

축산물의 냉동시스템

축산물 도축 후 냉각 시스템에 대해 유럽을 중심으로 요약 정리하여 설명한다.

이 성 주

(주)센추리이씨 (sjl@ecentury.co.kr)

머리말

우리나라의 축산물은 소와 돼지가 주를 이루고 있는데, 이의 도축후 냉각에 있어 특별한 관리가 미흡한 실정이다. 그러나 유럽에서는 축산물 도축 후 냉각시스템은 육류의 품질관리에 가장 중요한 요소로 여겨지고 있다. 특히 도축전후의 냉동냉장 기술은 육질뿐만 아니라 중량의 감소를 최소화 할 수 있는 기술로서 중요한 관리점이 되고 있다. 본 고에서는 과거 우리나라에 일부 소개되었던 유럽의 축산물 냉각시스템의 내용 중 축산물 도축 후 냉각시스템을 중심으로 요약 정리하였다.

축산물 냉각 시스템에서의 주안점

도축된 소와 돼지의 냉각시스템에 있어 가장 중요한 부분은 균일한 기류분포를 유지함으로써 균일한 육질을 유지하는 것이다. 최소의 송풍기 동력으로 최대의 효과를 냄으로서 에너지 소비율을 최소화 하는 것 또한 에너지 절감에 있어 중요한 요소라고 하겠다. 도축된 도체를 이동하는 시스템에 설치된 철 구조물에 응축수가 맺힐 위험성에 있어 이를 최소화 함으로서 위생적인 냉각시스템을 구축 하는 것도 매우 중요하다.

균일한 냉각 및 공기분포

일반적으로 균일한 냉각공기의 분포를 제어하기 위해서는 공기 분사 노즐이 사용된다. 높은 공기속

도는 열전달 효율을 좋게 한다. 도체의 표면에 박테리아의 성장을 억제하려면 가능한 빠른 속도로 냉각하여야 한다. 반투과성 공기 덕트는 도체 오염 및 응축수 형성의 위험을 방지 해준다.

육질

냉각과정이 육질에 어떤 영향을 미치는가 하는 것을 알면 다음과 같은 품질 문제를 해결할 수 있다.

- PSE 육질 (너무 늦은 냉각속도)
 - * PSE(pale, soft, exudative):육색이 창백하고, 조직이 흐늘거리며, 유즙 삼출이 심한 특징을 가진 고기
- 딱딱한 육질 (너무 빠른 냉각속도)
- 탈색된 육질

중량감소

중량감소로 인한 손실을 최소화하고 최상의 육질을 유지하려면 냉동플랜트의 설계를 주의해서 해야 한다. 오랜 현장 경험을 토대로 얻은 데이터를 컴퓨터로 연산하는 방법이 중요하게 쓰일 수 있다.

에너지 소비효율

도축장에서 냉동시스템은 전기 소모량이 크기 때문에 도축장 전체의 전기에너지 소모량을 연산하고 평가할 필요가 있다. 특히 온수 사용으로 인한 에너지 비용은 냉동시스템에서 열회수하여 에너지 비용을 줄일 수 있다.

도체의 냉각

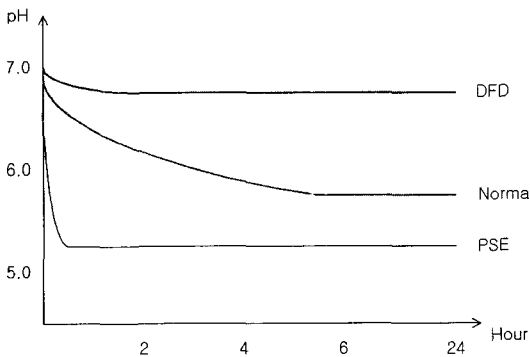
도체의 냉각 시스템을 설계할 때는 몇 가지 고려해야 할 사항이 있다.

첫째로 유럽공동체의 도체 처리 규정에 만족하도록 설계해야 한다. 즉 도체는 도축장에서 출고되어 나가기 전 온도가 7℃로 냉각되어야 한다. 둘째로 육류는 고품질을 보증할 수 있는 방식으로 냉각되어야 한다. 너무 빨리 냉각이 되면 소위 cold shortening이 일어나므로 딱딱한 육질이 되며 탈색의 원인이 된다. 반면에 너무 느리게 냉각을 시키면 소위 PSE meat로 발전될 위험이 높아진다.

육질과 냉각속도

일반적으로 육질의 판별은 영양가, 부드러움, 향, 즙, 염도, 보습량, 색깔 등으로 구분하며 이러한 요소들은 가축의 사양관리에서 주로 시작된다고 볼 수 있다. 동물의 근육에는 당 합성체인 글리코겐이 포함되어 있으며 이것은 근육에 에너지를 저장한다. 살아있는 몸체에서는 산소가 있기 때문에 이 글리코겐은 다른 당 합성체인 ATP로 분해된다. ATP는 근육에 에너지가 필요할 때 사용된다. 산소가 없을 때에는 젖산으로 되며 pH값을 떨어뜨리는 역할을 한다.

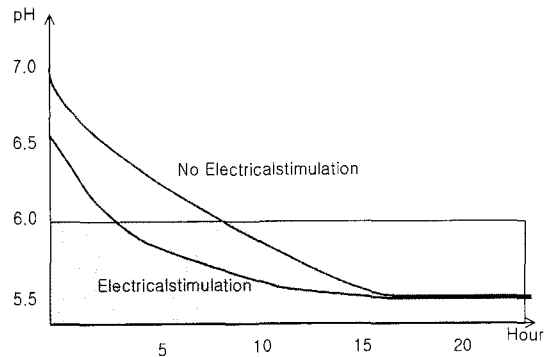
도축 후 시간에 따라 pH값은 떨어진다. 그림 1은 돼지의 경우로 육질을 좋게 유지하기 위한 희망하는 pH값의 강하율을 보여주고 있다. 만일 돼지가 도축



[그림 1] Normal, PSE, DFD meat의 pH 변화

되기 전에 장기간 저장 에너지를 방출하게 되면 글리코겐의 농도가 낮아져 정상적인 pH값으로 떨어지기에 충분하지 않게 되어 pH값의 강하가 정지되며 소위 DFD(dark, firm, dry) meat가 된다. 반대로 글리코겐 농도가 너무 높거나 도축전에 스트레스를 너무 받게 되면 PSE (pale, soft, exudative) meat가 된다. PSE meat는 매우 창백한 색깔이며 호물거리며 조리시 많은 양의 빨건 물이 나오는 고기이다. 즉 육질이 딱딱해진다. 최근까지도 이 두가지 품질문제는 냉각 과정의 문제로 생각하지 않았다. 그러나 최근에 온도가 PSE를 가져오는 주범이라는 것이 발견되었다. 상당한 시간동안 낮은 pH와 높은 온도로 방치하면 이런 현상 즉 PSE 현상이 나타난다. 근육의 중요 요소 중의 한가지인 미요신은 육류전체 수분의 75%를 함유하고 있다. 이런 현상은 미요신을 변질시키는 주범이다. 따라서 변질과 Drip Loss 사이의 상관관계가 명확히 밝혀졌다. 그러므로 만일 스트레스를 받지 않은 돼지를 빨리 냉각하지 않는다면 스트레스를 받은 돼지와 똑같은 품질 문제가 일어날 것이다.

기타 육질문제로 말할 수 있는 것이 cold shortening이다. 근육 세포벽내의 메카니즘이 +10℃ 이하로 떨어졌을때 저장에너지를 방출하는 것을 말한다. 이와 같은 에너지의 방출은 근육 수축의 원인이 되며 쭈글쭈글하게 만든다. 시간이 지남에 따라 근육에 포함된 에너지가 더 적어지고 그럴수록 수축이 심하게 된다. 이 현상은 cold shortening이라 말한다. 이러한 육류는 육질이 딱딱하여 먹기에 좋지 않



[그림 2] Cold shortening의 조절

다. 그러므로 이와 같은 현상을 방지하려면 pH값이 6 이하가 되기 전에 +10℃이하로 냉각해서는 안된다. 소의 경우 일반적으로 pH강하율이 0.001 units/hour 이므로 대략 10시간 정도 기다려야 한다. 다른 방법 중 근육에 전기자극을 줌으로서 6시간 이내에 pH값을 6℃이하로 떨어뜨리는 방법이 있다. 그림 2는 cold shortening을 조절하기 위한 pH를 보여주고 있다.

돼지의 경우는 소에 비해서 pH강하율(0.01units/hour)이 10배 정도 빠르기 때문에 일반적으로 cold shortening의 문제는 발생되지 않는다.

중량의 감소

중량의 감소는 항상 큰 관심거리가 된다. 유럽의 시장에서는 더 높은 관심을 갖게 된다. 도체는 냉각하기 전에 중량을 잰다. 생산자(농민)는 냉각전의 중량에서 2%를 제한 값을 받게 된다. 즉 중량 감소율을 감한 것이다. 도축장으로서 냉각후의 실제 중량에 대한 것만 지불하게 되더라도 만일 중량이 2%가 아닌 1%만 감소되었다면 나머지 1%에 대한 수입은 도축장의 몫이 된다. 그러므로 도축 후 냉각시스템은 중량의 감소가 최소가 되도록 하는 것이 중요하다. 도체의 습표면에서는 증발량은 다음 식과 같다.

$$M = a \times F \times (P1 - P2)$$

여기서, M = 수분증발량

a = 확산계수

F = 표면적(m²)

P1 = 표면에서의 수증기 분압(mbar)

P2 = 주위공기의 수증기 분압(mbar)

이다.

즉 수증기의 증발량은 확산계수에 비례한다. 표면적에 비례하며 도체 표면과 주위 공기 사이의 수증기 분압차에 비례한다. 확산계수 a는 다음과 같이 루이스의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$a = h/Cp$$

여기서, h = 대류 열전달계수(W/m²K)

Cp = 공기의 비열(J/kgK)

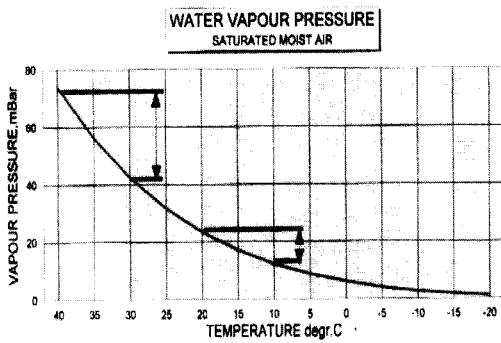
이다. 그러므로 습표면으로부터의 증발량은 다음과 같다.

$$M = 6.1 (EXP-9) \times h \times F \times (P1-P2)$$

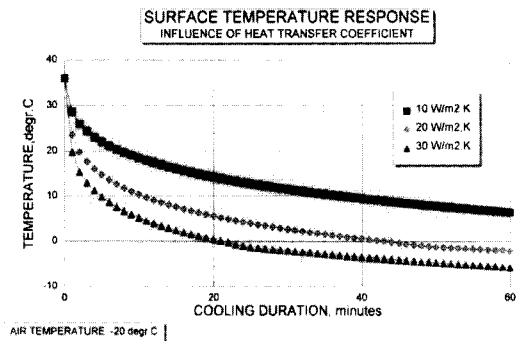
즉 증발량은 대류열전달 계수에 비례하고 표면적과 수증기 분압차에 비례한다. 여기서 냉각 과정에 영향을 미치는 것은 무엇인지 살펴보자.

F는 도체의 표면적으로 일정하다고 본다면 대류에 의한 열전달계수와 수증기 분압차가 영향을 줄 수 있다. 먼저 온도에 따른 수증기의 분압차를 살펴보자.

그림 3에서 나타낸 것과 같이 수증기 분압은 온도가 높을수록 높아지고 낮아질수록 낮아진다. 그러므로 도체의 표면과 주위 공기 사이의 온도차가 없다면 증발이 일어나지 않게 되고 중량은 감소되지 않는다. 그렇지만 도체를 냉각시키기 위해서는 온도차를 두지 않으면 안된다. 만일 온도차가 10℃라면 도체의 온도가 높을 때에는 수증기 분압차가 냉각이 되었을 때 비하여 커지게 된다. 그렇기 때문에 도축후 가능하면 빠른 시간내에 냉각시켜야한다.



[그림 3] 온도에 따른 분압차의 변화



[그림 4] 대류 열전달계수에 따른 표면온도 변화

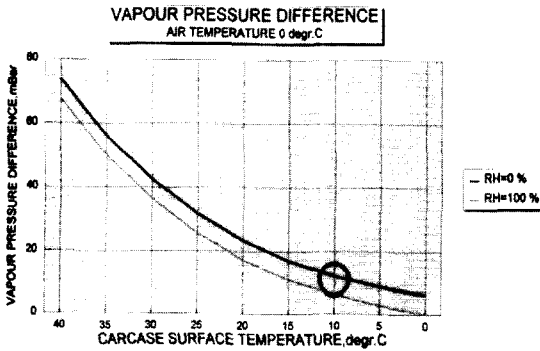
중량감소를 유발하는 또 한가지 요소는 냉각과정에서의 대류 열전달계수 h 이다. 이것은 풍속이 빠르면 빠를수록 높은 값이 되기 때문에 중량감소를 일으키는 원인이 된다. 만일 풍속이 빨라지면 열전달계수가 높아지지만 대신 도체의 표면을 빠르게 냉각시키기 때문에 중량 감소를 줄이는데 도움이 될 것이다.

그림 4는 돼지의 경우 공기온도 -20°C 를 기준으로 하였을 때 계산된 결과를 나타낸 것이다. 다시 한번 요약해보면 높은 풍속, 낮은 공기 온도에서는 중량 감소에 도움이 되는 요소와 불리한 요소를 다 줄 수 있다. 즉 높은 확산계수는 나쁜 요인이지만 낮은 표면온도는 좋은 요인이 된다. 결과적으로 높은 풍속

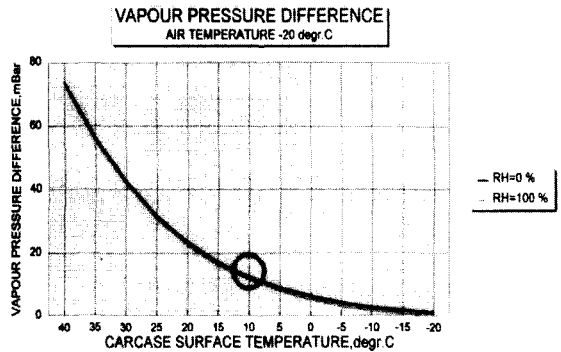
에서 낮은 공기 온도만이 낮은 중량감소를 달성할 수 있다.

또 다른 원인으로서 냉각실의 상대습도에 의한 영향을 생각해보자. 높은 상대 습도는 낮은 수증기 분압차를 유지하므로 중량감소를 줄일 수 있다. 그러기 위해서는 냉각기의 표면적은 가능하면 크게 설계해야 한다.

그림 5(a)에서 공기온도 0°C , 도체 표면온도 10°C 에서의 수증기 분압차가 상당히 큼을 알 수 있다. 그림 5(b)에서와 같이 똑같은 특성의 그래프를 볼 때 공기온도를 -20°C 로 한다면 수증기 분압차가 그리 크지 않다. 그러므로 낮은 공기 온도에서 운전한다면 냉각기 표면적의 크기는 그렇게 중



(a) 0°C 일때 수증기 분압차 비교

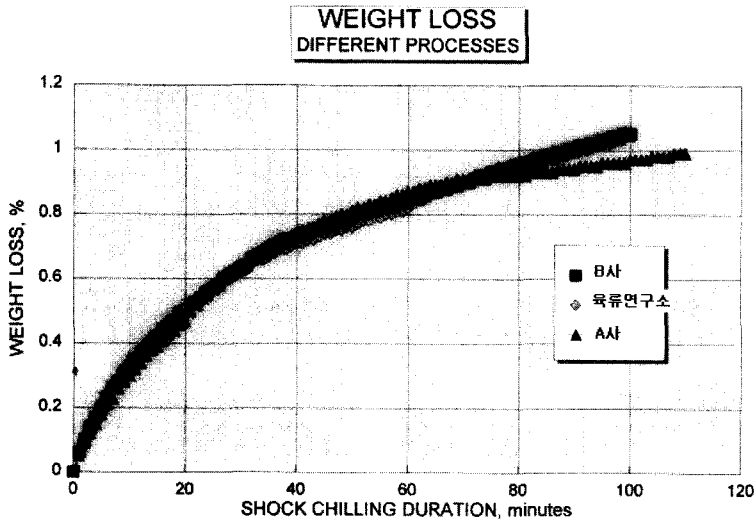


(b) -20°C 일때 수증기 분압차 비교

[그림 5] 온도에 따른 수증기 분압차 비교

<표 1> 각 사별 돈육의 Shock Chilling 과정

Name	Process time (min)	Process description		
		Section	Temp.($^{\circ}\text{C}$)	Velocity(m/s)
덴마크 육류연구소1	60	Air lock	Not specified -20	2.5~3
		Stage 1		
덴마크 육류연구소2	120	Air lock	-20	2
		Stage 1	-24	3
		Stage 2	-5	4
A사	115	Air lock	0	1
		Stage 1	-20	21
		Stage 2	-23	3.5
B사	100	Stage 3	0	3.5
		Air lock	Not cooled -20	2.5~3
		Stage 1		
Stage 2	-20	2.5~3		
		Stage 3	-20	1



[그림 6] 각 공정에 따른 중량감소

요하지 않게 된다.

다음은 돼지의 중량감소를 최소화하기 위한 각 사의 냉각 시스템에 관하여 소개토록 한다. 표 1에 각 사별 추천 냉각시간 및 온도 그리고 풍속을 나타내었다. 이 표에서는 각 사별로 shock chilling 시간을 60분에서 120분까지 유지하며 이 과정이 끝난 뒤에는 균질화실(+5℃)에서 15~18시간 균질화시키면 대략 냉각된 도체의 중심 온도가 +7℃ 이하로 된다.

그림 6은 각 사별 추천 냉각시간 및 온도 그리고 풍속에 따른 돈육의 중량감소를 보여주고 있다.

맺음말

위에서 본 바와 같이 유럽에서는 축산물 도축 후

냉각시스템부터 식육의 품질관리가 체계적으로 이루어지고 있음을 살펴보았다. 우리나라에서도 최근에는 먹거리의 품질에 대한 관심이 높아지면서 축산물의 품질에 대해서도 그 관심이 급격히 높아지고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 아직 체계적인 관리방법의 수립에 있어서는 부족한 면이 많다고 생각한다. 본 고에서는 도축 전후의 냉동냉장 기술에 대해서만 간략히 소개하였으나 앞으로는 축산물을 비롯하여 모든 농·축·수산물이 생산자에서 소비자까지 콜드체인 시스템의 도입 필요성이 꾸준히 제기되고 있는 바 앞으로 더욱 더 체계적인 품질관리가 조속히 이루어졌으면 하는 바람이다. (1)