

듀얼 벨 노즐에 확장-굴절(E-D) 노즐 개념을 적용한 기초 전산수치해석

문태석* · 박상현* · 최준섭* · 허환일**†

Numerical Study of Dual Bell Nozzle by applying the Concept of Expansion-Deflection Nozzle

Taeseok Moon* · Sanghyeon Park* · Junsub Choi* · Hwanil Huh**†

ABSTRACT

Numerical analysis was carried out by applying the concept of E-D(expansion-deflection) nozzle to dual bell nozzle. We used the CEA code to calculate the chemical composition of the nozzle and to analyze the freezing flow of 8 species. The turbulence model was chosen as the $k-\omega$ SST. We applied the concept of E-D nozzle to the dual bell nozzle and performed the calculated transition altitude and performance. As a result of the interpretation, the application of the E-D nozzle concept led to the formation of over-expansion conditions, which resulted in an increase in the transition altitude.

초 록

듀얼 벨 노즐에 확장-굴절 노즐 개념을 적용한 기초 전산수치해석 연구를 수행하였다. CEA 코드를 이용하여 노즐 내부 유동의 화학조성을 계산한 8 화학종 동결유동 해석을 진행하였고, 난류 모델은 $k-\omega$ SST 모델을 선정하였다. 듀얼 벨 노즐에 확장-굴절 노즐 개념을 적용함에 따라 변화된 천이고도 및 성능 계산을 수행하였다. 해석 결과 확장-굴절 노즐 개념을 적용함에 따라 과대팽창 조건이 형성되었고, 그에 따라 천이고도가 상승하였다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), Dual Bell Nozzle(듀얼 벨 노즐), Expansion-Deflection Nozzle(확장-굴절 노즐), Over-Expansion(과대팽창)

1. 서 론

항공우주분야 국외 선진국에서는 발사체의 노

즐 형상 변경만을 통해 개발 비용 절감을 얻기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다[1-4]. 특히 독일 DLR(German Aerospace Center)에서는 고도 보정 노즐 중 듀얼 벨(dual bell) 노즐과 확장-굴절(expansion-deflection) 노즐에 관한 연구를 주로 수행하고 있다[2,3]. 특히 듀얼 벨 노즐의 경우 실제 발사체 1단에 확장-굴절 노즐의 경

* 충남대학교 대학원 항공우주공학과

** 충남대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

우에는 발사체 상단에 적용하기 위한 수치적 연구가 수행되었다[24]. 하지만 두 가지를 결합한 모델에 관해서는 연구가 수행된 바가 없다.

따라서 본 논문에서는 듀얼 벨 노즐 내에 확장-굴절 노즐 개념을 적용한 기초 전산수치해석 연구를 수행하고 해당 모델의 천이 고도 및 성능 분석 연구를 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 노즐 모델 및 해석 조건

본 연구에서 사용된 Fig. 1의 듀얼 벨 노즐 형상은 선행연구[5]에서 KSLV-II를 기반으로 설계한 모델 중 DB0724 모델과 동일하다. 확장-굴절 노즐의 경우 기존 듀얼 벨 노즐의 베이스 노즐 내에 KSLV-II 1단 엔진 팽창비(12)와 동일하게 설계하였다. 확장-굴절 노즐의 핀틀 초기각도(θ_i) 설계는 영국 Bristol 대학과 호주 UNSW에서 확장-굴절 노즐의 설계 변수에 관해 연구한 내용 [6,7] 중 고각을 이룰수록 노즐 성능이 좋아진다는 내용을 바탕으로 듀얼 벨 노즐 목에서 가장 큰 각도로 설계 가능한 17° 로 선정하였다.

선행연구에서 분석한 듀얼 벨 노즐과의 비교를 위해 동일한 난류 모델인 $k-\omega$ SST 모델과 작동 유체 Jet A-1/LOx를 바탕으로 NASA CEA 코드를 이용하여 계산된 8 화학종 동결유동 해석을 진행하였다[5]. 해석은 상용코드인 ANSYS Fluent를 사용하였다.

2.2 해석 결과

연소실 압력은 60 bara, 연소실 온도는 CEA 코드로 계산한 3701 K을 적용하여 수치해석을 수행하였다. 해석 결과 Fig. 2와 같이 듀얼 벨 노즐만을 적용한 모델에 비해 확장-굴절 노즐 개념 적용 시 천이 고도가 7 km에서 10 km로 높아졌다는 것을 확인할 수 있다. 이는 듀얼 벨 노즐 내에 핀틀 개념을 적용함으로써 노즐 내의 유동이 과대팽창(over-expansion)되는 경향이 나타났고, 이에 따라 이상팽창 고도가 높아지게 되

어 듀얼 벨 노즐 천이 고도가 높아졌기 때문이다.

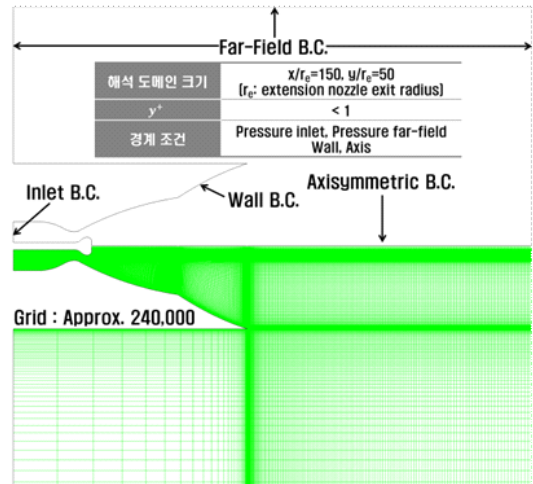


Fig. 1 Numerical analysis and boundary conditions of DB0724ED

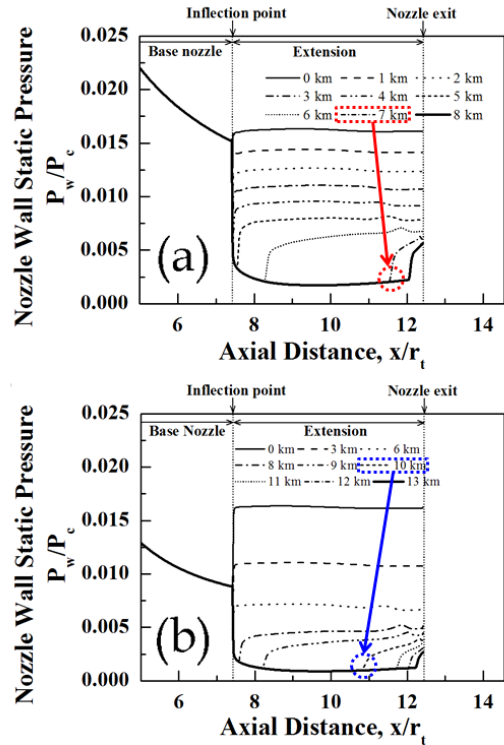


Fig. 2 Wall pressure distribution of (a)DB0724[5], (b)DB0724ED

Table 1. Performance of DB0724[5] and DB0724ED model at sea level

Model	Performance at Sea Level		
	Thrust [kN]	Isp [s]	MFR [kg/s]
DB0724	610.4	259.7	239.6
DB0724ED	552.6	254.6	221.4

성능적인 측면의 경우 Table 1과 같이 해수면에서 추력 552.6 kN, 비추력 254.6 s, 질량유량 221.4 kg/s로 나타났다. 선행연구인 듀얼 벨 노즐 모델에 비해 성능이 낮게 나타난 이유로 제한된 듀얼 벨 노즐 형상 내에 확장-굴절 노즐 개념을 적용하였고, 기존의 듀얼 벨 노즐 형상이 최적 모델이 아니기 때문이라 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 선행연구로 수행된 듀얼 벨 노즐 형상에 확장-굴절 노즐 개념을 적용하여 수치 해석 연구를 수행하였다. KSLV-II를 기반으로 설계된 다양한 듀얼 벨 노즐 형상 중 천이고도가 가장 높게 나타난 DB0724 모델을 선정하였다.

해석 결과 듀얼 벨 노즐에 확장-굴절 노즐 개념을 적용함에 따라 기존의 듀얼 벨 노즐만을 적용한 모델보다 천이고도가 높아졌고, 해수면에서의 노즐 성능은 전반적으로 낮게 나타났다.

현재는 제한된 듀얼 벨 노즐 형상에 확장-굴절 노즐 개념을 적용하였기 때문에 한계점이 존재하지만, 추후 확장-굴절 노즐 형상 변경에 관한 수치해석 연구가 수행된다면 노즐 성능 면에서의 문제점을 개선할 수 있을 것이라 판단된다.

후 기

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로

한국연구재단의 우주핵심기술개발사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF-2014M1A3A3A02034776).

참 고 문 헌

- Hagemann, G., Immich, H., Nguyen, T. V. and Dumnov, G. E., "Advanced Rocket Nozzles," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 14, No. 5, 1998, pp.620~634
- Schneider, D., Genin, C., Stark, R. and Fromm, M., "Ariane 5 Performance Optimization Using Dual Bell Nozzle Extension," 4th Space Propulsion Conference, Cologne, N.R.W., Germany, 2014, pp.1-7
- Schomberg, K., Olsen, J., Doig, G. and Neely, A., "Numerical Analysis of a Linear Expansion-Deflection Nozzle at Open Wake Conditions," 16th Australian International Aerospace Congress, 2015
- Goetz, A., Hagemann, G. and Kretschmer, J., "Advanced Upper Stage Propulsion Concept-The Expansion-Deflection Upper Stage," *AIAA Journal*, 2005
- 김정훈, "한국형발사체를 기반으로 한 듀얼 벨 노즐의 천이 특성 및 성능 이득," 석사 학위논문, 충남대학교, 2017
- Taylor, N. V., and Hemsell C. M., "Throat Flow Modelling of Expansion Deflection Nozzles," *JBIS*, Vol. 57, 2004, pp.242~250
- Schomberg, K., Doig, G., and Olsen, J., "Geometric Analysis of the Linear Expansion-Deflection Nozzle at Highly Overexpanded Flow Conditions," 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, July, 2014