

PWM 인버터의 열해석

강한영^{1*}, 류재섭¹, 이석원¹, 김영근¹, 송진구², 신영준¹

THERMAL SIMULATION OF PWM INVERTER

H.Y. Kang , J.S. RYU , S.W. LEE , Y.G. KIM , J.G. SONG and Y.J. SHIN

인버터는 전기적으로 DC(직류)를 AC(교류)로 변환하는 역 변환 장치이며, 상용전원(AC 220V/440V)으로부터 공급된 전력을 입력받아 전압과 주파수를 가변시켜 전동기에 공급함으로써 전동기의 속도를 고효율로 이용하여 제어하는 장치이다. 본 논문에서는 550kW급 IGBT, DIODE의 발열에 의한 인버터 내부의 열 및 온도 분포를 ICEPAK 상용코드를 통하여 수치적 해석을 수행하였다. 인버터의 발열은 캐패시터의 수명과 소자들의 오작동 등 많은 열적 문제를 가지고 있으며 Heat-sink, Fan, Duct등을 통하여 전도와 대류가 이루어지는 시스템이다. 인버터는 많은 파라미터들에 의해 온도가 결정되기 때문에 실험을 통한 해석은 제한적 일수 밖에 없다. 따라서 수치해석을 통하여 빠른 시간에 효율적인 열 설계를 할 수 있으며, 인버터의 크기는 최종적으로 Heat-sink의 형상에 따라 달라지므로 이를 최적화 하고 소형화 하는 작업이 필요하다. 인버터의 복잡한 내부구조상 하단부(발열원, Heat-sink, Fan 등)만 수치해석을 수행하였을 때와 Full Model과는 15℃ 온도 차이를 보였다. 최종적으로 인버터의 최적 열 설계를 위하여 Frame위치 변경, Heat-Sink 형상변화등 많은 수치해석을 통하여 만족할 만한 결과를 얻었다.

Key Words: 인버터(Inverter), 열해석(Thermal Simulation), 히트싱크(Heat-sink)

1. 서론

오늘날 급변하는 산업화 속에서 에너지 절약화 및 공장 자동화와 합리화를 추진함에 있어 전동기의 가변속은 필수불가결하게 되었다. 교류 가변속 장치인 인버터는 전기적으로는 직류를 교류로 변환하는 장치이며, 상용전원으로부터 공급된 전력을 받아 인버터 내에서 전압과 주파수를 가변시켜 전동기에 공급함으로써 전동기의 속도를 제어하는 장치이다. PWM(Pulse Width Modulation)제어 인버터는 정전압원의 전압 V는 일정하고 인버터 스위치를 ON-OFF 시켜 반사이클 중에 펄스의 폭과 수를 제어하여 가변전압, 가변 주파수를 만들고 반 사이클 중의 펄스의 폭과 수는 교류전압 파형이 근사적으로 정현파가 되도록 제어하는 방식이다. 본연구에서는 LS산전(주)에서 양산하고 있는 550kW급 PMW Inverter의 IGBT와 DIODE의 발열에 의한 내부의 열 및 온도 분포 현상을 전자

패키지 상용프로그램인 ICEPAK을 이용하여 수치적 해석을 하였고, 발생 할 수 있는 문제점을 파악함과 동시에 Fin의 두께, 개수, 간격, Base두께등 히트싱크의 형상을 최적화 효율적인 열설계 방법을 확립하고자 한다.

Fig. 1은 인버터의 열유동 해석 흐름도 이다. CAD데이터를 직접 불러들여 선처리 작업및 격자 생성시 불필요한 시간을 줄이고 단시간에 수치 해석을 할 수 있도록 하였다.

2. 관련이론

2.1 지배방정식

인버터 내부의 유동을 해석하기 위한 지배방정식을 표시하면 다음과 같다.[1,2]

연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = s^m$$

1 LS산전 전력연구소

2 LS산전 인버터설계팀

* Corresponding author E-mail: hykang1@lisis.biz

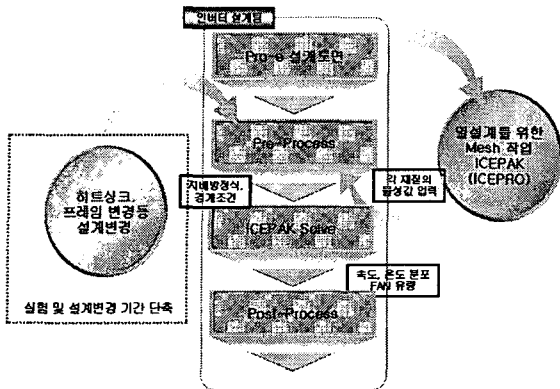


Fig. 1 Folowchart of Inverter CFD

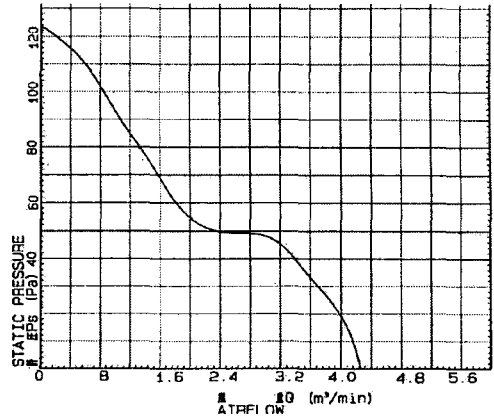


Fig. 2 The Characteristic Curve of NIDEC B35129 Fans

운동량방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u} - \vec{T}) = s'' \quad (1)$$

스칼라방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \phi - \Gamma \nabla \phi) = s$$

여기서 스칼라방정식의 첫 번째 항은 검사체적 내의 시간에 따른 물리량의 변화를 나타내는 과도항(transient)이고, 두 번째와 세 번째 항은 각각 대류항(convection term)과 확산항(diffusion)을 나타내며 우변은 생성항(source term)을 나타내는 기본적인 4개의 항으로 구성된다. 각각의 항은 물리적으로 다른 특성을 가지고 있으므로 수치적인 처리도 다르게 해야 한다. 유한체적법(Finite Volume Method)을 근거하여 검사체적에 대한 지배방정식의 이산화방정식을 ICEPAK 프로그램을 사용하여 해를 구하였다. 운동량 방정식의 난류항 처리를 위한 난류모델은 mixing-length zero-equation turbulence model을 사용하였다.

식 (1)의 연속방정식에서는 압축성 유동뿐만 아니라 비압축성 유동에 대하여서도 적용되는 일반적인 질량 보존의 방정식이다. 생성항은 2차적으로 기인한 상으로부터 연속체에 더해지는 질량이다. 본 계산에서는 정상상태이며 화학반응이나 상변화 현상을 고려하지 않았으므로 좌변의 첫항과 우변의 생성항은 무시된다.

2.2 팬, 히트싱크

인버터의 냉각 모듈에서 가장 큰 열저항을 받는 부분은 강제대류의 열전달 계수와 유효 heat-sink 표면 면적이다. 강제대류의 경우 평행한 평판형태의 heat-sink에 대한 최적의 간격에 대한 연구가 제시되고 있다[5]. heat-sink의 대략적인 fin간

격 및 형상비를 결정 후 heat-sink 전후의 압력강하를 위한 대략적인 계산의 관계식이 사용되고 누셀트수(Nusselt Number) 레이놀즈수(Reynolds number)를 이용하여 열전달 계수 및 팬의 풍속을 결정한다.

$$D_h = 4A_c / (2h + 2b) \quad (2)$$

식 (2)의 D_h 는 수력직경(Hydraulic Diameter)을 나타내며 A_c , h , b 는 각각 채널단면적, 핀의 높이, 간격을 나타낸다.

팬에 의한 강제대류방식은 팬의 구동에 대한 유체의 열전달을 촉진시키는 방법으로 유체와 열전달을 동시에 고려해야 한다. 유체의 유동특성은 레이놀즈수로 대표할 수 있으며 그 수에 따라 층류(Laminar)와 난류(turbulence)로 나눌 수 있다. 층류와 난류에 따라 식이 각각 달라지므로 각각의 영역에 따라 식 (3)으로 나타낼수 있고 이를 바탕으로 열전달 계수를 구할수 있다[6].

$$\text{층류영역 } Nu = 1.86 [Re \cdot Pr (D_h/L)]^{1/3} \quad (3)$$

$$\text{난류영역 } Nu = 0.012 [Re^{0.87} 280] Pr^{0.4}$$

2.3 경계조건

본 연구에서는 Inverter내 온도장 해석을 위해 실제 모델의 동일한 CAD 데이터를 ICEPRO를 통해 모델링을 하였고, 완성된 모델을 근거로 격자를 생성하였다. 격자생성은 ICEPAK 내의 자동 생성법과 불균일 격자를 부여 하였으며 도체부와 형상의 특징에 따라 관심부분인 내부 히트싱크 에서는 조밀 격자를 분포시켜 좀 더 정확한 해를 얻고자 하였다. 격자 형태는 육면체 비정렬 구조로 격자수는 하단부와 full model은 각각 약 350,000 와 700,000개 이다.

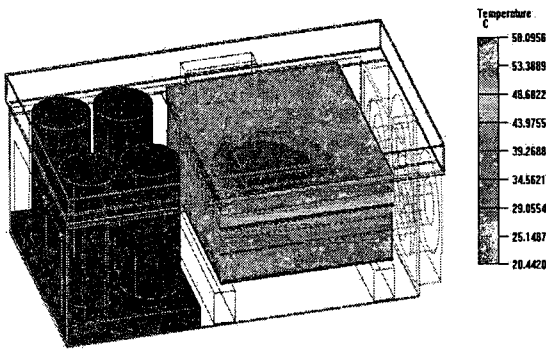


Fig. 3 The Temperature Plot of Inverter Lower parts

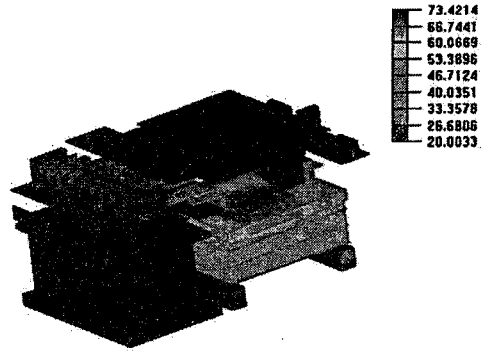


Fig. 5 The Temperature Plot of Inverter Full-model

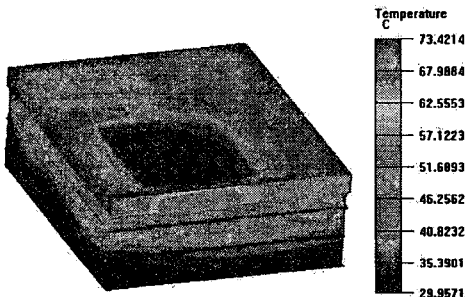


Fig. 4 The Temperature Plot of heat-sink

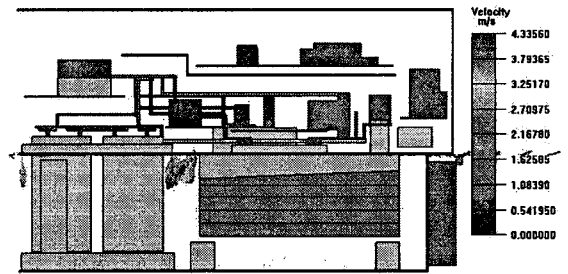


Fig. 6 The Optimization of Inverter

경계조건은 챔버로 유입되는 기체는 모두 air로 가정하였으며 출구 Fan은 Nidec사의 B35129 7500rpm 17W 2개를 사용하였으며 풍량은 Fig. 2의 특성곡선에 따른 유동을 입력하였다. 주요 발열원인 IGBT와 DIODE의 발열량은 600W와 270W를 입력하였으며, Heat-sink의 재질은 Aluminum 6063 계열을 사용하였고 주위온도는 20℃로 가정하였다.

3. 해석결과

온도분포의 결과를 Fig. 3과 5에 각각 나타내었다. Fig. 3은 인버터 주요 발열원과 냉각 부분만을 모델링 하여 계산한 온도분포를 나타내고 있으며 히트싱크의 대류가 팬을 통해서 배출되는 형상을 보여주고 있다. 히트싱크의 최고온도는 58℃, 최저 온도는 34℃이다. 캐패시터의 최고 온도는 20.8℃로 주위온도 20℃와는 크게 영향을 받지 않아 안정적인 시스템 구조를 보여주고 있다. Fan의 출구 유량은 평균 1.73 m³/min, 63 Pa이다.

Fig. 5는 인버터의 Full model 온도분포를 나타내고 있다. 최고 온도는 73.4℃이며 최저온도는 30℃이다.

캐패시터의 최고 온도는 21℃로 하단부 모델과 비교하였을 때 최고 온도는 21℃로 큰 차이가 없었다. 그러나 히트싱

크의 최고 온도는 하단부 모델과 비교할 때 최고 15.4℃의 차이가 났다.

이는 복잡한 인버터의 내부 구조상 상단부에서 발생한 유동이 잘 배출되지 않고 재순환 되어 내부 온도가 높아지므로 상단부와 하단부의 유동이 원활하게 이루어 질 수 있도록 하는 열 설계가 필요함을 알 수 있다. Fan의 출구 유량은 평균 1.85 m³/min, 58Pa이다.

3.1 최적화

히트싱크를 최적화 하기 위하여 fin의 개수, 간격, 두께, 높이 등을 변경하여 최적화 하였으며 최종적으로 Fig. 6과 같은 최적화된 인버터 내부의 방열 설계를 하였다. 그림과 같이 히트싱크 뿐만 아니라 내부 덕트구조를 변경하여 인버터 내부가 관리온도 이하로 유지될 수 있도록 하였으며 회사 규정상 자세한 방법을 지면을 통해서 소개 할 수 없음을 안타깝게 생각한다.

4. 결론

본 연구에서는 인버터 내부의 온도예측과 방열 설계를 위하여 CAD데이터를 ICEPRO 프로그램을 통해서 실제적인 형

상의 모델링을 하였으며, 3차원 열유동 해석 프로그램인 ICEPAK을 이용하여 온도 해석을 수행 하여 아래와 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 제품에 관한 온도 상승 시험에 소비되는 막대한 시간적, 경제적 비용을 줄이기 위하여 3차원 상용 프로그램을 사용하였고 선처리 작업에 따른 시간의 낭비를 줄이기 위하여 CAD데이터를 직접 불러들이는 ICEPRO 프로그램을 사용하여 열해석을 위해 불필요한 시간을 줄였다.
- (2) 인버터의 복잡한 내부 구조상 하단부만 계산시 Full-model과 히트싱크의 최고온도는 15도의 온도차이를 보였다. 따라서 인버터의 방열설계를 위해서는 Full-Model로 열 해석을 해야만 한다.
- (3) 인버터의 유동특성상 Heat-Sink의 변경만으로는 만족할만한 온도 하강 효과를 가지지 못 하였으며, Frame, Duct 변경등을 통하여 전체적인 열저항과 압력강하를 줄이는 설계가 필요하다.
- (4) 위와 같은 연구를 통해서 자체적인 인버터의 방열 해석 기술을 확립하였으며, 보다 심층적인 연구를 통해서 최적의 Heat-Sink 및 고효율의 인버터 설계 기술 등을 이를 예정이다.

참고문헌

- [1] 김찬중, 2002, "길잡이 전산유체역학," 문운당.
- [2] 김찬중, 2001, "길잡이 열전달의 기초," 문운당.
- [3] LS산전 연수원, 2003, "인버터 초급," LS산전.
- [4] LS산전 연수원, 1995, "Inverter 일반응용," LS산전.
- [5] Adrian Bejan, Durkco Schubba, 1992, "The optimal spacing of parallel plates cooled by forced convection," *Int. J Heat Mass Transfer*.
- [6] S.F. Choquette, M. Faghri, M. Charmchi, Y. Asako, 1996, "Optimum Design of Microchannel Heat Sinks," *Microelectromechanical Systems, ASME*.
- [5] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1996, "Fundamental of heat and mass transfer 4th ed.," *Wiley*.
- [6] SANYO DENKI, "Selecting the correct fan motor," *Technical notes*.
- [7] GREENHECK, 2005, "Multiple fan systems - fans in series and parallel," *engineering update*. Vol. 4.
- [8] W. Elenbass, 1942, "Heat Dissipation of Parallel Plates by Free convection," *Physica*, Vol.9, No.1.
- [9] S. Lee. 1994, "Optimum Design and Selection of Heat Sinks," *J. of Electronic Packaging*, Vol.116, p.207~211
- [10] Soule, Christopher A., 1977, "Forced Air Boundart Layer Thickness and Serrated Fin Heat Sinks," *PCIM Magazine*, August, p.104~111.
- [11] FLUENT, 2003, "ICEPAK Ver 4.1 User's Guide."