test.dat

```

그림 A2-5. 출력 데이터 처리 예 (출력 데이터 저장의 경우)
(Fig. A2-5. The example of processing output data
(In case of storing output data))

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines							
A : 2.286 cm		Impedance Analysis			Res : 1.72400		
B : 1.016 cm		=====			SR : 32.0000		
Length : 4.57200 cm		OPTION 1			TE(10) Freq : 6.557 GHz		
					TE(20) Freq : 13.114 GHz		
Freque-ncy (GHz)	Wavelength [cm]		Guide Impedance [ohm]			Total-Loss [dB/m]	Peak-Power [kW]
	Free-sp	Guide-sp	Z(P,I)	Z(V,I)	Z(P,V)		

8.200	3.6560	6.0888	344.02	438.02	557.70	0.0571	208.080
8.350	3.5904	5.7991	333.65	424.81	540.89	0.0552	214.550
8.500	3.5270	5.5429	324.64	413.34	526.28	0.0535	220.505
8.650	3.4658	5.3142	316.73	403.27	513.46	0.0520	226.007
8.800	3.4068	5.1083	309.74	394.37	502.13	0.0507	231.110
8.950	3.3497	4.9216	303.51	386.43	492.02	0.0496	235.856
9.100	3.2945	4.7513	297.91	379.32	482.96	0.0486	240.283
9.250	3.2410	4.5951	292.87	372.89	474.78	0.0476	244.421
9.400	3.1893	4.4512	288.30	367.07	467.37	0.0468	248.299
9.550	3.1392	4.3179	284.13	361.77	460.61	0.0461	251.939
9.700	3.0907	4.1942	280.32	356.91	454.44	0.0454	255.364
9.850	3.0436	4.0787	276.82	352.46	448.77	0.0448	258.591
10.00	2.9980	3.9708	273.60	348.36	443.54	0.0442	261.637
10.150	2.9537	3.8695	270.62	344.56	438.71	0.0437	264.517
10.300	2.9106	3.7743	267.86	341.05	434.24	0.0432	267.242
10.450	2.8689	3.6845	265.30	337.79	430.08	0.0428	269.825
10.600	2.8283	3.5997	262.91	334.75	426.21	0.0424	272.276
10.750	2.7888	3.5193	260.68	331.91	422.60	0.0420	274.604
10.900	2.7504	3.4431	258.59	329.25	419.22	0.0417	276.819
11.050	2.7131	3.3707	256.64	326.76	416.05	0.0414	278.928
11.200	2.6767	3.3018	254.80	324.42	413.07	0.0411	280.938
11.350	2.6414	3.2361	253.08	322.23	410.27	0.0409	282.855
11.500	2.6069	3.1733	251.45	320.15	407.63	0.0406	284.685
11.650	2.5734	3.1133	249.91	318.20	405.14	0.0404	286.434
11.800	2.5406	3.0559	248.46	316.35	402.79	0.0402	288.107
11.950	2.5088	3.0009	247.09	314.60	400.57	0.0400	289.708
12.100	2.4777	2.9481	245.79	312.95	398.46	0.0399	291.241
12.250	2.4473	2.8973	244.55	311.37	396.45	0.0397	292.711
12.400	2.4177	2.8486	243.38	309.88	394.55	0.0396	294.121

그림 A2-6. 그림 A2-4, 그림 A2-5.의 입력에 대한 출력 결과의 예
 (Fig. A2-6. The example of resultant output versus the input shown in Fig. A2-4, Fig. A2-5)

화일에 저장된 출력값과 화면상에 출력된 값은 항상 같으며 저장된 파일은 test.dat 에 저장된다. 구형 도파관을 분석할 때 선택 1(임피던스 분석)은 정해진 도파관의 크기에 대한 임피던스 및 총 손실 그리고 최대 허용 전력을 나타낸다.

제 2 절. 구형도파관의 감도분석 (선택 2번)

그림 A2-1.의 메뉴에서 화면상에 도파관 분석에 대한 3가지 선택 중 선택 2를 입력하면 그림 A2-7.과 같은 메시지가 화면에 출력된다.

 **** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = █

그림 A2-7. 구형도파관의 감도 분석을 위한 데이터 입력
 (Fig. A2-7. The data input for sensitivity analysis of
 rectangular waveguide)

그림 A2-7.에서 입력되어야 하는 데이터는 도파관의 폭과 높이이다. 도파관의 폭과 높이를 입력하면 선택 1에서와 같이 주파수의 범위를 설정하는 메시지가 화면에 출력되며 선택 1과 동일한 방법으로 분석하고자 하는 주파수 범위와 간격을 입력하면 된다. 구형도파관의 감도 분석에 대한 예는 그림 A2-8.에서 보여준다.

조건) 도파관의 폭과 높이(8.2~12.4 GHz) 용 표준 구형도파관 WR-90
(2.286 1.016)

분석주파수의 범위

최저주파수 : 8.2 GHz

최고주파수 : 12.4 GHz

주파수간격 : 0.15 GHz

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = 2.286 

Waveguide Height [cm] : (B) = 1.016 

**** Please Input Frequency Range

for Impedance Analysis : ****

TE10 Mode Cutoff Frequency 6.557 [GHz].

Analysis START Frequency [GHz] = 8.2

Analysis STOP Frequency [GHz] = 12.4

Analysis STEP Frequency [GHz] = 0.15

그림 A2-8. 구형도파관의 감도분석을 위한 선택 2 의 입력 예
(Fig. A2-8. The example of the selection 2 to analyse
rectangular waveguide sensitivity)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines						
A : 2.286 cm		W/G Height Synthesis		TE(10) Freq: 6.557GHz		
B : 1.016 cm		=====		TE(20) Freq: 13.114GHz		
OPTION2				Cutoff length: 4.572		
Freque- ncy (GHz)	Wavelength [cm]		Sensitivity of Guide Wavelength to W/G		Sensitivity of Inse- tion to W/G Width(A)	
	Free-sp	Guide-sp	Width (A)	Height(B)	Wavelength	Phase

8.200	3.6560	6.0888	-2.7736	1.000	-1.7736	1.7736
8.350	3.5904	5.7991	-2.6088	1.000	-1.6088	1.6088
8.500	3.5270	5.5429	-2.4698	1.000	-1.4698	1.4698
8.650	3.4658	5.3142	-2.3510	1.000	-1.3510	1.3510
8.800	3.4068	5.1083	-2.2484	1.000	-1.2484	1.2484
8.950	3.3497	4.9216	-2.1588	1.000	-1.1588	1.1588
9.100	3.2945	4.7513	-2.0800	1.000	-1.0800	1.0800
9.250	3.2410	4.5951	-2.0101	1.000	-1.0101	1.0101
9.400	3.1893	4.4512	-1.9478	1.000	-0.9478	0.9478
9.550	3.1392	4.3179	-1.8920	1.000	-0.8920	0.8920
9.700	3.0907	4.1942	-1.8415	1.000	-0.8415	0.8415
9.850	3.0436	4.0787	-1.7959	1.000	-0.7959	0.7959
10.00	2.9980	3.9708	-1.7543	1.000	-0.7543	0.7543
10.150	2.9537	3.8695	-1.7163	1.000	-0.7163	0.7163
10.300	2.9106	3.7743	-1.6815	1.000	-0.6815	0.6815
10.450	2.8689	3.6845	-1.6494	1.000	-0.6494	0.6494
10.600	2.8283	3.5997	-1.6199	1.000	-0.6199	0.6199
10.750	2.7888	3.5193	-1.5925	1.000	-0.5925	0.5925
10.900	2.7504	3.4431	-1.5671	1.000	-0.5671	0.5671
11.050	2.7131	3.3707	-1.5435	1.000	-0.5435	0.5435
11.200	2.6767	3.3018	-1.5215	1.000	-0.5215	0.5215
11.350	2.6414	3.2361	-1.5010	1.000	-0.5010	0.5010
11.500	2.6069	3.1733	-1.4817	1.000	-0.4817	0.4817
11.650	2.5734	3.1133	-1.4637	1.000	-0.4637	0.4637
11.800	2.5406	3.0559	-1.4468	1.000	-0.4468	0.4468
11.950	2.5088	3.0009	-1.4308	1.000	-0.4308	0.4308
12.100	2.4777	2.9481	-1.4158	1.000	-0.4158	0.4158
12.250	2.4473	2.8973	-1.4016	1.000	-0.4016	0.4016
12.400	2.4177	2.8486	-1.3882	1.000	-0.3882	0.3882

그림 A2-9. 그림 A2-8의 입력에 대한 출력의 예
(Fig. A2-9. Example of output versus input shown in Fig. A2-8)

출력 데이터의 저장 방법은 선택 1에서와 동일하며 본 절 이후에서는 저장과정을 생략했다.

제 3 절. 구형도파관의 모드 분석 (선택 3)

그림 A2-1.의 메뉴에서 선택 3을 입력하면 그림 A2-10.과 같은 메시지가 화면에 출력된다.

 **** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = █

그림 A2-10. 구형도파관의 모드분석을 위한 데이터 입력
 (Fig. A2-10. Input data to analyse rectangular waveguide modes)

그림 A2-10.에서 입력되는 데이터는 도파관의 폭을 입력한 후 다시 도파관의 높이를 입력하면 분석주파수의 범위를 설정하는 메시지가 출력된다. 선택 2에서 입력하는 순서와 이전과 동일하다. 그림 A2-11.은 선택 3에 따른 데이터 입력시 감도분석의 예를 보여준다.

조건)

도파관의 폭과 높이

x 밴드 (8.2~12.4 GHz) 용 표준도파관 WR-90 (2.286 1.016)

분석주파수 범위

최저주파수 : 8.0 GHz 최고주파수 : 23.0 GHz

주파수간격 : 1 GHz

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = 2.286 

Waveguide Height [cm] : (B) = 1.016 

**** Please Input Frequency Range

for Impedance Analysis : ****

TE10 Mode Cutoff Frequency 6.5572[GHz].

Analysis START Frequency [GHz] = 8

Analysis STOP Frequency [GHz] = 23

Analysis STEP Frequency [GHz] = 1

그림 A2-11. 구형도파관의 분석 선택 3의 입력 예
(Fig. A2-11. The example of displaying the input for selection 3
to analyse rectangular waveguide)

그림 A2-12. 은 그림 A2-11.의 조건에 의해 선택된 결과의 예이다.

**** 출력 결과 ****

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines					
A : 2.286 cm		TE-MODE Analysis			
B : 1.016 cm		=====			
OPTION 3					
Properties of TE(m,n) Mode:					
Analysis Frequency (GHz)	Free-Space Wavelength (cm)	Mode Index m n		Cutoff Frequency (GHz)	Guide Wavelength (cm)

8.0000	3.7474	1	0	6.5572	6.5416
9.0000	3.3311	1	0	6.5572	4.8631
10.000	2.9980	1	0	6.5572	3.9708
11.0000	2.7254	1	0	6.5572	3.3945
12.0000	2.4983	1	0	6.5572	2.9830
13.0000	2.3061	1	0	6.5572	2.6708
14.0000	2.1414	1	0	6.5572	2.4237
		2	0	13.1144	6.1180
15.0000	1.9986	1	0	6.5572	2.2222
		2	0	13.1144	4.1175
16.0000	1.8737	0	1	14.7537	11.0750
		1	0	6.5572	2.0542
		2	0	13.1144	3.2708
17.0000	1.7635	0	1	14.7537	4.8425
		1	0	6.5572	1.9114
		2	0	13.1144	2.7715
		0	1	14.7537	3.5497
18.0000	1.6655	1	1	16.1453	5.6325
		1	0	6.5572	1.7884
		2	0	13.1144	2.4316
		0	1	14.7537	2.9074
19.0000	1.5779	1	1	16.1453	3.7672
		1	0	6.5572	1.6812
		2	0	13.1144	2.1806
		0	1	14.7537	2.5042
20.0000	1.4990	1	1	16.1453	2.9930
		1	0	6.5572	1.5867
		2	0	13.1144	1.9854
		3	0	19.6716	8.3063
		0	1	14.7537	2.2202
		1	1	16.1453	2.5398
21.0000	1.4276	2	1	19.7398	9.3234
		1	0	6.5572	1.5027
		2	0	13.1144	1.8278
		3	0	19.6716	4.0787
		0	1	14.7537	2.0061
		1	1	16.1453	2.2325
22.0000	1.3627	2	1	19.7398	4.1841
		1	0	6.5572	1.4276
		2	0	13.1144	1.6972
		3	0	19.6716	3.0435
		0	1	14.7537	1.8370
		1	1	16.1453	2.0061
23.0000	1.3035	2	1	19.7398	3.0866
		1	0	6.5572	1.3599
		2	0	13.1144	1.5867
		3	0	19.6716	2.5156
		0	1	14.7537	1.6991
		1	1	16.1453	1.8302
		2	1	19.7398	2.5397

그림 A2-12. 그림 A2-11.의 입력에 대한 출력결과의 예
(Fig. A-12. The example of resultant output versus input
shown in Fig A-11)

제 3 장. 구형도파관 크기합성을 위한 메뉴

MWGDP를 실행하여 구형 도파관의 크기를 합성하기 위해서는 주 메뉴에서 2번을 선택하고 이 때 화면은 그림 A3-1.과 같은 메뉴를 출력한다.

```
**** Please Select Following Menu : ****
```

```
# 1 : Analysis of Waveguide Characteristics
```

```
# 2 : Synthesis of Waveguide Dimensions
```

```
---- Input Menu Selection ? = 2 
```

```
**** Please Select Following Menu : ****
```

```
# 1 Dimensional Synthesis versus Impedance
```

```
# 2 Dimensional Synthesis with Frequency Analysis
```

```
# 3 Dimensional Synthesis with Sensitivity Analysis
```

```
---- Input Menu Selection ? = 
```

그림 A3-1. 구형도파관의 크기를 합성하기 위한 선택 메뉴
(Fig. A3-1. The selection menu to synthesize
rectangular waveguide size)

여기서도 구형도파관의 특성 분석 메뉴와 마찬가지로 3가지의 선택메뉴가 화면에 출력되고 사용자가 입력하는 선택 번호에 의해 구형도파관의 크기 합성에 따른 분석결과가 출력된다. 선택 1은 임피던스 변화에 의한 도파관의 임피던스, 관내파장, 손실, 최대허용전력, 차단주파수를 출력하여 도파관의 크기를 결정할

수 있으며, 선택 2는 주파수변화에 따른 관내파장, 임피던스, 손실, 최대허용전력, 차단주파수를 분석하여 도파관 크기를 결정하고 마지막으로 선택 3은 감도 해석에 의한 도파관 크기를 결정해 준다.

제 1 절. 임피던스 변화에 따른 도파관 크기의 합성 (선택 1번)

그림 A3-1.의 메뉴에서 선택 1을 입력하면 그림 A3-2.와 같은 선택메뉴가 출력된다. 도파관의 치수(높이 또는 폭)를 결정하면 이에 따라 감도, 표면거칠기, 동작주파수와 임피던스 범위를 묻는 메뉴가 출력하며 동작주파수와 임피던스 범위를 입력하면 마지막으로 특성임피던스가 출력된다.

```

**** Please Select Following Dimensional Menu : ****
# 1 : Synthesis of Waveguide Height (B):
# 2 : Synthesis of Waveguide Width (A):
---- Input Menu Selection ? █

```

그림 A3-2. 구형 도파관의 입력메뉴 설정
(Fig. A3-2. Input menu for fixing rectangular waveguide's size)

그림 A3-2.는 도파관의 크기 합성시 치수를 폭으로 할 것인지 높이로 할 것인지를 결정하는 메뉴이다. 도파관의 치수가 설정되고 이를 입력하면(높이인 경우) 그림 A3-3.과 같은 메시지가 출력된다.

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = █

그림 A3-3. 임피던스 변화에 따른 도파관의 크기 합성을 위한
데이터 입력

(Fig. A3-3. The input data to synthesize waveguide
size versus impedance)

그림 A3-3.에서 입력하는 데이터는 도파관의 폭, 감도, 표면거칠기의 값이다. 모든 입력이 완료되면 그림 A3-4.와 같은 동작주파수와 임피던스의 범위를 묻는 메시지가 출력된다.

**** Input Operating Frequency where Impedance exists : ****

Operating Frequency [GHz] = █

그림 A3-4. 동작주파수의 설정 화면

(Fig. A3-4. The display for fixing operating frequency)

동작주파수와 임피던스 범위를 입력하면 마지막으로 특성 임피던스 선택메뉴가 그림 A3-5.와 같이 출력된다.

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****

1 Power-Current Imp. : Z(P,I)

2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I)

3 Power-Voltage Imp. : Z(P,V)

---- Input Impedance Selection ? = █

그림 A3-5. 특성임피던스의 선택메뉴
(Fig. A3-5. The selection menu to input
characteristic impedance)

선택 1은 전력-전류 임피던스, 선택 2는 전압-전류 임피던스, 선택 3은 전력-전압 임피던스이다. 그림 A3-5.의 메뉴는 도파관 크기 합성 선택일 경우 항상 마지막 부분에 출력되며 이후에는 동일하므로 설명을 생략하기로 하겠다. 그림 A3-6.은 도파관의 치수값에 대한 두가지의 경우에 대해 사용 예를 들어 그 결과 값을 그림 A3-7.에 보여주고 있다.

(예 1) 치수값이 높인 경우 (그림 A-21.의 메뉴에서 1번 선택)

조건)

폭 : 2.286

재질 : 표면저항 (SR) 1.724(ohm-cm*10e-6)순동

표면거칠기 : 32

동작주파수 : 10 GHz

임피던스

최저임피던스 : 300 ohm

최고임피던스 : 600 ohm

임피던스간격 : 10 ohm

특성임피던스 : 전압-전류 임피던스

**** Please Select Following Dimensional Menu : ****

#1 : Synthesis of Waveguide Height (B):

#2 : Synthesis of Waveguide Width (A):

---- Input Menu Selection ? 1

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = 2.286

Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] =1.724

Surface Roughness [micro-inches]=32

**** Input Operating Frequency where Impedance exists : ****

Operating Frequency [GHz] = 10

Minimum Impedance at Frequency 10 GHz [ohms]=200

Maximum Impedance at Frequency 10 GHz [ohms]=600

STEP Impedance at Frequency 10 GHz [ohms] = 10

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****

1 Power-Current Imp. : Z(P,I)

2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I)

3 Power-Voltage Imp. : Z(P,V)

---- Input Impedance Selection ? = 2 

그림 A3-6. 도파관 크기 합성의 데이터 입력 예
(치수값이 높을 경우)
(Fig. A3-6. The example of inputform for
waveguide height synthesis)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines								
(A) : 2.286 cm		W/G Height Synthesis			Res : 1.72400			
Operating		=====			SR : 10.0000			
Frequency : 4.576 GHz		OPTION 2						
Cutoff Freq- (GHz)	Wavelength [cm]	W/G Height	Guide Impedance [ohm]	Total Loss [dB/m]	Peak Power [kW]			
Free-sp	Guide-sp	B	Z(P,I) Z(V,I) Z(P,V)					
6.5572	2.9980	3.9708	0.8750	235.62	300.00	381.97	0.1620	225.32
6.5572	2.9980	3.9708	0.9041	243.47	310.00	394.70	0.1580	232.83
6.5572	2.9980	3.9708	0.9333	251.33	320.00	407.44	0.1543	240.34
6.5572	2.9980	3.9708	0.9625	259.18	330.00	420.17	0.1509	247.85
6.5572	2.9980	3.9708	0.9916	267.04	340.00	432.90	0.1476	255.36
6.5572	2.9980	3.9708	1.0208	274.89	350.00	445.63	0.1446	262.87
6.5572	2.9980	3.9708	1.0500	282.74	360.00	458.37	0.1417	270.38
6.5572	2.9980	3.9708	1.0791	290.60	370.00	471.10	0.1389	277.89
6.5572	2.9980	3.9708	1.1083	298.45	380.00	483.83	0.1363	285.40
6.5572	2.9980	3.9708	1.1375	306.31	390.00	496.56	0.1338	292.91
6.5572	2.9980	3.9708	1.1666	314.16	400.00	509.30	0.1315	300.43
6.5572	2.9980	3.9708	1.1958	322.01	410.00	522.03	0.1293	307.94
6.5572	2.9980	3.9708	1.2250	329.87	420.00	534.76	0.1271	315.45
6.5572	2.9980	3.9708	1.2541	337.72	430.00	547.49	0.1251	322.96
6.5572	2.9980	3.9708	1.2833	345.58	440.00	560.23	0.1232	330.47
6.5572	2.9980	3.9708	1.3124	353.43	450.00	572.96	0.1213	337.98
6.5572	2.9980	3.9708	1.3416	361.28	460.00	585.69	0.1196	345.49
6.5572	2.9980	3.9708	1.3708	369.14	470.00	598.42	0.1179	353.00
6.5572	2.9980	3.9708	1.3999	376.99	480.00	611.15	0.1163	360.51
6.5572	2.9980	3.9708	1.4291	384.85	490.00	623.89	0.1147	368.02
6.5572	2.9980	3.9708	1.4583	392.70	500.00	636.62	0.1132	375.53
6.5572	2.9980	3.9708	1.4874	400.55	510.00	649.35	0.1118	383.04
6.5572	2.9980	3.9708	1.5166	408.41	520.00	662.08	0.1104	390.55
6.5572	2.9980	3.9708	1.5458	416.26	530.00	674.82	0.1091	398.06
6.5572	2.9980	3.9708	1.5749	424.12	540.00	687.55	0.1078	405.57
6.5572	2.9980	3.9708	1.6041	431.97	550.00	700.28	0.1066	413.08
6.5572	2.9980	3.9708	1.6333	439.82	560.00	713.01	0.1054	420.60
6.5572	2.9980	3.9708	1.6624	447.68	570.00	725.75	0.1042	428.11
6.5572	2.9980	3.9708	1.6916	455.53	580.00	738.48	0.1031	435.62
6.5572	2.9980	3.9708	1.7208	463.38	590.00	751.21	0.1021	443.13
6.5572	2.9980	3.9708	1.7499	471.24	600.00	763.94	0.1010	450.64

그림 A3-7. 그림 A3-6. 의 조건에 의한 출력결과
(Fig. A3-7. The resultant output on condition of Fig. A3-6)

(예 2) 치수값이 폭인 경우(그림 A-21. 메뉴에서 선택 2)

조건)

높이 : 2.286

재질 : 표면저항 (SR) 1.724(ohm-cm*10e-6)순동

표면거칠기 : 32

동작주파수 : 10 GHz

임피던스

최저임피던스 : 300 ohm

최고임피던스 : 600 ohm

임피던스간격 : 10 ohm

특성 임피던스 : 전압-전류 임피던스

**** Please Select Following Dimensional Menu : ****

1 : Synthesis of Waveguide Height (B):

2 : Synthesis of Waveguide Width (A):

---- Input Menu Selection ? 2 

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Height [cm] : (B) = 1.016

Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] = 1.724

Surface Roughness [micro-inches] = 32

**** Input Operating Frequency where Impedance exists : ****

Operating Frequency [GHz] = 10

Minimum Impedance at Frequency 10 GHz [ohms] = 300

Maximum Impedance at Frequency 10 GHz [ohms] = 600

STEP Impedance at Frequency 10 GHz [ohms] = 10

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****

1 Power-Current Imp. : Z(P,I)

2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I)

3 Power-Voltage Imp. : Z(P,V)

---- Input Impedance Selection ? = 2

그림 A3-8. 도파관 크기 합성의 데이터 입력 예 (치수값이 높기인 경우)
(Fig. A3-8. The example of inputform for waveguide height synthesis)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for
Rectangular Waveguide Transmission Lines

(B) : 1.016 cm W/G Width Synthesis Res : 1.72400
Cutoff ===== SR : 32.0000
Frequency : 10.000 GHz OPTION 1

Cutoff Freq- (GHz)	Wavelength[cm]		W/G Height A	Guide Impedance [ohm]			Total Loss [dB/m]	Peak Power [kW]
	Free-sp	Guide-sp		Z(P, I)	Z(V, I)	Z(P, V)		
5.9894	2.9980	3.7437	2.503	235.62	300.00	381.97	0.1278	303.81
6.1152	2.9980	3.7890	2.451	243.47	310.00	394.70	0.1312	294.01
6.2365	2.9980	3.8352	2.404	251.33	320.00	407.44	0.1347	284.82
6.3534	2.9980	3.8822	2.359	259.18	330.00	420.17	0.1383	276.19
6.4662	2.9980	3.9301	2.318	267.04	340.00	432.90	0.1419	268.07
6.5748	2.9980	3.9789	2.280	274.89	350.00	445.63	0.1457	260.41
6.6795	2.9980	4.0284	2.244	282.74	360.00	458.37	0.1495	253.18
6.7804	2.9980	4.0787	2.211	290.60	370.00	471.10	0.1533	246.33
6.8775	2.9980	4.1297	2.180	298.45	380.00	483.83	0.1573	239.85
6.9712	2.9980	4.1815	2.150	306.31	390.00	496.56	0.1613	233.70
7.0613	2.9980	4.2339	2.123	314.16	400.00	509.30	0.1653	227.86
7.1482	2.9980	4.2870	2.097	322.01	410.00	522.03	0.1694	222.30
7.2319	2.9980	4.3408	2.073	329.87	420.00	534.76	0.1735	217.01
7.3125	2.9980	4.3951	2.050	337.72	430.00	547.49	0.1777	211.96
7.3902	2.9980	4.4501	2.028	345.58	440.00	560.23	0.1820	207.14
7.4650	2.9980	4.5056	2.008	353.43	450.00	572.96	0.1862	202.54
7.5371	2.9980	4.5617	1.989	361.28	460.00	585.69	0.1905	198.14
7.6066	2.9980	4.6183	1.971	369.14	470.00	598.42	0.1949	193.92
7.6736	2.9980	4.6754	1.953	376.99	480.00	611.15	0.1992	189.88
7.7381	2.9980	4.7330	1.937	384.85	490.00	623.89	0.2036	186.01
7.8003	2.9980	4.7910	1.922	392.70	500.00	636.62	0.2081	182.29
7.8603	2.9980	4.8496	1.907	400.55	510.00	649.35	0.2125	178.71
7.9181	2.9980	4.9085	1.893	408.41	520.00	662.08	0.2170	175.27
7.9739	2.9980	4.9679	1.880	416.26	530.00	674.82	0.2215	171.97
8.0277	2.9980	5.0277	1.867	424.11	540.00	687.55	0.2261	168.78
8.0797	2.9980	5.0879	1.855	431.97	550.00	700.28	0.2306	165.71
8.1298	2.9980	5.1485	1.844	439.82	560.00	713.01	0.2352	162.76
8.1781	2.9980	5.2095	1.833	447.68	570.00	725.75	0.2398	159.90
8.2248	2.9980	5.2708	1.823	455.53	580.00	738.48	0.2444	157.14
8.2699	2.9980	5.3324	1.813	463.39	590.00	751.21	0.2490	154.48
8.3135	2.9980	5.3944	1.803	471.24	600.00	763.94	0.2536	151.91

그림 A3-9. 그림 A3-8. 의 조건에 의한 출력 결과
(Fig. A3-9. The resultant output on condition of Fig. A3-8)
(이후에 나오는 예에서 특성 임피던스는 2 번 선택의 경우임)

제 2 절. 주파수 변화에 따른 도파관 크기 합성 (선택 2번)

그림 A3-1.의 메뉴에서 선택 2를 입력하면 그림 A3-2.와 같은 메뉴가 출력되고 이에 따라 폭 또는 높이, 감도, 표면거칠기를 입력하면 구형도파관의 합성시 선택 1과는 달리 동작주파수와 이 때의 임피던스를 묻는 메시지가 화면에 출력된다. 동작주파수와 임피던스값을 입력하면 주파수 범위 설정메세지와 특성 임피던스 선택 메뉴가 출력되며 각각의 데이터를 입력하면 주파수 변화에 따른 관내파장, 임피던스, 손실, 최대허용전력, 차단주파수를 얻을 수 있다. 그림 A3-2.의 메뉴를 입력하면 그림 A3-10.과 같은 메시지가 출력된다.

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = ■

그림 A3-10. 주파수 변화에 따른 도파관 크기 합성을 위한 데이터 입력
(Fig. A3-10. The data input to synthesize waveguide size
by varying frequency)

도파관의 폭, 감도, 표면 거칠기를 입력하면 그림 A3-11.과 같이 차단 주파수와 임피던스 설정 메시지가 화면에 출력된다. 여기서 주파수변화에 따른 관내 파장, 임피던스, 손실 등의 값을 얻을 수 있다.

**** Please Input Freq.-Range for Imp.-Analysis: ****

TE10 Mode Cutoff Frequency ? [GHz]

Analysis START Frequency [GHz] = █

그림 A3-11. 차단주파수와 분석 주파수범위 설정메뉴
(Fig. A3-11. The menu to fix the range of cutoff frequency and analysis frequency)

(예 1) 치수값이 높기인 경우

폭 : 2.286 cm

재질 : 표면저항(SR) 1.724(ohm-cm*10e-6) 순동

표면거칠기 : 32

동작주파수 : 10 GHz

임피던스 : 350 (ohm)

분석주파수

최저주파수 : 8.2 GHz

최고주파수 : 12.4 GHz

주파수 간격 : 0.15 GHz

특성 임피던스 : 전압-전류 임피던스

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width [cm] : (A) = 2.286 

Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] = 1.724 

Surface Roughness [micro-inches] = 32 

**** Input Operating Frequency where Impedance exists : ****

TE10 Mode Cutoff Frequency 6.5572 [GHz]

Operating Frequency [GHz] = 10

Impedance [ohms] at 10 GHz [ohm] = 350

**** Please Input Freq.-Range for Imp.-Analysis: ****

Analysis START Frequency [GHz] = 8.2

Analysis STOP Frequency [GHz] = 12.4

Analysis STEP Frequency [GHz] = 0.15

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****

1 Power-Current Imp. : Z(P,I)

2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I)

3 Power-Voltage Imp. : Z(P,V)

---- Input Impedance Selection ? = 2

그림 A3-12. 구형도파관의 합성 선택 2 (치수값이 높으신 경우)의
데이터입력 예

(Fig. A3-12. The example of inputform in selection 2 for
waveguide height synthesis)

출력 결과

A :2.286 cm		W/G Height Synthesis		Res :1.72400			
B :1.021 cm		=====		SR :32.000			
Cutoff Length : 4.572 cm		OPTION 2		TE(10) Freq : 6.557 GHz			
				TE(20) Freq :13.114 GHz			
Z(V, I) =350.000 ohm							
at 10.000 GHz							
Freque- ncy (GHz)	WaveLength [cm]		Guide Impedance [ohm]			Total- Loss [dB/m]	Peak- Power [kW]
	Free-sp	Guide-sp	Z(P, I)	Z(V, I)	Z(P, V)		

8.200	3.6560	6.0888	345.64	440.09	560.33	0.1868	209.06
8.350	3.5904	5.7991	335.22	426.82	543.44	0.1805	215.56
8.500	3.5270	5.5429	326.17	415.29	528.76	0.1750	221.55
8.650	3.4658	5.3142	318.23	405.18	515.89	0.1702	227.07
8.800	3.4068	5.1083	311.20	396.23	504.50	0.1659	232.20
8.950	3.3497	4.9216	304.94	388.26	494.35	0.1622	236.97
9.100	3.2945	4.7513	299.32	381.11	485.24	0.1588	241.42
9.250	3.2410	4.5951	294.25	374.65	477.02	0.1558	245.57
9.400	3.1893	4.4512	289.66	368.80	469.57	0.1531	249.47
9.550	3.1392	4.3179	285.47	363.47	462.79	0.1506	253.13
9.700	3.0907	4.1942	281.64	358.60	456.58	0.1484	256.57
9.850	3.0436	4.0787	278.13	354.12	450.88	0.1464	259.81
10.00	2.9980	3.9708	274.89	350.00	445.63	0.1446	262.87
10.150	2.9537	3.8695	271.90	346.19	440.78	0.1429	265.76
10.300	2.9106	3.7743	269.12	342.66	436.29	0.1413	268.50
10.450	2.8689	3.6845	266.55	339.38	432.11	0.1399	271.10
10.600	2.8283	3.5997	264.15	336.32	428.22	0.1386	273.56
10.750	2.7888	3.5193	261.91	333.47	424.59	0.1375	275.90
10.900	2.7504	3.4431	259.81	330.80	421.19	0.1364	278.13
11.050	2.7131	3.3707	257.85	328.30	418.01	0.1354	280.24
11.200	2.6767	3.3018	256.00	325.96	415.02	0.1345	282.26
11.350	2.6414	3.2361	254.27	323.75	412.21	0.1336	284.19
11.500	2.6069	3.1733	252.63	321.66	409.56	0.1328	286.03
11.650	2.5734	3.1133	251.09	319.70	407.06	0.1321	287.79
11.800	2.5406	3.0559	249.63	317.84	404.69	0.1315	289.47
11.950	2.5088	3.0009	248.25	316.09	402.46	0.1308	291.08
12.100	2.4777	2.9481	246.95	314.42	400.34	0.1303	292.62
12.250	2.4473	2.8973	245.71	312.84	398.33	0.1298	294.09
12.400	2.4177	2.8486	244.53	311.34	396.42	0.1293	295.51

그림 A3-13. 그림 A3-12. 의 조건에 따른 출력의 예
 (Fig. A3-13. The example of output on condition of Fig. A3-12)

높이 : 1.016 cm

재질 : 표면저항(SR) 1.724(ohm-cm*10e-6) 순동

표면거칠기 : 32

동작주파수 : 10 GHz

임피던스 : 350(ohm)

분석주파수

 최저주파수 : 8 GHz

 최고주파수 : 12.4 GHz

 주파수 간격 : 0.15 GHz

특성임피던스 : 전압-전류 임피던스

(예 2) 치수값이 폭인 경우

**** Please Select Following Dimensional Menu : ****

 #1 : Synthesis of Waveguide Height (B):

 #2 : Synthesis of Waveguide Width (A):

---- Input Menu Selection ? 2

**** Please Input Following Message: ****

 # Waveguide Width [cm] : (B) = 1.016

 # Resistivity (Res) [ohm-cm*10e-6] = 1.724

 # Surface Roughness [micro-inches] = 32

**** Please Input Freq.-Range for Imp.-Analysis: ****

 # Analysis START Frequency [GHz] = 8.2

```

# Analysis STOP Frequency [ GHz ] = 12.4 
# Analysis STEP Frequency [ GHz ] = 0.15 

**** Input Operating Frequency where Impedance exists : ****
# Operating Frequency [GHz] = 10 
# Impedance [ohms] = 350 

**** Please Input Freq.-Range for Imp.-Analysis: ****
# Analysis START Frequency [GHz] = 8.2 
# Analysis STOP Frequency [GHz] = 12.4 
# Analysis STEP Frequency [GHz] = 0.15 

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****
1 Power-Current Imp. : Z(P,I)
2 Voltage-Current Imp. : Z(V,I)
3 Power-Voltage Imp. : Z(P,V)
---- Input Impedance Selection ? = 2 

```

그림 A3-14. 구형도파관 합성 선택 2(치수값이 폭인 경우)의
데이터입력 예
(Fig. A3-14. The example of inputform in selection 2 for
rectangular waveguide height synthesis)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines							
A : 2.280 cm		W/G Height Synthesis			Res : 1.72400		
B : 1.016 cm		=====			SR : 32.000		
Cutoff Length : 4.56 cm		OPTION 2			TE(10) Freq : 6.575 GHz		
					TE(20) Freq : 13.150 GHz		
Z(V,I) = 350.00000 ohm at 10.000 GHz.							
Freque- ncy (GHz)	Wavelength [cm]		Guide Impedance [ohm]			Total- Loss [dB/m]	Peak- Power [kW]
	Free-sp	Guide-sp	Z(P,I)	Z(V,I)	Z(P,V)		
8.200	3.65604	6.1180	346.60	441.30	561.88	0.1889	206.53
8.350	3.59037	5.8243	336.00	427.80	544.70	0.1823	213.05
8.500	3.52701	5.5649	326.80	416.09	529.79	0.1767	219.04
8.650	3.46585	5.3336	318.74	405.83	516.72	0.1718	224.58
8.800	3.40677	5.1255	311.61	396.76	505.17	0.1675	229.72
8.950	3.34967	4.9370	305.27	388.68	494.89	0.1636	234.49
9.100	3.29446	4.7651	299.58	381.44	485.67	0.1602	238.94
9.250	3.24103	4.6076	294.46	374.91	477.35	0.1571	243.10
9.400	3.18932	4.4625	289.81	369.00	469.82	0.1543	247.00
9.550	3.13922	4.3283	285.58	363.61	462.96	0.1519	250.66
9.700	3.09068	4.2037	281.71	358.68	456.69	0.1496	254.10
9.850	3.04361	4.0875	278.16	354.16	450.93	0.1475	257.35
10.00	2.99796	3.9789	274.89	350.00	445.63	0.1457	260.41
10.150	2.95365	3.8770	271.87	346.16	440.74	0.1440	263.30
10.300	2.91064	3.7812	269.07	342.59	436.20	0.1424	266.04
10.450	2.86886	3.6909	266.47	339.28	431.99	0.1410	268.63
10.600	2.82826	3.6057	264.05	336.20	428.07	0.1397	271.10
10.750	2.78880	3.5249	261.79	333.33	424.41	0.1384	273.43
10.900	2.75042	3.4484	259.68	330.64	420.98	0.1373	275.66
11.050	2.71308	3.3756	257.70	328.12	417.77	0.1363	277.78
11.200	2.67675	3.3064	255.84	325.75	414.76	0.1354	279.79
11.350	2.64137	3.2404	254.10	323.53	411.93	0.1345	281.72
11.500	2.60692	3.1774	252.45	321.43	409.26	0.1337	283.56
11.650	2.57335	3.1172	250.90	319.45	406.74	0.1330	285.31
11.800	2.54064	3.0596	249.43	317.58	404.36	0.1323	286.99
11.950	2.50875	3.0044	248.04	315.81	402.10	0.1317	288.60
12.100	2.47765	2.9514	246.72	314.14	399.97	0.1311	290.14
12.250	2.44731	2.9005	245.47	312.55	397.95	0.1306	291.61
12.400	2.41771	2.8516	244.29	311.04	396.03	0.1301	293.03

그림 A3-15. 그림 A3-14.에 의한 출력의 예
(Fig. A3-15. The example of output on condition of Fig. A3-14)

제 3 절. 감도 해석에 의한 도파관 크기의 합성 (선택 3번)

그림 A3-1.의 메뉴에서 선택 3을 입력하면 그림 A3-2.와 같은 메뉴가 출력되고 동작주파수와 임피던스를 입력한 후 주파수 범위와 특성임피던스를 결정하여 입력하면 합성된 도파관의 크기에 대한 임피던스 감도와 도파관의 폭에 대한 관내파장 감도값이 출력된다.

(예) 치수값이 도파관의 높이인 경우(선택 1)

조건)

폭 : 2.286 cm

동작주파수 : 10 GHz

임피던스 : 350 (ohm)

분석주파수


최저주파수 : 8.2 GHz

최고주파수 : 12.4 GHz


주파수 간격 : 0.15 GHz

특성임피던스 : 전압-전류 임피던스

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Width (A) [cm] =2.286 

Operating Frequency [GHz] = 10 

Impedance [ohms] = 350 

**** Please Input Frequency Range ****

TE10 Mode Cutoff Frequency 6.5572 GHz

Analysis START Frequency [GHz] = 8.2 

Analysis STOP Frequency [GHz] = 12.4 

Analysis STEP Frequency [GHz] = 0.15 

**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****

1 Power-Current Imp : Z(P,I)

2 Voltage-Current Imp : Z(V,I)

3 Power-Voltage Imp : Z(P,V)

---- Input Impedance Selection ? = 2

그림 A3-16. 구형 도파관의 합성 선택 3의 입력 예
(치수값이 높기인 경우)

(Fig. A3-16. The example of inputform in selection 3 for
W/G height synthesis)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines						
A :2.286 cm		W/G Height Synthesis		TE(10) Freq: 6.557GHz		
B :1.021 cm		=====		TE(20) Freq:13.114GHz		
Z(V,I) :350.00 ohm		OPTION 3		Cutoff length:4.572cm		
at 10.000 GHz						
Freque-ncy (GHz)	Wavelength [cm]		Sensitivity of Guide Impedance to W/G		Sensitivity of Insertion to W/G Width(A)	
	Free-sp	Guide-sp	Width (A)	Height(B)	Wavelength	Phase

8.200	3.6560	6.0888	-2.7736	1.000	-1.774	1.774
8.350	3.5904	5.7991	-2.6088	1.000	-1.609	1.609
8.500	3.5270	5.5429	-2.4698	1.000	-1.470	1.470
8.650	3.4658	5.3142	-2.3510	1.000	-1.351	1.351
8.800	3.4068	5.1083	-2.2484	1.000	-1.248	1.248
8.950	3.3497	4.9216	-2.1588	1.000	-1.159	1.159
9.100	3.2945	4.7513	-2.0800	1.000	-1.080	1.080
9.250	3.2410	4.5951	-2.0101	1.000	-1.010	1.010
9.400	3.1893	4.4512	-1.9478	1.000	-0.948	0.948
9.550	3.1392	4.3179	-1.8920	1.000	-0.892	0.892
9.700	3.0907	4.1942	-1.8415	1.000	-0.842	0.842
9.850	3.0436	4.0787	-1.7959	1.000	-0.796	0.796
10.00	2.9980	3.9708	-1.7543	1.000	-0.754	0.754
10.150	2.9537	3.8695	-1.7163	1.000	-0.716	0.716
10.300	2.9106	3.7743	-1.6815	1.000	-0.681	0.681
10.450	2.8689	3.6845	-1.6494	1.000	-0.649	0.649
10.600	2.8283	3.5997	-1.6199	1.000	-0.620	0.620
10.750	2.7888	3.5193	-1.5925	1.000	-0.593	0.593
10.900	2.7504	3.4431	-1.5671	1.000	-0.567	0.567
11.050	2.7131	3.3707	-1.5435	1.000	-0.544	0.544
11.200	2.6767	3.3018	-1.5215	1.000	-0.522	0.522
11.350	2.6414	3.2361	-1.5010	1.000	-0.501	0.501
11.500	2.6069	3.1733	-1.4817	1.000	-0.482	0.482
11.650	2.5734	3.1133	-1.4637	1.000	-0.464	0.464
11.800	2.5406	3.0559	-1.4468	1.000	-0.447	0.447
11.950	2.5088	3.0009	-1.4308	1.000	-0.431	0.431
12.100	2.4777	2.9481	-1.4158	1.000	-0.416	0.416
12.250	2.4473	2.8973	-1.4016	1.000	-0.402	0.402
12.400	2.4177	2.8486	-1.3882	1.000	-0.388	0.388

그림 A3-17. 그림 A3-16.에 대한 출력의 예
(Fig. A3-17. The example of output on condition of Fig. A3-16)

- 치수값이 폭인 경우

조건)

폭 : 2.286 cm

동작주파수 : 10 GHz

임피던스 : 350 (ohm)

분석주파수

최저주파수 : 8.2 GHz

최고주파수 : 12.4 GHz

주파수 간격 : 0.15 GHz

특성임피던스 : 전압-전류 임피던스

**** Please Input Following Message: ****

Waveguide Height (B) [cm] =1.016

**** Please Input Frequency Range

for Sensertivity Analysis: ****

Analysis START Frequency [GHz] = 8.2

Analysis STOP Frequency [GHz] = 12.4

Analysis STEP Frequency [GHz] = 0.15

**** Input Operating Frequency and Impedance: ****

Operating Frequency [GHz] = 10

Impedance at 10 GHz [ohms] = 350

```
**** Select Characteristic Impedance for SYNTHESIS ? ****
# 1 Power-Current Imp : Z(P,I)
# 2 Voltage-Current Imp : Z(V,I)
# 3 Power-Voltage Imp : Z(P,V)
---- Input Impedance Selection ? = 2
```

그림 A3-18. 구형도파관의 합성 선택 3의 입력 예(치수값이 폭인 경우)
(Fig. A3-18. The example of inputform in selection 3 for
waveguide height synthesis)

출력 결과

Microwave Computer-Aided Design for Rectangular Waveguide Transmission Lines						
A :1.816 cm		W/G Height Synthesis		TE(10) Freq: 8.253GHz		
B :1.016 cm		=====		TE(20) Freq:16.505GHz		
Z(V,I) :350.000 ohm		OPTION 3		Cutoff lenght:3.633cm		
at 10.000 GHz						
Freque-ncy (GHz)	WaveLength [cm]		Sensitivity of Guide Wavelength to W/G		Sensitivity of Inse- tion to W/G Width(A)	
	Free-sp	Guide-sp	Width (A)	Height(B)	Wavelength	Phase

8.200	3.6560	----	guide in Cutoff Frequency		8.253 GHz	----
8.350	3.5904	23.573	-43.107	1.000	-42.11	42.11
8.500	3.5270	14.725	-17.431	1.000	-16.43	16.43
8.650	3.4658	11.567	-11.139	1.000	-10.14	10.14
8.800	3.4068	9.812	-8.296	1.000	-7.30	7.30
8.950	3.3497	8.655	-6.677	1.000	-5.68	5.68
9.100	3.2945	7.818	-5.631	1.000	-4.63	4.63
9.250	3.2410	7.175	-4.901	1.000	-3.90	3.90
9.400	3.1893	6.661	-4.362	1.000	-3.36	3.36
9.550	3.1392	6.238	-3.949	1.000	-2.95	2.95
9.700	3.0907	5.881	-3.621	1.000	-2.62	2.62
9.850	3.0436	5.575	-3.355	1.000	-2.36	2.36
10.00	2.9980	5.308	-3.135	1.000	-2.14	2.14
10.150	2.9537	5.073	-2.950	1.000	-1.95	1.95
10.300	2.9106	4.864	-2.793	1.000	-1.79	1.79
10.450	2.8689	4.676	-2.657	1.000	-1.66	1.66
10.600	2.8283	4.507	-2.539	1.000	-1.54	1.54
10.750	2.7888	4.352	-2.435	1.000	-1.44	1.44
10.900	2.7504	4.210	-2.343	1.000	-1.34	1.34
11.050	2.7131	4.080	-2.261	1.000	-1.26	1.26
11.200	2.6767	3.959	-2.188	1.000	-1.19	1.19
11.350	2.6414	3.847	-2.122	1.000	-1.12	1.12
11.500	2.6069	3.743	-2.062	1.000	-1.06	1.06
11.650	2.5734	3.646	-2.007	1.000	-1.01	1.01
11.800	2.5406	3.555	-1.957	1.000	-0.96	0.96
11.950	2.5088	3.469	-1.912	1.000	-0.91	0.91
12.100	2.4777	3.388	-1.870	1.000	-0.87	0.87
12.250	2.4473	3.312	-1.831	1.000	-0.83	0.83
12.400	2.4177	3.239	-1.795	1.000	-0.80	0.80

그림 A3-19. 그림 A3-18.의 결과 예
(Fig. A3-19. Output example of Fig. A3-18)