Gurney Flap을 응용한 자동차 문 열림 대응장치 연구

장 호 준[1]

[1]충남대학교 항공우주공학과

자동차 주행 중 차 문이 열리는 경우에 운전자가 조향을 유지하는 채로 대응하기란 쉽지 않고, 이것이 방치될 경우 대형사고로 이어질 가능성이 생긴다. 따라서 이를 기계적 또는 역학적으로 해결해야 할 필요성이 이 있으며, 본 연구에서는 고양력 장치중의 하나인 gurney flap을 응용하여 항력 발생장치로 이용함으로써 자동차 문이 더 빨리 닫힐 수 있는지에 대한 연구를 진행하였다. 해석 결과, 문 모서리에 flap, 특히 판형 flap을 장착하였을 때, 그렇지 않았을 때보다 2배에 가까운 항력상승 효과가 나타남을 확인하였다.

Key Words : 전산유체역학(CFD), 정상유동(Steady Flow), 층류유동(Laminar Flow), 난류유동(Turbulent Flow), Gurney Flap

1. 서 론

Gurney flap은 고양력 장치중의 하나로, 작은 크기에 비해 높은 양력효과를 얻을 수 있어 자동차의 스포일러 등에 다운포스 형성 보조 등으로 사용되었다. 또한, 낮은 레이놀즈 수에서 flap의 효율은 이미 논문으로 증명된 바[1] 있다. 한편, 자동차 주행 중 차문이 열리는 경우 운전자는 조향장치 조작 등으로 인해 그 대응이 힘든 경우가 많다. 따라서 역학적 혹은 기계적으로 차 문이 열리는 현상을 최소화하거나, 혹은 문이 열렸을 경우 그 대응방법이 마련되어야 하는 필요성이 있다. 본 논문에서는 gurney flap의 높은 효율을 응용하여 항력 증가 장치로 사용함으로써 마하수 0.1 이하의 저속에서 자동차 문이 열렸을 경우, flap이 없을 때보다 문이 더 빨리 닫힐 수 있을지에 대한 연구를 진행하였다.

2. 설계조건 및 수치 기법

2.1 설계조건 및 해석격자

Fig. 1은 flap을 사용하지 않은 대조군, Fig. 2는 flap을 사용한 경우이다. EDISON에서 제공하는 eMEGA 격자생성 프로그램을 이용하여 정렬 격자계의 형태로 작성하였으며, 2차원 직사각형 형태로 단순화한 문 주변에 등방성의 4각형 격자를 설치하였다. Flap을 고려한 경우, 판 형태의 flap을 추가한 경우와 Fig. 3과 같이 삼각형 모양의 flap을 추가한 경우 두 가지를 사용하였다. 일반적으로 실험 시 gurney flap은 chord length의 1~6%정도의 길이로 설정하지만[2] 본 실험의 경우에는 마하수 0.1 이하의 저속 조건이라는 점과 차 문 내부에 수납할 수 있는 최대한의 크기를 고려하여 단순화한 문의 두께의 60%, 길이의 12%로 다소 길게 설정하였다.

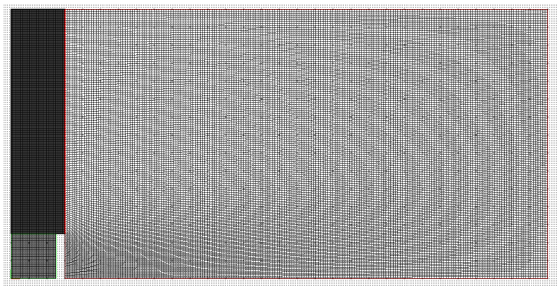

Fig. 1 Door mesh without flap

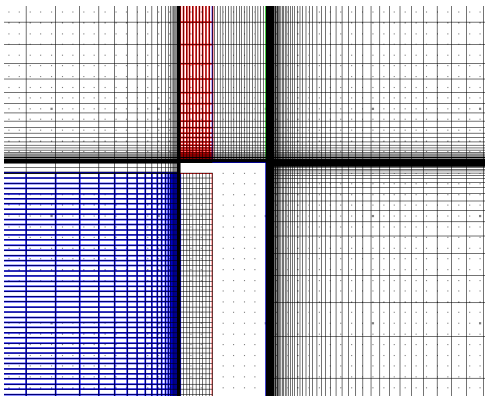

Fig. 2 Flap added door mesh

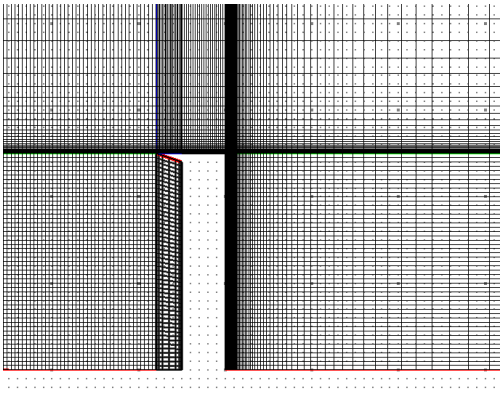

Fig. 3. Door mesh with triangle-shaped flap

2.2 수치기법

본 연구에서는 EDISON에서 제공되는 수치해석기법 중 '정렬격자 기반 2차원 압축성 유동 범용 해석 프로그램(2D_Comp_P)' 을 이용하여 정상 유동 조건 하에 실험을 수행하였고, 공간차분기법은 RoeM, 난류모델은 Menter's k-w SST, 제한자로는 Van Albada, 시간적분기법은 3rd-order TVD Runge-Kutta 를 이용하였다. 모든 시뮬레이션에서 Iteration은 50000회, 최소허용오차는 10E-5이다. 처음에는 정확도 및 경향성을 파악하기 위해 층류유동으로 가정하고 실험을 수행하였으며, 이후 실제 자동차의 주행 시 유동의 외부 간섭이 많은 점을 고려하여 난류유동으로 가정하고 재차 실험을 수행하였다.

3. 계산 결과 및 분석

본 연구에서는 일반적인 flap에 대한 해석연구와는 달리 매우 낮은 마하수 M = 0.088 조건에서 연구를 진행하였으며, 항력 증가 효과를 얻기 위하여 바람의 진행 방향을 마주보는 형태로 flap을 설치하였다. 문이 열린 각도에 따라 문으로 불어오는 바람의 방향이 다른 것을 모사하기 위하여 대조군과 flap을 설치한 경우 모두 0, 10, 20도의 세 가지 받음각을 주었다.

유동조건으로는 해수면 표준 대기조건으로 free stream density ρ = 1.225 kg/m3, dynamic viscosity μ = 0.000018375 kg/m*s 에서, free stream velocity u = 30m/s 이고 reference length L = 1m, Re = 2000000로 설정하였고 첫 격자 간격은 y+를 1로 계산하여 적용하였다. Table 1 은 받음각과 flap 존재 및 층류/난류 여부에 따른 문의 항력계수 값을 나타낸 것이다. 'lam'은 층류를, 'turb'는 난류임을 의미하며 'no' 는 flap이 없는 경우, 'flap' 은 flap이 부착된 경우이다. 층류유동에서와 난류유동에서 모두 flap을 부착했을 때 항력계수 값이 비약적으로 상승하는 것을 알 수 있다.

Table 1 Drag Coefficient of various conditions

aoa	0	10	20
lam_no	9.94	5.02	7.95
turb_no	12.3	3.2	10.3
lam_flap	23	7.69	17
turb_flap	22	5	18.5

Fig. 4에서부터 Fig. 7 까지는 받음각 20°에서의 해석 결과를 eDAVA로 후처리한 것이다. 이 중 Fig. 6 과 Fig. 7 은 압력분포를, Fig. 8과 9는 마하수 분포의 양상을 비교하고 있다. 모두 아래가 판형 flap이 존재할 경우이다. Flap이 존재할 경우 안과 밖의 압력차가 증가하였으며 문 끝부분에서 발생하는 유동의 마하수 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다.

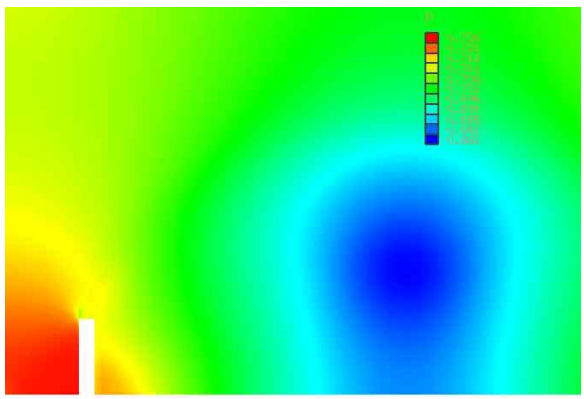

Fig. 4 Pressure dispersion of door without flap

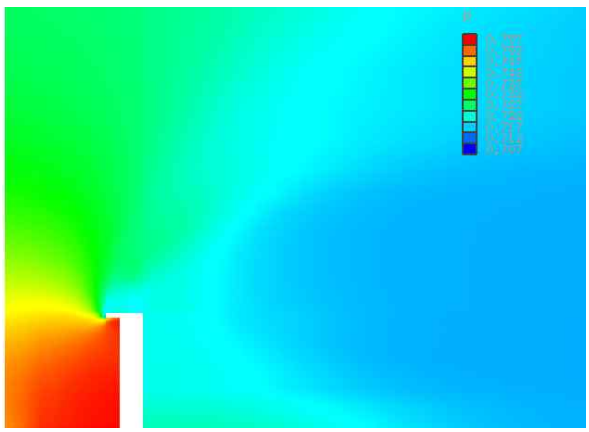

Fig. 5 Pressure dispersion of door with flap

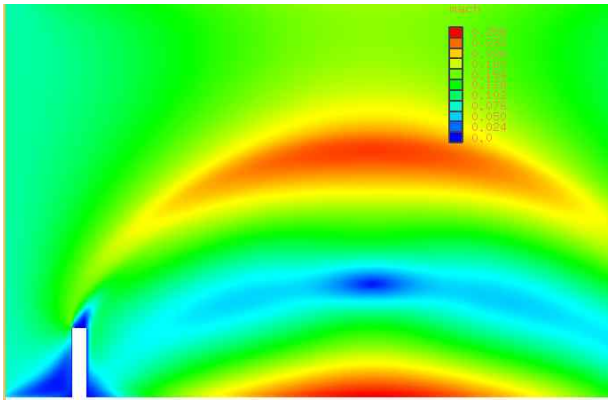

Fig. 6 Mach number dispersion of door without flap

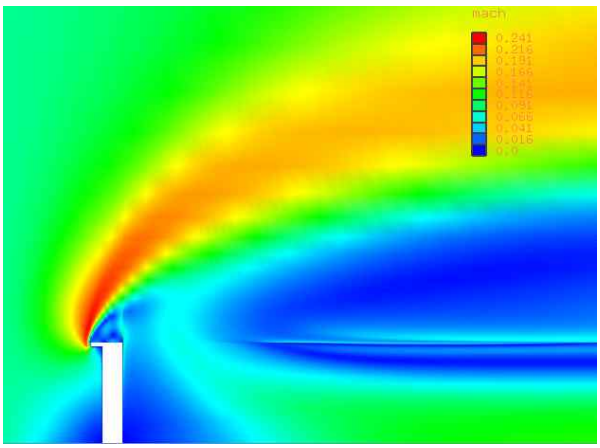

Fig. 7 Mach number dispersion of door with flap

삼각형 flap의 경우 층류 조건에서만 해석을 수행하였으며, Fig. 8과 같이 값의 수렴이 정상적으로 이루어지지 않아 결과 분석에서는 경향성을 파악하는 참고용으로만 사용하였다. 이 경우에 Table 2 에서와 같이 flap이 존재하지 않을 때에 비해 항력계수가 증가하나 판형 flap에 비해선 다소 증가량이 감소하는 것을 확인하였다. '_tri' 는 삼각형 플랩이 추가된 형상을 의미한다.

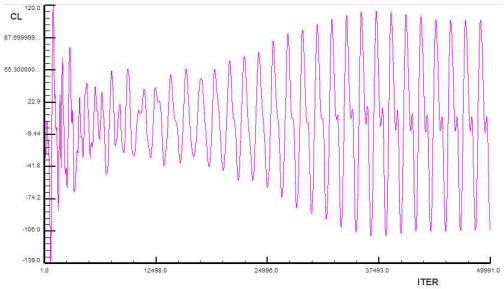

Fig. 8 Non-converged graph of simulation in triangle flap

Table 2 Drag coefficient of cases with triangle-shaped flap

aoa	0	10	20
lam_no	9.94	5.02	7.95
lam_tri	20	18	16

4. 결론

저속의 유동을 통과하는 기다란 판형의 물체에 바람이 진행하는 방향으로 gurney flap 형상의 보형물이 부착될 경우, 낮은 마하수에서 물체의 항력계수 값은 받음각 및 유동 상관없이 2배에 가까운 뚜렷한 증가세를 보이게 되며, 가시화된 압력분포에서도 flap이 존재하는 경우 압력차가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 3차원 유동에서 추가로 발생하는 vortex 등에 의한 항력을 고려하더라도, flap이 존재할 경우 그렇지 않을 때보다 문이 열렸을 경우 다시 닫히기까지 걸리는 시간이 짧아질 수 있다는 것을 의미한다.

후 기

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-0020557)

References

[1] 2010, Horia Dumitrescu, "Analysis of low Reynolds number flow past Gurney flap"

[2] Tomoki Kobayashi, "Effects of Gureny Flaps for Aerodynamic Characteristics of an Airfoil", p3

[3] http://www.pointwise.com/yplus/