

임피던스 분석 기반 열전 특성 측정 기술

ETRI
한국 전자통신연구원
Electronics and Telecommunications Research Institute



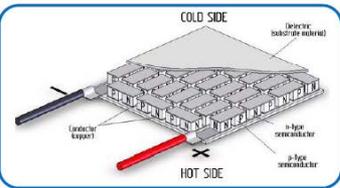
ETRI



1. 기술이전 개요
2. 기술이전 목적 및 필요성
3. 기술이전 특징 및 장점
4. 적용 분야 및 기대효과
5. 기술이전 내용 및 범위
6. 기술이전 업체 및 기술료

- ▶ 차세대 냉각소자나 발전소자용 열전소자의 열전특성 측정 기술
- ▶ 임피던스 측정과 소자 모델링 기반 열전소자의 열전성능지수 및 구성 열전소재의 열전특성 (제백효과, 전기비저항, 열전도도)를 측정하는 기술

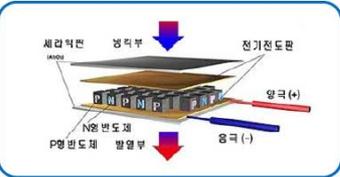
□ 열전소자 원리



1. 열전소자란?

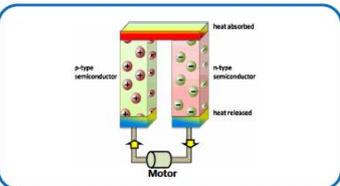
열전 모듈, Peltier Module, ThermoElectric Cooler(TEC), Thermoelectric Module(TEM) 등으로 다양한 이름을 갖고 있다.

열전소자는 작은 Heat pump (저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 열원에 열을 주는 장치)이다.



2. Peltier Effect

열전소자 양단에 직류 전압을 인가하면 열이 흡열부에서 발열부로 이동하게 된다. 따라서 시간이 지남에 따라 흡열부는 온도가 떨어지고 발열부는 온도가 상승하게 되며, 이때 인가 전압의 극성을 바꿔주면 흡열부와 발열부는 서로 바뀌게 되고 열의 흐름도 반대가 된다.



3. 제백 효과(Seebeck Effect)

제백 효과는 각각 2종의 금속 또는 반도체를 폐회로가 되게 하고, 접속한 2점 사이에 온도 차를 주면 기전력이 발생하여 전류를 흐르는 현상을 말한다. Peltier Effect와 상이한 효과이다.



환경 보존과 에너지 절약을 위한 특별한 기술

유진코웨이 010 8854 1134

무냉매 냉각방식의 쿨링 시스템

지구온난화와 환경에 영향을 미치지 않는 극저온 냉각장치(열전소자)를 적용해 에너지 효율성이 향상되고, 인공적으로 온도를 낮추는 친환경 냉각장치입니다.

(TEM cooling system)

[소음 수준 비교]

- 냉장고: 40dB
- 선풍기: 50dB
- 선풍기: 60dB
- 선풍기: 70dB
- 선풍기: 80dB
- 선풍기: 90dB

* 동일 제빙용량 300L 기준으로 소음은 커다란 차이가 없습니다.

기관	SEIKO	iMec	Toshiba	BMW/GM	NASA	Caltech.
제품						
Output power	22 μ W, 300mV	100 μ W	1W	1KW	1KW	No data yet
Material	Bi_2Te_3	Bi_2Te_3	Bi_2Te_3	$\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{SiGe}$	SiGe	Silicon nanowire
Remark	Low-Power	Low-Power	Mid-Power	High-Power	High-Power	Not known

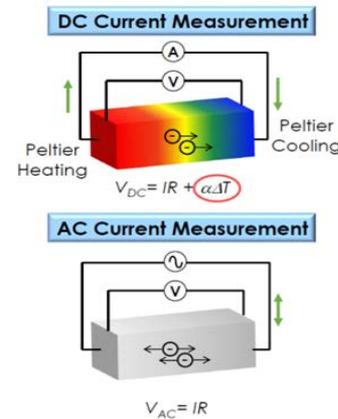
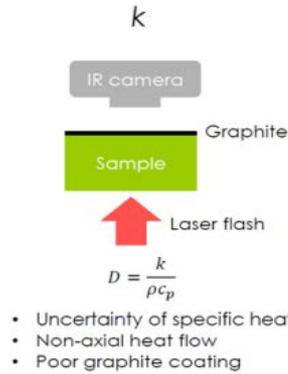
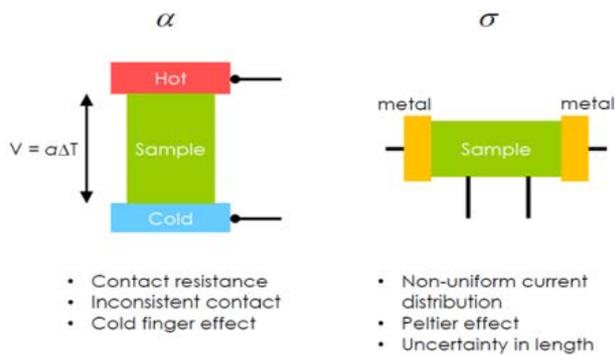
열전소자란?

열전소자의 다양한 활용 예

- ▶ 기술이전을 원하는 기업체의 경우 당 연구소의 임피던스 측정과 소자 모델링 기반 열전소자의 열전성능지수 및 구성 열전소재의 열전 특성 (제백효과, 전기비저항, 열전도도)를 측정하는 기술을 양산 공정 중 제작 중인 소자 성능 확인을 위해 원하고 있어 본 기술이전을 원하고 있음.
- ▶ 본 기술이전을 원하는 대상 기업의 경우 현재 냉각소자용 열전소자를 제작 및 판매 중임. 추후 차세대 발전소자 제작 공정 중에도 본 기술을 적용할 수 있는 본 기술의 기술 이전을 진행하고자 함.

● 열전 소재 특성 측정

- ▷ 측정 물성: Seebeck 계수, 전기비저항, 열전도도, ZT (열전성능지수)
- ▷ 측정 장비: ZEM-3(ULVAC), 레이저플래시(TA instrument), Z-meter (RMT)



$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{k}$$

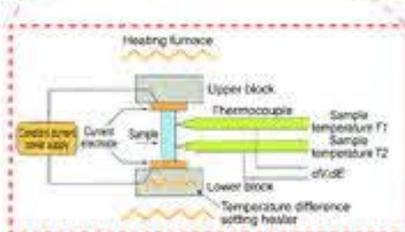
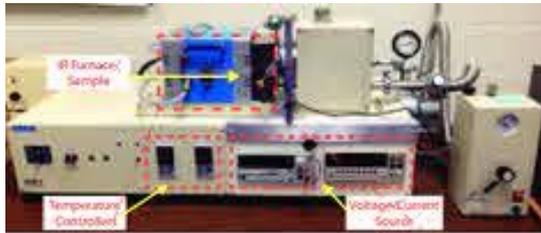
Assumptions:
- Peltier effect is the only dominant thermal effect.

$$\approx \frac{\alpha \Delta T}{IR}$$

$$= \frac{IR + \alpha \Delta T}{IR} - 1$$

$$= \frac{V_{DC}}{V_{AC}} - 1$$

Harman, JAP, 1958



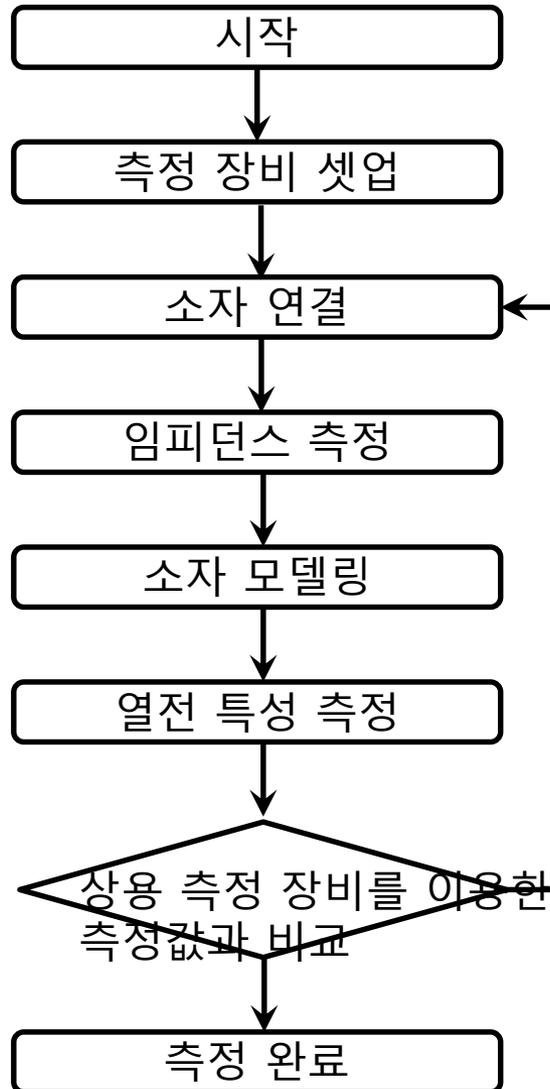
< 열전 특성 측정법 >

< 하만법 >

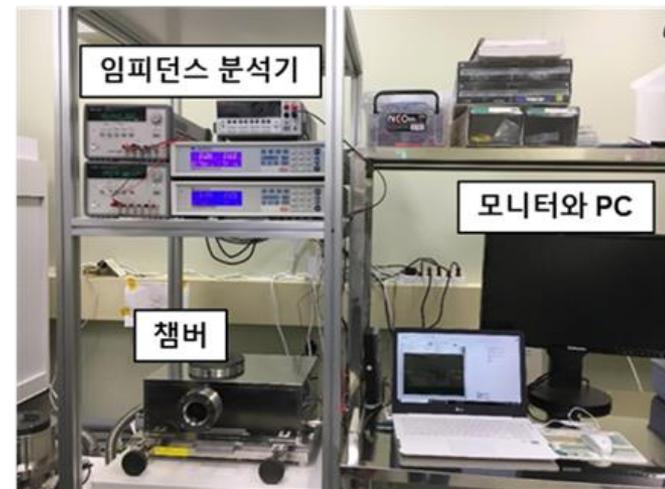
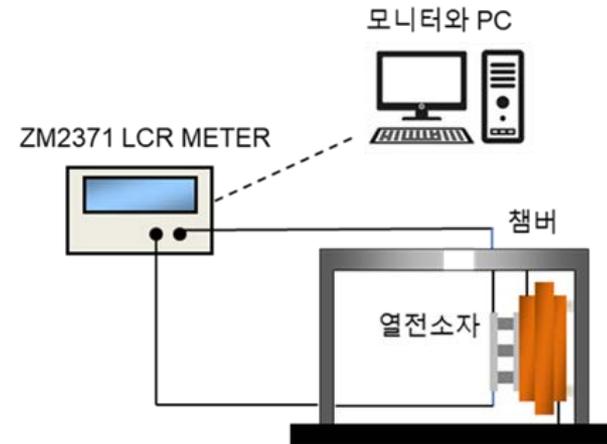
기술의 특징 및 장점: 대표적인 측정 방법

소재/소자	소자	소재
특성	열전성능지수(ZT)	제백계수, 전기비저항, 열전도도
측정 방법	<p>DC Current Measurement</p> <p>AC Current Measurement</p> $ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{k}$ $\approx \frac{\alpha \Delta T}{IR}$ $= \frac{V_{DC}}{V_{AC}} - 1$ <p>Assumptions: - Peltier effect is the only dominant thermal effect.</p> <p>Harman, JAP, 1958</p>	<p>α</p> <p>σ</p> <p>k</p> <p>$V = \alpha \Delta T$</p> <p>$D = \frac{k}{\rho c_p}$</p> <ul style="list-style-type: none"> Contact resistance Inconsistent contact Cold finger effect Non-uniform current distribution Peltier effect Uncertainty in length Uncertainty of specific heat Non-axial heat flow Poor graphite coating
상용 장비	<p>Z-Meter devices for TEC express QC</p> <p>DK4190 10-pos Z-Meter (Real/Imag)</p> <p>DK4065 Z-Meter Tester</p> <p>DK4067 Z-Meter Tester</p>	<p>IR Furnace/ Sample</p> <p>Temperature Controlled</p> <p>Temperature Controlled</p> <p>Temperature difference setting heater</p> <p>Upper block</p> <p>Thermocouple</p> <p>Sample</p> <p>Sample temperature T1</p> <p>Sample temperature T2</p> <p>Lower block</p> <p>Temperature difference setting heater</p>
본 기술	<p>Thermoelectric module</p> <p>Top side</p> <p>Bottom side</p> <p>De-capped</p> <p>parastic</p> <p>intrinsic</p> $Z_{in}(\omega) = \frac{S^2 T L}{k_p A} \left(\frac{\omega}{\omega_{TE}} \right)^{-0.5} \tanh \left(\left(\frac{\omega}{\omega_{TE}} \right)^{0.5} \right)$ $Z_{out}(\omega) = \frac{2S^2 T L}{k_p A} \left(\frac{\omega}{\omega_{TE}} \right)^{-0.5} \coth \left(\left(\frac{\omega}{\omega_{TE}} \right)^{0.5} \right)$ <p>LM-544 sample (287 pair)</p> <p>Rac = 4.843</p> <p>RTE = 3.734</p> <p>RC = 0.165</p> <p>Lc = 0.8 mm</p> <p>L = 1.6 mm</p> <p>$\lambda c = 30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$</p> <p>A = 1.4 x 1.4 mm²</p> <p>n = 287 x 2</p> <p>Ti = 296 K</p> <p>$ZT = \frac{R_{TE}}{R_{ac}}$</p> <p>$R_c = \frac{2S^2 T L_c}{\lambda_c A}$</p> <p>$\rho = \frac{R_{ac} A}{nL}$</p> <p>$\frac{R_{TE}}{n} = \frac{S^2 T L}{\lambda_{TE} A}$</p> <p>열전소자의 열전성능지수 ZT: 0.771</p> <p>열전소자의 제백계수 S: 188.9 $\mu\text{V/K}$</p> <p>전기비저항 ρ: 10.34 $\text{ohm}\cdot\text{um}$</p> <p>열전도도 λ_{TE}: 1.33 W/mK</p>	

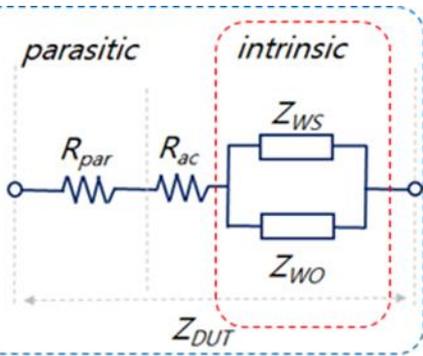
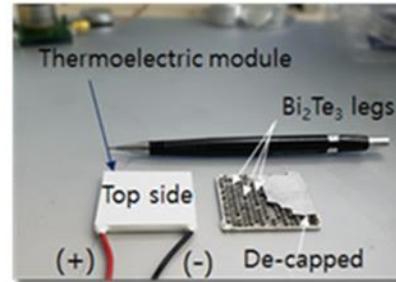
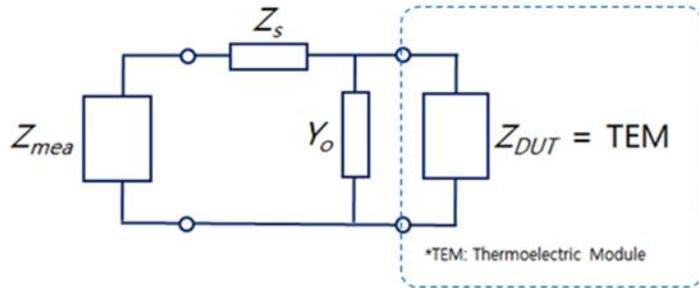
● 측정 순서



● 측정용 셋업



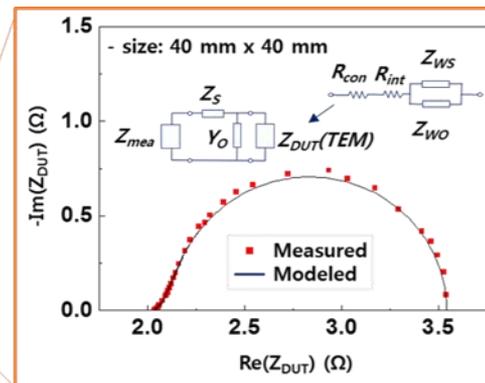
● 열전소자 모델링



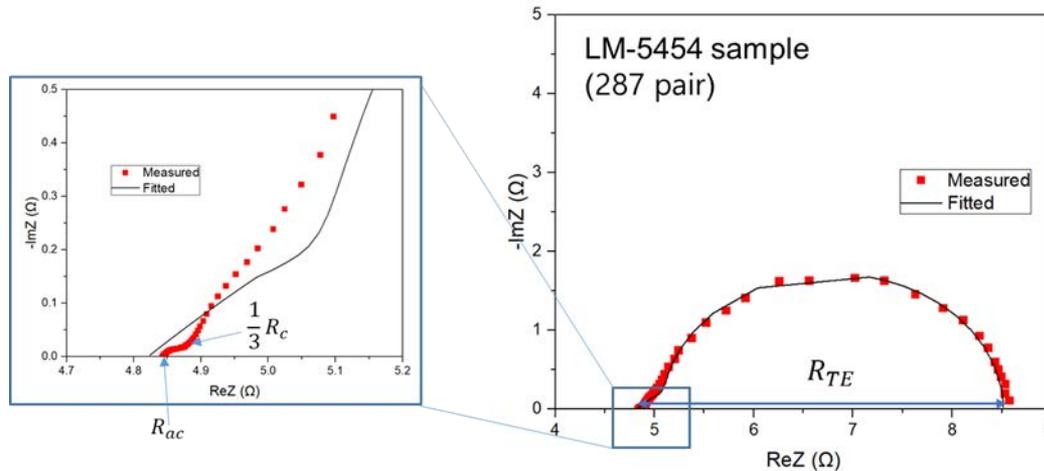
$$Z_{WS}(j\omega) = \frac{S^2 T_i L}{k_{te} A} \left(\frac{j\omega}{\omega_{te}} \right)^{-0.5} \tanh \left\{ \left(\frac{j\omega}{\omega_{te}} \right)^{0.5} \right\}$$

$$Z_{WO}(j\omega) = \frac{2S^2 T_i L_c}{k_c A} \left(\frac{j\omega}{\omega_c} \right)^{-0.5} \coth \left\{ \left(\frac{j\omega}{\omega_c} \right)^{0.5} \right\}$$

*Garcia-Canadas et al, Journal of Applied Physics 116, 174510 (2014)



● 임피던스 측정과 모델링 기반 실제 측정의 예



Rac : 4.843
RTE : 3.734
RC : 0.165

Lc = 0.8 mm
L = 1.6 mm
 $\lambda_c = 30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
A = 1.4 x 1.4 mm²
n = 287 x 2
Ti = 296 K

열전소자의 열전성능지수 ZT: 0.771
열전소재의 제백계수 S: 188.9 $\mu\text{V/K}$
전기비저항 ρ : 10.34 $\text{ohm}\ \mu\text{m}$
열전도도 λ_{TE} : 1.33 W/mK

● 임피던스 측정과 모델링 기반 실제 측정의 예



Rac : 4.843
RTE : 3.734
RC : 0.165

Lc = 0.8 mm
L = 1.6 mm
 $\lambda_c = 30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
A = 1.4 x 1.4 mm²
n = 287 x 2
Ti = 296 K

열전소자의 열전성능지수 ZT: 0.761 (Z-meter)

열전소자의 열전성능지수 ZT: 0.771 (제안기술)

→ 약 1.4% 차이 (Z-meter 측정값 기준)

● 적용 범위

▷ 당 연구소의 열전특성 측정 기술은 제작 중인 소자 성능 확인 및 수율 향상을 양산 공정 적용이 가능한 기술임.

● 기대 효과

- ▷ 당 연구소의 열전특성 측정 기술은 기존 고가의 장비 대체 가능
- ▷ 양산 공정중 제작 중인 소자의 성능을 실시간 확인 가능 → 수율 향상.



▷ 기술 이전 내용

기술명 : 임피던스 분석 기반 열전 특성 측정 기술

▷ 기술 이전 범위

1. 임피던스 측정과 소자 모델링 기반 열전소자의 열전성능지수와 구성 열전소재의 열전특성 측정 기술

기술료 제안

구분	실질기여 공동연구 참여기업			일반 기업		
	중소기업	중견기업	대기업	중소기업	중견기업	대기업
정액 기술료(원)				30,000,000	90,000,000	120,000,000