ISSN 1229-800X The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65P, No. 4, pp. 262~267, 2016
http://dx.doi.org/10.5370/KIEEP.2016.65.4.262

전산유체역학(CFD) 분석법을 이용한 High Wind Velocity/ High Drying Time 헤어드라이어의 개발

The Development of High Wind Velocity/High Drying Time Hair Dryer using Computational Fluid Dynamics Analysis Method

박 수 홍* · 박 종 찬†
(Soo-Hong Park · Jong-Chan Park)

Abstract - This paper describes a design of a hair drier to improve its performance. the performance of the hair drier can be improved by increasing the wind velocity of its discharge port. the design of the hair drier is accomplished by using the CFD. the validity of design results were verified by comparison with the dry change of the hair drier. In this paper, the initial condition of the applied hair drier is as follows, the number of the blade is 9, the diameter of the suction port is 40[mm], the tip clearance is 12.5[mm], the con angle is 28.5° and the fan angle is 27.5R. From design results, the enhanced condition of the hair drier can be obtained as follows, the number of the blade is 3, the diameter of the suction port is 50[mm], the tip clearance is 10.5[mm], the con angle is 21.5° and the fan angle is 75R. At the enhanced condition of the hair drier, the wind velocity of the hair drier is 29[%] increase, and the dry time is 40[%] increase compare to the initial condition of the hair drier.

Key Words : Computational fluid dynamics(CFD), Con angle, Fan angle, Inlet diameter, Tip clearance, Wind velocity

1. 서 론

내구성 소비재인 소형가전제품은 소비자의 다양한 기호변화에 따라서 고성능의 제품개발이 요구되고 있는 제품군이다. 특히 헤어드라이어의 경우 다품종 소량생산의 연구 개발형 산업으로 소득증대에 따라 의식주 및 문화생활의 편리성과 유행성에 따라 제품의 수요가 지속적으로 증가해 안정적인 성장 잠재력을 형성해 나가는 산업이라 할 수 있다.

최근 국내 유통시장의 개방과 수입선 다변화제도의 점진적 해체에 맞춰 미국, 일본, 유럽 등지의 선진 가전업체들이 국내 가전시장 진입을 위한 교두보로서 소형가전 시장을 우선적으로 공략하여 향후 대형가전 시장을 선점 장악하려는 전략을 추진하고 있다. 실제 '93년 이후 무역환경 변화로 8개 주요 소형가전제품의 무역수지가 '93년까지 흑자에서 '94년부터 적자로 전환되어 수입증가율이 매년 50[%]이상에 달해 수입제품의 국내 시장점유율이 '95년에 40[%]를 넘었으며, 일부 제품의 경우 2013년에는 85[%]에 이르게 된 실정이다[1].

2013년 이후 소형가전제품의 경우 국내 수입이 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 대만의 경우 '87년 가전시장 개방 후 가전제조업체의 계열 대리점들이 가전 양판점이나 수입 대리점으로 대거 전환하여 자국의 가전산업이 사양화 되어 가는 사례에 비추어 보아 국내 가전시장을 지키기 위해서는 우선 소형가전 시장 기반을 확고히 지켜야 하는 전략적 산업으로서의 중요성을 지니고 있다고 할 수 있다.

가전제품의 경우 2013년 이전까지만 하더라도 이·미용 제품의 경우 해외 브랜드 및 중국산 저가 제품군들의 국내 시장 장악력이 50[%] 이하였지만 2013년 GFK(Gesellschaft für Konsumforschung) 조사를 살펴보면 헤어드라이어도 이미 50[%]를 넘어서는 결과가 도출이 되었다[2].

수출금액을 살펴보면 2007년 18,702천불 수출을 한 이후에 1/3정도로 수출이 급격히 감소가 되었으며, 반면에 수입금액의 경우 2007년 21,551천불의 수입이 된 이후에 수출 금액 및 수입금액의 비중은 해외 수입의 30[%]선 만을 수출하고 있는 실정이다[3]. 이와 같은 원인은 중국에서 제조한 제품과 한국에서 제조한 제품과의 품질적 격차는 줄어들고 원가 경쟁력은 차이가 벌어지고 있음으로써 발생되는 문제점이라고 판단이 된다.

해외 브랜드들의 경우 해외 시장뿐만 아니라 국내 시장의 진입에 있어서 공격적인 마케팅을 진행 하고 있으며, 해외 시장에서의 국내 생산 제품의 시장 경쟁력은 점점 떨어지고 있는 추세이다.

이에 본 연구에서는 해외 브랜드 및 중국 제품의 시장 잠식을 막고 수출 시장 활성화를 위한 고기능성 헤어드라이어 개발을 연구 하고자 진행 하였다.

유닉스 전자(주)에서 자체 국내 소비자들에 있어 헤어드라이어에 대한 불만 사항을 조사한 결과 국내 소비자들의 경우 건조시간을 빠르게 하여 달라는 요구가 42[%], 소음을 저감 27[%]인 반면에 미국 판매점에서 요청을 하는 사항은 건조시간 36[%], 모발 보호가 45[%]를 차지하는 결과를 얻

* R&D Center, Unix-elec Co. Korea
† Corresponding Author : Department of Electrical Engineering Osan University, Korea
E-mail : jcpark@osan.ac.kr
접수일자 : 2016년 10월 31일
최종완료 : 2016년 11월 16일

을 수 있었다. 두 조사에서 공통적으로 요구를 하는 사항이 건조시간을 단축하여 달라는 요구가 가장 큰 요구사항인 것을 알 수 있었다. 하지만 단순히 모터의 RPM을 올려서 풍속을 증가시키는 것은 소음이 급격히 증가할 뿐만 아니라 모터의 내구성이 감소하는 역효과가 발생이 됨으로 본 연구에는 모터의 RPM을 16,000으로 유지시키면서 풍속을 증가시킬 수 있는 방법을 검토하고자 연구를 진행 하고자 한다.

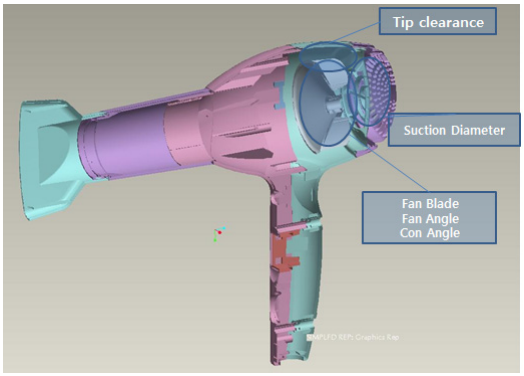

그림 1 헤어드라이어 C.F.D 분석 요소
Fig. 1 The C.F.D Analysis factor of hair dryer

이를 위하여 본 연구에서는 전산유체 역학을 이용하여 헤어드라이어에 있어서 풍속을 증가 시킬 수 있는 요소인 “Tip Clearance”, “흡입구 직경”, “팬 날개 수”, “팬 형상”, “Con 각도”에 대한 Simulation을 이용하여 최적 조건을 분석하고 이 분석 결과를 바탕으로 제품을 개발하고자 하였다. 종전 개발된 제품과 연구된 제품과의 건조 속도를 증가시켜서 국내 및 해외 소비자들이 만족할 수 있는 제품을 개발 하여 향후 제품 판매 증대를 이루고자 본 연구를 진행하였다.

2. 전산 유체 역학 분석

2.1 팬 날개 수에 따른 유동 해석

본 논문에서는 헤어드라이어의 팬의 형태 중 고출력을 발생 시킬 수 있는 터보팬에 대해서 먼저 연구를 진행 하였다. 즉 터보팬의 날개 수, Tip Clearance, 그리고 흡입구 직경에 따른 풍속 변화에 대한 연구를 진행 하였다. 시뮬레이션의 경우는 헤어드라이어의 구성품인 노즐을 장착하지 않은 상태에서 분석을 하였다.

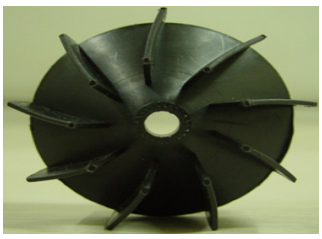

그림 2 헤어드라이어 팬의 모습
Fig. 2 A fan Photographic of hair dryer

그림 2는 본 논문에서 사용을 한 팬의 사진이다. 먼저 팬의 날개 수에 대한 최대 효율을 분석하고자 현재 헤어드라이어에 사용하고 있는 팬 분석을 진행 하였다. 현재 사용하고 있는 팬의 날개 수는 9개 이며, 흡입구 직경 40[mm], Tip clearance 12.5[mm], Con 각도 28.5°, 팬 각도 27.5R로 구성이 되어 있다. 팬의 회전수는 16,000[rpm]으로 재질은 폴리프로필렌으로 제작이 된 팬을 사용하였다. 그림 3과 그림 4는 팬의 회전이 16,000[rpm], 팬의 날개의 수는 9개, 흡입구 직경 40[mm], Tip clearance 12.5[mm], Con 각도 28.5°, 팬 각도 27.5R일 때 팬 날개에 받는 압력을 시뮬레이션을 한 결과이다.

이의 팬으로 유입이 되는 바람의 경우 흡입구를 통하여 유입이 되어서 팬의 날개 중심으로 유입이 되고 회전을 통하여 모터 밴드를 통하여 히터부로 이동을 한다. 이때 팬과 흡입구 사이의 공간적인 영역에는 와류/난류(Turbulence)가 형성이 되어 팬의 회전을 방해하는 요소로 작용을 하고 팬의 하측 부위의 경우는 풍속이 빠르게 형성이 되는 구조를 지니고 있다. 또한 팬의 하측에는 역류되는 바람에 의하여 손실을 가지고 오는 바람이 존재를 하는 사실을 알 수가 있었다. 다음은 팬의 블레이드(blade)수에 따라서 팬 주위의 풍속을 시뮬레이션을 진행하고자 하였다. 팬의 날개수는 3개, 5개, 7개, 9개에 대해서 진행을 하였으며, 그 결과를 그림 3부터 그림 5까지 나타내었다.

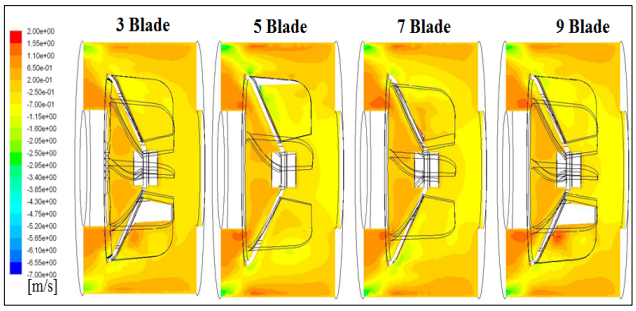

그림 3 팬의 날개 수에 따른 팬 부위에 유입되는 바람의 방향과 풍속
Fig. 3 A Fan blade number of fan entering the area according to the wind direction and velocity

그림 3의 결과를 살펴보면 팬 날개의 수가 적을 경우 팬 날개에 간접적으로 받는 교란 운동 에너지는 적어짐에 따라서 풍속이 증가 할 것으로 추정을 하여 볼 수 있다. 특히 팬의 날개 수가 많을수록 모터에서 요구되는 토크는 클 수밖에 없으며, 회전 소음 또한 증가 할 수밖에 없을 것으로 판단된다. 즉, 팬 자체로 볼 때 팬 날개의 수가 많을수록 팬 날개가 받는 교란 운동에너지가 커짐으로 입력에 비하여 출력이 약화 될 수밖에 없을 것으로 사료가 된다. 팬의 흡입구 쪽에서 유입이 되는 압력을 400Pa로 고정을 시키고, 팬의 회전수를 16,000[rpm]으로 하였을 때 팬 날개 수에 따른 풍속 변화를 확인을 하였다.

그림 4의 결과를 살펴보면 팬의 날개 수가 3개일 때 평균 풍속은 16.252[m/s], 5개일 때 15.896[m/s], 7개일 때 15.639 [m/s], 9개일 때 15.939[m/s]로 팬의 날개 수가 증가하면 할수록 토출구의 풍속은 점점 감소하는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 이유는 팬의 날개 수가 많을수록 플라스틱 하우징에서의 풍속이 증가하면서 와류의 발생이 커지기 때문에 발생 하는 영향으로 토출구로 나오는 바람의 속도는 오히려 줄어드는 현상이 나타나고 있다고 추정이 된다. 그림 4는 팬의 날개 수에 따른 풍속 변화를 정리한 내용으로 팬의 날개 수가 3개로 구성이 될 때 9개일 때 보다 풍속은 약 2[%]가 증가하는 것을 알 수 있었다.

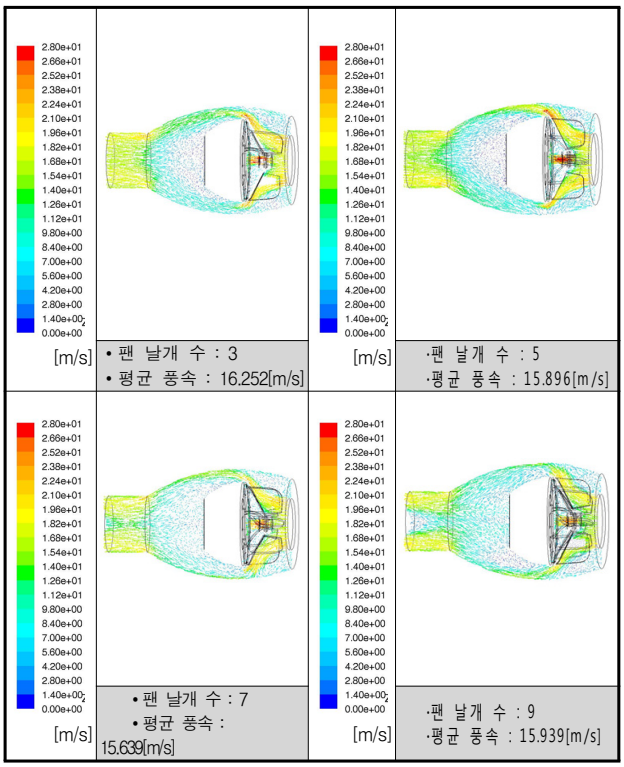

그림 4 팬의 날개 수에 따른 풍속 변화

Fig. 4 The Wind velocity change according to the number of fan

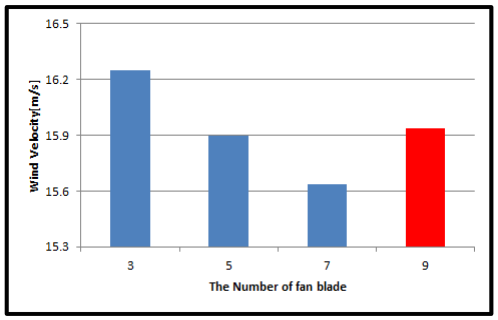

그림 5 팬 날개 수에 따른 풍속 변화

Fig. 5 The wind velocity in accordance with the number of Fan blades

2.2 흡입구의 직경에 따른 유동 해석

바람이 팬으로 유입이 되는 크기를 조정하면서 풍속의 변화에 대해서 모의실험을 진행 하였다. 모의실험의 조건은 현재 판매되고 있는 제품의 RPM인 16,000 그리고 팬의 날개 수는 9개로 진행을 하였다. 흡입 유로의 변화에 따라서 풍속의 변화를 검토함으로써 최적의 풍속 조건을 찾고자 진행을 하였다.

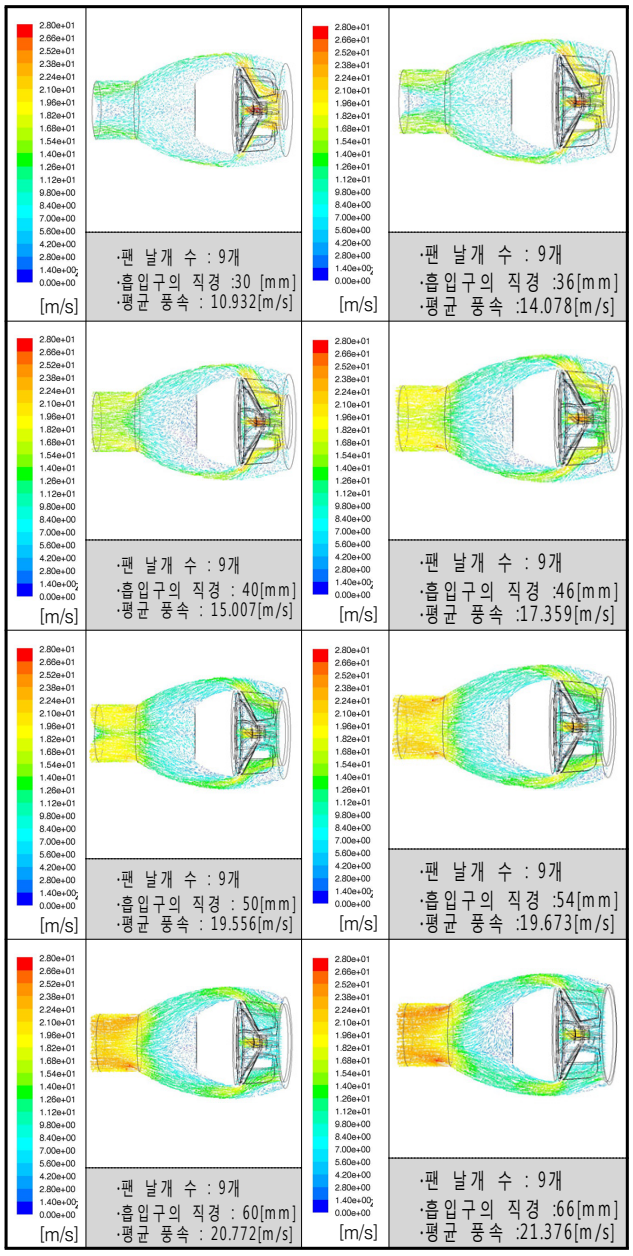

그림 6 흡입구 직경에 따른 풍속 및 압력변화

Fig. 6 The wind velocity and pressure change according to the inlet diameter

그림 6과 그림 7은 모의실험의 결과를 나타낸 것이다. 흡입구 직경의 크기가 30[mm]일 때 평균 풍속이 10.932[m/s]이었고, 흡입구 직경의 크기가 커질수록 풍속은 증가를 하였으며, 66[mm]일 때 21.376[m/s]로 증가를 하는 것을 알 수 있었다. 특히 흡입구가 작을수록 팬 날개 각각이 받는 압력은 증가를 하는 것을 알 수가 있었다. 이와 같은 결과를 검토하여 볼 때 팬으로 흡입이 되는 흡입 유로의 경우 흡입구의 크기가 크면 클수록 풍속이 증가함을 알 수 있는

결과라는 것을 알 수 있었다. 더불어 흡입구의 직경이 50[mm] 이상에서는 포화가 되는 특성이 나타남을 알 수 있었다. 흡입구의 직경을 크게 하면 할수록 풍속의 증가는 기대 할 수 있지만 문제점은 모발의 유입에 따른 모터 구속과 같은 2차적인 문제가 발생 할 수 있음으로 이 부분에 대한 최적 조건 값을 설정하는 것이 중요할 것으로 사료가 된다.

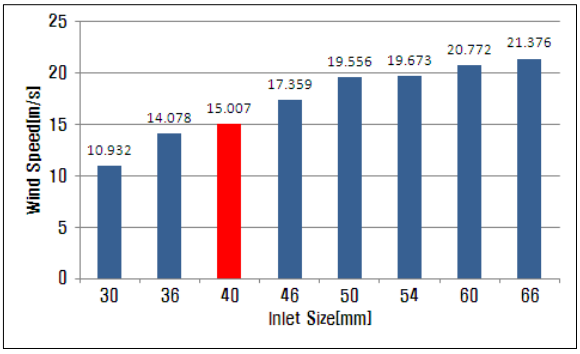

그림 7 흡입구 직경에 따른 풍속 변화
Fig. 7 The wind velocity according to the inlet diameter

2.3 Tip Clearance에 따른 유동 해석

그림 8과 그림 9는 Tip Clearance에 따른 풍속의 변화를

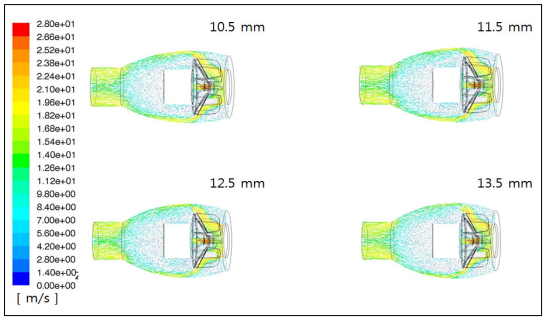

그림 8 Tip Clearance에 따른 유로 분석
Fig. 8 The flow analysis according to tip clearance

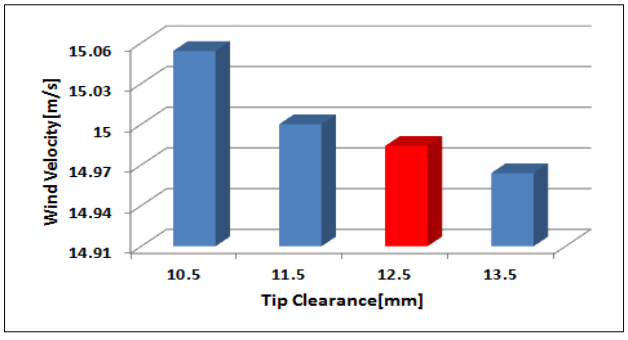

그림 9 Tip Clearance에 따른 풍속 변화
Fig. 9 The wind velocity according to the Tip clearance length

모의실험을 하기 위한 것이다. 그림의 결과를 살펴보면 팬의 밑 부분에서 팬으로 향하는 역풍이 발생하는 것을 알 수 있었다. 더불어 Tip Clearance의 증가에 따라서 풍속이 감소를 하는 것을 알 수 있었다. 즉, 10.5[mm]일 때는 평균 풍속이 15.054[m/s]인 반면에 Tip Clearance가 증가를 한 13.5[mm]일 때는 14.964[m/s]로 감소를 하는 것으로 확인이 되었다. 이와 같은 원인은 팬 주위로 들어오는 와류에 의한 원인에 의하여 바람 토출을 방해하기 때문에 발생을 하는 것으로 추정이 된다.

2.4 Con 각도에 따른 유동 해석

그림 10은 Con 각도의 변화에 따른 풍속 변화의 평균값을 유동 해석을 한 결과를 나타낸 것이다. Con 각도가 21.5°일 때 평균 풍속은 15.2m/s인 반면에 23.5°일 때 15.161m/s로 감소를 하는 특성을 나타내었다. 즉, Con 각도의 증가에 따라서 평균 풍속은 감소를 하는 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 Con 각도의 크기를 작게 하면 할수록 평균 풍속이 증가를 함을 알 수 있었으며, Con 각도이 28.5°에 비하여 21.5°일 때 평균 풍속은 9.9%가 증가함을 알 수 있었다.

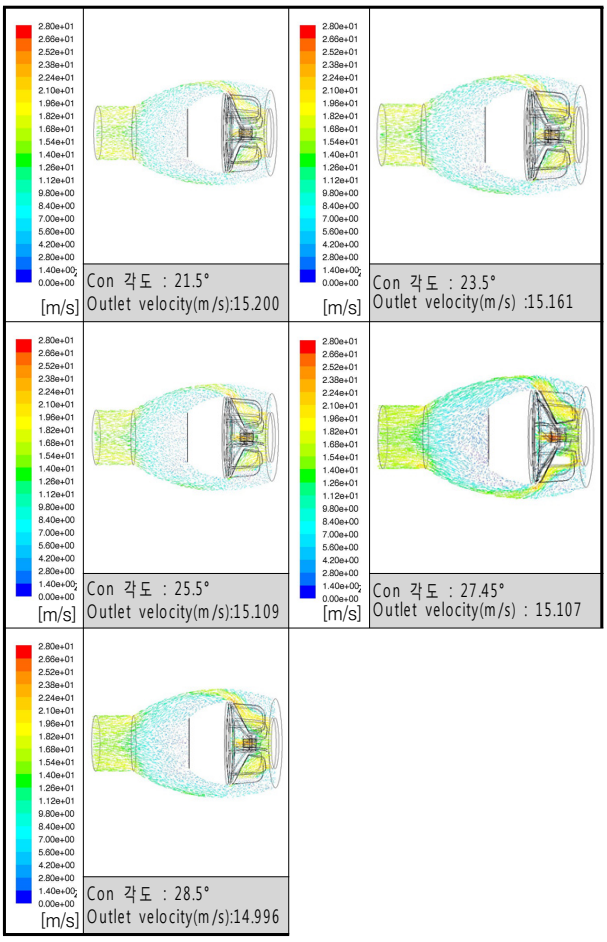

그림 10 Con 각도에 따른 풍속 변화
Fig. 10 The wind velocity according to the con angle

2.5 팬 각도에 따른 유동 해석

그림 11은 팬 각도에 따른 유동 해석을 나타낸 결과이다. 팬 각도가 27.5R일 때 평균 풍속은 15.702[m/s]이었으며, 30R일 때는 15.695[m/s]로 증가를 하였다 또한 팬 각도가 75R일 때 평균 풍속은 15.866[m/s]로 증가를 하는 특성이 나타남을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 팬 각도가 증가에 따라 팬으로 유입이 되는 공기가 팬 각도가 작았을 때는 부하를 받거나 와류의 발생량이 증가를 하나 팬 각도가 커지면 와류가 적어짐으로써 발생하는 원인이라고 판단을 한다.

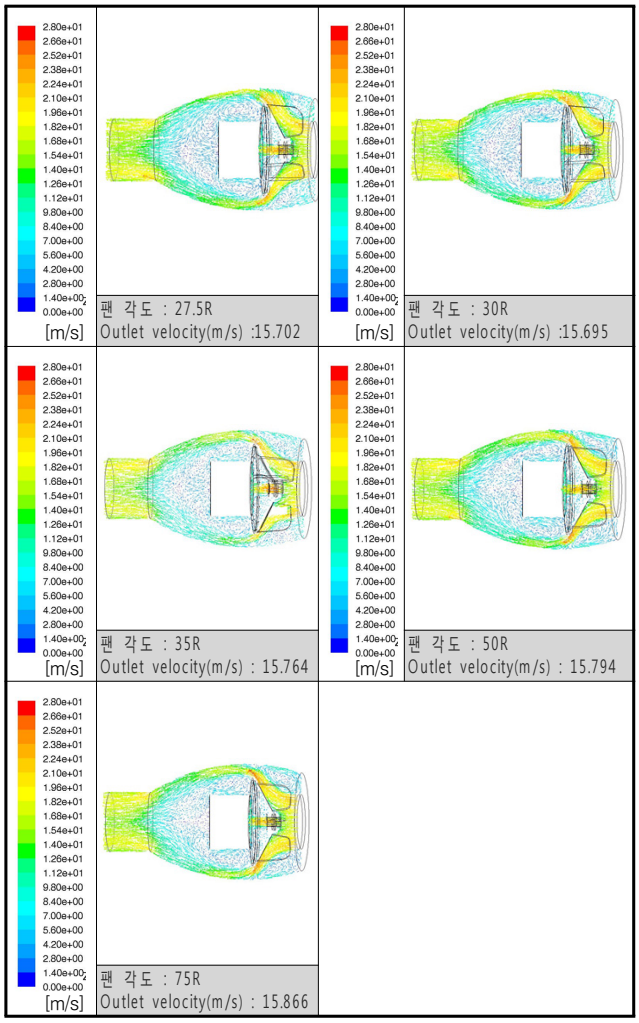

그림 11 팬 각도에 따른 풍속 변화
Fig. 11 The wind velocity according to the fan angle

2.6 최적 조건에 따른 전산유체해석

그림 12는 전산유체 역학을 통하여 분석된 최적 조건으로 설정 한 헤어드라이어 풍속 모의실험결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서 얻어진 결과물을 이용하여 최적 조건으로 설정을 하였을 때 풍속의 경우 19.616[m/s]의 평균값을 얻을 수 있었다. 이는 노즐을 장착하지 않은 상태에서의 풍속 평균값이다.

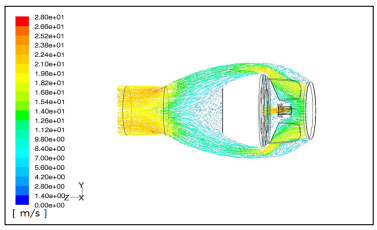

그림 12 헤어드라이어의 풍속
Fig. 12 The wind velocity of hair dryer

3. Working Mock up 특성 분석

그림 13은 본 논문을 통하여 개발된 헤어드라이어의 Working Mock up 모습을 나타낸 것이다. 온도 조절 스위치와 풍속 조절 스위치를 각각 구성을 하였으며, 팬은 영업용 제품에 적합한 터보팬으로 구성을 하였다. 또한 노즐의 경우 10[mm] 폭의 노즐을 이용하여 모발의 건조 및 스타일링을 보다 쉽게 구현을 할 수 있도록 설계를 하였다.

그림 13 시험용 헤어드라이어 목업
Fig. 13 The hair dryer working mock up

표 1은 종전 제품과 연구된 제품의 특성 분석을 나타낸 것이다. 실험 결과의 공정성을 위하여 공인 인증기관에서 실험 진행을 하였다. 헤어드라이어의 풍속과 건조시간을 측정하는 방법은 KS C IEC 61855:2005[4]에서 제안을 하는 방법으로 진행을 하였다. 풍속의 실험 방법은 노즐에서 3cm 떨어진 부분에서의 최대 풍속을 측정하는 방법으로 진행을 하며, 건조량의 측정 방법은 소비전력을 절대 값으로 놓고 실험을 진행하는 방법으로 소비전력별 건조량을 분석하고자

표 1 종전 제품과 연구 제품의 특성 분석
Table 1 Performance anaysis of developed model and initial model

번호	제목	종전 제품	연구 제품
1	팬 날개 수	9	3
2	흡입구 크기	40[mm]	50[mm]
3	Tip Clearance	12.5[mm]	10.5[mm]
4	Con 각도	28.5°	21.5°
5	팬 각도	27.5R	75R
6	풍속	23.5[m/s]	30.2[m/s]
7	건조량	7.73[mg/W]	10.82[㎎/W]

하였다. 실험은 국가 공인 연구소인 LTA(Laboratory for Test & Approval Co. Ltd)에서 진행을 하였으며, KS C IEC61855:2005 실험법으로 진행을 하였다.

표 1의 결과와 같이 풍속의 경우 종전 제품의 풍속 23.5[m/s]에서 연구된 제품의 풍속이 28.5[%]가 증가가 되었으며, 건조량의 경우 6.53[mg/W]에서 10.82[mg/W]로 약 40[%]의 건조량이 증가됨을 알 수 있었다.

풍속의 경우 전산유체역학 분석에서는 19.616[m/s]의 평균 풍속값을 얻을 수 있었으나 실질적으로 분석을 한 결과에서는 30.2[m/s]의 값을 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과는 전산유체역학에서는 풍속의 평균값을 계산을 한 것이고 KS C IEC 61855:2005의 풍속 측정 방법은 노즐에서 3[cm] 거리에서 최대 풍속의 한 포인트를 측정하는 방법이기 때문에 이와 같은 결과가 도출이 된 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 논문에서의 목적은 모발을 건조하기 위하여 가정에서 사용하는 헤어드라이어의 성능 향상을 위한 것이다. 헤어드라이어 성능 향상을 위한 가장 중요한 요소인 바람의 속도를 증가시키기 위한 것이다. 먼저 전산유체역학을 이용하여 모의실험을 진행하고 그 결과 값을 이용하여 제품을 개발한 후에 바람의 속도와 건조량의 변화를 측정하였다.

본 논문에 사용한 제품의 경우 팬의 날개 수가 9개, 흡입구 직경 40[mm], Tip clearance 12.5[mm], Con 각도 28.5°, 팬 각도 27.5R의 제품을 이용하여 최적의 풍속 특성을 검토하기 위하여 본 연구를 진행 하였다.

전산유체역학으로 분석된 최적 구조는 팬 Blade 수 3개, 흡입구 크기 50[mm], Tip Clearance 10.5[mm], Con 각도 21.5°, 팬 각도 75R로 분석이 되었다. 이 결과를 이용하여 개발 된 헤어드라이어 경우 풍속은 30.2[m/s]로 종전 제품에 비하여 풍속이 약 29[%] 증가하였으며, 건조량의 경우 10.82[㎎/W]로 약 종전 제품에 비하여 40[%] 증가됨을 알 수 있었다.

향후 이러한 Simulation 결과를 활용하여 제품에 직접 적용하여 종전 제품에 비하여 성능이 최적화된 된 제품으로 개발을 하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 중소기업청 주요사업 '산학연협력 기술개발사업'의 연구 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Electronics Newspaper, "Analysis of Noise Characteristics of a Hair Dryer", 2013/3/31.
[2] Gesellschaft für Konsumforschung, "Hair Dryer Marketing Report Results", 2013.
[3] http://www.customs.go.kr, "Hair Dryer HS Code_851631", 2014.
[4] KOREAN STANDARDS ASSOCIATION, "Household electrical hair care appliances - Methods of measuring the performance" KSC IEC61855,2005. (ww.ktc.re.kr/united/common/com_filedown.asp)
[5] Jae-beom Kim, et al., "Optimal design of double winding 2-phase Brushless DC Motor for hair-drier", Korea Electric Association, Journal of Electrical Engineering & Technology 8(5), 2013, 1131-1137

저 자 소 개

박 수 홍 (朴 修 弘)

1995년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1997/2000년 同 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 2003~ 현재 유닉전자(주) 연구소장
Tel : 02) 703 - 7111
E-mail : pvdf9514@empa.com

박 종 찬 (朴 鍾 讚)

1955年12月19日生. 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1988年 同 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002年 同 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992年 ~ 현재 오산대학 전기과 교수.
Tel : 031) 370 - 2670
E-mail : jcpark@osan.ac.kr

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.