

SIMULINK를 이용한 연료 이송용 제트펌프 기본 설계에 관한 연구

공창덕* · 박종하** · Owino George Omollo** · 한동주***

Study o Preliminary Design on Jet Pump for Fuel Transfer Using SIMULINK

Chang Duk Kong* · Jong Ha Park** · Owino George Omollo*** · Dong Joo Han****

ABSTRACT

In the present study, preliminary design and performance analysis for a jet pump, which is able to transfer fuel from the tank to the engine, were performed as an aerospace component technology development project. The jet pump is a core part, which is normally installed in the fuel tank, to supply the fuel from the tank to the engine feed pump, or to transfer the feed between tanks. In order to design preliminarily installed in the jet pump, equations for design were modelled using SIMULINK, and the design was carried out based on the simulation model.

초 록

본 논문에서는 항공우주 부품 기술 개발 사업 중 연료이송용 제트펌프 개발의 일환으로 제트펌프의 기본 설계 및 성능 해석을 수행하였다. 제트펌프는 항공기 연료탱크 내에 위치하여 격막 간 또는 라인 간 연료 이송을 위하여 설치되는 연료계통 이송 기능을 위해서 소요되는 핵심 부품이다. 제트펌프의 기본 설계를 위해 SIMULINK를 이용하여 계산식들을 모델링하였고 이를 바탕으로 제트펌프의 기본설계를 수행하였다.

Key Words: Jet Pump(제트펌프), Preliminary design(예비 설계), Fuel transfer(연료 이송), SIMULINK

1. 서 론

항공기 연료계통은 항공기 성능 및 운용에 절대적으로 소용되는 핵심계통으로서 엔진과 함께 항공기의 비행 성능을 좌우하는 주요계통으로 평가되고 있다. 현재 항공기 연료계통은 엔진과 연료탱크 사이의 공급계통과 연료탱크 내의 격막간의 연료분배 및 이송을 위한 탱크 내 이송

* 조선대학교 항공조선공학부

** 조선대학교 항공우주공학과

*** (주)썬에어로시스 기술연구소

연락처자, E-mail: cdgong@chosun.ac.kr

계통으로 크게 구분된다. 이 중 제트펌프는 항공기 연료탱크 내에 위치하여 격막 간 또는 라인 간 연료 이송을 위하여 설치되는 연료계통 이송 기능을 위해서 소요되는 핵심 부품이다.

본 연구에서는 제트펌프의 기본적인 설계절차를 정립하고 성능해석을 수행하였다.

2. 제트펌프 모델링

2.1 제트펌프의 개념

제트펌프는 Primary Nozzle(1차 노즐), Secondary inlet(2차 입구), Mixing Chamber(혼합실) 그리고 Diffuser(디퓨저)로 구성되어 있다. 제트펌프는 작동하는 동안 고압을 요구한다. 1차 유체는 부스터 펌프에 의해 고압으로 유지되면서 제트펌프의 노즐로 들어가고 고속으로 빠져나간다. 1차 유체는 연료 탱크로부터 2차 유체를 끌어온다. 1차와 2차 유체는 혼합실에서 혼합되고 디퓨저를 통해 빠져나간다. 디퓨저는 속도 에너지를 정압으로 변환시킨다.

제트펌프는 일종의 모멘텀 변환 장치인데 제트펌프의 기본적인 작동원리는 1차 유체와 2차 유체의 에너지와 모멘텀 전달이다. 이러한 에너지와 모멘텀의 전달은 1차와 2차 유체의 혼합지역인 혼합실에서 일어난다. 두 유체의 혼합은 터블런스 과정이므로 정확한 해석이 어렵고 혼합실의 길이와 출구에서 유체가 완전히 혼합되어 나오는가는 매우 중요하다.

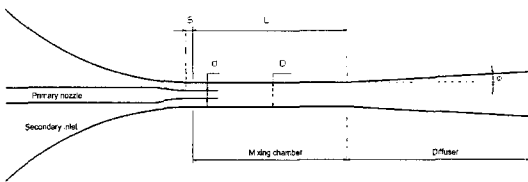


Fig 1. 제트펌프 구성도

2.2 제트펌프의 설계 절차

제트펌프는 엔진이 요구하는 최대 연료 유량 조건을 만족하도록 설계해야 한다. 설계 요구가

없었기 때문에 참고문헌 등을 이용하여 최대 유량 조건을 결정하였다. 최대 연료유량 조건은 $8.07 \times 10^{-5} m^3/s$ 이다.

면적비(R)(노즐 출구와 혼합실의 면적)를 가정해야 한다. 일반적으로 0.02~0.9 사이가 고려되는데 면적비가 작으면($R \approx 0.1$)이면 저압력 고유량 특성을 갖게 되고 면적비가 크면($R \approx 0.6$)이면 고압력 저유량 특성을 갖게 된다. 본 논문에서는 면적비를 0.1로 가정하였다.

손실계수를 가정해야 한다. 손실계수는 레이놀즈수에 따라 결정 되어진다. 1차 노즐 손실계수(K_p)=0.03, 2차 입구의 손실계수(K_s)=0.1, 혼합실의 손실계수(K_m)=0.1 그리고 디퓨저의 손실계수(K_d)=0.1이다.

유량비(M)는 1차 노즐을 통과하는 유량과 2차 입구를 통과하는 유량비이다. 식은 다음과 같다.

$$M = \frac{Q_s}{Q_p} = \frac{m_s}{m_p}$$

압력비(N) 계산은 다음과 같다.

$$N = \frac{2R + \frac{2CM^2R^2}{1-R} - R^2(1+CM)(1+M)(1+K_m+K_s) - \frac{CM^2R^2}{(1-R)^2}(1+K_s)}{(1+K_s) - 2R - \frac{2CM^2R^2}{1-R} + R^2(1+CM)(1+M)(1+K_m+K_s)}$$

유량비와 압력비를 이용하여 제트펌프의 효율을 계산하게 된다.

$$\eta = \frac{Q_s(P_d - P_s)}{Q_p(P_p - P_d)} = M \times N$$

노즐의 출구면적 계산은 다음 식과 같다.

$$A_n = Q_p \left[\frac{(1+K_p) - C(1+K_s) \left(\frac{MR}{1-R} \right)^2}{(P_p - P_s) / \left(\frac{1}{2} \rho_p \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

노즐의 출구면적 계산식과 면적비로부터 혼합실의 면적을 계산하게 되고 혼합실 직경의 7배인 혼합실의 길이를 계산한다. 혼합실 길이와 직경의 비율이 7인 경우에 디퓨저의 확산각은 최대효율을 갖기 위해 6~8도여야 하고 디퓨저 입구면적에 대한 출구면적의 비가 5를 초과할 수 없다.

3. 제트펌프 모델링

제트펌프 설계절차에 의해서 SIMULINK를 이용하여 모델링을 수행하였다. 가정된 값을 입력값으로 하여 압력비, 효율, 1차 노즐출구의 면적, 혼합실의 면적과 길이 그리고 디퓨저의 확산각과 면적 등을 계산하였다.

Fig. 2,3은 SIMULINK를 이용하여 압력비와 1차 노즐 출구의 면적을 계산하는 서브시스템들이다. Fig. 4는 유량비를 변환시켰을 때의 해석 결과이다. SIMULINK를 사용함으로써 설계 요구 조건이 변하게 되면 그에 따른 모델링을 용이하게 할 수 있다. 유량비가 '2'인 조건과 '3'인 조건에서 제트펌프의 효율, 압력비, 노즐의 면적 혼합실의 직경 등의 값들을 알 수 있다. 표 1은 제트펌프 모델링 결과 값들이다.

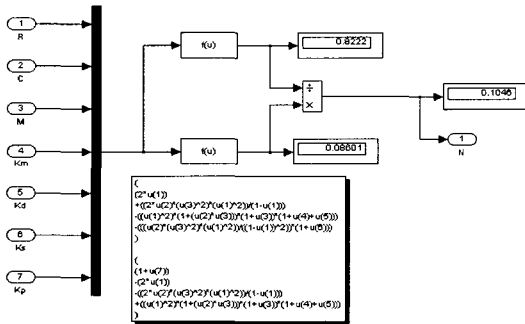


Fig.2 압력비(N) 계산 서브시스템

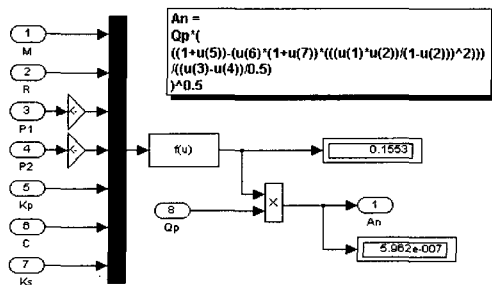


Fig.3 Primary 노즐 면적(An) 계산 서브시스템

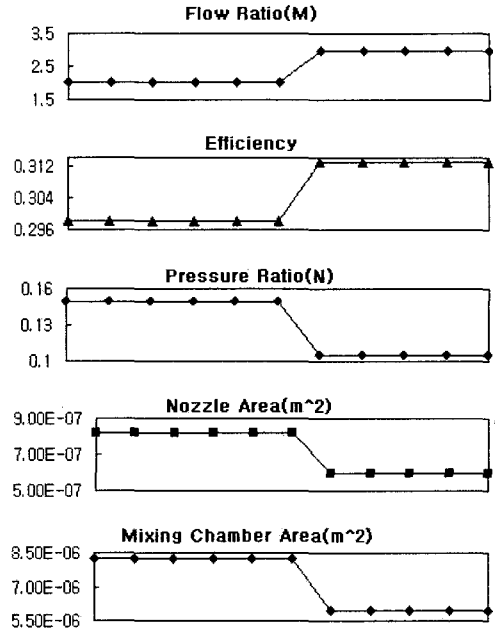


Fig.4 유량비(M) 변화에 따른 해석 결과

Table 1 제트펌프 모델링 결과

	Result
Area ratio (R)	0.1
Flow ratio (M)	3
Pressure ratio (N)	0.10435
Efficiency	0.3131
Primary flow $Q_p (m^3/s)$	3.835E-6
Secondary flow $Q_s (m^3/s)$	1.15E-5
Diffuser flow $Q_d (m^3/s)$	1.54E-5
Primary pressure $P_p (KPa)$	116.28
Secondary pressure $P_s (KPa)$	101.4
Diffuser pressure $P_d (KPa)$	102.81
Primary nozzle area $A_n (m^2)$	5.953E-7
Primary nozzle dia $D_n (m)$	0.000871
Mixing Chamber area $A_m (m^2)$	5.95E-6
Mixing Chamber dia $D_m (m)$	0.002753
Mixing Chamber length $L_m (m)$	0.01927
Diffuser half Angle (θ)	3
Diffuser area $A_d (m^2)$	0.000021
Diffuser dia $D_d (m)$	0.0052
Diffuser length $L_d (m)$	0.0229

4. 제트펌프 기본 설계

4.1 제트펌프 설계 시 고려 사항

제트펌프는 거의 모든 구조적인 재료를 이용하여 만들 수 있는데 마모에 대한 저항, 강도, 부식 그리고 비용 등에 따라 선택되어 진다. 제트펌프에서 가장 중요한 점은 내부 표면의 마찰 손실을 줄이기 위해 매끄러워야하고 펌프의 교체가 용이해야 된다. 제트펌프는 많은 변수들로 인해 제트펌프의 최적의 값을 묘사하기는 어렵고 이로 인해 각 부품간의 공간 구속 사이즈의 한계를 가져온다.

4.2 1차 노즐 영역

1차 노즐은 내부와 외부의 윤각의 특성을 고려해야 한다. 노즐은 일반적으로 원뿔꼴의 윤각 보단 완만하고 오목한 외부 윤각을 가지고 있고, 이는 2차 유동의 저항을 최소화한다. 만약 외부 형상에 날카로운 면이 존재하면 2차 유동의 터블런스와 손실이 증가하게 된다. 1차 노즐은 가능한 얇은 팁을 가지고 있어야 반류를 최소화한다. 반류는 혼합영역에서 터블런스를 증가시키고 공동화 현상을 쉽게 일으킨다.

4.3 2차 유동 입구와 혼합실 입구 영역

2차 유동 입구영역에서 가장 중요한 것은 제트펌프의 공동화 특성을 최적화 하는 것이다. 1차 노즐 외부와 2차 입구 사이의 유체의 충돌은 마찰에 의한 에너지의 손실과 2차 유동의 유입을 방해할 것이고 입구 부분이 날카로우면 공동화 특성을 일으킨다. 이러한 손실을 줄이기 위해서 원뿔꼴 형태로 만들었다.

4.4 1차 노즐 출구에서 혼합실 입구 사이 공간 영역

1차 Nozzle 출구와 혼합실 입구 사이의 최적화된 공간은 '0'일 때 이상적이면서 공동화 현상

이 없고 최대의 효율을 갖는다. 그러나 액체 제트펌프의 경우 혼합실 공간이 '0'이 되면 혼합실 입구에 압력이 떨어지는 원인이 되고 공동화 현상을 일으키게 된다. 작동 효율과 공동화 현상을 고려하여 1차 노즐 팁으로부터 혼합실 입구까지의 거리를 $s/d=1.0$ 로 하였다. 면적비가 크면 긴 혼합 길이를 요구하므로 적절한 공간이 필요하다.

4.5 혼합실

혼합실은 유체가 디퓨저에 들어가기 전에 에너지 분활을 위해 필요하다. 혼합실은 원형 실린더로 가정했고 길이가 짧으면 에너지 분활은 손실과 유체의 분리를 유발하고 디퓨저까지 지속된다. 또한 혼합실의 구간이 길면 마찰 손실을 가져온다. 최적의 혼합실의 길이는 디퓨저의 외형과 관계있는데 디퓨저가 큰 각을 가지고 있다면 유동의 분리를 예방하기 위해서 혼합실은 더욱 길어진다. 높은 속도와 터블런스가 발생하기 때문에 최적의 조건을 찾아야한다.

4.6 디퓨저

디퓨저에서는 입구 속도와 각도에 따라서 경계에서 흐름 분리가 일어난다. 디퓨저 입구에서 과도한 믹싱이 일어나게 되면 유동의 분리를 야기 시킨다. 만약 7배율의 혼합실 길이가 조합된다면 최적의 효율을 위한 각도는 $6\sim 8^\circ$ 이다. 디퓨저 각이 커야된다면 혼합실의 길이는 일정한 속도 조건을 얻기 위해 더 길어져야한다. 혼합실이 과도하게 길면 디퓨저에서 유동 흐름의 분리를 가져올 수 있다. 디퓨저 입구 면적과 출구면적의 비는 5배를 초과하게 되면 손실이 일어난다. 트럼펫 모양의 디퓨저는 같은 길이와 출구면적비의 원뿔 모양의 디퓨저보다 두드러지게 더 높은 효율을 제공한다.

4.7 제트펌프 설계 결과

제트펌프의 모델링과 설계절차를 이용하여 제

트펌프의 기본 설계를 수행하였다. Fig.5는 CATIA를 이용하여 제트펌프의 기본 설계 모형을 구성하였다.

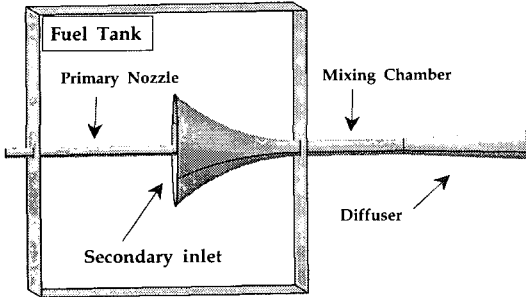


Fig.5 제트펌프 기본 설계 모형

5. 결 론

제트펌프는 항공기 연료탱크 내에 위치하여 격막 간 또는 라인 간 연료 이송을 위하여 설치되는 연료계통 이송 기능을 위해서 소요되는 핵심 부품으로써 제트펌프의 기본적인 설계절차를 정립하고 성능해석을 수행하였다.

SIMULINK를 이용하여 제트펌프의 관계식들에 대한 모델링을 수행하였고 유량비가 '2'인 조건과 '3'인 조건에서 제트펌프의 효율, 압력비,

노즐의 면적 혼합실의 직경 등의 값들을 알 수 있다. 제트펌프의 기본 설계 절차를 정립하였고 이를 바탕으로 제트펌프의 기본 설계를 수행하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 "항공우주 부품 기술 개발사업"의 연구 결과 중 일부입니다.

참 고 문 헌

1. C.T., Lee, "Basic Military Trainer Fuel System", Msc Thesis, Cranfield Univ. U.K., 1985
2. D.A. Phillips, "U-2000 Uninhabited Air Vehicle Fuel System", Msc Thesis, Cranfield Univ. U.K., 2001
3. ESDU 85032, "Ejectors and jet Pumps- Design and Performance for Incompressible Liquid flow", 1985
4. 공창덕 외 2인, "스마트 무인기 연료 시스템 설계에 관한 연구", 한국추진공학회지 9권 2호, 2005