

휨 변형 최소화 근접 냉각 금형을 통한 고성능 고효율 플라스틱 축류팬 개발

신광호¹ · 김미애¹ · 채보혜¹ · 박상욱² · 김용대[†]
한국생산기술연구원 금형기술그룹^{1,†}
유신코리아(주)²

Development of high performance and efficiency plastic axial fan by proximity cooling mold to minimize warpage

Kwang-Ho Shin¹ · Mi-ae Kim¹ · Bo-Hae Chea¹ · Sang-Wook Park² · Yong-Dae Kim[†]
Mold & Die R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology^{1,†}
Yusin korea co. ltd.²

(Received March 05, 2019 / Revised March 26, 2019 / Accepted March 31, 2019)

Abstract: The cooling unit of the industrial showcase consists of a compressor, a condenser and an evaporator. An axial fan is used to circulate the air to improve the efficiency of the heat exchanger. In the past, aluminum fans have been used, which have problems such as low performance, efficiency, high failure rate, and high noise. This study is to develop high performance, high efficiency plastic fan replacing aluminum fan. A major factor in determining the performance and noise of an axial fan is the angle and cross-sectional shape of the blade, which is suitable for raising the lift force, thereby controlling the vortex, which is the main cause of noise and performance degradation. In order to produce a high efficiency injection molded fan, it is necessary to develop a mold that minimizes the deformation of the injection process for the designed shape. In this study, we developed a high efficiency, low noise plastic injection fan with more than 11% performance improvement and noise reduction compared to conventional aluminum fan

Key Words: Axial Fan, Deformation, Efficiency, Injection molding, Proximity cooling

1. 서 론

축류형 송풍기는 상대적으로 작은 비직경에서도 비속도가 크기 때문에 큰 유량을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인하여 축류형 송풍기는 공조기기, 수송기기의 냉각, 에어컨의 실외기, 냉장고 등의 가전제품과 컴퓨터 및 각종 전자기기 등의 냉각장치 등 적용범위가 매우 넓고 보편적으로 사용되고 있다.

축류형 송풍기는 날개에 작용하는 양력에 의하여 주변 공기에 에너지를 부여하는 방식으로 회전 원심력에 의하여 에너지를 공급하는 원심형 송풍기에

비하여 풍량은 크지만 전압이 작으므로 설계점 이외의 운전조건에서는 효율이 급격하게 낮아지는 단점이 있어^{1,2)} 고압이 요구되는 환경에는 적합하지 않으며 송풍기의 설계 및 제작에 따른 성능 및 효율이 크게 달라지기 때문에 최근 산업계에서는 시스템의 컴팩트화를 위해 작은 크기와 모터 용량에도 많은 풍량과 높은 효율을 갖는 소형 축류형 송풍기의 요구가 많은 실정이다.

냉동 공조 분야에 사용되는 축류 송풍기는 알루미늄 관재의 프레스 공정을 통해 성형하는 금속 팬 제조방식과 고분자 사출을 통해 생산하는 플라스틱 팬이 있다. 플라스틱 팬의 경우 금형의 구조가 복잡하고 후변형에 의하여 목표성능에 미치지 못하거나 고분자 재료의 특성상 팬이 회전을 하면서 유동 저항에 의하여 블레이드의 날개각이 완만하게 퍼지면

1. 한국생산기술연구원 금형기술그룹
† 교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹
E-mail: ydkim@kitech.re.kr

서 목표한 성능에 미치지 못하는 경우가 발생할 수 있어서, 에어포일 형태의 블레이드 단면을 구현하여 팬의 성능을 극대화 할 수 있고 높은 생산성을 갖는 등 사출을 통한 플라스틱 축류팬 생산공정의 장점에도 불구하고 제조업체에서 적용을 꺼리는 원인이 되고 있다.

본 연구는 산업용 쇼케이스 냉각기에 사용되는 알루미늄 팬의 낮은 효율, 높은 불량 및 변형으로 인한 성능 저하와 소음 증가 등의 문제를 해결하기 위해 알루미늄 팬을 대체하는 고성능, 고효율 플라스틱 팬을 개발하는 것이다. Fig. 1은 산업용 쇼케이스 냉각 시스템 개략도를 나타낸 것이다. 축류 팬의 성능 및 소음을 결정하는 주요 인자는 충분한 양력을 발생시키기 위한 날개의 각도와 양력 발생에 효과적인 날개의 3차원 형상 구현 방안이며, 이는 소음과 성능 저하의 주요 원인이 되는 와류의 제어를 통해 이루어진다. 또한 고효율 날개 형상의 설계와 더불어 설계 형상의 정확한 구현을 위해 사출공정 중 후변형을 최소화하기 위한 금형 개발이 필요하다^{3,5)}. 이를 통해 본 연구에서는 기존 알루미늄 팬 대비 11%이상 성능이 향상되고 소음이 저감된 고효율, 저소음 플라스틱 사출 팬을 개발하였다.

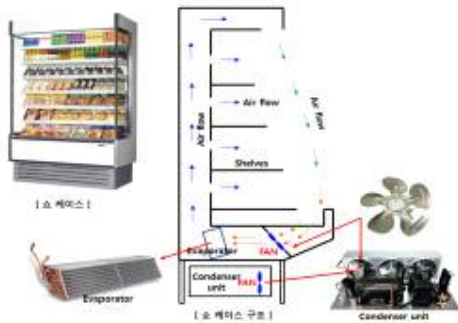


Fig. 1 Industrial showcase cooling system overview

2. 팬의 형상 및 특성

2.1. 알루미늄 팬의 형상 및 성능

현재 산업용 쇼케이스 냉동공조용으로 사용되고 있는 소형 축류형 팬은 0.8mm 두께의 알루미늄 판 재를 프레스 성형공정을 통해 제작하고 있으며, 날개 끝단을 기준으로 팬의 최 외곽 직경은 200mm, 모터 구동축과 안착되는 허브부의 직경은 44mm, 허브부로부터 5개의 날개를 갖고 있는 구조로 허브부

와 연결된 날개의 각도는 약 24도로 이를 통해 공기에 양력을 부여하여 앞쪽으로 이송하는 작용을 한다. 날개부에는 회전시 날개의 변형을 막고 구조적 강도를 높이기 위해 회전시 하중이 많은 위치에 패턴을 성형하여 구조강도를 높이고 있으나, 이는 구동시 유동저항과 와류를 생성하여 성능이 저하되고 소음이 발생하는 원인이 된다. Fig. 2은 기존 쇼케이스 냉각기용 알루미늄 팬 제품이다.



Fig. 2 Aluminum Fan for show case cooler

Table 1 Performance properties of aluminum fan

| | Static pressure (mmH ₂ O) | | |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| | 0.0 | 1.0 | 2.0 |
| Flow rate | 7.44 cm ³ | 6.6 cm ³ | 5.9 cm ³ |
| Noise | 50.3 dBA | - | - |
| Weight | 52.7 g | | |

2.2. 플라스틱 사출팬의 설계

기존 알루미늄 팬의 형상 데이터를 기반으로 플라스틱 팬의 형상을 설계하였다. 허브의 크기와 팬의 외경은 기존 팬의 값을 유지하고, 구조적으로 취약한 허브와 각 날개의 연결부 보강 및 회전시 발생하는 와류를 최소화하여 팬의 효율을 향상 할 수 있도록 날개의 끝단에서 생성되는 와류를 감소할 수 있는 톱니형 구조를 추가하였다. Fig. 3은 기존 알루미늄 팬을 대체하기 위해 새롭게 개발한 고효율 플라스틱 팬 모델을 나타낸 것이다.

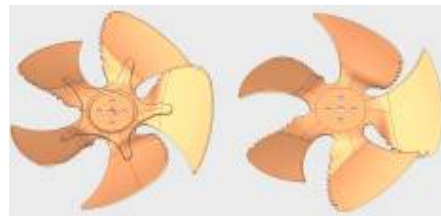


Fig. 3 Plastic Fan 3D model

3. 해석을 통한 금형 설계

3.1. 해석모델 및 방법

본 연구에서 냉동공조용 소형 플라스틱 팬의 사출공정 중 발생하는 변형을 최소화하기 위해 Moldflow로 사출해석을 수행하여 금형 구조를 최적화하고 이를 설계에 반영하였다. Fig. 4은 본 연구의 해석모델의 격자구성과 런너시스템을 나타낸 것이다. 생성한 FE 격자의 수는 60,451개이고 대상 모델의 형상이 두께 변화가 거의 없으므로 Dual Domain 격자 시스템을 적용하여 모델을 생성하였다. 축류팬은 각각의 날개의 중량 및 형상 등이 동일하지 않을 경우 비대칭성에 기인하여 회전 모터의 부하가 증가하고 성능 및 효율 저하는 물론 소음 발생의 원인이 될 수 있으므로 모든 날개에 일정하게 수지가 충전될 수 있도록 각 날개의 허브측에 게이트 직경 ϕ 3.0mm의 핀 포인트 콜드게이트를 설치하였고 런너는 아래면 폭이 5mm 윗면의 폭이 6mm 높이가 6mm인 사다리꼴 채널 단면의 방사형 런너시스템으로 구성하고 스프루는 최소직경 ϕ 3.5mm에서 ϕ 6.0mm로 확대되도록 설계하였다.

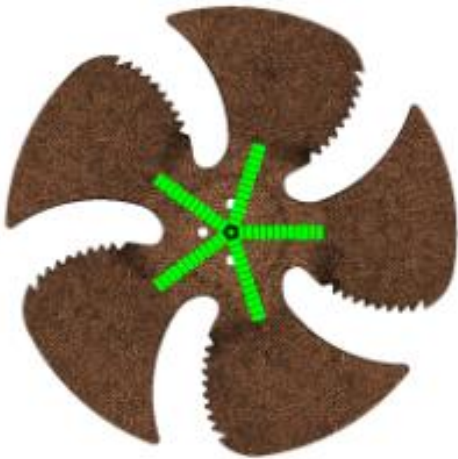
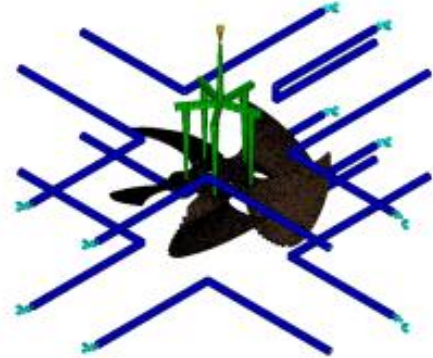


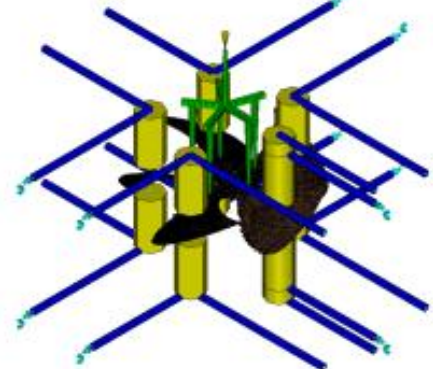
Fig. 4 Generated mesh and runner system

냉각라인은 일반적인 범용 제품에 많이 적용하는 직선 채널형 구조, 팬과 같이 개별 냉각에 가장 많이 적용되는 탱크냉각 구조, 그리고 날개 표면온도

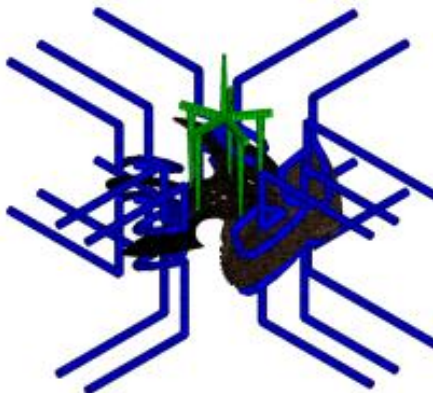
의 균일성을 향상시킬 수 있는 근접냉각 채널 등 3가지 형태의 냉각 라인을 구성하였다. Fig. 5는 본 연구를 위해 구성된 3가지 형태의 냉각 시스템과 전체 해석모델이며, 냉각수의 공급 조건 등은 동일하게 해석하였다.



(a) Type I : Straight cooling Channel



(b) Type II : Cooling tank



(c) Type III : Proximity cooling channel

Fig. 5 3 Type of Cooling System

사출해석을 위한 수지는 냉동공조용 축류팬에 사용하고 있는 폴리프로필렌(Poly Propylens, PP) 수지에 Talc로 강화된 수지를 적용하였으며, Talc 함유량에 따른 변형 거동을 확인하기 위해 동일한 PP수지를 기반으로 Talc의 함유량이 각각 10%, 20%, 30%로 다른 한화케미컬의 TI71N, TB72S, 그리고 TB53N 소재를 적용하여 해석을 수행하고 유리섬유 함량에 따른 팬의 사출후 변형을 분석하여 최적의 금형형상과 소재조건을 도출하였다. Table 2는 적용된 소재의 물성을 나타낸 것이다. Talc의 함유량이 증가할수록 강도와 밀도 즉 중량이 증가함을 알 수 있다.

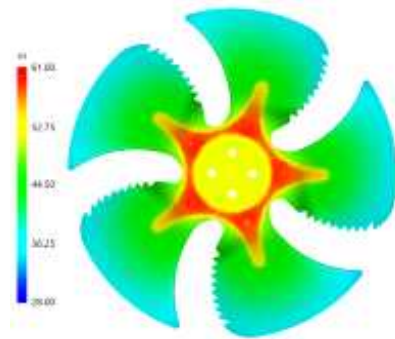
Table 2 Material properties of Polymer

| | Talc Weight(%) | E-modulus | density(solid) |
|-------|----------------|-----------|----------------|
| TB71N | 10% | 1440 MPa | 1.0014 |
| TB72S | 20% | 1561 MPa | 1.0702 |
| TB53N | 30% | 1725 MPa | 1.1814 |

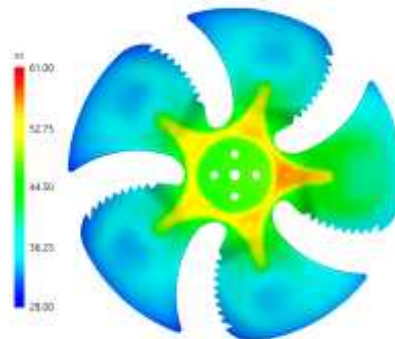
사출공정 조건은 금형의 열린 시간을 5.0초로 하여 전체 사출공정이 30.0초에 이루어지도록 설정하였다.

3.2. 해석결과

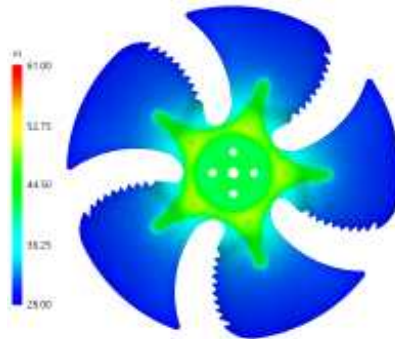
축류팬의 효율적인 냉각을 위해 3가지 Type의 냉각 라인에 대한 해석을 수행하고 성능을 비교하였다. Fig. 6은 냉각에 따른 금형 표면의 온도분포를 나타낸 것이다. Fig. 6 (a)의 Type I 단순 직선형 채널의 경우 금형 표면의 온도 최대 61℃에서 31℃의 분포를 나타내고 있어 온도편차가 최대 30℃로 크고 충분한 냉각이 이루어지지 않고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 6 (b)의 탱크 냉각의 경우, 금형 표면 온도는 56℃~ 30℃의 분포를 나타내고 있어 위치에 따른 온도편차가 26℃로 직선형 채널에 비하여 냉각 효율이 향상되었다. Fig. 6 (c)의 날개 형상에 근접 형성된 채널을 통해 금형을 냉각하는 경우로 이때 금형 표면의 온도는 허브측 가장 온도가 높은 부분이 49℃이며, 날개끝의 가장 낮은 곳의 온도는 28℃로 위치에 따른 냉각편차가 21℃로 가장 냉각이 효율이 우수하고 위치별 편차도 현저히 감소하였음을 확인할 수 있다.



(a) Straight cooling channel (Type I)



(b) Cooling tank (Type II)



(c) Proximity cooling channel (Type III)

Fig. 6 Analysis results of mold temperature

냉각해석 결과를 바탕으로 충전 해석을 진행한 결과 충전에 걸리는 시간은 약 0.79초이며 충전 패턴은 Fig. 7과 같다. 냉각성능이 떨어지는 금형일수록 수지의 온도가 높은 상태를 더 오랫동안 유지함에 따라 유동성 유지로 인하여 조금 더 빨리 충전되는 양상을 확인 할 수 있었으며 각 Type별 최종 충전에 걸리는 시간은 Table 3에 나타내었다.

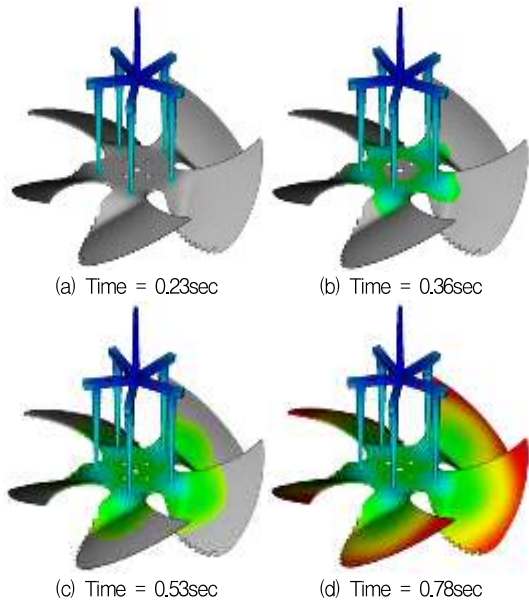


Fig. 7 Analysis results of filling pattern

Table 3 Comparison of filling time according to cooling type

| Cooling type | Type I | Type II | Type III |
|--------------|--------|---------|----------|
| Time(sec) | 0.787 | 0.793 | 0.794 |

유동해석을 통해 계산된 잔류응력 결과를 이용하여 제품 취출시 변형의 양상과 크기를 예측하기 위한 변형해석을 수행하였다. 수축의 주요 원인은 두께 편차 등에 따른 냉각 불균일, 불균일 수축 그리고 고분자 및 첨가재료의 배향의 불균일이 주요 원인으로 알려져 있으며^{3,4)}, 본 연구 모델의 두께 편차가 거의 없고 충전거동이 일정하므로 냉각 유로의 차이에 따른 냉각 불균일에 의한 변형이 주요 원인일 것으로 예상되며, 첨가소재인 Talc의 함유량이 다른 경우 이에 따른 배향의 차이에 의해 변형의 정도가 다르게 나타날 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 8은 냉각 형태에 따른 팬의 Z-방향(팬의 축 방향) 변형에 대한 예측결과를 나타낸 것이다. 변형의 주요 원인은 불균일 냉각에 기인한 것으로 상대적으로 온도가 높은 허브측은 +Z방향으로 변형이 발생하고 온도가 낮은 날개 끝단으로 갈수록 -Z방향 변형이 발생함을 확인할 수 있다. 냉각 형태에 따른 변형 정도 및 양상을 살펴보면, Fig. 8(a)의 직선형 채널냉각 방식의 Type I은 허브측의 변형량 +

0.567mm, 날개 양끝단의 최대 변형량이 -1.176mm 발생하였음을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)의 탱크 냉각방식은 허브 중심은 +0.395mm, 날개 끝단은 -0.886mm의 변형이 발생하였으며, 마지막으로 Fig. 8(c)의 근접냉각 방식은 허브측의 변형은 +0.424mm, 날개 끝단은 -0.848mm로 탱크 냉각에 비하여 날개의 변형량이 더욱 감소함을 확인할 수 있다.

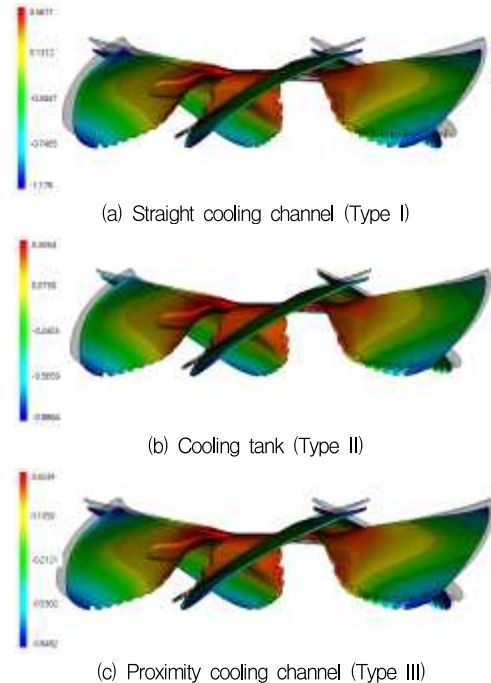


Fig. 8 Analysis results of Z-axis deflection

날개의 변형이 가장 작은 근접냉각 채널 형태의 금형에서 Talc 함유량에 따른 변형의 차이를 분석하였다. Table 4는 Talc 함유량에 따른 사출 변형의 변화를 나타낸 것이다. Talc 함유량이 20%에서 30%로 증가할 때 사출체의 변형량이 크게 증가하는 양상을 보이고 있으므로 20%의 Talc를 포함한 소재를 적용하는 것이 강도 및 성능 안정성을 확보하면서 중량을 줄일 수 있는 최적의 방안을 확인하였다.

Table 4 Comparison of deflection according to talc content

| Talc content | 10 % | 20 % | 30% |
|--------------------------|-------|--------|--------|
| Hub side deflection(mm) | 0.42 | 0.424 | 0.477 |
| Blade tip deflection(mm) | -0.83 | -0.848 | -1.168 |

3.3. 금형설계 및 제작

해석을 통해 팬의 사출후 변형을 최소화 할 수 있는 냉각조건은 날개 곡면을 따라 냉각 채널을 형성한 근접냉각 방식인 것으로 판단되어, 도출된 최적화 모델에 따라 금형을 설계하였다. Fig. 9는 최종 금형 설계도이다. 취출 용이성 및 생산성 확보를 위해 3단 금형으로 구성하였으며, 각 날개의 허브측에 각각 핀 포인트 게이트를 설치하였다.

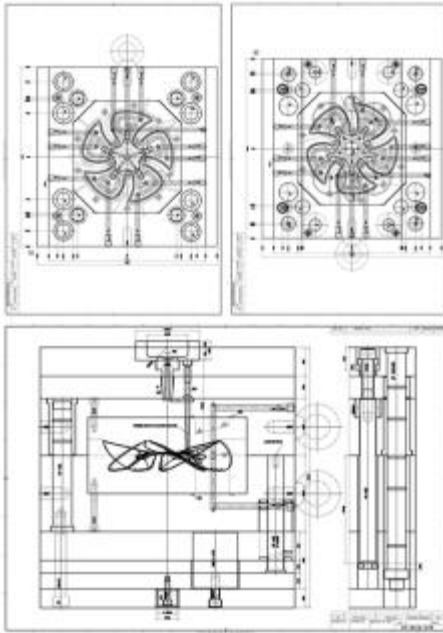


Fig. 9 Mold design of axial fan for showcase cooler

확정된 금형설계에 따라 금형을 제작하고 시사출을 진행하였다. 시사출 소재는 충분한 강도확보를 위해 Talc가 20% 함유된 소재를 적용하여 사출을 진행하였다. Fig. 10는 최종 제작된 금형과 사출을 통해 제작한 쇼케이스 팬 시제품이다. 최종 제작된 팬의 날개 끝단에서의 변형은 설계 대비 1mm 이내 임을 확인하였다.



Fig. 10 Final mold and injection molded axial fan

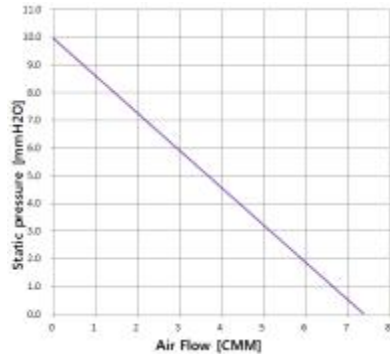
4. 사출 팬의 성능평가

4.1. 풍량의 비교

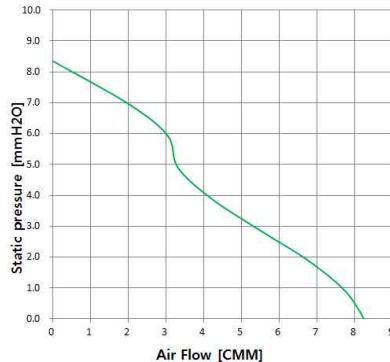
개발된 금형을 통해 제작된 플라스틱 사출팬의 성능을 측정하여 기존 알루미늄 팬과 비교하였다. 팬 성능시험장치를 이용하여 일정한 정압조건에서 토출되는 풍량의 P-Q곡선을 분석하였다. Fig. 11은 성능평가에 사용한 실험장치 및 시험모습을 나타낸 것이다. 시험장치의 풍량 제어범위는 1~100m³/min, 정압제어범위는 ±50mmH₂O이며 계측 정밀도는 ±3% 이내이며, ANSI/ASHRAE 51 규격에 따라 시험을 진행하였다.



Fig. 11 Fan Performance test



(a) Aluminum Fan



(b) Developed plastic Fan

Fig. 12 P-Q curve of axial fan

Fig. 12는 기존 알루미늄 팬과 새롭게 개발한 사출 팬의 P-Q 성능곡선이며, Table 5는 정압에 따른 풍량을 비교한 것이다. 기존 알루미늄 팬 대비 사출팬의 풍량이 모든 정압범위에서 11.6%이상 향상된 것을 확인할 수 있으며 특히 1mmAq에서는 알루미늄 팬 대비 16.7% 향상된 성능을 보이고 있음을 확인하였다.

Table 5 Comparison of flow rate according to static pressure

| Static pressure | Aluminum Fan | Plastic Fan |
|-----------------|--------------|-------------|
| 0 mmAq | 7.44 CMM | 8.3 CMM |
| 1 mmAq | 6.6 CMM | 7.7 CMM |
| 2 mmAq | 5.9 CMM | 6.6 CMM |

4.2. 소음의 비교

개발된 플라스틱 팬은 주로 실내 매장용 쇼케이스에 사용되는 제품으로 정숙성이 중요한 요구사항으로 기존 알루미늄 팬과의 소음 성능을 비교하였다. 표준 마이크로폰을 이용하여 무향실에서 저항이 없는 대기압(0 mmAq)조건에서 팬의 회전축으로부터 50cm 떨어진 지점의 소음을 측정하였다. Table 6은 소음 측정결과를 나타낸 것이다. 기존 알루미늄 팬 대비 2.2dB 소음이 감소한 것을 확인할 수 있으며 이는 팬의 형상이 개선됨에 따라 날개 표면에서 소음을 일으키는 와류가 저감되었고, 날개의 회전끝단에 와류제어를 위한 톱니형상을 추가함에 따라 소음이 크게 저감된 것으로 판단된다.

Table 6 Comparison of fan noise

| | Aluminum Fan | Plastic Fan |
|-------|--------------|-------------|
| Noise | 50.3 dBA | 49.2 dBA |

5. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 기존 산업용 쇼케이스 냉각기에 사용되던 알루미늄 팬의 문제점을 보완하고 성능과 생산성이 우수한 고효율 저소음의 플라스틱 축류팬을 개발하였다.
- 2) 축류팬 각 블레이드에 근접하여 블레이드 전체를 고르게 냉각할 수 있는 근접냉각 방식을 개발 적용하여 냉각효과 및 균일도를 향상하였다.
- 3) 근접 냉각 금형 적용을 통해 플라스틱 팬 사출 공정의 변형을 2% 이내로 감소함으로써 팬의 성능 11%이상 향상, 소음 2.2dB 감소된 고효율, 저소음 축류팬을 개발하였다.

후기

본 연구는 기획재정부의 중소중견기업기술지원 및 서비스사업(파트너기업 수요대응 생산기술지원 사업)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) E. Bruno, R. S. AZAD, D. R. Scott, FANS, Pergamon press, 1973.
- 2) R. A. Wallis, Axial flow fans and ducts, A Wiley-Interscience Publication, 1983
- 3) T. A. Osswald, L. S. Turng, and P. J. Gramann, Injection Molding Handbook, Hanser, 2001
- 4) M. Y. Lyu and H. Y. Kim, Polymer Science and Technology, Vol. 20, No.157, 2009
- 5) H. K. Kim, and K. H. Yon, "Design Improvement of Mold-Die for Plastic Fan Product By Using CAE Analysis", KSME CAE and Applied Mechanics Autumn Conference, 2008.