

# Monolithic Crystal Filter의 가공및제조공정



## 목 차

### Monolithic Crystal Filter의 가공 및 제조공정

1. 서론 .....	335
2. 원리 .....	336
3. M.C.F용 AT판의 가공 .....	340
4. M.C.F의 설계 .....	355
5. M.C.F의 제조 .....	368
6. 결언 .....	369

통 신 기 정

통 신 기 좌

전 송 기 사

전송기사보

”

이 현 갑

여 성 규

김 성 배

최 근 무

문 태 준

## 1. 서 론

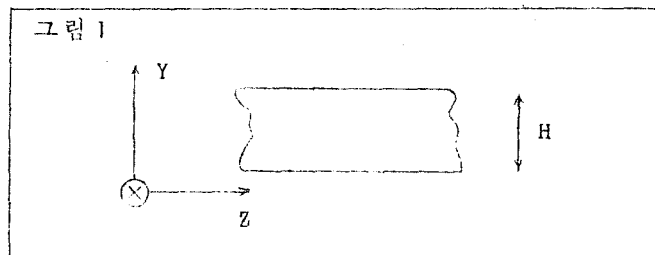
수정을 압전판으로 하여 두께진동 Mode의 Energy가 전극에 축적되는 현상을 이용한 Monolithic Crystal Filter (이하 M.C.F라 칭함)은 기계적, 전기적으로 Q가 높고 고안정의 수정의 성질을 직접 최대한으로 이용한 Filter이다.

특히 M.C.F로 전송규격이 엄격한 통화로변환 Filter를 실현하려면 공진 주파수 및 결합도의 정밀조정이 필요하다. 특히 결합도를 소요의 정도까지 조정하려면 공진자전극간에 보조전극을 설치할 필요가 있다. 본 연구에서는 보조전극을 포함한 12Pole "단배무"형 M.C.F의 기관가공공정 및 10MHz대의 M.C.F의 제조공정에 대하여 기술한다.

## 2. 원 리

탄성체들은 많은 수의 진동 Mode를 갖고며 이 진동 Mode중 불요진동 Mode는 제거하고 필요한 진동 Mode만을 선택하여 공진자로써 사용한다.

AT-cut 수정공진자는 Thickness Shear Mode를 이용하여 수 MHz에서 수백 MHz 범위의 주파수 대에서 사용되고 있다. 이 경우 Harmonics Overtone은 Main Mode와 고차 Mode가 함께 나타난다. 그림 1과 같이 AT-cut Crystal Slab의 Cross Section (Y.Z축)을 따라서 Z방향에 파형이 전파되는 것을 생각하여 보자.



간단히 하기 위하여 X축 방향의 크기를 무한히 길다고 가정하고 변위방향이 X축에 병렬인 SH Wave라 불러주는 것만을 생각하자. 더욱이 Main Mode에 대해서만 고찰하면 Slab의 밀면과 윗면에 Free Condition 상태에서의 변위 U은 다음과 같이 표시된다.

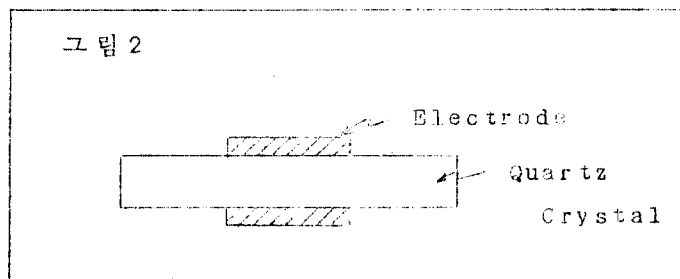
$$U \propto \cos\left(\frac{\pi Y}{H}\right) \exp(wt \pm \beta z)$$

여기서  $\beta$ 는 Z방향의 파형수이며  $\beta$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\beta = \frac{n\pi}{H} \sqrt{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}$$

여기서  $f_0$  는 Slab 의 폭이 무한 길이 일때의 Thickness Shear Mode 의 기본공진 주파수 이다.

파형은  $f > f_0$  일때 전파되고  $f < f_0$  일때는 진폭은 대수적으로 감쇠되며, 파형은 전파되지 않는다. 다시 말하면 그림 2 에 보인 바와 같이 한쌍의 전극을 AT-Cut 수정판 밑면과 윗면에 부착하였을 경우 이 전극부분의 차단주파수는 전극을 하지 않은 부분의 차단주파수 보다 낮아진다. 그 이유는 Mode 주파수 높은 전극을 한 부분의 Cut off frequency 보다 높은 주파수를 갖으며 전극을 하지 않은 부분의 차단 주파수 보다 낮은 주파수를 갖는다. 이것은 전극이 진동을 방해하며 전극을 하지 않은 부분은 탄성진동진폭이 대수적으로 감쇠되기 때문이다. 결과적으로 진동 Mode 는 전극사이에서 방해를 받으며 강하게 여진되며 압전공진자는 Trapped Energy Mode 내에서 진동한다. 이것이 Trapped Energy 형 진동자의 원리이다. Trapped Energy 의 총화는 전극의 면적과 전극양에 의해 주파수가 낮아지며 이의 함수이다.



다음 그림 3 에서와 같이 전극을 2 개로 분리시킨 Resonator 를 생각하면 이 경우 Main Mode 와 1 차 In-Harmonic Mode 는 Anti-Phase 의 관계를 갖으며 그림 4 의 (a)와 (b)와 같은 등가회로로 표시할 수 있다.

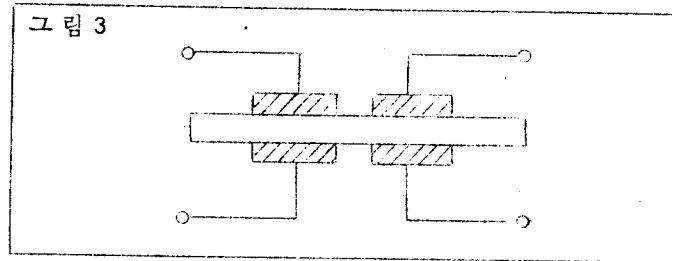


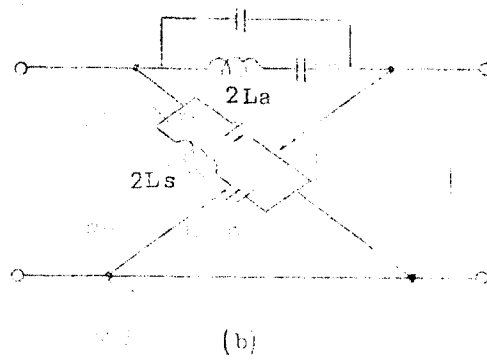
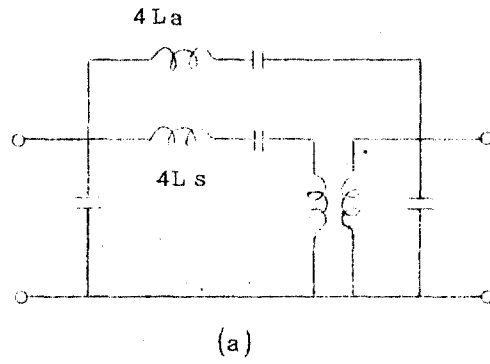
그림 4 의 (b)은 Lattice 회로이며 이 회로는 협대역통과 여파기의 기본으로 일반적으로 사용된다. 더욱이 수정판에 전극의 수를 증가시키면 Filter 는 Sharp 한 차단특성을 얻을 수 있다.

이것들을 Multiple Mode Resonator 라 부르며 Multiple Mode 를 이용한 Filter 의 통과대역폭은 용량비에 의한 제한을 받으며 Band Pass Filter 를 설계제작 할 수 있다.

두 Mode 사이의 Coupling Response, 종단 Impedance 등은 아래의 조건에 의하여 결정된다.

- 가. Shape 와 전극면적
  - 나. Frequency 의 drop 양
  - 다. 전극사이의 gap 폭
  - 라. 파형전파 방향, Crystal slab 의 방향, 진동변위방향 사이의 관계.
- 일반적으로 각진동자의 측정과 조정은 전극수가 증가함에 따라 더욱 어려워 진다.





[ 그림 4 ]

### 3. M.C.F 용 AT판의 가공

대상으로 표 1 에 표시한 특성을 구현하기 위하여 M.C.F 용 기판이 요구하는 높은 방위정도, 평행도, 평면도 및 수정판두께를 표 2 에 표시하였다.

< 표 1 > M.C.F 특성

중심주파수	10.7 MHz
통과대역폭	$\pm 7.5 \sim 22.5 \text{ KHz}$
통과역내 특성	CCITT 의 $\frac{1}{10}$ 이내
감쇠역 특성	60dB 이상

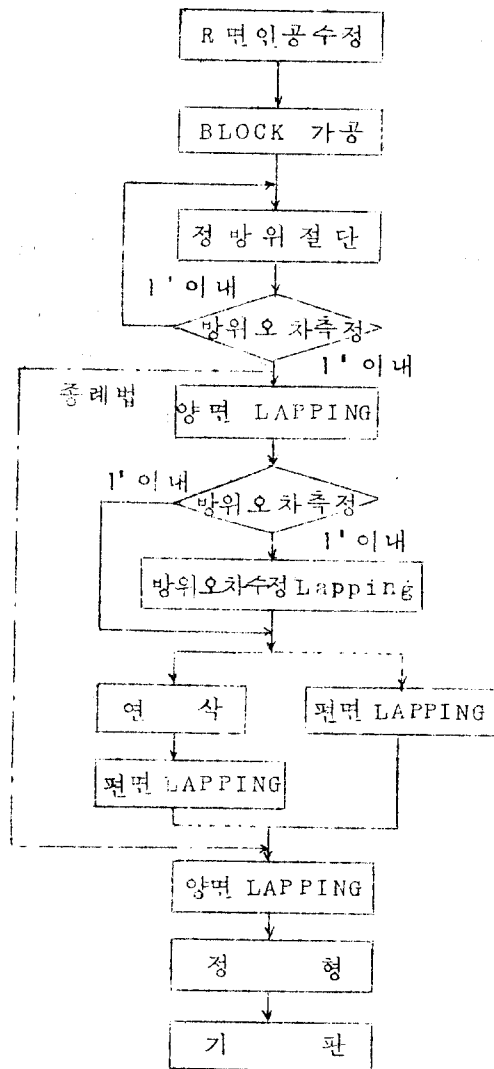
< 표 2 > M.C.F 용 기판규격

방위오차	1' 이내
평행도	$0.2 \mu\text{m}/30 \text{ mm}$
평면도	$1 \mu\text{m}/30 \text{ mm}$
판 후	$157 \pm 0.2 \mu\text{m}$
외형크기	X 축 = $11.2 \text{ mm}$ Z' 축 = $3.5 \text{ mm}$

#### 3 - 1 가공 공정

종래의 수정편가공에서는 정방위절단후 정형된 시료를 편면 Lapping 또는 양면 Lapping 에 의하여 작업공정을 행하였지만 이러한 방법으로는 정도의 확보를 기대하기 곤란하다. 그래서 정

도의 확보를 위해 그림 5 와 같이 종래의 공정에서 방위오차수정 Lapping 과 편면 Lapping 또는 연삭공정을 도입하였다. 즉, 정방위 절단에서 1' 이내의 방위오차를 갖는 시료를 100 % 얻는 것은 불가능 함으로 1' 이상의 시료에 대하여 Lapping 으로 수정하는것으로 하였다. 또 양면 Lapping 은 평행도를 확보하는데는 유효한 가공법이나 가공량이 많은 경우에는 방위정도를 유지하기 곤란하여 편면 Lapping 및 연삭으로 치환하여야 한다. M.C.F 기관의 표면상태는 미세한 연마재로 연마된 Lap 면을 Etching 처리한다. 실재로 최종연마를 G.C # 4000 (2.5 $\mu$ ) 연마제로 끝내고 그후 불화암모니아 및 불화수소로 Etching 하여 소요의 두께까지 조정하여 작업을 끝낸다. 이에 대한 가공공정표를 그림 5 에 표시하였다.



<그림 5> MCF 용 기판 가공 공정

### 3 - 2 BLOCK 의 정형

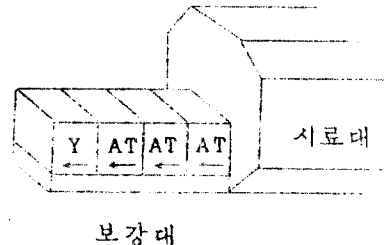
인공수정으로 부터 AT 판을 절단할 경우 Y - Bar 수정과는 달리 R 면 육성결정으로 부터 기관의 외형과 비슷한 Block로 정형한후 연속적으로 절단을 행한다.

우선 R 면 육성결정의 R 면은 X축이 포함 하였으므로 X 면을 X 선방위측정 장치로 방위오차를 측정해가며 손으로 표 3 과 같이 10' 이내로 가공하여 이것을 기준면으로 한다. 다음 AT 면과 2' 면을 같은 작업으로 가공하여 최종적으로 M.C.F 기관 크기에 가까운  $15(X\text{면}) \times 35(2'\text{면}) \times 20(AT\text{면})$  mm의 BLOCK로 가공한다.

다시 AT 면의 방위오차는 절단정도를 높이기 위해 1' 이내로 한다. Block정형 공정에 의한 Block는 그림 6 과 같다.

< 표 3 > Block 가공

가 공 기 기	평 면 연 마 기
주 속	약 120m/min
Lap 재질	주 철
G.C 연마재	#600, #1000, #2000



< 그림 6 > Block

### 3 - 3 정방위 절단

수정의 절단에는 가공물의 설정 또는 조작물에 따라 일반적으로 외주도형 절단기가 사용되고 있다. 가공물의 설정은 그림 6 과 같이 정형된 수개의 AT면 Block 또는 그 선단에 Y면 Block를 시아노-아그릴제·접착제로 접착한후 시료대에 세락제 접착제로 고정 한 다음 Y면 Block는 수정의 방위가 얼어질때까지 절단하기 위한 것이며 AT면 수정의 손실을 피하기 위한 "다미"이다.

표 4 에 표시한 것과 같은 조건으로 정방위절단하여 1' 이상의 편차에 대하여는 방위오차 Lapping 으로 수정 한다.

< 표 4 > 절 단 조 건

주 속		1,540m/min
송속도		5.5 mm/min
Diamond Wheel	크 기	내경 : 140 mm, 두께 0.4 mm
	입 경	40 ~ 60 $\mu$ m
가공액		유성 ( 석유 )

### 3 - 4 방위오차 수정

방위오차 1' 이내의 시료에 평면도  $5\mu\text{m}/30\text{mm}$  이내 평행도  $9\mu\text{m}/30\text{mm}$  이내가 요구된다.

그러나 절단한 시료의 평면도는 대부분  $5\mu\text{m}/30\text{mm}$  이상이므로 방위오차수정을 행하여야 한다. 이때 Lapping 에 의한 축과 시료의 접촉오차와 Twymann 효과를 충분히 검토하여 절단한 시료를 양면 Lapping 으로 평행, 평면이 되게끔 행하여야 한다.

표 5 에 양면 Lapping 조건을 표시 하였다.

< 표 5 > 양면 Lapping 조건

주 속	10 ~ 20 m/min
압 력	70 ~ 80 g/cm <sup>2</sup>
Lap 재질	주 철
G.C 연마제	#2000 ~ #4000
가공액	석유 + 연삭액, 물 + 방청제

또한 방법으로 방위오차를 수정하려면은 우선 시료의 방위오차를  $45'' \sim 1'15''$ ,  $1'15'' \sim 1'45''$ , .....로 분별된  $30''$  씩 경사 JIG (크기  $80 \text{ mm}$  각 두께  $20 \text{ mm}$ ) 에 각각의 시료를 특수접착제로 접착한후 JIG와 시료를 포함한 전체가 평행될때까지 표 3에 표시한 조건으로 Lapping 한다. 이로써  $1'$  이내의 방위오차를 갖는 시료를 얻을 수 있다.

### 3-5 편면 가공

편면 Lapping에서는 시료의 파손이 적으며 양면 Lapping에 비하여 가공압력과 Lap 반 회전수를 크게 할 수 있어 비교적 가공능율이 높다.

이의 가공에 평행, 편면의 금속 JIG는 취급이 용이한 크기로서  $80 \text{ mm}$  각  $15 \text{ mm}$  두께로써 평행도를  $1 \mu\text{m}/80 \text{ mm}$ 의 것을 사용했다.

다음 최종적인 가공으로는 양면 Lapping으로 단시간 종료하게끔 목표의 두께를 평행 Lapping하였다. 이때 얻어진 시료의 평행도는 대략  $0 \sim 4 \mu\text{m}/30 \text{ mm}$  정도이며 이때 사용한 편면 Lapping 조건은 <표 6>에 표시 한다.

<표 6> 편면 Lapping 조건

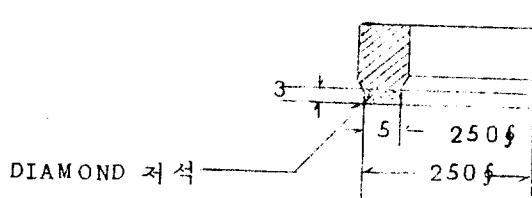
주 속	$20 \sim 40 \text{ m/min}$
압 력	$100 \text{ g/cm}^2$
Lap 재질	주 철
G.C 연마재	# 1000, #2000
가공액	물 + 망청제

### 3-6 연삭

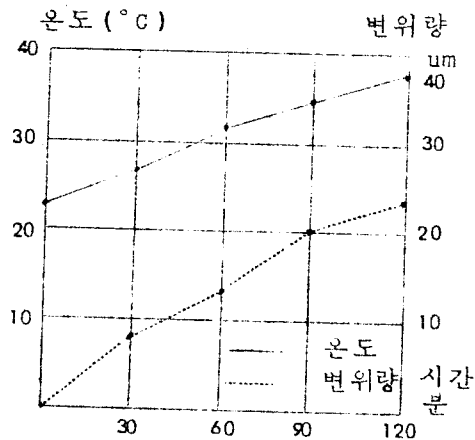
연삭은 "그라스 후리트", 세라믹 등의 재료가공에 대단히

널리 사용되고 있으며 수정에도 조가공에 널리 적용하고 있다.

이미 3-2절에서도 말한것과 같이 Block의 정형이 수작업으로 각각 가공 함으로 연삭의 도입은 가공시간의 단축에도 대단히 유효하다. 여기서 그림 7에 표시한 Diamond cut형 저석의 평면 연삭반을 사용하여 수정판의 연삭능률과 연삭정도에 대하여 검토하면 본기기를 사용함에 있어서 그림 8에서와 같이 기동초기의 온도 상승에 의한 Table의 열팽창을 피하기 위하여 약 2시간 예비운전하여 표 7과 같은 조건으로 저석의 "도링구"와 "도렛싱구"를 하면 가공물의 평면도를 5 $\mu$ m 이내로 가공 할 수 있다.



< 그림 7 > 연삭반과 저석형상



< 그림 8 > 연삭반의 초기에 Lap면의 온도 상승과 변위



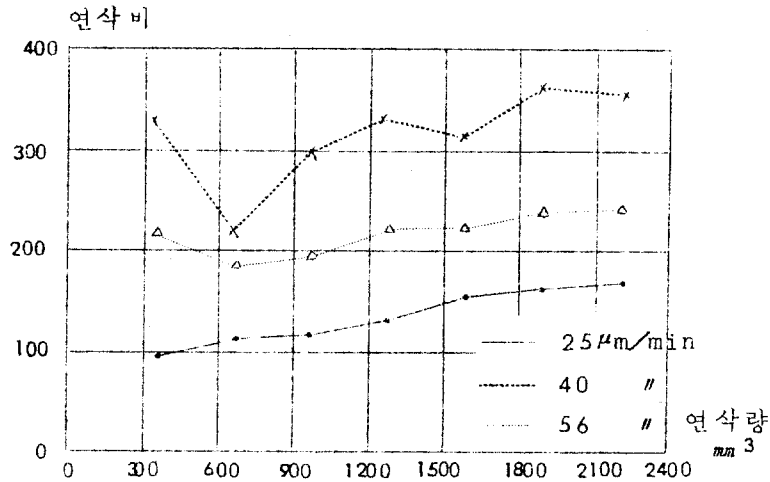
< 표 7 > 연삭속전 및 Diamond저석의 "도링구", "도릿싱구" 조건

저석 주속	1,550 m/min	
Lap "	68 m/min	
저석 송속도	25, 40, 56 $\mu$ m/min	
저석 입도	#80, #150, #300	
가공액	유황계 극압유 : 석유 = 1:9	
보충재료	돌가루, 2액혼합에 "세보기시" 수지	
	도 링 구	도 릿 싱 구
저석 주속	5.4 m/min	1150 m/min
Lap "	68 m/min	15 m/min
저석 송량	100 $\mu$ m	80 $\mu$ m/min
가공액	유황계 극압유 : 석유 = 1 : 9	
수정용 G.C 저석	# 120	
소요시간	60 분	20 분

그러나 표 7의 조건중 연삭비 (연삭체적/저석마모량) 시료표면의 거치름, 연삭저항에 의한 저석구동모타의 부하변동, 저석송속도, 가공액, 저석입도 및 시료사이에 보충재료의 영향에 대하여, 충분히 검토하여야 한다.

### 3 - 7 저석 송속도

연삭량에 대하여 연삭비의 변화는 그림 9와 같이 연삭초기를 제외하고는 어떤 저석 송속도에 대해서도 0.03/mm<sup>3</sup>씩 증가하고 있으며 연삭의 진행과 같이 연삭능률이 상승하고 있다.



< 그림 9 > 연삭량에 대한 연삭비 변화

일반으로 저속 보내는 속도가 적으면 작용입도가 연삭에 충분히 작용하지 못하여 Diamond Wheel의 현저히 마모되고 또 반대로 저속 보내는 속도가 할때는 Diamond Wheel의 입자가 탈락됨으로 어느쪽이든 연삭비는 감소한다. 따라서 저속 보내는 속도 40 μm/min에 있어서 타에 비하여 연삭비가 특히 큰것은 그 대개가 중간이 제일 조건이 좋다고 생각된다. 저속 보내는 속도를 40 μm/min에 있어서 표면의 평면도는 약간 좋치 못하나 연삭능력이 큰것과 대응하여 선택하여야 한다. 또 표면의 "푸로필"은 무른 재료의 연삭에서 나타나는 큰조각과 미세한 조각으로 되는 특유의 형상을 나타낸다. 한편 부하변동은 저속 보내는 속도를 크게 하면 약간 감소하는 경향이 있다. 이 현상도 Diamond Wheel의 입도의 탈락과 마모에 의한 결합재와 시료간의 마모저항과 관계되며

앞으로의 연구과제이다.

예를들어 시료의 거치름은 #3000 저석에 송속도  $25\mu\text{m}/\text{min}$ 에서  
는 그크기가  $50\mu\text{m}$  되는데 대하여  $40\mu\text{m}/\text{min}$ 로 하면은  $70\mu\text{m}$ 로  
된다. 이것은 저석보내는 속도를 증가시킨 경우 시료단면에 당하  
는 작용저석 입도의 높이가 증가 되므로 저석 보내는 속도를 크  
게 하는 것은 바람직한 것이 아니다.

### 3 - 8 가공액

가공액에 있어서는 수용성과 비수용성에 의한 연삭특성의  
차가 대단히 크다. 즉 연삭비는 비수용성에서는  $100 \sim 400$  정도  
이지만 수용성에서는  $20 \sim 50$ 으로  $1/5 \sim 1/8$ 로 감소되며 시료표  
면의 거치름은 수용성이 비수용성에 비해  $50\%$  정도 크며, 시료표  
면의 // 푸로필 // 도 악화된다.

다음 저석면에 대하여 생각하던 비수용성에서는 저석입자가 결합  
재의 면보다 돌출 하는데 비하여 수용성에서는 저석 입자의 작용  
면에 흠이 가는 동시에 연삭된 조각이 결합재에 매입되는 것을 볼  
수 있다. 이상의 고찰에서 수용성가공액으로서는 냉각효과는 좋지  
만 윤활성이 낮으며 저석입자의 마모가 크고 연삭된 조각등의 배  
출작용도 적으므로 발열이 높아진다. 그러므로 저석입자 주위의  
결합재에 변형이 생기며 연삭으로는 연삭비가 적고 표면이 거치르  
며 부하변동이 증가하는 것은 당연하다. 이것에 대해 비수용성에  
서는 냉각효과는 적어도 윤활성이 좋고 발열이 적으며 배출작용도  
양호 하므로 연삭비, 표면의 거치름, 시료의 흠에 좋은 결과를 얻  
을 수 있다.

특히 수용성으로  $200\mu\text{m}$ 까지 연삭하면 초기의 부하변동이 6배  
로 증가하는 현상은 비수용성에서는 전혀 없다. 그러므로  $20\mu\text{m}$

까지 얇게 하여도 시료 몸의 크기는 변치않고 시료 내부에 생기는 흠도 없다.

### 3 - 9 입도와 보충재료

저석의 입도에 대한 연삭비와 표면의 거치름의 관계는 대략 비례한다. 따라서 생산성, 정도면을 생각하며 #150 저석이 적당하며 종래의 수정절단에 사용한 입도의 적용범위와 대략일치 한다. 한편 시료의 흠만을 방지하려면 고운 저석을 사용하면 좋으나 근본적인 개선은 않된다. 예를들어 저석보내는 속도  $40\mu\text{m}/\text{min}$ 에 있어서 #150 저석에 의한 흠은  $90\mu\text{m}$ 이며 #300 저석을 사용해도  $70\mu\text{m}$ 에 불과하다 고로 미세저석을 사용하는 것은 가공능율면에서 볼때 좋지못하다. 그러나 시료의 주변에 보충재료를 주입해가며 동시에 연삭하면 시료의 흠을 적게 할 수 있다. 보충재료로써 연마재를 사용하면 #150 저석, 저석보내는 속도  $40\mu\text{m}/\text{min}$ 의 연삭에 있어서 비수용성가공액을 사용하여 시료의 흠은  $30\mu\text{m}$  정도로써 보충 재료를 주입하지 않은 경우에 비하여 약 1/3 적어진다. 보충재료의 주입은 표면의 거치름은 10%정도 증가하나 시료의 흠을 적게하는데는 효과가 있다. 더욱 에폭식제 수지를 사용하면 흠을  $10\mu\text{m}$ 까지 할 수 있으나 수지가 굳어져 시료에 굳어진 수지를 제거하기 곤란하여 연삭에 의한 시료의 흠을 적게 하는데는 돌가루의 보충재료가 적합하다.

이상과 같이 수정의 연삭에 필요한 가공조건을 종합하면 표 8 과 같다.

< 표 8 >

수정 연삭에 필요한 가공 조건

저속 주속	1150 m/min
Lap 주속	68 m/min
저속 종속도	40 $\mu$ m/min
저속 입도	# 150
가 공 액	유황계 극유 : 석유 = 1 : 9
보충 재료	돌가루

### 3 - 10 양면 Lapping

수정판의 가공은 보통 양면 Lap 반으로 하고 있으며 그 종류도 많다. 종래의 양면 Lap 반으로는 시료를 넣는 Carria (유성치차)와 이것을 구동하는 치차만이 회전하는 운동형식이 일반이다. 이 형식으로는 기동시 시료와 Lap 반 사이에 마찰이 크므로 얇은 Carria는 변형하거나 시료가 파손되는 결점이 있다.

더욱 G.C # 4000 저입과 같은 미세입자를 사용하면 Lap 저항이 증대하므로 이 경향은 더욱 심하다. 여기에 대하여 B.T.L에서는 기동시 Torque 를 되도록 적게 하기 위하여 상.하 Lap, 내, 외 치차 및 Carria가 회전하는 즉 상대운동으로써 4개의 회전운동으로 되는 4운동형 양면 Lapping을 사용하면 200 $\mu$ m까지 흠이 안가고 가공할 수 있다.

### 3 - 11 Carria와 Lap

Carria내의 시료배치는 시료의 크기와 배치의 대칭성을 고려하여 1판의 Carria에 시료를 3배 정도가 한계이다. 배치는 Carria의 중앙에 Lap의 평면도의 열화를 적게 하기 위하

여 15mm  $\phi$ 의 "다미"를 놓는다. 또 Carriea의 재질에 대해서는 금속에 비하여 플라스틱으로 하면 시료의 흡이나 Lap면의 흡이 적으므로 Poly Carbonate의 Carriea를 사용하면 좋다. 그렇지만 편면 Lapping에서는 시료의 평면도, Lap의 평면도에 의해서 결정되는 것이 이미 이론적으로 완성되어 있다. 양면 Lapping의 경우는 시료의 평면도 뿐만아니라 평행도와 판두께 각각에도 좌우된다. 더구나 시료가 얇아지면 편면 Lapping과는 달리 Lap의 편향상이 시료에 전해질 뿐만아니라 그의 인자의 작용이 문제된다.

1 $\mu$ m 이하의 평면도를 유지하려면 Lap를 10분 이내의 간격으로 수정해야 한다. 그러나 단시간으로 여러번 시료의 위치가 변경되면 조작의 회수에 비례하여 시료를 파손하는 확률이 높고 오히려 작업능률면에서 문제가된다. 예컨대 1판의 시료가 흡이 있을 경우 평행도와 판두께의 편차를 유지하기 위하여 Carriea내의 시료를 대부분 재배열 하여야 하기 때문이다. 또 Lap의 수정은 수시간 요하는 것도 고려하면 Lap반의 평행도가 다소 낮아져도 최소한 1시간 마다 Lap반을 수정할 필요가 있다.

### 3-12 평행도와 판후제어

M.C.F용 기판으로는 평면도보다 오히려 평행도나 판후에 엄격한 정도가 요구된다. 평행도가 판후를 균일하게 하려면 Lap의 수정도 중요한 방법이지만 시료를 재배치(자리 바꿈)하면 효과가 좋다. 재배치에는 판후에 따라 시료를 대칭적으로 분산배열하는 방법도 있다.

재배치시에 배열순서가 틀리는 경우가 있으므로 많은 신경을 써야한다.

시료의 재배치에 의하여 망위나 평행도를 고정도로 가공할 수

있으나  $1\mu\text{m}$  이하의 정도로 목표의 치수로 가공하는 것은 대단히 힘들다. 종래는 가공량을 가공시간으로 제어 하였으나 수  $\mu\text{m}$ 의 가공량을 제어할 경우 시료나 Carriera의 배치의 잘못으로 가공량과 가공시간과의 비례관계가 틀리는 수가 많다. 기관가공의 양산화의 방법으로 Lap중에 수정의 압전효과에 의한 공진주파수를 측정할 수 있으면 해결되므로 상, 하 Lap를 전극으로 해서 공진주파수를 측정하면 되지만 상, 하 Lap 사이의 절연유지가 문제가 된다. 이의 해결책으로 Plastic Carriera와 석유:연삭유 = 10 : 1의 가공액을 사용해서 전기적 절연을 하면 된다. 그의 측정에는 Lapping에서 발생된 AT판의 공진주파수 신호를 상 Lap판의 회전동축을 통하여 Spectro Analysis로 관찰한다.

그때의 출력은 대단히 적으므로 40dB 정도 증폭된다. 다시 Motor 등의 잡음을 적게 하기 위하여 Lap판 회전속도를 10rpm 이하로 상당히 느린 회전수로 하는 것이 요구된다. 이때의 출력은  $\pm 10\text{KHz}$  ( $2\mu\text{m}$  정도)의 정도만이 나타난다. 그 원인은 잡음의 영향이크며 회전중의 수정을 측정하기 때문이다.

이 방법에 따르면 Lap중의 두께를 감지할 수 있는 장점은 있으나 양면 Lap판과 Motor와의 거리를 두어 잡음 방지의 전기적 Shield를 충분히 하는 구조를 하지 않으면  $1\mu\text{m}$  이내의 제어는 어렵다.

현재 이방법이 일반으로 사용치 않는 이유는 철저한 잡음 대책이 해결되고 있지 않기 때문이다.

역시 시료의 두께와 평행도 측정은 도중단계로 Micro Meter, 최종단계로 AT판의 공진주파수 측정방법이 널리 사용된다.

최종 Lapping 공정에 있어서 시료두께에 비례하는 AT판의 공

진주파수를 가공중에 검출해가며 최종두께까지 연마한다.

연마 과정에서 시료를 재배치 하지 않고 연속적으로 연마를 행하면 시료의 흠은 적으나 두께편차는  $8.6\mu\text{m}$ , 평행도는  $0.2 \sim 4.9\mu\text{m}/30\text{mm}$  정도로 가공정도는 대단히 낮아지며 10 ~ 20 분 간격으로 시료의 재배치를 행하면 두께편차가  $2.7\mu\text{m}$ , 평행도가  $0.1 \sim 0.5\mu\text{m}$ 로 가공정도는 대단히 개선된다. 다음 거의 최종연마 두께까지 연마된 경우에는 재배치 간격을 10 ~ 15 분으로 짧게 하면 두께편차는  $1.6\mu\text{m}$ , 평행도는  $0.1 \sim 0.4\mu\text{m}/30\text{mm}$  까지 가능하며 좋은 결과를 얻을 수 있다.

시료의 파손은 Lap 반의 기동시에 많이 발생하므로 소요두께의  $\frac{2}{3}$  에 해당하는 두께까지는 재배치를 지양하고 그 이후 부터는 앞에서 말한 정도로 재배치를 행하여 판후오차를 억제하는데 중점을 두고 최종 연마까지 미세 조정은 공진주파수를 감시해가며 연마를 행하여야 한다.

이상의 결과를 종합하면 전공정의 농에 해당하는 두께까지는 양면 Lapping으로 행하고 나머지 공정은 편면 Lapping으로 판후정도 및 평행도  $0.2\mu\text{m}/30\text{mm}$ 의 소요정도를 얻을 수 있다. 또 다른 공정으로써 Block가공, 절단, 편면 Lapping으로도 할 수 있으며 절단에 대해서는 앞서 기술한 조건으로 행하면 되며 연삭에 의한 편면 가공은 저속보내는 속도를 조절함으로써 연삭시간이 결정되며 Lapping 자체는 시료 판수, 하중, Lap 반 회전수에 따라 변한다.

또 편면 Lapping과 연삭과의 가공공정을 비교하면 연삭만의 공정은 양면 Lapping 시간의 농에 해당하며 연삭만의 공정에서는 가공층을 제거하는 Lapping 공정이 다르지만 시간적으로 많은 이점



이 있다. 또한 연삭은 Block의 정형이나 방위오차의 수정에도 적용되어 양산성 문제에서 대단히 양호한 공정중의 하나이다.

## 4. M.C.F의 설계

### 4-1 개요

M.C.F로 전송규격이 엄격한 통화로 변환 Filter를 실현하려면 공진주파수 및 결합도의 고정도의 고정도 조정이 중요하다. 특히 결합도를 소요의 정도까지 조정하려면 공진자 전극간에 보조 전극을 설치할 필요가 있다. 본 보고에서는 보조전극의 동가회로를 이론적으로 구하여 보조전극을 갖는 M.C.F의 설계법에 대하여 기술한다.

상기 설계에 의하여 공진주파수와 실제로 공진전극으로 부터의 발진주파수의 관계를 명확히 하는데 따라 낮은 주파수 측의 차단 특성의 완만한 원인을 확인할 수 있다.

본 설계는 무극 12Pole # 단테무 # 형 M.C.F를 기준으로 하여 C.C.I.T.T  $\frac{1}{10}$  규격에 적합한 설계를 행한다.

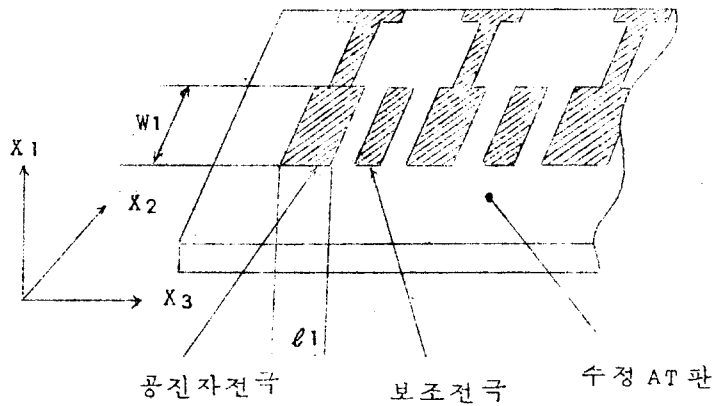
### 4-2 보조전극을 갖는 M.C.F의 동가회로

M.C.F의 설계은 L.C Filter의 설계 이론을 적용하여 집중정수적 동가회로를 가정하여 M.C.F의 진동기본식의 기초를 두어 분포정수적으로 취급하여 집중정수회로에서의 동작 Parameter에 의한 설계치를 적용하여 전송특성의 평가를 행한다. 이 설계법에서는 공진자전극 부분의 공진주파수를 각각 인접전극을 제외하고 모두 동일하게 하고 다시금 전극간격에 인접되는 2개의 전극면을 생각 하였을때 탄성적결합이 동작 Parameter에 의한 설계치가 되게끔 정한다. 고선택도, 고성능 Filter일 경우 결합도 편차가 용이하게 보상되는 공진자전극간에 보조전극을 설치할 필요가

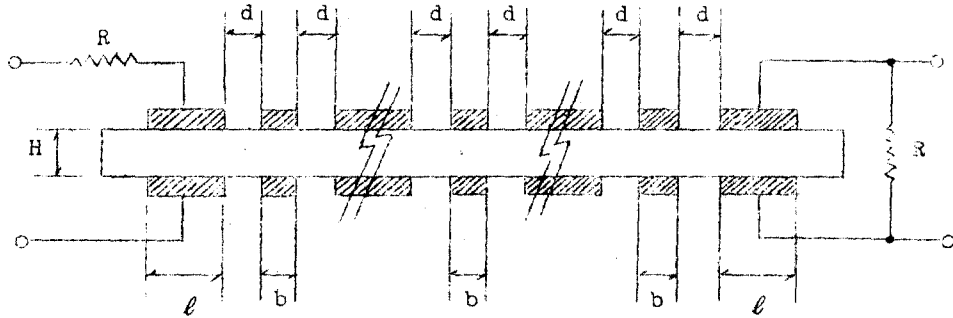
있다. 보조 전극을 M.C.F의 설계단계부터 고려하지 않으면 안된다. 이것은 보조전극의 질량효과에 의해서 공진주파수가 영향을 받게 되기 때문이다. 여기서 기술하는 보조전극을 갖는 M.C.F의 설계법의 특징은 M.C.F의 진동기본식에 기초를 둔 분포정수적 취급에 있어서 여파특성을 직접계산 한 것부터 M.C.F의 설계 Parameter를 결정하는데 있다.

#### 4 - 3 분포정수 등가회로

M.C.F의 구조는 수정 AT판의 Thickness Twist 진동 Mode을 사용하여 그림 10에 표시한 것과 같다.



<그림 10> (a) M.C.F 구조

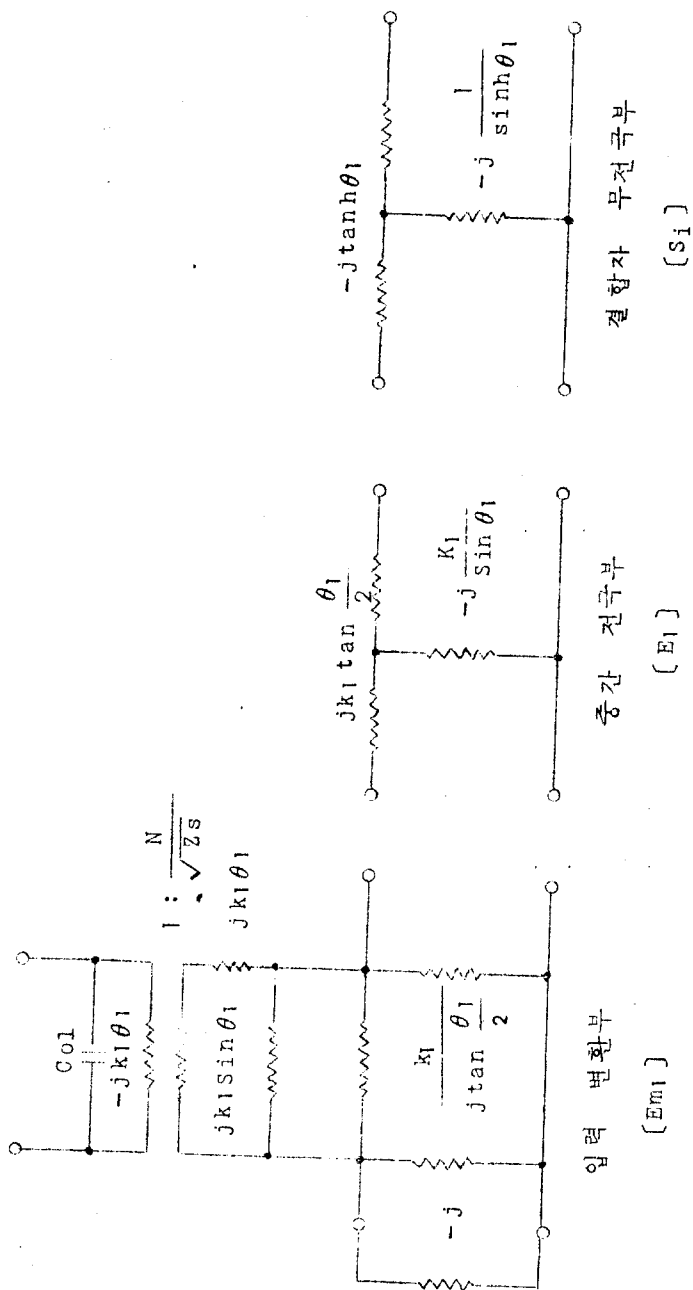


<그림 10> (b) M . C . F 구조

양단의 전극부분이 전기기계 변환자를 겸한 공진자, 중간부의 전극은 능상 상하를 전기적으로 단락해서 기계진동자를 형성 되게끔 한다. 공진자 간의 부분은 결합자로서 무전극부와 가늘고 긴 보조전극으로 구성되어 있다. M.C.F의 경우 보조전극의 폭을 조절함으로써 용이하게 인접전극자간의 결합계수를 소망의 값에 일치하게끔 할수 있다.

그림 11은 전극길이 방향의 변위분포를 잡제한 경우의 입력변환부, 결합자 무전극부, 중간공진자 전극부의 등가회로이다.

좌로부터  $i$  번째의 공진자전극폭이  $\ell_i$  Plate 박막량이  $R_i$ ,  $i$  번째와  $i+1$  번째의 공진자에 얹은 폭의 결합자 무전극 폭  $d_i$ , 수정 AT 판의 두께를  $H$  라하면 그림에 표시한 변위는 다음과 같다.



< 그림 11 > M . C . F 분포정수회로

$$\theta_i = r_{TT} \pi \frac{\ell_i}{H} \sqrt{\left(\frac{F}{1-R_i}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots(1)$$

$$\theta_i = r_{TT} \pi \frac{d_i}{H} \sqrt{1 - F^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$K_i = \sqrt{\left(\frac{F}{1-R_i}\right)^2 - 1} / \sqrt{1 - F^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{N_i^2}{Z_s} = \frac{\pi^2 e^2 \alpha}{\sqrt{Pr_{55}}} \frac{W_i \ell_i^2}{H^2} \sqrt{\frac{F^2}{1-F^2}} \dots\dots\dots(4)$$

$C_{0,i}$  : 구속용량

$F = f/f_s$  : 규격화 주파수

$f_s = \frac{1}{2H} \sqrt{\frac{C_{66}}{P}}$  : Thickness Shear Cut off frequency

$r_{TT} = \sqrt{\frac{C_{66}}{r_{55}}}$  : Thickness Twist Mode 의 이방성 정수

$W_i$  : 전극길이

$e_{26}$  : 압전정수

$C_{m,n}, r_{mn}$  : 탄성정수

$P$  : 수정 밀도

등가회로는 무전극부의 음향 Impedance  $Z_s$ 에 규격화해서 다시 수정판의 Thickness Shear Cut-off frequency  $f_s$ 에 규격화된 주파수  $F$ 로 표시한다. 그림 11로 각부분의 전송행렬은 즉시 구할 수 있다. 이하의 기호에서 전송행렬을 표시하였다.

i. 입력전기기계 변환부:  $E_{m1}$

ii. 결합자 무전극부:  $S_i$

iii. 중간전극부:  $E_i$

iv. 출력 변환부:  $E_{m2}$

보조전극을 갖지않는 M.C.F 전체의 4 단자 행렬은 상기 4 단자 행렬로 구성하면 된다. M.C.F의 여파 특성도 이의 4 단자행렬을 사용해서 계산한다. 보조전극을 설치할 경우는 다시보조전극의 등가 회로를 구하여야 한다.

#### 4 - 4 보조전극의 등가회로

보조전극은 M.C.F의 제조시에 소판의 판후편차가 전극크기 전극량오차에 있어서 발생하는 결합도의 편차를 보상하여 준다. 공진자전극의 폭에 비해 일반적으로 작은 것을 쓴다. 따라서 보조전극을 근사적으로 간단히 질량효과의 것만을 취급한다. 보조전극의 폭을  $b_i$ , Plate 박막량을  $r_i$  라하면 이부분의 4 단자행렬  $S_i$  은 그림 11을 참고하여 식 (5)로 된다.

$$[S_i^e] = \begin{pmatrix} \cosh \phi_i & -jK_i \sinh \phi_i \\ j \sinh \phi_i / K_i & \cosh \phi_i \end{pmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

$$\phi_i = r_{iT} \pi \frac{b_i}{H} \sqrt{1 - \left(\frac{F}{1-r_i}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_i = \sqrt{1 - \left(\frac{F}{1-r_i}\right)^2} / \sqrt{1-F^2} \dots\dots\dots (7)$$

여기서 식 (5)은 보조전극부분의 Plate 박막량  $r_i$ 와 규격화주파수  $F$ 가  $F \leq 1 - r_i$ 의 범위에 들어야 한다. 식 (5)에서  $r_i = 0$ 에서는 결합자 무전극부의 4 단자행렬  $[S_i]$ 와 같은 형식이 된다. 또한 중간 전극부의 4 단자행렬  $[E_i]$ 와 같은 형식이 된다.

이에따라 보조전극을 취하면은 결국 보조전극을 포함한 결합자  
부분의 4 단자행렬  $[S_i]$  은 다음과 같다.

$$[S_i] = [S_i][S_i^0][S_i] \dots \dots \dots (8)$$

2 개의 공진 자간에 보조전극을 설치해서 보조전극의 폭을 변화시  
켜 고유주파수의 변화를 실험하면 좋을 것이다. 보조전극의 수정  
판의 편면에만 또는 양면에 설치 할 수 있다.

일반으로 보조전극의 박막량은 공진전극의 박막량과 동일하게 한  
다. 따라서 편면에 반의 보조전극 질량은 양면 경우의 반이다.  
또 계산에서는 편면에만 한 보조전극은 비대칭성을 무시할 수도  
있다. 보조전극과 고유주파수의 관계에서 사대칭 ( 2 개의 공진자의  
변위방향이 역상되는 진동 Mode ) 의 고유주파수  $F_a$  은 보조전극폭  
 $b$  에 관계없이 거의 일정하여 계산치와 실제가 잘 대응한다. 또  
대칭 Mode ( 2 개의 공진자의 변위방향이 농상이되는 진동 Mode )  
의 고유주파수  $F_s$  은 보조전극폭  $b$  가 커질수록 낮은 주파수쪽으로  
이동해서 편면에만 설치한 상태만의 경우에는 계산치와 실제도 잘  
대응된다.

그러나 보조전극을 양면에 설치한 것에서는 실제은 계산  
치보다 변화가 적다. 양면에 전극을 설치한 것은 질량  
효과만을 생각할 수 없으며 실제의 결합도 조절을 행할  
경우 고유 주파수 변화가 적은 쪽이 조절이 쉬우며  
높은쪽은 조절이 어렵다.

이런 이유로 편면만에 보조전극을 설치하는 것이 좋다.

#### 4 - 5 집중정수 설계치

여기서는 보조전극을 갖는 M.C.F 에 종래부터 행하고 있는  
"자이레다" 결합형 L.C Filter 의 설계법이 적용된다고 가정 한

다. 제자형 협대역통과 여파회로의 각 소자치는 기준 저역여파회로 부터 "자이래다" 변환과 대역통과 주파수변환으로 하여 구한다. 이것들은 일반적으로 기준화 결합계수  $K_i$  및 입출력단자의  $Q$ 치로 나타내여 설계공식을 사용해서 계산한다. 이것들을 구하려면 중심주파수  $w_c$ , 통과대역폭  $\Delta W$ , 종단저항  $R_s, R_L$ 을 지정하여 여파기의 소자치는 다음식으로 순차적으로 결정하면 된다.

$$Q_1 = \frac{\Delta W L_1}{R_s} \dots\dots\dots(9)$$

$$Q_n = \frac{\Delta W L_n}{R_L} \dots\dots\dots(10)$$

$$L_i : C_i = w_c^{-2} \dots\dots\dots(11)$$

$$K_i = K_i \frac{\Delta W}{w_c} \dots\dots\dots(12)$$

여기서  $K_i$ 은 인접직렬 공진회로간의 결합계수이다. Impedance Level을 따로하면 M.C.F의 설계에서는 특히  $w_c$ 와  $K_i$ 를 어떻게 잘 분포정수회로에 대응하는가가 중요하다.

### 3 - 6 결합계수의 대응

집중정수회로에서의 설계치를 분포정수 회로에 적용할때 결정하지 않으면 안되는 M.C.F의 Parameter은 수정판 Thickness  $H$ , 공진자 전극폭  $l_i$ , 길이  $w_i$ , Plate 박막량  $R_i$ , 보조전극의폭  $b_i$ , Plate 박막량  $r_i$ , 그리고 결합자 무전극부의 크기  $d_i$  등이다.

집중정수계에서의 설치제는 중심주파수  $w_c$ , Impedance  $L_i$ , 결정시 많은 자유도가 있다. 이것들은 실제에 고정도 Filter을 실현하기 위하여 순차적으로 결정하여야 한다. 보조전극을 설치할 경우



특히  $b_i, r_i, d_i$ 의 결정방법이 문제가 되지만  $b_i$ 와  $r_i$ 은 제조상을 고려하여 결정하여야 한다. 설계 Parameter의 결정법에 대하여는 많은 보고가 있지만 공진자의 Q치등을 고려하여야 한다.

여기서는  $H, l_i, R_{oi}, b_i, r_i$ 를 결정해서  $d_i$ 를 결정하는 방법에 대하여 술한다.

여기서  $R_{oi}$ 은 종래의 설계법 그리고 단전극에서의 공진주파수가 모두 동일하게끔 설계한 경우의 각 공진자 전극의 Plate 박막량이다.

본 설계에서 Plate 박막량  $R_i$ 은 다음 관계가 있다.

$$R_i = R_{oi} - \delta R_i \dots\dots\dots (13)$$

$R_i$ 은 보조전극을 설치한것에 대한 보상량이다. 결합계수의 대응관계는 보상하기 전의  $R_{oi}$ 을 사용한다. 따라서 인접하는 2개의 공진자전극과 그 가운데 있는 1개의 보조전극 만을 생각하여 탄성적 결합이 식(12)의 설계치에 일치 되게끔 결합자 무전극부의 크기  $d_i$ 를 결정하면 된다.

식(14)에 표시한 4단자행렬  $[E_k, i]$ 의 제1행, 제2열을 Zero가 되는 근 즉 고유주파수  $F_a, F_s$ 의  $d_i$ 를 정하여 주면

$$[E_k, i] = [S_o][E_i][S_i][S_{i0}][S_i][E_{i+1}][S_o] \dots\dots\dots (14)$$

$$[S_o] = \begin{pmatrix} 1, -j \\ 0, 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (15)$$

$$K_i = \frac{F_a - F_s}{\sqrt{F_a F_s}} \dots\dots\dots (16)$$

#### 4-7 공진주파수의 대응

지금까지는 결합계수와 설계치와의 대응관계를 기술하였고 지금부터 공진주파수의 대응관계를 기술한다. 전 기단자를 고려치

않고 M.C.F의 기계진동계의 전송 행렬  $[F]$ 은 식 (19)에 표시한다. 여기서  $m$ 은 1판의 수정판상의 공진전극수이다.

$$[E_i] = [S_0][E_i][S_0] \dots \dots \dots (17)$$

$$[S_i] = [S_0^{-1}][S_i][S_i^0][S_i][S_0]^{-1} \dots \dots \dots (18)$$

$$[F] = [E_1][S_1][E_2][S_2] \dots [E_i][S_i][E_{i+1}] \dots [S_{m-1}][E_m] \dots (19)$$

이 단계에서는  $[E_i] : i = 1, 2, \dots, m$ 의 제 1행 제 2열을 zero에 대하여 구한 기본대칭 Mode로 주파수는 모두 같다. 보조 전극을 갖는 M.C.F에서는 공진주파수에 대응하는 쪽의 통과역특성이 양호한 것을 얻을 수 없다. 공진주파수의 대응시킴에 대한 식 (18)에 표시한 결합자 부분의 4단자행렬  $[S_i]$ 을 허수 // 자이라다 // 와 직렬 Impedance형이 식 (19)에 표시함과 같다.

$$[S_i] = \begin{pmatrix} 1 & jA_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0, & jG_i \\ j/G_i, & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & jA_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= [A_i][G_i][A_i] \dots \dots \dots (20)$$

M.C.F 기계진동계의 전송행렬  $[F]$ 은 다음과 같다.

$$[F] = [E_1]^* [G_1] [E_2]^* \dots [G_{m-1}] [E_m]^* \dots \dots \dots (21)$$

여기서  $[E_i]^*$ 은

$$\left. \begin{aligned} [E_1]^* &= [E_1][A_1] \\ [E_i]^* &= [A_{i-1}][E_i][A_i] \\ [E_m]^* &= [A_{m-1}][E_m] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (22)$$

이렇게해서 4단자행렬  $[E_i]^*$ 에 제 1행 제 2열을 zero로 하여 구한 근  $F_i^*$ 가 모두  $i$ 에 대하여 Parameter  $r_0$ 을 포함한 식 (23)을 만족하면 공진자 전극의 Plate 박막량이 동시에 변한다.

$$F_i^* = F_0 \{ 1 + \frac{1}{2} (K_1^2 - 1 + K_i^2) r_0 \} \dots \dots \dots (23)$$

Fo 은 Filter 의 중심주파수

Ki 은 결합계수

다음 ro 을 구하면 주파수의 대응관계가 확립된다. 이것은 ro를 Parameter 로 해서 M.C.F 여파특성을 개선해 나가면 가장 Lipple 이 적은 ro 를 구할 수 있다.

ro 가 결정되면 각 공진자의 Plate 박막량은 Ri 만 보상되는 식 (13) 에 표시한 Ri 이다.

#### 4 - 8 고정도화

감쇠단수가 높고 고선택도 Filter 을 실현하는 경우에는 M.C.F 의 설계 Parameter 을 주의 깊게 결정할 필요가 있다.

통상 수정의 기본 두께 진동 Mode 를 사용할 경우에는 기계적 크기, 수정가공정도, 공진자 Q치 등 고려하여야 한다. 또 주파수 대역에서 고정도 Filter 가 실현가능한 설계 Parameter 에 대한 # 단대무 # 형 Filter 에 대하여 기술한다.

#### 4 - 8 - 1 전극크기

li x Wi, Plate 박막량 Roi 의 결정  
전극폭방향에 있는 대칭 Mode 의 Spurious 을 억압하기 위하여 Bechman-Number 라 칭하는 식 (24) 을 만족하게끔 선택해야 한다.

$$r_{TT} \frac{li}{H} \sqrt{Roi} < \sqrt{2} \dots \dots \dots (24)$$

사대칭 Mode 의 Spurious 은 # 단대무 # 형 M.C.F 에서는 실제로 나타나지 않는다. 이때 P 에서는 실제로 나타나지 않는다. 이때 Roi 를 될수있는대로 크게하면 결합회로의 주파수 특성이 개선된다. 또한 집중정수와외 근사가 잘된다. 세로이 li/H, Roi 은 공진자의 Q 치가 높게 되면 범위로 선정하거나 이것을 실험적으로

결정하면 좋다.

또 전극 길이는 진동 Energy의 굴곡진동 Mode의 변환이 나타나거나 공진자의 Q치가 저하하지 않는 범위에서 식(25)를 기초로 하여 결정한다.

$$\frac{W_i}{H} = M \cdot \epsilon \dots\dots\dots (25)$$

여기서 M은 정수치이며 수정의 가장자리에 진동이 나타나지 않는 범위에서 될 수 있는 한 큰 값을 선택한다.  $\epsilon$ 은  $W_i/H, R_{oi}$ 에 다소 변하지만 거의 정수로써 나타나는 양이다.

$\epsilon = 1.64$  정도이다. 전극길이에 따라 Spurious는 식(26)을 만족하면 억압되지만 식(24)에 결정된  $W_i/H$ 가 이것을 만족하지 않아도 "단테 무"형 Filter의 경우에는 수정판 방향에서는  $M = M_1$ 을 타 방향에 대해서는  $M = M_1 + 1$ 을 채용해서  $W_i/H$ 를 결정하면은 대칭 Mode의 Spurious를 억압할 수 있다.

$$r_{TS} \frac{W_i}{H} \sqrt{R_{oi}} < \sqrt{2} \dots\dots\dots (26)$$

$r_{TS}$ : Thickness Shear Mode의 이방성 정수

이상의 수순에서  $R_{oi}, l_i/H, W_i/H$ 를 결정해서 이하의 식(26) ~ (30)으로 수정판의 H를 구하면은 전극크기  $l_i, W_i$ 가 정하여진다.

$$\tan \frac{\theta_i}{2} = \frac{\sqrt{1 - F^2}}{\sqrt{\left(\frac{F}{1 - R_{oi}}\right)^2 - 1}} \dots\dots\dots (27)$$

$$i = r_{TT} \pi \frac{l_i}{H} \sqrt{\frac{F}{\left(\frac{F}{1 - R_{oi}}\right)^2 - 1}} \dots\dots\dots (28)$$

$$\tan \frac{\theta_{i'}}{2} = \frac{\sqrt{1 - F^2}}{\sqrt{\left(\frac{F}{F_o}\right)^2 - 1}} \dots\dots\dots (29)$$

$$i = r_{TS} \pi \frac{W_i}{H} \sqrt{\left(\frac{F}{F_0}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (30)$$

$$H \equiv \frac{F_{00}}{2f_c} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \dots\dots\dots (31)$$

$f_c$  : filter 의 중심 주파수

즉  $R_{oi}$ ,  $l_i/H$  가 주어지면 식 (26) 부터 Thickness Twist Mode 의 공진주파수  $F_0$  가 구하여 진다. 따라서 이의  $F_0$  와  $R_{oi}$ ,  $W_i/H$  을 써서 식 (28) 부터 Thickness Shear Mode 의 공진주파수  $F_{00}$  를 구하면  $H$  은 식 (30) 부터 은사적으로 결정된다.

이 상에서 공진자의 전극크기가 결정된다. 여기서 Filter 의 중심주파수  $f_c$  와 식 (23) 에 표시한  $F_0$  의 관계를 설명 하였다. 식 (32) 에서  $f_0, f_{00}$  을 정의 하면은  $f_{00}$  은 중심주파수  $f_c$  와 동일한 값이다.

$$f_0 \equiv F_0 f_c \dots\dots\dots (32)$$

$$f_{00} \equiv F_{00} \cdot f_s \dots\dots\dots (33)$$

$$f_c \supseteq f_{00} \dots\dots\dots (34)$$

따라서 1 판의 수정판 상에서 길이  $W_i$ , ( $i = 1 \dots\dots m$ ) 을 동일 하게 설계하면은 식 (29) 부터 ( $F_{00} - F_0$ ) 가  $i$  에 무관계되는 거 의 동일한 값이되므로 그것만으로 주파수 축을 약간 틀리게 하면  $f_c \equiv f_0$  와 치환 된 것으로 생각 할 수 있다. 이후는 이의 일차원적인 해석에서의 중심주파수를 실제의 M.C.F 의 중심주파수 에 대한 설명이다.

#### 4 - 8 - 2 보조전극 크기의 결정

보조전극의 폭  $b_i$  은 결합도의 제조 편차가 보상

되는 범위에서 될 수있는 한 적은치를 채용하는 것이 좋다. 보통 수정판 두께  $H$ 와 같은 정도로 하면 된다. 또 Plate 박막량은 제조상 고려하여 주전극의 증착시에 동시에 형성하지만 실제로  $r_i \approx R_{oi}$  또는  $r_i \approx \frac{1}{2} R_{oi}$ 의 경우가 좋다.

이상에서 고정도 Filter의 설계 Parameter가 결정되었다. 이것들의 치를 사용하여 전술한 수순으로 결합자 무전극부의 크기  $d_i$ 를 구하면은 M.C.F의 여파특성이 실행된다. 따라서 식(23)에 표시된 관계를 만족하는 공진주파수를 보상해가며  $r_o$ 을 결정하면 설계는 완료된다.

## 5. M.C.F의 제조

평행도가 양호한 수정 AT판을 2장 1조로 해서 설계에서 얻은 전극배열을 갖는 Metal Mask을 사용해서 진공증착법에 의해 수정판면에 기초증착을 실시 한다. 이때 증착량은 소망의 증착량보다 약간 적게 한다. 다음 열압착법으로 Ni 모체에 Au메기를 실시해서 Lead Film을 수정판상에 증착해서 인출하고 단자부와 Ceramic Film에 적합한다.

이것의 각 전기 단자 부터 공진주파수를 측정한다. 이 단계에서의 측정치는 수정판의 평행도 편차등이 좋아도 또 전극 크기가 모두 동일하다 하여도 동일 수정판상의 공진자에서는 서로 0.1% 정도의 주파수 편차를 갖는다. 진공증착법에 있어서 각공진자의 공진주파수를 측정한 것으로부터 전공진자가  $f_c$  근방에서 공진되게끔 주파수 조절을 한다.

다음 대기압 중에서 보조전극을 조정하여 인접공진자간의 탄성적 결합이 소망의 값이 실현되게끔 한다. 주파수 배열을 하기 위하여 주파수 조절을 행하여 전기적 결선을 실시하여 진공용기에 봉

입한다.

여파특성을 관찰하기 위하여 결합 Condenser는 조절이 가능하게끔 외부에 설치한다. 보통 전극 구성은 NiCr-Au로 하고 공진 주파수의 조절은 주파수 감시 장치와 연동된 제어 Sutter를 갖는 증착장치에 의해 Au를 가열증착시켜 2ppm 정도에서 조절한다. 한편 결합도의 조절은 인접한 2개의 공진자의 공진주파수에 여진되는 전압의 위상관계를 이용해서 발진법에 의해 반자동적인 조정 작업을 행한다. 결합도 조정은 0.5 % 이내 이여야 한다.

## 6. 결 언

이 상으로 외국에서 실제 제작하고 있는 M.C.F의 제조공정 및 설계법에 대하여 고찰하였다. 앞으로 외국제품의 특성분석 및 당소 기기의 최대 활용으로 M.C.F의 국내생산 기술 확립이 요구되는 바이다.

<참 고 문 헌>

- (1) 비금속 재료의 정밀가공 (하)
- (2) 금속사 Report
- (3) M.C.F 용 수정 AT판의 가공
- (4) 고정도 M.C.F의 설계
- (5) Quartz Crystals Theary Fabrication And Performance  
Measurements.