

움직이는 격자를 이용한 비정상 단분리 유동해석

권 기 범^{*1}, 윤 용 현^{*1}, 홍 승 규^{*2}

Unsteady Staging Flow Analysis Using Moving Grid

K. B. Kwon, Y. H. Yoon and S. K. Hong

In this study, the numerical and dynamic simulation on staging problem including forward jet mechanism is conducted. The forward jet plays a vital role in staging, which jets out from aftbody. This staging environment needs full dynamic characteristics study and flow analysis for securing staging safety. Present study performs dynamic simulation of prebody and aftbody with flow analysis using Chimera grid scheme which is usually used for moving simulations. As a result, separation mechanism using forward jet well works in staging for given initial conditions and reverse thrust, chamber pressure variation from experiments. Furthermore, it is found that the technique using forward jets for staging is excellent for securing the separation safety.

Key Words: 동역학적 모사(Dynamic Simulation), 단분리(Staging), 전방 분출(Forward Jet)

1. 서 론

장거리를 비행하는 미사일과 같은 비행체는 적절한 단분리 과정을 적용하여 비행거리에 대한 자유도를 증가시킬 수 있다. 단분리 과정에 적용되는 기계적 메카니즘(mechanical mechanism)은 무엇보다 안정적인 분리가 보장되도록 설계되어야 한다.

단분리 시스템의 설계에 있어 단분리의 안정성을 제공하는 기계적 메카니즘의 구성은 그 자체로 복잡하며 고차원의 기술을 필요로 한다. 뿐만 아니라, 단분리 시 형성되는 전방체와 후방체 주위의 유동현상은 단분리 메카니즘의 설계를 더욱 어렵게 한다. 단분리의 안정성을 보장하기 위해서는 무엇보다 단분리시 발생하는 유동현상과 동역학적 시뮬레이션에 의한 정확한 해석이 반드시 선행되어야 한다.

본 연구에서 적용되는 단분리 메카니즘은 단분리시 분리 전 추력으로 사용하던 후방체의 제트분출을

후방체의 앞부분에 설치된 포트를 개방함으로써 체트의 일부분 전방으로 분출시켜 전방체의 기저면에 압력 상승 효과를 가져오게 함으로써 안정적인 단분리가 이루어지도록 하는 형태이다. 이전 연구[1]에서는 단분리 과정에 대한 기초 연구로서 단분리 거리에 따른 정상유동해석을 통해 각 거리에 따른 유동장의 특성을 분석하고 전방체의 기저면에 작용하는 공기역학적 힘, 즉 압력계수 값을 산출하여 그 변화에 대한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 장거리 비행체의 전방체와 후방체 메카니즘 과정에 대한 비정상 유동해석과 함께 전방체와 후방체의 동역학적 해석을 동시에 수행하여 실제적인 단분리 과정을 분석하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 해석 방법

단분리 과정에 대한 비정상 유동해석과 함께 동역학적 시뮬레이션을 수행하기 위해서 Chimera 격자 시스템을 적용하였다. 즉, 전방체와 후방체에 대해 각각의 격자를 구성함으로써 결과적으로 전방체와

*1 정희원, 공군사관학교 항공우주공학과

*2 정희원, 국방과학연구소

*E-mail : airborn@afa.ac.kr

후방체의 격자가 겹쳐게 되는 격자 시스템이다. 사용된 전방체와 후방체의 개략도와 Chimera 격자 시스템을 Fig. 1에 나타내었다.

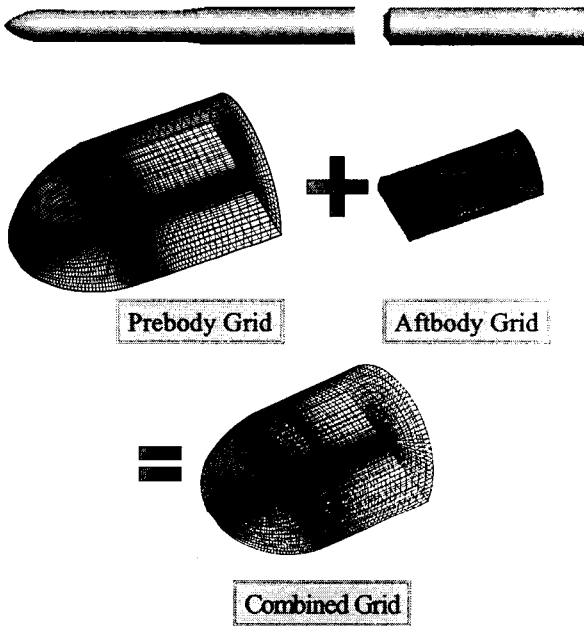


Fig. 1 전후방체 개략도와 Chimera 격자계

전후방체 각각에 대한 Chimera 격자의 생성방법은 Half-O Topology를 사용하였다. 이를 Fig. 2에 나타내었다. 총 격자수는 630,000여개이다.

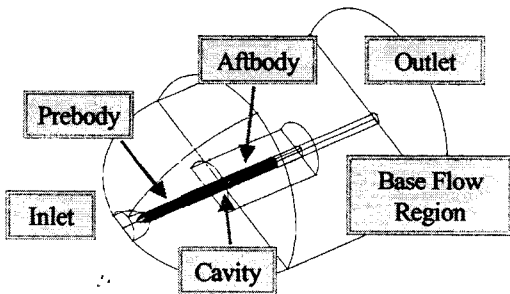


Fig. 2 Chimera 격자 Topology

동역학 시뮬레이션을 위해 먼저 주어진 초기 조건에서 정상 유동의 해를 계산한 다음 이 해를 동역학 시뮬레이션의 시간 $t = 0$ 일 때의 해로 놓고 운동방정식을 시간증분에 따라 적분하게 된다. 즉, 동역학

시뮬레이션을 위해서는 각 시간단계에서 계산된 유동해석 값에 의한 공기역학적 힘과 주어진 외부 힘, 전방 제트 분출로 인한 후방체 추력의 시간에 대한 변화 데이터 등을 운동방정식에 대입하고 시간적분을 통해 전방체와 후방체의 운동을 모사하게 된다. 이 절차를 Fig. 3에 정리하였다.

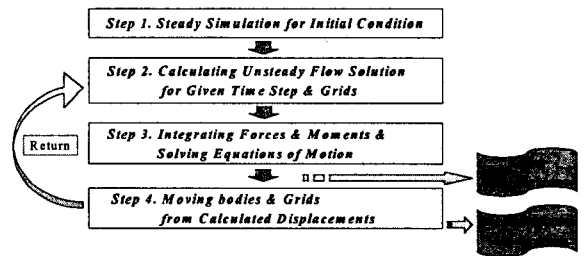


Fig. 3 동역학 시뮬레이션 절차

전방체와 후방체에 대한 단분리 과정의 동역학적 시뮬레이션을 위해 상용 소프트웨어인 CFD-FASTRAN을 사용하였다.

해석을 위한 시뮬레이션 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Simulation Configurations

Test machine
Cluster(8 Nodes)
Flow initial conditions
<ul style="list-style-type: none"> Free-stream Mach No. : 1.5 Altitude : 2Km
Solver conditions
<ul style="list-style-type: none"> Roe's FDS scheme First order spatial accuracy Fully implicit point jacobi iteration Euler Solver

초기 조건은 전방 분출을 위한 포트가 완전히 개방된 시점에서 각 물체의 역추력에 의한 초기 속도를 주었다. 이를 Fig. 4. 나타내었다.

분리 시간에 따른 전방분출로 인한 후방체의 역추력과 후방체의 제트 분출의 원동력인 챔버 압력의 시간에 따른 변화조건은 실험에 의한 값으로서 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. $t = 0$ 이후의 값이 적용된다.



Fig. 4 초기 조건

영역에서 강한 속박 와류가 발생되고 있음을 알 수 있다. 와류는 분출된 제트와 외부 흐름에 의해 구속되는데 대칭축에서 전방체 기저면으로의 강한 상류 방향 흐름을 유발함으로써 전방체 기저면의 중심 부분에 상당한 전압이 작용하게 된다. 이는 역시 단 분리 과정을 이롭게 하는 역할을 한다.

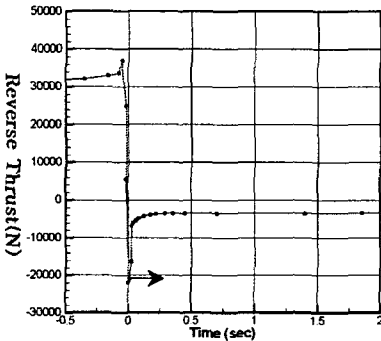


Fig. 5 시간에 따른 역추력 변화

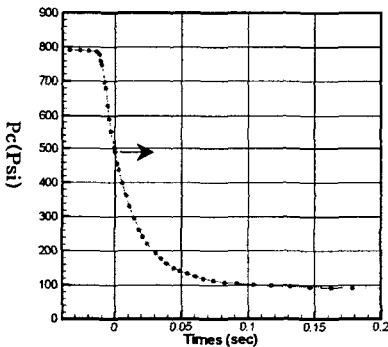
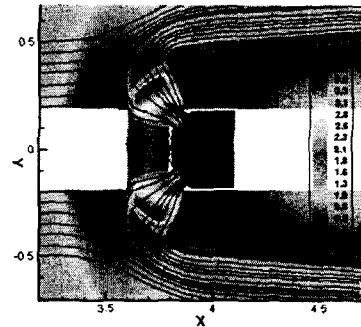
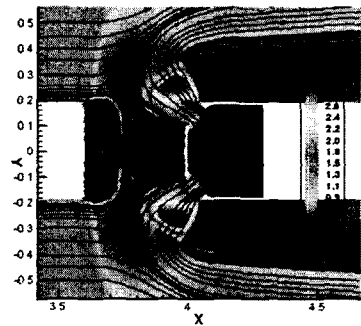


Fig. 6 시간에 따른 챔버압력 변화



(a) 0.5D



(b) 1.0D

Fig. 7 마하수 Contour와 유선

3. 해석 결과 및 토론

3.1 단분리 과정의 마하수 Contour와 유선

단분리 과정에서의 유동 형태는 이전 연구[1]에서 해석된 바 있다. 분리 거리가 0.5D, 0.1D(D=body diameter)에서 마하수 contour와 유선을 대칭면에 대해 Fig. 7에 나타내었다. 유동의 형태를 살펴보면 먼저 분리거리가 0.5D인 경우와 같이 상대적으로 짧은 경우 후방체로부터의 분출 제트가 전방체의 기저면에 부딪치게 됨으로써 기저면의 압력 상승을 가져와 결과적으로 전방체에 추력으로 작용하게 하고 있음을 알 수 있다. 분리 거리가 1.0D에서는 전방체 기저

3.2 동역학 시뮬레이션 결과

시간에 따른 전방체와 후방체의 변위와 분리 거리를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 비행방향으로의 전방체의 시간에 따른 변위는 후방체의 흐름방향으로의 시간에 따른 변위보다 2배 이상이 됨을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 적용되는 전방 분출에 의한 단분리 메카니즘이 설계 목적에 적절하게 작동하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 분리 거리에 따른 전방체 기저면의 압력 계수값을 그린 것이다. 초기에 높은 후방체 챔버 압력에 의한 강한 전방 분출 제트가 직접적으로 전방

체의 기저면에 부딪치게 됨으로써 높은 압력계수를 나타낸다. 시간이 지나 분리 거리가 증가하고 후방체 챔버 내부의 압력이 감소함에 따라 전방분출 제트의 강도는 약해지고 더 이상 기저면에 직접적으로 닿지 않게 되면서 압력계수가 빠르게 낮아지고 있음을 알 수 있다. 또한 약 0.6D에서 압력계수가 다시 상승하는 것을 볼 수 있는데 이는 1.0D에서의 정상 해석에서 본 유동형태에서와 같이 전방체 기저면 바로 뒤에 발생하는 속박 와류에 의한 효과이다. 이러한 와류는 분리 거리가 증가함에 따라 점점 약해지면서 큰 분리 거리에서는 기저흐름(base flow)이 되어 전방체에도 항력으로 작용하게 된다.

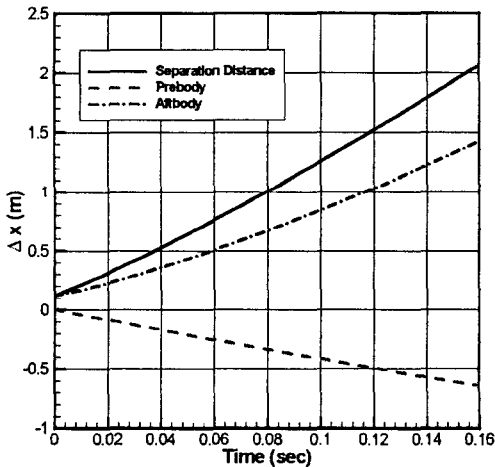


Fig. 8 시간에 따른 분리거리의 변화

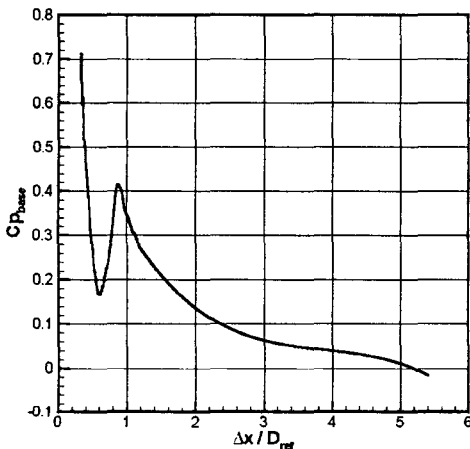


Fig. 9 분리 거리에 따른 압력계수 변화

4. 결 론

단분리 과정에 대한 동역학적 시뮬레이션을 통해 단분리 과정의 동역학적 특성과 안정성, 유동장의 특성을 살펴보았다. 적용된 단분리 메카니즘은 전방체와 후방체의 안정적인 단분리가 보장되고 있음을 알 수 있으며 시간에 따른 전방체와 후방체의 변위 변화 결과로부터 후방체 추력의 일부분을 단분리시 전방으로 분출시키는 기술은 효과적이고 성공적인 단분리를 보장하는데 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

차후 받음각의 변화, 자유류 마하수의 변화, 고도의 변화 등 다양한 조건에서 단분리의 안정성이 보장될 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 논문은 국과연의 연구 지원으로 작성되었습니다. 국과연 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 권기범, 윤용현, 홍승규, 2004, "전방 분출이 있는 단분리 유동해석", 한국전산유체공학회 추계학술대회.
- [2] Suhs, N.E., 1987, "Computations of Three-Dimensional Cavity Flow at Subsonic and Supersonic Mach Numbers", *AIAA Paper 87-1208*, June.
- [3] Chung-Jen, T., Orkwis, P.D., and Disimile, P.J., 1996, "Algebraic Turbulence Model Simulations of Supersonic Open Cavity Flow Physics", *AIAA J.*, Vol.34, No.11, November, pp.2255-2260.
- [4] Donald P. Rizzetta, 1988, "Numerical Simulation of Supersonic Flow Over a Three-Dimensional Cavity", *AIAA J.*, Vol.26, No.7, July, pp.799-807.
- [5] Mansop Hahn, 1969, "Experimental Investigation of Separated Flow over a Cavity at Hypersonic Speed", *AIAA J.*, Vol.7, No.6, June, pp.1092-1098.