

마이크로 볼로미터 초점면 배열에서 전기-열적 피드백 현상이 신호에 미치는 영향

Electro-thermal Feedback Effects on the Signal in a Pulse Voltage Biased μ -bolometer Focal Plane Array

박 승 만^{*} · 한 승 오^{*}
(Seung-man Park · Seungoh Han)

Abstract - In this paper, the analytical models for the electrothermal feedback of a μ -bolometer focal plane array(FPA) are proposed and applied to the conceptually designed FPA to investigate the electrothermal feedback effect on bolometer FPA signal. The temperature and resistance change of the μ -bolometer by the electrothermal feedback(ETF) model are increased upto 20 and 35.7 % of those of no feedback case, respectively, while those by the effective thermal conductance(ETC) model increased 8.5 and 15.1 %. The integration current and output voltage of a CTIA used as a column amplifier of FPA are also increased upto 41.6 and 32.4 % by the ETF model, while increased upto 17.2 and 13.5 % by the ETC model. The proposed models give more accurate temperature change, accordingly larger signal than no feedback considering case. Electrothermal feedback effect should be considered to design a high performance and high density μ -bolometer FPA. The proposed models are very useful to investigate the transient thermal analysis, also considered to be useful to predict the responsivity and dynamic range of μ -bolometer FPAs.

Key Words : μ -bolometer FPA, Electrothermal feedback, Effective thermal conductance, Analytical models

1. 서 론

마이크로 볼로미터 비냉각 적외선 검출기 기술은 작은 부피, 무게, 그리고 저전력이 요구되는 환경에서 적외선 시스템 활용을 확장해가고 있으며 이로 인하여 비냉각 적외선 검출기 기술은 더욱 발전해가고 있다[1-3]. 마이크로 볼로미터 적외선 초점면 배열(IR Focal Plane Array, IR FPA) 기술은 그 성능 측면에서도 고급의 양자형 검출기를 따라가고 있어 과거 냉각형 검출기가 사용되는 부분에도 요즈음에는 비냉각 검출기를 사용하는 추세이다[1, 4, 5].

최근의 마이크로 볼로미터 초점면 배열 연구의 화두는 저가화이다[4-7]. 저가 초점면 배열 연구중 하나로 고밀도화가 추진되고 있다. 고밀도화 연구에서 나타나는 필연적인 과제로 가용 면적은 심각하게 줄어가지만 요구 성능은 언제나 향상되고 있는 점이다. 따라서 설계상의 여유를 찾기가 어려워져 가고 있으며 이런 이유로 이전에 무시했던 현상들까지도 요즈음에는 무시할 수 없는 영역으로 나오고 있다. 이런 현상 중에 하나가 볼로미터 초점면 배열에서 나타나는 전기 열적 피드백 현상이다[8-11].

마이크로 볼로미터에서 전기 열적인 피드백 현상은 볼로미터의 NTCR(negative temperature coefficient of resistance) 특

성과 바이어스에 의한 발열 때문에 발생된다. 적외선 입사에 의한 볼로미터소자의 온도변화가 유발되고 이에 따른 저항 변화를 읽어내기 위하여 바이어스가 가해지면 바이어스에 의한 열이 발생하고 이때 발생된 열에 의하여 다시 볼로미터 소자의 온도가 상승하여 저항이 변화 더욱 변하게 된다. 그런데 대부분의 볼로미터가 NTCR 특성을 보이는 재료를 저항체로 사용하므로 온도 상승에 따라 저항이 줄어든다. 따라서 정전압 바이어스 하에서 단위 시간당의 발열량은 볼로미터 소자저항에 반비례하므로 전기저항이 줄어들면 발열량은 증가하고 그 발열에 의하여 다시 전기저항은 더욱 감소하는 현상, 즉 전기 열적인 피드백 현상이 발생한다[10,11]. 이 현상은 양의 피드백 효과로 바이어스 전압을 계속 인가하면 소자가 타게 된다. 따라서 전기 열적인 피드백 효과를 줄이기 위하여 짧은 시간동안 펄스로 바이어스를 인가하여 신호를 읽어 내는 방법을 사용한다[9, 10]. 그러나 바이어스 인가 시간을 계속 줄일 수는 없다. 등가 잡음주파수 대역폭이 적분시간에 비례하여 증가하기 때문이다[9-11].

본 연구에서는 전기 열적 피드백현상의 해석적 모델을 제안하였다. 그 결과로 얻어진 두 개의 모델로 전기 열적인 피드백 현상을 개념 설계된 볼로미터 초점면 배열에 적용하여 그 효과를 정량적으로 살펴보고자한다. 제안된 해석적 모델은 복잡하고 장시간이 소요되는 FEM 해석을 통하지 않고 볼로미터의 온도상승에 미치는 영향을 파악하는데 아주 효과적으로 활용될 수 있다.

본 논문에서 사용할 용어를 정의한다. 초점면 배열소자, 초점면 소자는 초점면 배열 내의 단위 소자로서 하나의 볼로미터소자를 의미하며 영어로는 active bolometer를 의미

* Hoseo University

† Corresponding Author : Dept. of Defense Science & Tech.
Hoseo University

E-mail : smanpark@hoseo.edu

Received : October 10, 2012; Accepted : November 16, 2012

한다. 참조소자 또는 참조 볼로미터소자는 영어의 reference bolometer 또는 reference detector를 의미한다. 볼로미터의 온도가 시간변화에 따라 주기적으로 일정한 범위에서 변하는 상태를 시간에 따른 변화가 없는 정상상태(steady-state)와 구분하여 유사정상상태(quasi-steady-state)로 부르기로 한다. 본 연구에서 다루게 될 온도 및 저항변화와 그에 따른 전류, 전압은 모두 유사정상상태의 값이다.

2. 전기-열적 피드백 현상의 해석적 모델

전기 열적 피드백 현상이 마이크로 볼로미터의 온도와 저항변화에 어떤 영향을 미치며 나아가 초점면 배열의 영상신호 출력에 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 열평형 방정식에서 시작한다. 볼로미터 소자의 열평형 방정식은 다음 식 (1)로 주어진다[7, 8, 11].

$$H \frac{dT_d}{dt} + K \cdot \Delta T = P_{IR} + P_{Bias} \quad (1)$$

여기서, H는 볼로미터 소자의 열용량, K는 열전도도이고, P_{IR} , P_{Bias} 는 각각 단위시간당의 입사 적외선 에너지와 볼로미터에 가해지는 bias에 의한 열원이다. $\Delta T = T_d - T_a$ 이고 T_d , T_a 는 각각 볼로미터 저항체와 주변의 온도를 나타낸다. T_a 는 일정하다고 하고 식 (1)에서 일정한 적외선 입사만 있는 경우의 해는 다음의 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{P_{IR}}{K} (1 - e^{-t/\tau_{th}}) \quad (2)$$

위식에서 τ_{th} 는 $\tau_{th} = H/K$ 로 정의되는 열 시정수(thermal time constant)를 나타낸다. 식 (2)에서 정상상태에서 도달 온도는 K에 반비례함을 볼 수 있다.

2.1 선형 근사모델

본 연구에서 관심 있는 부분은 바이어스에 의한 열원이 있는 경우이다. 특히 정전압의 펄스로 바이어스 되는 경우이다. 정전압 바이어스 일 경우 P_{Bias} 를 다음의 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$P_{Bias} = \frac{V_{Bias}^2}{R_d} \quad (3)$$

여기서 V_{Bias} 와 R_d 는 바이어스 전압과 볼로미터 소자의 저항을 나타낸다. 위의 발열량이 일정하다고 가정하면 식 (1)의 해는 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{V_{bias}^2 / R_d}{K} (1 - e^{-t/\tau_{th}}) \cong \frac{V_{bias}^2}{HR_d} t \quad (4)$$

위 식 (4)에서 마지막 항의 근사는 $t \ll \tau_{th}$ 되는 조건하에 성립한다. 위 식 (4)는 전기 열적인 피드백 효과를 고려하지 않는 보통의 바이어스에 의한 열 해석에서 사용하는 식이다

[8, 9]. 식 (4)에서는 ΔT 가 시간에 따라 선형으로 변한다. 본 연구에서는 식 (4)를 사용한 모델을 선형근사(linear approximation, LA)모델로 칭한다.

2.2 전기 열적 피드백 모델

식 (3)에서 R_d 를 일정하다고 하여 식 (4)로 해를 구할 수 있었다. 이를 다소 완화하는 방법으로 식 (4)가 성립한다고 가정하고 여기에 식 (5)로 R_d 에 시간의존성을 부여하여 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$R_d = R_{d0} + \Delta R_d = R_{d0}(1 + \alpha \Delta T) \quad (5)$$

$$\Delta T \cong \frac{V_{bias}^2}{H} \frac{t}{R_{d0}(1 + \alpha \Delta T)} \cong \frac{V_{bias}^2}{H} \frac{t}{R_{d0}} (1 - \alpha \Delta T) \quad (6)$$

여기서 α 는 저항의 온도계수(temperature coefficient of resistance, TCR)이다. 식 (6)에서 마지막의 근사는 $\alpha \Delta T \ll 1$ 일 때 성립한다. 식 (6)을 다시 정리하여 다음의 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$\Delta T = \frac{A(t)}{1 + \alpha A(t)} \quad (7)$$

$$A(t) = \frac{V_{Bias}^2}{H} \frac{t}{R_{d0}} \quad (8)$$

식 (7)을 살펴보면 피드백루프의 이득이 $\alpha A(t)$ 인 피드백 증폭기의 전압이득과 동일한 형태를 갖는다는 것을 발견할 수 있다. 단지 α 가 NTCR의 저항체를 사용하는 경우에는 음의 값을 가지므로 분모가 1보다 작아져서 양의 피드백이 된다.

이후 식 (8)을 사용하는 모델을 전기-열적 피드백(Electro-Thermal Feedback, ETF) 모델로 부르도록 한다.

2.3 볼로미터에 인가되는 열량과 정상상태의 온도상승

또 하나의 해석적 접근이 가능하다. 식 (3)에 식 (5)를 대입하여 정리하면 식 (9)을 얻을 수 있고 이를 다시 식 (1)에 대입하고 정리하면 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$P_{Bias} = \frac{V_{bias}^2}{R_d} = \frac{V_{bias}^2}{R_{d0}(1 + \alpha \Delta T)} \cong \frac{V_{bias}^2}{R_{d0}} (1 - \alpha \Delta T) \quad (9)$$

$$H \frac{d\Delta T}{dt} + \left(K + \frac{\alpha V_{Bias}^2}{R_{d0}} \right) \Delta T = \epsilon \phi_e + \frac{V_{Bias}^2}{R_{d0}} \quad (10)$$

여기서 ϵ 와 ϕ_e 는 입사 적외선의 흡수율과 단위시간당 입사 적외선 에너지이고, 따라서 $\epsilon \phi_e$ 는 P_{IR} 이 된다. 식 (10)의 우변은 열원이고 이 열원이 상수로 표현되었다. 즉 해를 쉽게 구할 수 있도록 만들었다. 바이어스에 의해 발생한 열을 시변량과 불변량으로 구분하여 시 불변량만을 열원으로 취급하여 해를 용이하게 구할 수 있게 하였다. 식 (10)에서 유효 열전도도(effective thermal conductance)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$K_{eff} = \left(K + \frac{\alpha V_{Bias}^2}{R_{d0}} \right) = K \left(1 + \frac{\alpha V_{Bias}^2}{KR_{d0}} \right) \quad (11)$$

위 식을 관찰하면, α 가 음의 값을 가지므로 유효 열전도도는 원래의 열전도도보다 작은 값이 되며 경우에 따라서는 음의 값이 될 수 있다. 유효 열전도도가 원래의 열전도도보다 작다는 의미는 단위 시간당 외부 유출 열량이 감소한다는 의미이나, 이는 내부 발열량 중 시변 바이어스 열량이 볼로미터 소자의 온도를 급격히 높이는데 효과적으로 사용됨을 의미한다고 해석할 수 있다. 즉 유효 열전도도가 원래의 열전도도보다 작아지거나 심지어 음의 값이 되는 경우 모두 전기 열적인 피드백 효과를 잘 설명하고 있다.

식 (10)의 해는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta T = \frac{q}{k} - \left(\frac{q}{k} - C_1 \right) e^{-k(t-t_0)} \quad (12)$$

$$k = \frac{K_{eff}}{H}, q = \frac{\epsilon \phi_e + V_{Bias}^2 / R_{d0}}{H} \quad (13)$$

여기서 C_1 은 초기조건에서 결정되는 상수이며 바이어스 열의 전기 열적 피드백 효과를 정량적으로 계산하기 위하여 식 (12)를 활용할 때는 $t=t_0$ 에서 정전압 바이어스가 인가되고 $t=t_0+T_{int}$ 에서 종료되는 경계조건을 부가하여 C_1 을 결정하였다.

위에서 유도한 식 (12)를 유효 열전도도 (Effective Thermal Conductance, ETC) 모델로 부르기로 한다.

3. 전기 열적 피드백 현상이 신호에 미치는 영향

3.1 내마이크로 볼로미터 배열의 특성

볼로미터 초점면 배열의 동작 상황에서 전기 열적인 피드백 효과를 살펴보기 위하여 이에 필요한 마이크로 볼로미터 소자와 초점면 배열을 개념적으로 설계하였다. 그 결과를 표 1로 정리하였다. 볼로미터 소자는 피치가 $25\mu m$ 이고 전기 저항은 $170k\Omega$, TCR은 -2% 로 하였다. 한편 전기 열적인 피드백 현상은 참조 볼로미터의 특성에 크게 의존하며 이는 바이어스 상쇄효과 때문으로 알려졌다[9, 10, 13]. 참조 볼로미터는 광학적으로 반응하지 않는 소자로 컬럼 당 한 개가 있고 열전도도가 $1 \times 10^{-3} W/K$ 로 매우 크게 설계되었다. 따라서 시상수가 $\sim 1\mu s$ 되어 온도 변화가 잘 일어나지 않는다. 전기 열적인 현상에서 중요한 초점면 배열의 동작변수가 프레임 시간과 적분시간이다. 본 연구에서는 프레임 시간이 $33 ms$ 이고 T_{int} 는 $100 \mu s$ 로 고정하였다.

초점면 배열의 신호취득회로의 컬럼 증폭기로서 CTIA (Capacitive TransImpedance Amplifier) 회로를 사용하여 신호를 적분하였다. 그림 1에 컬럼 블록의 회로도를 보이고 있다[12-15]. 이 컬럼 회로는 컬럼의 초점면 소자 R_{d1} , R_{d2} ..., R_{dn} 이 자리이동 레지스터(shift register)에 의하여 차례로 하나씩 선택되고, 선택된 초점면 소자는 적분시간동안 컬럼 증폭기에 연결되어 참조소자, R_{bd} 를 통하여 바이어스 되고 선택된 초점면 소자에 의한 신호전류가 적분되어 출력전압으로 나타난다. 이 적분전류는 참조소자에 흐르는 전류와 초

점면 소자에 흐르는 전류의 차이가 된다. 이때 참조소자는 광학적으로 반응하지 않는 소자이므로 적분 전류는 입사된 적외선에 의한 초점면 소자의 저항변화에 의존한다[12-16].

3.2 전기 열적 피드백효과가 초점면배열 신호에 미치는 영향

전기 열적 피드백 현상의 해석적 모델을 앞서 기술한 마이크로 볼로미터 초점면 배열에 적용하여 볼로미터소자의 온도와 저항변화를 구하고 이 결과를 이용하여 컬럼 증폭기의 적분전류와 출력신호를 구하였다.

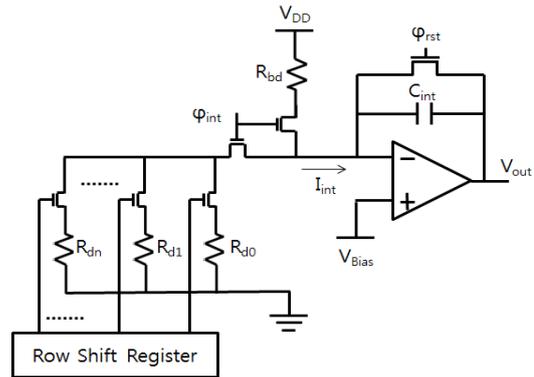


그림 1 본 연구에 활용된 볼로미터 초점면 배열의 신호 취득회로의 컬럼 회로

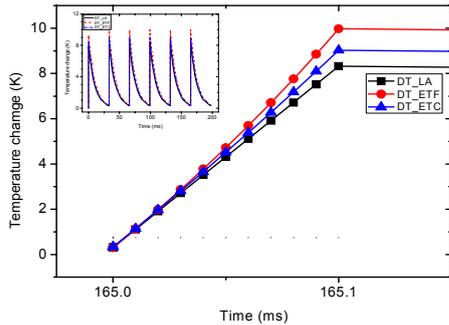
Fig. 1 The column circuit of the μ -bolometer FPA readout for this study

표 1 본 연구에서 사용한 볼로미터 소자와 초점면 배열의 파라미터[7, 13, 14]

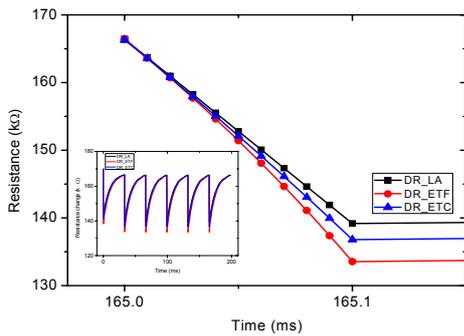
Table 1 The parameters of μ -bolometer device and FPA used in this study[7, 13, 14]

파라미터 명	기호	값	단위	비고
초점면배열 소자의 파라미터				
픽셀 피치		25x25	μm^2	
광학적 채움인자		70	%	
열전도도	K	3×10^{-8}	W/K	
열용량	H	3×10^{-10}	J/K	
적외선 흡수층의 흡수계수	ϵ	0.8		
볼로미터 저항	R_{d0}	170	k Ω	at 298 K
저항의 온도계수(TCR)	α	-0.02	1/K	
참조 소자의 파라미터				
열전도도	K_{ref}	1×10^{-3}	W/K	
열용량	H_{ref}	1.2×10^{-9}	J/K	
적외선 흡수층의 흡수계수	ϵ	0		광학적 장남소자
볼로미터 저항	R_{ref0}	155	k Ω	at 298 K
저항의 온도계수(TCR)	α	-0.02	1/K	
컬럼 당 참조 볼로미터 수		1	ea	
볼로미터 초점면 배열 파라미터				
배열의 형식		320x240		
볼로미터 바이어스	V_{bias}	2	V	일정 전압 펄스
신호취득회로 (readout circuit type)	C_{int}	16	pF	Columnwise readout with CTIA
	T_{int}	100	μs	
프레임 시간	T_f	33	ms	30 frame/s
적외선 창 투과율		100	%	
단위소자에 입사된 적외선 에너지	P_{IR}	27.98	nW	45 $^{\circ}C$ 의 확장후체 적외선 에너지
주변(기판) 온도	T_a	298	K	일정

그림 2는 정상 상태에서 초점면 배열 볼로미터 소자의 온도변화와 저항변화를 보이고 있다. 내부의 그림에는 볼로미터 초점면 배열이 처음 시작되는 시간부터 유사정상상태에 도달할 때까지의 전체 과정을 보이고 있다. 그림에서 LA는 전기열적 피드백현상이 고려되지 않은 경우이고 ETF는 전기열적 피드백 모델, ETC는 유효열전도도 모델의 적용한 경우를 나타낸다. 그림 2의 (a)에서 전기 열적 피드백 효과를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 더 높은 온도까지 도달됨을 보이고 있다. ETF 모델에 의하면 20%, ETC는 8.5% 높게 상승됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 2 정상상태에서 초점면배열 볼로미터의 온도변화(a)와 저항변화(b)

Fig. 2 The temperature change(a) and the resistance change(b) of an active μ -bolometer

온도변화에 의한 저항변화를 그림 2의 (b)에서 관찰할 수 있다. 전기저항 변화량은 LA, ETF, ETC 모델에서 각각 30.82, 36.46, 33.22 k Ω 이 된다. 이를 적외선 입사에 의한 저항변화량 2.54 k Ω 과 비교하면 바이어스에 의한 저항변화가 매우 큰 점이 흥미롭다. 전기열적 피드백을 고려하지 않은 경우와 저항의 변화량을 비교하면 ETF와 ETC 모델에 의한 결과가 각각 18.3과 7.8% 더 많이 변화한다. 비교를 위하여 변화량과 변화율을 표 2에 정리하였다. 결론적으로 전기-열적 피드백을 고려하면 온도변화는 고려하지 않은 경우에 비하여 8.5~20% 커진다.

그림 2에서 전기 열적 피드백 효과를 고려한 바이어스 인가 동안의 온도변화를 관찰할 수 있는 자료를 제공하고 있다. 이러한 자료는 유한요소법으로는 매우 오랜 시간에 걸

쳐서 얻을 수 있는 자료이다. 본 연구에서 제시된 모델을 사용할 경우 간단하고 명료하게 과도 응답상태의 온도변화를 추적할 수 있다.

초점면배열 소자에 적용한 동일한 방법으로 참조 볼로미터 소자에 대하여 온도변화와 저항변화를 계산할 수 있다. 세 가지 모델로 계산한 참조소자의 온도변화는 모두 25.8 mK였고 이에 따른 저항변화는 80 Ω 이었다. 따라서 전기열적 피드백 효과를 무시할 수 있으며 세 모델 모두에서 참조소자의 온도와 저항의 변화는 무시할 수 있다. 이는 참조소자의 열전도도가 매우 크기 때문에 발생한 열이 주변으로 신속하게 유출되어 온도변화가 작기 때문이다. 또한 참조소자에는 $t \ll \tau_{th}$ 되는 근사 조건이 성립되지 않아 식 (4)를 사용할 수 없다.

표 2 초점면 배열에 전기열적 피드백 모델의 적용 효과
Table 2 The summary of effects by applying the feedback models to the μ -bolometer FPA of this study

항목	단위	LA	ETF	ETC	비고
온도변화(ΔT)	K	8.3186	9.9789	9.0230	
변화율		0.0%	20.0%	8.5%	
저항변화(ΔR)	Ω	15820	21465	18215	
변화율		0.0%	35.7%	15.1%	
적분전류(I_{int})	μA	-1.46	-2.07	-1.71	
변화율		0.0%	41.6%	17.2%	
출력전압(V_{out})	V	4.0713	5.3922	4.6654	
변화율		0.0%	32.4%	13.5%	
흑체응답도($\Delta V/\Delta T$)	mV/K	18.00	19.14	18.42	20, 35 $^{\circ}C$ 기준
변화율		0.0%	6.3%	3.7%	

전기 열적 피드백현상의 해석적 모델로부터 볼로미터의 저항변화를 시간에 따라 구하였으므로 그림 1의 회로도를 참조하면 컬럼 앰프의 적분전류와 그 출력전압을 구할 수 있다. 그림 3에는 적분 전류와 출력전압을 보이고 있다. 이 그림에서 볼 수 있는 전기 열적인 피드백 효과는 적분전류의 기울기가 전기 열적 피드백을 고려하지 않을 경우보다 더욱 급격하게 감소하고 있고 이로 인한 출력전압이 더욱 급격하게 증가하고 있다는 점이다. 또한 적분 전류 방향이 변화하고 있음을 볼 수 있으며 이는 바이어스가 인가되는 동안 참조소자의 저항이 155 k Ω 으로 거의 일정한 반면, 초점면 배열소자의 저항은 167.5 k Ω 에서 133.5 k Ω 까지 변화하기 때문이다. 이로 인하여 적분기의 출력 전압도 감소하다가 증가하는 경향을 보인다. 표 2에서 보듯이 전기 열적인 피드백 현상을 고려하지 않은 경우와 비교하면 적분전류는 ETF, ETC 모델에서 각각 41.6%, 17.2%가 증가하고 출력전압은 각각 32.4%, 13.5% 증가하였다. 픽셀피치의 감소와 함께 배열 소자와 회로 설계상의 여유가 급격히 감소하는 점을 고려하면, 이는 매우 큰 증가를 의미하며, 고밀도 볼로미터 초점면 배열 설계에서는 전기 열적 피드백 효과를 고려하여야 할 필요성이 바로 여기에 있다. 25 μm 피치에서도 피드백 효과를 고려하지 않은 경우 설계 예상치보다 ~30% 이상 더 낮은 전압에서 포화될 수 있음을 보이고 있다. 즉 본 연구에서 제시한 전기 열적 피드백 모델은 초점면 배열의 동작 범위(dynamic range)를 정확하게 예측하는데 활용될 수 있음을 보이고 있다.

또한 그림 3에서 최고도달 전압은 입사 적외선 에너지에 의존하며 이를 활용하여 이론적인 응답도를 추출할 수도 있다. 본 연구에서 제시한 전기열적 피드백 현상의 해석적 모델을 적용하면 확장된 흑체 (extended blackbody)의 응답도를 모사할 수 있다. 보통 확장된 흑체의 응답도 측정은 일정한 온도의 광경(scene)을 초점면 배열에 입력하는 조건에서 측정하기 때문이다. 보다 구체적으로는 초점면 배열의 모든 시계에 동일한 온도인 확장 흑체를 바라보게 하여 초점면 배열에 일정한 입사광량이 입력되는 조건을 만들어 주는 것이다. 이 측정을 2점 이상의 흑체 온도에서 실시하여 흑체 온도에 대한 출력 전압의 기울기를 구하면 반응도를 구할 수 있다.

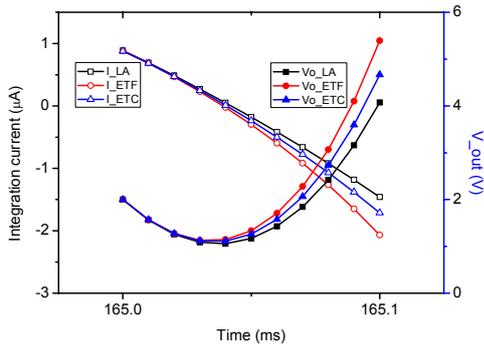


그림 3 정상상태에서 컬럼 CTIA 증폭기의 적분전류 및 출력전압

Fig. 3 The integration current and output voltage of a column CTIA at quasi-steady-state

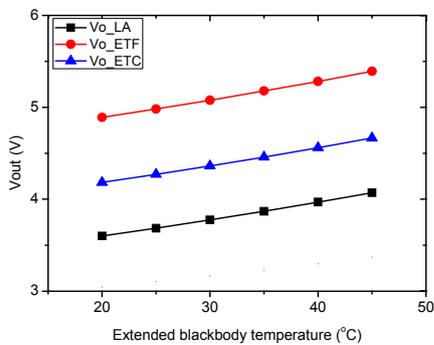


그림 4 전기 열적 피드백 모델을 활용한 흑체의 반응 모사된 출력전압

Fig. 4 The voltage outputs of blackbody response simulation utilizing electro-thermal feedback models of this study

본 연구에서 제시한 모델에서 입사 적외선을 모사하는 방법은 피드백 효과가 없는 경우인 LA 모델에서는 입사 적외선에 의한 저항변화량을 식 (4)의 R_d 에서, ETF 모델에서는 식 (6)에서 볼로미터 소자의 저항에 입사 적외선에 의한 변화를 고려해주면 된다. 또한 ETC 모델에서는 식 (13)으로 입사 적외선량이 명시적인 항목으로 포함된다. 앞서 살펴본 모든 자료는 확장 흑체의 온도가 45°C로 하여 얻은 결과이다. 이를 확장하여 흑체온도를 20에서 45°C까지 5°C 간격으

로 모의 실험하여 출력을 살펴본 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 흥미로운 사실을 관찰 할 수 있다. 기울기가 세 모델 모두에서 유사하게 보이는 점이다. 자세히 관찰해보면 20, 35 °C의 두 점에서 얻은 자료를 기준으로 기울기 즉 흑체의 응답도를 구해보면 LA, ETF, ETC 모델의 결과에서 각각 18.0, 19.1, 18.4 mV/K 임을 알 수 있다. 즉 볼로미터 초점면 배열에서 나타나는 전기 열적인 효과가 응답도에는 거의 영향을 미치지 않는다는 점이다. 이 의미는 입사 적외선에 의한 저항변화는 바이어스 인가에 의한 전기 열적인 피드백 효과에 거의 영향을 받지 않는다고 할 수 있다. 영상 신호 측면에서 보면 전기 열적 피드백 현상은 offset에 큰 영향을 미치나 이득에는 거의 영향을 미치지 않는다고 말할 수 있다.

본 연구에서 제시한 두 모델의 차이점은 단지 근사 방법에 있으나 전기 열적인 피드백에 의한 온도변화의 차이는, 앞서 논의한 것처럼, 피드백이 없을 경우에 비하여 ETF 모델과 ETC 모델에서 각각 20.0 %와 8.5 %로 상당한 차이를 보인다. 이 차이의 원인을 살펴보면 ETF 모델의 식 (7)을 유도 하면서 사용한 가정은 볼로미터에 인가되는 전력이 일정하다는 가정과 $\alpha\Delta T \ll 1$ 이라는 가정이며, 한편 ETC 모델의 식 (12)을 유도할 때는 $\alpha\Delta T \ll 1$ 이라는 가정만을 사용하였다. 따라서 두 모델 중에 원래의 열평형식의 해에 가까운 모델은 ETC 모델이라고 생각할 수 있다.

결론적으로, 전기 열적 피드백 효과는 볼로미터 소자의 온도변화를 더 크게 변화시키고 신호를 더 크게 만들며 영상신호의 윽셋에 큰 영향을 미치나 이득에는 거의 영향을 미치지 않는다.

4. 결 론

마이크로 볼로미터 초점면 배열에서 나타나는 전기 열적 피드백 현상의 두 가지 해석적 모델을 제시하고 이를 활용하여 전기 열적 피드백 현상이 초점면 배열 신호에 미치는 영향을 연구하였다. 전기 열적 피드백 효과는 볼로미터 소자의 온도변화를 더 크게 변화시켜 영상 신호를 더욱 크게 만드는 방향으로 영향을 미치며, 이는 영상신호의 윽셋에 큰 영향을 미치나 이득에는 거의 영향을 미치지 않는다.

개념적으로 설계된 초점면 배열에 전기 열적 피드백 현상의 두 모델을 적용한 결과 피드백 효과를 고려하지 않은 경우와 비교하여 ETF 모델로 온도 변화와 저항변화가 각각 20 %와 35.7 % 증가되었고, ETC 모델로는 8.5%와 15.1 % 증가하는 것을 알 수 있었다. 이로 인한 CTIA의 적분전류는 ETF, ETC 모델에서 각각 41.6 %, 17.2 %가 증가하고 출력 전압은 각각 32.4%, 13.5% 증가됨을 알 수 있어 고밀도 볼로미터 초점면 배열의 설계에는 전기열적 효과를 반드시 고려하여야 함을 알 수 있다.

본 연구에서 제시된 해석적 모델은 과도 응답상태의 볼로미터 온도 해석에 아주 유용하게 활용될 수 있고, 배경온도에 따른 볼로미터 초점면 배열의 영상출력신호를 모사하여 응답도를 모사하는데 사용될 수 있으며 볼로미터 초점면 배열의 광경온도의 동작범위를 결정하는데도 활용될 수 있다.

References

- [1] Chuan Li, C. J. Han, and G. Skidmore, "Overview of DRS uncooled VOx infrared detector development", *Optical engineering* 50(6), 061017 2011.
- [2] J.L. Tissot, S. Tinnes, A. Durand, C. Minassian, P. Robert, M. Vilainm and J.J. Yon, "High performance uncooled amorphous silicone video graphics array and extended graphics array infrared forcal plane arrays with 17-um pixel pitch", *Optical engineering* 50(6), 061006 2011.
- [3] R. Breiter, T. Ihle, J.C. Wendler, H. Lutz, S. Rutzinger, T. Schallenberg, K. C. Hofmann and J. Ziegler, "Size weight, and power reduction of mercury cadmium telluride infrared detector modules", *Optical engineering* 50(6), 061010 2011.
- [4] C. Li, G. Skidmore, and C. Han, "Uncooled VOx Infrared sensor development and application", *Proc. of SPIE* 8012, pp 80121N-1-8, 2011.
- [5] D. Murphy, M. Ray, J. Wyles, C. Hewitt, R. Wyles, E. Gordon, K. Almada, T. Sessler, S. Baur, D. Van Lue and S. Black, "640 x 512 17 μ m Microbolometer FPA and Sensor Development", *Proc. of SPIE* 6542, pp. 65421Z-1-10, 2007.
- [6] P. Ericsson, A.C. Fisher, F. Fosberg, N. Roxhed, B. Samel, S. Savage, G. Stemme, S. Wissmar, O. Oeberg, F. Niklaus, "Towards 17 μ m pitch heterogeneously integrated Si/Ge quantum well bolometer FPAs", *Proc. of SPIE* 8012, pp 801212-1-9, 2011.
- [7] F. Niklaus, C. Jansson, A. Decharat, J. Källhammer, H. Pettersson and G. Stemme, "Uncooled Infrared Bolometer Arrays Operating in a Low to Medium Vacuum Atmosphere: Performance Model and Tradeoffs", *Proc. of SPIE* 6542, pp. 65421M-1-12, 2007.
- [8] M. Tepegoz, F. Civitchi, and T. Akin, "An optimum reference detector design for uncooled microbolometer FPAs", *Proc. of SPIE* 6940, pp 694028-1-8, 2008.
- [9] A. Oguz, M. Tepegoz and T. Akin, "A Bias Heating Cancellation Method for Resistive Uncooled Microbolometer Detectors", *Proc. of SPIE* 7298, pp 7298G-1-8, 2009.
- [10] W. Parrish, J. Woolaway, "Improvements in uncooled systems using bias equalization", *Proc. of SPIE* 3698, pp 748-755, 1999.
- [11] E. L. Dereniak and G. D. Boreman, *Infrared Detectors and Systems*, Wiley, New York, pp. 395-414, 1996.
- [12] D. Murphy, W. Radford, M. Ray, S. Propst, A Kennedy, J. Kojiro, J. Woolaway, K. Soch, R. Coda, G. Lung, E. Moody, D. Gleichman, and S. Baur, "320x 240 silicon microbolometer uncooled IRFPAs with on-chip offset correction", *Proc. of SPIE* Vol. 2746, pp. 82-92, 1996.
- [13] S.M. Park, "Analyses of temperature change of a μ -bolometer in Focal Plane Array with CTIA bias cancellation circuit", *Trans. KIEE*. Vol. 60, No. 12, pp. 2311-2317, 2011.
- [14] C.H. Hwang, D.H. Woo, Y.S. Lee, and H.C. Lee, "Readout integrated circuit for microbolometer with an analog non-uniformity correction", *Proc. of SPIE* 5987, pp 59870P-1-8, 2005.
- [15] D. Jakonis, C. Svensson, C. Jansson "Readout architectures for uncooled IR detector arrays" *Sensors and Actuators* 84, pp. 220-229, 2000.
- [16] C. Minassian, J.L. Tissot, M. Vilainm, O. Legras, S. Tinnes, B. Fieque, J.M. Chiappa and P. Robert, "Uncooled amorphous silicon TEC-less 1/4 VGA IRFPA with 25 μ m pixel-pitch for high volume applications", *Proc. of SPIE* 6940, pp 6940P-1-8, 2008.
- [17] Latika Becker, "Influence of IR sensor technology on the military and civil defense", *Proc. SPIE* 6127, 61270S 2006; doi:10.1117/12.640529.

저 자 소 개



박 승 만 (朴 勝 萬)

1960년 5월 20일생. 1984년 한양대 물리학과 졸업, 1986년 동 대학원 졸업(석사), 1997년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(박사), 1987~2008.10 국방과학연구소, 2008.11~현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수. 관심분야: 적외선 검출기 및 적외선 시스템

Tel : 041-540-9682

Fax : 041-540-9548

E-mail : smanpark@hoseo.edu



한 승 오 (韓 承 畝)

1973년 6월 14일생. 1996년 고려대학교 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 마이크로머시닝 협동과정 졸업(석사), 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 호서대학교 융합기술연구소 조교수. 관심분야: MEMS/NEMS, 지능형 센서 등.

Tel : 041-540-9573

Fax : 041-540-9578

E-mail : sohan@hoseo.edu