

# Diffuser의 형상이 풍동의 유동흐름에 미치는 영향

김지성\*, 김도영\*, 최갑승\*\*, 황성일\*\*\*

\*동명대학교 대학원 기계시스템공학과

\*\*동명대학교 자동차공학과

\*\*\*기아자동차 부산서비스센터

e-mail:kschoi@tu.ac.kr

## The effect of Diffuser expansion angle on the flow quality in a wind tunnel

Ji-Seong Kim\*, Do-Young Kim\*, Kap-Seung Choi\*\*, Seong-Ill Hwang\*\*\*

\*Graduate School of Mechanical System Engineering, Tongmyoung University

\*\*Dept. of Automotive Engineering, Tongmyoung University

\*\*\*KIA Motors Co. Busan Service Center

### 요약

풍동은 공기역학적인 특성을 파악하는데 주로 사용되며, 순환유무에 따라 Open-circuit과 Closed-circuit으로 구분된다. Open-circuit풍동은 Settling Chamber, Honeycomb, Screen, Contraction, Test section, Diffuser, Power Plant로 구성된다. 과거에는 측정하는 물체가 배치되는 Test section의 유동품질을 향상시키기 위해 Honeycomb과 Screen의 직경 및 길이의 비, Contraction의 형상 및 길이의 비 등에 대한 연구가 주를 이루었다. 하지만 유지비용이 높은 Open-circuit 풍동은 적절한 Diffuser의 설계를 통해 Test section에서 감소된 정압을 회복시켜주고, Fan의 부하를 감소시켜 주어야한다.

따라서 본 연구에서는 Diffuser의 입·출구의 면적비를 동일하게 설정하고, 개방각에 변화를 주어 풍동 내부의 유동흐름변화를 CFD(Computational Fluid Dynamics)시뮬레이션을 통해 확인하였다. 단면의 모양이 정사각형 형상이기 때문에 Diffuser의 개방각이 클수록 각 모서리에서 유동박리가 발생하는 것을 확인하였으며, 그 값이 클수록 주변 유동장에 영향을 주어 중앙부 유속이 증가하는 것을 확인하였다.

## 1. 서론

풍동은 공기역학적인 특성을 파악하는데 사용되며, 연기발생장치를 통해 유동을 가시화하여 물체 주변의 유동흐름을 관찰할 수 있다. 풍동은 내부를 순환하는 Closed-circuit과 순환하지 않는 Open-circuit으로 구분할 수 있으며, Open-circuit은 Fan의 위치에 따라 Blower와 Sucked 타입으로 구분된다[1]. 특히 Open-Circuit풍동은 Closed-Circuit풍동에 비해 초기제작비용은 저렴하나, 높은 운용비용과 유동품질이 다소 떨어지는 단점 때문에 각 구성요소에 대한 설계 매개변수 설정이 중요하다.

풍동은 크게 Settling Chamber, Contraction, Test Section, Diffuser, Power Plant로 구성되며, Blower타입의 경우 앞에 Wide-Angle Diffuser가 추가될 수 있다. Metha등은 Wide-Angle Diffuser를 가지는 Blower Open-circuit풍동의 설계 매개변수에 대해 Wide-Angle Diffuser는 입·출구의 비를 5이하, 개방각은 50°이하, Honeycomb은 길이와 직경의 비를 Cell당 7~10, Contraction의 비는 6~9로 권장하는 등 최적

화에 대한 연구를 진행하였다[2].

풍동에서는 Test Section의 유동품질이 중요하기 때문에, 유동품질에 영향을 미치는 Contraction과 Settling Chamber에 위치하는 Honeycomb, Screen의 설계매개변수에 대한 연구가 주를 이루었다. 하지만 운용비용이 높은 Open-circuit풍동에서는 Power Plant의 효율 또한 중요하다. 풍동의 구성요소 중 Diffuser는 개방각과 면적비에 의해 내부 유체의 압력을 회복시켜 Fan에 가해지는 부하를 감소시키는 역할을 한다. 적절하지 않은 Diffuser의 설계는 충분한 압력회복을 하지 못하여 Fan의 부하가 증가하거나, 유동박리가 발생하여 내부 유동흐름을 불균일하게 만든다.

이에 본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 진행하여 Diffuser의 개방각별 내부 유동특성을 파악하였다.

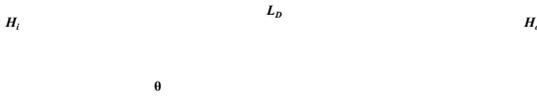
## 2. 해석모델

본 연구에서는 Open-circuit풍동 중에서 Sucked type풍동의 Diffuser 형상에 따른 내부유동변화를 관찰하였다.

Settling chamber는 1200 × 1200 × 1000 mm로 설정하고, 내부에 Honeycomb과 Screen은 생략하였다. Contraction은 Cubic형상을 채택하였고 크기는 1200 × 1200 × 1000 mm로 설정하였다[3, 4]. Test section의 크기는 400 × 400 × 1000 mm로 설정하였다.

2.1 해석모델

Diffuser는 개방각과 면적비의 설계변수로 정의되며, 입구와 출구의 면적비는 2~2.5를 유지해야한다[1, 2]. 본 연구의 풍동모델의 Test section크기는 400 × 400 × 1000 mm로, Diffuser 입구의 크기는 Test section의 크기와 동일한 400 mm이다. 계산의 편의를 위해 Diffuser 출구부의 각 변의 길이를 600 mm로 설정하여 면적비 2.25를 만족하고, Diffuser의 개방각에 변화를 주었다.



[그림 1] Geometry of Diffuser

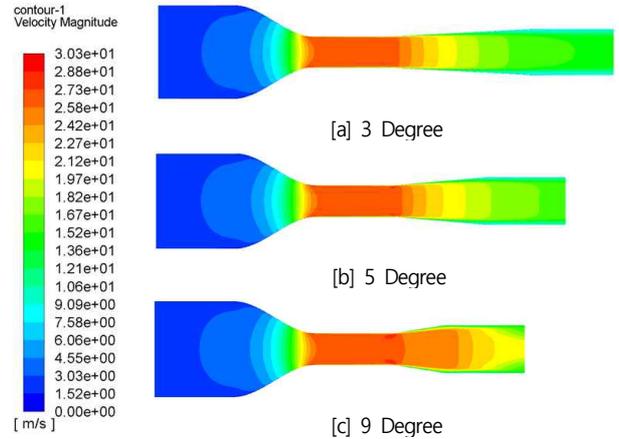
2.2 CFD

본 연구는 Full Scale 모델에 대해 CFD시뮬레이션을 진행하였다. 격자는 길이가 가장 긴 1°에서 약 3100만개를 기준으로 격자의 크기를 동일하게 설정하고, 길이가 짧아질수록 격자의 개수는 감소하여 가장 짧은 9°에서는 약 1500만개로 생성하였다. Diffuser의 세부 사양 및 격자개수에 대한 내용은 표 1에 나타내었다. 수치해석 기법은 3차원, 비압축성, 정상상태로 가정하고 시간 평균값을 계산하는 RANS(Reynolds Averaged Navier Stokes equation)을 사용하였다. 난류모델은 Realizable  $k-\epsilon$ 으로 설정하였다. 벽면은 점착(No-Slip)조건으로 입력하였고, Test section의 유속이 약 100 km/h가 될 수 있도록 질량유량으로 5.2 kg/s를 입력하였다[5].

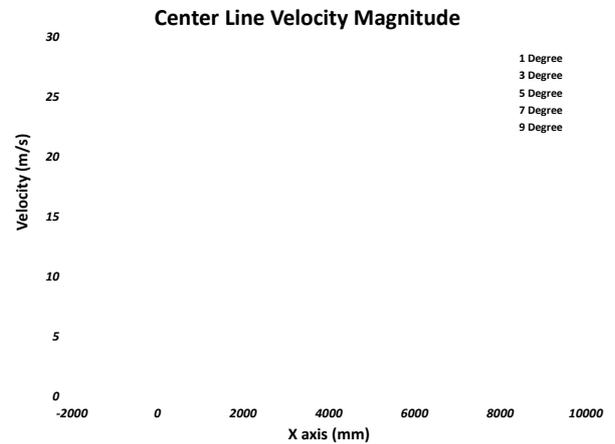
[표 1] Number of Element by Expansion Angle

Expansion Angle (°)	Diffuser Length (mm)	Element (EA)
1	5,729	31,569,000
3	1,908	19,354,550
5	1,143	16,957,500
7	814	15,963,000
9	631	15,376,500

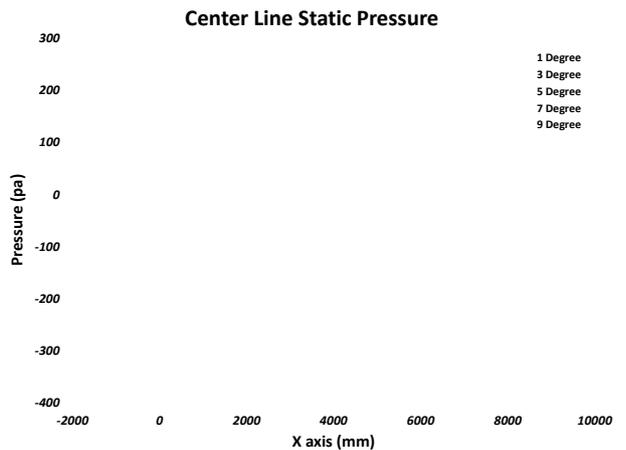
3. 해석결과



[그림 2] Wind tunnel velocity contour by diffuser expansion angle



[그림 3] Axial mean velocity by diffuser expansion angle



[그림 4] Axial mean static pressure by diffuser expansion angle

그림 2는 3, 5, 9°의 개방각을 갖는 풍동의 해석결과 Contour이다. 개방각 5°이상부터 Test section 후류의 모서리에서 유동박리가 발생하고, 9°에서는 유동박리에 의해 풍동 중심축 유동분포에 영향을 주어 중심속도가 증가한 모습을 볼 수 있다. 그림 3, 4는 풍동의 중심축에서 속도와 압력분포를 나타낸

것이다. Diffuser는 입구대비 출구의 면적이 넓은 확대관의 모습을 띄고 있기 때문에 정압의 회복과 유속의 감소가 이루어진다. 하지만 개방각이 비교적 큰 7, 9°에서는 유동박리가 발생하면서 주변 유동장에 영향을 미치게 되어 축방향 속도 성분이 증가하였고, 속도 증가로 인해 정압이 감소하였다가 다시 증가하는 결과를 도출하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 CFD를 통해 Diffuser 개방각 별 풍동 내부 유동변화를 관찰하였다. Diffuser의 개방각이 클수록 Test section 후류의 모서리에서 유동박리가 발생하며, 그 정도가 클수록 주변 유동장에 영향을 주어 중앙부 유속이 증가하는 결론을 도출하였다. 따라서 내부 유동흐름의 균일화, Fan의 부하 감소를 위해서는 적절한 Diffuser 개방각 설정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 단면의 형상이 정사각형이었지만, 원형, 다각형으로 구성된 형상을 사용한다면 각 모서리에서 발생하는 유동박리가 감소할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 2021년도 BB21+ 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

#### 참고문헌

- [1] Barlow, J. B., Rae, W. H., Pope, A. “Low-speed wind tunnel testing”, John wiley & sons, 1999.
- [2] Mehta, R. D. “The aerodynamic design of blower tunnels with wide-angle diffusers.” Progress in Aerospace Sciences, Vol. 18, pp. 59-120, 1979.
- [3] 오석형, 김장권, “수축부 길이 변화에 따른 풍동 내부유동장 특성에 대한 수치해석”, 한국동력기계공학회지, 제 22권 4호, pp. 81-88, 8월, 2018년.
- [4] 김장권, 오석형, “수축부 형상에 따른 풍동 내부유동장 특성에 대한 수치해석”, 한국동력기계공학회지, 제 21권 6호, pp. 5-12, 12월, 2017년.
- [5] ANSYS FLUENT User’s Guide, Release 20 R1, ANSYS Inc, 2020.