DMFC 고효율 전력발생을 위한 열전소자 냉각 특성분석

(Thermoelement cooling special quality analysis for DMFC high effectiveness electric power occurrence)

정의헌* · 임정민* · 문채주* · 정경오 · 김기운****

(Eui-hean Cheang* · Joung-min Lim* · Chae-Joo Moon* · Kyung-O Jung** · Gi-un Kim**)

*목포대학교, **목포도시가스(주)

(*Mokpo national university, **Mokpo city gas)

Abstract

본 연구는 지벡(Seebeck)효과를 이용한 열전발전소자의 효율증가를 위한 Cooling System에 대한 연구이다. 열전발전소자는 Hot side와 Cool side의 온도차에 의해 전력발생 효율이 결정되며 열전발전소자가 견딜 수 있는 Hot Side의 온도는 고정돼있는 반면, Cool Side의 온도는 Cooling System의 설계에 따라 온도 설정이 가능하다. 본 연구는 Cooling System은 방열판과 팬으로 구성된 공랭방식을 사용하였고, 냉각효율을 높이기 위해 방열판의 크기 및 모양, 팬의 크기와 속도, 공기의 이동방향에 따른 냉각특성을 실험하였고 그에 따른 특성들을 논하고자 한다.

1. 서 론

일상생활에서 쉽게 볼 수 있는 손실되어지는 열에너지를 열전 소자(Thermoelectric Element)의 열에너지와 전기에너지가 상호 변환되는 원리를 이용 하여 효율적으로 활용 할 수 있게 사용하고자 본 연구를 시작하였다.

열전소자에는 전기에너지를 열에너지로 변환하는 열전냉각과 열에너지를 전기에너지로 변환하는 열전발전으로 분류된다. 1990년까지만 하더라도 위의 두 방식 중 열전냉각을 이용한 차량용 냉장고, 냉온수기, 음료수 자판기, 김치냉장고 등의 냉각시스템과 관련된 연구와 이론은 꾸준히 발전하고 있는 반면, 열전발전은 발전효율5[%]이하에서 연구 및 발전이 정체되어 있었다.. 19950년 미국에서 정부지원 프로젝트를 기점으로 연구가 활성화 되고, 효율이 증가하였고, 현제 국내 연구팀에서도 발전효율10[%]가량의 열전발전소자를 개발하였다고 발표하였다.

본 논문에서는 열전발전소자의 열에너지를 전기에너지로 변환하는 과정 중 열전발전소자의 Hot Side와 Cool Side의 양단간의 온도차(Δt)를 이용한 발전방식 중 Cool Side의 냉각시스템을 보다 낮은 전력으로 낮은 온도를 유지하기위한 냉각시스템에 대하여 연구하였다.

2. 본 론

실험에 앞서 열전발전소자는 Hot side와 Cool side 양단의 온도차에 의해서 전력이 발생되고 양단이 서로 바뀐다고 하여도 전류의 방향만 반대가 될 뿐, 발전량에는 영향이 없다. 또한, Hot side의 온도가 200[℃]에서 Cool side와의 온도차(Δt)가 100[℃](이)라 하여도, Hot side의 온도가 150[℃]에서 온도차(Δt)가 100[℃](이)라 하여도 발전량에는 아무런 변화가 없다. 그림 1(은)는 열전발전

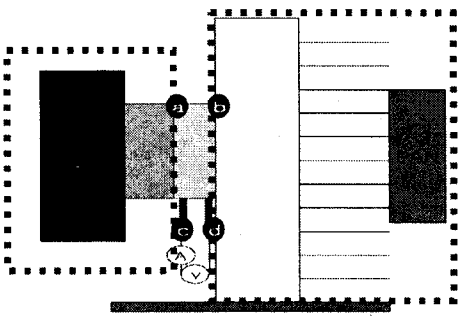

그림 1. 열전발전소자 온도차와 전력발생의 관계 실험

소자의 Hot side(a)와 Cool side(b)에서 온도차에 따른 발전량을 측정하기위한 실험으로, 빨간색 점선부분 heating시스템, 파란색 점선부분이 냉각시스템, 가운데 하늘색부분이 열전발전소자이다. 장치를 설치한 뒤 a, b점에 온도를 측정하고 c, d점의 전압과 전력을 측정해보았다.

그림 2(은)는 a(주황색), b(빨간색)점의 온도를 측정하여 양단의 온도차(Δt)를 흰색그래프로 나타내고, c, d점에 5[W] 0.5[Ω]의 시멘트 저항을 연

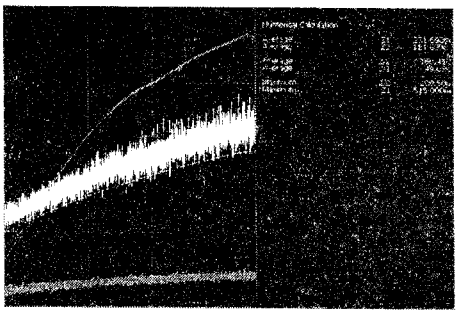

그림 2. 열전발전소자의 전력발생

결하여 전압(파란색), 전류(연두색)를 측정한 그래프이다. 그림 2(은)는 위의 실험결과이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 전력(흰색)은 온도차(Δt, 노란색)에 대해서 서로 비례하였다. 단, 흰색의 경우 전압, 전류가 2[V], 2[A]미만의 낮은 전류가 흐르기 때문에 변동 폭이 많은 것처럼 나타났다. 위 실험에서 온도차(Δt)가 60[℃]이상에서 부터 1℃상승하는데 0.035~0.04[W]씩 발전량이 비례하여 증가하였다.

표 1. 열전발전소자 사양 및 발전량

제 품 사 양		실 험 결 과		
properties	value	properties		value
크기[mm]	40*40	부하[Ω]		0.5
		Hot Tem[℃]	max	178.5
무게[g]	5		평균	137.7
Hot Side[℃]	200			
Cool Side[℃]	30	평균CoolTem[℃]		67.0
전압[V]	5.1	평균 Δt[℃]		85.1
전류[A]	1.6	max Δt [℃]		96.5
내부저항[Ω]	1.5	평균 전력[W]		0.65
전력[W]	8.2	max 전력[W]		1.17
효율[%]	3.6			

단, 그림 1의 실험에서방열판은 그림 3.우측의 단면방열판을 사용, 팬의 크기는 소, 팬의 방향은 열전소자 방향, Heating 설정온도는 210[℃]로 하였다.

2.1 방열판의 모양과 크기에 따른 냉각효율

방열판의 모양과 크기에 따라 팬의 위치가 결정된다는 점을 감안하여 일반적으로 많이 사용되는 그림 3의 좌· 우 두 종류의 방열판을 Heating부에 접촉한 뒤 실험한 결과 그림 4와 같은 그래프를 얻었다.

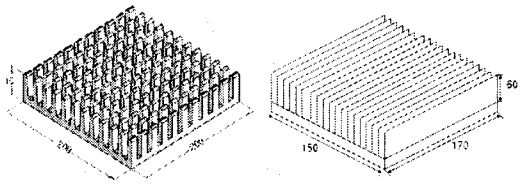

그림 3. 칩셋 형 방열판(좌) 단면방열판(우)

여기서 칩셋형방열판은 빨간색실선, 단면방열판을 주황색실선으로 나타내었다. 이 때 두 방열판만의 열전도도를 측정하기 위하여 팬을 설치하지 아니하였고, 발열부에 230[℃]의 열을 공급한 뒤 방열판의 냉각효율을 측정하였다. Heating부에 230℃로 Heating했을 때, 단면방열판(아래실선 : 92[℃], 냉각효율 40[%])이 칩셋형방열판(윗실선 : 124[℃], 냉각효율 53.9[%])보다 32[℃](냉각효율 약14[%])더 낮았다.

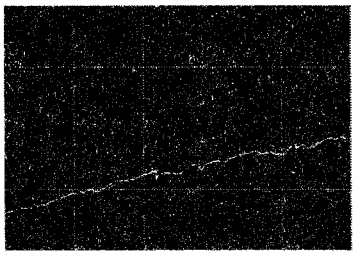

그림 4. 칩셋형방열판과 단면방열판의 냉각효율 비교

2.2 단면방열판의 방향에 따른 냉각효율

이번 실험에서는 Cool side의 방열판구조와 팬의 방향이 공기의 이동에 어떤 영향이 있고, 공기의 이동에 대한 냉각 효율을 알아보기 위해 그림

5와 같이 실험을 장치해보았다.

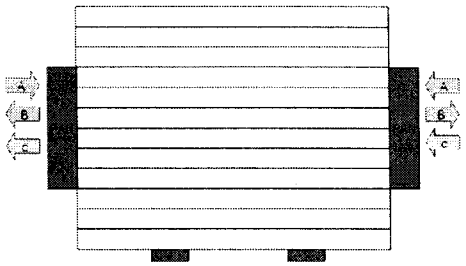

그림 5. 바람의 방향과 팬의 위치

위 실험에서는 그림 3의 우측 단면 방열판, 저항 5[w]1[Ω], 팬의 크기 소×2를 사용하였고, 팬의 RPM 1200, 고온단의 설정온도는 210[℃](으)로 일정하게 유지한 뒤, 바람의 방향(A, B, C)만을 바꿔가며 실험하였다.

바람의 방향에 따라서 표 2의 비교표를 보면, A와 C의 방식에서는 Cool Side에 미약하나마 공기의 이동이 전해지지만 B방식은 Cool Side의 공기보다 팬 주위의 공기만 이동했기 때문에 열전발전소자의 냉각에는 별 영향을 미치지 못했다.

표 2. 바람의 방향에 따른 온도차와 전력비교

	A	B	C
평균cool Tem.[℃]	57.34	60.05	63.17
평균 Δt[℃]	108.86	91.08	113.72
Max 온도[℃]	189.38	180.38	201.38
평균 전력[W]	0.86	0.65	0.92
Max 전력[W]	1.62	0.74	1.45

위 실험을 통해 Cool Side에 공기의 이동을 만들기 위해서 팬과 방열판, 방열판과 외부공기 사이를 커버로 덮고 팬에 의한 공기이동을 무손실로 Cool Side에 전달해 보기위해 그림 6과 같이 실험하였다.

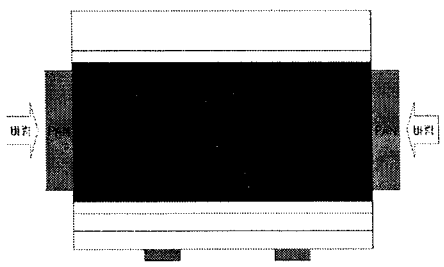

그림 6. 뒷면 커버를 이용한 바람의 작용

커버의 크기와 위치에 따라서 A, B, C, D 4가지로 나누고, A방식은 우측면에서 11[cm](방열판의 2/3거리 :열전발전소자뒷면까지)는 커버로 덮고 나머지 부분은 개방해 두었고, B방식은 좌우 50[mm]는 커버로 덮고 중앙5[cm](열전발전소자 뒷면)는 개방했다. C커버는 전면을 막고 그림 5의 A형태로 공기를 이동시켰다.

표 2. 커버의 크기에 따른 냉각 특성

	A	B	C
cool Tem 평균[℃]	52.72	57.72	56.6
평균 Δt[℃]	104.02	101.82	95.1
max hot Tem [℃]	185	190.3	182.1
평균 전력[w]	1.14	0.84	0.58
max 전력[w]	1.86	1.4	1.3

이 실험을 통해 열전발전소자의 Cool Side에서 외부로 공기의 이동에 따라 냉각효율이 결정됨을 볼 수 있었다.

2.3 칩셋형방열판크기, 팬 크기, RPM속도에 따른 냉각특성

'칩셋형 방열판의 뒷면의 경우 공기의 이동이 단면방열판형에 비해 자유롭게 이동할 수 있고, 칩셋의 길이(10[mm]) 또한 짧기 때문에 팬에서 나오는 공기의 이동속도가 빠르다'는 가정을 세우고 그림1과 같은 방법으로 실험을 시작하였다. 이때 방

표 3. 칩셋형방열판의 크기 팬 크기에 따른 냉각효율 (단위 [℃])

구분		방열판크기		팬의 크기	
		대	소	대	소
시작 온도	Hot	36.0	32.5	29.25	36.0
	Cool	24.13	26.38	23.63	24.13
평균 온도	Hot	131.74	100.05	123.75	131.74
	Cool	47.67	42.25	41.27	47.67
최고 온도	Hot	190.25	177.13	194.25	190.25
	Cool	65.5	67.25	61.25	65.5
평균 Δt		84.0	57.8	82.47	84.0
최대 Δt		126.5	110.62	135.0	126.5

열판크기를 비교하기위해서 팬의 크기는 소로 같게 하였고, 팬의 크기를 비교하기위해서 방열판의 크기를 대로 하였다.

위 실험결과를 표 3과 같이 나타내었다. 실험결과에 따르면 열전발전소자의 Cool Side의 냉각시스템에서 방열판이 1.5배 커짐에 따라 약10[℃](5[%])가량 냉각온도가 낮아졌지만 팬의 크기는 1.5배 커졌다고 하더라도 Cool Side의 온도에는 영향이 없다. 방열판과 팬을 모두 소형으로 하고 팬의 RPM을 1200, 900, 600으로 하여 실험 하였다.

표 4. 팬의 속도와 냉각효율

RPM	1200	900	600
Hot Side[℃]	166.58	175.01	166.48
Cool Side[℃]	68.85	69.81	70.12
온도차($\triangle t$)	97.72	105.2	96.36
소비전력[W]	2.4	1.4	0.5

팬의 속도 실험에서는 칩셋의 길이가 짧기(1[mm]) 때문에 일정 속도 이상의 팬의 속도를 유지했을 경우 Cool Side의 공기의 이동이 충분히 활발하므로 냉각효율간은 서로 크게 관계하지 않는 다는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 실험은 방열판, 팬의 위치, 팬의 속도, 바람의 방향에 관한 실험을 통해서 팬의 위치와 방열판의 크기, 열전발전소자의 Cool Side에 공기의 이동에 따라서 냉각시스템의 효율이 결정됨을 알 수 있었다. 본 연구에서 실험해본 결과냉각시스템은 열전발전소자의 Cool Side에서 외부까지 공기의 이동이 원활히 잘 이루어 질수 있는 구조로써 공간의 제약 안에서 최대한 크게 제작하고 펜을 설치하되 외부의 공기가 Cool Side와 최대한 가깝게 설치하고 펜에서 방열판을 거쳐 외부까지 공기가 이동될 때 외부로 유출되지 않는 구조로 제작하는 것이 최대의 냉각효율을 낼 수 있다.

추후 연구 과제로써 열전발전소자의 효율증가와 공간의 제약을 받지 않는 Cooling System의 개발을 통해서 일상 생활에서 쉽게 손실되는 열을 에너지원으로 활용하여 전력 발생할 수 있는 연구가 지속되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

참 고 문 헌

[1] 권광욱, "열전발전의 원리 및 신기술 동향",

[2] 김동호, 이건환, "열전냉각소자 신기술 개발 현황', 기계와 재료, P95~103, 11. 2004,

[3] Luciana W. da Silva, Massoud Kaviany "Micro-Thermoelectric cooler: interfacial effects on thermal and electrical transport", International Journal of Heat and Mass Transfer 47, November 2002

[4] H.J. Goldsmid, Private communications, 2003

[5] D. Ilzycer, A. Sher, M. Shiloh, Electrical contacts to thermoelectric bis muth telluride based alloys, Proceedings of the 3rd INternational Conference on Thermoelectric Energy Conversion, P200~202, 1980