

RecurDyn을 활용한 가속도추종 유로개방장치 해석

정성민^{a,*} · 김영신^b · 박정배^a · 전필선^b

Analysis of a Flow Passage Opening Device using RecurDyn

Sungmin Jung^{a,*} · Young Shin Kim^b · Jeong-Bae Park^a · Pil Sun Jun^b^aAdvanced Propulsion Technology Center, 4th R&D Institute, Agency for Defense Development, Korea^bAerospace R&D Center, Hanwha TechM, Korea*Corresponding author. E-mail: mannerjsm@add.re.kr

ABSTRACT

A special part such as a flow passage opening device is required to prevent the disconnection of fuel transfer in a pressurized fuel tank. To meet this requirement, the device utilizing an acceleration follow-up technique was invented. RecurDyn, a dynamic analysis tool, is introduced in this article to predict the device's performance and to determine parameters affecting it. In the analysis, it is shown that balancing weights can open the passage in accordance with fuel position.

초 록

항공기 또는 유도무기와 같은 고속 비행체의 가압식 연료탱크에는 연료가 한 방향으로 몰려 이송이 단절되는 것을 방지하기 위해 특별한 유로개방장치가 필요하다. 이러한 필요에 의해 가속도추종 방식의 유로개방장치가 발명되었으며 본 논문에서는 이 장치의 구동성능을 예측하고 성능에 영향을 미치는 주요 파라미터의 선정을 위해 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 이용해 해석을 수행하였다. 해석 결과를 통해 장치의 내부 균형추가 연료의 쏠림을 잘 추종해 유로를 개방시키는 것을 확인하였다.

Key Words: Pressurized Fuel Tank(가압식 연료탱크), Acceleration Follow-up(가속도추종), Flow Passage Opening Device(유로개방장치), RecurDyn(리커다인)

1. 서 론

항공기와 유도무기의 가압식 연료탱크는 비행 중 연료의 단절을 방지하기 위해 연료탱크 내부의 구획을 나누고 각 구획별로 지속적인 연료이송을 위한 구성품을 배치한다[1].

비행체의 자세에 따라 탱크 내의 연료가 한쪽으로 쏠리는 현상이 나타나는데 이 때 능동적으로 입구를 개방하여 단절 없는 연료이송이 가능

Received 13 December 2013 / Revised 1 May 2014 / Accepted 8 May 2014

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2013년도 추계학술대회(2013. 12. 4-5, 경주 현대호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

한 유로개방장치가 개발되었다[2,4].

이 논문에서는 개발된 유로개방장치의 역 중력상태에서의 구동성능 예측 및 성능에 영향을 미치는 주요 설계 파라미터의 선정을 위하여 동역학 해석 상용프로그램인 RecurDyn을 사용하여 해석을 수행하였다.

유로개방장치의 성능확인을 위해 개발된 지상 시험장치[3]의 운용 프로파일을 해석에 적용하여 유로개방장치의 작동 시점 및 성능 등을 해석하였으며, 유로개방장치의 사이즈, 가속도 방향에 따라 회전하는 무게추들을 연결하는 힌지의 위치변화에 대한 성능인자의 영향을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 연료이송 방식 및 유로개방장치의 기능

다수의 연료탱크로 구성된 연료시스템에서 각 탱크 간 연료이송 방식은 크게 중력식, 가압식, 그리고 펌프 이송 식으로 나뉜다. 본 연구는 가압식 연료이송 시스템(Fig. 1)안의 부품중 하나인 유로개방장치에 관한 것이다. 이 장치는 중량물 모멘텀을 활용하여 어떠한 비행자세와 Negative g 구간에서도 연료가 단절되지 않고 이송 가능하고 가압 시 유입되는 가스를 최대한 차단시키도록 개발되었다.

2.2 설계 형상 및 부품

Fig. 2에 유로개방장치의 주요 부품들 형상이 잘 나타나있다. 단절 없는 연료의 이송을 위하여 유로개방장치는 총 4개의 입구를 가지고 있다 (Fig. 3의 왼쪽 통로, 위·아래·좌·우로 4개의 입구 배치). 각 입구는 연료탱크에 90도 간격으로 배치된 배관과 연결되어 있는데 기체의 자세와 상관없이 항상 1개에서 2개의 입구는 연료가 흐를 수 있는 구조이다.

조립된 유로개방장치의 내부 형상은 Fig. 3과 같다. 해석에 큰 영향을 미치지 않는 볼트, 중심 부싱, 핀 등은 생략되었다. 그리고 해석의 용이함을 위해 볼베어링 대신 지지대의 볼록한 부분이 그 기능을 대체하도록 하였다.

내부에 장착된 균형추들은 중력가속도 g 방향에 따라, 즉 연료의 쏠림을 추종해 움직이고 이 균형추와 연결된 차단판이 회전하면서 그것의 개구부를 통해 연료가 흐른다.

하우징(Housing)은 다른 구성품들이 장착되는 공간을 제공한다. 지지대(Supporter)는 대형 균형추와 일체형으로 조립되어 하우징 안에서 독립적으로 회전하는 부품이다. 주요 구성품인 디스크(Disk)는 액체 연료가 유로개방장치 안으로 들어올 수 있는 입구를 형성한다. 디스크에 밀착된 차단판(Shutter)은 하나의 개방된 통로를 통해 연료만 유입이 가능하도록 하고 가스는 차단하는 역할을 하며, 균형추들(Weights)은 중력가속도에 따라 차단판을 회전하기 위한 토크를 발생시킨다. 힌지들은 대형 균형추와 소형 균형추를 연결하고 회전 운동을 전달한다.

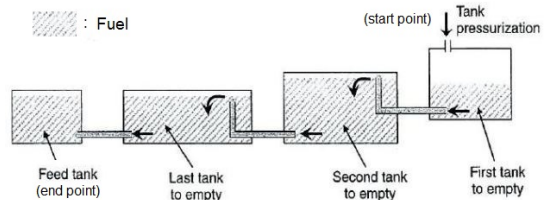


Fig. 1 Pressurized fuel transfer system.

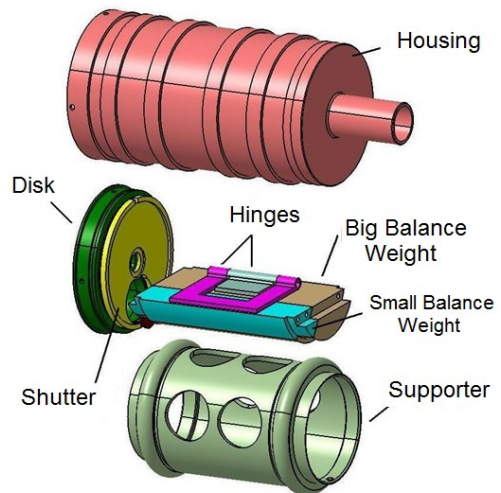


Fig. 2 Main parts of a flow passage opening device.

2.3 RecurDyn을 이용한 구동 해석

RecurDyn에서 구동 해석을 하기 위해서 먼저 CATIA를 이용해 각 부품들을 설계하고 조립하였다.

Fig. 4는 RecurDyn에서 CATIA로부터 장치의 3D 형상을 불러온 모습이다. 해석 시 장치의 운용조건은 0초부터 가속도 1.5 g , 즉 14715 mm/s^2 로 수평 진행하다가 1초가 지난 다음 90도의 각도로 세워진다고 가정하였다[3]. 이때 장치가 세워짐으로써 Negative g의 영향을 받는 것과 같은 효과를 가진다. 실제 원심가속기로 이러한 동작을 모사할 수 있다.

CATIA에서와는 달리 RecurDyn에서는 장치의 이동과 회전 중심 역할을 하는 Center Body라는 가상의 부품이 필요하다. Fig. 5에는 Center Body의 형태가 나타나 있다. 이 가상의 부품은 중심점 역할만 할 뿐 전체 장치에 무게를 더하거나 움직임에 방해가 되지 않는다.

주요 부품의 소재 특성은 다음과 같이 정하였다. Fig. 6에 Center Body의 소재 특성을 변경한 예가 나와 있다. Center Body의 Density를 충분히 작은 값인 $7.85e-010$ 으로 수정해주었다. 비슷한 방식으로 균형추들의 Density도 실제 소재값을 적용하였다.

다음은 부품들 간의 간섭과 작용을 명확히 해주는 'Joint', 'Force', 'Contact' 설정을 하여야 한다. 먼저 Fixed 설정은 Professional - Joint - General - Fixed를 선택하고 고정할 두 개의 부품을 지정해준다. 이렇게 하우징과 디스크, 지지대와 대형 균형추, 회전편과 대형 균형추, 대형 균형추와 그것의 힌지, 그리고 소형 균형추와 그것의 힌지를 Fixed 설정한다. Fig. 7에 설정 후의 모습이 나타나 있다.

디스크와 차단판은 Joint - Cylindrical 설정을 해준다. Fig. 8과 같이 Professional - Joint - General - Cylindrical을 선택 후 디스크와 차단판의 중심점을 선택하면 완성된다.

다음은 Ground와 Center Body 간의 Joint - Translate 설정이다. 이것은 장치가 1.5 g 의 가속도로 날아가는 것을 표현하기 위한 것이다. 이전과 비슷한 방법으로 Professional - Joint -

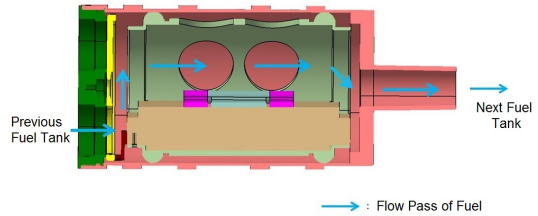


Fig. 3 A cross-sectional view of flow passage opening device.

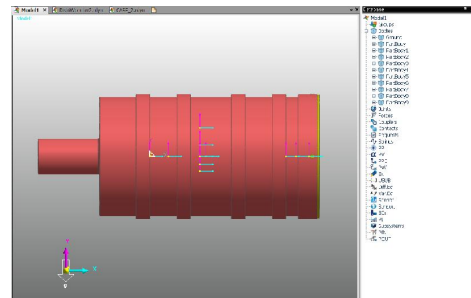


Fig. 4 3D design in recurDyn imported from CATIA.

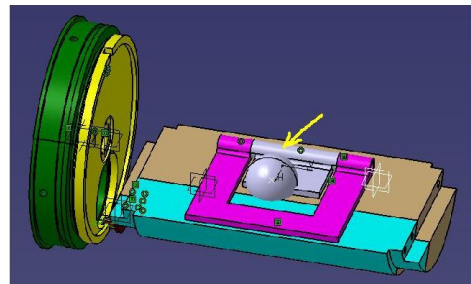


Fig. 5 Center body.

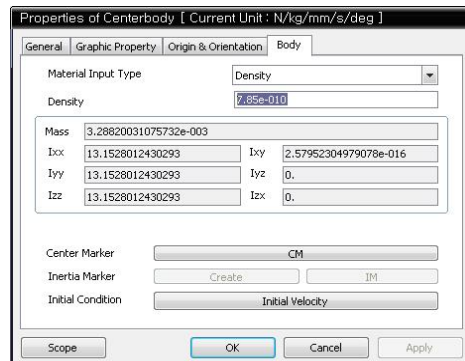


Fig. 6 Material property of center body.

General - Translate를 선택 후 Center Body의 중심점을 클릭한다. Translate는 Motion값을 입력해 주어야 하는데 Property - Joint - Motion - Expression List(EL)로 들어가서 가속도값 14715를 입력하고 OK버튼을 클릭해 설정을 끝낸다.

Joint안에서 마지막으로 해주어야 할 것은 Revolute 설정이다. 힌지1과 힌지2, 하우징과 지지대, Center Body와 하우징, 이렇게 세 종류의 Revolute 설정이 필요하다. 'Professional' - 'Joint' - 'General' - 'Revolute' 선택 후 두 부품을 지정해주면 된다. Center Body와 하우징 간의 설정은 구동 해석 시에 장치가 90도의 각도로 일어서는 동작을 주기 위한 것으로 Motion값을 입력해야 한다. Motion값의 입력은 이전의 Translate설정때와 비슷하며 step(time, 1, 0d, 1.8, 90d) 입력 하면 된다. Fig. 9은 Center Body와 하우징 간의 Revolute 설정을 보여준다.

Joint 설정이 끝나면, 다음은 Force 설정을 할 차례이다. 차단판과 디스크 사이의 Translational Force가 그것인데 'Professional' - 'Force' - 'General' - 'Tra. Force'를 선택한 후 차단판과 디스크의 접촉면을 지정해주면 된다. Force의 값은 -14.71을 입력한다.

Force 설정까지 마쳤다면 이제 Contacts 설정만이 남았다. 이 설정을 할 부품들의 세트는 지지대와 소형 균형추, 디스크와 차단판, 회전판과 차단판, 지지대와 하우징 이렇게 4쌍이다. 'Professional' - 'Contact' - 'ESur-Sur'를 선택 후 각 부품의 접촉면을 지정해 주면 된다. 그리고 Property의 Characteristic 탭을 보면 Spring Coefficient, Damping Coefficient, Dynamic Friction Coefficient 등을 지정해 줄 수 있는 옵션들이 나오는데 이것들 또한 부품들이 간섭이 나 오류 없이 구동되는 최적값을 찾아 입력한다.

여기까지가 RecurDyn에서 해석하기 전에 설정해줘야 할 설정들이다. 해석을 하기 위해서는 'Analysis' - 'Simulation Type' - 'Dyn/Kin'을 선택한다. 그러면 창이 하나 나타나는데 여기서 'End Time'에 '6', 'Step'에 '600'을 입력하고 'Simulate' 버튼을 클릭한다.

본 논문에서 해석의 결과는 유로개방장치의

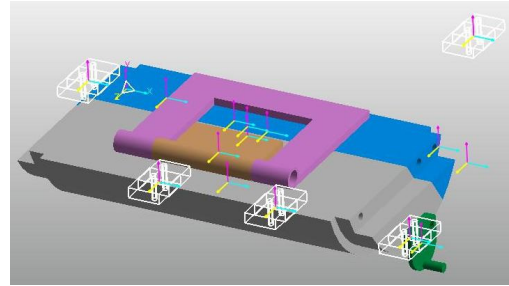


Fig. 7 All Fixed-joint setups.

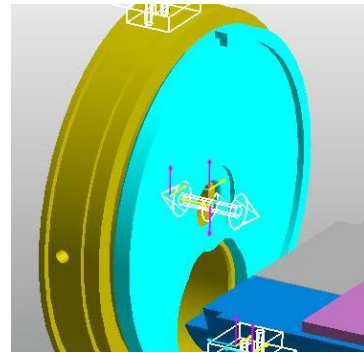


Fig. 8 Cylindrical-joint setup.

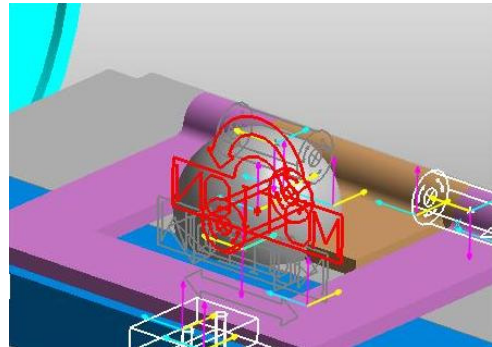


Fig. 9 Revolute-joint setup of center body and housing.

균형추가 연료의 쓸림에 쫓아 회전할 것이라고 예상했던 것과 상당히 일치하였으며, 그 내용은 다음과 같다. 0초에서 1초까지 1.5 g의 가속도로 수평 비행하다가 1초 이후에는 빠르게 90도 각도로 일어서기 시작한다. 1.5초에 장치가 일어서면서 소형 균형추와 대형 균형추의 무게의 차이로 인해 서로 분리되었다가, 대형추가 시계방향

으로 회전하고 소형추가 대형추를 따라 크게 돌면서 2초쯤에는 다시 만나게 된다. 그 후로 3초까지 약 1초간 약간의 진동이 있은 후 부품들이 멈추고 안정화 된다. Fig. 10에 유로개방장치의 구동 과정이 그림으로 나타나 있다.

해석을 마치고 여러 가지 서로 다른 조건에 대해 비교 분석을 수행하였다. 먼저 힌지의 위치에 따른 성능 변화를 비교해보았는데 Fig. 11에 보이는 Case 1은 앞의 해석 과정에서 보았던 힌지의 기본 위치이고, Case 2는 힌지의 위치를 극단적으로 옮겨놓은 경우이다. 그리고 Fig. 12는 성능 비교 그래프인데 x축은 시간(초)이고 y축은 지지대가 회전한 각도를 나타낸다. 지지대가 빨리 반응하고 빨리 안정화될수록 연료의 단절이 없는 성능이 좋은 장치라 할 수 있다. 위치가 극단적으로 옮겨진 경우 기존의 경우보다 반응 속도도 느리고 안정화되는 것도 느리다. 따라서 Case 1의 힌지 위치가 Case 2의 그것보다 장치의 성능을 향상시킨다는 결론을 내릴 수 있다.

다음은 장치의 전체 크기 비율이 달라질 경우의 장치 구동의 차이를 알아보았다. 기존 사이즈의 장치와 그것의 70% 크기로 줄어든 장치를 비교해 보았는데 Fig. 13를 통해서 알 수 있듯이 작은 장치의 경우 회전 시작 시간이 많이 느리지만 덜 진동하여 빨리 안정화된다. 이것은 부품간 마찰 면적의 변화나 균형추들의 무게 차이 등으로 인해 생기는 차이로 보여진다.

Fig. 14는 실제 원심가속기를 이용해 유로개방장치에 Negative g를 인가했을 때 장치가 동작하는 형태를 보여준다. 이 시험은 Negative g 상황에서 장치의 작동 유무만 확인한 것으로 해석과 정량적으로 비교하기는 쉽지 않다. 하지만 작동하는 메커니즘, 즉 소형추와 대형추가 분리된 후 대형추가 편심된 방향으로 회전하면 소형추가 대형추를 따라 움직이는 동작특성은 해석과 실제 시험이 상당히 유사하게 나타났다.

3. 결 론

본 논문은 고속 유도무기 연료이송계통의 부

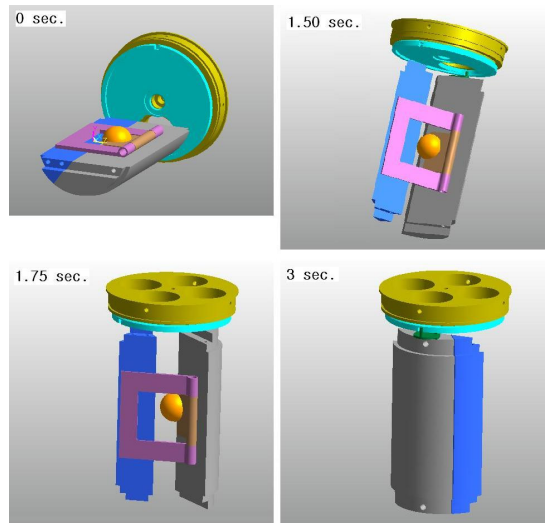


Fig. 10 Simulation of the device's motion.

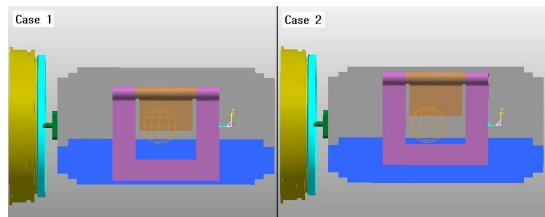


Fig. 11 Two different positions of hinge.

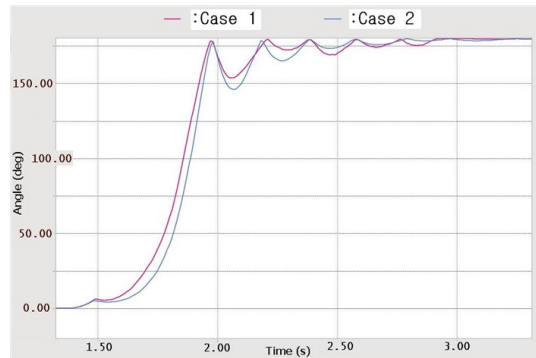


Fig. 12 Performance graphs of two hinge positions.

품인 유로개방장치의 실제 구동에 관한 동역학적 해석에 초점을 두었다. 장치의 기능과 부품들에 관해 간략히 기술하였고, RecurDyn을 이용해 해석하는 과정을 주로 설명하였다. 시뮬레이션 결과는 -g의 조건에서 소형 균형추와 대형 균

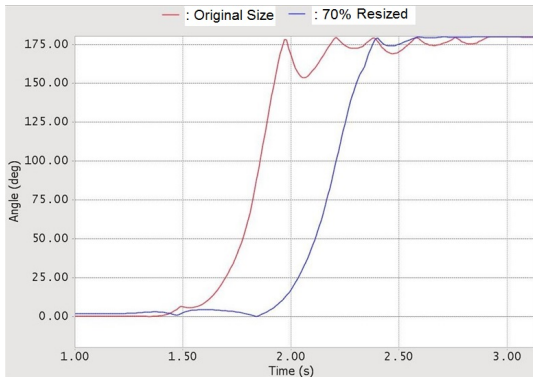


Fig. 13 Performance graphs of two scales of the device.

형추가 어떻게 작동하는지 보여주었고 그에 따른 유로의 개방을 확인할 수 있었다. 장치의 부품 중 하나인 힌지의 위치에 따른 영향을 비교하였으며 차이는 미미하지만 파악할 수 있었다. 장치 사이즈에 따른 영향 또한 비교하였는데 사이즈가 작아질 경우 응답속도가 느린 특징이 나타났다. 위와 같은 시뮬레이션을 바탕으로 실제 유로개방장치를 제작해 구동이 정확히 이루어지는지 확인하고 비교해 볼 필요가 있겠다. 본 논문의 해석 결과를 통해 RecurDyn 프로그램이 실제 제작 및 시험 전에 시간과 비용을 절약할 수 있는 유용한 도구가 될 수 있을 것이라는 결론을 내릴 수 있었다.

References

1. Langton, R., Clark, C., Hewitt, M. and Richards, L., "Aircraft Fuel System," John Wiley & Sons. Inc., 1989.
2. Park, J.B., Min, S.K. and Kim, Y.S., "Omnidirectional Fluid Valve and a Fuel Feeding Apparatus Applied with The Same, Capable of Continuously and Stably Feeding Fuel with a Fuel Tank Regardless of The Posture Variation of a Flight System," Patent, ADD, #10-1295319, 2013.
3. Park, J.B., "Valve Test Module, Capable of Performing a Performance Test With Reliability without a Practical Flight Test in a Ground, and a Gravity Follow Testing Device Applied to Thereof," Patent, ADD, #10-1295320, 2013.
4. Park, J.B., Min, S.K., Kim, Y.S. and Park, B.K., "Development of Flow Path Opening Device using Weight Momentum," 2012 Conference of the Korea Institute of Military Science and Technology, PP. 1875-1878, 2012.

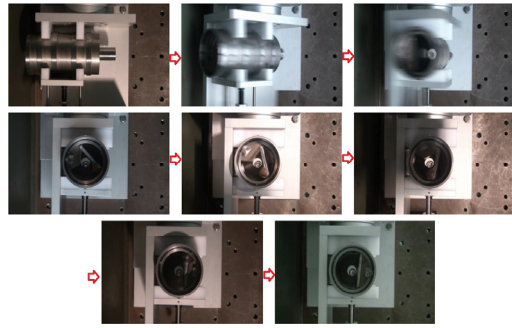


Fig. 14 A photo of the device's motion in negative g situation.