

압전세라믹 레조네이터 기술동향

글 _ 이원경, 이충국 || (주)라트론 선도소재연구소
lwk67@lattron.com

1. 서론

1980년대 압전세라믹 레조네이터가 시장에 선보인 이후 성능면에서는 LC발진자보다 우수하고 가격면에서는 수정발진자보다 저렴하다는 우수성때문에 사용량이 꾸준히 확대되어 지금은 매우 엄밀한 발진주파수가 필요한 부분을 제외하고는 정보·가전기기의 micro controller IC(마이콤)의 발진회로부에 일반적으로 적용되고 있다. 즉 우리가 일상생활에 사용하고 있는 버튼을 눌러서 동작하는 거의 대부분의 기기에는 세라믹 레조네이터가 채용되고 있다고 할 수 있다.

세라믹 레조네이터는 주파수 대역으로 나누어 KHz급 와 MHz급으로 나눌 수 있으며 패키지 형태로는 lead type 과 SMD type으로 나눌 수 있다. KHz급의 경우 대체로 리모콘용으로 사용되고 있으나 리모콘의 다기능화에 따

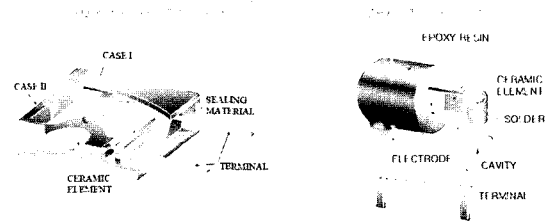


Fig. 1. Lead형 압전세라믹 레조네이터.

라 리모콘용도 MHz급으로 대체되고 있는 실정이므로 향후 수요가 계속 줄어들 전망이고 따라서 MHz급 레조네이터가 80%이상 사용될 것으로 전망된다.

패키지 형태별로 현재는 lead type과 stack형 SMD type 이 주종이나 최근 들어 stack형 SMD type의 단점인 부품의 면적을 줄이기 위해서, 적층형 압전소자를 이용하여 부품의 폭을 대폭 줄인 metal lid형 SMD type의 수요가 신장하고 있다.

국내의 연구개발 경과를 살펴보면 1980년대 초반 대학과 국공립연구소를 중심으로 PZT합성에 관한 기본연구가 시작되었고 1980년대 중반이후 세라믹 레조네이터와 필터에 대한 상업화 연구가 몇몇 대기업을 중심으로 시작되었으나 지금은 대부분 철수하였고 현재 에스세라, 동양제철화학만이 해외의 생산기지에서 세라믹 레조네이터를 생산중인 것으로 알려져 있다. 국내업체의 사업화가 미흡한 까닭은 대체로 연구개발방향이 소비자만 치우쳐서 경쟁력있는 생산기술을 확보하지 못한 이유로 추정된다. 세라믹 레조네이터 및 필터의 세계시장 규모는 약 1조 정도로 상당한 규모이나 일본의 무라타제작소가 전체 시장의 70%이상을 차지할 정도로 독점적 우위를 점하고 있는 실정이다.

Table 1. 발진자 종류별 특성비교

종류	특성	정밀도	가격	편리성
LC발진자		저	저	저
세라믹레조네이터		중	저	고
수정발진자		고	고	고

Table 2. 세라믹레조네이터의 주요 용도

종류	적용기기	외관
KHz		
MHz		

2. 구조 및 명칭

세라믹 레조네이터는 압전 세라믹의 기계적 공진 현상을 이용한 것으로 공진주파수에 따라 여러가지 진동모드가 사용된다.

- kHz 대역 : 사각판상 면진동
- 3.0~8.0MHz : 두께미끄럼 진동
- 8.0~16.0MHz : 에너지 트랩모드 두께 진동
- 16~70MHz : 3차 및 5차 두께 고조파 진동

수십 MHz대역의 PC, 휴대폰등의 응용분야에서는 대부분 SMD형의 제품이 이용된다. SMD 레조네이터에는 PACKAGE 방법에 따라 Lid 형과 Stack 형이 있으며 구조는 Fig. 2 에 나타낸 것과 같이 베이스와 덮개, 압전체로 이루어지고, 압전체의 진동을 위해 내부가 공동구조로 되어 있다. 세라믹 레조네이터는 압전체만 포함하고 있는 2단자형과 발진을 위해 필수적인 Capacitor를 내장

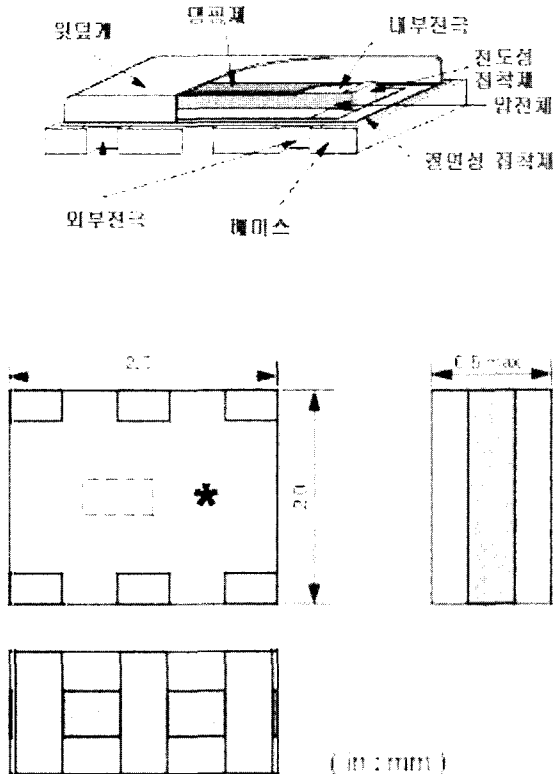


Fig. 2. SMD형 압전세라믹 레조네이터.

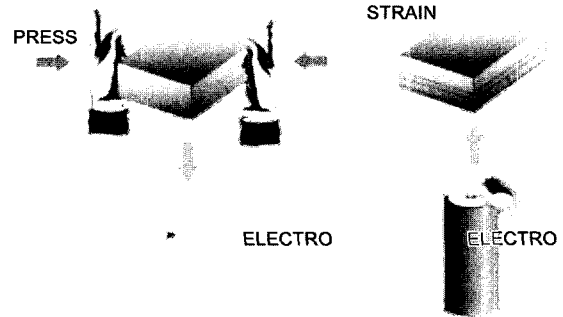


Fig. 3. 압전현상의 원리.

한 3단자형이 있다. 최근에는 소형화와 사용 편의성에 의해 주로 3단자형이 사용되고 있다.

3. 압전현상

압전체는 외부에서 가해진 응력에 대하여 전기적변위를 일으키고 반대로 전기신호에 대해서 기계적변형을 일으키는 물질을 말한다. 이것은 전기적에너지와 기계적에너지가 상호교환될수 있다는 것을 의미하므로 이를 응용하여 다양한 제품이 제작되고 있다. 예를 들어 전기적에너지를 기계적에너지로 바꾸는 응용분야로 초음파세척기, 가습기소자등 진동자류와 부저류가 있으며 기계적에너지를 전기적에너지로 바꾸는 응용분야로는 압력센서, 음향 pick-up, 가속도센서등이 있다.

압전체는 고유의 진동주파수가 있으며 이러한 고유 진동주파수와 일치하는 외력(전기적 또는 기계적)에 대해서 가장 큰 응답(변위 또는 전기적출력)을 나타내게 되는데 이때를 공진상태라고 말하며 이 주파수를 공진주파수

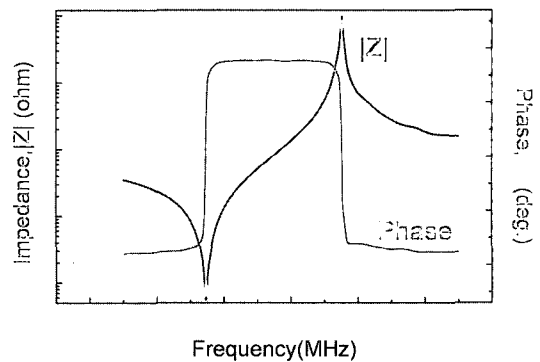


Fig. 4. 레조네이터의 임피던스-위상 그래프

라고 한다. 아래 그림은 MHz급 레조네이터의 임피던스-위상 그래프로 임피던스 Z가 최소가 되는 주파수와 그때의 임피던스를 각각 공진주파수 F_r 와 공진임피던스 Z_r 이라고 하며 임피던스 Z가 최대가 되는 주파수와 그때의 임피던스를 각각 반공진주파수 F_a 와 반공진임피던스 Z_a 라고 한다.

4. 소재 물성

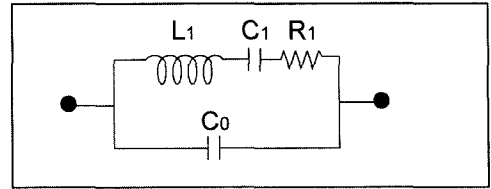
압전체의 주요물성으로는 전기기계 결합계수 K와 기계적 품질계수 Q_m 을 들수 있다. 그 외의 물성으로 압전 전하계수 d와 압전전압계수 g등을 들수있으나 세라믹 레조네이터에 있어서는 전기기계결합계수 K와 기계적 품질계수 Q_m 이 가장 중요한 물성이다. 전기기계결합계수 K는 공진주파수와 반공진주파수의 차 ΔF 에 비례하는 값으로 에너지변환의 척도가 되며 전기적-기계적에너지의 상호교환시 변환되지 않는 무효분의 에너지가 적을 수록 전기기계결합계수 K가 크게된다. 기계적품질계수 Q_m 은 압전체가 진동시 탄성적에너지의 손실에 관계되는 값으로 탄성적에너지 손실이 적을 수록 Q_m 은 크게되며 대체로 공진임피던스 Z_r 가 작을수록 Q_m 이 크게된다. Q_m 이 큰 재료는 한번 탄성적 변형을 일으키게되면 기계적진동이 오래지속되나 Q_m 이 작은 재료는 기계적진동이 빨리 감쇄, 소멸한다는 것을 의미한다. 세라믹 레조네이터에 있어서 Q_m 과 K값은 클 수록 좋으나 이 두가지 물성은 대체로 양립하지않는 성질이 있다.

세라믹 레조네이터용 압전소재의 요구특성은 다음과 같다.

- 온도계수가 작을 것($<10\text{ppm}/^\circ\text{C}$)
- 내열성이 높을것(K값 열화온도 $> 280^\circ\text{C}$)
- Aging이 작을 것(F_r 변화율 $< 0.1\%/decade$)
- $Q(=20*\log(Z_a/Z_r))$ 가 클것($>70\text{dB}$)
- 유전율이 작을수록 선호

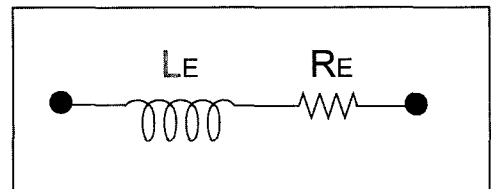
5. 발진 특성

5.1 등가회로



R1 : Equivalent Resistance
L1 : Equivalent Inductance
C1 : Equivalent Capacitance
C0 : Parallel Equivalent Capacitance

$$\Downarrow F_r < F < F_a$$



RE : Effective Resistance
LE : Effective Inductance

Fig. 5. 레조네이터의 등가회로

레조네이터는 공진주파수 F_r 와 반공진주파수 F_a 사이에서 위상이 90° 로 되어 임피던스특성이 유도성이 되고 나머지 주파수 영역에서는 용량형 임피던스 소자로 동작하므로 다음의 전기적 등가회로로 표현된다.

C_0 는 양전극간의 정전용량에 관련된 값이고 등가저항 R1은 대체로 공진임피던스 Z_r 을 의미하고 값 또한 비슷하며 L1은 등가인덕턴스로 압전체의 질량(밀도)와 관련된 항이고 C1은 등가용량으로 압전체의 탄성계수의 역수에 비례한다. 약간의 차이가 있으나 등가회로에서 L1과 C1의 직렬공진주파수가 압전체의 공진주파수 F_r 와 같으며 L1과 C0의 병렬공진주파수가 반공진주파수 F_a 와 같게된다. 또한 발진가능한 주파수 영역인 F_r 과 F_a 사이에서는 LE과 RE이 직렬 연결된 유도형 임피던스 소자(inductor, L)로 표현된다.

5.2 발진회로

발진현상이란 여러 주파수성분중에서 특성주파수 성분의 전기신호만이 지속적인 증폭·궤환과정을 거쳐서 단일한 주파수를 갖은 출력이 발생하는 현상을 말한다. Fig. 6에서 Amp는 증폭부를 Feedback은 궤환부를 말한다.

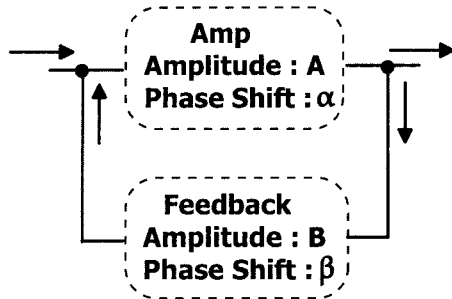


Fig. 6. 발진회로의 구성.

발진이 이루어지기 위해서 궤환된 신호는 원래의 신호와 위상이 일치해야하며 전체회로의 증폭도는 1보다 커야하므로 발진조건은 다음의 식으로 주어진다

$$\begin{aligned} \text{이득조건} : G &= 20 \cdot \log(A \cdot B) \geq 0 \\ \text{위상조건} : \theta &= \angle\alpha + \angle\beta = 360^\circ \times n \text{ (n은 정수)} \end{aligned}$$

세라믹 레조네이터를 이용한 발진회로는 보통 colpitts 발진회로를 이용하는데 colpitts 발진회로는 Capacitor 2개와 Inductor 1개로 궤환부가 구성되고 Fig. 5에서 Capacitor 2개가 C1, C2에 해당하며 세라믹 레조네이터는 L에 해당하게 된다. 앞서 설명한것처럼 레조네이터는 공진주파수 Fr과 반공진주파수 Fa사이에서 임피던스특성이 유도형이 되고 나머지 주파수 영역에서는 용량형 임피던스 소자로 동작하므로 발진은 공진주파수와 반공진주파수 사이에서 일어나게되며 발진주파수는 다음의 식으로 주어진다.

$$F_{osc} = Fr \cdot \sqrt{1 + \frac{C1}{C0(C1//C2)}}$$

Fig. 7에 실제 발진주파수 측정회로도를 나타내었다. 일반적으로 기본진동을 이용하는 세라믹 레조네이터의 표준발진회로에는 Unbuffered 타입 Hex Inverter IC를 이용하는데 RCA사의 CD4069UBE 또는 도시바나 마쯔시타의 동일한 타입의 IC가 각 제조사마다 다르게 채택되고 있다. 그러나 고조파 진동을 이용하는 발진주파수가 수십 MHz이상인 경우에 있어서는 TC74HCU04와 같은H-

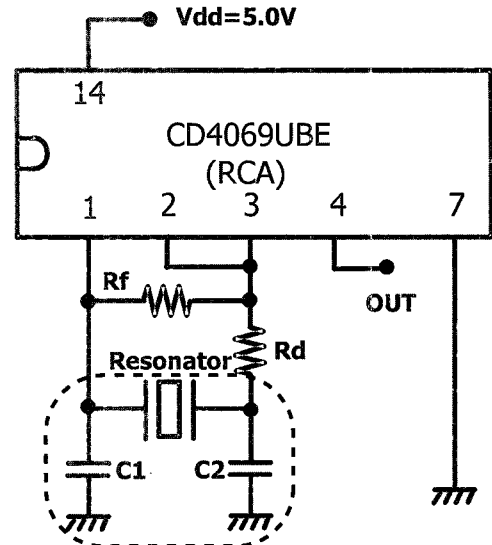


Fig. 7. 발진주파수 측정회로.

CMOS 타입의 IC가 표준발진회로에 채택된다.

5.3 세라믹 발진자의 장점

세라믹 레조네이터는 다른 발진자 들과 비교하여 다음의 장점을 가지고 있다.

a) 발진 주파수의 안정성이 높다

:수정진동자와 LC/RC 발진회로의 중간적 위치로서 발진주파수의 온도계수는 수정이 10-6 / °C 이하이고, LC/CR 발진회로가 10-3~10-4 / °C 정도인데 대하여 세라믹은 -20~+80°C에서 10-5 / °C 정도 된다.

b) 소형, 경량이다

:수정진동자의 약 1/2 이하의 크기이다.

c) 발진여기시간(Rising Time)이 짧다

:수정진동자의 1/100 이하이다.

d) 구동전압이 낮다

:압전발진자는 수정발진자에 비해 전기기계결합계수가 크기 때문에 적용되는 IC의 구동 전압이 상대적으로 낮은 장점이 있다.

Table 3. 발진자 유형별 장단점 비교

구분	symbol	가격	크기	조정	주파수 초기精度	장기 안정성
LC		저가	크다	요	±2.0%	좋지 않음
CR		저가	작다	요	±2.0%	좋지 않음
수정 발진자		고가	크다	불요	±0.001%	우수
세라믹 발진자		저가	작다	불요	±0.5%	우수

e)무조정이다

:CR, LC등 전기적 공진을 응용한 것과 달리, 기계적 공진을 이용하므로 외부회로와 전기전압의 변동에 영향을 받지 않고, 무조정으로도 안정성이 높은 발진회로가 얻어진다.

6. 기술동향 및 요소기술

최근 들어 세라믹 레조네이터도 세트의 슬림화에 맞추어 Low Profile SMD화가 급격히 진행되고 있다. 무라다사의 최신제품은 CSTCG_V형(2.0×1.3)의 두께 0.85mm rmax 이다. 최근 부각되고 있는 스마트카드에 레조네이터 채용이 검토되고 있으며 이 경우 0.5mm 이하의 높이를 요구한다.

종래의 경우, 발진주파수를 높이고자 단판형 진동소자의 진동모드를, 두께를 반파장으로 하는 기본진동 모드가 아닌 기본진동의 기수배의 고차진동 모드를 사용하여

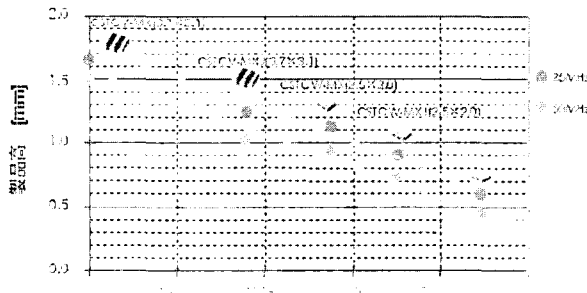


Fig. 8. SMD세라믹 레조네이터의 제품 높이 변화. (일본 무라다사 제품 참조)

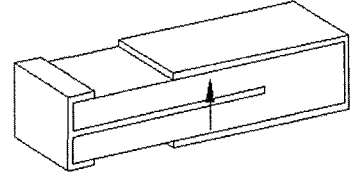


Fig. 9. 적층형 레조네이터 소자.

고주파화를 꾀했었다. 하지만 고차진동의 경우 기본진동에 비해서 발진의 강도가 약하므로, 현실적으로는 기본진동의 3배진동을 이용하는 것이 대부분이다. 이 경우, 예를 들면 0.3mm 두께의 진동소자는 8MHz의 3배인 24MHz에서 발진가능하고, 기계적강도를 고려한 대략의 두께의 한계 0.15mm에서 24MHz의 2배인 48MHz에 발진가능하므로 대략 50MHz 정도가 종래의 기술에 의한 고주파 발진의 한계였다. 그리고 고차진동모드를 이용하는 단판형 발진소자의 경우 불요진동을 없애고자 단판형 진동소자의 일부분에 진동하지 않는 진동감쇄부가 필수적이었으므로 진동소자의 면적을 작게하는 데에 한계가 있었다.

이에 대응하여 종래의 고주파용 두께진동모드 소자가 가지고 있는, 에너지트랩 모드를 사용하기 때문에 진동 감쇄영역이 필요하고, 그 때문에 소자의 폭이 넓어진다는 단점을 보완하기 위하여 Fig. 9에서와 같은 진동감쇄 영역이 필요없는 적층형 진동모드를 적용하여 제품의 면적이 50%이상 감소된 고주파 세라믹 레조네이터가 무라다에 의해 개발 되었다.

분극방향은 전체 진동소자에서 두께방향으로 같고, 가운데 전극과 외주면 전극간에 전기신호가 인가되면, 적

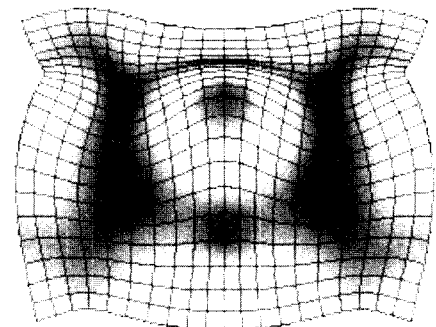


Fig. 10. 적층형 레조네이터 소자 진동모드

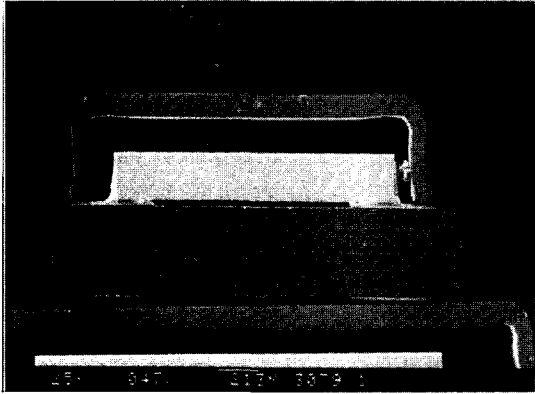


사진 1. 무라다 CSTCG_V (20MHz, 2.0×1.3×0.85mm).

Table 4. SMD형 레조네이터 모델별 구성

모델	주파수범위	압전소재	진동모드	패키지
7230	2~3.99	단판형	shear	Lid 형
4520	4~7.99			
3213	8~12.5			
3213	12.51~20	적층형	thickness	stack 형
2013	20~33.86			
3731	8~20	단판형		
2520	20~50			

층된 시트간에 전기장의 방향과 분극방향이 서로 반대로 형성된다. 따라서 한층이 팽창할 때 다른 층은 수축하게 되고, 그의 역도 성립하는 진동모드가 형성되어, 결과적으로 적층된 시트의 두께에 해당하는 발진주파수, 달리 표현하면 단판형 일때 전체 소자의 두께에 대응하는 발진주파수의 2배에 해당하는 진동을 형성하게 된다.

사진 1은 최근에 시판되고 있는 무라다사의 적층형 압전소자를 이용한 초소형 레조네이터이다. 베이스기판 또한 적층형으로 제작하여 캐패시터를 내장하였다. 분석결과 압전체는 PbTiO₃계 소재와 Pd 내부전극을 사용하였으며, 베이스기판은 (Mg,Ca)TiO₂계 유전체와 Pd 내부전극을 사용하였다.

그 외의 요소기술을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 진동을 위한 동공(cavity)이 필수적으로 요구되고 Low Profile의 요구 때문에 특별한 package 기술이 필요하다.
- 2) 마이콤의 고기능화에 맞추어 발진주파수의 고주파화가 요구되고 있다. 고주파화 될 수록 소자의 두께가 얇아지므로 이에 대응한 소재기술과 특별한 소자제작

기술이 필요하다.

- 3) 납성분에 대한 환경 규제가 강화되고 있는 실정으로 비납계소재의 개발이 요구되고 있다.
- 4) 높은 수율과 주파수정밀도를 확보하기 위해서 소자 제작 단계에서의 정밀분극, On-wafer 트리밍, 정밀 패터닝 기술, 완제품 주파수 트리밍과 같은 장비와 관계된 독자적인 기술이 필요하다.
- 5) 정확하고 정밀한 초기 주파수 tolerance와 사용 환경에 의한 주파수 변화가 거의 없는 주파수 특성이 요구된다.
- 6) 고온에서의 동작 안정성과 넓은 온도 범위의 가혹한 열충격성 등 고신뢰성이 필요하다.
- 7) 저전력 구동에 대응하는 새로운 소재 및 진동 모드 개발이 필요하다.

7. 수급 동향 및 전망

압전 레조네이터이 해외 주요 선도기업으로는 일본의 무라다, AVX, TDK가 있으며, 중국의 Jiakang 이 최근 저가품 시장에서 점유율을 높이고 있다. 최대 생산은 일본 무라다에서 하고 있으며, 국내시장의 40%, 전세계 시장의 70%를 점유하고 있다. 무라다의 경우 제품의 품질이 우수함과 동시에 적절한 시기의 신제품 출시로 시장을 선도하는 것이 시장점유율을 유지하는 원인으로 분석된다. 더불어 레조네이터와 IC의 임피던스 매칭에 대한 충분한 데이터를 기본으로 응용분야에 대한 연구도 깊이 있게 진행하고 있다. 무라다의 경우 종합 부품 메이커로서 다양한 재료 및 가공 기술과 함께 회로 기술에 대한 방대한 Data Base를 기반으로 하여 압전 레조네이터의 기술을 선도하고 있다.

세라믹 레조네이터에 대한 세계 수요는 년 평균 약 12.5%의 성장을 지속하고 있다. 휴대폰(CDMA), Storage, 휴대용 기기, 무선통신, 영상기기, 광기기 시장의 큰 성장과 FDD를 제외한 다른 여러 종류의 성장은 안정적으로 지속될 것으로 예측된다. FDD와 CD-Rom 등의 수요는 축소되고 있는 반면, DVD-Rom의 수요가 급증함에 따라, 전체적인 ODD에 대한 수요는 증가될 것으로 예측된

Table 4. 2002년 생산현황

구 분	국 가	생산 기업	생 산		점유율(%)	
			생산량(백만개)	생산액(천불)	국내시장	세계시장
국내	한국	에스세라	220	10,900	15%	2%
		동양제철화학	45	2,000	5%	-
국외	일본	Murata	5,100	340,000	40%	70%
		AVX	300	15,000	5%	3%
		TDK	820	48,000	10%	10%
	중국	JIAKANG	450	15,000	20%	3%

※ 자료 출처: 후지키메라, 일본 전자신문 세계시장분석 및 삼성전기 제품별 세계시장 분석자료

다. 디지털 전자 제품의 지속적인 신제품 출시로 인한 새로운 수요의 창출이 계속되기 때문으로 (예:카메라 폰, USB Driver등) 레조네이터의 소형화, 저전력화, 고신뢰성 제품에 대한 수요가 증가될 것으로 예상된다. 또한 레조네이터의 품질개선 및 성능향상을 통하여 수정진동자 시장의 잠식이 가속화될 것으로 예상된다.

레조네이터 부문의 대일 무역 역조는 2002년 현재 약 4,000억원 정도이나, 향후 국내 IT 산업의 성장속도가 매우 빨라 무역수지의 역조는 더욱 심화될 것으로 예상된다. 향후 국내 전자제품의 시장의 큰 폭 성장이 예상되며, 특히 휴대폰, ODD, Printer, HDD등의 IT 관련 산업의 폭발적인 성장이 있을 것으로 전망됨에 따라 레조네이터의 수요도 연 30%이상으로 성장할 것으로 예상된다.

8. 맺음말

압전 세라믹 레조네이터의 개요와 중요한 몇가지 기술적 요구조건에 대하여 기술하였다. 세라믹 레조네이터는 세계시장규모가 1조원에 달하나 국산화가 미흡하여 대일 종속적인 대표적인 부품으로 국산화가 절실히 요구된다고 하겠다. 레조네이터의 사업화를 위해서는 독자적인 세라믹조성물과 소자제작 기술뿐만 아니라 생산성과 품질수준이 확보된 생산기술이 절대적으로 필요하다. 따라서 분말합성기술, 가공기술, 전극형성기술과 자동화된 조립기술 및 검사기술등 이질적인 기술이 복합적으로 필요하다. 또한 SMD 타입 제품의 소형화에 대응한 패키지 기술과 새로운 진동모드의 개발에 의한 원천기술 확보 또한 절실히 필요하다.

● 이 원 경



- 1993년 고려대학교 재료공학과 졸업
- 1996년 동대학원 재료공학과 석사
- 1996년 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 신소재연구실 연구원
- 1998년 (주)코아텍 개발팀장
- 2003년~현재 (주)래트론 연구개발팀장

● 이 충 국



- 1983년 서울대학교 재료공학과 졸업
- 1985년 KAIST 재료공학과 석사
- 1994년 Georgia Institute of Technology 재료공학 박사
- 1985년 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 ~1997년 신소재연구실 책임연구원
- 1998년~현재 (주)래트론 대표이사