항공기용 EHA의 열유동 해석모델 개발 및 활용

노대경¹ · 윤영환² · 김대현³ · 김상석³ · 김상범³ · 박상준³ · 최관호⁴ · 장주섭^{5†}

Development and Application of Thermal hydraulic Simulation Model for Aircraft-EHA(Electro-Hydrostatic Actuator)

Dae-kyung Noh · Young-whan Yoon · Dae-hyun Kim · Sang-seok Kim · Sang-beom Kim ·
Sang-joon Park · Kwan-ho Choi · Joo-sup Jang

ABSTRACT

This study attempts to show an example of developing and applying thermal hydraulic simulation model for Aircraft-EHA. The overview of research procedure is as in the following. First, The unit hydraulic simulation model, which reflects physical quantity answering engineer's purpose is developed. Second, The unit hydraulic simulation model is combined, and then branched out to EHA hydraulic model. Third, a simulation model including flow thermal is developed, and then oil temperature rise time according to 'initial temperature and load' is examined. Finally, the master graph that can be used for designing EHA combined with thermal hydraulic analysis results in several cases is compiled, and suggested. AMESim, commercial software, is used through whole procedure.

Key words : EHA, Thermal hydraulic, Bypass valve, Thermal-Load analysis, AMESim

요 약

본 논문은 항공기용 EHA의 열유동 해석모델을 개발하고 활용하는 사례를 보여준다. 연구진행 절차는 다음과 같다. 첫째, 설계 컨셉에 맞는 물리량을 반영하는 유압단품 해석모델을 개발한다. 둘째, 유압단품 모델을 조합하여 EHA 유압모델로 확장한다. 셋째, 열유동이 포함된 해석모델을 개발하여 초기온도와 부하의 변화에 따른 유온의 상승시간을 검토한다. 마지막으로, 여러 케이스의 열유동 해석결과가 조합된, 설계에 활용이 가능한 지배그래프를 작성하여 제안한다. 이 모든 과정은 상용 소프트웨어인 AMESim을 사용하여 진행한다.

주요어 : EHA, 열유동, 바이패스 밸브, 열부하 해석, 아메심

1. 서 론

항공기에 장착되는 부품들은 타 기계에 사용되는 부품보다 훨씬 더 높은 수준의 안정성과 뛰어난 제어성능을 갖춰야 한다. 특히 항공기 날개의 움직임에 결정하는 액

추에이터는 탑승자의 생명을 좌우한다 해도 과언이 아니다. 빠른 속도로 운항되는 항공기의 날개는 바람에 의하여 상시 큰 반력을 받고 있기 때문에, 이를 원활하게 제어하기 위해서는 강인한 내구성과 높은 동력전달 성능을 자랑하는 유압시스템의 적용이 필요하다(Jang, 2011a, 2011b).

현재 항공기에 사용되는 유압부품들은 대규모의 중앙 집중식 유압구동장치를 사용하고 있으나, 항공기 내부의 공간 활용 면에서 상당히 효율이 떨어진다. 특히 유압펌프로부터 실린더까지의 물리적인 거리차이로 인하여 긴 배관이 들어가기 때문에 밸브와 같은 유압부품이 소형화 되어도 전체 유압시스템의 체적은 매우 큰 편이다. 이러한 기술적인 한계를 극복하기 위해서는 유압 모터, BLDC (brushless dc)형 고속 서보 모터, 축압기, 각종 보조 밸브,

접수일(2014년 4월 5일), 심사일(2014년 5월 8일),

게재 확정일(2014년 6월 3일)

¹⁾ 가천대학교 대학원 기계공학과

²⁾ J&F Solution

³⁾ 한화 테크엠(주)

⁴⁾ 국방과학연구소

⁵⁾ 가천대학교 기계공학과

주 저 자 : 노대경

교신저자 : 장주섭

E-mail: jjsl@gachon.ac.kr

유압 실린더가 하나로 집적되어 외부 유압 공급 없이 전기신호의 입력만으로 유압 실린더의 변위가 제어 가능 한 통합형 작동기가 필요하며, 이를 EHA(Electro Hydrostatic Actuator)라고 한다(Lee et al., 2011; Park et al., 2009; Jung, 2011). 중앙 집중식 유압구동장치는 작동유의 유동이 긴 배관을 통해 이루어지기 때문에 어느 정도 자연냉각이 작용한다. 때문에 유온의 급격한 상승을 예방할 수 있으며 동점도의 하락으로 인하여 기대성능이 떨어지는 것을 막아준다. 하지만 EHA는 중앙 집중식에 비해 유압 시스템이 집약되어 있어서 유온의 상승이 더 빠른 시간에 이루어진다. 유온의 상승은 EHA에 누설을 야기하며 기대성능과 내구성을 하락시키는 주원인이기 때문에 설계 시 중요히 고려해야하는 요소이다. 하지만 국내의 많은 연구진들은 이러한 유온의 상승을 고려하지 않고 EHA의 제어에 관한 연구에 초점을 맞춰왔다(Kwon et al., 2013; Park et al., 2011).

본 논문은 EHA의 열유동 해석모델을 개발하여 부하조건 변화에 따른 유온상승 시간을 알아보고 동작시간을 제한하는데 궁극적인 목적이 있다. 사용된 해석도구는 상용 소프트웨어인 AMESim이다.

2. 유압 단품 해석모델 개발 및 검증

해석의 대상이 되는 EHA의 유압회로도에는 Fig. 1과 같다. 폐회로에서 발생할 수 있는 누유로 인한 성능저하를

Fig. 1. EHA hydraulic circuit

방지하기 위하여 어큐레이터를 설치하였으며, 펌프와 BLDC모터를 각각 2대씩 배치하였다. 이러한 설계는 두 개의 펌프중 하나가 작동하지 않아도 액추에이터는 동작이 가능하게 하여 안전을 최우선으로 한 설계이다.

유압회로도를 구성하는 각각의 유압부품들의 신뢰성이 확보가 되어야 전체 시스템 해석이 의미를 갖기 때문에 반드시 각각의 구성요소가 잘 모델링 되었는지 확인해야 한다. 특히 EHA는 열유동 해석이 포함되기 때문에 우선 온도를 고려하지 않은 단순 유압 해석모델에서 열유동이 포함된 해석모델로 확장해 나가야 한다(Yoon et al., 2011).

아래는 EHA를 구성하는 부품 중 몇 가지의 단품해석 모델 예시이다.

2.1 유압펌프 모델링

유압펌프는 고정 사판식 피스톤 펌프로 3.11cc/rev의 용적을 가진 펌프로 토출압력 및 회전수에 따른 가변 용적 효율 모델은 Fig. 2와 같다. 회전 방향에 따른 누설 특성을 반영한 모델로 펌프 회전 방향에 따라 B port 또는 A port 유량 토출 및 누설을 고려하여 모델링하였다.

Fig. 3과 같이 토출압력과 회전수에 따른 유량누설을 Map 형태로 설정이 가능하다. 실제 시스템과 같이 용적

Fig. 2. The simulation model for the pump that can control volumetric efficiency

pumpLeak.txt - 메모장

파일(F)	편집(E)	서식(O)	보기(V)	도움말(H)
회전수(11개)				
0	500	1000	1500	2000
0	2500	3000	3500	4000
0	4500	5000		
토출 압력(6개)				
0	0.01	0.03	0.04	0.15
0	0.02	0.05	0.09	0.15
0	0.02	0.06	0.12	0.19
0	0.03	0.08	0.14	0.22
0	0.04	0.09	0.16	0.25
0	0.05	0.11	0.18	0.28
0	0.19	0.28	0.38	0.50
0	0.23	0.33	0.43	0.56
0	0.27	0.37	0.49	0.62
0	0.31	0.42	0.54	0.68
0	0.35	0.46	0.59	0.74
0	0.38	0.51	0.64	0.80
0	0.46	0.60	0.76	0.93
0	0.59	0.77	0.97	1.07
0	0.78	1.00	1.15	

Fig. 3. The leak flow map according to discharge pressure and rotation speed

Fig. 4. The analysis result of hydraulic pump with applied volumetric efficiency map

Fig. 5. The characteristic of an electric motor

Fig. 6. Electric motor modeling based on specification

효율은 토출 압력과 회전수에 따라 가변되는 특성을 반영한 모델이다.

Fig. 4는 효율 Map에 따른 해석 결과로 펌프 내부 누설 Max. 0.96L/min 사양을 해석 모델에 반영한 결과이다. 전기 모터의 경우 T(토크)-N(회전속도)선도를 이용한 모델링이 가능하다.

Fig. 7. The analysis result of an electric motor

Fig. 8. Bypass valve's position in EHA hydraulic circuit

Fig. 5는 전기 모터의 사양이며 전기모터 사양을 이용한 모델링은 Fig. 6과 같다. T-N 선도 사양을 이용하여 모델링 하였으며, 함수 처리를 통해 토크에 대한 전류 사양도 표현 가능하다.

Fig. 7은 해석 결과로 전기모터 사양과 동일한 것을 알 수 있다.

2.2 바이패스 밸브 모델링

Fig. 8은 바이패스 밸브를 사용한 EHA 유압회로도로서 중립 조건에서 바이패스가 되어 토출된 펌프 유량은 무부하로 순환된다. 즉, EHA 액추에이터의 연결포트들은 바이패스 밸브에 의해 개도되는 구조이다. EHA 동작 시에 제어 입력에 의해 바이패스 밸브가 스위칭되어 EHA 액추에이터 연결포트에 압력을 공급 또는 배출하게 된다.

바이패스 밸브는 4포트 2위치 PT, AB 접속형 밸브로 특수한 형태의 유로를 가진 밸브로 해석도구 내의 유압

Fig. 9. Thermal hydraulic modeling

(a) The analysis result of Hydraulic module

(b) The analysis result of thermal hydraulic module

Fig. 10. Hydraulic model and Thermal hydraulic model analysis result comparison

모듈에서는 제공하지만 열·유압 모듈에서는 4포트 2위치 PT, AB 접속형 밸브 라이브러리를 제공하지 않는 문제가 있다. 따라서 4포트 2위치 PT, AB 접속형 밸브를 논리적인 타당성을 만족하는 밸브로 커스터마이징(Customize) 할 필요가 있다.

Fig. 9는 4포트 2위치 PT, AB 접속형 밸브를 열·유압 라이브러리를 이용하여 논리적인 타당성을 만족하는 밸브로 커스터마이징한 모델링이다.

Fig. 10은 해석 결과로 유압 모듈에서 제공한 라이브러리 결과와 열·유압 모듈을 이용하여 커스터마이징한 해석 결과가 동일한 것을 확인하였다.

3. EHA 유압 시스템 해석모델 개발

앞에서 개발한 단품 모델을 이용하여 EHA 시스템에 대한 모델링을 수행하였다.

Fig. 11은 유압 라이브러리를 이용한 모델링과 열·유압 라이브러리를 이용한 모델링을 비교한 것이다. 열·유압 라이브러리는 기본 유압 라이브러리를 확장한 것이다. 그러므로 순수 유압 관점에서 압력, 유량(실린더 속도) 등 기본 물리량에 대한 성능을 확인 후 열을 고려한 유압시스

Fig. 11. Comparison between hydraulic modeling and thermal hydraulic modeling

템으로 확장하여 상호 비교를 통해 해석모델의 신뢰성을 확보 할 필요가 있다.

Fig. 12. Hydraulic model and Thermal hydraulic model analysis result comparison

Fig. 13. Completed analysis model

3.1 일반 유압해석모델과의 비교

유압회로 관점에서 밸브들은 작동유의 흐름을 방해하는 저항체로 볼 수 있다. 저항에 의하여 압력강하가 발생하고 이로 인해 온도가 변화하게 된다. 현재 개발 중인 EHA의 실린더 부는 기본사양만 정해져있고 도면이 작도되지 않은 상황이다. 그렇기 때문에 해석모델 역시 실린더에 공차가 반영되지 않아서 실린더 내부 누유 증가로 인한 제어성능의 저하는 볼 수 없다. 즉, 일반유압 해석모델과 열유동이 포함된 해석모델은 온도변화를 제외한 기본 동특성이 아주 흡사하게 나와야 물리적으로 타당성을 갖는다. Fig. 12는 해석 결과를 비교한 것으로 유압 라이브러리를 이용한 해석 결과와 열-유압 라이브러리를 이용한 해석 결과가 거의 동일한 것을 볼 수 있다.

3.2 열 부하 해석

열 부하 해석을 위해 제어 부를 확장하였으며, 완성된 해석모델은 Fig. 13과 같다. 이 해석모델에 4in/s 사인파 형태의 입력신호를 주고 부하의 크기와 초기온도를 가감해가며 온도의 상승 시간을 검토하였고, 그로부터 얻은 열부하 해석의 지배그래프는 Fig. 14와 같다. 여기서 135°C를 기준으로 삼은 이유는 작동유 유온의 권장사용영역의

Fig. 14. The master graph using thermal-load analysis about EHA system

한계점이기 때문이다. 이 그래프는 향후 EHA의 외기온도와 부하변동에 따른 동작시간 설정에 기준이 되는 그래프로 활용이 가능하다.

4. 결 론

본 논문에서는 시제품 제작 이전 단계에서 EHA의 기본성능을 검토할 수 있는 해석모델을 개발하였고, 열유동 해석모델로 확장하여 기본 유압 해석모델과의 비교를 통해 신뢰성을 확보하였다. 신뢰성이 확보된 열유동 해석모델을 활용하여 부하조건과 초기온도를 변화시켜가며 작동유 권장사용영역의 한계 유온인 135℃에 도달하는 시간을 해석했다. 그리고 수합된 해석데이터를 바탕으로 EHA의 열부하 특성을 하나의 지배그래프로 나타내었다.

향후 시제품을 제작하여 열부하 시험을 수행할 필요가 있으며, 이로부터 얻은 시험 데이터와 해석결과를 비교하여 열유동 해석모델을 시험결과와 근접한 수준으로 튜닝해야 한다. 최종적으로 시험결과와 매칭(matching)된 EHA 열유동 해석 모델을 이용하여 EHA 운전 조건에 대한 다양한 동적 특성 등을 분석해야하며 EHA 구성 유압부품 및 회로 최적화 설계에 대한 추가 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 2012년 핵심기술(응용연구) 개발 사업의 지원을 받아 한화테크엠(주)에서 수행하는 “Electro-Hydrostatic 액츄에이터 개발(응용연구)” 과제로 수행된 것입니다.

References

1. J. S. Jang., “Development of Analysis Model for Characteristic Study of Fluid Power System in Injection Molding Machine”, journal of Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, KSFC, vol.8 No.4 pp.1-8, 2011.
2. J. S. Jang., “Characteristics Analysis of the Fluid Power System for a Double-color Injection Molding Machine Development”, journal of Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, KSFC, vol.8 No.4 pp.24-31, 2011.
3. Y. C. Kwon. and Y. S. Hong., “Hybrid control of the swash plate-type variable displacement hydraulic piston pump for an EHA”, journal of Korean Society for Aeronautical Sciences, KSAS, vol.41 No.4 pp.291-298, 2013.
4. Y. H. Park. and S. H. Park., “Identification and Control of Position Control System for Electro-Hydraulic Actuator (EHA)”, journal of Korean Society for Power System Engineering, KSPSE, vol.15 No.2 pp.69-77, 2011.
5. J. M. Lee., S. H. Park., M. G. Park. and J. S. Kim., “A Position Control of EHA Systems using Adaptive PID Sliding Mode Control Scheme”, journal of Korean Society for Power System Engineering, KSPSE, vol.17 No.4 pp.120-130, 2011.
6. S. H. Park., “Characteristics of an Electro Hydrostatic Actuator and Application Fields”, journal of Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, KSFC, vol.6 No.1 pp.2-10, 2009.
7. G. H. Jung., “Start and Stop Characteristics of Single-Rod Electro-Hydrostatic Actuator”, journal of Korea Society of Mechanical Engineers, KSME, A vol.35 No.11 pp.1483-1490, 2011.
8. Y. H. Yoon., J. S. Jang. and Y. S. Lim., “Analysis Model Development for Hydraulic Component and System Design”, journal of Korea Society of Fluid Power & Construction Equipments, KSFC, vol.9 No.1 pp.56-69, 2012.

노 대 경 (nointown@hanmail.net)

2012 가천대학교 기계자동차공학과 공학사
2014 가천대학교 기계공학과 공학석사
2014~현재 가천대학교 기계공학과 박사과정

관심분야 : 건설기계 및 산업기계의 유압계통 동역학 모델링&시뮬레이션

윤 영 환 (jnfsolution@gmail.com)

1989 부산대학교 기계공학과 공학사
1991 부산대학교 기계공학과 공학석사
2002 경희대학교 기계공학과 공학박사
1990~1999 만도기계 중앙연구소 선임연구원
1999~2010 신호시스템 상무이사
2010~현재 제이엔에프솔루션 대표

관심분야 : Multi-Domain S/W를 이용한 모델링 및 시뮬레이션, MIL/SIL/HIL/EIL 솔루션 개발

김 대 현 (bluedh@hanwha.com)

1997 경희대학교 기계공학과 공학사
2002 경희대학교 기계공학과 공학석사
2002~2003 한국원자력연구소 연구원
2003~2012 (주)한화 방산사업부 선임연구원
2012~현재 한화테크엠(주) 항공우주연구소 선임연구원

관심분야 : 항공용 유압계통 및 비행조종구동장치 설계와 모델링 및 시뮬레이션

김 상 석 (hirocks@hanwha.com)

2004 전남대학교 기계공학과 공학사
2009 과학기술연합대학원 기능형로봇공학 공학석사
2007~2009 한국생산기술연구원 연구원
2009~2012 (주)한화 방산사업부 연구원
2012~현재 한화테크엠(주) 항공우주연구소 선임연구원

관심분야 : 항공용 유압계통 및 비행조종구동장치 설계와 모델링 및 시뮬레이션

김 상 범 (ksb863@hanwha.com)

1994 한국항공대학교 항공기계공학과 공학사
1994~2012 (주)한화 방산사업부 책임연구원
2012~현재 한화테크엠(주) 항공우주연구소 수석연구원

관심분야 : 항공용 유압계통 및 비행조종구동장치 설계와 모델링 및 시뮬레이션

박 상 준 (sjparksj@hanwha.com)

1989 인하대학교 기계공학과 공학사
1989~2012 (주)한화 방산사업부 항공우주/기계연구소 연구실장
2012~현재 한화테크엠(주) 항공우주연구소 연구소장

관심분야 : 항공용 Sub-system 및 세부계통 구성품 개발

최 관 호 (khchoi@add.re.kr)

1986 연세대학교 토목공학과 공학사
1988 North Carolina State University 기계공학과 공학석사
1992 North Carolina State University 기계공학과 공학박사
1992~현재 국방과학연구소

관심분야 : 항공 무장시스템 및 세부계통 개발

장 주 섭 (jjs1@gachon.ac.kr)

1987 경희대학교 기계공학과 공학사
1989 경희대학교 기계공학과 공학석사
2000 경희대학교 기계공학과 공학박사
1988~1996 만도기계 중앙연구소 선임연구원
1996~현재 가천대학교 기계공학과 교수

관심분야 : 자동차 및 건설기계 부분의 유압장치의 액추에이터 설계와 모델링&시뮬레이션