해상에서도 기관으로부터 배출되는 NOx의 최대 허용량을 규제하기 시작하였으며 앞으로 더욱 강화될 전망이다.

디젤기관의 운전 시 발생하는 NOx의 양을 저감시키기 위한 기술은 지금까지 많은 발전을 이루어왔으나 주로 분사시기 조정, 수유화유의 사용 또는 물 분사 등 연소방식의 개선에 의존하거나 배기의 후처리 방법에 초점이 맞추어져있다. 배기 후처리 방법을 포함한 현재 실용화된 방법들은 제작 및 운용유지에 많은 비용이 들어가고 기관에 별도의 시스템이 부가되어야 하는 등의 단점이 지적되고 있다. 디젤기관에서 연소실의 기하학적 형상에 따른 연소기구를 개선함으로써 NOx의 발생량을 연소단계에서부터 원천적으로 감소시킬 수 있다면 전술한 단점을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 현장에서의 적용 또한 간편하게 할 수 있는 바람직한 방법이라 할 수 있다.

NOx를 발생시키는 가장 큰 요인은 높은 온도이며 1800K이상의 고온에서는 온도의 상승에 따른 발생률이 급격히 증대한다. 따라서 연료와 공기의 혼합 비율로 볼 때에는 이론공연비 즉 공기과잉률 λ=1.0 부근에서 그 발생률이 최대로 되고, λ=0.8 이하의 과농한 연소상태 또는 λ=1.4이상의 희박한 연소상태에서는 그 발생률이 현저히 감소한다. 따라서 연소과정 중에 NOx의 발생을 근본적으로 줄이기 위한 방법으로 연료의 연소초기에는 과농 상태로, 연소후기에는 희박한 상태로 연소를 진행시키는 2단연소 방법이 연구되고 있다.

Takemi 등은 그의 연구에서 디젤기관의 피스톤 상부 크라운 부분의 형상을 개조하여 초기에 분사된 연료를 특정한 형상의 공간(cavity) 안에 가둠으로써 초기의 과농연소를 진행시키고, 피스톤이 하강하는 팽창행정 동안 미연의 연료를 연소시킴으로써 희박연소를 진행하며, CCD (Combustion Chamber for Disturbance)분사를 이용하여 강한 난류를 형성함으로써 완전연소를 도울 수 있도록 하였다. 그 결과 NOx 발생량이 1/2 이하로 감소되는 결과를 얻었다. 하지만 매연과 연료소비율은 개선 전의 피스톤 사용 시에 비해 높게 나타났으며 향후 개선을 요하는 사항으로 지적되었다.

본 연구에서는 피스톤 상부의 형상을 개조하여 4공 노즐의 각 분무를 독립적으로 유도하고 각각의 분무에 대하여 초기 과농 및 후기 희박연소의 2단연소를 실현하여 NOx 발생을 저감시킬 수 있는 방법을 실험을 통하여 연구하였다. 실험용 기관으로서 수냉식 단기통 직접분사식 디젤기관을 이용하였으며, 피스톤 크라운 부분의 형상을 개조하여 노즐에서 분사된 연료가, 초기에는 과농한 상태로 연소를 진행시키고, 연소 후반부에는 희박한 상태로 진행하도록 하였다. 실험 결과 기존의 피스톤 사용 시에 비해 NOx는 현저하게 저감되었다. 그러나 동일한 부하조건에서 연소실 내의 최고압력이 상당히 감소하고 따라서 연료소비률이 증가하며, CO 및 매연의 발생률이 증가한 것이 개선되어야 할 문제로 나타났다.

22. 저온진공열전달을 이용한 예냉 및 해동에 관한 실험적 연구

기관공학과 박 영 승
지도교수 김 경 근

우리나라는 현재 1980년대에 비하여 농어가 수는 거의 비슷하지만, 농·수산업에 종사하는 인구수가 감소하고 고령화되는 실정이며, 또한 대외적으로는 WTO체제의 출범에 따른 농수산

업의 대외 개방에 의하여 농어촌 제품이 품질과 가격의 경쟁이라는 이중고를 겪고 있다. 이와 같이 열악한 농수산업 분야의 환경을 개선하기 위해서는, 수확량 증산을 위한 품종개량, 영농의 기계화, 생산물의 저장과 가공 등의 기계화를 통하여 선진 영농국가와의 경쟁력을 확보해야 한다. 특히 농·수·임·축산물의 생산지는 소비지와 멀리 떨어져 있으므로 제품의 신선도를 유지하기 위해서는, 수확 후 빠른 시간 내에 냉각을 현지에서 행하여 저온유통으로 소비자에게 공급할 수 있는 냉장설비가 필요하다.

예냉장치를 냉각방식에 의하여 분류하면 진공예냉, 공기에 의한 예냉, 냉수에 의한 예냉, 얼음에 의한 예냉등으로 구분할 수가 있다.

인간이 눈이나 얼음을 이용하여 식품을 보존한 것은 오랜 역사를 가지고 있다. B.C. 1100년경에 이미 중국에서는 자연상태의 얼음을 절단하여 수렵한 식품을 보존하는 데 사용하였고, B.C. 500년경에는 인도나 이집트에서 맑은 겨울 저녁에 토기그릇에 물을 담아서 지붕 위에 놓아 얼음을 만들어 식용하였다. 이처럼, 식품의 보존수단으로서 식품을 냉동하는 방법이 광범위하게 이용되고, 이와 같은 과정을 통하여 냉동기술이 발전하게 되었다. 우리나라는 1980년 경제성장과 더불어 냉동식품(수산가공품)의 소비가 급속히 증가하는 상황이며, 최근 식품의 양적으로나 질적으로 안정적인 공급을 냉동식품에 의존하는 것이 크게 늘어나고, 이러한 경향은 앞으로 더욱 더 증가할 것으로 예상된다.

동결상태에 있는 식품을 사용할 경우, 일반적으로 해동할 필요가 있으며 이 해동방법이 적절하지 않으면 좋은 품질의 식품을 얻는 것이 어렵다. 따라서, 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 냉동식품을 취급하는데 있어서는 냉동공정과 마찬가지로 해동공정도 중요한 요소이고, 세심한 주의를 기울이지 않으면 안된다.

해동장치를 해동량의 처리규모에 따라 분류하게 되면 공장용의 대규모, 슈퍼, 식당, 호텔 등의 업무용인 중규모, 가정용의 소규모 해동장치로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 진공펌프와 수구동 공기흡입 이젝터를 이용한 진공예냉 방식을 이용하여 기존의 강제통풍 냉각장치에 비하여 냉각에 소요되는 시간을 단축시키고, 예냉과정에서 소요되는 에너지량을 최소화하고, 냉각온도를 최적상태로 조절하여 고품질의 농·축·수산물이나 임산물을 생산할 수 있도록 한다. 해동의 경우 진공해동 방식의 장치를 통하여 해동시간의 단축 및 고품질의 제품을 얻을 수 있도록 하며, 이동이 용이하고, 1회 처리량이 약 40㎏ 정도인 저온진공 예냉 및 해동장치를 연구 개발하는 것이다. 이를 위하여 실제로 예냉 및 해동겸용 실험장치를 제작하여 이론 및 실증적 실험을 수행하여 장치의 설계 및 기술개발에 필요한 제반 열공학적 특성을 파악하는데 본 연구의 목적을 두었다.

본 연구에서 사용되어진 실험장치는 예냉 및 해동을 병행하여서 수행할 수 있는 장치로써, 실험장치를 살펴보면 시료의 예냉과 해동이 이루어지는 진공용기(vacuum chamber), 진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지하기 위한 진공펌프(rotary type oil vacuum pump)와 수구동 기체흡입 이젝터(water jet air ejector), 이젝터 구동용 펌프(driving pump)와 물탱크(water tank), 해동시 필요한 열량을 공급하기 위한 전기가열기(electric heater), 각 부의 온도 및 압력을 실시간 측정하기 위한 온라인 측정장치(on-line measuring unit) 등으로 구성되어 있다.

진공예냉 및 해동에 있어서 예냉 및 해동을 결정하는 중요한 인자는 진공용기내의 진공압력이며, 진공압력에 따라서 포화온도가 결정되며, 결국 포화온도와 피예냉물 및 해동물 내부로의 열전도 속도에 의하여 예냉 및 해동속도가 결정된다. 본 실험에서는 진공추기장치로서 수구동 기체흡입 이젝터와 로터리형 진공펌프를 사용하였다. 주 진공추기 장치는 수구동 기체흡입 이젝터 시스템으로서, 이와 같은 이젝터 진공추기시스템은 현장 적용시 고장이 없어 매우 유용하

Collection

게 사용된다.

실험장치내를 소정의 진공압력으로 유지시키기 위해 이젝터만을 사용할 경우 진공압력 도달 시간이 많이 소요되므로 실험 초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용했다. 실험 초기 이젝터만을 사용할 경우 5 *mmHg abs.*의 진공압력을 형성하기 위해서는 약 150 분 정도가 소요되었으며, 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용할 경우에는 약 30 분 정도가 소요되었다. 그래서, 예냉 및 해동시간의 단축을 위해 실험초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용하여 실험하였으며, 이후 소정의 진공압력 5 *mmHg abs.*가 형성되면, 이젝터만을 사용하여 진공압력을 유지하였다. 이젝터의 용량을 크게 선정하면 로터리형 진공펌프를 사용할 필요가 없으나 그럴 경우 기타 실험장치의 전체적인 용량이 커지기 때문에 본 실험에서는 2가지를 조합하여 실험하였다. 이젝터와 진공펌프 2가지를 동시에 사용할 경우 로터리형 펌프만을 사용할 때와 큰 차이를 나타내고 있지 않는데 이것은 이젝터를 최소한의 용량으로 소정의 진공압력을 유지하기 위해서만 사용되어 지므로 초기에는 2가지를 동시에 사용할 때와 피스톤형 진공펌프만을 사용할 경우에 대해서 큰 차이를 나타내지 않았다.

일반적으로 예냉 과정은 흔히 냉동기 시스템을 이용해야만 한다고 인식되어 있다. 그러나, 이러한 냉동기 시스템에 의한 예냉 방법은 식품의 겉과 속의 온도를 동시에 낮출 수는 없다. 설령 온도를 똑같이 낮출 수 있다하더라도 부속장치가 과다하게 설치되거나 또는 많은 시간이 필요하게 된다. 그러나, 본 실험장치에서와 같이 수구동 공기흡입 이젝터를 이용한 예냉을 하면 겉과 속의 온도를 동시에 낮출 수 있다.

배추의 예냉 실험에서는 진공압력 5 *mmHg abs.*, 무게 1.846 *kg*인 배추를 23.2℃에서 4.5℃까지 예냉하는데 60 분이 소요되며, 이 때의 무게감소는 0.036 *kg*이었으며, 이 때의 무게감소율은 1.9%이였고, 배추의 겉과 속의 온도가 거의 동시에 떨어졌으며, 17.10 *kcal/kg*의 열량이 소모됨을 알았다.

콩나물의 예냉 실험에서는 진공압력 5 *mmHg abs.*, 무게 1.106 *kg*인 콩나물을 17.9℃에서 1.0℃까지 예냉하는데 60 분이 소요되며, 무게감소는 0.022 *kg*이었으며, 이 때의 무게감소율은 1.9%이였고, 15.7 *kcal/kg*의 열량이 소모됨을 알았다.

해동과정은 흔히 냉동과정의 반대일 것으로 생각하기 쉬운데 사실은 해동과정이 냉동과정과는 상당히 다르다는 점을 인식해야 한다. 식품과 같이 열이 주로 전도에 의해 전달되는 경우, 해동은 냉동보다 느리게 이루어지며, 해동의 시간-온도 곡선은 냉동의 시간-온도 곡선과 유사한 점이 거의 없다.

조기의 해동실험에서는 진공압력 20 *mmHg abs.*, 가열수 온도 22℃로 크기 360 *W*×150 *H*×590 *L* *mm*, 무게 20 *kg*의 조기블럭을 초기온도 -10.3 ℃에서 -0.8 ℃까지 해동하는데 170 분이 소요되었고, 해동시 소모된 열량은 413.03 *kcal/kg*임을 알았다.

갈치의 해동실험에서는 진공압력 20 *mmHg abs.*, 가열수 온도 22℃로 크기 360 *W*×150 *H*×590 *L* *mm*, 무게 20 *kg*의 갈치블럭을 초기온도 -12.2℃에서 0.0℃까지 해동하는데 220 분이 소요되었고, 해동시 소모된 열량은 387.65 *kcal/kg*임을 알았다.

dCollection