

인덕션 쿡탑 기구물 형상변경이 Heatsink 및 Coil 냉각성능에 미치는 영향에 대한 연구

박동호*[†] · 권명근* · 이동범* · 서응렬* · 박용종*

Study on the Cooling Performance of Heatsink for Induction Cooktop using Computational Fluid Dynamics

Dong Ho Park*[†], Myoung Keun Kwon*, Dong Beom Lee*,
Eung Ryeol Seo*, Yong Jong Park*

Key Words : CFD(전산유체역학), IPM(지능형 파워모듈), Bridge Diode(브릿지 다이오드), Heatsink(히트싱크), Coil(코일)

ABSTRACT

A numerical study on the IPM/Bridge Diode cooling and coil cooling has been performed. Results are presented as plots of thermal resistance, temperature drop and RPM-ratio. CFD analysis for conventional cooling system has been performed as a reference case. As the RPM-Ratio was increased, heatsink thermal resistance and coil temperature were decreased. IPM/Bridge Diode thermal resistance and temperature of the coil is tended to be trade-off. The temperature of coil closest to the AC-motor fan showed the most significant change in accordance with duct design. The temperature of coil located at the top of DC-motor fan showed the most significant variation as the cooling air passes the heatsink fin area.

1. 서 론

일반적으로 가스를 이용한 가스 가열방식이 널리 사용되어 왔으나 시간이 갈수록 전기가열 방식으로 바뀌는 추세이다. 전기가열방식은 크게 저항가열식, 유전자열식, 유도가열식으로 나눌 수 있다. 저항가열식은 Radiant 히터나 Sheath 히터 등에 50~60 Hz 전기를 가하여 가열하는 방식이며, 유전자열식은 수 MHz~수 GHz 고주파를 사용하여 유전체 손실(Dielectric Loss)의 원리로 음식물을 가열하는 방식으로 전자레인지가 대표적이다. 유도가열식은 자기장 내에 있는 도체에 발생하는 히스테리시스손(Hysteresis Loss)과 와류손(Eddy Current Loss)을 이용하여 도체를 가열해주는 방식으로 인덕션 쿡탑이 여기에 해당한다.

인덕션쿡탑(Induction Cooktop)은 음식물의 조리를 위해서 사용되는 생활가전 제품으로, 가스렌지나 전기히터보다 조

기호설명

R: 열저항 (°C/W)
N: 회전수 (RPM)
Q: 열발생율 (W)
T: 온도 (°C)

하첨자

ac: AC-motor Fan
dc: DC-motor Fan
air: 공기
amb: 주변부

리물 가열측면에서 효율적이고 깨끗하고 안전하다. 본 연구에서 다루는 인덕션쿡탑은 오븐위에 얹혀지고, 고온에 취약한 LED 램프가 인덕션쿡탑 기계실에 설치되므로 인덕션쿡탑 기계실에 위치한 발열부품의 냉각이 중요하다고 할 수 있다.

인덕션 Coil에 전류를 제어하기 위해서 IPM과 Bridge Diode가 사용되는데, 전류를 제어하는 과정에서 많은 열이 발생하는 관계로, IPM과 Bridge Diode는 Heatsink에 부착됨과 동시에 냉각팬이 장착되어 IPM이나 Bridge Diode에서 발생하는 열을 식혀준다. 이와 동시에 전류가 인가된 Coil에

* 삼성전자 생활가전사업부(Digital Appliance Advanced R&D Team, Samsung Electronics)

† 교신저자, E-mail : dong.ho.park@samsung.com

서 발생하는 줄열(Joule Heat)과 전장물에서 발생하는 열을 식혀주게 된다.

본 논문에서는 기구설계 인자변경에 따른 IPM/Bridge Diode와 Coil의 냉각을 수치해석적으로 검토한 것으로, 냉각 성능지표를 Fan의 RPM Ratio와 열저항의 개념으로 정리하였다.

2. 본 론

2.1 해석모델 및 경계조건

본 연구에서는 인덕션쿡탑 기계실의 방열성능을 개선하기 위해서, 기존의 기구물 형상을 변경하여, 유로손실은 최소화하고, 방열성능은 극대화하여 기계실 냉각 극대화에 그 목표를 두었다. 수치해석 검토는 상용 CFD tool에 해당하는 Star-ccm+ Ver. 8로 수행하였다.

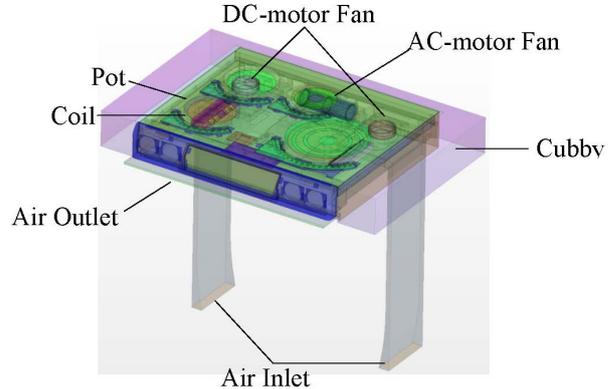
본 연구에서 다루는 인덕션쿡탑의 기계실 해석영역은 외기를 흡입하는 덕트를 비롯하여, 방열을 위한 Fan과 IPM/Bridge Diode의 방열을 위한 Heatsink 그리고 토출부까지의 영역으로 하였다. 전력이 인가되는 Coil은 총 4개가 있으며, Coil위에 냄비(Pan)가 안착되어 있는 것으로 하였다[Fig. 1 참조]. 경계조건은 외부공기가 유입되는 Air Inlet과 인덕션 기계실 내부공기가 토출되어 나가는 Air Outlet은 Pressure Outlet 조건을 부여하였으며, IPM 및 Bridge Diode는 Energy 조건으로 각각 발열량(W)을 부여하였다. 냄비에 담긴 물이 끓는 조건으로 모사하기 위해 5 mm 두께의 원판형상으로 냄비바닥을 모사하였고, 100℃ 온도조건을 부여하였다. AC 및 DC-motor Fan의 경우 임펠러의 회전을 모사하기 위하여 MRF조건으로 회전수(RPM)를 부여하였다[Table 1 참조]. 지배방정식은 k-e 난류모델을 적용하였으며, Steady 해석을 수행하였다. Star-ccm+의 Auto-Mesh 기능을 이용하여 약 380만개 수준으로 Polyhedral Mesh를 생성하였으며, 해석소요시간은 3.47 GHz 10CPU 기준으로 약 5시간 소요되었다.

2.2 이론

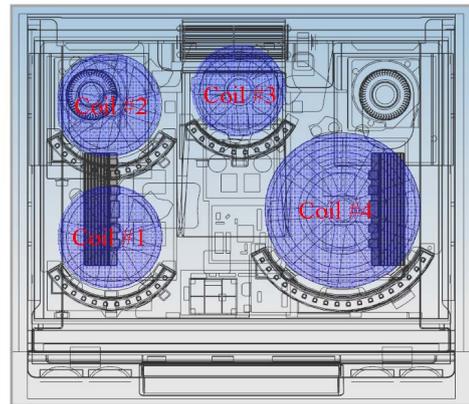
IPM/Bridge Diode와 Coil의 냉각수준을 정량화 하기 위하여 열저항 개념으로 정리하였다.

$$R = \frac{T_{max} - T_{air,amb}}{Q} \quad (1)$$

T_{max} 는 IPM/Bridge Diode 최고온도이고 Q는 IPM/Bridge Diode의 총발열량 기준으로 하였다. 인덕션쿡탑 기계실의 냉각을 위해서 AC-motor Fan과 DC-motor Fan이 쓰이는



(a)



(b)

Fig. 1 (a) CFD Full Model with Cooktop Components and (b) Layout of Induction Cooktop

Table 1. Boundary Condition

Item	B.C.	Value
Air inlet/Outlet	Pressure Outlet	Natural Inlet/Outlet
IPM	Energy	4.4/6.5/8.7 W
Bridge Diode	Energy	12 W
Pan	Constant Temp.	100 ℃
AC-motor Fan	MRF	1500 RPM
DC-motor Fan	MRF	2750 RPM

데, 2가지 Fan에 대한 회전수를 다음과 같이 RPM Ratio로 무차원화하여 정리하였다.

$$RPM Ratio = \frac{N_{dc}}{N_{ac}} \quad (2)$$

2.3 현수준 파악

기존 설계 초안의 경우, DC-motor Fan에서 토출된 공기가 IPM/Bridge Diode를 냉각해주는 Heatsink를 빗겨서 지

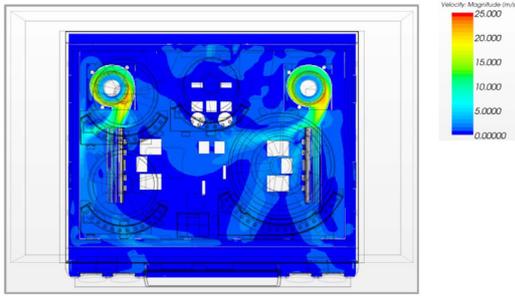


Fig. 2 Velocity Profile of Base Model

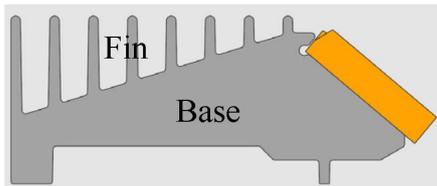


Fig. 3 Cross-section of Heatsink of Base Model (HS #1)

Table 2. Study Cases of Heatsink and Duct Design

Item	HS #1	HS #2	HS #3	
Picture				
Item	Duct X	Duct #1	Duct #2	Duct #3
Picture				

나가는 것을 확인하였다[Fig. 2 참조]. 특히 오른쪽보다 왼쪽에 배치된 Heatsink에서 Bypass되는 유량이 더 많았는데, 이는 Heatsink의 위치와 형상특성에 기인한 것으로 판단되었다. Fan에서 토출된 기류를 Heatsink Fin으로 유도하는 것과 더불어, Fin으로 유입된 공기가 주변외기로 산란되지 않도록 하는 것이 IPM/Bridge Diode 냉각측면에서 중요한 것으로 판단되었다.

IPM/Bridge Diode 및 Coil 냉각을 위해서, Heatsink 및 Duct 형상에 대해서 각각 3, 4가지 사양에 대해서 수치해석적으로 검토하였으며 이를 Table 2에 나타내었다. HS #1은 현재 인덕션 쿡탑 기계실에 장착되어 있는 Heatsink 사양으로, Fin은 지면과 수직방향으로 형성되어 있으며, Base는 삼각형태로 두껍게 되어있다[Fig. 3 참조]. 반면 HS #2, #3 사양의 경우 HS #1 사양 대비 핀길이가 평균적으로 각각 3배, 2배 수준으로 길고, 핀이 지면과 수평방향으로 형성되어 있다. Duct X는 Duct없이 Heatsink(HS #1)만 있는 사양이고, Duct #1은 HS #1 앞에 장착되어 Fan에서 토출되는 공기를 Heatsink로 유입되도록 설계되었다. Duct #2의 경우 HS #1 상부로 Bypass되는 유량을 최소화하는 차원에서 설계되었

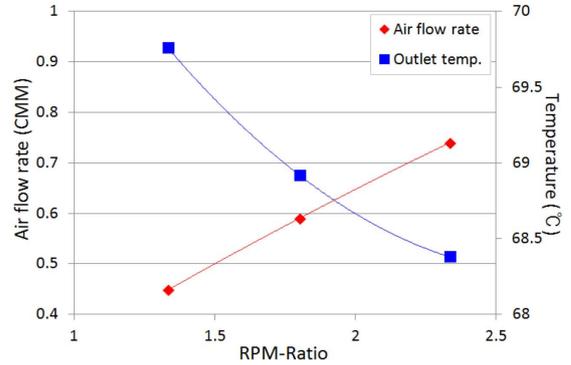


Fig. 4 Outlet Air Flow Rate and Temperature vs. Fan RPM-Ratio of Base Model

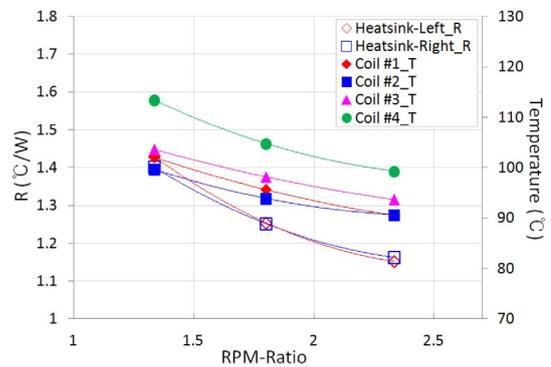


Fig. 5 Thermal Resistance and Temperature vs. RPM-Ratio of Base Model

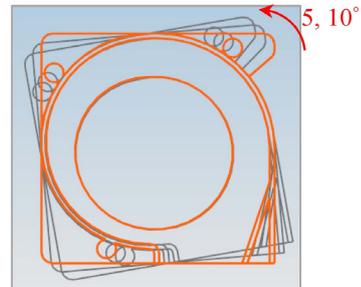


Fig. 6 Parameter Study for DC-motor Fan Angle of Base Model

며, Duct #3은 Fan에서 토출되는 공기를 부분적으로 HS #1으로 유도하고, 그 외의 공기는 상부 및 측면으로 Bypass 되도록 설계되었다.

2.4 해석결과

Fig. 4과 같이, RPM-Ratio에 따른 Air-outlet으로 토출되는 풍량과 공기의 온도를 나타내었다. RPM-Ratio가 증가할수록 토출되는 공기의 유량은 거의 선형적으로 증가하였으며, 토출되는 공기의 온도는 반비례하여 떨어지는 경향을 보였다. Fig. 5에는 RPM-Ratio 증가에 따른 Heatsink의

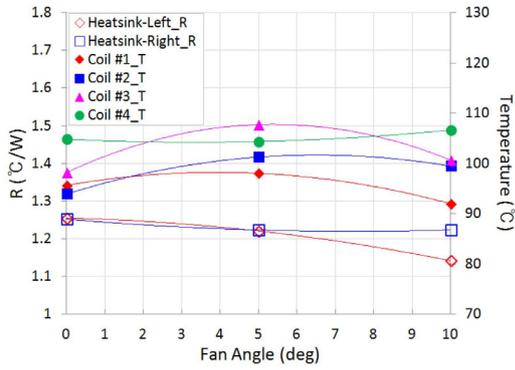


Fig. 7 Thermal Resistance and Temperature vs. DC-motor Fan Angle

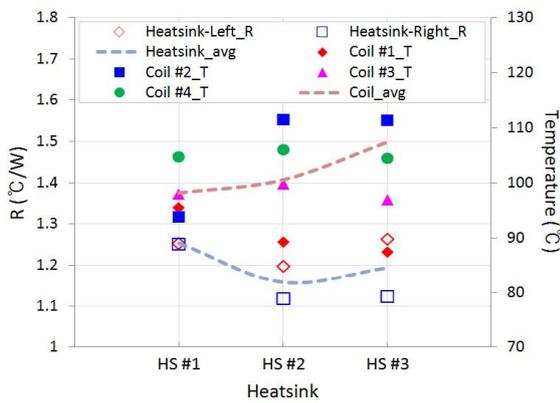


Fig. 8 Thermal Resistance and Temperature vs. Heatsink Type without Duct

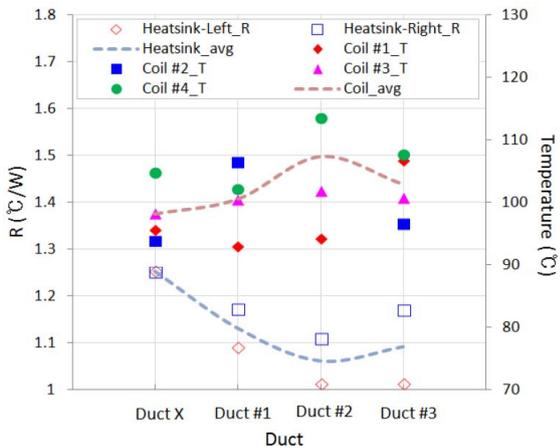


Fig. 9 Thermal Resistance and Temperature vs. Duct Type with HS #1

열저항변화 및 Coil의 온도변화를 나타내었다. 우편에 위치한 Heatsink보다 좌편에 위치한 Heatsink의 열저항 감소가 더 두드러지게 나타났는데, 우측 Heatsink에 부착된 IPM 발열량이 나머지 IPM보다 상대적으로 더 커서 나타난 현상으로 판단된다. RPM-Ratio 증가에 따른 Coil냉각 즉 온도강

하 측면에 있어서는 Coil #2, #3이 Coil #1, #4 보다 열세였는데 이는 Coil #2, #3이 Fan 토출기류의 영향이 적은 Fan 상부에 위치하기 때문인 것으로 보여진다.

DC-motor Fan 토출부를 시계 반대방향으로 각각 5, 10° 회전시켜서(Fig. 6 참조) 열저항 및 Coil 온도 변화에 대해서 검토하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 도시하였다. 좌측에 위치한 Heatsink의 경우 Fan 각도 5° 근방에서 열저항이 최저가 되는 것을 확인하였으며, 우측에 위치한 Heatsink의 경우 Fan 각도 10° 이상일 때 열저항이 최저가 되는 것을 확인하였다. 즉 좌측과 우측에 위치한 Heatsink에 적합한 Fan 각도가 서로 상이하게 나타났는데, 이는 좌측에 위치한 Heatsink의 경우 Fan 각도가 증가할수록 Heatsink 옆으로 bypass 되는 유량은 줄어드는 반면에, Fan 토출기류가 점점 Heatsink 저면두께가 두꺼운 쪽으로 가면서 Heatsink 저면부에 충돌하는 기류가 많아져서 생긴 현상으로 판단된다. 반면에 우측에 위치한 Heatsink의 경우 Fan 각도가 증가할수록 Heatsink 옆으로 bypass 유량은 줄어들면서 Heatsink 핀으로 유입되는 유량이 많아져서 이러한 현상이 발생한 것으로 판단된다. IPM/Bridge Diode 및 Coil 냉각 측면에서 Fan 각도 10°가 가장 양호하였다.

Heatsink 형상변경(Table 2 참조)에 따른 IPM/Bridge Diode 및 Coil의 냉각수준을 Fig. 8에 나타내었다. HS #2, #3 사양의 경우 Heatsink 열저항이 낮아짐으로 IPM과 Bridge Diode 냉각에는 효과적이나, Coil #1을 제외한 전체적인 Coil 냉각에 있어서는 불리했다. 특히 Coil #2의 온도가 급격히 올라갔는데, 이는 Fan 토출유량이 HS #1 저면부와 많이 부딪치는 것과는 달리 HS #2, #3 사양의 경우 Fan 토출유량이 Heatsink 저면부에 부딪히는 유량이 HS #1 사양보다 상대적으로 적어서 Coil #2로 유도되는 유량이 적어진 것에 기인한 것으로 판단된다. 다른 것에 비해서 Coil #3의 온도변화가 적었는데, 이는 Coil #3이 AC-motor Fan과 제일 가까이 있고 DC-motor Fan 토출기류의 영향권에서 가장 멀리 있기에, Heatsink 형상변경에 따른 온도변화가 상대적으로 적게 나타난 것으로 보여진다.

Duct 형상변경(Table 2 참조)에 따른 IPM/Bridge Diode 및 Coil의 냉각수준을 Fig. 9에 나타내었다. Duct #1, #2의 경우 Heatsink의 열저항이 낮아짐으로 IPM/Bridge Diode 냉각측면에서 유리하지만 Coil의 온도는 상승한 것을 알 수 있다. Duct #1, #2를 장착한 경우 Duct 없는 사양 대비 Heatsink 열저항은 각각 평균적으로 9.7, 15.2% 감소하였고 Coil의 온도는 각각 평균적으로 2.4, 9.4°C 상승하였다. Duct #3의 경우 Heatsink 앞단에서 Coil로 유도되는 유동을 고려한 사양으로, Heatsink 열저항은 평균적으로 12.8% 감소하였고 Coil의 온도는 평균적으로 4.8°C 증가한 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 IPM/Bridge Diode 및 Coil의 냉각에 있어서 RPM-Ratio와 열저항 그리고 Coil의 온도변화를 수치해석적인 방법으로 접근하였다. RPM-Ratio가 증가할수록 Heatsink 열저항 및 Coil 온도는 감소하였다. Fan과 Heatsink간의 상대적인 위치차이에 의해서, 좌측 Heatsink와 우측 Heatsink에 부착된 IPM/Bridge Diode 냉각에 있어서 적절한 Fan 각도는 각각 10°이상, 5°근방에서 형성되었는데, 기존대비 상기 Fan 각도에서 Heatsink를 빗겨가는 유량은 감소하는 동시에 Heatsink Fin으로 유도되는 기류가 증가한 것을 확인하였다. Heatsink 및 Duct 형상변경에 따른 기류변화로 IPM/Bridge Diode 및 Coil의 냉각은 전체적으로 상호 Trade-off 되는 경향을 보였으며, Heatsink 및 Duct 형상변경에 따른 IPM/Bridge Diode의 열저항은 최대 0.24°C/W 수준, 즉 전체평균 열저항의 17% 수준의 차이를 보였으며, Coil의 온도는 최대 26.2°C 수준의 차이를 보였다. AC-motor Fan에 가장 가까운 Coil #3 사양이 Duct 변경에 따른 온도변화가 가장 적게 나타났으며, DC-motor Fan 상단에 위치한 Coil #2 사양이 Duct 변경에 따른 온도

변화가 가장 크게 나타났다.

References

- (1) Choi, J. H., Kim, K. M., Park, M. W., Yu, I. K., Kim, S. H., Sim, K. D. and Kim, H. J., 2014, "Practical Design and Operating Characteristic Analysis of a 10kW HTS DC Induction Heatsink Machine," *Physica C*, Vol. 504, pp. 120~126.
- (2) Choi, M. S. and Um, S. K., 2014, "Loss and Heat Transfer Analysis for Reliability in High Speed and Low Torque Surface Mounted PM Synchronous Motors," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 38, No. 3, pp. 243~254.
- (3) Tuckerman, D. B. and Pease, R. F., 1981, "High Performance Heat Sinking for VLSI," *IEEE Electronic Device Letters*, Vol. 2, No. 5, pp. 126~129.
- (4) Li, W., Cao, J. and Zhang, X., 2010, "Electro Thermal Analysis of Induction Motor with Compound Cage Rotor used for PHEV," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 2, pp. 621~630.