

Roof-fairing설치에 따른 화물차의 후류특성 연구

A Study of Wake Behind a Truck using Roof-fairing

김진우^{1*}, 이석암¹, 윤정욱¹, 정금채¹, 이도형¹
한양대학교¹

초 록

루프 페어링은 화물차의 주행저항 및 유도항력을 줄이기 위해 설치되는 장치 중 하나이다. 이 장치는 화물차의 지붕 윗부분에 설치하여 화물차가 받는 항력을 줄이는데 사용이 된다. 이번 과제에서는 루프 페어링의 효과에 대해 유체역학적인 증명 및 확인을 위해 루프 페어링의 설치 전-후 트럭의 형상에 따른 유동의 변화와 항력계수의 값을 EDISON CFD를 사용하여 구한 후 각각 비교 하였다. 이를 위해 EDISON CFD의 압력 contour와 stream line, 정압계수(Cp)그래프를 통해 트럭의 주행 중 발생하는 박리현상을 가시적으로 확인하였고, 항력계수(Cd)값을 비교하는 것을 통해 루프 페어링을 설치한 경우가 미설치된 경우보다 주행 시 더욱 유리하다는 것으로 결론을 내렸다.

Key Word : 에디슨 CFD(EDISON CFD), 항력(Drag force), 루프 페어링(Roof-fairing), 박리현상 (Separation), 와류(Vortex)

1. 서 론

고속으로 주행하는 자동차에서 유체역학적 형상은 차의 성능을 향상시키기 위한 주요한 분야 중 하나이다. 따라서 최근에 설계 및 생산되는 자동차들은 개발단계에서부터 가능한 유리한 유체역학적 형상을 만들고 있다. 이는 화물차분야에서도 마찬가지이나, 화물차는 종종 그 목적과 특성상 최초 디자인된 형상의 차체가 아닌 외부 구조물의 설치 혹은 차 지붕보다 높고 큰 화물이 적재된 상태로 운행된다. 이들은 대부분 의도하지 않은 급격한 형상의 변화를 줌으로써 박리현상과 와류를 발생시켜 결과적으로 항력 증가와 같은 결과를 가져 옴으로서 차체의 공력 특성을 좋지 않게 만든다. 이를 개선하기 위한 방안은 여러 가지가 있으나 그 중 하나가 차체의 지붕과 화물칸 사이 공간에 루프 페어링과 같은 구조물을 설치하여 유동 흐름의 변화를 막아 좀 더 좋은 유동 특성을 가지도록 유도시키는 방법이 있다.

이번 과제는 EDISON CFD를 사용하여 실제 차량과 같은 상황을 시뮬레이션하여 구조물의 설치 전과 후의 사이에 어떤 변화가 있는지 확인하고 결과 contour, stream line, Cp그래프, Cd값의 비교를 통해 정성적, 정량적 분석을 통하여 결론을 내렸다.

2. 화물차의 공기역학적 항력

화물차가 주행 중 받는 공기저항은 크게 마찰저항과 압력저항으로 나눌 수 있는데, 압력저항은 또다시 물체의 형상에 결정되는 형상저항, 간섭저항과 차량이 받는 양력에 의해 기류의 에너지 손실로 인한 유도 저항으로 나뉘어 진다. 이들 저항 중에서 가장 큰 것은 형상저항으로서 차량에서 전 공기저항의 약

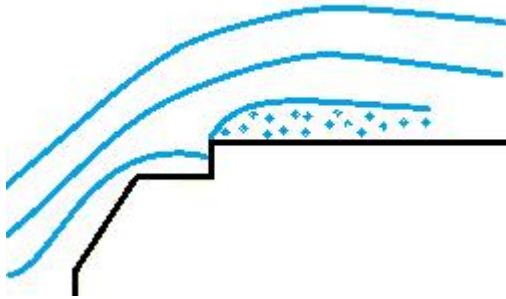


Fig 1 화물차 주행시 발생하는 박리현상

60%를 차지한다.⁽¹⁾

Fig.1은 화물차에서 발생하는 박리현상(separation)을 그림으로 나타낸 것이다. Fig.1에 나타나 있듯이, 화물차의 주행시 지붕을 지난 흐름은 지붕 위로 노출된 컨테이너의 전면에서 바로 부딪혀서 정체영역(stagnation region)을 형성하며, 또 컨테이너 전면 상단부에서 박리를 일으킨다. 트랙터 위에서 컨테이너 위로 유입되는 흐름은 컨테이너 전면 상단부에서 발생하는 박리의 강도에 영향을 미치며, 이로 인해 일단 박리를 일으킨 흐름이 다시 재부착되는 것을 지연시키거나 또는 완전히 재부착을 불가능하게 하기도 한다.⁽²⁾ 이로 인한 트럭 주위의 압력분포 변화는 곧 항력이 증가한다.

또 트랙터 위로 드러난 컨테이너의 면적이 증가할수록 정체영역이 확장되어 역시 항력이 증가한다. 이러한 원인들에 의해서 차량 전면 항력이 발생하는 것이다.

3. 화물차 faring의 CFD해석을 위한 기법

3.1 CFD해석을 위한 기본 특성

트럭이 등속 주행할 때 차량주위에서 발생하는 공기의 유동현상을 묘사-해석하기 위해 EDISON Mesh tool을 이용하여 격자를 생성, EDISON CFD tool을 사용하여 해석을 하였다. 실제 현상에서는 측면에서 불어오는 측풍의 영향을 무시할 수는 없겠으나, 이번 연구에서 관심을 가지는 영역은 차량의 주행방향으로부터 지붕과 컨테이너를 거쳐 흐르는 유동이므로 2차원으로 단순화하여 시뮬레이션 하였다.

3.2 격자 형상 및 변수

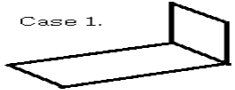
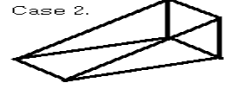
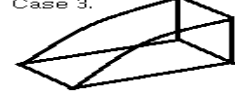
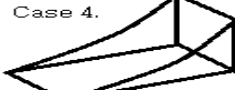
루프 페어링 설치 전-후에 다른 시뮬레이션을 수행하기 위해서, 기본 형상의 틀로 실제 4.5톤 트럭의 형상을 단순화시켜 그려 넣었다[case01].

그리고 지붕의 시작점과 컨테이너의 모서리 부분을 평면으로 연결시킨 모델[case02]과 바깥쪽으로 볼록한 루프 페어링[case03], 그리고 페어링과는 반대로 오목한 형태인 디플렉터 모델[case04]를 만들어 비교하였으며 그 형상은 Fig.2와 같다.

루프 페어링 설치 전-후에 따른 시뮬레이션을 수행하기 위해서, 기본 형상의 틀로 실제 4.5톤 트럭의 형상을 단순화시켜 그려 넣었다[case01].

그리고 지붕의 시작점과 컨테이너의 모서리 부분을 평면으로 연결시킨 모델[case02]과 바깥쪽으로 볼록한 루프 페어링[case03], 그리고 페어링과는 반대로 오목한 형태인 디플렉터 모델[case04]를 만들어 비교하였으며 그 형상은 Fig.2와 같다.

Table 1. 루프 페어링 형상

Model	형상
Case01	페어링이 없는 형상 Case 1. 
Case02	평판형 루프 페어링 Case 2. 
Case03	곡면형 루프 페어링 (볼록) Case 3. 
Case04	곡면형 루프 페어링 (오목) Case 4. 

다만, 격자를 효과적으로 생성하기 위해서는 형상에 따라 구역을 나누어 멀티블록 형태로 격자를 제작해야 하나, 사용 툴의 기술적인 제한상 싱글 블록 형태로 격자를 제작하였다.

3.3 환경에 따른 solver 설정

EDISON 내에서 차량 주위에 발생하는 유동을 해석하기 위해 사용된 툴의 솔버와 입력조건은 다음과 같다.

- 2D_Incomp-2.0
- 난류유동
- 비압축성 유동
- Re : 700,000
- 정상유동
- iteration : 40,000

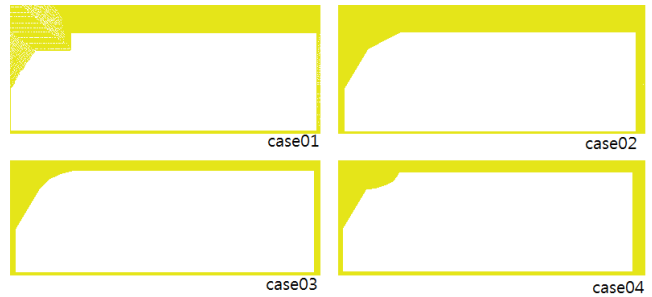


Fig 2. 케이스별 격자형상

4. 결과 및 고찰

루프 페어링 설치 및 형태에 따른 항력계수의 값을 table2와 fig3에 나타내었다. 루프 페어링을 설치한 경우 원래 형태에 비해 C_d 값의 감소를 가져왔으며 이 중 가장 큰 감소폭을 가져온 것은 case03으로 41.5%의 항력계수 감소를 가져왔다. Fig 4.는 case01의 압력contour와 stream line이고, Fig 5.는 화물차 라인을 따라가며 나타난 각 포인트의 압력계수(C_p)값의 변화량이다.

Fig 4와 5를 통해, 화물차 앞 부분을 타고 올라온 유동은 지붕이 시작되는 지점에서 순간적으로 압력강하가 일어나고, 컨테이너와 만나는 부분에서는 압력 상승이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 이는 지붕이 시작되는 모서리 지점을 지나며 작은 박리영역이 발생한 후, 컨테이너에 유동이 막혀 발생하는 현상으로 보여진다. 이후, 화물차의 지붕을 지난 유동은 컨테이너를 타고 올라간 후 다시 한번 모서리를 지나며 급격한 압력강하를 겪은 후, 컨테이너 좌상단 부분에 큰 박리영역이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로, 컨테이너 위를 흘러 지나간 유동은 컨테이너가 끝나는 지점에서 다시 한번 박리영역을 만들고, 또한 아래쪽에서 치고 올라오는 유동과 만나 복잡한 유동흐름을 만들어 낸다.

박리영역이 발생하는 지점은 크게 화물차의 지붕, 컨테이너의 좌상단, 그리고 화물차의 후방 부분이며, 이들은 정면에서 받는 공기저항에 추가로 유도항력을 발생시켜 전체적인 항력의 크기를 증가시키는 것으로 보여진다.

반면, 지붕 위에 스포일러 구조물을 설치한 경우 Fig. 6과 Fig.7에서 보이듯이, case01과는 달리 화물차 지붕-트레일러 좌상단 부분에서 급격한 압력강하를 볼 수 없다. 트럭 후방부에서의 박리현상은 여전히 발생하지만, 좌상단부에서는 압력강하가 모서리 부분에만 국부적으로 발생하며 발생한 후 안정적으로

Table 2. 케이스별 항력계수

	case01	case02	case03	case04
C_d	0.8	0.55	0.47	0.55

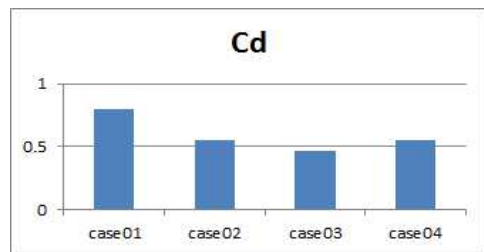


Fig 3. 케이스별 항력계수

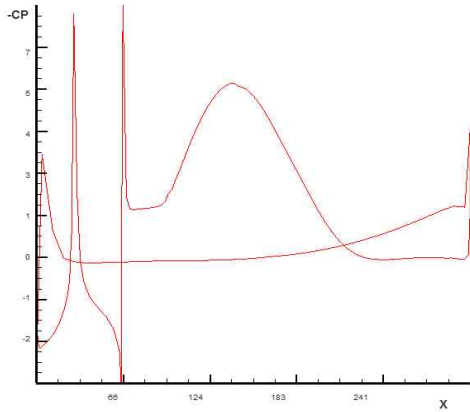


Fig 5. Case01 압력계수(Cp) 그래프

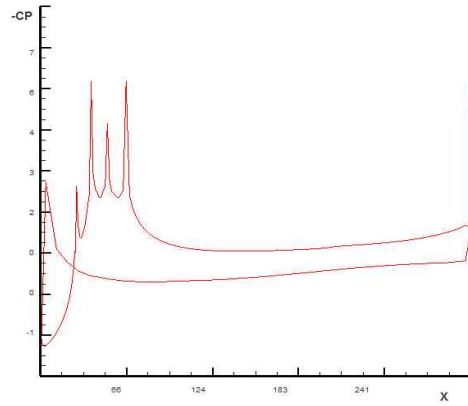


Fig 7. Case03 압력계수(Cp) 그래프

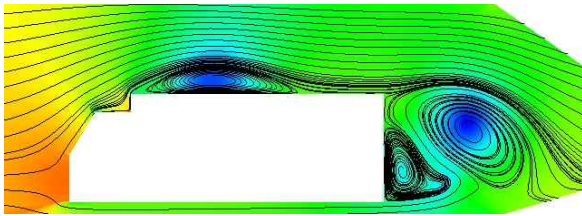


Fig 4. Case01 압력 컨투어와 유선

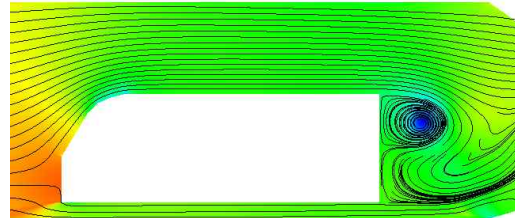


Fig 6. Case03 압력 컨투어와 유선

돌아가는 것을 볼 수 있다. 또한 발생하더라도 따라서 박리영역도 화물차 후방부에서만 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 박리영역이 줄어든 만큼 항력이 감소한 것으로 보인다.

후 기

이번 과제는 EDISON CFD 경진대회를 위해 EDISON CFD 툴을 사용하여 격자 생성에서 시뮬레이션까지 수행하였다.

EDISON을 이용하면서 아쉬웠던 점은 격자 생성과정에서의 인터페이스가 상당히 불편하여 사용자가 원하는 특정 형상을 만드는데 자잘한 어려움이 많았다는 점이었다. 교육용 소프트웨어로서, 인터페이스의 불편함은 반드시 개선이 필요한 항목이라고 생각한다. 또한, 격자 생성 및 계산 수행을 위해 격자의 생성 조건의 제한 역시 개선이 필요한 점이라고 보인다.

다만 장점인 부분도 있었는데, 웹 프로그래밍 기반으로 만들어졌기 때문에 JAVA와의 별도 프로그램의 설치 없이, 인터넷이 가능한 장소면 어디든지 수행이 가능하다는 점이었다. 또한 유선의 그래픽 및 애니메이션 기능은 사용자가 유동을 쉽게 이해하는데 도움이 된다고 생각된다.

참고문헌

- 1) 김형섭, 박경석 역, 1999, 자동차 역학, 일진사, 서울, pp. 22~23
- 2) 김종철, 이경태, 홍용식, 1982, 공기역학적 저항감소 장치에 의한 트랙터-트레일러의 연료절감, 한국방공우주학회지, pp.81