

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.6.129>  
JIIBC 2020-6-19

## 온도 센서 위치에 의한 OCXO의 특성 변화와 주파수 보정 방법 연구

A study on the change of characteristics and frequency  
correction method of OCXO by temperature sensor position

조규필\*, 이영순\*\*

Gyu-Pil Cho\*, Young-Soon Lee\*\*

**요약** 본 연구는 10MHz SC-CUT 크리스탈을 이용한 오븐제어수정발진기(이하 OCXO)의 온도센서 위치에 의한 특성 변화와 주파수 보정방법에 관한 것이다. 기존의 고정밀 10MHz OCXO의 제작 방법은 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 온도센서의 위치를 조정하는 것만으로도 외부 온도 변화에 대한 주파수 안정도 특성이 향상될 수 있다는 것을 보여준다. OCXO의 주파수 특성에 영향을 주는 인자로는 크리스탈에 전달되는 온도, 크리스탈에 인가되는 전압, 발진회로를 구성하는 캐패시턴트 등이 있다. 이러한 인자들에 의한 주파수 변화량을 측정하고 온도 변곡점 측정과 캐패시터 값의 변화를 통하여 OCXO 출력주파수의 보정값 변화를 알아보았다.

**Abstract** This study relates to a characteristic change and frequency correction method according to the temperature sensor position of an oven-controlled crystal oscillator (OCXO) using a 10 MHz SC-CUT crystal. Although there are several methods of manufacturing the previous high-precision 10MHz OCXO, the present study shows that the frequency stability characteristics against external temperature changes can be improved simply by adjusting the position of the temperature sensor. Factors that affect the frequency characteristics of the OCXO include the temperature transmitted to the crystal, the voltage applied to the crystal, and the capacitance constituting the oscillation circuit. The amount of change in frequency due to these factors was measured, and the change in the correction value of the OCXO output frequency was investigated by measuring the temperature inflection point and changing the capacitor value.

**Key Words** : OCXO(Oven controlled crystal oscillator), Temperature inflection point, Temperature sensor position, Temperature stability of OCXO

\*정회원, 금오공과대학교 전자공학과 박사과정  
\*\*정회원, 금오공과대학교 전자공학부 교수 (교신저자)  
접수일자 2020년 9월 22일, 수정완료 2020년 11월 15일  
게재확정일자 2020년 12월 4일

Received: 22 September, 2020 / Revised: 15 November, 2020 /  
Accepted: 4 December, 2020  
\*Corresponding Author: yslee@kumoh.ac.kr  
Dept. of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of  
Technology, Gyeongsangbuk-do 39177, Korea

## I. 서 론

OCXO(oven-controlled crystal oscillator)는 수정발진기 주변에 온도를 가해주는 소자와 소자의 온도를 제어하도록 하는 온도센서를 이용하여 주파수 안정도를 향상시킨 전자부품으로, 고 사양의 OCXO의 경우  $3 \times 10^{-12}$  @ 1s 급의 주파수 안정도를 갖는다<sup>[1-2]</sup>. 이러한 OCXO는 소비전력이 다소 높고, 일정 시간이 지나야만 안정해지는 단점이 있지만 일반 수정(크리스탈) 발진회로와 같은 어느 방식보다는 발진 주파수가 아주 정확하고 안정되기 때문에 주로 계측기라던지 정밀 수신 통신 기기에 주로 이용되고 있다. 그런데도 불구하고 OCXO의 주파수 출력특성에 영향을 주는 항목으로는 내부온도변화, 외부온도변화, 수정편에 인가되는 전압변화 등이 있으며, 각각의 조건이 최적화 될수록 고사양의 OCXO를 제작할 수 있다<sup>[3]</sup>. 특히, OCXO의 주파수 안정 특성과 관계있는 항목 중 하나는 수정편의 컷 타입이다. 수정 컷 타입에 따라 OCXO의 온도 변화에 대한 주파수 특성이 달라진다<sup>[4]</sup>. 기존의 수정 컷 타입은 SC-CUT 및 AT-CUT으로 분류되는데, 본 논문에서는 온도 변화에 따른 주파수 변화량이 비교적 적은 SC컷 크리스탈을 사용하였다<sup>[5]</sup>. OCXO의 온도안정도 향상을 위한 방법으로는 디지털 온도제어방식, 더블 오븐제어 방식 및 내부 단열구조의 변화 등이 있다. 온도 안정도 향상을 위하여 기존의 디지털 온도제어 방식을 사용할 경우에는 발진기 제작에 추가적인 고비용의 발생이 생겨나고, 내부 단열구조 변화를 사용할 경우에는 발진기의 구조가 복잡해지는 단점이 있어 본 논문에서는 발진기의 구조가 단순하면서도 저가로 제작이 가능한 더블 오븐제어 방식을 활용하여 온도 센서 위치의 조정으로 고안정도의 OCXO를 제작하고, 주파수 안정도를 판단할 수 있는 온도 변곡점 측정 및 캐패시터 값에 따른 주파수 보정값 변화에 관한 결과를 제시하였다<sup>[6]</sup>.

## II. 본론

### 1. OCXO 설계

OCXO에 사용되는 수정은 수정편의 커팅 방식에 따라 크게 SC, AT 컷으로 분류할 수 있으며, 각각의 수정편에 대한 온도특성이 다르게 나타난다. 그림 1에서는 AT 및 SC 컷 크리스탈의 온도 변화에 따른 주파수 변화의 안정도 특성을 제시하였다. 그림 1에서 보는 바와 같

이 SC 컷과 AT 컷은 서로 다른 온도안정도 곡선을 보여주고 있는데, 본 논문에서는 고사양의 OCXO를 제작하기 위해 온도에 따른 주파수 변화량이 적은 SC 컷을 사용하여 발진기를 제작하였다.

AT 컷은 주로 넓은 온도 범위를 갖는 발진기 제작에 사용되며, 25℃를 기준으로 원점 대칭 곡선을 나타낸다. 주 사용 온도 범위는 -55 ~ 125℃ 이며, 단품만으로도 전 온도 범위에서  $\pm 20$  ppm 정도의 안정도를 나타낸다. SC 컷은 온도 변곡점(Inflexion Temperature)이 92℃ 근처이며 온도 변화에 대해 주파수 변화량이 수 ppm 이 내이다. 반면, 그림 1에서 보는 바와 같이 60℃ 이하로 내려갈수록 주파수 변화량이 급격히 변하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 고안정도 OCXO의 경우 온도변화에 대한 주파수 변화량이 적어야 하기 때문에 온도제어 범위를 80 ~ 100℃ 범위를 사용하며, 상대적으로 온도안정도 성능이 좋은 SC 컷을 사용한다.

본 논문에서 사용한 크리스탈은 Magic Xtal사의 CC5018 SC CUT 제품을 사용하였으며, 각각의 Serial Number(S/N) 와 주요 특성은 표 1과 같다.

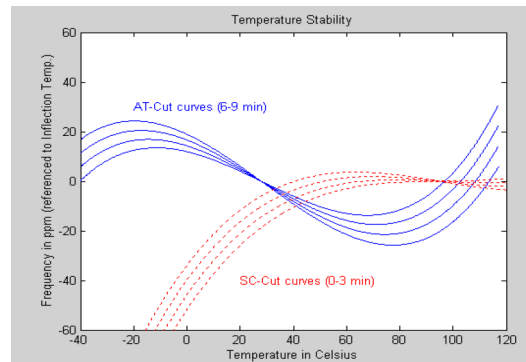


그림 1. AT & SC 컷 크리스탈의 온도안정도 특성 곡선  
Fig. 1. Temperature stability characteristic curve of AT & SC cut crystal

표 1. SC 컷 크리스탈 발진기 테스트 데이터  
Table 1. SC Cut Crystal Oscillator Test Data

S/N	Freq Hz	Freq ppm	IT ℃	LTP ℃	UTP ℃
GY3014	10,000,011.5	1.15	99.5	81.3	117.7
GY3071	10,000,013.2	1.32	99.9	83.3	116.6
GZ0768	10,000,014.9	1.49	97.8	85.4	110.2
GZ9544	10,000,015.4	1.54	98.7	83.0	114.3
GZ9692	10,000,016.2	1.62	97.4	83.2	111.7
HA0858	10,000,018.8	1.88	98.5	84.7	112.2
HA1045	10,000,013.0	1.30	98.9	86.1	111.6
HA1062	10,000,019.7	1.97	98.6	82.4	114.7
HB5729	10,000,018.3	1.83	98.8	82.7	114.4
HB7656	10,000,017.9	1.79	98.7	86.0	111.4

위의 표 1의 항목 중 IT 는 각각의 수정에 대한 온도 변곡점 데이터이며, 본 논문에서는 실제 OCXO를 제작했을 때 이 온도 변곡점이 어떻게 변화하는지와 외부 온도 변화에 대해 주파수 변화량을 최소화 하는 방법 등에 대해 연구하였다. 그리고 주파수 보정 방법에 따라 표1의 각각의 크리스탈에 대한 출력 주파수를 정확하게 10MHz 로 보정하는 방법에 대해 실험하였다.

10MHz OCXO는 발진부인 Oscillation Part, 레퍼런스부인 OSC Reference Part, 수정의 온도 제어부인 Inner Heater 및 Outer Heater Part의 4개 부분으로 나누어지고, 각각의 파트에 해당하는 회로도를 그림 2, 그림 3, 그림 4 및 그림 5에 각각 제시하였다.

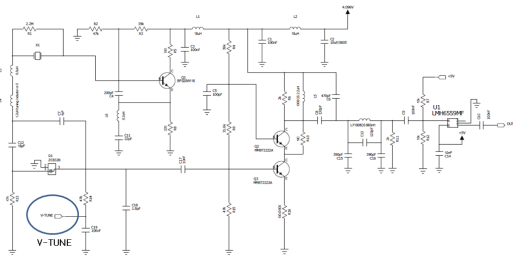


그림 2. 10MHz OCXO 발진부  
 Fig. 2. 10MHz OCXO Oscillation Part

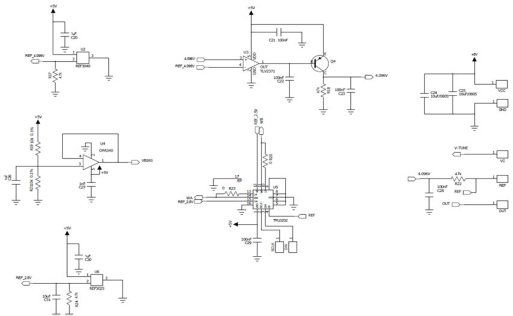


그림 3. 10MHz OCXO OSC 기준전압 부  
 Fig. 3. 10MHz OCXO OSC Reference Voltage Part

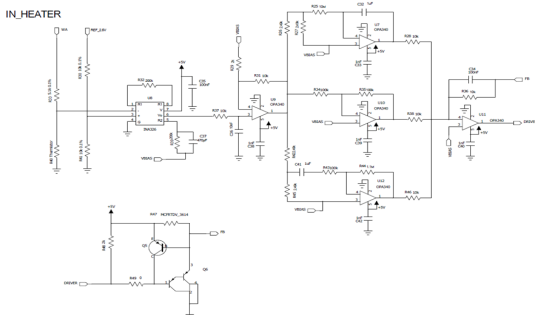


그림 4. 10MHz OCXO 내부히터 부  
 Fig. 4. 10MHz OCXO Inner Heater Part

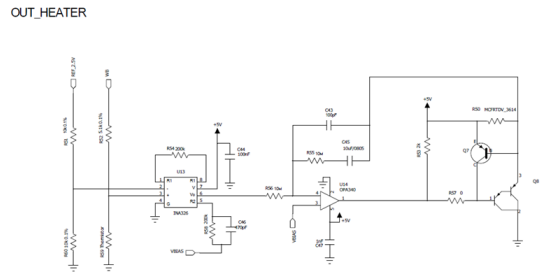


그림 5. 10MHz OCXO 외부히터 부  
 Fig. 5. 10MHz OCXO Outer Heater Part

## 2. 온도센서 위치에 대한 주파수안정도 변화

온도 센서 위치에 따라 OCXO의 온도안정도 특성 변화를 알아보기 위해 동일한 발진기 회로에 두 가지 방식의 제작 방법을 적용하여 실험 하였다. 하나는 그림 6에서와 같이 전자회로기판 위에 온도센서를 위치시킨 것이고, 다른 하나는 그림 8에서와 같이 수정발진기에 직접 온도센서를 위치시킨 것이다. 수정발진기는 HC-43타입을 적용하였으며 온도센서는 칩타입인 NTC0805E3140FXT를 사용하였다. 히터역할을 하는 열원 소자로는 TI사의 INA326을 선정하여 적용하였고, PID방식을 이용하여 제어하였다. 고안정도 OCXO 제작을 위한 수정발진기 시료는 GY3014이며, 초기데이터는 표1을 사용하였다. 시험방법은 OCXO에 전원을 인가한 후 외부온도 범위가 25 ~ 80℃까지 5℃ 간격으로 증가 할 때마다 발진기 내부 온도를 72.5 ~ 85℃까지 0.5℃간격으로 변화시키며 주파수를 측정하여 주파수 변화량을 측정하였다.

그림 6, 7에서 보는 바와 같이 OCXO의 온도센서를 PCB 위에 장착했을 때에는 외부온도변화가 25 ~ 80℃ 일 때 Crystal의 최적온도 구간이 78.5℃이며, 주파수변화량은 약 4ppb 이다. 반면, 그림 8, 9와 같이 OCXO의 온도센서를 Crystal에 직접 장착했을 때에는 외부온도변화가 25 ~ 80℃일 때 Crystal의 최적온도 구간이 79.5℃이며, 주파수변화량은 약 1ppb 이다. 이와 같은 결과를 볼 때 외부온도변화에 대한 주파수변화량을 감소시키기 위해서는 온도센서를 PCB에 장착하여 간접적으로 컨트롤하는 방식보다 Crystal에 장착하여 직접적으로 온도를 컨트롤하는 것이 OCXO의 온도안정도 향상에 효과적임을 알 수 있다.

또한, 본 논문에서는 Crystal 전용 외부 케이스를 제작하고 케이스에 히터를 부착하여 80±1℃의 온도를 유지하게 함으로써 외부온도변화에 관계없이 OCXO 내부의 온도가 80℃ 이상을 유지하게 하였다. 이 방식은

OCXO의 온도 변곡점이 약 85 ~ 90℃ 정도이기 때문에 초기 가열시간을 줄여주고 내부 온도제어를 더욱 미세하게 할 수 있기 때문이다.

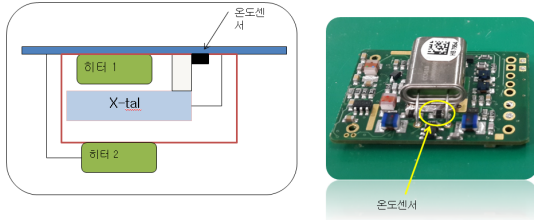


그림 6. OCXO의 온도센서 PCB 장착 시험  
Fig. 6. Temperature Sensor PCB Mounting Test of OCXO

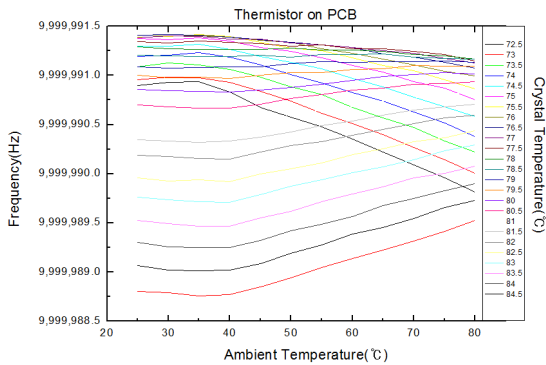


그림 7. 외부온도 변화에 대한 OCXO 온도별 주파수의 온도안정도 (PCB에 온도센서 장착)  
Fig. 7. Temperature stability of OCXO temperature-specific frequency for external temperature changes (with temperature sensor on PCB)

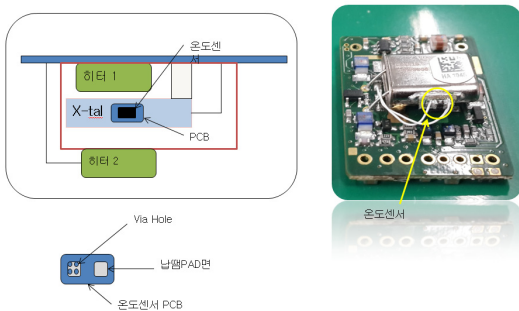


그림 8. OCXO의 온도센서 Crystal 장착 시험  
Fig. 8. Temperature sensor crystal mounting test of OCXO

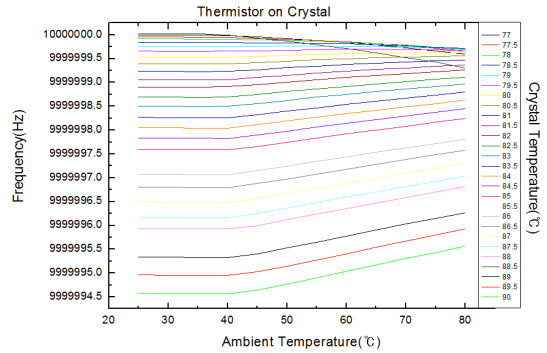


그림 9. 외부온도 변화에 대한 OCXO 온도별 주파수의 온도안정도 (크리스탈에 온도센서 장착)  
Fig. 9. Temperature stability of OCXO temperature-specific frequency for external temperature changes (with temperature sensor on crystal)

### 3. V-TUNE에 의한 주파수 변화 특성

OCXO는 크리스탈에 인가되는 전압에 따라 출력주파수가 변하는데 발진 회로인 그림 2에서 좌측 화단부에 위치한 전압 단자인 V-TUNE에 인가되는 전압으로 OCXO의 출력주파수를 조정할 수 있다. 외부 TUNE 전압에 의해 주파수를 변화시키는 이유는 OCXO의 특성 중 AGING 항목(열화 특성)과 관계가 있는데, OCXO는 시간이 경과함에 따라 주파수가 변화하는 열화현상이 발생하기 때문에 최종 출력주파수를 외부 전압에 의해 조정해 주어야 한다. 본 실험에서는 외부 조정 전압을 0 ~ 4V로 설정하였으며, 초기 10MHz 중심전압을 2.5V로 설계하였다. 외부 전압 변동에 대한 주파수 변화량을 각각 다른 시료 6개에 대해서 측정하였다. 그림 10에서는 V-TUNE 전압 변화에 따른 시료별 주파수 변화 측정 결과들을 그래프로 제시하였다. 외부 전압 변동 범위는 0.5V에서 3.5V까지 0.5V 간격으로 측정하였으며, 측정 결과 주파수 변동이 그림 10에서 보는 바와 같이  $y=ax+b$ 의 1차 함수 형태로 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 V-TUNE 변화에 대한 주파수 변화 추세선을 제시한 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 그 추세선이 1차 선형 함수의 형태로 나타나며 그래프의 기울기는 1.71로 계산된다. 그 결과로 0.5V 변화할 때 주파수가 약 780mHz 변화함을 알 수 있다. 그래프의 기울기는 그림 2의 발진부 회로에서의 C7 값에 따라 조절이 가능하며, 미세튜닝을 하게 되면 주파수 조정 폭이 그만큼 줄어 든다.

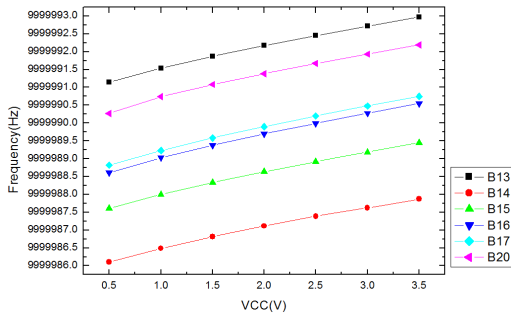


그림 10. OCXO의 V-TUNE 전압 변화에 대한 주파수 변화 그래프  
 Fig. 10. Frequency Variation Graph for V-TUNE Variation in OCXO

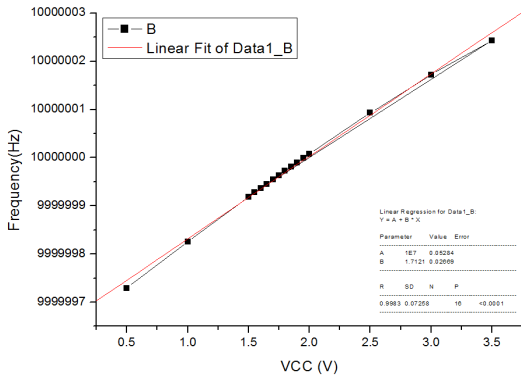


그림 11. OCXO의 V-TUNE 변화에 대한 주파수 변화 추세선  
 Fig. 11. Frequency changes trend line for V-TUNE changes in OCXO

#### 4. 온도변곡점 보정 방법

그림 12에서는 크리스탈의 외부 온도 변화에 대한 주파수 변화를 최소화하기 위한 온도변곡점 설정을 위한 실험 결과를 그래프로 제시하였다. 각 시료에 대한 내부 온도 범위를 설정하고, 크리스탈에 일정한 온도를 유지하도록 설정한 후 주파수를 측정하면, 온도 변화에 대한 주파수 변화를 알 수 있다. SC-CUT 크리스탈의 특성상 온도변곡점은 이차함수의 형태로 나타나기 때문에 수식을 통한 계산을 이용하여 각각의 시료에 대해 온도변곡점을 측정할 수 있다. 실험방법은 크리스탈에 가해지는 온도를 84 ~ 96℃ 범위에서 2℃ 간격으로 온도를 증가시키면서 주파수를 측정한다. 이 때, 크리스탈에 가해지는 온도 변화 후 주파수가 안정화되기까지 1시간정도 대기시간을 가진 후 주파수를 측정하였다.

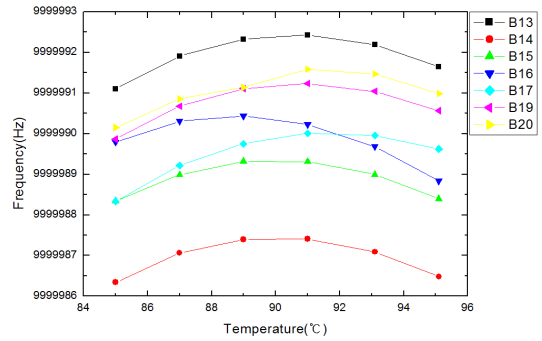


그림 12. OCXO의 내부 크리스탈 온도 변화에 대한 주파수 변화 그래프  
 Fig. 12. Frequency Variation Graph for Internal Crystal Temperature Variation of OCXO

그림 12에서 보는 바와 같이 온도변곡점은 이차함수 그래프의 꼭지점에 해당하는 x축의 값을 변곡 온도로 측정할 수 있으며, 주어진 그래프에 대해  $y = ax^2 + bx + c$  의 그래프에서 꼭지점 계산식인  $y = a(x - p)^2 + q$  를 이용하여  $y = a(x - (-\frac{b}{2a}))^2 + (-\frac{b^2 - 4ac}{4a})$  의  $-\frac{b}{2a}$  값이 변곡 온도가 된다. 따라서 각 샘플에 대한 온도변곡점은 표 4에서와 같이 각각 90.7℃, 90.2℃, 90.1℃, 88.9℃, 91.7℃, 90.8℃, 91.4℃ 로 측정되었다.

표 2. 측정 시료에 대한 온도 변곡점 (p : 변곡온도)  
 Table 2. Temperature inflection point for measured samples (p: inflection temperature)

	a	b	p
B13	-0.0411	7.4612	90.7
B14	-0.0404	7.2986	90.2
B15	-0.0385	6.9545	90.1
B16	-0.0414	7.3684	88.9
B17	-0.0370	6.8012	91.7
B19	-0.0392	7.1330	90.8
B20	-0.0332	6.0808	91.4

마지막으로 크리스탈에 온도를 공급해주는 히터회로에 포함된 캐패시터 값에 대한 분석으로 앞서 언급한 V-TUNE 및 온도 변곡점으로 설정할 수 없는 주파수 범위에 있을 때, 그림 2의 발진부 회로에서 C37 값을 변경하여 주파수를 수십 Hz의 큰 폭으로 조정할 수 있다. 그림 13에 그 결과를 제시하였으며, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 캐패시터 값에 대한 주파수 변화를  $y = \frac{1}{t}$  의 함수로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

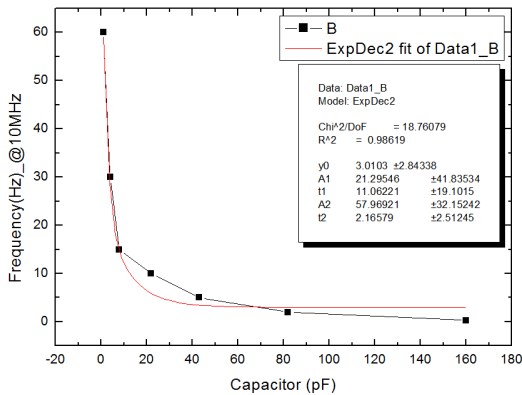


그림 13. OCXO의 히터 캐패시터 값 변화에 대한 주파수 변화 그래프

Fig. 13. Frequency Variation Graph for Heater Capacitor Value Variation in OCXO

### III. 결 론

지금까지의 주요 내용을 요약하자면 OCXO 외부의 온도변화에 대해 1ppb 이하의 안정도를 갖는 OCXO를 제작하기 위해서는 온도변화에 가장 민감한 부품인 크리스탈에 온도센서를 부착하여 외부온도에 대한 주파수 흔들림을 최소화해야 하며, 더블 히터 구조를 이용하여 크리스탈 주변의 온도를 크리스탈 온도 변곡점에 가깝게 온도를 유지한 후 크리스탈의 온도를 설정해 주어야 하는 것이다. 또한, 각각의 크리스탈에 대해 온도변곡점을 정확하게 설정해 주어야 하며, 외부 전압 조정 범위를 해석적으로 설정하기 위해서 튜닝 부분의 수를 줄이고, 원하는 범위의 주파수에 대한 설정값을 그래프화 할 수 있어야 한다. 일반적으로 제작되는 OCXO의 경우 온도센서의 위치가 전자회로기판 위에 장착되어 있기 때문에 크리스탈에 전달되는 온도를 정확하게 제어하기가 어렵다. 이러한 단점을 해소하기 위하여 본 논문에서는 온도센서를 크리스탈에 직접 접촉시킴으로써 OCXO의 온도 안정도를 약 4배 정도 향상시킬 수 있었으며, 온도변곡점을 측정하고 그 결과를 이용하여 외부 온도 변화에 대해 약 1ppb의 안정도를 갖는 OCXO 제작 방법을 제시하였다.

결론적으로 본 논문에서 제안하는 제작 방법으로 생산된 OCXO는 구조가 비교적 단순하면서도 저가로 제작이 가능해서 발진주파수의 높은 안정도를 요구하는 계측기 및 정밀통신기에 적극 활용되어질 것으로 기대된다.

### References

- [1] M. Ogawa, M. Ito, K. Kobayashi, M. Ishikawa, and K. Akaike, "High Stability Miniature Size OCXO Using a SC-cut Crystal Resonator and Simultaneous Oscillations", Joint Conference of the European Frequency and Time Forum and IEEE International Frequency Control Symposium (EFTF/IFCS), 2017. DOI : <https://doi.org/10.1109/FCS.2017.8088854>
- [2] L. Frederic, W. Patrick, and A. J. Pierre, "A new kind of view for a Double oven Crystal Oscillator", in Proc. IEEE International Frequency Control Symposium joint with the 21st European Frequency and Time Forum, pp. 784-789, 2007. DOI : <https://doi.org/10.1109/FREQ.2007.4319182>
- [3] H. Zhou, C. Nicholls, T. Kunz, and H. Schwartz, "Frequency Accuracy & Stability Dependencies of Crystal Oscillators", Technical Report SCE-08-12, Carleton University, Systems and Computer Engineering, Nov. 2008.
- [4] L. M. Zhang, S. Y. Wang, L. T. Xie, T. F. Ma, J. K. Du, and J. Wang, "Frequency-Temperature Relations of Novel Cuts of Quartz Crystals for Thickness-Shear Resonators", IEEE International Frequency Control Symposium (IFCS), 2018. DOI : <https://doi.org/10.1109/FCS.2018.8597466>
- [5] B. W. Neubig, "Comparison of Passive and active Aging of SC-cut and AT-cut Crystals", in Proc. of IEEE International Frequency Control Symposium (IFCS), pp. 316-322, 1996. DOI : <https://doi.org/10.1109/FREQ.1996.559873>
- [6] S. Y. Kim, J. R. Lee, D. S. Lee, H. G. Park, H. J. Kim, and K. Y. Lee, "A Design of 18MHz Relaxation Oscillator with ±1% Accuracy Based on Temperature Sensor", Journal of Korean Industrial Information System Society, Vol. 18, No. 5, pp. 39-44, Oct. 2013. DOI : <https://doi.org/10.9723/jksis.2013.18.5.039>



## 저 자 소 개

### 조 규 필(정회원)



- 2004년 2월 : 금오공과대학교 물리학과 (이학사)
- 2006년 8월 : 금오공과대학교 물리학과 (이학석사)
- 2019년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
- 관심분야 : RF 소자 설계, 오실레이터, 안테나 설계 및 해석

### 이 영 순(정회원)



- 1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : 전자기장 이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 전자기장 개구 결합 문제, 전자기장 수치해석

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
(IITP-2020-2020-0-01612)