

배압에 따른 에어커튼형 냉동용 전시케이스의 성능변화

Performance Variation of the Refrigerated Display Case with Air Curtain in Accordance with Back Pressure Condition

성순경(Sun-Kyung Sung)[†], 안교철(Kyo-Chul Ahn)

가천대학교 건축설비공학과

Department of Building equipment System Engineering, Gachon University, Sunnam 463-829, Korea

(Received August 29, 2013; revision received September 23, 2013)

Abstract Vertical open display cases are widely used in shopping malls, supermarkets, or retail stores to sell frozen and refrigerated products. Open display cases use air curtains to maintain a reasonable temperature within the storage space, prevent insects from breaking in, and reduce energy usage. In this research, computational fluid dynamics was used to find the optimal condition for reducing energy by considering various conditions such as discharge speed or temperature of air curtains. Results of the study showed that the amount of energy consumed in the display cabinet is influenced by the discharge speed and temperature of the slots installed on the upper area and the amount of air supplied to the storage area inside the shelf. This shows that the amount of discharged air supplied from the storage area influences the formation of air curtain and also the amount of energy consumption. As a result of this study, we learned that the amount of energy used can be reduced by increasing the amount of discharged air within the storage area and enhancing back pressure.

Key words Open display case(개방형 전시케이스), Air curtain(에어커튼), Slot(슬롯)

[†] Corresponding author, E-mail: sksung@gachon.ac.kr

기호설명

b_o : 에어커튼 제트슬롯의 폭 [m]
 c_p : 정압비열 [J/kg · K]
 g : 중력가속도 [m/s²]
 H : 개구부의 높이 [m]
 p : 압력 [Pa]
 Q : 풍량 [m³]
 T : 온도 [K]
 Z : 슬롯에서부터 거리 [m]

그리스 문자

α : 주위공기 혼입비율계수
 ρ : 밀도 [kg/m³]
 μ : 절대점성 계수 [kg/(m · s)]

하첨자

a : 주위공기
 c : 전시케이스 내
 n : 중성대
 r : 환기
 s : 급기

o : 제트노즐의 출구

1. 서 론

생활수준의 향상과 소비형태의 변화로 식생활이 다양화되고 대상 식품의 종류가 다양해지면서 냉동냉장 식품의 소비가 증가하고 있는 추세이다. 이에 대형매장 뿐 아니라 중소형 매장에 이르기까지 많은 식품 매장에서 냉동냉장 식품의 판매를 늘리기 위하여 전시 판매용 냉동냉장 쇼케이스의 설치가 기본으로 되고 있다. 이 전시케이스에는 야채류나 육류와 같은 신선제품에서부터 가공식품인 낙농제품과 해산물 등 다양한 식품이 저온 상태로 보관된다. 전시케이스는 진열장 외부의 덮개 유무에 따라 개방형과 폐쇄형이 있고, 대상 식품의 보관 온도에 따라 냉동용과 냉장용이 그리고 개폐 덮개의 위치에 따라 수평형과 수직형이 있다. 또한 냉각 방식에 따라 자연대류식과 강제대류식 등 여러 가지 형태가 있지만 판매장에서는 소비자의 시선을 쉽게 끌고 식품을 선택 시 편리한 개방형 전시케이스를 이용하는 경우가 많이 있다.⁽¹⁾

개방형 전시케이스는 식품을 저장하는 공간과 주변

공기가 직접 접촉하기 때문에 전시케이스 내의 냉각된 공기와 주변 공기가 접촉을 하여 혼합으로 인한 에너지 손실이 폐쇄형 전시케이스 보다는 훨씬 크다. 이로 인한 저장 공간 내의 냉각된 공기와 주변 공기와의 혼합을 줄이기 위하여 전시케이스 상단 앞 쪽에 공기도출구를 설치하여 아래쪽으로 공기막 형태로 유동시키는 에어커튼 방식을 일반적으로 많이 이용하고 있다. 이는 외부 공기의 출입을 줄여 에너지 소비를 줄이는 것은 물론 파리와 같은 해충의 접근을 방지하기 위함이다. 이때 냉동 또는 냉장 식품의 변질을 방지하기 위하여 보관 공간의 온도가 상승하지 않도록 유지온도 조건을 만족 시켜야 한다. 일반적으로 전시케이스 내의 바람직한 온도범위는 제품에 따라 다르기는 하지만 -2~5도 정도이다.⁽²⁾

전시케이스에 사용되는 에어커튼은 토출구와 전시케이스 형태에 따라 외부 공기의 혼입이 다르게 일어나고 저장 공간의 온도 분포도 다르게 나타나며, 냉동 또는 냉장을 위한 에너지 사용량도 다르게 된다. 전시케이스에서 발생하는 대부분의 에너지 소비는 주변 공기의 혼입에 따른 것으로 볼 수 있으나 열과 질량 전달과정은 조건에 따라 상당히 복잡하게 일어난다. 기존 연구에 따르면 전시케이스의 열에너지 부하는 Fig. 1과 같이 72% 정도가 에어커튼으로 인한 주변공기의 혼입에 의한 것으로 나타나 전시케이스 사용 에너지의 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.⁽³⁾ 이에 사용대수가 증가하고 있는 개방형 전시케이스의 경우 어떻게 하면 외부공기의 혼입을 최소화하여 에너지를 절약할 수 있는지에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

냉장냉동용 전시케이스에 대한 국내 연구 동향을 살펴보면 신유환 외 4인⁽⁴⁾이 연구한 “전시케이스 현장 데이터 측정 및 분석” 등 냉동시스템의 성능에 대한 연구가 주류를 이루고 있으며, 선행 연구⁽⁵⁾인 “급기제트 조건에 따른 냉동용 전시케이스의 성능”에서 급기제트 출구 속도 조건과 한 줄 제트와 두 줄 제트에 따

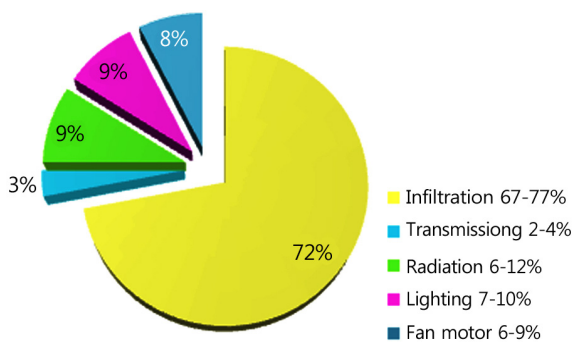


Fig. 1 Contribution range of each individual thermal load to the refrigeration load of the display case.

른 에너지 효율성에 대한 부분을 다루었다. 외국의 경우에는 A.M. Foster⁽⁶⁾, Homayun K. Navaz⁽⁷⁾, Ke-zhi Yu⁽⁸⁾ 등의 연구자들이 전시케이스의 공급 기류에 따른 성능변화에 관하여 연구를 하였으며, Gray등이 슈퍼마켓의 전시케이스에 대한 기류개선 연구를 하였다.⁽²⁾

본 논문에서는 선행 연구에서 다루었던 것과 동일한 형태로서 시중의 대형마트에서 많이 사용하는 강제대류식 에어커튼을 가진 수직 개방형 전시케이스의 냉동 보관용을 대상으로 하였다.

전시케이스 에어커튼의 차단 성능에 영향을 주는 주요 요소로는 토출구 슬롯의 폭과 토출풍속, 토출구의 각도, 전시케이스의 개방구 높이, 토출온도와 주변 공기온도, 환기구 위치 등이다. 일반적으로 에어커튼이 없는 경우에 침입하는 외기에 대하여 설치 후 차단되는 외기량의 비를 나타내는 에어커튼의 차단효율에 대한 측정 자료를 보면 냉동창고의 경우 설치방법에 따라 -0.44~0.78로 큰 차이를 나타내고 있다.⁽⁹⁾ 에어커튼의 차단성능은 여러 가지 조건을 고려하지 않을 경우 과도한 용량을 선정하게 되고 주변공기와의 혼입량 증가로 사용 에너지의 증대를 가져와 에너지 낭비를 하게 되는 경우가 많이 있게 된다. 에어커튼에 대한 기본적인 개념과 설계 자료에 대한 정립은 Hayes와 Stoecker가 밀폐된 공간에서 주변 공기의 유동이 없는 상태에 대하여 제시하였다.⁽¹⁰⁾

본 연구에서는 전시케이스 안쪽에서 저장공간으로 공급되는 냉각공기의 급기량을 변화시킬 때 에어커튼의 회절현상 변화를 살펴보고 이로 인한 성능변화를 비교하고자 하였다.

2. 대상 전시케이스와 성능해석 모델

2.1 대상 전시케이스

성능해석을 위한 대상 전시케이스는 Fig. 2와 같이 일반적으로 많이 사용되고 있는 형식으로, 삼단의 판상형 선반을 가지고 있으며, 외형 치수는 가로, 세로, 높이가 1.93 m×1.05 m×1.95 m이고, 전면부의 폭과 높이는 각각 1.8 m, 1.3 m인 경우를 선정하였다.

전시케이스는 강제 대류식 수직 개방형으로 고내냉각을 위하여 하부에 냉각 코일과 공기 순환용 팬이 설치되어 있고 코일을 거친 냉각 공기는 공기 통로를 통하여 전시케이스 내 급기용 편칭그릴과 상부 안쪽에 설치된 급기 슬롯으로 공급된다. 한편 하부 바깥쪽에 설치된 환기 그릴을 통하여 하부 챔버로 들어 온 공기는 그 상태로 다른 공기 통로를 통하여 상부의 전면 급기슬롯으로 공급된다. 상부 급기 슬롯으로 부터 공급되는 공기는 하부로 토출되면서 에어커튼 형태로 케이스 내와 주위를 차단막으로 형성한다. 상부 급기 슬롯

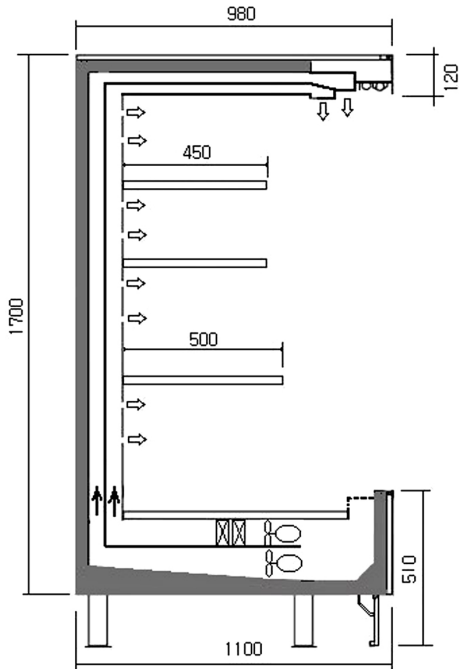


Fig. 2 Vertical section of display case.

의 길이는 전시케이스 폭과 같은 1.8 m이고, 폭은 50 mm로서 두 줄 형인 경우로 하였다. 하부에 설치된 환기 그릴은 길이 1.8 m이고 폭은 150 mm이다.

전시케이스 내부 벽면에는 전시용 냉동식품의 보관 온도를 유지하기 위하여 각 선반 안 쪽 면에 폭 12 mm, 길이 1.6 m인 편칭형 그릴을 두 줄로 설치하여 저장실 내부로 냉각된 공기를 공급한다. 이때 냉각 공기의 토출온도는 268 K를 기준으로 하였다. 이 전시케이스는 실내에 설치되어 있고, 냉각부하가 많이 발생하는 여름철 실내온도를 기준으로 하여 주변 온도 25°C, 상대습도 50%인 경우로 하였다.

2.2 성능해석

에어커튼이 설치된 공간에서 주위 공기와의 온도차가 있을 때 Hayes와 Stoecker⁽⁹⁾가 연구한 결과에 따르면 연돌효과에 의하여 개구부에서의 압력차 Δp_{sc} 는 식(1)과 같이 발생하며 위에서 아래로 선형적으로 변화한다.

$$\Delta p_{sc}(Z) = (\rho_a - \rho_c)g(Z - Z_n) \quad (1)$$

케이스 내부에서 별도의 공급 공기가 없는 경우 압력차이가 없는 중성대 높이는 개구부의 중간 높이에서 일어난다.

에어커튼의 성능에 대하여 Hayes와 Stoecker는 에어

커튼을 설계하기 위한 토출공기의 속도를 구하기 위하여 아래와 같은 식(2)를 제안하였다. 이 식은 에어커튼 양쪽의 온도차로 인하여 발생하는 연돌효과에 대하여 가로지르는 힘인 에어커튼의 토출공기 운동량의 비를 나타낸 힘계수 D_m 으로 나타내었다.⁽¹⁰⁾

$$D_m = \frac{b_o u_o^2}{gH^2 \left(\frac{T_o}{T_c} - \frac{T_o}{T_a} \right)} = \frac{\rho_o b_o u_o^2}{gH^2 (\rho_c - \rho_a)} \quad (2)$$

여기서 u_o 는 에어커튼의 토출속도[m/s], H 는 에어커튼의 공기 출구높이[m], T_o 는 제트출구 온도[K]이다. 에어커튼이 안정된 기능을 발휘하기 위하여 에어커튼의 제트 모멘텀이 최소 힘계수로부터 구해진 최소 모멘텀보다 커야한다. 만약 이 모멘텀보다 작으면 중간에서 휘어짐으로 인하여 에어커튼의 차단 기능을 상실하게 된다.

토출 슬롯을 나온 토출공기는 아래쪽으로 유동하면서 주변공기를 혼입하는 현상을 일으킨다. 혼입된 상태를 나타내는 혼입비율은 식(3)과 같으며, 여기서 현열에 대한 에너지 평형식은 식(4)와 같으므로 혼입비율은 식(5)와 같이 토출공기온도와 환기온도 및 주위공기온도와의 관계로 나타낼 수 있다.⁽¹¹⁾ 이때 혼합공기의 온도가 공급온도와 같다면 혼입 공기가 없는 경우를 나타내므로 혼입 비율이 0인 경우를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_r} \quad (3)$$

$$(\dot{m}_r - \dot{m}_a) c_p T_o + \dot{m}_a c_p T_a = \dot{m}_r c_p T_r \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{T_r - T_o}{T_a - T_o} \quad (5)$$

전시케이스의 단위 길이당 열에너지 손실율은 식(6)과 같으며, 이 식에서 μ , c_p 및 $(T_a - T_o)$ 를 상수로 고려할 수 있고, E^* 는 레이놀드수와 혼입비율의 곱을 나타낸다. E^* 는 식(7)과 같이 나타내면 이는 전시케이스에서 혼입공기로 인한 열에너지 손실계수이다.⁽¹¹⁾

$$\begin{aligned} E &= \dot{m} c_p (T_r - T_o) \\ &= (\mu Re) c_p \alpha (T_a - T_o) \\ &= E^* \mu c_p (T_a - T_o) \end{aligned} \quad (6)$$

$$E^* = \alpha Re \quad (7)$$

2.3 해석 모델

에어커튼을 이용하는 전시케이스의 성능을 해석하기 위하여 Fig. 3과 같이 공간을 구성하고 격자를 생성하였다. 전시케이스는 실내 공간에 설치되므로 상부 슬롯에서 나온 공기의 유동 상태가 제한공간으로 인한 영향을 받지 않도록 가로, 세로, 높이가 3 m×2 m×2.6 m인 상대적으로 넓은 외부 공간을 구성하였으며, 전면과 측면은 개방공간으로 설정하여 해석하였다. 수치 해석을 위하여 3차원인 약 362만 개의 셀로 이루어진 비정렬 격자를 이용하였고, 정상상태로 계산하였으며, SIMPLE 방법과 k-ε 난류모델을 사용하였다. 이때 전시케이스의 개구부 주변과 급기슬롯, 환기그릴 주변은 정밀한 해석을 위하여 조밀한 격자로 구성하였다.

전시케이스의 유동과 성능에 대한 현상을 해석하기 위한 지배방정식은 식(8)~식(10)과 같은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식이다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + S_M \quad (9)$$

$$\frac{\partial u_j \rho h}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial T}{\partial x_j} + S_E \quad (10)$$

위 식에서 u_i 는 속도성분, p 는 압력, T 는 온도, S_M 은 운동량 생성항, S_E 는 에너지 생성항이다.

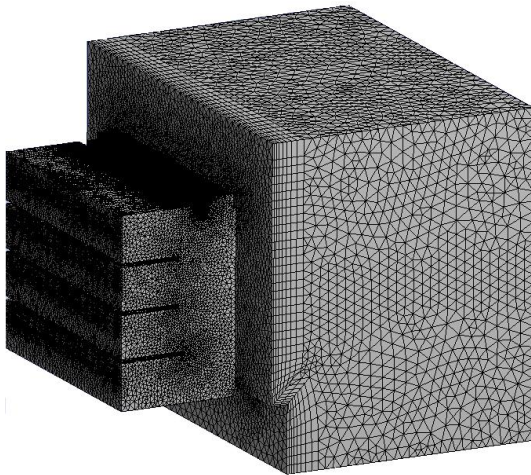


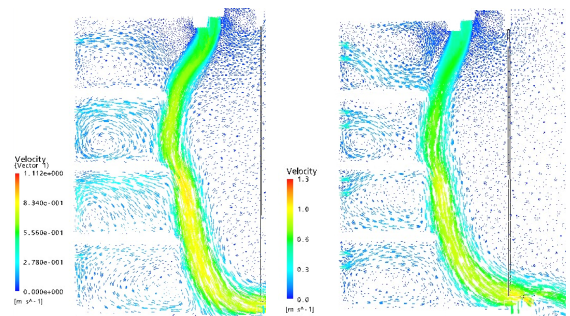
Fig. 3 Hexa meshing for the display case.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 토출기류의 영향 비교

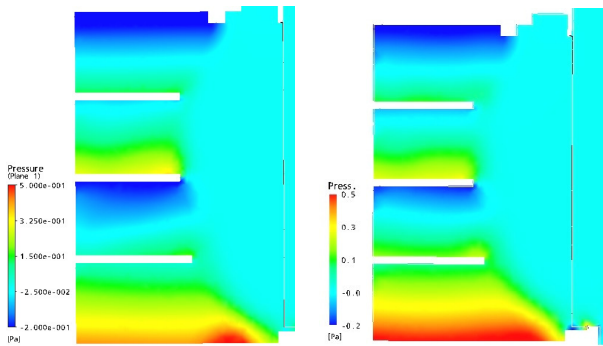
전시케이스 내의 온도가 주위 공기온도보다 매우 낮으므로 내외 온도차로 인한 연돌효과가 발생한다. 이때 케이스 내의 위와 아래 사이에는 압력 차이가 발생하여 아래쪽은 대기압력보다 높게 되고, 위쪽은 대기압력보다 낮게 된다. 이로 인하여 토출 슬롯을 나와 에어커튼을 형성하는 기류는 위 부분에서 전시케이스 안쪽으로 휘어지게 되고 아래쪽에서는 바깥쪽으로 휘어지는 현상이 일어난다. 이때 전시케이스 내 뒤 벽면에 설치된 편칭형 그릴에서 0.5 m/s의 속도로 냉각공기를 공급하여 에어커튼 뒤쪽의 압력을 변화시켜 에어커튼의 회절현상을 줄이고자 하였다. 이 회절현상의 변화로 인한 주위 공기의 혼입량 변화와 전시케이스의 사용에너지의 변화를 살펴보았을 때 배압을 작용시키는 것이 더 유리한 것을 알 수 있었다. Fig. 4는 슬롯에서 토출된 공기에 의하여 형성되는 에어커튼의 속도벡터 선도를 나타낸 것으로 (a)는 선행 연구에서 전시케이스 내의 공급 공기를 냉각을 위한 최소공기량으로 하였을 때 회절상태를 나타낸 것이고, (b)는 전시케이스 안쪽 벽면에서 공급 공기량을 증가시켜 에어커튼 안쪽의 압력을 상승시켰을 때 회절된 상태를 나타낸 것이다. (a)의 경우는 상부 두 번째 칸 위치에서 심하게 안쪽으로 회절되는 것을 볼 수 있지만 (b)의 경우는 회절 부분이 개선되어 전체적으로 완만한 기류 형태를 나타내고 있다. 이로 인하여 외부공기의 혼입비율이 낮아지는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 에어커튼 안쪽의 압력분포를 나타낸 것으로 (a)의 경우는 전시케이스 내의 공급 공기를 냉각을 위한 최소공기량으로 하였을 때이고, (b)는 전시케이스 안쪽 벽면에서 공급 공기량을 증가시켰을 때 압력분포를 나타낸 것으로 (a)의 경우보다 (b)의 경우가 평균



(a) Low back pressure (b) High back pressure

Fig. 4 Velocity vectors for different back pressure of the display case at vertical section.



(a) Low back pressure (b) High back pressure
 Fig. 5 Pressure field for different back pressure of the display case at vertical section.

0.1 Pa정도 높은 것으로 나타났다.

케이스 내 압력 변화에 따른 기류의 회절현상을 좀 더 자세히 분석하기 위하여 급기 슬롯에서 나온 공기에 대한 유선의 경로를 나타낸 것이 Fig. 6이다. Fig. 6은 앞의 두 경우에 대하여 토출기류의 굽어지는 정도를 슬롯 폭 b_o 에 대한 값으로 무차원화하여 나타낸 선도로서 Z_c 는 슬롯으로부터의 높이이고, x_s 는 토출구의 중심으로부터 편심된 거리를 나타낸다. 이때 x_s/b_o 가 0인 지점은 상부 토출구 지점을 나타내며 (-)인 값은 전시케이스 내이고 (+) 방향은 전시케이스 바깥 방향을 나타낸다. 선도에서 back은 전시케이스 안쪽 벽면에서 공급 공기량을 증가시켰을 때로서 슬롯의 토출속도가 각각 1.1 m/s와 0.7 m/s에 대한 경우이고, 50 mm 더블 제트는 전시케이스 안쪽 벽면에서 공급 공기량 아주 적은 경우에 대한 유선을 나타낸 선도이다. 이 선도에서와 같이 전시케이스 안쪽에서 공급공기량을 증가시

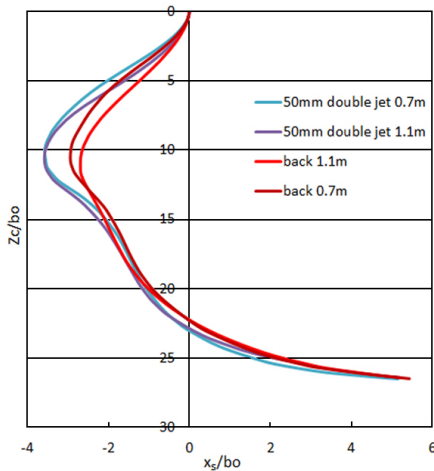


Fig. 6 Trajectory of the air flow in various conditions.

키면 에어커튼이 전면으로 42 mm 정도 밀리게 되어 좀 더 완만한 유선을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 에어커튼의 주위 공기 혼입 상태가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

3.2 에너지 소비특성

전시케이스 내로 공급되는 공기를 선반의 위쪽에서부터 2단, 3단 그리고 4단 내로 공급하였을 때 슬롯에서 나온 토출 속도와 온도 조건에 따라 에너지 사용량의 변화를 비교하였다. Fig. 7은 그 관계를 나타낸 것으로 st는 선반 안으로 공급되는 선반 단수를 의미하며, 뒤의 숫자는 안쪽 슬롯에서의 토출공기 온도를 의미한다. 이때 선반 4단에서 전부 공급되고 안쪽과 바깥쪽 슬롯에서의 공급온도를 278 K로 하였을 때 에너지 소비량이 다른 경우보다 적게 소비되는 것으로 나타났다. 특히 슬롯에서의 토출속도가 0.5 m/s일 때 가장 낮은 값을 나타냈다. 이는 선행 연구(5)에서의 에너지 소비량보다 20% 정도 줄어든 것으로 검토되었다. 이 경우 전시케이스 내의 온도 분포를 검토한 바 전 공간에서 냉동케이스로서의 조건을 만족하는 271 K 이내로 유지되고 있는 것으로 나타났다. 하지만 동일한 조건에서 슬롯에서의 토출속도가 이보다 빠른 경우 오히려 케이스 내 온도분포 상태가 273 K를 넘는 부분이 있어 적합하지 않고 에너지 소비량도 증가하였으며, 이보다 느린 경우에도 에너지 소비량이 오히려 증가하였다. 그리고 상부 양쪽 슬롯에서 토출 온도를 278 K로 하는 경우가 안쪽 슬롯에서의 토출온도를 268 K로 낮게 하는 경우보다 에너지 소비가 적은 것으로 나타났으며, 선반 안쪽 벽면에서 공급하는 공기는 4단 전부에서 공급하는 것이 에너지 소비량이 더 적은 것을 알 수 있다.

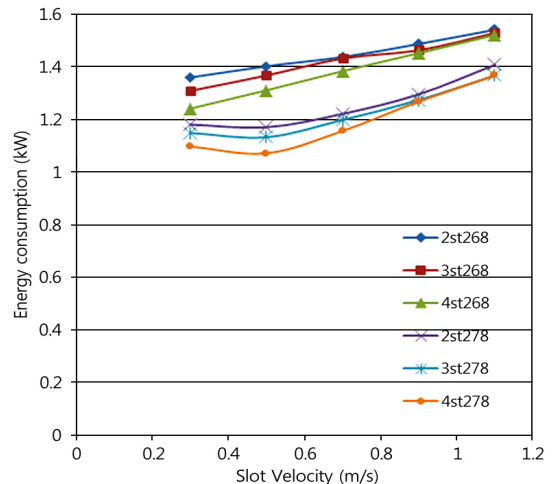


Fig. 7 Energy consumption rate vs. slot velocity.

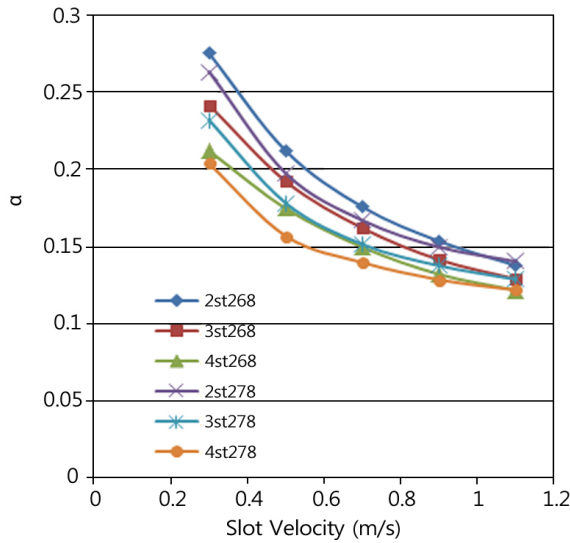


Fig. 8 Thermal entrainment ratio vs. slot velocity.

Fig. 8은 슬롯의 토출속도에 따른 주위공기의 혼입비율 α 를 나타낸 것으로 안쪽 슬롯에서의 토출온도가 278 K이고 선반 안쪽의 토출공기가 4단으로 전부 공급되는 경우 혼입비율이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 슬롯에서의 토출속도가 빨라질수록 혼입비율은 점차 낮아지는 것으로 나타났다. 다른 조건에서도 슬롯의 토출속도가 빨라지면 혼입비율은 점차 낮아지는 것으로 나타났다. 안쪽 슬롯에서의 토출공기 온도를 268 K로 하는 경우 혼입비율이 더 높은 것으로 나타났다. 선행 연구⁽⁹⁾와 비교하여 보면 같은 조건인 안쪽 슬롯의 토출온도 268 K, 슬롯의 토출속도 0.5 m/s일 때 혼입비율은 각각 0.31, 0.175로서 약 44% 정도 줄어드는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9는 슬롯의 토출속도 변화에 따른 혼입에너지 손실계수 E^* 를 나타낸 것이다. 이는 식(7)과 같이 혼입비율 α 와 레이놀즈수의 곱으로 슬롯의 공기 토출속도가 빨라질수록 에너지 소비계수는 선형적으로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 슬롯의 토출속도 1 m/s인 경우 0.3 m/s인 경우의 2배 정도 증가함을 보여준다. 이는 주위 공기의 혼입비율 값인 α 는 레이놀즈수 증가에 따라 완만하게 감소하지만 레이놀즈수의 증가 비율은 상대적으로 크기 때문이다. 혼입에너지 손실계수도 안쪽 슬롯에서의 토출온도가 278 K이고 선반 안쪽의 토출공기가 4단에서 전부 공급되는 경우 가장 낮은 것으로 나타나 에너지 소비량의 경우와 일치하는 경향을 나타내고 있다.

4. 결론

전시케이스에서의 에너지 소비량은 상부에 설치된 급기슬롯의 토출속도와 온도 그리고 선반 안쪽 저장

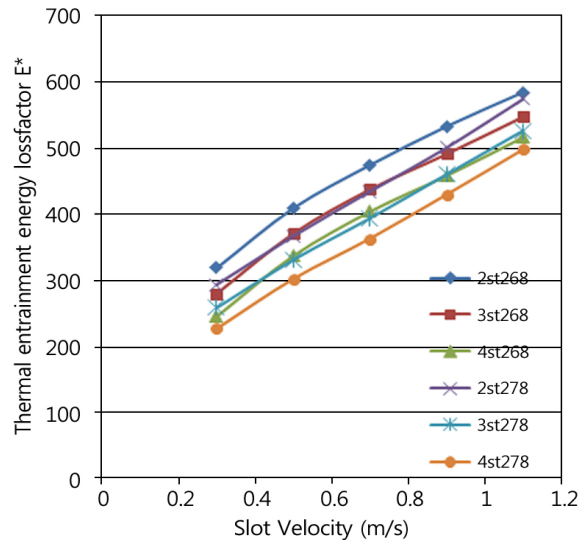


Fig. 9 Thermal entrainment energy loss factor vs. slot velocity.

공간 내에서의 공급공기량에 따른 내부 배압에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 이는 상부슬롯에서 나온 토출공기의 에어커튼 형상이 에너지 소비량에 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 저장 공간의 배압 변화에 따른 전시케이스의 에너지 소비량 변화에 대한 연구로 부터 얻은 결론은 아래와 같다.

- (1) 전시케이스 저장 공간 내 토출공기의 양을 증가시켜 배압을 높이는 것이 에어커튼의 회절상태를 완만하게 하여 에너지 효율성을 높이는 것을 알 수 있다.
- (2) 상부 슬롯의 토출공기 온도는 저장 공간과 같은 낮은 온도보다는 환기그릴로 회수되는 온도 정도의 높은 온도로 공급하는 경우가 에너지 사용량이 작음을 알 수 있다.
- (3) 상부슬롯에서의 토출공기 속도는 0.5 m/s인 경우 에너지 소비량이 가장 작게 나타났다.
- (4) 슬롯의 토출속도가 높아지면 공기 혼입비율은 낮아지지만 레이놀즈수의 증가비율이 커 에너지 소비량은 증가함을 알 수 있다.

후 기

이 연구는 2013년도 가천대학교 연구지원에 의한 결과임.

Reference

1. Kwon, J. T. and Kwon, Y. C, 2003, Development trend of showcase equipment, Magazine of the SAREK, Vol. 32, No. 7, pp. 34-36.

2. Gray, I., Luscombe, P., Sarathy, C. S. P., Sheahan, P., and Srinivasan, K., 2008, Improvement of air distribution in refrigerated vertical open front remote supermarket display cases, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 31, pp. 902-910.
3. Pedro Dinis Gaspar, L. C. Carrilho Goncalves and R. A. Pitarma, 2011, Experimental analysis of the entrainment factor of air curtain in vertical open display cabinets for different ambient air conditions, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, pp. 961-969.
4. Shin, Y.-H., Oh, W.-K., Park, K.-H., Kim, Y. G., and Shin, Y. G., 2005, Measurement and analysis of showcase field data, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 17, pp. 436-443.
5. Sung, S. K., 2011, Performance of refrigerated display cabinets in accordance with the supply air jet condition, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 23, No. 1, pp. 80-86.
6. Foster, A. M., Madge, M., and Evans, J. A., 2005, The use of CFD to improve the performance of a chilled multi-deck retail display cabinet, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 698-705.
7. Hodayun, K. N., Henderson, B. S., Faramarzi, R., Pormovahed, A., and Taugwalder, F., 2005, Jet entrainment rate in air curtain of open refrigerated display cases, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, pp. 267-275.
8. Yu, K.-Z., Ding, G.-L., and Chen, T.-J., 2007, Simulation of air curtains for vertical display cases with a two-fluid model, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27, pp. 2583-2591.
9. Foster, A. M., Swain, M. J., Barrett, R., D'Agaro, P., and James, S. J., 2006, Effectiveness and optimum jet velocity for a plane jet air curtain used to restrict cold room infiltration, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, pp. 692-699.
10. Hayes, F. C. and Stoecker, W. F., 1969, Design data for air curtains, *ASHRAE Transactions*, Vol. 75, pp. 168-179.
11. Brandon, S. F. and Loth, E., 2006, Entrainment of refrigerated air curtains down a wall, *Experimental and fluid science*, Vol. 30, pp. 175-184.