

이온풍 공랭 방식 적용을 위한 방송용 LED 조명장치의 냉각 특성 해석

박 철 우, 이 승 준, 김 대 중[†]

서강대학교 기계공학과

Analysis of Cooling Characteristics of Broadcasting LED Light with Ion Wind Generator

Chul-Woo Park, Seungjun Lee, Daejoong Kim[†]

Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul 120-700, Korea

(Received June 29, 2012; revision received August 21, 2012)

ABSTRACT: In the present work, numerical analyses of broadcasting LED light with ion wind generator have been carried out for enhancement of cooling performance. Ion wind generator is produced and experimented before analysis. With the use of result of experiments, broadcasting LED light model is computed. Ion wind velocity into LED light is varied with 0~3 m/s. Based on the numerical results, the area of duct-type ion wind generator was designed to reduce the volume flow rate of ion wind. The modified inlet geometry shows sufficient cooling capability. And, through modified ion wind generator, the volume flow rate of ion wind has been largely reduced.

Key words: Broadcasting LED light(방송용 LED 조명장치), Ion wind(이온풍), Corona discharge(코로나 방전), Ion wind generator(이온풍 발생기)

1. 서 론

최근 LED 조명은 기존의 가정용이 아닌 방송용 조명으로써도 큰 주목을 받고 있다. 소자의 접합에 따라 다양한 색상이 가능하며 소비전력 대비 높은 광량을 내기 때문이다. 따라서 수요의 성장과 함께 LED 조명의 고성능화가 증가되는 추세이며 이에 대응하기 위해 성능개선 노력이 이루어지고 있다. 이러한 기술 발전 노력에 의해 방송용 LED 조명장치는 그 효율면에서 크게 발전하였으나 LED 조명기기의 기술적 해결 과제 중의 하나는 사용 중 발생하는 발열 문제이다.

일반적으로 LED 조명은 소자의 온도가 섭씨 60도가 넘을 경우 효율이 급감하게 되는데 이 문제의 직접적인 해결 방법으로써 작동 중 LED 모듈에 발생하는 열을 효과적으로 제거할 수 있는 다양한 방열 기구에 대한 연구 및 개발 역시 널리 이루어지고 있다. 특히 가정용보다 큰 용량을 필요로 하는 방송용 조명 장치에는 더더욱 효과적인 냉각 방식이 필요하며 방송용 조명 장치는 스튜디오에서 사용되기 때문에 소음 문제를 반드시 해결해야 한다.

기존에 알려진 방법으로는 전통적으로 널리 쓰이던 기계식 팬(conventional fan), 제트 시스템(synthetic jet system), 피에조 방식 팬(piezoelectric fan) 등이 있으나 냉각에 필요한 에너지양, 시스템의 효율, 동작 시의 소음, 시스템의 부피 등이 문제점으로 지적⁽¹⁾되어 적은 소음, 큰 용량 등 높은 사양을 요하는 방송용 조명 장치의 냉각 방식으로는 적절하지

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-705-8644; fax: +82-2-712-0799

E-mail address: daejoong@sogang.ac.kr

않다.

따라서 새로운 방식의 냉각 장치로써 이온풍(ion wind)을 이용한 냉각 방식을 적용하였다. 이는 기계적인 회전부가 없고⁽²⁾ 장치가 차지하는 부피가 매우 작으며 공랭식이기 때문에 발열체 형상에 구애받지 않는다는 장점을 가지고 있다. 또한 소음이 매우 작고 적은 생산비용과 유지비용 등 많은 장점을 가지고 있어 다양한 연구가 이루어지고 있다.^(3, 4)

이온풍은 대전된 두 전극 사이에 고압의 전기장을 형성시켜 주면 발생시킬 수 있다. 고압의 전기장 속에서 공기(혹은 유체입자)는 대전되고 전기장을 따라 움직이기 시작한다. 전압이 높더라도 전류가 수 μA 급이기 때문에 실제 소비전력은 수 mW 의 낮은 전력을 사용한다.

또한 이온풍을 이용한 공랭식 냉각 장치의 경우 냉각효율을 극대화하기 위하여 각각의 발열체에 냉각 핀을 부착시킨다.

이 연구에서는 실제로 이온풍 발생기를 제작하여 이온풍을 발생시켜 보고, 전극간 거리와 인가전압 등을 변화시켜가며 실험하였으며, 실험 결과를 바탕으로 CFD를 이용하여 현재 국내에서 개발되고 있는 방송용 LED 조명장치용 이온풍 발생기에 의한 냉각특성을 이온풍 유입구의 크기에 따른 유량과 이온풍 유속을 변화시켜가며 해석하였다. 열전달 및 유동 특성을 비교 분석하여 향후 냉각 성능을 더욱 향상시킨 냉각 장치 모델 개발에 필요한 기초 자료를 얻는데 목적이 있다.

2. 이온풍 발생기

2.1 이온풍의 발생 원리 및 이온풍 발생기

이온풍은 전압이 인가된 두 전극에 의해 발생하며 Fig. 1은 발생 원리를 설명하고 있다.

컬렉터 전극과 코로나 전극이 존재하고 그 사이 공간에는 전기적 중성을 가지는 기체가 존재한다. 이 때 두 전극 사이에 고전압을 인가하면 탐침형 전극 주변의 기체가 이온화하게 되고 이온화된 기

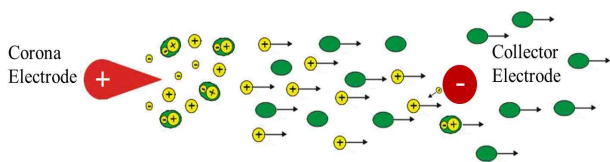


Fig. 1 Schematic of fundamental of ion wind.

체분자들은 두 전극 사이에 형성된 전기장을 따라 이동한다. 따라서 인가전압이 증가하거나 전극간 거리가 줄어들 경우 두 전극 사이에 형성된 전기장의 크기가 커지게 되며 이에 따라 유속이 증가한다.

이 때, 전기장에 의해 이동하는 이온화된 기체들의 점성에 따라 여전히 전기적 중성을 유지하고 있는 기체분자들 역시 이동하게 된다. 그러나 컬렉터 전극을 지나면서 다시 중성화되는 이온들과 달리 전기적 중성 기체분자들은 운동을 멈추지 않고 전극을 지나가며 이 때 생기는 유동을 이온풍이라 한다.

이와 같이 한 쌍의 전극(코로나 전극, 컬렉터 전극)을 이용하여 이온풍을 발생시킬 수 있고, 이 한 쌍의 전극이 이온풍 발생기의 단위체가 된다. 본 연구에 사용된 이온풍 발생기는, 탐침형 전극을 코로나 전극으로 사용하였고 원형관 전극을 컬렉터 전극으로 사용한 다수 개의 단위체로 이루어져 있다.

위와 같이 단위체를 이용하여 이온풍 발생기를 제작할 경우, 이온풍 발생기의 크기를 조절하기에 용이하다는 장점이 있다.

2.2 이온풍 유속 측정 실험

이온풍 발생기를 이용한 방송용 LED 조명장치의 해석에 앞서, 하나의 이온풍 발생기 단위체를 이용한 이온풍 유속 측정 실험을 진행하였다.

이온풍의 발생에서 이온풍의 유속에는 두 전극간 거리와 인가전압이 중요하다. 특히 두 전극간 거리에 따른 이온풍의 유속을 실험하기 위하여 전극간의 거리를 조절할 수 있도록 이온풍 발생기 단위체를 제작하였다. 코로나 전극으로는 탐침형 전극이 사용되었으며 원형관 전극을 이용하여 컬렉터 전극을 구성하였다. 원형관 전극에서 5 cm 거리에 위치한 곳에서 풍속계를 이용하여 이온풍 유속을 측정하였다. 탐침형 전극과 원형관 전극에는 고전압 파워서플라이를 사용하여 다양한 전압을 인가하였다. 인가된 전압은 실험에 따라 5.5 kV부터 20 kV까지 변화한다. 또한 탐침형 전극의 위치를 변화시켜가며 이온풍의 유속을 측정하였다.

전극간 거리는 최소 0, 최대 30 mm의 범위를 가지며 이온풍의 최대 유속은 20 kV, 0 mm 거리에서 2.5 m/s로 관찰되었다. 앞에 언급한 것과 같이 이온풍의 유속은 전극간 거리와 인가전압에 의해 변화하게 된다. 인가전압이 일정할 때 전극간 거리가 30 mm 변화하면 1~1.5 m/s 유속 변화의 경향성을 보

이며 정해진 전극간 거리에서 10 kV당 0.5 m/s 안팎의 유속 변화가 관찰된다.

3. 해석 모델 및 조건

3.1 모델 및 격자 생성

이 연구에서는 이온풍 발생기를 냉각장치로써 적용시키고자 국내에서 개발되고 있는 방송용 LED 조명장치를 해석 대상으로 채택하였으며 해석 범위는 이온풍이 유입되고 있는 방송용 LED 조명장치 본체이다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 이 조명 장치는 원통형이며 Fig. 2 오른쪽은 내부를 보여주는 것으로 각 발열체와 그에 부착된 냉각핀을 보여주고 있다. 해석에 사용될 LED 조명장치는 Fig. 2 왼쪽과 같이 이온풍의 입구와 출구로서 붉은 사각형으로 표시된 덕트와 108개의 슬릿이 존재한다. 붉은 사각형으로 표시된 입구로 이온풍이 유입되며 푸른 화살표로써 표시되어 있다. 붉은 사각형은 4개의 세부 사각형으로 구분되어 각각의 번호가 표기되어 있다.

이온풍 발생기의 크기와 이온풍 유속 변화에 따른 조명기기 냉각 성능 해석을 위해 이온풍 입구와 출구를 변경한 5개 모델을 설계하였고, 이 모델들의 구분은 Table 1에 수록하였다. 기본적으로 108개의 슬릿들은 모든 모델에서 동일하게 출구로 설정되어 있으며 각 모델에 따라 덕트형 입구의 설정이 다르다. 입구 상단의 대형 덕트는 3등분되어 각 모델에 따라 입구와 출구로써 작용한다.

모델 1에서는 입구의 덕트가 모두 입구로 설정되고 슬릿들만이 출구로 설정되어 있으나 모델 2, 모델 3에서는 전면부 덕트 중 세부 사각형 1, 사각형 2만이 입구로 설정되고 3은 모두 벽면(wall)으로 처리되었으며 모델 2에서 세부 사각형 4는 출구가 된다. 이와 같이 모델 4, 모델 5에서도 세부 사각형 1은 모두 입구이지만 세부 사각형 2, 사각형 3은 벽면이

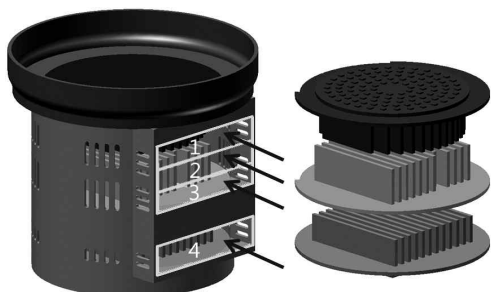


Fig. 2 Computational geometry.

Table 1 Model conditions for inlet and outlet

| Model No. | 1 | 2 | 3 | 4 | slits |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | inlet | inlet | inlet | inlet | outlet |
| 2 | inlet | inlet | wall | outlet | outlet |
| 3 | inlet | inlet | wall | wall | outlet |
| 4 | inlet | wall | wall | outlet | outlet |
| 5 | inlet | wall | wall | wall | outlet |

며 모델 4에서 세부사각형 4는 출구로 적용되었다.

핀은 알루미늄, 하우징에는 폴리머를 재질로 사용하였다. 수치해석을 위한 격자는 상용 프로그램인 STAR-CCM+ 내부의 격자 생성 프로그램을 사용하여 구성하였으며 격자는 Fig. 3와 같이 계산영역 대부분을 비정렬 사면체로 구성하고 물질들이 접하는 각각의 면에는 프리즘 레이어 격자를 적용하였다.

3.2 지배방정식 및 조건

LED 조명장치는 내부를 흐르는 냉각풍과 LED 조명 및 그 냉각핀 간의 열교환을 목적으로 한다. 따라서 해석을 위해서는 조명장치 내부의 유체 영역과 발열체, 냉각핀 및 하우징이 이루는 고체 영역의 물리적 현상을 모두 고려해야 한다. 장치 내부의 작동유체는 공기로 가정하였다.

해석 대상의 물리적 현상은 유체 영역의 경우 3차원, 정상상태, 비압축성, 층류 유동의 대류 열전달 문제이고 고체 영역의 경우 하우징과 냉각핀의 전도에 의한 열전달 문제이다. 이러한 물리적 현상에 대한 지배방정식을 나타내었다.

$$\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \tag{1}$$

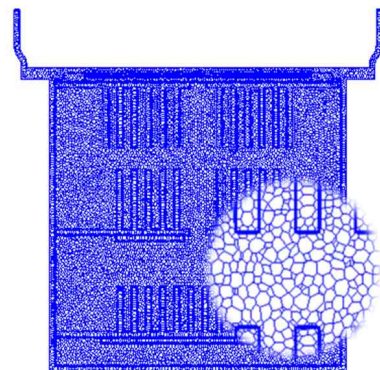


Fig. 3 Computational grids.

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho u_j T)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S_\Phi \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_s \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \dot{q} = 0 \quad (4)$$

식(1)은 연속 방정식, 식(2)는 운동량 방정식, 식(3)은 유체 영역의 에너지 방정식, 식(4)는 고체 영역의 열전도 방정식이다.

입구조건은 전체 면적에 동일한 속도로 이온풍이 유입되도록 설정하였으며 그 속도는 모델에 따라 0 ~ 3 m/s의 값을 가진다. 다수의 슬릿과 모델별 출구는 압력 출구 조건으로 주어 유체의 이동이 원활하도록 설정하였으며 유체의 입구와 출구를 제외하우징은 벽면으로 설정하고 자연대류 조건을 가정하여 적절한 열전달계수를 할당하였다.

4. 수치해석 결과 및 고찰

4.1 냉각 성능에 대한 이온풍 유속의 영향

이온풍 유속이 냉각 성능에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 Table 1의 모델 1을 이용하여 속도를 변화시키며 해석하였다. Fig. 4는 이온풍 유속 변화에 따른 속도장과 온도장을 나타낸 그림으로 Fig. 2의 입구와 평행하며 중앙을 지나는 단면이다. 따라서 Fig. 4에서 우측이 이온풍이 들어오는 입구이다. Fig. 4에는 입구속도에 따른 속도장과 온도장이 도식되어 있으며 Fig. 5는 모델 1에서 입구 속도에 따른 LED 조명의 온도와, 최상단 핀으로부터 이온풍으로의 열전달량을 보여주고 있다. Fig. 4에서 속도장을 살펴보면 입구속도가 증가함에 따라 유속은 빨라지지만 그 경향은 일치하는 것을 볼 수 있다. 중앙 상단과 좌측 상단에서 유속이 낮은 것은 핀에 의한 유동 방해로 판단되며 이로 인해 냉각특성이 저하된다면 핀과 핀 사이의 간격을 크게 만들어야 할 것으로 판단된다.

Fig. 4에 나타난 온도장을 살펴보면 이온풍의 유입 속도가 0 m/s일 때는 자연대류에 의하여 온도장이 좌우 대칭적으로 형성된다. 그러나 그림의 우측으로부터 냉각풍이 유입되면 0 m/s일 때의 대칭이 깨지며 냉각풍이 유입되는 우측의 온도가 좌측보다 낮아진다. 또한 속도가 1 m/s에서 3 m/s로 증가함

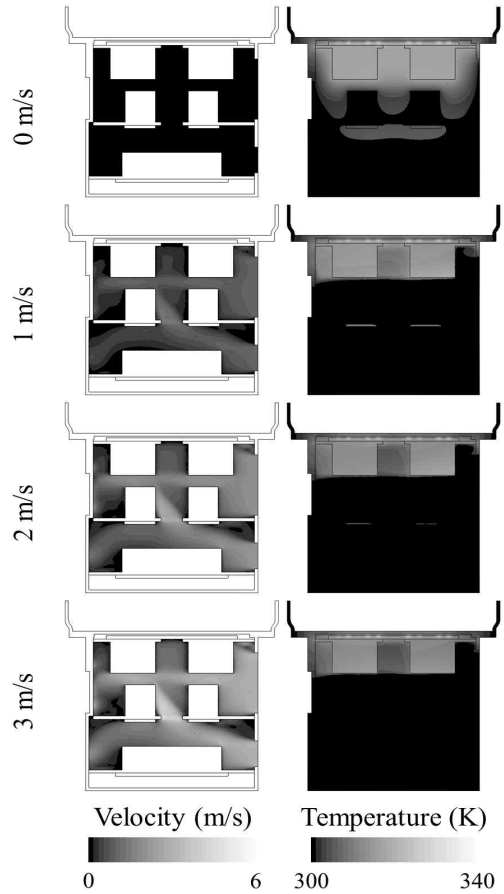


Fig. 4 Velocity and temperature distribution of model 1.

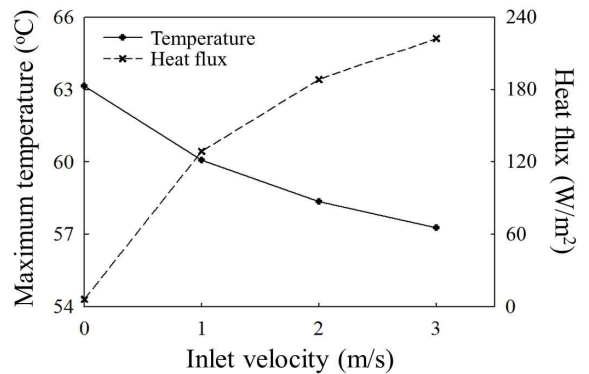


Fig. 5 Computational results according to inlet velocity.

에 따라 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 온도장 전체적으로 온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 특히 유속 증가에 따른 온도 감소는 핀 주변 중앙 상단과 그림의 좌측 상단에서 더욱 명백하게 확인할 수 있다. 그에 비하여 LED 소자 근처에서의 최대 온도 값은 Fig. 5에서와 같이 그 온도 감소되는 정도가 2 m/s 이상에서는 둔화되는 경향을 보인다. 이는 Fig.

5에서 유속에 따른 열전달량의 증가량이 2 m/s에서 둔화되는 것과 일치하는 결과이다. 그러나 본 연구에서는 LED 소자가 정상 작동되는 온도인 섭씨 60도를 목표로 삼았기 때문에 입구속도가 2 m/s 이상 일 때는 이미 충분한 냉각 성능을 달성할 수 있음을 확인하였다.

4.2 냉각 성능에 대한 입구 크기와 출구 조건의 영향

앞에서 본 것과 같이 이온풍은 2 m/s의 속도가 되어야 LED 냉각장치로서의 역할을 할 수 있다. 그러나 Fig. 4에서 보면 입구 속도에 관계없이 중단부와 하단부는 냉각이 크게 중요하지 않음을 알 수 있다. 이러한 점에 착안하여 최상단 냉각편만을 위한 효율적인 냉각풍 유입을 고려하였다. 이온풍은 2 m/s로 균일하게 유입된다 가정하고 모델 2~모델 5를 이용하여 해석하였다.

Fig. 6은 그 결과를 보여주고 있다. 모델 2~모델 5의 계산에서는 어떠한 경우라도 세부 사각형 3은 유체의 입구가 아닌 벽면이기 때문에 Fig. 6 온도장 분포에서 좌측으로 갈수록 냉각효과가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 세부 사각형 1과 2가 해석 모델 상단에 위치하기 때문으로 볼 수 있으나 섭씨 40도 이하의 영역이기 때문에 조명장치로서의 큰 제약이 되지 않는다.

모델 2와 모델 3은 입구 조건이 같고 출구 조건이 다르며 모델 4와 모델 5 역시 입구 조건이 같고 출구 조건이 다르다. Fig. 6에서, 모델 2와 모델 3, 모델 4와 모델 5는 유동장에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 역시 Fig. 6의 온도장 결과에서도 출구 조건에 의한 영향은 입구 조건에 의한 영향보다 작은 것으로 계산되었다.

모델 2, 모델 3과 모델 4, 모델 5를 비교하여 입구 조건에 의한 영향을 살펴보면 냉각풍의 유입이 많은 모델 2, 모델 3의 최고 온도가 더 낮은 것을 알 수 있다.

이 때, 모델 2와 모델 3, 그리고 모델 4와 모델 5에서 발견되는 공통적인 경향으로서 같은 입구 조건에서 세부 사각형 4가 막혀 있지 않았을 때 더 향상된 냉각 성능을 보여주었다.

위와 같은 결과가 Fig. 7에 표현되어 있다. 이온풍의 유속이 2 m/s일 때의 모델 1과 모델 2~모델 4, 그리고 모델 5의 최고 온도 및 열전달량을 도식화하

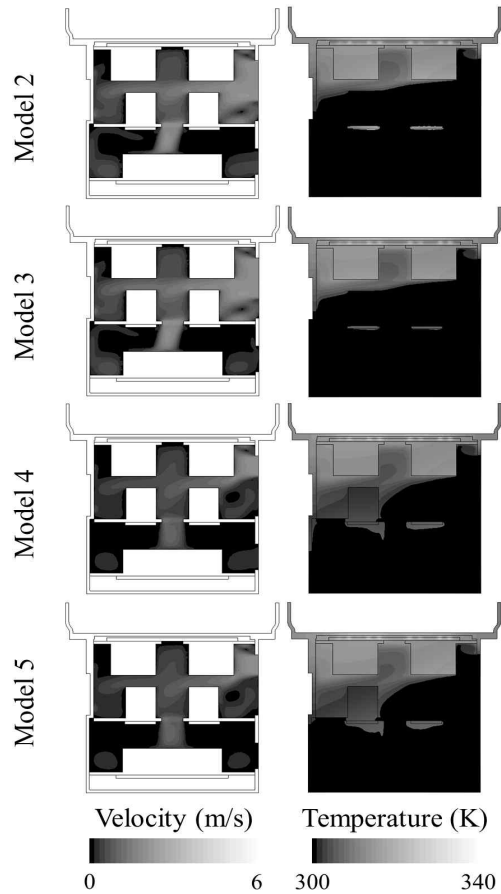


Fig. 6 Velocity and temperature distribution at various models.

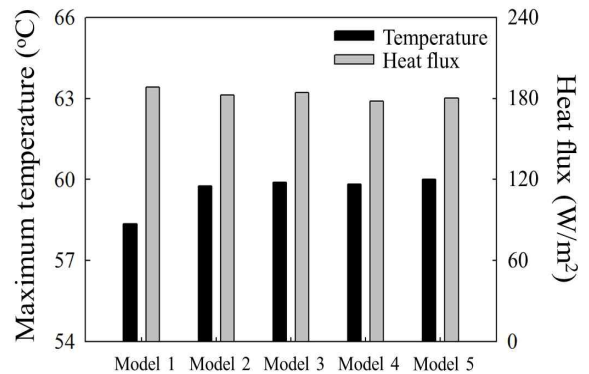


Fig. 7 Computational results according to various models.

였다. 입구가 가장 넓은 모델 1에 비하여 최고 온도가 상승한 것을 볼 수 있으며, 전반적으로 모델 2, 모델 3에 비하여 모델 4, 모델 5의 최고온도가 더 높다. 또한 출구 조건의 영향으로 모델 2보다는 모델 3의 최고 온도가 높고 모델 4보다 모델 5의 최고 온도가 높다. 이 때, 다섯 가지의 모델에서 가장 온도가 높은 모델 5는 섭씨 60도 이하로 냉각되지 못하였다.

위와 같은 결과를 이용하여, 출구의 넓이가 크도록 (세부 사각형 4이 벽면이 아닌 출구가 되도록) 하는 것이 냉각에 효율적임을 알 수 있었다.

따라서 다섯 가지 모델 중 세부 사각형 4가 벽면이 아니고 장비가 썩씨 60도 이하로 냉각되는 것은 모델 1, 2, 그리고 4번이 되며 이 중 이온풍의 유입이 최소화되는 모델 4가 가장 합리적인 모델임을 확인하였다.

위와 같이, 이온풍의 유속에 따라 냉각 성능이 달라짐을 확인하였고, 유속의 변화와 입·출구조건의 변화를 통하여 조명장치가 어떻게 냉각될 것인지 알 수 있었다.

5. 결 론

- (1) 실험 결과를 통하여 이온풍 발생기가 방송용 LED 조명장치용 냉각장치에 쓰일 수 있을 정도의 유속을 발생시킬 수 있는 것을 확인하였다.
- (2) 모델 1에서의 속도에 따른 4가지 계산을 통하여, 속도가 빨라지면 LED의 온도가 내려가지만 1 m/s에서는 LED의 온도를 썩씨 60도 밑으로 내리지 못하는 것을 확인하였다.
- (3) 입구 속도를 2 m/s로 고정하고 입구 면적을 바꾸어 해석한 결과 냉각 장치로 사용하기 위해서는 LED 조명의 온도를 썩씨 60도 이하로 유지시켜야 하지만 입구 면적이 감소하여도 우리가 얻고자 하는 냉각 성능을 얻을 수 있으므로 조명장치 및 냉각 장치 설계 시에 이온풍 작동 유속에 대한 최적 입구 면적에 대한 고려해야 한다.
- (4) 따라서 가장 적은 이온풍 유량을 필요로 하고 (입구 면적이 가장 좁고) 기기를 썩씨 60도 이하로 유지시킬 수 있는 모델 4가 가장 적합한 설계로 판단된다.

- (5) 향후 연구에서는 핀 간격의 변화에 따른 냉각 특성, 핀의 재질 및 높이 등 다양한 변수를 이용한 최적화 연구를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 서울산업통상진흥원의 특허기술상품화 기술개발 지원사업(과제번호 PA110017)과 서강대학교 교내연구비(SRF-201214007)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Pollak, F. J., 1999, New micro-architecture challenges in the coming generation of CMOS process technologies, The 32nd Annual ACM/IEEE International Symposium on Micro architecture, p. 2.
2. Yang, F., Jewell-Larsen, N. E., Brown, D. L., Pendergrass, K., Parker, D. A., Krichtafovitch, I. A., and Mamishev, A. V., 2003, Corona driven air propulsion for cooling of electronics, 13th International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-4.
3. Tsubone, H., Ueno, J., Komeili, B., Minami, S., Harvel, G. D., Urashima, K., Ching, C. Y., and Chang, J. S., 2008, Flow characteristics of dc wire-non-parallel plate electro hydrodynamic gas pump, Journal of Electrostatics, Vol. 66, pp. 115-121.
4. Rickard, M., Dunn-Rankin, D., Weinberg, F., and Carleton, F., 2006, Maximizing ion-driven gas flows, Journal of Electrostatics, Vol. 64, pp. 368-376.