

전산유체해석을 통한 바디드라이어 직선형 노즐구조 최적화 연구

조진표*, 김준기**, 현승균*, 김광희*
*인하대학교 제조혁신전문대학원
**태극엔지니어링
e-mail : realwind@inha.ac.kr

Optimization Study of a Linear Nozzle structure for a Body Dryer Using Computational Fluid Dynamics

Jin-Pyo Cho*, Jun ki Kim**, Seung-Gyun Hyun*, Kwang-Hee Kim*
*Manufacturing Innovation School, Inha University
**Taekuk Eng. CO., Ltd.

요 약

본 연구는 헤어 및 뷰티 산업의 성장에 맞춰 가정용 바디드라이어의 소형화 및 성능 개선을 목표로 하였다. 기존의 유도 모터를 사용한 제품들이 크고 무겁고 소음이 큰 단점을 해결하기 위해 소형 고속 BLDC 모터를 도입하였다. 이를 위해 직선형 노즐 구조를 설계하고, Ansys Fluent를 사용하여 전산 유체 해석(CFD)을 통해 다양한 노즐 구조의 공기 흐름을 분석하였다.

바디드라이어 3D 설계는 PTC사의 Creo Parametric 7.0을 사용하여 제품 전체설계 및 내부 유로 구조 설계를 진행하였으며, 5개의 각기 다른 설계모델을 설계하였다. Case 1은 초기 설계한 모델이고, 초기 설계를 수정한 Case 2 모델, Case 2 모델을 기반으로 내부 베인을 추가한 Case 3(베인 1개), Case 4(베인 2개), Case 5(베인 3개)를 추가하여 최적 구조를 설계하였다. 전산유체해석(CFD) 수행은 상용 해석 코드인 ANSYS FLUENT v18.1을 이용하여 수행하였다.

유체해석 결과 초기 모델인 Case 1에서 유동 속도 분포의 불균일성이 명확하게 나타났다. Fan 토출구 형상이 공기 흐름을 방해하고 있음을 확인하였고, 이를 개선하기 위해 형상을 수정한 Case 2를 설계하였다. 개선모델 Case 2에 내부 베인을 추가하여 해석을 수행하였다. Case 4(베인 2개) 모델이 면평균 토출속도와 표준편차 측면에서 가장 뛰어난 성능을 나타냈다.

1. 서론

헤어 및 뷰티 산업이 급속히 성장함에 따라 소비자들의 요구와 기대 수준 또한 빠르게 변화하고 있다. 특히, 소비자들은 높은 비용을 지불하더라도 기능이 우수한 제품을 선호하는 경향을 보이며, 이는 삶의 질 향상을 추구하는 현대적 트렌드와 맞물려 더욱 두드러진다.

이러한 변화는 생활 전반의 다양한 제품에 영향을 미치고 있으며, 그중 하나가 바로 바디드라이어(Body dryer)이다. 주로 고급 사우나, 피트니스 클럽에서 사용되던 바디드라이어는 피부와 모발의 손상을 줄이는 특성 덕분에 최근 가정용 시장에서도 주목받고 있다.

국내 바디드라이어 시장은 2024년 약 1억 5천만 달러에서 2029년 약 2억 5천만 달러로 성장할 것으로 예상되며, 연평균 10.76%의 높은 성장률을 기록할 것으로 보인다. 이는 바디드

라이어의 단순한 일시적인 유행을 넘어서, 지속 가능한 성장 가능성을 가진 시장임을 의미한다.

바디드라이어 중 당사가 생산하고 있는 바디드라이어는 핸드 캐리가 가능한 이동형 바디드라이어로 바닥에 제품을 놓고 전원을 연결한 후 목욕이나 샤워 후 선 자세로 인체를 말리는데 사용하는 제품이다.

표 1에는 당사 기존 제품과 신규 개발 제품 모터 사양을 비교 검토 하였다. 당사에서 개발한 바디드라이어 제품은 직경 100mm 이상의 유도 모터를 사용해 고속으로 회전시켜 바닥에서 위쪽으로 풍향이 형성되는 제품으로 소형화에 한계가 있으며, 모터 및 풍음에 의한 소음이 95dB 이상으로 골프장이나 헬스장 등 업소 판매용에서는 큰 문제가 발생되지 않으나 가정에서 사용할 경우 소음으로 인해 층간 소음 문제를 발생시킬 가능성이 크다. 또한 유도 모터의 속도 제한으로 인해 건조 효율이 떨어지는 문제가 있다.

[표 1] 유도 전동기 모터와 BLDC모터 사양 비교

모터 사진 (상대 크기 비교)		
모터 종류	유도 전동기 모터	BLDC 모터
분당 회전수 [r/min]	33,000	110,000
Noise [dB]	98 (단품)	76 (단품)
Size [mm]	∅108.6 × 126.5	∅28.8 × 28.5
Air Flow [m ³ /min]	2.0	1.6

본 연구에서는 소형화된 고속 BLDC 모터를 바디드라이어 적용 가능성을 검토하기 위해 5가지 3D 설계를 제시하고 전산유체해석(CFD)을 통하여 분석하여 최적 설계 아이디어를 도출하였다.

2. 연구방법 및 경계조건

2.1 연구방법

바디드라이어 3D 설계는 PTC사의 Creo Parametric 7.0을 사용하여 제품 전체설계 및 내부 유로 구조 설계를 진행하였으며, 5개의 각기 다른 설계모델을 설계하였다.

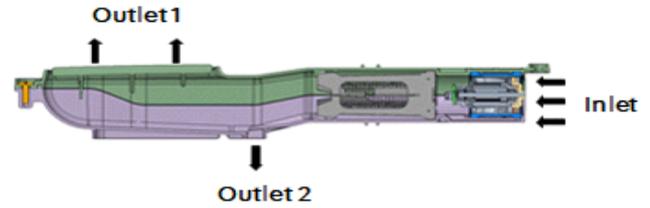
Case 1은 초기 설계한 모델이고, 초기 설계를 수정한 Case 2 모델, Case 2 모델을 기반으로 내부 베인을 추가한 Case 3 (베인 1개), Case 4(베인 2개), Case 5(베인 3개)를 추가하여 최적 구조 설계하였다. 전산유체해석(CFD) 수행은 상용해석 코드인 ANSYS FLUENT v18.1^[1-3]을 이용하여 수행하였다

2.2 경계조건

수치 해석 모델링 및 경계 조건은 그림1과 표 2에 나타 내었다.

[표 2] 기본 경계조건의 세부 사항

Fan rotation speed [r/min]	87,000
Inlet [Pa]	Total pressure
Outlet [Pa]	Static pressure (Outlet 1 + Outlet 2)



[그림 1] 경계 조건 모델링 단면

실제 인가 압력을 기준으로 모터의 Fan 회전수는 87,000[r/min]으로 설정하였고, 각 모델에 대한 토출구의 평균 속도, 유동 균일도, 내부 압력 분포도에 대해 비교하였다.

3. 연구결과

3.1 3D 설계모델

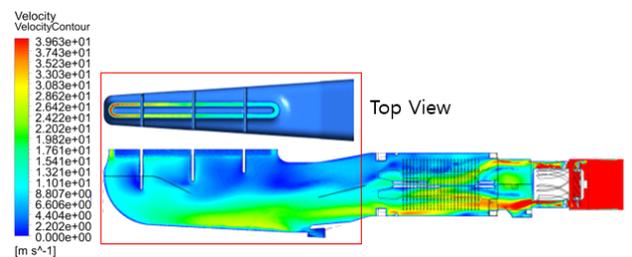
유동 속도 범위는 0-40m/s, 전압 범위는 0-3MPa로 고정을 하고 각 모델에 대한 해석을 진행하였다. Case 1은 초기 설계한 모델이며, 전산 유체 해석 결과 내용을 기반으로 모터의 fan으로부터 발생된 바람의 흐름을 방해하는 형상을 제거한 Case 2 모델을 생성하여 해석을 진행하였다.

Case 1-2 모델의 전산 유체 해석 결과를 보면, fan으로부터 발생된 바람이 높은 속도로 인해 하단부에 공통적으로 와류장을 생성하는 것을 확인할 수 있었다. 유체의 흐름을 자연스럽게 Outlet으로 배출될 수 있도록 Case 3, Case 4, Case 5, 3개의 모델은 Case 2 모델을 기반으로 유체의 흐름을 개선하기 위해 Vane 1개, 2개, 3개를 추가한 모델이다.

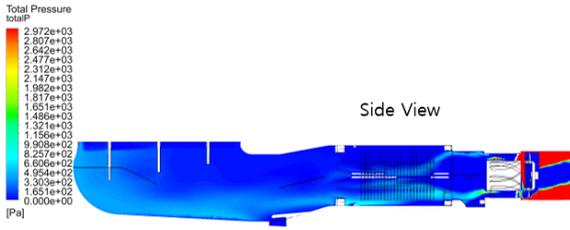
5가지 모델에 대하여 유동 속도, 전압, 토출 속도분포를 비교하여 최적의 형상을 결정하였다.

3.2 전산유체 해석결과

그림 2에는 초기 설계모델인 Case 1의 전산유체 해석 결과를 나타내었다. Case 1 해석 결과 풍속이 유로의 하단에 몰리는 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. Fan을 고정하고 있는 형상이 Fan으로부터 발생된 공기의 흐름을 일부 방해하는 것을 확인하였고, 공기 유동 측면에서 균일하지 않으며

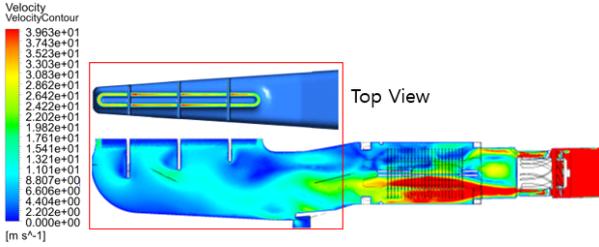


(a) Velocity contour (fixed range 0-40m/s) with Outlet velocity distribution

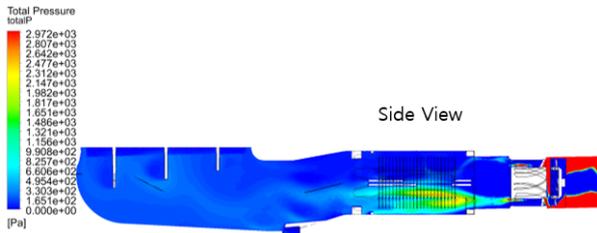


(b) Total Pressure (fixed range 0-3MPa)

[그림 2] 초기모델 Case 1 해석 결과



(a) Velocity contour (fixed range 0-40m/s) with Outlet velocity distribution



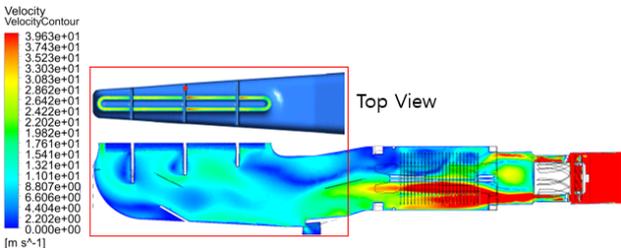
(b) Total Pressure (fixed range 0-3MPa)

[그림 3] Case 2 해석 결과

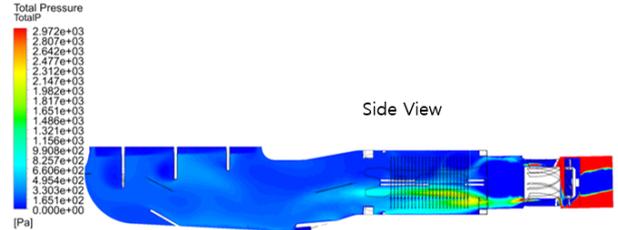
좁은 공간으로 많은 양의 공기가 몰리면서 소음 발생에 영향을 줄 것으로 판단된다.

Case 1의 해석 결과를 바탕으로 유동의 고른 분포를 위해 Fan 토출부의 고정 부위와 형상을 수정하여 Case 2를 설계 적용하였다. 같은 해석 경계조건으로 해석한 결과가 그림 3에 나타내었다.

Case 2와 같이 Fan 토출구 형상변경 결과 공기 흐름이 고르게 분포됨을 확인할 수 있었다. Case 2 형상을 바탕으로 내부 베인 효과를 알아보기 위해 Case 3(베인 1개), Case 4(베인 2개), Case 5(베인 3개)의 수치해석을 수행하였다.



(a) Velocity contour (fixed range 0-40m/s) with Outlet velocity distribution



(b) Total Pressure (fixed range 0-3MPa)

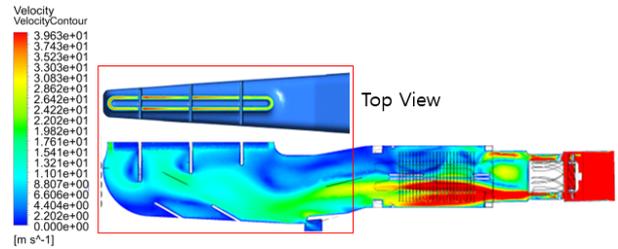
[그림 4] Case 3(Vane 1개) 해석 결과

그림 4에는 내부 베인이 1개인 Case 3의 전산유체 해석 결과를 나타내었다. 수치해석 결과 토출구에서 멀어질수록 유량분배가 어려움을 보였다.

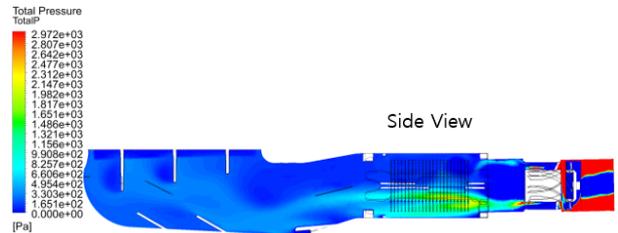
그림 5에는 내부 베인이 2개인 Case 4의 전산유체 해석 결과를 나타내었다. 수치해석 결과 토출구 전반에서 고른 유동 및 압력 분포를 보인다.

그림 6에는 내부 베인이 3개인 Case 5의 전산유체 해석 결과를 나타내었다. 수치해석 결과 토출구에서 가까운 지점에서 유량이 소실되는 현상을 보였다. 이는 과도한 베인에 의한 풍량 제한으로 판단된다.

표 3에는 각 Case 별 전산 유체 해석 결과 데이터를 정리해 놓았다. 토출속도, 면평균 토출속도, 표준편차 모두 유체의 흐

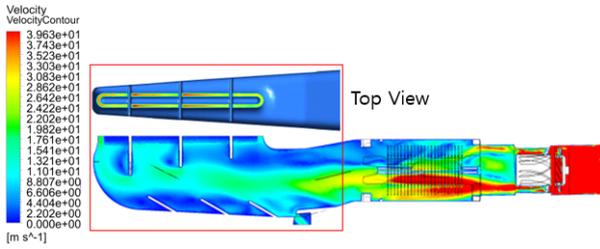


(a) Velocity contour (fixed range 0-40m/s) with Outlet velocity distribution

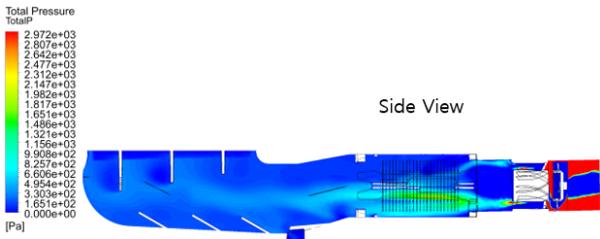


(b) Total Pressure (fixed range 0-3MPa)

[그림 5] Case 4(Vane 2개) 해석 결과



(a) Velocity contour (fixed range 0-40m/s) with Outlet velocity distribution



(b) Total Pressure (fixed range 0-3MPa)

[그림 6] Case 5(Vane 3개) 해석 결과

[표 4] 해석 결과 데이터

Model	토출 풍량 범위	평균 토출속도	표준편차
Case 1	0-26.33 m/s	14.78 m/s	5.8933
Case 2	0-20.73 m/s	16.32 m/s	2.1648
Case 3	0-24.80 m/s	17.15 m/s	2.7526
Case 4	0-22.23 m/s	17.65 m/s	2.2089
Case 5	0-21.53 m/s	17.18 m/s	2.3058

를 자연스럽게 토출구로 배출될 수 있도록 베인을 추가한 Case 3, Case 4, Case 5이 좋은 성능을 나타냈다. 세 종류의 모델을 비교해 보았을 때, Case 4 모델이 최대 속도가 Case 3 모델에 비해 좋진 않지만, 평균 토출속도와 표준편차가 가장 좋은 값을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 헤어 및 뷰티 산업의 성장에 발맞춰 가정용 바디 드라이어의 소형화 및 성능 개선을 목표로 하였다. 기존의 유도 모터를 사용한 제품들이 크고 무겁고 소음이 큰 단점을 해결하기 위해 소형 고속 BLDC 모터를 도입하였다. 이를 위해 직선형 노즐 구조를 설계하고, Ansys Fluent를 사용하여 전산 유체 해석(CFD)을 통해 다양한 노즐 구조의 공기 흐름을 분석하였다.

연구 결과, 초기 모델인 Case 1에서 유동 속도 분포의 불균일성이 명확하게 나타났다. Fan 토출구 형상이 공기 흐름을 방해하고 있음을 확인하였고, 이를 개선하기 위해 형상을 수정한 Case 2를 설계하였다.

개선모델 Case 2에 내부 베인을 추가하여 해석을수행하였다. Case 4(베인 2개) 모델이 평균권 토출속도와 표준편차 측면에서 가장 뛰어난 성능을 나타냈다.

[후기]

본 논문은 인하대학교 스마트제조고급인력양성사업 산학공동프로젝트 결과와 제조혁신전문대학원 석사학위논문 제출을 위해 발표한 논문입니다.

참고문헌

- [1] 김현신. "다양한 형상과 비율에 따른 질량유량 증폭기의 유동특성 및 최적화에 관한 연구." 국내박사학위논문 단국대학교 대학원, 2015. 경기도
- [2] 고민국. "비행 조건에 따른 멀티콥터 프로펠러 성능의 전산유체해석 및 풍동시험 연구." 국내석사학위논문 세종대학교 대학원, 2018. 서울
- [3] 민들레. "유동해석을 이용한 분사 반발력감소 소방노즐의 내부형상 설계." 국내박사학위논문 충북대학교, 2022. 충청북도