

고기의 연도(Tenderness)에 대한 이해

○ 고기의 연도란?

고기의 연도는 고기를 두껍게 썰어 요리하는 스테이크나 덩이 형태로 익혀서 요리하는 로스팅 등으로 이용하는 서양 소비자들이 품질평가 시 가장 중요하게 고려하는 요인 중 하나이다. 특히 쇠고기나 양고기요리에서는 다른 고기요리에서보다 연도가 중요 시 되고 있다.

우리나라에서는 농경사회에서 중요한 농업동력원이었던 소를 어린 나이에 도축하는 것을 법으로 금지하고, 돼지도 농가부산물이나 남은 음식물로 사료 조건이 열악한 상태에서 사육하여 질긴 고기가 공급됨으로서 질긴 고기에 익숙하고, 이에 적합한 이용방법이 발전하여 옛날부터 고기는 씹는 맛이 있다하여 다소 질긴 소의 “쫄깃쫄깃”한 조직감을 좋아하는 소비자들이 많았다.

그러나 요사이에는 우리나라 소비자들도 소득수준의 향상에 따라 고기를 그 자체로 구워 이용하는 건열 요리가 보편화되고, 특히 완전히 익혀 먹기를 좋아하기 때문에 대부분의 소비자들이 익힌 후 연한 고기를 선호하고 있다.

고기의 연도를 대부분의 사람들이 고기의 조직감과 동일한 것으로 알고 있으나 입안에서 느껴지는 조리된 고기의 조직감은 고기를 저작(咀嚼)할 때 고기 자체의 연한 정도와 조리된 고기가 보유한 수분의 양에 따라 입안에서 느껴지는 촉촉한 느낌 즉 다즙성(多汁性)이 함께 작용하는 감각이다.

일반소비자들이 고기를 먹을 때 느끼는 연도는 일단 먼저 처음 고기를 씹을 때 치아가 고기를 관통하는 난이도, 그리고 입속에서 고기를 계속 씹을 때 고기가 분쇄되는 난이도, 고기를 다 씹고 난 후 삼키기 전에 입속에 남아 있는 잔류물의 양 등이 종합적으로 인식되어 평가되는 즉 먹어보고 입안에서 느끼게 되는 관능적 품질이다.

근육은 결합조직으로 감싸인 근섬유들이 평행으로 배열된 구조를 가진다. 따라서 고기의 연도는 근섬유와 결합조직의 화학적 조성이나 구조의 변이로 인하여 다양한 차이를 보이게 되기 때문에 이들은 유전적 요인들뿐만이 아니라 사육조건들에 의해서도 크게 차이가 나게 되는 것이다.

연도는 근섬유와 결합조직의 화학적 상태나 물리적 상태에 영향을 주는 다양한 요인들에 의하여 변화되므로 살아있는 동물 자체의 요인들 즉 도축 전

가축의 취급상태와 도축할 때의 조건들에 따라서도 달라진다. 그리고 가축의 도축 후에도 고기는 내부에서 지속적으로 끊임없이 생화학적인 변화를 계속하여 고기의 연도에 영향을 미치게 되기 때문에 도축 후 생산된 도체와 부분육으로 분할하여 상품화된 고기를 어떻게 처리, 취급하느냐에 따라 연한정도가 다른 고기를 얻을 수 있게 된다.

○ 생고기의 연도

도축 직후 즉 사후강직 전에 생고기 상태에서의 고기는 응집성과 탄력성이 좋아 씹힘성이 좋을 뿐만 아니라 이들로 인하여 사후강직 전에 육회로 이용하게 되면 먹을 때 입안에서 느껴지는 조직감이 우수한 쫄깃한 육질특성을 갖게 된다.

이러한 질적 특성을 최대한 살리기 위하여 날것인 상태로 이용하는 육회나 생선회와 같은 요리에서는 신선도가 가장 중요한 품질 요소가 되는 것이다.

사후강직이 시작되기 전 근육은 5.0kPa의 힘으로 당기면 휴식상태의 근육 길이의 20%까지 신장이 가능하다. 그러나 일단 사후에 강직이 시작되면 근육은 신전성을 잃어 힘을 50kPa로 증가시켜도 휴식상태 길이의 단지 2%정도만이 신장된다.

이것은 사후강직이 진행되면 근절의 길이가 짧아지고 근육이 수축되는 등 불가역적 변화뿐만 아니라 근육이 신정성을 잃게 되기 때문이다. 그러나 근절길이의 수축정도는 근육이 도체 내에서 어느 곳에 위치하느냐와 근육의 냉각온도와 냉각속도에 따라 차이가 크게 발생한다.

근육이 사후강직에 들어갈 때 물리적 상태가 어떠한 상태에 있는지에 따라서도 각 근육들이나 개별 근육 내에서도 위치에 따라서도 근육의 수축정도는 달라지는데 이는 각 근육들이 도체에서 어떻게 뼈에 부착 지지되고 있는지에 따라서 수축정도가 달라질 수밖에 없기 때문이며 또 위치에 따라 냉각 속도에 차이가 날 수밖에 없기 때문이다.

전통적인 아킬레스건에서 수직으로 도체가 걸려 있는 현수(懸垂) 방법에서는 우둔살(반막양근), 홍두깨살(반건양근), 설깃살(대퇴이두근), 등심살(배최장근)은 비교적 자유롭게 수축되어 근절의 길이가 2.0 μ m 이하이다. 반면 전사분체의 근육들, 어깨와 앞다리부위에서는 중력에 의해 신장된 상태에서 강

직에 들어가므로 근절의 길이가 2.3~3.1 μm 사이다. 안심(대요근, 소요근)은 완전히 신장된 상태에서 강직에 들어가므로 근절의 길이가 약 3.6 μm 이다.

근육의 단축이나 신장은 사후강직 시 인장강도에 의하여 크게 영향을 받는다. 일반적으로 신장된 상태에서 사후강직기간을 거친 근육은 단축된 상태의 것보다 가열하여 익힐 때 고기의 연도가 좋다는 것은 상식에 속한다. 그러나 수축된 근육의 결합조직망은 신장된 근육의 결합조직망 보다 신전성이 높으며, 가열 조리된 고기에서와는 달리 생고기에서의 전단력(연도)은 근절의 길이에 비례하여 수축된 고기가 연하다고 보고된다(표 1). 이러한 결과는 사후강직이나 냉각단축에 의하여 수축된 고기는 불에 굽거나 가열하여 익히게 되면 고기는 전단력이 더 높아지게 되어 연도가 떨어져 질긴 고기가 되는 상황과는 정반대이다.

표1. 근육 길이에 따른 강직 후 소 근육의 전단력(kPa)

처 리 내 용	심 흉 근 (차돌양지)	흉골하악근 (양지머리살)	반건 양근 (홍두깨살)	대 요 근 (안심살)
단 축 구(0.5) *	390	400	200	150
대 조 구(1.0) *	540	650	410	140
신 상 구(1.5) *	820	1,100	500	150

* 강직 전 휴식상태의 길이에 대한 상대적 길이.(김병철 등, 1998)

소의 근육(쇠고기의 생고기)에서 결합조직은 근원섬유보다 더 강하고, 근원섬유는 결합조직보다 더 유연하므로 생육의 연도에 결정적인 역할을 하는 것은 결합조직이다. 따라서 사후강직이나 냉각단축으로 수축된 근육은 단위면적당 더 적은 양의 결합조직을 가지고 더 많은 근원섬유로 이루어지기 때문에 전단력이 그만큼 낮은 것으로 해석된다.

그렇기 때문에 생고기 즉 육회로 이용되는 고기는 사후강직이 진행됨에 따라 점차 근육의 신전성이 줄어들어 쫄깃한 탄력성이 상실되고 조직이 물러져 생고기로서의 중요한 질적 특성을 점차 상실하게 되는 것이다.

사후강직이 완료된 후 근육은 다시 신전성이 다소 회복된다. 그러나 이 신전성 회복은 단백질 분해 효소가 근원섬유에 작용하여 야기됨으로 불가역적으로 일어난다.

숙성 중 근섬유의 길이는 다시 신장되어 일반적으로 20~40% 정도 회복되는데 회복 수준은 결합조직망의 비신전성에 의해 제한을 받는 것으로 알

려져 있다. 숙성 중 단백질 분해에 관여하는 효소는 두 종류가 있는데 하나는 동물 사후 초기에서부터 고기연화에 관여하는 칼페인(calpain)이고, 다른 하나는 사후강직이 완료되어 가는 후반부터 주로 관여하는 카텝신(cathepsin)이다.

숙성과정에 생고기의 인장강도나 신전성에 영향이 없는데 이것은 단백질 분해효소가 결합조직의 물리적 특성에는 아무런 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 그러나 소 근육 즉 쇠고기 근섬유 내막의 콜라겐이 숙성 중에 제한적으로 분해되고, 근주막이 1℃에서 14일간 숙성시켰을 때 인장강도가 다소나마 감소되는 알려지고 있다. 그 정도가 크지 않아 생고기의 연도에 영향이 적을 뿐이다.

요리하여 익힌 고기의 연도

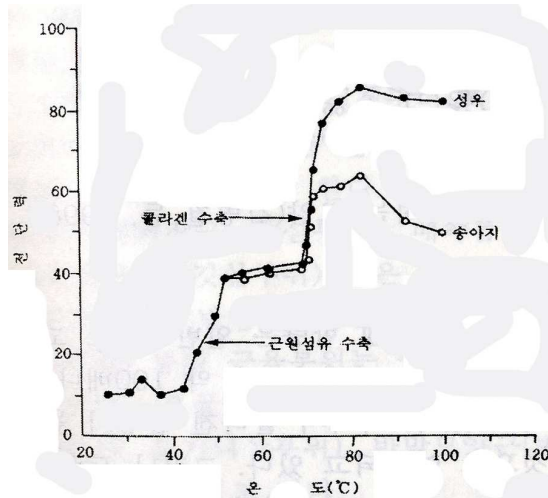
○ 고기의 가열 시 연도변화

지난달에는 고기의 연도에서 생고기의 연도에 대하여 개략적으로 살펴보았는데 이번 달에는 고기를 가열하였을 때 고기의 연도는 어떻게 변화되는지에 대하여 알아보려고 한다.

우리들이 고기를 육회로 먹지 않는 한 조리하여 먹게 되는데 이때 가열처리과정은 필수적인 과정일 수밖에 없다. 이러한 열처리과정에서 고기의 연도와 관련되어 어떤 변화가 발생하는지를 이해하는 것은 고기를 부드럽고 연하게 조리하여 즐길 수 있는 중요한 상식이 될 것이다.

고기의 요리 시 고기의 열처리는 콜라겐을 젤라틴화 하기 때문에 결합조직을 연하게 하는 반면, 근원섬유 단백질을 응고시킴으로써 고기를 질겨지게 한다. 이러한 결과는 가열처리 시간과 온도에 따라 영향을 받는데 가열시간은 결합조직을 연하게 하는데 중요하고, 가열처리온도는 근섬유 단백질의 수축에 관련되어 고기의 질겨짐에 중요한 역할을 한다. 따라서 고기를 이용할 때 결합조직이 많은 부위는 비교적 긴 시간동안 습열 처리방법(찜, 탕, 찌개, 조림요리 등)이 권장되고, 결합조직이 적은 부위는 짧은 시간동안 건열 처리하여 이용하는 방법(구이, 바비큐, 불고기요리 등)이 적합하다.

그림 1에서 보면 사후강직이 완료된 고기를 40℃까지 열처리하여도 근원섬유 단백질의 수축에는 영향을 미치지 않아 고기의 연도에 전혀 영향이 없었다.



그러나 가열온도를 40~50℃로 올리면 고기는 3~4배로 질겨진다. 이것은 액틴과 미오신 같은 근원섬유 단백질이 변성되어 응고·수축되므로 단단한 젤이 형성되기 때문이다. 이 온도에서는 액틴과 미오신 같은 근원섬유단백질은 근 섬유막 안에서 수축되지만 콜라겐으로 된 근 섬유막은 이 온도에서 영향을 받지 않는다.

그림1. 조리중 온도증가에 따른 전단력의 변화(김병철 등, 1998)

계속 열을 가하여 60~70℃ 정도로 열처리를 받으면 다시 고기가 약1배정도 질겨진다. 이것은 근주막의 콜라겐이라는 단백질이 약65℃에서 수축되어 길이가 1/4정도로 줄어들기 때문에 발생하는 결과이다. 더욱이 일단 응고되었던 근원섬유 단백질이 수축되어 고기의 질감의 정도를 더해준다. 이러한 결과들로 인하여 근원섬유 단백질의 수축으로 흘러나와 발생된 육즙(근장단백질과 수분)이 근주막 수축으로 인하여 근섬유 밖으로 강제로 누출된다. (그림 2)

우리들이 고기를 구울 때 철판(팬)이나 석쇠에 고기를 올려놓고 뒤집으려고 하면 고기가 철판이나 석쇠에 붙어서 잘 떨어지지 않는다. 그러나 일정한 시간이 지나면 쉽게 분리되는 것을 경험하게 되는데, 이것은 고기가 65℃ 이상으로 가열되어 고기 속의 육즙이 근섬유 밖으로 흘러나와 철판이나 석쇠에서 고기의 분리를 용이하도록 하여주는 역할을 하기 때문이다.

그리고 70℃ 이상으로 고기를 가열하여 조리하면 조리된 고기의 질감이 감소되어 고기의 연도가 개선되어지는 데 이러한 결과는 고기의 근섬유 막 조직의 주성분 단백질인 콜라겐의 펩타이드 결합이 절단되어 가용성으로 젤라틴화 하기 때문인 것으로 알려지고 있다.

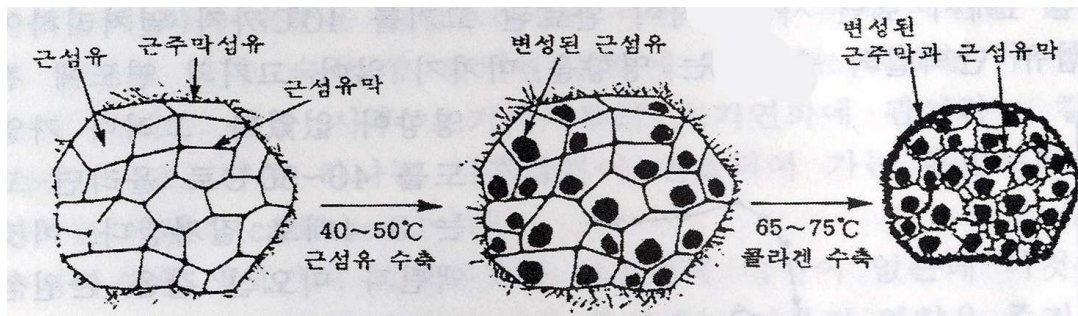


그림 2. 조리 가열 중 근육 성분이 수축하는 모양(김병철 등, 1998)

○ 콜라겐과 고기의 연도와의 관계

고기 막 조직의 주요 단백질 성분인 콜라겐 함량은 일반적으로 고기의 약 2%를 차지하지만 콜라겐은 근원섬유 단백질보다 약 100배나 강한 인장강도를 가진 것으로 알려지고 있다. 따라서 콜라겐 함량이 높은부위의 근육은 일반적으로 질긴 것으로 이해되고 있다. 그러나 도축후 사후강직 전 근육을 냉각할 때 현상을 방지하면 콜라겐 함량은 연도와 큰 상관관계가 없는 것으로 보고된다. 더욱이 콜라겐은 열에 의해 변성되므로 오랫동안 가열하는 조리방법에서는 콜라겐함량과 연도는 상관관계가 높지 않은 것으로 알려지고 있다 (그림3).

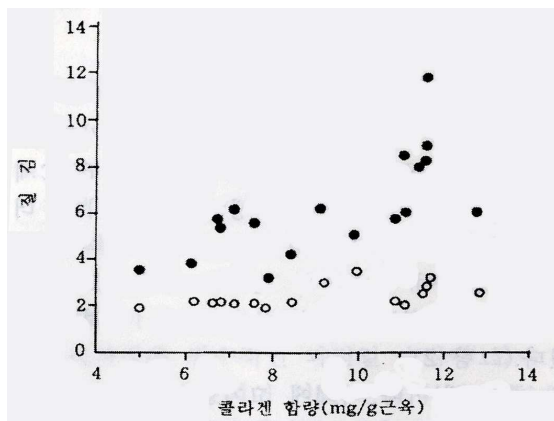


그림 3. 조리후 근육의 총 콜라겐 함량과 질감의 관계

●: 60°C, 20분 구움 ○: 90°C, 1시간조림(김병철 등, 1998) 따라서 근육단백질과 관련한 고기의 연도는 조리방법에 따라서 달라지기 때문에 결합조직 함량이 많고 적은 부위에 따라 요리방법을 달리하여야하는 것으로 알려지고 있다. 구이(팬, 석쇠구이, 바비큐 등)용이나 스테이크와 로스트용 고기에서 총 콜라겐 함량은 연도와 상당한 관계를 가지기 때문에 이와 같이 불에 굽는 요리에서는 콜라겐 함량이 낮은 부위를 이용하는 것이 좋다.

그러나 조림, 찜, 탕, 찌개 등과 같이 오랫동안 끓여 가열처리를 하는 요리

에서는 콜라겐함량과 고기의 연도와 관계가 크지 않기 때문에 이러한 요리는 결체조직의 함량이 높아 콜라겐함량이 높은 부위를 이용하여도 무방하다.

고기를 구이(팬이나 석쇠구이와 바비큐 등), 스테이크, 로스트 등의 요리에 이용할 경우 총 콜라겐 함량은 근육부위 간의 연도차이를 어느정도 예견할 수 있게 한다. 예를 들면 큰허리근(대요근, 안심부위), 등최장근(배최장근, 등심부위), 배쪽툽니근(복거근, 살치살부위), 중간둔부근(중둔근, 설깃살부위) 등 연한 근육부위, 대퇴두갈래근(대퇴이두근, 보섭살 부위) 반힘줄모양근(반건양근, 홍두께살부위), 깊은홍근(심홍근, 목심부위), 요골앞쪽발목펴짐근(요완신근, 앞사태부위), 대퇴네갈래근(대퇴사두근, 도가니살부위), 반막모양근(반막양근, 뒷사태부위) 등은 질긴 근육부위로 알려져 있다.

연한부위와 아주 질긴 부위의 근섬유와 근섬유다발의 직경을 조사하면 연한부위의 근섬유 직경이 더 가늘다. 그러나 고기 연도와 근섬유 직경은 직접적 관계를 보여주지 못하고 있다. 반면에 근육 조직의 막조직 단백질의 주성분인 콜라겐 용해도와 고기의 연도는 높은 상관관계가 있는 것으로 알려지고 있다.

동물은 성숙함 즉 나이를 먹게됨에 따라 총 콜라겐 함량은 증가하지 않지만 열에 약한 콜라겐 함량이 감소하고 열에 강한 콜라겐 함량이 증가함으로써 근육의 콜라겐 용해도는 동물의 나이가 증가함에 따라 감소하여 가열 시 발생하는 인장강도는 상당히 증가한다. 가용성 콜라겐 함량은 9주령 송아지에서는 총 콜라겐의 22%정도로 높지만 10개월령 거세우는 12%, 늙은 암소는 4%정도로 낮아진다.

성장률이 다른 동물은 콜라겐 함량과 콜라겐의 교차결합 함량에서 차이가 있는데 성장률이 빠르거나 급속히 비육된 가축에서는 새로이 합성되고 미성숙한 콜라겐의 함량이 높기 때문에 급속히 비육시킨 동물의 근육조직은 유연하고 탄력성이 떨어지게 되어 조직감이 떨어지지만 고기의 연도는 증가한다. 그러나 이러한 논리로 보면 거세한 소 보다 성장속도가 빠른 황소는 콜라겐이 덜 성숙되어 고기가 더 연할 것이지만 단백질 대사회전 속도가 느려 콜라겐이 성숙되게 됨으로서 황소가 거세수소보다 고기가 질긴 것으로 설명되고 있다. 성장촉진제는 가축의 성장 속도를 빠르게 하여 고기의 연도를 향상시킬 것이지만 성장촉진제인 β -agonist는 단백질 분해속도를 감소시켜 야기되는 대사회전의 감소로 콜라겐의 성숙을 허용함으로서 고기를 질겨지게 한다.

근육의 막 조직 구성에 중요한 단백질인 콜라겐은 단백질 분해효소에 매우 안정하지만, 콜라겐 섬유의 비 helix부분은 단백질 분해효소의 영향을 받을 수 있어 pH 5.5인 고기를 숙성할 때 고기 단백질 분해효소인 cathepsin에 의한 비 helix부분의 절단이 발생하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 숙성 후 근섬유의 세로 방향으로의 인장강도는 심히 저하숙성 중 단백질 분해효소에 의한 고기의 연화효과는 근섬유 막조직 단백질의 분해보다는 주로 근원섬유 단백질의 분해에 기인한다는 것을 보여주는 결과라 하겠다.

고기의 연도를 개선할 수 있는 고기의 연화방법

○ 고기의 숙성에 의한 연도의 증진

사후강직 상태의 고기는 보수성이 낮기 때문에 익히면 수분이 쉽게 유출·증발됨으로 건조하여 다즙성이 매우 낮고, 질기기 때문에 식욕이나 가공용으로 적당하지 못한 질이 낮은 고기가 된다. 따라서 질겨진 고기를 도체상태나 부분육으로 분할하여 얼지 않는 온도에서 저장(보관)하여 두면 사후강직이 완료된 후 근육이 차츰 풀려서 고기는 다시 부드러워지며, 신선성이 회복되고, 보수성(력)도 향상됨은 물론 풍미(맛)도 좋아진다. 이러한 냉장저장 중 고기의 변화를 고기의 숙성이라 한다. 따라서 부드럽고 풍미(맛)가 좋은 고기를 소비자들에게 공급하기 위하여 고기의 숙성은 가장 기본적인 방법이라 할 수 있다. 고기의 숙수하다고 이해하고 있는 점이라 할 수 있다.

고기를 연하게 하고, 풍미(맛)을 좋게 하는 숙성방법에는 저온숙성과 고온숙성이 있는데 사후강직 후 고기를 얼지 않는 낮은 온도에 저장하여 숙성시키는 저온숙성에 관해서는 이미 1950년대부터 연구가 진행되어 왔는데 숙성은 고기 자체에 있는 단백질 분해효소들에 의한 자가 소화의 결과로 연도가 개선되는 것으로 알려지고 있다. 숙성기간의 단축을 위한 고온숙성기술이 1970년대 후반이 되어 시도되었는데 도축 후(사후) 생산된 고기를 16℃ 이상의 높은 온도에 저장하면 저온단축을 방지하고, 근육 자체의 효소들에 의한 자가소화를 증진시켜 저온숙성에 비하여 신속한 숙성의 목적을 달성할 수 있다.

고기의 숙성은 고기자체의 효소작용에 의한 저장중의 고기의 변화로서 숙성조건의 설정은 온도관리와 관련된 기술이다. 표 2에서 볼 수 있는 축산과

학원(구 축산시험장)의 연구결과와 같이 온도가 높을수록 숙성은 신속히 진행되어 짧은 숙성기간으로 고기를 연하게 하는 목적을 달성할 수 있으나 도축과정이나 부분육 분할정형 과정에서 오염도가 높을 경우 미생물의 번식이 급속하게 진행되어 위생적 문제를 유발할 위험성이 크게 된다.

표 2. 숙성온도 조건에 따른 전단력(연도)의 변화(kg/0.5inch²)

숙성온도	숙 성 일 수			
	0	3	6	12
2℃	9.3	-	6.3	4.9
5℃	9.0	-	5.6	4.4
15℃	9.8	6.7	-	-

(농촌진흥청 축산과학원)

고기를 연하게 하기 위하여 아무리 낮은 온도에서 숙성을 하는 경우 일지라도 도축이나 부분육 분할정형 작업과정에서 위생적인 식육처리로 청결성을 유지하는 일은 기본적인 요구사항이다. 그리고 숙성기술은 도체상태나 부분육 상태로 실시할 경우 모두 포장상태에서 실시하는 것이 요구된다. 왜냐하면 무포장 상태에서 숙성을 실시하면 실내 오염된 공기에 의하여 미생물의 오염 및 오염된 미생물의 증식 우려가 있다.

숙성기간 중 감량은 표 3의 축산과학원(구 축산시험장)의 연구결과에서 볼 수 있는 바와 같이 무포장의 경우 감모율이 많아 경제적 손실이 크게 된다. 그리고 무포장 숙성의 경우 외부 건조에 의한 감모율에 의한 손실은 물론 고기표면의 변색에 의한 상품화과정에서 정형·제거되는 감모율을 고려하면 셀제로 손실은 더욱 크게 된다. 그러나 진공포장을 하여 숙성을 실시하면 감모율은 드립(Drip)으로 육즙유출에 의하여 발생하는 감모율 뿐으로써 상품화 시 감모율을 크게 줄일 수 있게 된다.

표 3. 숙성기간 중 포장유무에 따른 감모율 변화 (%)

포장방법	숙 성 기 간 (일)		
	2	6	12
무 포 장	2.3	3.5	9.9
진공포장	0.5	0.6	0.7

* 5℃ 쇠고기 부분육(등심) 상태로 숙성

(농촌진흥청 축산과학원)

최근에 식육의 숙성은 별도로 숙성을 실시하는 개념이 아닌 식육의 유통 과정에서 부분육 유통으로 콜드 체인(Cold chain)망을 구축 식육저장 온도를 0~-1℃ 즉, 얼지 않은 가장 낮은 온도에서 저장 및 수송을 이루어지도록

함으로서 자중적으로 숙성된 쇠고기가 소비자들에게 전달 될 수 있도록 하는 것이다.

고기의 숙성기간은 육축의 종류, 근육의 종류, 숙성온도 등에 따라 다르다. 일반적으로 쇠고기나 양고기의 경우 4~5℃에서 7~14일 정도의 숙성기간이 요구된다. 그러나 10℃에서는 4~5일, 15℃이상의 고온에서는 2~3일 정도가 대체로 요구된다. 돼지고기는 4℃에서 1~2일, 닭고기는 8~24시간이면 숙성이 완료된다.

○ 고기의 숙성 중 변화 내용

고기의 숙성중의 변화는 첫째로 근육 내 단백질 분해효소들에 의한 자가 소화현상으로 사후강직의 해제현상이라 할 수 있는데 이러한 결과는 표 2의 결과에서 보여준 바와 같이 쇠고기 연도 즉 전단력이 낮아지게 되는 것이다.

숙성 중 근육 내 단백질을 분해하는 효소는 크게 두 가지로서 카텝신과 칼슘활성효소(CAF)가 있는데 카텝신은 근육조직 내 단백질 가수분해 효소로 Cathepsin A, B, C, D, E 등이 있으며 Cathepsin D가 주요 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 그리고 카텝신은 라이소좀이라고 하는 작은 소포체에 있고, 낮은 수소이온농도(pH)에서 최대 활력을 가지며 근원섬유 단백질에 대해 작용하여 근원섬유 단백질을 분해시킬 수 있다.

이러한 결과들은 전기영동결과로도 확인되는데 그림 4의 결과와 같이 숙성 중 기존 고기 단백질의 밀도는 감소하고 동시에 저분자의 새로운 단백질 밴드가 나타난다.

칼슘 활성효소(CAF)는 높은 농도의 칼슘이온과 중성(pH7.0)의 조건에서 최대의 활력을 가지며 주로 근질의 Z-선을 분해시키는데 고온숙성 시 이들 효소들의 작용은 숙성초기에는 높은 pH에서 활력이 좋은 칼슘활성효소가 조절 단백질에 작용하여 분해시키고 사후 시간이 경과함에 따라 pH가 낮아져 카텝신이 미오신과 액틴의 구조단백질 및 Z-선을 분해시켜(그림 5) 고기의 연도를 증가시킴으로서 연한고기가 되는 것으로 설명하고 있다.

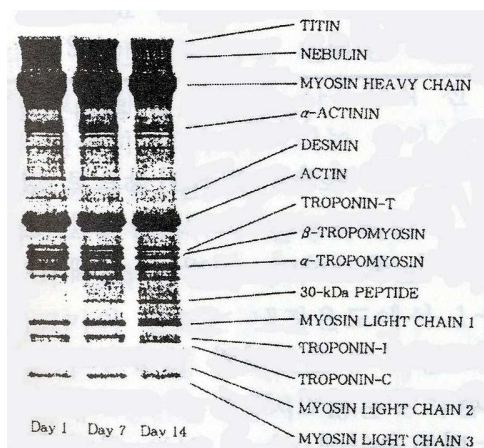


그림 4. 숙성 중 근원섬유 단백질의 변화(김병철 등, 1998)



그림 5. 14일 숙성한 쇠고기의 Z-선 소편화.(김병철 등, 1998)

고기의 숙성 중에 맛(풍미)의 변화는 주로 근육중의 Nucleotide의 변화에 의한 것으로 알려지고 있는데 근육의 에너지원인 ATP가 분해되는 과정에서 생성되는 IMP도 시간이 지나면 무미의 이노신으로 변하며 이노신은 또 쓴맛을 내는 하이포 키산틴으로 변화한다.

숙성 중에 또 하나의 변화는 고기 중 펩타이드의 분해에 의한 유리아미노산 함량이 증가됨으로서 숙성 중 유리되어 나오는 아미노산은 고기 풍미(맛)의 향상에 기여하게 된다.

마지막으로 고기 숙성 중에 변화로 보수성의 변화를 들 수 있는데 보수성은 최대 강직기 즉 고기의 수소이온농도(pH)가 극한 산성에 이르면 가장 낮아지고 최대 강직기가 지난 후 시간이 경과함에 따라 고기의 수소이온농도(pH)가 서서히 높아지고 따라서 고기의 보수성도 서서히 증가하게 된다. 그리고 보수성이 증가되면서 가열 조리된 고기의 다즙성도 좋아지게 된다.(표 4)

표 4. 숙성전과 숙성후의 쇠고기 관능검사 결과 (단위 : 점/6점)

구 분	도축직후	사후강직 후 (도축 후 1일)	숙성 후 (도축 후 12일)
연 도	4.7	2.9	5.0
풍 미(맛)	4.6	3.6	4.8
다 즙 성	4.8	3.8	4.2

* 숙성온도 : 2℃

(농촌진흥청 축산과학원)

고기의 연도증진을 주목적으로 하는 숙성과정을 필요이상으로 장기간 시

실하게 되면 근육 중에 존재하는 미생물의 번식으로 단백질 분해가 과도하게 일어나고 수소이온농도(pH)가 증가하며, 지방이 산패되어 식육으로서의 가치가 크게 낮아진다.

이러한 점이 국내산 식육을 최적조건에서 숙성시켜 냉장육으로 신속하게 소비자들에게 유통시킬 수 있는 콜드체인 망을 구축한다면 국내생산 식육이 수입육에 대하여 질적 비교우위에 설수 있는 최대의 강점이 될 수 있을 것이다.

왜냐하면 수입육은 냉장육이나 냉동육 모두 수입되는 물류과정에서 최소한 1~2개월 이상의 유통기간이 소요될 수밖에 없어 건강과 관련된 바람직하지 못한 변화(지방산화와 단백질변성)를 완전히 배제한다는 것은 이론적으로 불가능한 것이며, 또한 생산에서 소비자들에게 이르는 과정에 여러 단계의 취급과정을 거칠 수밖에 없는데 이들 모든 과정에서 모두 완전무결한 식육처리 여건을 기대하기가 매우 어려운 것이 현실이기 때문에 더욱 그렇다.

○ 고기의 연도와 관련된 부정적 요소들의 극복

지난 3개월 동안 살펴본 생고기와 익힌 고기의 연도와 도축 후 생산된 고기를 연하게 하는 방법들에 대한 이해는 고기를 연하고 맛있게 먹기 위하여 매우 중요한 내용들이다. 고기의 연도는 익힌 후 기계적으로 측정하거나 관능적으로 시식 즉 먹어보고 평가한다.

고기의 연도에서 도축 직후로 사후강직 전 상태에 있는 고기는 시료 준비 즉 가열방법에 따라 연한 정도에 많은 차이를 가져오게 되는데, 사후강직 전 근육을 신속히 가열하면 해당작용(glycolysis)이 신속히 진행되지만 해당작용이 미쳐 모두 완료되지는 못하여 근육의 최종 pH가 높게 유지된다. 따라서 연한 고기가 생산된다.

반면에 사후강직 전의 고기를 약한 불에 서서히 가열하면 익힌 고기의 가열과정에 근육의 해당작용이 충분히 이루어져 근육의 수축이 충분히 발생하고 최종 pH는 사후강직 완료 후에 익힌 고기와 비슷해진다. 따라서 완만하게 가열 완료된 사후강직 전 고기는 심하게 수축되어 대단히 질겨지기 때문에 사후강직 전 고기는 심하게 수축되어 대열에 신속히 굽거나 익히는 것이 요구된다.

사후강직이 완료된 호의 고기는 이러한 가열 조건들의 영향이 없이 도축

후 숙성기간이 진행되어감에 따라 고기 자체의 효소작용에 의하여 고기의 연화가 진행되어 고기는 연한 고기로 변화된다.

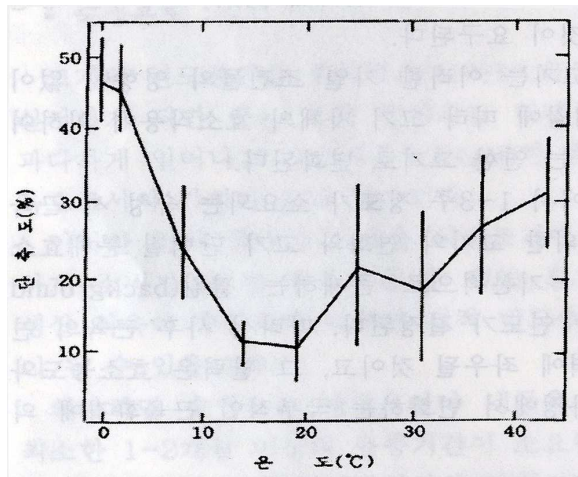
쇠고기의 연도는 냉장온도에서 1~3주 정도가 소요되는 숙성 시 근육 내 고기 단백질 분해효소에 의한 고기의 연화와 고기 단백질 분해효소에 의해 영향을 받지 않는 ‘기본적으로 존재하는 질감(background toughness)’이 종합되어 최종 연도가 결정된다. 따라서 사후 근육의 연화는 단백질 분해효소의 활력에 좌우될 것이고, 그 활력은 효소농도와 근육에서 고기로 전환되는 과정에서 변화하는 국부적인 근육환경에 의해 영향을 받는 것이다.

정상적인 소 도체 냉각상태에서 연화는 초기의 짧은 지체단계 후 신속히 증가되다가 나중에는 서서히 증가된다. 초기 24시간 전에 약50%의 연화가 이루어지는 것으로 보고된다.

▶ 사후강직 · 고온단축 · 냉각단축

도축 후 사후강직이 일어나지 않은 고기는 부드럽고, 신전성이 좋으며, 보수성이 높아 생고기나 익힌 고기로 이용하기에 매우 우수한 질적 특성을 가지고 있다. 그러나 그 기간은 매우 짧아 쇠고기는 약 12시간정도이며 돼지고기는 수 시간에 지나지 않기 때문에 가축을 도축하여 생산되는 고기 모두를 곧바로 소비자들에게 공급하여 이용하게 하는 일은 현실적으로 결의 불가능에 가까운 것이 현실이다. 따라서 가축을 도축하여 부분육으로 가공하고, 진열(소매)상품화 시켜, 유통시키는 과정에서 식육의 물류에 소요되는 일정한 기간동안 저장과 안정성 확보를 위하여 냉장하는 일은 필연적인 과정이다. 이러한 과정에서 도축 후 고기에 잔존하는 에너지를 이용하여 발생하는 사후강직과 도축 후 높은 고기의 온도 그리고 위생적 안전성을 확보를 위한 고기의 냉각에 의한 근육의 단축(수축)에 의하여 고기가 질겨지는 현상이 발생한다.

사후강직이 진행되는 동안의 근육온도는 근육의 단축정도에 영향을 미친다(그림 6. 참조). 도축 후 생산된 근육의 온도가 25℃ 이상으로 높으면 근육의 단축(수축)의 정도가 커져 고기가 질겨지는 “고온단축”현상이 일어난다. 사후강직의 진행 중 고온에서는 고기의 단백질 분해 효소인 calpain이 활성화되어 단백질 분해속도가 증가하고 연화 속도도 높아진다. 그러나 고온에서 고기의 단백질 분해효소인 칼페인(Calpain)은 활성화 되지만 효소의 불활성화는 단백질 분해속도보다 더 빨리 진행된다. 따라서 연화시간이 짧고 신속하게 끝나버려 더 이상 숙성은 진행되지 않기 때문에 질긴 고기가 생산



된다.

고온단축에 의한 질긴 고기생산은 도체를 서서히 냉각시키면 더욱 악화되어 질긴 고기를 만들 것이지만 약 20℃정도까지 신속하게 도체를 냉각하면 칼페인(Calpain)의 신속한 불활성화를 지연시켜 궁극적으로 생산된 고기의 연도를 향상시킬 것이다.

그림 6. 도축 후 보존온도가 근육의 단축(수축)에 미치는 영향 (김병철)

도축 후 사후강직 전 고기(근육)는 pH가 6.2 이상으로 높고 온도가 10℃ 이하의 상태가 지속되면 근육의 수축이 증가되어 고기가 질겨지는 “저온단축(수축)” 현상이 일어난다.

낮은 온도에서는 육단백질 분해효소인 칼페인(Calpain)의 단백질 분해력이 낮아 고기의 연화가 거의 이루어지지 않기 때문에 질긴 고기가 생산된다. 결국 근육의 수축정도는 도축 후 고기(도체)의 냉각속도와 사후강직 진행 속도에 따라 좌우된다.

따라서 도축 후 생산된 도체는 약15℃까지 가능한 한 빠른 속도로 냉각시키고, 그 이후 사후강직이 완료될 때까지 15℃를 유지하는 것이 연도를 위해서는 가장 바람직할 것이다. 그러나 근육이 수축 전 길이의 40%이상으로 단축되면 오히려 고기는 연해진다(그림 7 참조). 이것은 근원섬유 조직이 과도한 수축으로 서로 충돌하여 파괴되기 때문에 발생하는 현상으로 해석된다.

고온에서의 도체 전기자극을 수행하거나 PSE상태같이 고온에서의 신속한 강직직행은 초기에는 연한고기를 생산하지만 저장 후에는 정상적인 조건에서 생산된 고기보다 질긴 고기가 얻어진다.

전기 자극은 강직 진행을 촉진시킨다. 사후강직이 일찍 진행되면 단백질분해효소인 칼페인(Calpain)이 활성화되어 연화가 일찍 일어난다.

그러나 높은 온도에서의 칼페인의 활성화는 고온단축에서 살펴본 바와 같이 비전기자극 근육에서보다 질긴 고기를 생산한다.

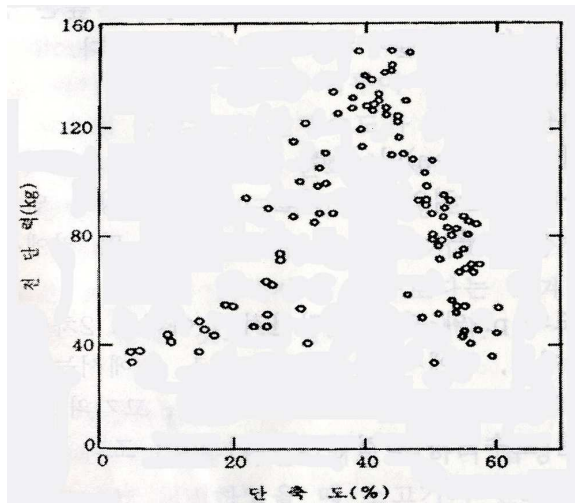


그림 7. 저온단축의 정도와 고기 연도의 관계
(전단력 ; 낮은 수치가 연함, 김병철 등, 1998)

이러한 것을 방지하기 위하여 전기자극 후 신속한 도체의 냉각으로 강직이 진행되는 동안 온도를 15℃로 유지시키는 것이 바람직하다.

이것은 전기자극 된 도체는 가속된 강직 진행에 맞춰 비전기자극 도체보다 신속히 쇠고기의 경우도 5일정도면 충분히 숙성된다. 따라서 사후강직 진행속도가 빠른 닭, 칠면조, 혹은 돼지에서는 질긴 고기를 생산할 위험이 많아 전기자극을 사용하는 데에 어려움이 예상된다.

단백질분해효소인 칼페인의 활력은 pH가 중성에 가까울수록 높으므로 암적색(DFD)육같이 최종 pH가 높은 고기는 연화 속도가 높을 것으로 예상되지만 이러한 고기들은 숙성 중 전혀 연도가 개선되지 않는다. 이것은 생육에서는 pH 6.0에서 최대 연화가 일어나지만 냉각속도가 높으면 연화가 일어나는 최대 pH가 낮아지기 때문에 최종 pH가 높은 상태에서는 칼페인의 불활성화가 신속히 일어나는 것으로 추측된다.

▶ 고기의 최종 pH

도살 전 근육 내 글리코겐(Glycogen)이 여러 가지 이유로 고갈되면 사후 근육의 최종 pH는 높아져 극단적인 경우에는 pH 6.2이상의 암적색(DFD)육을 생산한다. 이러한 높은 pH는 소, 들소, 토끼 및 양에서 연한고기를 생산한다.

그러나 소와 돼지에서 연도와 pH의 관계는 직선적이 아니고 2차식으로, 돼지에서는 pH 5.7~6.0에서 양에서는 pH 5.6~6.1, 소에서는 pH 5.8~6.1에서 가장 질긴 고기가 생산되는 것으로 보고되어, 고기의 연도는 단백질의

등전점과 관련된 보수력과 밀접한 관계가 있어 조리 중 수분손실과 비례하는 것으로 해석된다.

따라서 고기를 매리네이트(marinate)에 담그어 pH를 4.0~4.5로 낮추어도 연도가 향상되는 것을 볼 수 있다.

지금까지 살펴본 내용들은 도축 후 사후변화의 내용들이 고기의 연도에 어떻게 영향을 미쳐 고기의 품질에 영향을 미치는 것이며, 어떻게 하면 연한 고기를 만들어 즐길 수 있는지를 개략적으로 살펴본 것이다. 그러나 고기의 연도는 고기의 사후변화와만 관련된 것이 아니고 음과 같은 도축 전 요인들에 의해서도 영향을 받는다.

○ 고기의 연도에 영향을 미치는 도축 전 요인

동물이 가지고 있는 고기 단백질 분해효소 양의 차이는 다른 조건이 모두 동일하다면 근육에서 연화정도와 숙성에 영향을 미침으로서 최종적으로 고기 연도의 차이를 결정한다.

고기 단백질 분해효소인 칼페인(Calpain)의 함량은 동물이 성장하는 동안 변화되고, 고기 속에 그 함량의 최종수준은 도축 시에 고정된다.

고기의 연도는 고기 단백질 분해효소의 영향뿐만 아니라 근육의 다른 성분들에 의해서도 영향을 받고 또 그 다른 성분들도 동물성장 중 변하기 때문에 고기의 연도는 보다 복잡하고 다양한 요인에 의하여 결정되는 것이지만 한 가지 원인에 의해서만 영향을 받는 것은 아니다.

▶ 품 종

근육의 사후강직 진행속도는 동물의 종류마다 다르다. 소고기나 양고기는 돼지고기보다 더 질기며, 닭고기보다는 더욱 질기다.

같은 소에서 bos indicus는 지방도를 제외하면 bos taurus와 비슷한 근육 조성을 가지지만 근육은 bos taurus보다 질기다. 이것은 bos indicus는 단백질 분해효소 억제효소가 오랫동안 활력을 가지므로 숙성을 시키는 동안 연화가 이루어지지 않기 때문인 것으로 보고되고 있다.

식육의 사후강직 진행속도가 빠르면 단백질 분해효소의 활성화 속도가 증가하여 고기를 연화시키는 속도도 증가한다. 따라서 동물종류나 품종에 따라 사후 근육의 수축정도나 속도의 차이를 가지게 된다.

이러한 원인으로 하여 돼지에서도 품종 간에 연도의 차이가 있는 것으로

보고되며 닭에서는 품종보다는 도계 중 스트레스나 도계 방법이 영향이 더 큰 것으로 알려지고 있다.

▶ 성장촉진제

가축의 성장을 촉진시키기 위하여 합성 스테로이드계통의 성장촉진제를 소에게 처리하였을 때 소고기의 연도에 거의 영향을 미치지 않으나, 근육조직의 발달을 촉진시키고 지방조직의 발달을 억제시키는 β -agonist를 소, 양 및 돼지에 처리했을 때 고기의 연도가 감소되었다고 보고된다.

이것은 β -agonist가 μ calpain의 수준을 감소시키고 m calpain과 calpastatin 수준은 증가시키기 때문인데, μ calpain 수준의 감소가 주된 연화 정도의 감소원인으로서 질긴 소고기를 생산케 하는 것으로 알려지고 있다. 그리고 β -agonist를 처리하여 생산된 쇠고기에 칼슘 이온의 첨가는 증가된 m calpain의 활성화로 μ calpain 수준의 감소에 의한 연도감소를 보상할 수 있게 한다.

▶ 근육조성

근육은 부위별로 단백질 분해효소의 수준이 다양하다. 더욱이 단백질 분해효소의 수준이 동일한 근육일지라도 근육 속에 단백질 분해효소에 의해 영향을 받지 않는 성분의 함량이 다르기 때문에 연도가 서로 다를 수밖에 없다.

예를 들면, 근섬유 막 조직의 주성분인 콜라겐단백질은 단백질 분해 효소인 칼페인(calpain)에 의해 분해되지 않는 성분이다.

▶ 도살방법

닭에서는 전기기적이 연도를 개선시킨다. 그러나 고압전기를 사용하거나 기절시간이 길어지면 생산된 닭고기의 연도는 오히려 나빠진다. 그리고 도계(닭의 도살) 전에 닭에 스트레스를 가하면 생산된 닭고기는 연도가 감소된다.

닭이나 칠면조는 푸드덕거리지 않게(날뛰지 않게) 안정된 조건에서 도살하면 가슴육의 연도가 개선된다. 탈우를 위한 탕침 온도가 높거나 탕침 시간이 길거나 혹은 기계 탈우를 하면 고기는 질겨진다.

이러한 결과는 모두 사후강직 진행속도에 영향을 미침으로서 나타나는 결

과인데 사후강직기간이 짧은 동물에 더 크게 발생하는 것이다.