

이원추진제 추진시스템의 배관망에 대한 비정상 마찰을 고려한 과도기유체 해석

채 종 원,^{*1} 한 조 영,² 김정 훈,² 전 형 열²

A FLUID TRANSIENT ANALYSIS ON THE PIPE NETWORK OF BIROPELLANT PROPULSION SYSTEM WITH AN UNSTEADY FRICTION

Jongwon Chae,^{*1} Cho Young Han,² Jung-Hoon Kim² and Hyoung Yoll Jun²

A fluid transient analysis on the pipe network of bipropellant propulsion system is conducted through numerical parametric studies in which unsteady friction results are compared with quasi-steady friction results and also show the pressure drop results during the liquid apogee engine firing. The fluid transient analysis program has verified through comparing with the original Zielke model, the full and recursive convolution model and quasi-steady model as a reference. And the pressure drop program also has verified through comparing with results of the well-known program, EPANET2. The bipropellant propulsion system has two different fluids as fuel and oxidizer, and mostly they are hypergolic combination so that the valve opening and closing of the thrusters, that cause the pressure waves, shall take place simultaneously to get proper performance. The different physical properties of the fuel and oxidizer result in the different responsive to the same valve opening and closing. The response results may be helpful to know the characteristics of the bipropellant propulsion system and design it.

Key Words : 이원추진제 추진시스템(Bipropellant Propulsion System), 과도기 유체 해석(Fluid Transient Analysis)

1. 서 론

물성치가 서로 다른 이원추진제와 비정상 마찰을 고려한 과도기 유체해석을 참고문헌의 모델에 적용하여 밸브의 개폐에 따라 만들어지는 압력진폭의 특성(최대 진폭과 주기)을 파악하며, 정상상태 유체해석을 이원추진제 추진시스템의 배관망에 적용하여 추진제 탱크부터 액체원지점엔진까지 압력강하량을 예측하는 것이다.

통신해양기상위성(천리안위성)은 국내 최초로 개발되는 3축 안정화 정지궤도위성이며, 중량 면에서 중간크기의 위성으로 분류할 수 있다. 2010년 5월말에 발사를 예정하고 있다. 통신해양기상위성의 목적은 기상영상기(MI, Meteorological Imager: 5 channels)가 스캔한 기상영상과 정

지궤도 해양컬러영상기(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager: 8 channels)가 스캔한 해양 컬러영상자료를 제공하며, ETRI가 개발한 Ka 밴드 통신서비스를 제공하는 것이다. 통신해양기상위성의 목표 중량은 약 2500 kg 이고, 전력은 3 kW이다. 통신해양기상위성의 임무수명은 7 년이다.

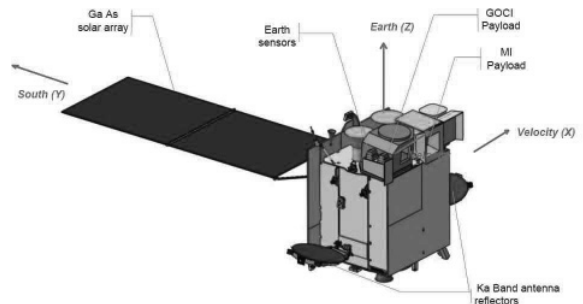


Fig. 1 COMS Overall Configuration [1, 2]

1 종신회원, 한국항공우주연구원

2 정회원, 한국항공우주연구원

* Corresponding author, E-mail: firstbel@kari.re.kr

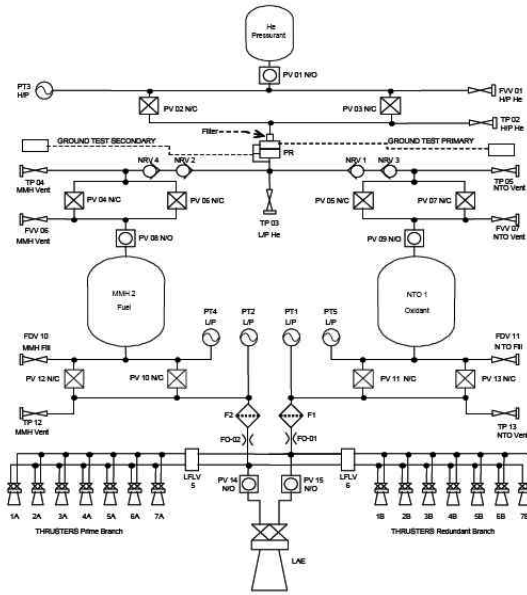


Fig. 2 COMS CPS Schematic [5, 6]

Fig. 1에 통신해양기상위성의 전체적인 구성도, 주요 탑재체(기상영상기, 해양칼러영상기, Ka밴드 안테나)와 단일 GaAs 태양전지판, 지구센서를 보여주고 있다[1, 2].

통신해양기상위성은 이원추진제 추진시스템을 사용하고 있다. 가압제로는 헬륨(Helium)을, 연료는 MMH (Monomethyl-Hydrazine, CH₃NHNH₂)를, 산화제는 NTO (Nitrogen Tetroxide, N₂O₄)를 각각 사용하고 있다. Fig. 2에 통신해양기상위성의 추진시스템 구성도를 보였고, 이는 가압제 탱크 부분, 압력조절 부분, 추진제 탱크 부분, 관망 부분, 액체원지점엔진 부분, 반동제어추력기 부분으로 분류할 수 있다[3].

2. 본 론

2.1 정상상태 유체해석 (Steady State Flow Analysis)

Fig. 2에 보이는 각각의 추진제 탱크로부터 액체원지점 엔진입구에 이르기까지의 압력강하량을 예측하기 위하여 정상상태 유체해석 프로그램(Newton2)을 개발하였다. 개발한 프로그램의 검증을 위해서 동일한 배관망(Fig. 3)을 이용하여 유명한 EPANET2의 결과와 비교하였다. 압력수두 평균오차는 0.128 % 이며, 유량 평균오차는 0.071 % 이다. 오차의 원인은 마찰계수(friction factor)의 선택으로 추정할 수 있다. 입력데이터의 처리과정이 서로 다르기 때문에 관 11번과 Node i를 추가하였다. EPANET2의 유량단위가 L/s

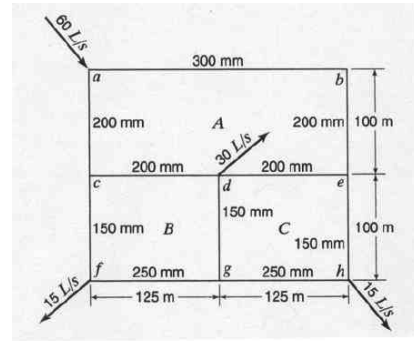


Fig. 3 A Reference Case[4]

이기 때문에 변환하지 않고 그대로 표기하였다. 참고로 Figure 3의 a 지점의 수두는 40 m 이다.

Fig. 2에 보이는 각각의 추진제 탱크로부터 액체원지점 엔진입구와 모든 반동제어추력기(RCT)입구에 이르기까지 모든 배관에 대한 배관망 모델구성을 완료하고 액체원지점엔진을 사용할 때의 예상 압력강하량을 Figure 4와 5에

Table 1 Results Comparison between newton2 and EPANET2

Node(head)	Newton2	EPANET2	error
a	40.000	40.000	0.000%
b	39.853	39.852	0.003%
c	38.904	39.435	-1.347%
d	39.174	39.162	0.031%
e	39.392	39.383	0.023%
f	39.055	39.042	0.033%
g	39.058	39.044	0.036%
h	39.053	39.040	0.033%
i	39.010	38.996	0.036%

Pipe(flow)	cms(m ³ /s)	lps(L/s)	error
1(ab)	0.02855	28.568	-0.063%
2(bc)	0.02855	28.568	-0.063%
3(ed)	0.01722	17.233	-0.075%
4(cd)	0.01926	19.254	0.031%
5(ca)	0.03145	31.432	0.057%
6(dg)	0.00647	6.487	-0.262%
7(gf)	0.00281	2.821	-0.390%
8(fc)	0.01219	12.179	0.090%
9(eh)	0.01134	11.334	0.053%
10(hg)	0.00366	3.666	-0.164%
11	0.015	15	0.000%

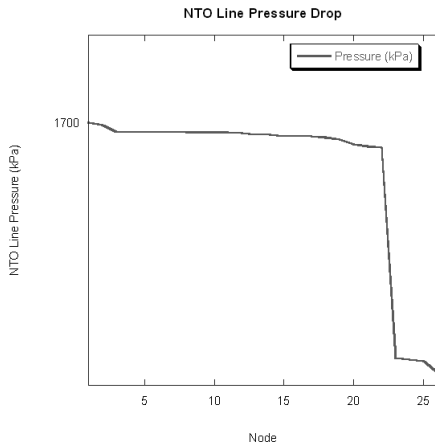


Fig. 4 NTO Line Pressure Drop

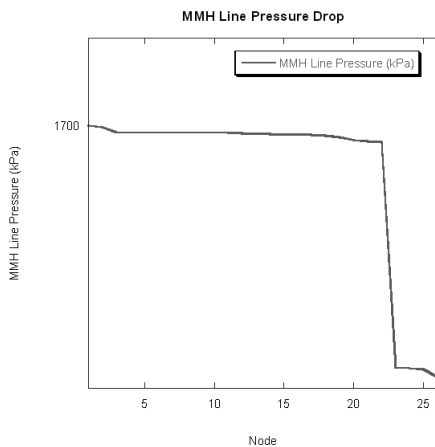
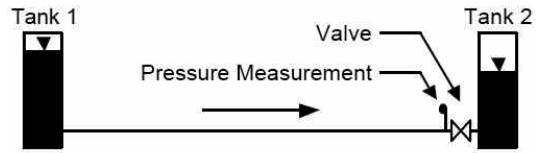


Fig. 5 MMH Line Pressure Drop

보였다. 급격한 압력강하량은 같은 양의 추진제를 소모하기 위해서 설치한 오리피스 때문에 생긴 것이다. 액체원지점엔진입구에서 산화제 배관과 연료 배관의 압력강하량이 거의 일치하여 오리피스의 설계가 적절하다고 판단된다.

2.2 과도기 유체해석 (Fluid Transient Analysis)

계획은 정상상태 유체해석을 완료 후에 과도기 유체해석을 위한 배관망 모델구성을 하고자 했으나 시간이 부족하기 때문에 과도기 유체해석은 이미 개발-검증을 완료한 프로그램을 사용하여 물성치가 서로 다른 이원추진제와 비정상 마찰을 고려한 과도기 유체해석을 참고문헌의 모델[5]에 적용하여 밸브의 개폐에 따라 만들어지는 압력진폭의 특성(최대 진폭과 주기)을 알아본다. 계산편의상 밸



Laminar Flow Simulation Details

$L = 36.088 \text{ m}; H_2 = 25.0 \text{ m}, V_0 = 0.12 \text{ m/s},$
 $a = 1324.356 \text{ m/s}^2; D = 25.4 \text{ mm}; g = 9.81 \text{ m/s}^2;$
 $v = 39.67 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}; \rho = 998.2 \text{ kg/m}^3, \text{Re} = 76.8$

Fig. 6 Flow Simulation Details [5]

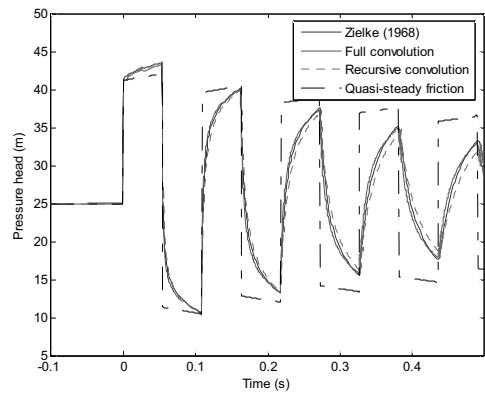


Fig. 7 Model validation case: Pressure oscillation[6]

브의 개폐시작점이 서로 다르다.

Figure 8은 산화제 배관과 연료 배관에 비정상 마찰을 고려한 과도기 유체해석 결과를 보여주고 있다. Table 2에 대략적인 수두변화($\Delta H = a V_0/g$)를 계산하였다. 예상한 바대로 유체의 물성치에 따라 수두변화를 Figure 7과 8에서 볼 수 있으며 음속에 따라 주기의 변화 또한 관찰할 수가 있다. MMH의 경우 물의 물성치와 비슷하기 때문에 수두변화와 주기가 비슷하다는 것을 알 수 있다.

Table 2 Physical Properties

	Water	NTO	MMH
Density(kg/m ³)	998.2	1433.0	870.2
Viscosity(Pa·s)	3.96E-2	3.96E-4	7.75E-4
Bulk Modulus(Pa)	2.14E9	1.363E9	2.083E ₉
Speed of Sound(m/s)	1464	975	1547
V0(m/s)	0.12	0.12	0.12
g(m/s ²)	9.806	9.806	9.806
$\Delta H = a V_0/g(\text{m})$	18	12	19

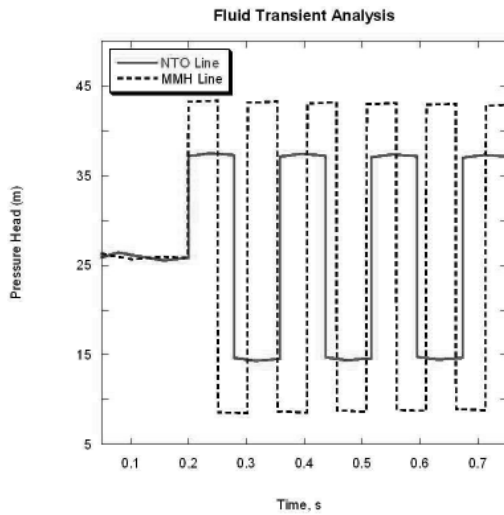


Fig. 8 NTO Line and MMH Line Fluid Transient Analysis

3. 결 론

정상상태 유체해석을 이원추진제 추진시스템의 배관망에 적용하여 추진제 탱크부터 액체원지점엔진까지 압력강하량을 예측하였고 그 결과가 설계에서 요구사항을 잘 만족하는 것으로 나타났다. 물성치가 서로 다른 이원추진제와 비정상 마찰을 고려한 과도기 유체해석을 참고문헌의 모델에 적용하여 밸브의 개폐에 따라 만들어지는 압력진폭의 특성(최대 진폭과 주기)을 파악하여 그 특성을 알아보았다. 향후에 추진시스템의 성능해석 프로그램 개발에 기초 자료로 사용될 것이다.

후 기

본 논문은 교육과학기술부 특정연구개발사업의 지원으로 수행중인 통신해양기상위성 개발사업의 일환으로 진행되었습니다.

참고문헌

- [1] ---, *COMS System Requirement Review Volume 2*, 2005
- [2] ---, *COMS Preliminary Design Review Volume 2*, 2006
- [3] 채종원, 한조영, 박응식, "통신해양기상위성 화학 추진 시스템의 구성 및 특징," 2006년도 한국항공우주학회 춘계학술대회 논문집, 2006
- [4] ---, <http://faculty.washington.edu/markbenj/CEE342/Abbreviated%20Hardy-Cross.pdf>
- [5] Vitkovsky, J.P., et al., "Efficient and Accurate Calculation of Zielke and Vardy-Brown Unsteady Friction in Pipe Transients," *Proc. of 9th International Conference on Pressure Surges*, BHR Group, 2004, pp. 405-419.
- [6] J.W. Chae, "A fluid transient analysis for the propellant flow with an unsteady friction in a monopropellant propulsion system," *J. of Korean Society of Computational Fluids Engineering*, Vol. 11, No. 1, 2006, pp. 43-51.