

항공기용 전기-정유압식 작동기(Dual Redundant Asymmetric Tandem EHA)의 열특성 예측을 위한 연구

김상석^{1,†}, 박형준¹, 김대연¹, 김대현¹, 김상범¹, 이준원¹, 최종윤²

¹한화에어로스페이스(주) 항공우주연구소 우주항공R&D센터

²국방과학연구소 항공기술연구원 1부

Research to Predict the Thermal Characteristics of Electro Hydrostatic Actuator for Aircraft

Sang Seok Kim^{1,†}, Hyung Jun Park¹, Daeyeon Kim¹, Dae Hyun Kim¹, Sang Beom Kim¹, Junwon Lee¹ and

Jong Yoon Choi²

¹ Space & Aeronautics Development Center, Aerospace Engineering Department, Hanwha Aerospace

²1st Directorate, Aerospace Technology Research Institute, Agency for Defense Development

Abstract

The electro-hydrostatic actuator (EHA) recently has been used in flight control fields for aircraft because of its benefits of minimizing oil leakage and weight, improving safety, and etc. while independently operating the hydraulic power source and eliminating complex hydraulic piping. The aircraft of which EHA is installed inside, has the thermal management issue of EHA, because of its limited cooling source as compared with the aircraft which installs the traditional central hydraulic system. So, the thermal analysis model which predicts the thermal characteristics of EHA, is required to resolve this thermal management issue. In this study, an oil circulation circuit inside the hydraulic power module comprised of hydraulic pump and electrical motor for EHA was applied. This is for the purpose of developing the internal rotary group of hydraulic power module, which operates under the conditions of high rotation speed and hydraulic pressure. After formulating an appropriate thermal analysis model, the thermal analysis results with oil cooled or no oil cooled hydraulic control module were compared and reviewed, for the purpose of predicting the thermal characteristics of EHA.

초 록

전기-정유압식 작동기(EHA)는 독립적으로 유동력원을 운용함에 따라, 복잡한 유압 배관을 제거할 수 있어 누유 및 중량 최소화, 안전성 향상의 장점이 있어 최근 항공기용 비행제어 분야에서 사용되고 있다. 이러한 EHA를 탑재하는 항공기의 경우, 기존 중앙 유압시스템을 탑재한 항공기에 비해 제한된 냉각원에 따른 EHA의 열관리 이슈가 대두된다. 이러한 열관리 이슈의 해결을 위해서는, EHA의 열특성을 예측할 수 있는 열해석 모델이 필요하다. 본 연구에서는 유압펌프 및 전기모터로 구성되는 EHA 유압동력모듈의 내부 회전체를 고압 하에서 고속으로 회전이 가능하도록, 유압동력모듈 내부에 유체 순환 회로를 적용하였다. 적합한 열해석 모델을 구축하고, 유냉식 또는 비유냉식 유압동력모듈 적용에 따른 해석 결과의 비교 및 검토를 통해 EHA의 열특성 영향성을 확인하고자 하였다.

Key Words : Thermal Characteristics(열특성), Thermal Analysis(열해석), Oil Circulation Circuit(유체 순환 회로), Hydraulic Power Module(유압동력모듈), Electro-hydrostatic Actuator(전기-정유압식 작동기)

1. 서 론

최근 항공기 전동화(MEA: More Electric Aircraft) 추세에 따라, 복잡한 유압배관을 갖는 기존 중앙 유압 시스템을 탑재하지 않고 독립적인 유동력원을 운용하는 전기-정유압식 작동기(EHA)가 개발되어 항공기용 비행제어 분야에서 사용되고 있다. 이러한 EHA를 항공기에 적용시 기존 유압시스템 내의 배관 제거에 따른

Received: Feb. 07, 2022 Revised: May 09, 2022 Accepted: May 16, 2022

† Corresponding Author

Tel: +82-41-538-7863, E-mail: hirocks@hanwha.com

© The Society for Aerospace System Engineering

중량 절감 및 누유 최소화가 가능하다. 또한 효율, 안전성, 생존성, 정비성의 향상이 가능하다는 장점을 갖는다[1], [2].

그렇지만 배관 등 유압구성품이 항공기 전체적으로 분포함으로써 외부로의 열전달이 원활한 유압시스템을 탑재한 기존의 항공기와 다르게, 전동화된 항공기는 EHA라는 하나의 비행조종면작동기에 유압시스템이 통합되다 보니 집중된 열원에 대한 열관리의 이슈가 대두된다. 이러한 이유로 EHA의 항공기 적용을 위해 별도의 성능/열해석 모델을 구축하고 항공기 기체 및 대기로의 열전달을 고려한 열해석을 수행한다[3].

국내에서는 항공기용 EHA 관련하여 열해석 모델을 구축한 사례가 있으나 [4], EHA 차원에서 발생하는 열을 최소화하기 위한 설계 개념의 도입 및 도입된 설계 개념의 검증에 위한 열해석 모델을 구축하여 활용한 사례는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 유압펌프 및 전기모터로 구성되는 EHA 유압동력모듈의 내부 회전체를 고압 하에서 고속으로 회전이 가능하도록, EHA에 유압펌프 및 전기모터로 구성되는 유압동력모듈 내부에 유체 순환 회로를 적용하고 [5], 적합한 열해석 모델을 구축하여 유냉식 또는 비유냉식 유압동력모듈 적용에 따른 해석 결과의 비교 및 검토를 통해 EHA로의 열특성 측면에 대한 영향성을 확인하고자 하였다.

2. 시스템 설계

2.1 EHA 시스템 설계

비행조종면작동기의 안정성을 고려하여 유압시스템의 이중화가 적용된 유압작동기가 적용되고 있다. 이러한 이중화 유압작동기 설계시, 항공기 장착 인터페이스를 고려할 때 유리한 양로드형(double rod type)과 단로드형(single-rod type) 단일(single) 유압실린더를 직렬로 연결한 형태가 주로 적용되고 있다.

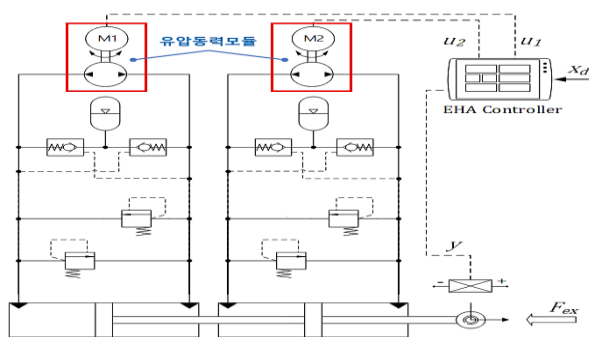


Fig. 1 The Structure of Dual Redundant Asymmetric Tandem EHA

이중화 직렬 EHA는 Fig.1과 같이 이중화 직렬 유압실린더, 유압펌프, 전기모터, 축압기, 그리고 유압밸브 등으로 구성된다. 각각의 전기모터는 전기신호를 받아 유압펌프를 회전시키며, 유압펌프에 의해 생성된 유량 및 압력으로 외력을 이겨내고, 유압실린더의 위치를 조정한다. 이때 유압실린더의 작동 방향 및 위치 제어는 전기모터의 방향 및 속도 제어를 통하여 구현된다.

하지만 설계적으로 이중화 직렬 EHA는 양로드형 유압실린더의 특성과 단로드형 유압실린더의 특성을 모두 가지며 독립적인 2개의 유압동력원으로 인해 입력이 2개인 복잡한 시스템이 된다. 따라서 외력이 없더라도 시스템 별 피스톤에 각각 다른 힘이 상시 작용하는 포스파이팅(force fighting) 현상의 작동 간 영향성을 최소화하기 위해 유압회로 내 밸브를 추가로 적용하거나, 개선 효과를 높이기 위한 제어적인 방안 등이 좀 더 고려될 수 있다[6].

본 연구에서는 이중 파일럿 타입의 체크밸브를 적용하고, PID 제어방법에 따라 EHA 제어를 수행하여 열해석시 활용하였다.

2.2 EHA 유냉식 유압동력모듈 설계

EHA는 고정용량형 사판식 피스톤 펌프가 활용되며, 누유된 유압유가 사판 및 축 지지용 베어링의 윤활 경로를 형성하여 흐르게 된다. 이러한 유압펌프와 전기모터의 조합인 유압동력모듈의 경우, 유압펌프로부터 누유된 유압유를 차단하기 위해 봉합재의 적용 설계가 고려되어야 하며, 고압 하에서 고속으로 운용시 봉합재 설계의 어려움이 존재한다. 이에 따라 Fig.2와 같은 비유냉식 유압동력모듈 대신에, Fig.3과 같이 유압펌프의 봉합재를 제거하고 축으로부터 누유된 유압유를 전기모터의 냉각을 목적으로 활용하는 유냉식 유압동력모듈 설계 개념이 적용된다[7].

유냉식 유압동력모듈의 경우, 전기모터 고정자(Stator)의 코일에 대해 전기모터 하우징을 통한 공기 냉각 외에 회전자(Rotor)와 고정자(Stator) 사이로 흐르는 유체에 의해 냉각을 수행함으로써 냉각 성능을 향상시킨다. 이와 함께 고온 하에서 부하 인가 상황에서 운용 시간의 향상이 가능하고, 저온에서의 유체 가열에 따른 운용 측면에서의 유리한 점이 존재하여 고출력 EHA의 전기모터 설계시 적용된다[5].

국내에서 개발된 항공용 EHA의 경우 [2], 당시 기술적 제약으로 인해 비유냉식 유압동력모듈을 적용되었으나, 본 연구에서는 유냉식 유압동력모듈 적용하면서 기존 사용된 비유냉식 유압동력모듈 대비하여 EHA로의 열특성 측면에 대한 영향성을 확인하고자 하였다.

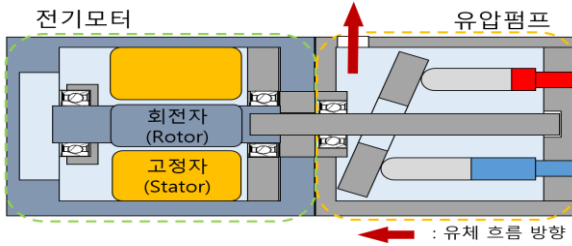


Fig. 2 Concept of No Oil Cooled Hydraulic Power Module

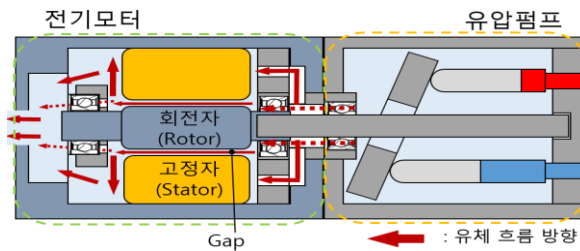


Fig. 3 Concept of Oil Cooled Hydraulic Power Module

2.3 EHA 열특성 요구도 설계

EHA와 관련된 과거 연구에서 EHA에서 발생하는 열에 대한 이슈가 확인되었으며 [8], [9], 관련 규격서에서 EHA의 열 요구도 및 주변환경의 열 정보에 대한 필요성이 식별되었다[10], [11], [12].

본 연구에서는 항공기의 장착/환경 조건 및 비행프로파일과 같은 운용 정보의 부재로, 앞에서 언급한 관련 규격 및 자료의 정보를 활용한 상세 연구를 통해 EHA 열특성 요구도를 아래와 같이 수립하였다.

EHA 열특성 요구도는 EHA가 낼 수 있는 최대 힘 (Stall Force)과 EHA가 연속 운용 가능한 힘 (Continuous Force)에 대해, 전기모터 코일 온도, 유체 온도, EHA 표면 온도가 설정한 최대 온도(각 135℃, 100℃, 200℃)를 넘지 않는 운용 시간 및 프로파일을 규정한다.

이러한 EHA 열특성 요구도에 따라, EHA 내/외부에 장착되는 온도 센서를 활용하여 운용 및 시험평가를 수행할 예정이다.

- EHA 열특성 요구도 No.1 : 상온(21.1℃)에서 EHA는 20초 동안 이중 시스템 동작 간 최대 힘을 견뎌야 함.
- EHA 열특성 요구도 No.2 : 상온(21.1℃)에서 EHA는 20분 동안 이중 시스템 동작 간 최대 힘의 70% 부하 조건에서 최대 속도의 5%에 해당하는 속도를 갖는 Sine 위치 파형에 따라 연속 구동이 가능해야 함.

3. 열 해석

3.1 EHA 열해석 모델링 개요

유압동력모듈의 유체 순환 회로 적용 여부에 따른 EHA 열특성 영향성 확인을 위해, MATLAB/Simulink/Simscape를 활용하여 1D 열해석 모델링을 수행하였다. 3D 해석은 구성품의 국부적인 지점에서의 열특성을 확인할 수 있다는 장점이 있는 반면, 해석 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 이에 따라, 연구의 취지에 맞춰 유압동력모듈 설계 안 별로 EHA 열특성 요구도 만족 여부를 빠르게 확인하기 할 수 있도록 1D 기반의 Simscape에서 검증된 열전달(전도, 대류, 방사) 모델들을 활용하였다.

3.2 EHA 시스템 모델링

제어기를 포함하는 EHA 시스템은 크게 다음과 같은 서브시스템으로 구성된다. 이러한 서브시스템으로 구성된 EHA 시스템의 Simscape 모델은 Fig.4와 같다.

- 2개의 제어기 서브시스템 : EHA의 2개의 유압시스템을 제어
- 2개의 유압동력모듈(유압펌프+ 전기모터) 서브시스템
- 2개의 축압기 서브시스템
- 2개의 매니폴드 서브시스템
- 1개의 이중화 직렬 유압실린더 서브시스템
- 서브 시스템을 연결하는 열전달 블록 및 센서/밸브

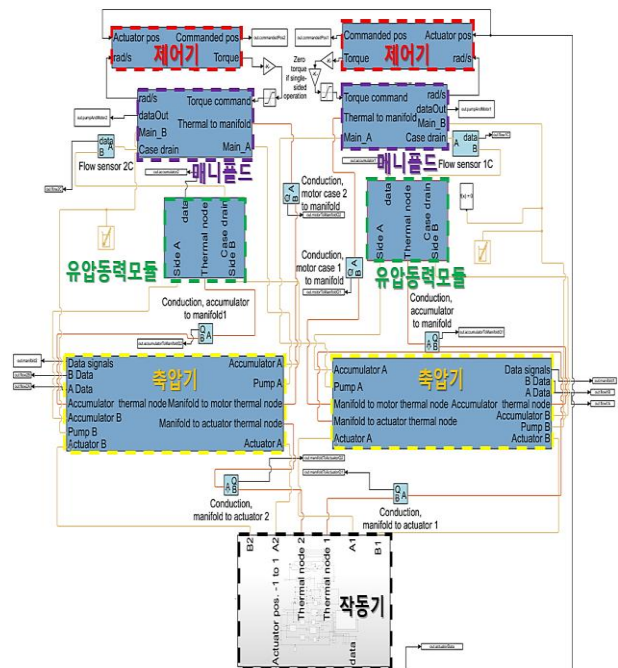


Fig. 4 EHA System Model

3.3 EHA 서브시스템 모델링

EHA 시스템 모델을 구성하는 서브 시스템에 대한 모델링을 수행하였다. 서브시스템 모델링시, 사용되는 유압유(MIL-PRF-87257)에 대한 특성값 [13]에 대한 데이터 맵이 활용되었으며, 구성품의 형상/재질에 따른 열전달 관련 정보가 Thermal Mass로서 고려 되었다.

1) 제어기 서브시스템 모델

제어기 서브시스템 모델은 Fig.5와 같이 제어모델과 모터 동력모델로 구성된다.

제어모델로는 PID 기반의 Cascade 제어기가 적용되었으며, EHA 유압실린더의 위치 제어를 하는 Outer loop에 전기모터의 속도 제어를 하는 Inner loop를 갖는다. 모터 동력 모델로는 EHA 개발을 위해 설계된 전기모터의 입력 및 속도 신호에 따른 토크의 확인이 가능한 토크맵을 적용하였다.

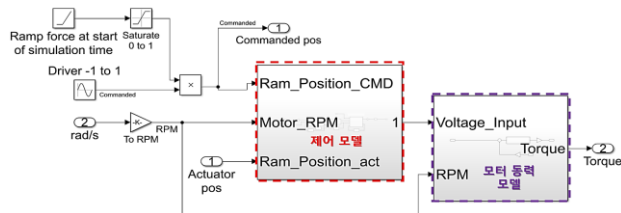


Fig. 5 Controller Subsystem Model

2) 유압동력모듈 서브시스템 모델

본 연구의 핵심인 유냉식 또는 비유냉식 유체 순환 회로를 적용한 유압동력모듈 서브시스템 모델은 Fig.6에서와 같이 크게 다음의 서브시스템 모델로 구성된다.

- 전기모터 열특성 및 유압동력모듈 동력학/관성 서브시스템
- 유압펌프 서브시스템, 풍손(Windage losses), 열요소
- 회전자/고정자 사이로 흐르는 유체에 의한 열전달

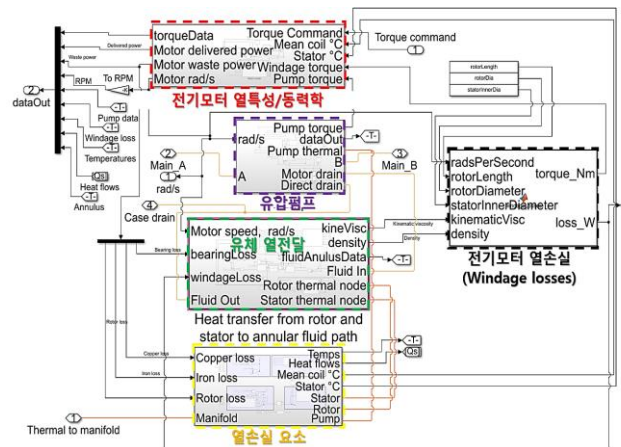


Fig. 6 Hydraulic Power Module Subsystem Model

가) 전기모터 열특성 및 유압동력모듈 동력학/관성 서브시스템

회전체 관성(전기모터 회전자 + 유압펌프 회전체), 전기모터와 유압펌프 사이의 상호 작용하는 토크를 비롯한 풍손(Windage loss, 관련 장에서 설명)에 의한 토크 손실을 고려한 유압동력모듈의 동역학 모델을 적용하여 Fig.7과 같은 서브시스템을 구성하였다. 다음으로, EHA 개발을 위해 Fig.8과 같이 설계된 전기모터의 4가지의 열손실 데이터 맵을 활용하였으며, 동역학 모델로부터 계산된 전기모터의 속도와 입력 토크 기준 열손실 값을 추출하여 사용하였다.

이러한 4가지의 열손실 유형은 Copper loss(고정자의 권선 저항에 의해 생기는 열 손실), Iron loss(고정자의 철심 내부 자화 방향에 의해 생기는 에너지 손실), Bearing loss(베어링과 회전축의 마찰에 의한 열 손실), Rotor loss(회전자의 자성체의 열특성을 반영한 손실)이다.

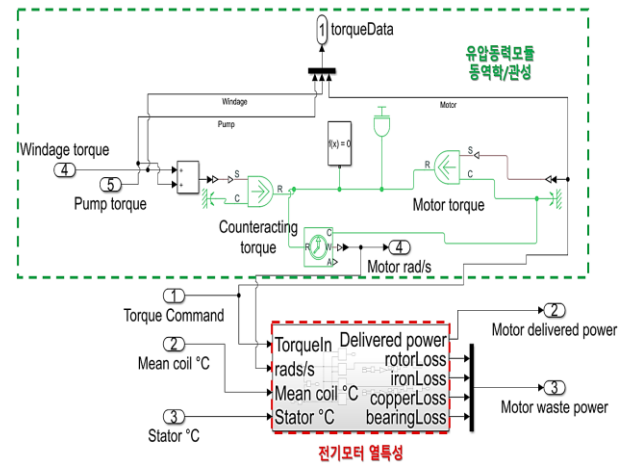


Fig. 7 Electrical Motor Thermal Characteristic and Hydraulic Power Module/Inertia Subsystem

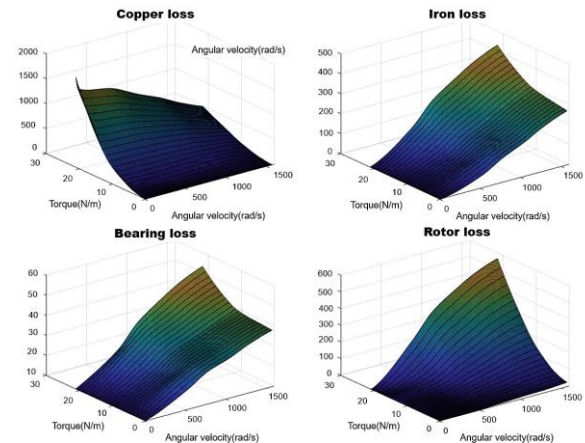


Fig. 8 Electrical Motor Thermal loss

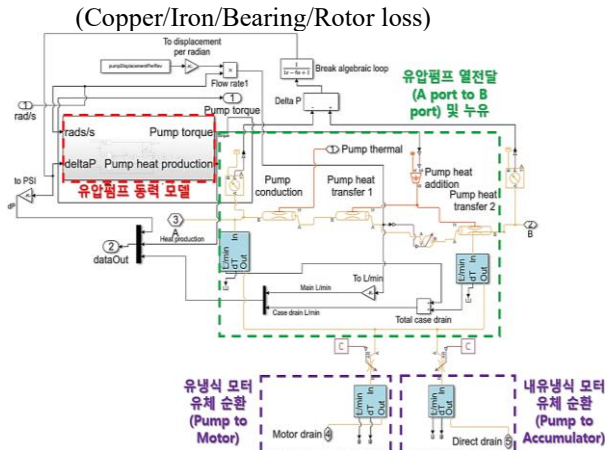


Fig. 9 Hydraulic Pump Subsystem Model

나) 유압펌프 서브시스템

유압펌프 서브시스템은 유압펌프 동력 모델, 유압펌프 열전달 및 누유 모델, 유냉식/비유냉식 유체 순환 모델을 포함하여 Fig.9와 같이 구성된다.

먼저, 유압펌프 동력모델은 EHA를 개발을 위해 설계된 유압펌프의 회전속도 및 공급/귀환 포트의 압력에 따른 기계/체적 효율 데이터를 포함한다.

다음으로, 유압펌프 열전달 및 누유 모델은 사판식 피스톤 유압펌프의 토출 유량, 케이스 드레인 되는 유량과 유압펌프 동력모델을 통한 효율 손실에 따른 열발생에 따른 유압펌프 공급/귀환 포트 사이의 유체에 의한 열전달을 포함한다.

마지막으로, 유냉식/비유냉식 유체 순환 모델이 구현되었다. 비유냉식은 유압펌프의 케이스 드레인 되는 유량이 전기모터로 흐르지 않고 축압기로 바로 가도록 하는 반면에, 유냉식은 유압펌프의 케이스 드레인 되는 유량이 전기모터로 흐르도록 모델링하였다.

다) 회전자/고정자 사이로 흐르는 유체에 의한 열전달 모델

회전자/고정자 사이로 흐르는 유체에 의한 열전달 모델은 전기모터 고정자/회전자의 열요소(관련 장에서 설명)를 포함한 열특성 모델, 유체의 흐름 및 마찰에 따른 열손실 요소(Windage loss, Bearing loss)에 의한 열전달 모델, 그리고 이러한 열특성/열손실에 따른 유체의 열전달 모델을 포함하여 Fig.10과 같이 구성된다.

라) 풍손(Windage loss)

전기모터 내부 회전자/고정자 사이의 환형(Annulus) 관로를 흐르는 유체의 전단 및 난류에 의한 열 손실을 의미한다. 본 연구에서는 회전하는 동축/동심 상의 두 개의 실린더 사이의 갭에 대한 토크 계수를 고려하여

계산식을 적용하였다[14].

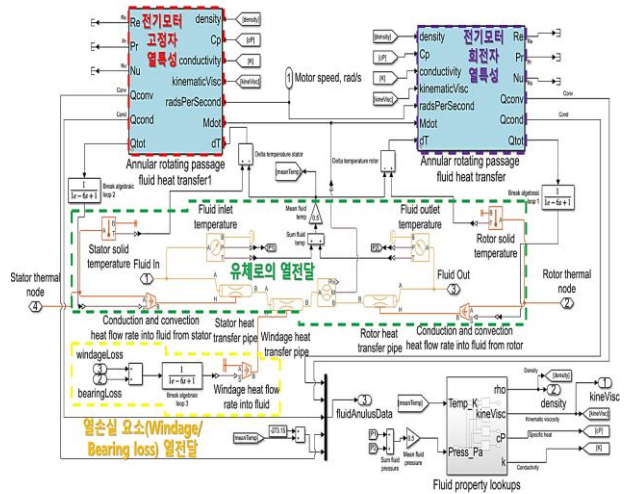


Fig. 10 Heat Transfer Subsystem Model for Rotor and Stator to Fluid

마) 열요소

열요소 모델은 앞선 장에서 전기모터 고정자/회전자의 열특성 모델과 연결되며, 전기모터 케이스와 연결된 유압펌프 하우징 및 매니폴드로의 열전달에 대한 모델링을 Fig.11과 같이 수행하였다.

이와 함께 앞선 장에서 언급된 열손실 요소인 Rotor loss, Copper loss, Iron loss가 사용되었다.

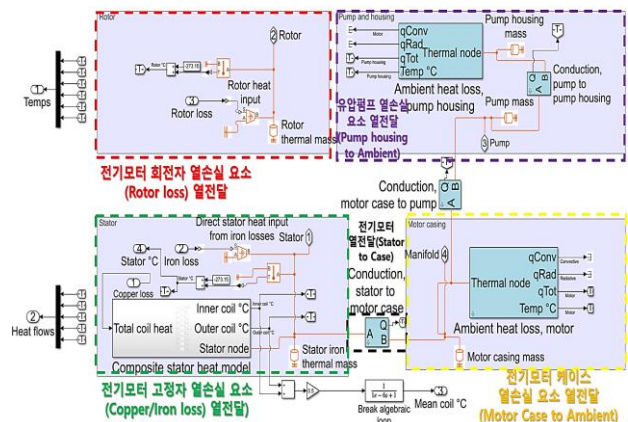


Fig. 11 Thermal Component Model

3) 축압기 서브시스템 모델

축압기 서브시스템 모델의 경우, 축압기 거동을 구현한 모델과 유냉식/비유냉식에 따른 펌프/모터로부터 케이스 드레인 되는 유압유에 대한 열전달 모델 및 축압기로부터 대기로의 열전달 모델을 포함하여 Fig.12와 같이 구성하였다.

축압기 모델의 경우, EHA 내부 유압유의 귀환 압력을 유지하기 위한 피스톤과 스프링으로 구성된 가변

체적 챔버를 적용하였다.

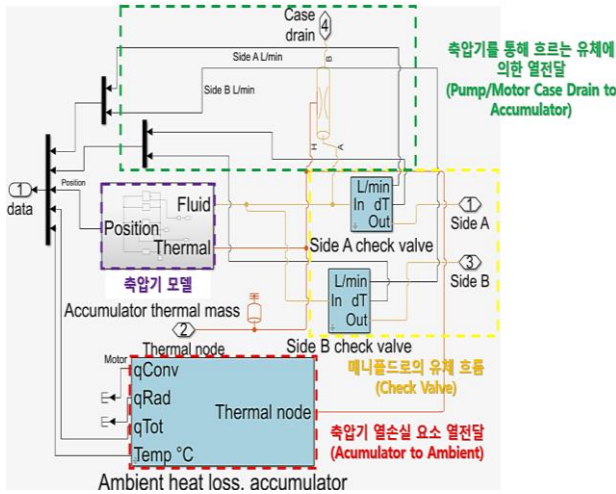


Fig. 12 Accumulator Subsystem Model

4) 매니폴드 서브시스템 모델

매니폴드 서브시스템 모델은 전기모터 하우징을 통해 매니폴드 열전달 되는 부분과 EHA 작동 간 체크/릴리프 밸브를 통해 매니폴드로 유체가 흐를 때 열전달 되는 부분을 고려하여 Fig.13과 같이 구성하였다.

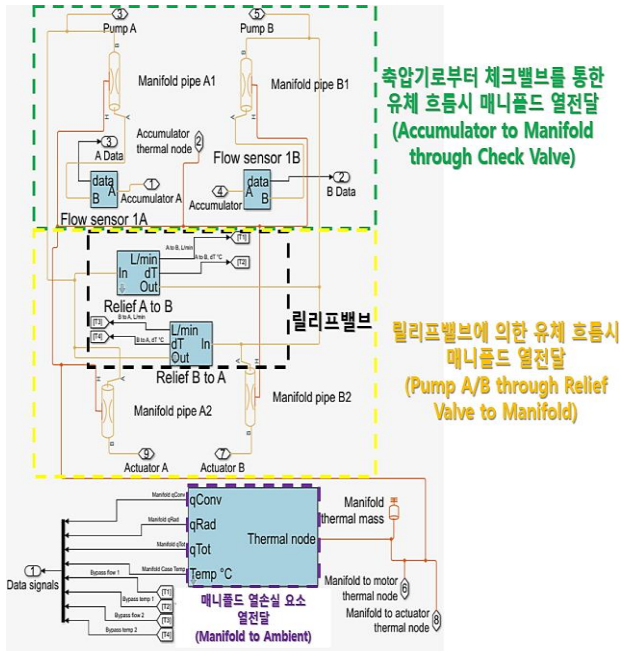


Fig. 13 Manifold Subsystem Model

5) 이중화 직렬 유압실린더 서브시스템 모델

이중화 직렬 유압실린더 서브시스템 모델의 경우, 유압실린더에 대한 동역학을 구현하였으며, 내부 피스톤 실의 누유에 의한 열전달이 고려되었다. 이와 함께 유압실린더로부터 대기로의 열전달을 고려하여 모델링

을 Fig.14와 같이 수행하였다.

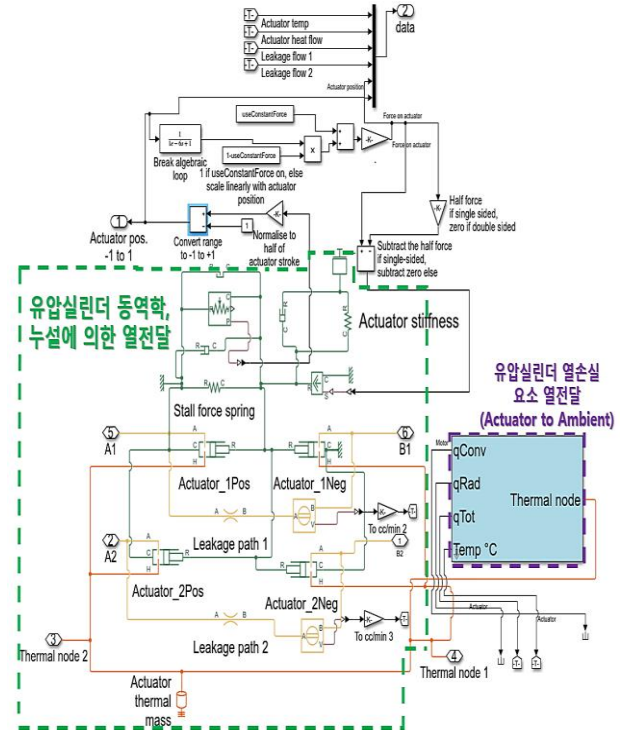


Fig. 14 Actuator Subsystem Model

4. 시뮬레이션 결과

EHA 시스템 모델을 활용하여 열해석 시뮬레이션을 수행하였다. 열해석 요구도에서 언급한 바와 같이, 설정된 요구도에 기반하여 상온 대기 조건(21.1℃)에서 유체온도, 표면온도, 코일온도의 모니터링을 통해 특정 조건의 한계 온도 도달에 초점을 맞추고 열해석 결과 분석을 수행하였다. 이때, 해석 시간이 과다 소요되는 경우 해석 결과 도출에 문제가 되지 않는 범위 내에서 시뮬레이션 시간은 조절하여 해석을 수행하였다. 이와 함께 이중 유압 시스템 중 해석 조건별 한계온도 도달 시간이 짧은 쪽의 결과를 제시하였다.

먼저 최대 힘 조건에서 열해석 결과, 전기모터의 코일 온도가 먼저 한계 온도에 도달하였다. Fig.15와 Fig.16에서 볼 수 있듯이 유체 냉각이 있을 경우가 없는 경우(비유냉식) 대비 35.4 초 정도 더 운용 가능함을 알 수 있었다. 이와 함께 요구되는 운용시간(20초)을 만족 가능함을 알 수 있었다. 이때, 최대 힘 조건 하 전기모터의 과도한 코일의 발열이 EHA 구성품의 전도에 의해 간접적으로 유체온도의 상승으로 이어지는 비유냉식 대비해서, 유냉식의 경우 코일의 발열이 직접적으로 유체온도의 상승에 관여함에 따라 온도의 상승폭이 큼을 확인할 수 있었다.

조건	상태	대기온도	유체냉각	Time		
				유체온도 (한계: 135°C)	표면온도 (한계: 100°C)	코일온도 (한계: 200°C)
최대힘	이중 시스템	21.1°C	Yes	135°C@2513s	100°C@442.4s	200°C@229.8s
최대힘	이중 시스템	21.1°C	No	117.1°C@2754s	100°C@318.4	200°C@194.4s

Fig. 15 EHA Thermal Analysis Results in Stall Force Condition (at Room Temp')

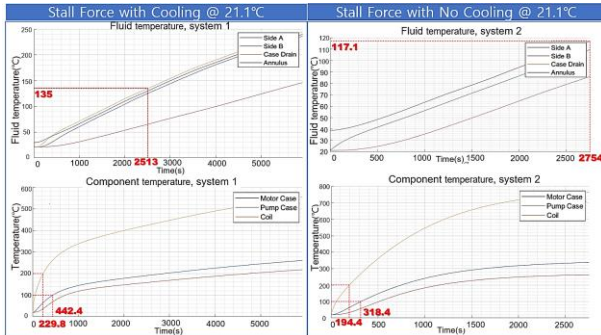


Fig. 16 EHA Thermal Analysis Graphs in Stall Force Condition (at Room Temp')

조건	상태	대기온도	유체냉각	Time (한계: 3600 s)		
				유체온도 (한계: 135°C)	표면온도 (한계: 100°C)	코일온도 (한계: 200°C)
연속힘	이중 시스템	21.1°C	Yes	68.0°C@3600s	74.4°C@3600s	123.8°C@3600s
연속힘	이중 시스템	21.1°C	No	64.3°C@3600s	100°C@3258.9s	166.6°C@3600s

Fig. 17 EHA Thermal Analysis Results in Continuous Force Condition (at Room Temp')

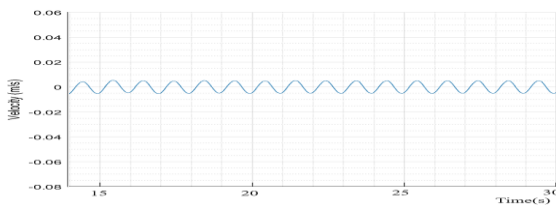


Fig. 18 Continuous Force Profile for EHA Thermal Analysis

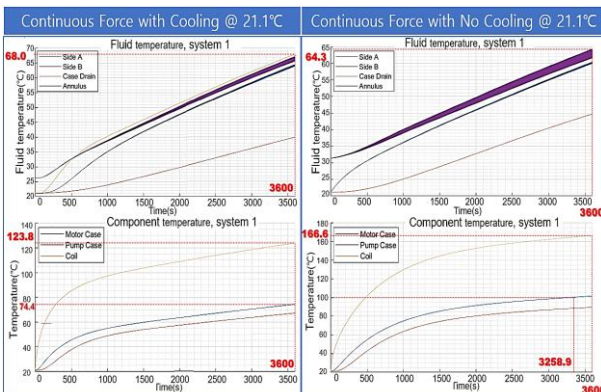


Fig. 19 EHA Thermal Analysis Graphs in Continuous Force Condition (at Room Temp')

다음으로, Fig.18에서 보여지는 연속 힘 조건에서 열 해석 결과, 전기모터의 표면 온도가 먼저 한계 온도에 도달하였다. Fig.17와 Fig.19에서 볼 수 있듯이 유체 냉각이 있을 경우가 없는 경우(비유냉식) 대비하여 해석을 계속 진행되었다고 가정하면 342 초 이상 더 운용 가능함을 알 수 있었다. 이때, 전기모터의 표면온도는 한계 온도에 도달하지 않은 74.4°C 였다.

이와 함께 요구되는 운용시간(20분)을 만족 가능함을 알 수 있었으며, 요구도를 넘어서 연속 운용의 관점에서는 유냉식이 비유냉식 대비해서 표면온도 및 코일 온도 기준으로 판단했을 때 더욱 유리함을 확인할 수 있었다.

또한, 연속 힘 조건 하에서는 최대 힘 조건 대비해서 전기모터의 코일의 발열이 크지 않지만, EHA 구성품의 전도에 의해 간접적으로 유체온도의 상승으로 이어지는 비유냉식 대비하여 유냉식이 코일의 발열이 직접적으로 유체온도의 상승에 관여함에 따라 온도의 상승폭이 조금 높음을 확인할 수 있었다.

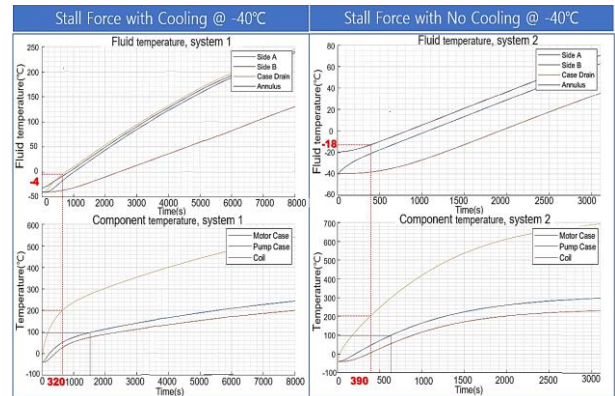


Fig. 20 EHA Thermal Analysis Graphs in Stall Force Condition (at Low Temp')

마지막으로, 열특성 요구도의 대기 온도 조건을 벗어난 저온에서의 열특성을 Fig.20과 같이 확인하였다. 겨울철에 항공기 출발 전 지상의 대기 온도는 저온이기에 이륙에 적합한 비행조종면작동기의 운용 환경을 맞추는 것이 요구된다. 이를 위해 기존 중앙유압방식의 유압시스템을 갖는 항공기와 같은 저온에서의 유압유 온도 대응에 대한 고려가 EHA 적용시에는 필요하다. 이를 위한 검토를 위해, 저온(-40°C) 환경에서 대응 효과를 최대를 할 수 있는 최대 힘 조건에서 열 해석을 수행하여 유압유 온도 상승을 확인하였다.

저온에서의 열해석 결과, 유냉식의 경우 상온 대비 전기모터 코일 온도의 한계 온도 도달시간이 짧아지지만 유압유의 온도 상승에 도움이 되고 유압유 점도를 고려할 때 작동기 운용에 유리한 온도 조건임을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 유압펌프 및 전기모터로 구성되는 EHA 유압동력모듈의 내부 회전체를 고압 하에서 고속으로 회전이 가능하도록, EHA에 유압펌프 및 전기모터로 구성되는 유압동력모듈 내부에 유체 순환 회로를 적용하였다.

유냉식 또는 비유냉식 유압동력모듈의 적용에 따른 EHA의 열특성 영향성을 확인하고자, EHA의 전체적인 열특성 해석에 적합한 열해석 모델을 구축하였다.

구축된 열해석 모델을 바탕으로, 본 연구를 위해 설정된 열특성 요구도의 만족 여부를 열해석을 통해 확인하였다.

열해석 결과, 유냉식 유압동력모듈의 적용이 전기모터의 열 방출에 도움이 되며 이에 따른 최대/연속 힘 조건에서 운용시간 향상에도 효과가 있음을 확인하였다. 또한 저온에서 전기모터 구동간 발생 열에 의한 유압유의 대응에도 효과적이어서, EHA의 항공기 운용간 비행 준비 기간 및 계획 수립시에 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

향후 본 연구에서의 열해석 결과를 바탕으로, 개발 중인 EHA 제작 후 열특성 시험을 수행하여 열해석 모델에 대한 보완·검증을 할 예정이다.

후 기

해당 논문은 국방과학연구소 '19년 산학연 주관 핵심기술(시험개발) 연구개발과제 "Electro-Hydrostatic 액츄에이터(EHA) 개발"의 일환으로 수행된 것입니다.

References

[1] Sang-Seok Kim, Dae-Hyun Kim, Sang-Beom Kim, Sang-Joon Park, Kwan-Ho Choi, "A Trend of Technology and Development on Electro-Hydrostatic Actuator in Aerospace", 2013 SASE Fall Conference

[2] Sang Seok Kim, Dae Hyun Kim, Sang Beom Kim, Sang Joon Park, "Development of an Electro-Hydrostatic Actuator for Aircraft", Proceedings of 2015 Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science, May 20-23, 2015, Jeju Island, Korea

[3] Won-Zon Chen, Tsugin Lin, Bermard P.Hill, "Thermal Modelling of a Flight Critical Electrohydrostatic Actuator", 1995 SAE Aerospace Atlantic Conferences,

Dayton, Ohio, May 23-25, 1995

[4] Dae-kyung Noh, Young-whan Yoon, Dae-hyun Kim, Sang-seok Kim, Sang-beom Kim, Sang-joon Park, Kwan-ho Choi, Joo-sup Jang, "Development and Application of Thermal hydraulic Simulation Model for Aircraft-EHA(Electro-Hydrostatic Actuator)", The Journal of Korea Society for Simulation, Vol.23, No.2, pp.17-24, 2014.6

[5] Daeyeon Kim, Hyung Jun Park, Sang Seok Kim, Dae Hyun Kim, Sang Beom Kim, Junwon Lee, Kang-Won Lee, Anhong Park, Jong Yoon Choi, "A Study on Thermal Characteristics of Oil Cooled Hydraulic Power Module for EHA", SASE 2021 Spring Conference

[6] Daeyeon Kim, Hyung Jun Park, Sang Seok Kim, Dae Hyun Kim, Sang Beom Kim, Junwon Lee, Jong Yoon Choi, "Position Control of Dual Redundant Asymmetric Tandem Electro-Hydrostatic Actuator for Aircraft based on Backstepping Technique", Journal of Aerospace System Engineering, Vol.15, No.3, pp.1-10, 2021

[7] D.J.Powell, K.Atallah and G.Jewell, "Thermal Modeling of Flooded Rotor Electrical Machines for Electro-Hydrostatic Actuators.", IEEE international electric machines & drives conference, Vol.2, pp.1632-1637, May 2007.

[8] Dominique van den Bossche, "The A380 Flight Control Electrohydrostatic Actuators, Achievements and Lessons Learnt," 25th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2006

[9] Robert Navarro, "Performance of an Electro-Hydrostatic Actuator on the F-18 Systems Research Aircraft", NASA/TM-97-206224, October 1997

[10] "Aerospace-Electrohydrostatic actuator(EHA) - Characteristics to be defined in procurement specifications", BSI Standards Publication, BS ISO 22072:2011

[11] "Aerospace - Test Methodology for Electrohydrostatic Actuators", SAE Technical Standard, ARP5879, Issued 2010-04

[12] "Electrohydrostatic Module, Design, Performance and Test Recommendations", SAE Technical Standard, ARP6154, Issued 2017-03

[13] "Aerospace Hydraulic Fluids Physical Properties", SAE Technical Standard, AIR1362D, Revised 2018-08

- [14]E. Bilgen & R. Boulos, "Functional Dependence of Torque Coefficient of Coaxial Cylinders on Gap Width and Reynolds Numbers", Trans.ASME I: J. Fluids Engng 95. pp.122-126, Mar 1973