

신개념 도체 냉각 기술: 방혈 직후 도체의 심혈관계 혈관 세정이 식육의 품질 및 식품 안전성에 미치는 영향

Vascular Rinsing and Chilling Carcasses Improves Meat Quality and Food Safety

황고은*, James R. Claus (Ko Eun Hwang*, James R. Claus)

위스콘신대학교 축산학과

Department of Animal Sciences, University of Wisconsin–Madison

1. Rinse & Chill® Technology: An Innovative Way for Meat Carcasses to Be Chilled

식육산업에 있어서 혁신기술로 주목받는 Rinse & Chill® Technology (RCT)는 MPSC, Inc (Hudson, Wisconsin, United States)가 창안한 사후 도체의 심혈관계 혈관 세정 (vascular rinsing) 기술로, 위생적으로 안전한 식육을 생산할 수 있을 뿐만 아니라, 품질 (육색, 관능적 특성) 향상에도 기여할 수 있는 신개념의 도체 냉각 방법이다.

본 기술은 다음과 같이 설명할 수 있다. 동물의 도축과정에 있어서 방혈 직후 MPSC가 자체적으로 고안한 카테터 (catheter)¹⁾를 소의 경동맥에 삽입 한다 (그림 1). 이 카테터를 통해 사전에 냉각된 등장성 용액 (isotonic solution)이 가축의 생체중 기준으로 약 10%가 주입되며, 이 용액이 도체의 심혈관계

그림 1. 방혈 직후 경동맥에 삽입된 카테터를 통해 심혈관계 혈관으로 RCT 용액이 주입



1) 관모양기구의 일반적 명칭의 하나. 용도에 따라 다양한 재질, 크기, 형태의 것이 있다. 용도는 체강이나 각종 기관 내의 저류물의 배출, 세정용 관류액의 흡인, 약물이나 조영제의 체내 주입 등이 있다 (출처-생명과학대사전).

*Corresponding author: Ko Eun Hwang
University of Wisconsin-Madison, Meat Science and Muscle Biology Laboratory,
Department of Animal Sciences, Madison, WI 53706, USA
Tel: +1-608-556-5770
Fax: +1-608-265-3110
Email: khwang8@wisc.edu

(cardiovascular system) 혈관을 통과함에 따라 체내에 잔류하고 있는 혈액을 체외로 배출시키는 역할을 한다. 이 과정은 축종의 크기와 무게에 따라 상이한데, 소의 경우 평균 3~4분, 양의 경우 약 15초 정도 소요된다. 그 후에 도체의 정동맥으로부터 카테터가 제거되며, 일반적으로 상업화된 도축공정을 거치게 된다.

이 기술의 핵심 강점은 가축의 방혈 직후 사전에 냉각된 RCT 용액을 심혈관계 혈관을 통해 주입함으로써 도체의 심부온도를 신속하게 감소시킴에 따라 효과적인 냉각공정을 성취할 수 있다는 점이다. 더불어, 방혈과정에서 미처 제거되지 못하고 체내에 잔류하고 있는 혈액을 추가적으로 제거함으로써 미생물의 성장과 증식을 지연시킬 수 있다. 혈액은 대장균이나 살모넬라균과 같은 병원성 미생물의 전파에 가장 좋은 매개체로서, 방혈작업 시 혈액 중에 오염된 세균은 혈류를 타고, 도체 전신에 퍼지게 될 위험성 또한 존재하기 때문이다. 따라서 RCT 적용을 통해 체내에 잔류하고 있는 혈액을 효과적으로 제거하고, 신속한 도체의 냉각과 사후 pH 저하 속도를 최적화함으로써 식육의 품질개선 및 안전성 향상에 기여할 수 있다 (그림 2).

도체의 심혈관계 혈관 세정 기술은 식육가공산업 (쇠고기, 양고기)의 성장뿐만 아니라, 수익 창출에도 기여할 수 있을 만큼 충분히 성숙되었으며, 엄격한 위생

관리기준 (SSOP: Sanitation Standard Operating Procedures)과 위해요소중점관리기준 (HACCP: Hazard Analysis Critical Control Point)을 철저히 준수함에 따라, 2020년 현재 23개 공장이 5개국 (호주, 캐나다, 일본, 뉴질랜드, 미국)에서 운영되고 있다. 또한 이 기술과 관련하여 어떠한 식품 안전성 문제도 보고되지 않았다.

2. Rinse & Chill® Technology Associated with the Rinse Solution

RCT 용액은 약 98.5%의 물과 1.5%의 덱스트로스 (dextrose), 말토스 (maltose), 인산염 (phosphates)의 혼합물로 구성되어 있다. 용액에 첨가되는 당류 (saccharides)는 근육 대사에 필요한 에너지원인 포도당 (glucose)의 급원이 되며, 근육에 다양한 형태로 존재하는 인산 또한 근육 수축을 위한 에너지 생산에 활용된다. 이 용액의 제조 원리는 그림 3과 같은 가설들을 기반으로 한다.

RCT 용액에 첨가되는 모든 성분들은 미국 식품의약품안전청 (FDA, Food and Drug Administration)으로부터 승인을 받았으며, 일반적으로 안전하다고 인정되는 GRAS (Generalized Recognized As Safe, 안전성 인

그림 2. Rinse & Chill® Technology의 기술적 이점

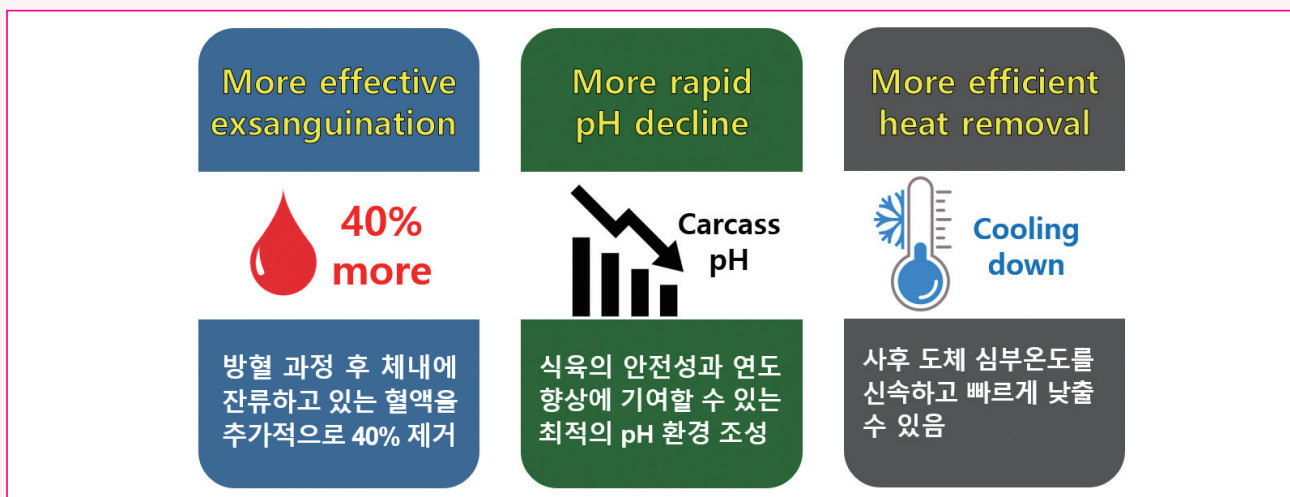
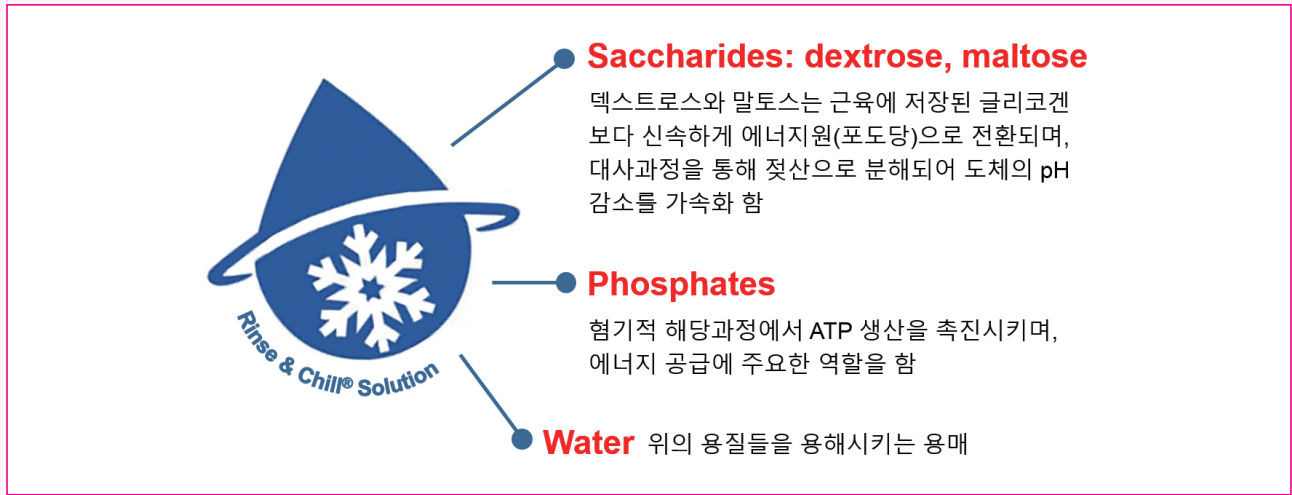


그림 3. Rinse & Chill® Technology 용액의 구성 성분과 기능



정 물질 제도에 등재되어 있는 식품첨가물 (food grade ingredients)이다. 또한 이 성분들은 기질 (substrates)로 분류되어 있는데, 이는 완전히 대사되어 검출 가능한 어떠한 잔류물질도 남기지 않음을 의미한다.

RCT 용액에 첨가되는 모든 원재료들은 주기적인 검사를 통해 안전성을 검증하며, 이들을 용해시키는 물 또한 여과공정 통해 의도치 않은 교차오염의 위험성을 사전에 차단한다. 이와 같은 사전 준비가 끝나면 RCT 용액은 사용 당일에 맞춰 여과공정과 자외선 살균공정을 거쳐 위생적으로 제조된다. 즉, 여러 과정의 까다로운 안전관리를 통해 물리화학적 및 미생물학적 위험 요소들을 완화하며, 주기적인 제자리 세정 (CIP, cleaning-in-place)과 철저한 위생관리기준 (SSOP) 준수를 통해 위험 요소를 추가적으로 경감시킬 수 있다.

발생 가능성은 희박하지만 RCT 공정을 운영하는데 있어 기계적인 결함이 발견되었을 경우, 전체 공정을 실시간으로 감시하고 제어하는 Programmable Logic Controller가 문제가 발생한 기계로부터 피드백을 받아 오류에 대한 경고를 나타내거나 작동을 정지시키는 등의 적절한 솔루션을 가동시킨다. 또한 다음과 같은 일련의 과정들이 (SSOP, 여과처리, UV 살균 및 공정 관리 등) 상호 보완적으로 작동됨에 따라 오염된 RCT 용액이 기계로 주입될 위험성을 현격히 완화시킨다. 더불어,

RCT 용액 자체가 가지는 항균효과로 인해 안전성 확보에도 만전을 기할 수 있다. 따라서, RCT 공정에서 발생될 수 있는 교차오염은 사전에 방지될 수 있으며, 더 나아가 최종 제품의 안전성 향상 및 전체적인 RCT 시스템의 안전성 (sanitary integrity) 추구에도 기여할 수 있다.

RCT 공정은 도축장 내에 위치한 자동 공정 제어 시스템에 의해 가축 개체별로 생체중이 측정된 후 혈관 세정에 필요한 RCT 용액의 양이 계산된다. 이 때 카테터의 주입 및 제거를 위해 사용되는 장비들과 작업자들은 HACCP 규정에 따라 엄격한 위생 절차를 준수하며, 모든 작업장에는 고도의 훈련을 통해 전문성이 검증된 RCT 기술자가 항시 상주하고 있다. 이들은 RCT의 전 과정을 감시하며, 정기적인 자체 모니터링을 통해 RCT 기술이 최고 수준의 안전성과 완전성을 달성하였는지 확인한다.

RCT 시설은 연속적인 작업이 가능하도록 설계되었으며, 도축 두수 등의 상황에 따라 탄력적으로 공정을 조절할 수 있다. 예를 들어 소의 경우 시간 당 최대 200두, 양의 경우 시간 당 780두까지 처리가 가능하나, 일반적으로 쇠고기 가공장의 경우 8시간 동안 대략 200~1,200두 정도, 양고기 가공장의 경우 2,000~6,000 두 정도의 처리가 이루어진다.

2.1. Validation Testing of Potential Residues in Meat Associated with the Rinse Solution

RCT 용액 성분이 도체 내에 잔류하지 않음을 입증하기 위하여 2000년 미네소타 대학교에서는 RCT 적용 여부가 식육 내 텍스트로스 (포도당)와 인산의 함량에 미치는 영향에 관하여 분석하였다. 본 연구에서는 소 216두 (대조구와 RCT 처리구 각각 108두)에서 채취된 배최장근을 시료로 사용하였으며, 고성능액체크로마토그래피 (HPLC)를 통하여 위의 두 물질을 정량하였다.

텍스트로스의 경우, 대조구 (non-rinsed)와 처리구 (RCT-processed)의 어떠한 시료에서도 검출되지 않았으며, 추가 검증을 위하여 대조구와 RCT 처리구의 시험용액을 5배 농축하여 분석한 결과에서도 텍스트로스는 불검출되었다. 텍스트로스가 검출된 양성 대조구와는 달리 두 처리구 모두 검출 가능한 포도당이 측정되지 않았는데, 이는 텍스트로스의 함량이 검출한계 미만의 저농도로 존재하기 때문이라고 설명하였다. 즉, 사후 (post-mortem) 초기에 포도당은 혐기적 해당과정을 통해 빠르게 젖산 (lactic acid), 이산화탄소 (CO_2), 물 (H_2O)로 대사되므로 본 연구에 사용된 모든 시료에서 불검출된 것으로 보여진다.

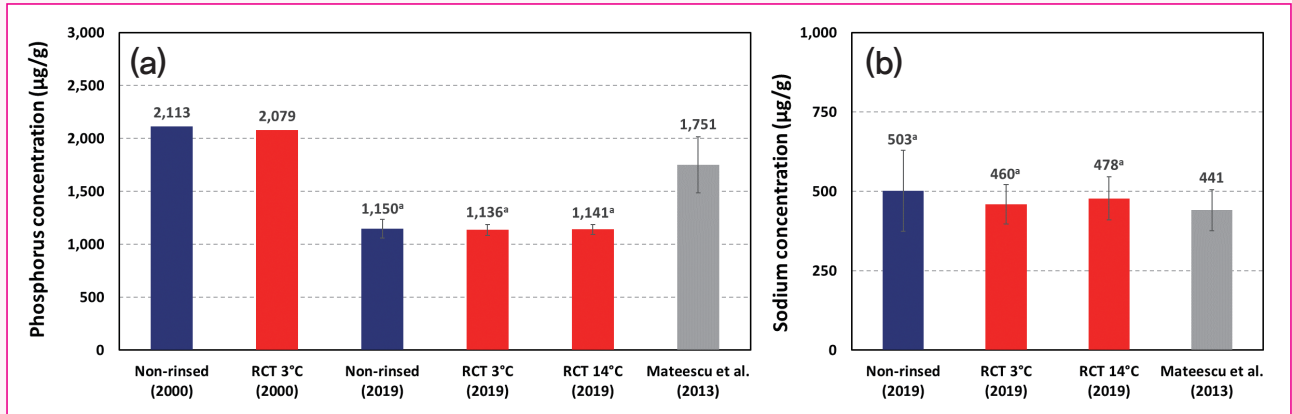
인 (phosphorus)의 경우 대조구에서 2,113 ppm, RCT 처리구에서 2,079 ppm이 측정되었으며, 인산염 (phosphate)의 함량은 대조구에서 6,466 ppm, RCT 처리구에서 6,362 ppm으로 나타냄에 따라 두 처리구 사이에서 유의적 차이를 보이지 않았다 (그림 4a). 더불어, 인 함량에 있어서 두 시료 간의 표준편차는 $34 \mu\text{g/g}$ 으로 나타났는데, Mateescu et al. (2013)에 의하면 아이오와주에서 사육된 거세우 (Iowa steer beef, $n = 309$)와 암소 (Iowa cow beef, $n = 231$)의 배최장근에서 인 함량을 분석하였을 때 표준편차는 각각 $249 \mu\text{g/g}$ 과 $278 \mu\text{g/g}$ 이라고 하였다. 이는 생물 개체간에 나타나는 특성의 차이(normal biological variability) 등을 고려하였을 때 대조구 (non-rinsed)와 처리구 (RCT-

processed) 사이에서 유의적 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 인과 인산염의 함량에서 있어서 통계적으로 유의한 차이는 없었지만, RCT 처리구가 대조구보다 낮은 수치를 보이는 경향을 나타냈다.

심혈관계 혈관 세정과 RCT 용액의 주입 온도 (chilling temperatures)가 유우 (젖소, cull dairy cows)의 육질특성에 미치는 영향에 대한 연구가 최근에 실시되었다. 본 연구에는 Lean 등급의 유우가 사용되었으며, 통상적인 냉각 공정을 거친 12두의 대조구 (non-rinsed)와 28두의 RCT 처리구가 준비되었다. RCT 적용을 위하여 유우는 방혈 직후 가축의 생체중 기준으로 약 10%의 RCT 용액이 주입되었다 (RCT3: RCT 용액 온도 3°C , $n = 13$; RCT14: RCT 용액 온도 14°C , $n = 15$). 인산 (phosphorus), 나트륨 (sodium), 글루코스 (glucose) 함량 분석을 위해 배최장근이 채취되었으며, 인산과 나트륨의 경우 독립 연구기관인 데이벨 연구소 (Deibel Laboratories, Chicago, IL, USA)에서 유도결합플라즈마 분광분석기 (ICP-OES)를 사용하여 공인된 시험방법 (AOAC 982.14 Modified)으로 분석하였다. 글루코스 함량은 위스콘신 매디슨 대학교에서 Kunst et al. (1984)의 Hexokinase 분석법을 적용한 Glucose assay kit (GAHK-20; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 이용하여 실시하였다.

미네소타 대학교에서 실시한 선행연구의 결과에서도 알 수 있듯이 3°C 로 냉각된 RCT 용액을 소 도체의 심혈관계 혈관에 주입하였을 때 인의 함량은 대조구 (non-rinsed)와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 더불어, 14°C 로 냉각된 RCT 용액을 유우 도체에 적용하였을 경우에도 인의 함량에 있어서 대조구 (non-rinsed)와 차이를 보이지 않았다 (그림 4a). Mateescu et al. (2013)에 의하면 통상적인 냉각공정을 거친 앵거스 암소 (Iowa Angus cow beef)와 거세우 (Iowa Angus steer beef)의 배최장근 내 인의 함량은 각각 $1,742 \mu\text{g/g}$ 과 $1,759 \mu\text{g/g}$ 으로 보고함에 따라 본 연구와 유사한 수치를 나타내었다. 나트륨의 함량 또한 마찬가지로 대조구와 RCT 처리구 간의 차이를 보이지 않았는데,

그림 4. RCT 적용 (RCT3, RCT 용액 온도 3°C; RCT14, RCT 용액 온도 14°C)에 따른 쇠고기 배최장근의 잔류 인산과 나트륨 함량 (평균 ± 표준편차)



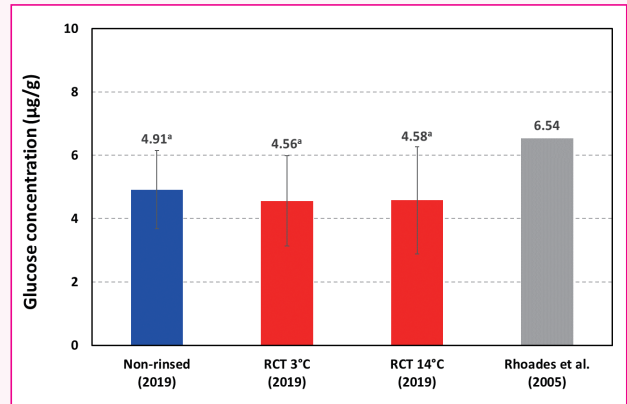
^a 동일한 머리글자는 2019년 연구에서 대조구와 RCT 처리구들의 배최장근에서 인과 나트륨의 함량에 유의적인 차이가 없음을 의미 (P>0.05, 표준오차: 인산, 19.81; 나트륨, 27.14). Mateescu et al. (2013)의 결과는 통상적인 냉각공정을 거친 앵거스 암소와 거세우에 있어서 인과 나트륨 함량의 평균 값을 나타내었음.

Mateescu et al. (2013)가 앵거스 암소와 거세우의 배최장근에서 측정한 나트륨의 함량과 매우 유사한 값을 나타냈다 (그림 4b).

유우의 배최장근에서 측정된 잔류 글루코스 함량의 경우, 대조구 (non-rinsed)에서 4.91 µg/g, RCT3에서 4.56 µg/g, RCT14에서 4.58 µg/g으로, 대조구와 두 처리구들 사이에서 유의미한 차이를 보이지 않았다 (P>0.05, 그림 5). 이는 통상적인 냉각공정을 거친 쇠고기의 *M. Sternocephalicus pars mandibularis* (n = 10)를 도축 4일 후에 글루코스 함량을 분석하였을 때 6.54 µg/g 으로 보고한 Rhoades et al. (2005)의 선행 연구와 비슷한 수치의 경향을 나타냈다.

기존의 선행연구와 최근에 실시한 연구 결과를 종합해 보았을 때, RCT 용액의 성분들은 식육에 잔류하지 않음을 확인할 수 있다. 이는 도체의 사후 초기에 RCT가 적용될 때의 근육은 생리학적으로 활성화된 상태로, 포도당과 같은 에너지를 공급하였을 경우 근육 내에서 대사되며, 인산 또한 일반적으로 근육의 물질 대사에 소비되기 때문이다. 따라서 방혈을 촉진하는 용도로 사용되는 미량의 성분들이 포함된 RCT 용액이 완벽하게 체외로 배출되지 않더라도 근육에 의해 즉시 대사될 수 있음을 확인할 수 있다. 더불어, 나트륨의 경우 근육의 물질대사에 이용되지 않으므로 대조구와 RCT 처리구

그림 5. RCT 적용 (RCT3, RCT 용액 온도 3°C; RCT14, RCT 용액 온도 14°C)에 따른 쇠고기 배최장근의 잔류 글루코스 함량 (평균 ± 표준편차)



^a 동일한 머리글자는 2019년 연구에서 대조구와 RCT 처리구들의 배최장근에서 글루코스의 함량에 유의적인 차이가 없음을 의미 (P>0.05, 표준오차: 0.39). Rhoades et al. (2005)의 결과는 통상적인 냉각공정을 거친 소 도체에 있어서 글루코스 함량의 평균값을 나타내었음.

사이의 나트륨 함량에 있어서 유의적 차이를 보이지 않은 것은 적절한 결과로 보여진다.

3. How Rinse & Chill® Technology Works: Major Advancements

RCT는 미국에서 20년 넘게 시범 운영을 통해 축적한 기술적 노하우, 유수의 대학들과의 지속적인 산학 연구, 다양한 가축 유형 (쇠고기, 들소, 돼지고기, 양고

기, 염소)에 따른 상업적 적용 사례들을 기반으로 철저히 검증되었으며, 기술의 안전성 또한 충분히 입증되었다. 더불어, MPSC는 미시간 주립 대학교 (Michigan State University), 미네소타 대학교 (University of Minnesota), 캔자스 주립 대학교 (Kansas State University), 사우스 다코타 주립 대학교 (South Dakota State University), 위스콘신 매디슨 대학교 (University of Wisconsin-Madison)와의 산학협력을

을 통해 다수의 연구 성과를 세계 유명 학술지에 발표해 오고 있다. 위스콘신 매디슨 대학교의 Jim Claus 박사는 호주산 양고기의 RTC 적용 가능성을 타진하기 위해 Centre for Red Meat and Sheep Development 소속의 David Hopkins 박사와 그의 그룹 (Fowler et al., 2017), 멜버른 대학교 (University of Melbourne)의 Robyn Warner 박사와 함께 협력 연구를 수행한 사례도 있다. 표 1은 심혈관계 혈관 세정이 도체의 사후 대

표 1. 도체의 심혈관계 혈관 세정이 식육의 물리적, 화학적, 관능적 품질 특성에 미치는 영향

축종	근육/부위*	효과	참고문헌
유우 (Dairy cows)	SS, LL, ST	<ul style="list-style-type: none"> • 전단력 (toughness) 37% 감소 • 단백질 용해성 증가 <ul style="list-style-type: none"> □ 대조구: 42.0% □ RCT: 43.5% 	Farouk et al., 1992
양 (Lamb)	LL, IS	<ul style="list-style-type: none"> • 사후 초기 3시간 동안 도체의 심부 온도를 낮춤 <ul style="list-style-type: none"> □ 대조구: 39.7°C (0 h) → 23.1°C (3 h) □ RCT: 36.6°C (0 h) → 21.7°C (3 h) • 해당과정 완료: 대조구 (12~24 h), RCT (6 h) 	Farouk & Price, 1994
거세우 (Steer)	LL, ST, QF	<ul style="list-style-type: none"> • 4% 높은 도체율 (dressing percentage) • 도축 후 24시간 이내 빠른 pH 저하 	Dikeman et al., 2003
거세우 (Steer)	LL, OSM, ISM, PM	<ul style="list-style-type: none"> • 사후 초기 4시간 이내 빠른 pH 저하 • 밝은 선홍색의 육색을 나타냄 (LL, OSM) 	Hunt et al., 2003
양 (Lamb)	LL	<ul style="list-style-type: none"> • 전단력 50% 감소 • 높은 명도 (CIE L*)와 황색도 (CIE b*)를 나타냄 	Fowler et al, 2017
양 (Lamb)	LL, SM	<ul style="list-style-type: none"> • 전기자극 (electrical stimulation)과 RCT를 병용 처리하였을 때 전기자극만 실시한 도체 보다 저온단축이 5% 감소 • 사후 초기 5시간 동안 낮은 pH 값을 나타냄 	Mickelson et al., 2018
유우 (Lean dairy cows)	LL, SM	<ul style="list-style-type: none"> • 2.7% 높은 도체율 • 대조구와 수분 및 지방 함량을 비교해 보았을 때 유의적인 차이를 나타내지 않음 • 저장 7일까지 높은 적색도 (CIE a*)와 디옥시마이오글로빈 (DMb) 함량, 낮은 메트마이오글로빈 (MMb) 함량을 나타냄 <ul style="list-style-type: none"> □ 대조구: CIE a*, 13.1; DMb 1.12; MMb, 1.11 □ RCT: CIE a*, 15.8; DMb, 1.29; MMb, 0.94 • RCT 도체에서 일반세균수 57% 감소 	Moreira et al., 2018
소 (Cows)	LL	<ul style="list-style-type: none"> • 전단력 20% 감소 	Hite et al., 2019
돼지 (Market hogs)	LL, TB	<ul style="list-style-type: none"> • 사후 초기 4시간 동안 낮은 pH 값을 나타냄 • 유의적으로 높은 적색도와 DMb 함량, 낮은 MMb 함량을 나타냄 • Moisture fat free (MFF basis, 지방 제외 수분 함량), 보수력, 포장 감량 (purge), 가열 감량 (cook loss) 측정 결과를 기반하였을 때, RCT가 시료의 수분 함량에 영향을 주지 않았음 	Kethavath et al., 2019
유우 ²⁾ (Lean dairy cows, LE), (Light dairy cows, LI)	LL	<ul style="list-style-type: none"> • Lean dairy cows에서 전단력 56% 감소 • Light dairy cows에서 전단력 52% 감소 • 대조구와 비교하였을 때 근질길이가 길게 측정 <ul style="list-style-type: none"> □ 대조구: LE 1.44 µm; LI 1.40 µm □ RCT: LE, 1.80 µm; LI, 1.80 µm 	Moreira et al., 2019
들소 (Bison)	LL, TB	<ul style="list-style-type: none"> • 전단력 24% 감소 • 진공 포장된 분쇄육에서 저장 4일까지 높은 적색도 (CIE a*) 값과 디옥시마이오글로빈 (DMb) 함량을 나타냄 	Mickelson & Claus, 2020

* IS - *Infraspinatus*, ISM - *Inside Semimembranosus*, LL - *Longissimus thoracis et lumborum*, OSM - *Outside Semimembranosus*, PM - *Psoas major*, QF - *Quadriceps femoris*, SM - *Semimembranosus*, SS - *Supraspinatus*, ST - *Semitendinosus*, TB - *Triceps brachii*.

사과정 및 식육의 품질 (연도, 관능적 특성, 색)에 미치는 영향에 대한 선행연구들을 요약한 것이다.

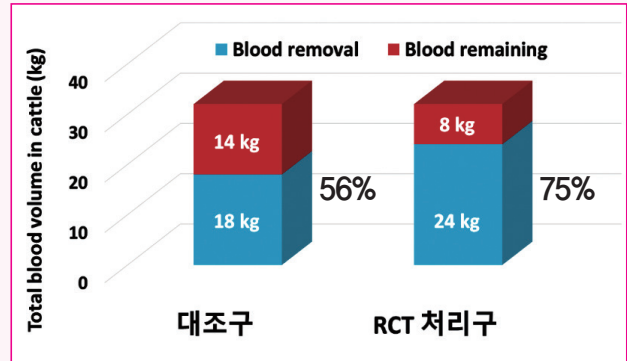
3.1. Blood Removal, Color, Flavor

혈액은 도축공정에서 얻어지는 첫 번째 부산물로 방혈 방법을 개선한다고 하여도 절반 정도는 체내에 잔류한다고 알려져 있으며, 소의 경우 방혈량은 생체중의 약 3.0~3.6%에 (450 kg 생체중을 기준으로 약 13~16 kg의 혈액이 제거) 해당된다. 앞에서 설명했듯이 체내에 남아 있는 잔류 혈액은 미생물의 생육 및 증식에 이상적인 매개체이므로, 도축 과정에서 가능한 한 많은 혈액을 도체에서 제거하는 것이 중요하다.

MPSC가 자체적으로 실시한 연구에 따르면, 454 kg의 소의 경우 생체중의 7%에 해당하는 약 32 kg의 혈액이 존재하며, 통상적인 방혈 과정을 거친 대조구의 혈액 제거량은 약 18 kg으로, 14 kg은 체내에 잔류할 것이라고 예측하였다. 더불어, RCT 처리구의 경우 대조구와 비교하였을 때 5.6 kg의 혈액이 추가적으로 제거됨에 따라, 8 kg의 혈액이 잔류하고 있을 것이라고 하였다 (그림 6). 따라서 제거된 혈액의 양은 대조구의 경우 전체 혈액량 대비 약 56% (18 kg)이었으며, RCT 처리구는 약 75% (24 kg) 였다. 이와 같은 결과는 RCT 적용이 약 40%의 잔류 혈액을 추가적으로 제거할 수 있다는 것을 의미한다.

기존 선행 연구들을 종합해 보았을 때, RCT가 육색의 안정성에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (그림 7, 8). 표 1에 제시되어 있듯이 RCT의 적용은 쇠고기 (분쇄육, 스테이크)에서 높은 적색도 (CIE a*, redness) 값과 디옥시미오글로빈 (DMb,

그림 6. RCT적용에 따른 방혈의 효율성 비교



deoxymyoglobin) 함량을 나타내었으며, RCT 적용에 따른 일반적인 육색의 변화는 명도 (CIE L*, lightness) 값이 증가한다는 점이다. 위스콘신 매디슨 대학교에서 실시한 예비 연구 결과에 따르면, RCT는 산소 소비 능력 (oxygen consumption)이 더 높은 식육을 생산하며, 이는 진공 포장육의 육색을 개선하는데 유용할 것이라고 전망하였다.

더불어, RCT 적용이 식육의 산화를 촉진시키고, 관능적 풍미에 부정적인 영향을 미치는 헤모글로빈과 비헴철 (non-heme)의 양을 감소시켰으며, RCT 스테이크 (Semitendinous)에서 유의적으로 낮은 Cardboard flavor³⁾와, 분쇄육에서는 높은 Beef flavor identity와 낮은 Soapy/Chemical flavor를 나타내었다고 보고하였다 (Yancy et al., 2002).

3.2. Chilling Rate, Optimum pH, Tenderness

도축 시 도체는 도축열로 인해 온도가 상승하게 되고, 미생물의 오염에 취약해진다. 따라서 도축 과정에서 발

2) 미국 유우의 경우 신체총실지수 (BCS: body condition score)에 따라 Breakers, Boners, Lean, Light으로 분류 (Peel & Doye, 2012). Breakers (BCS 4 또는 그 이상), Boners (BCS 2.75~3.5), Lean (BCS 1.5~2.5), Light (BCS 1~1.5).
 3) American Meat Science Association에서 식육의 조리, 관능평가, 조직감 측정을 위해 제시한 가이드 라인에 명시된 관능평가 맛 지표.
 · Cardboard flavor: aromatics commonly associated with oxidized fat and oils.
 · Beef flavor identity: amount of beef flavor identity in the sample.
 · Soapy flavor: an aromatic commonly found in unscented hand soap.
 · Chemical flavor: aromatic associated with garden hose, hot Teflon pan, plastic packaging and petroleum-based products such as charcoal lighter fluid.

그림 7. RCT 적용이 소도체의 육색에 미치는 영향 (대조구 - 좌측, RCT 처리구 -우측)

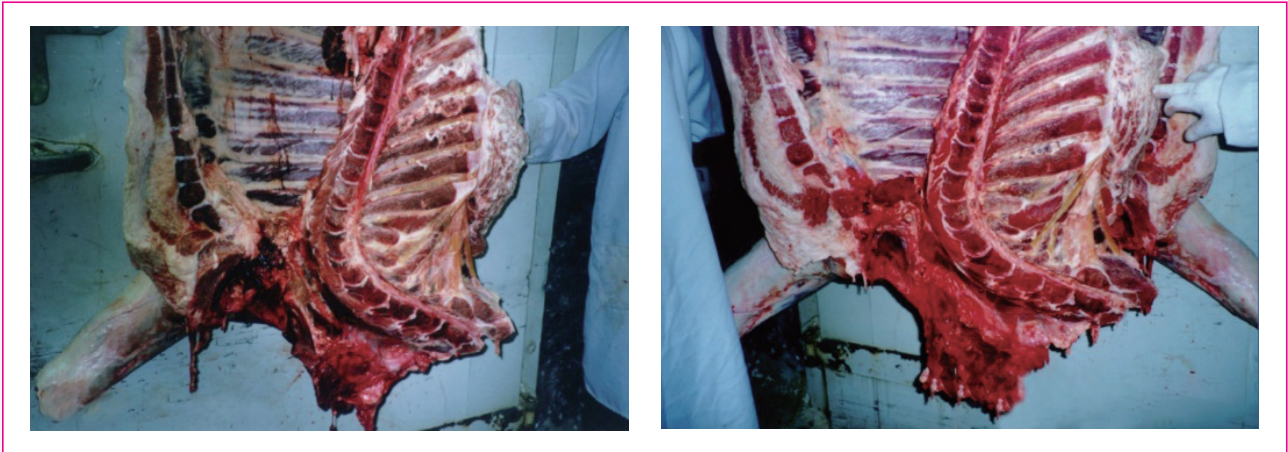
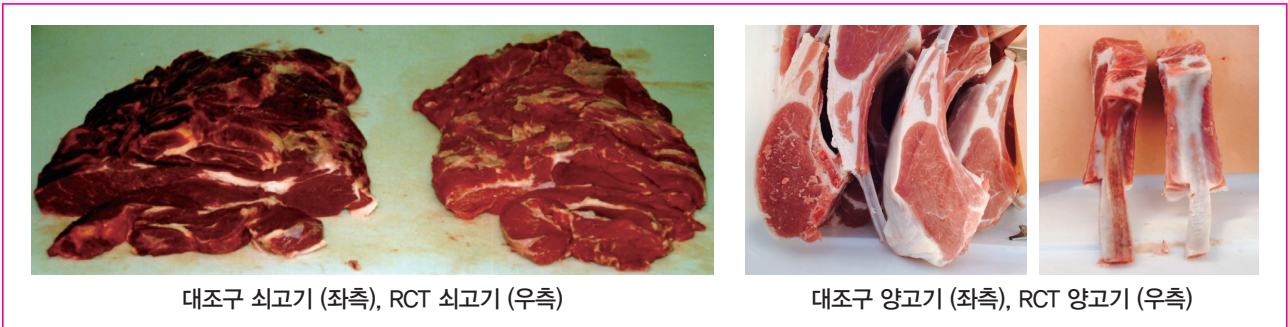


그림 8. RCT 적용이 쇠고기와 양고기의 육색에 미치는 영향



생될 수 있는 오염을 최소화하고, 미생물의 증식을 억제하기 위해서는 적절한 냉각 공정이 요구된다. 우리나라 축산물위생관리법에 의하면 도축장에서 반출되는 식육의 심부온도는 10℃ 이하로 냉각하여야 한다고 규정하고 있다. 소의 경우 도살 후 28~36시간 경에는 도체의 심부온도가 10℃ 이하로, 48시간 경까지는 5℃ 이하가 되도록 권장하고 있다. 미국의 경우, 도체의 냉각과 관련하여 법적 규정은 없지만, 소 도체는 분할 전 또는 도축장으로부터 반출되기 전까지 심부온도가 7℃가 되도록 냉각하는 것을 권장하고 있다. 앞에서 설명한 것처럼, 효과적인 냉각은 미생물의 증식을 지연시키는데 중요하기 때문이다. 현재의 도체 냉각 기술에 기반하였을 때 소형 가축의 경우 16~24시간 내에, 대형 가축의 경우 48시간 이내에 심부온도가 7℃에 도달할 수 있다고 알려져 있다. 이는 선행연구에서도 확인할 수 있는데,

쇠고기 이분도체, 돼지 및 양 도체의 심부온도를 7℃까지 낮추려면 최소 24시간, 16시간, 10시간이 각각 소요된다고 하였다 (Brown et al., 2009).

RCT의 경우, 사전에 냉각된 등장성 용액을 심혈관계 혈관 내부로 신속하게 확산시킴에 따라 도체의 심부온도를 약 5℃ 정도 효과적으로 감소시킬 수 있다. 기존 연구에 따르면 RCT 적용은 도체의 심부온도가 20℃가 되는데 필요한 시간을 2.6시간에서 1.3시간으로 단축시켰으며, 이는 의미있는 진전이라고 설명하였다 (Brown et al., 2009). 또한 도축 3시간 후 도체의 온도를 대조구와 비교하였을 때 약 2℃ 정도 낮았으며, pH 감소 속도 또한 증가하였다고 보고하였다 (Farouk & Price, 1994).

2019년에 MPSC가 자체적으로 실시한 연구에 따르면, RCT를 적용한 쇠고기 도체의 심부온도는 대조구보다 유의적으로 빠르게 감소했다고 설명하였다. 더불어,

도체를 18시간 정도 냉각한 후 심부온도를 비교해 보았을 때 RCT 처리구가 대조구보다 8.8℃ 정도 더 낮았다고 하였다 (그림 9).

도체의 사후 심혈관계 혈관 세정은 해당과정에도 영향을 줄 수 있다고 알려져 있는데, 이에 수반하여 pH 감소 속도에도 영향을 미친다. 양고기 적용 실험 결과에 의하면 (Parouk & Price, 1994), 대조구의 경우 12~24시간 사이에 해당과정이 완료되었으며, RCT 처리구의 경우 6시간으로 단축되었다고 하였다. 더불어, RCT 용액으로 심혈관계 혈관 세정된 소의 경우 사후 24시간 동안, 돼지의 경우 사후 4시간 전까지 유의적으로 빠른 pH 감소를 나타낸 것을 확인하였다 (그림 10).

pH는 사후 해당속도와 정도를 측정하는 지표로 이용

되는데, RCT 적용에 따른 사후 pH 감소 속도가 빨라지는 것은 등장성 용액에 첨가되는 성분들이 해당과정의 효소반응에 영향을 주는 것으로 보여진다. 다시 한번 더 언급하자면, 인산은 혐기적 해당과정을 촉진하는 역할을 수행하며, 당류 (덱스트로스, 말토스)는 포도당과 같이 근육 대사에 필요한 기본적인 에너지원이 되어 혐기적 해당과정 하에서 젖산의 형성을 이끌 수 있다. 따라서, RCT 용액 내 성분들은 도체의 사후 초기에 있어서 명확한 pH 감소 및 해당과정의 속도를 제어할 수 있는 가능성이 있다.

미시간 주립 대학교에서 고기의 연도를 측정하는 전단력 (Warner-Bratzler shear force)을 실험한 결과 (Farouk et al., 1992), RCT 처리구가 유의적으로 더

그림 9. RCT 적용에 따른 쇠고기 도체의 심부온도 변화: (a) 개별 도체, (b) 평균값

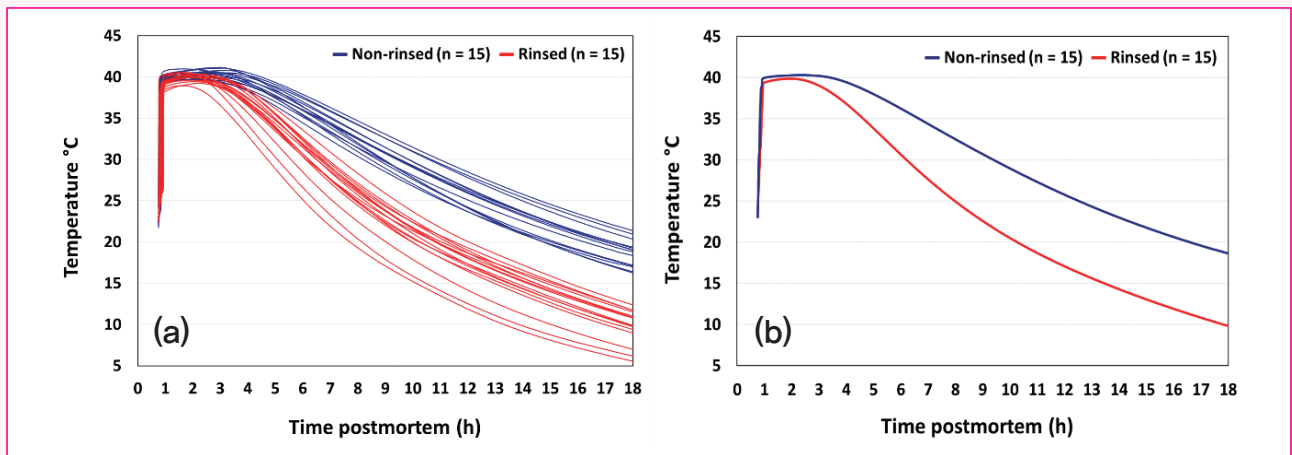
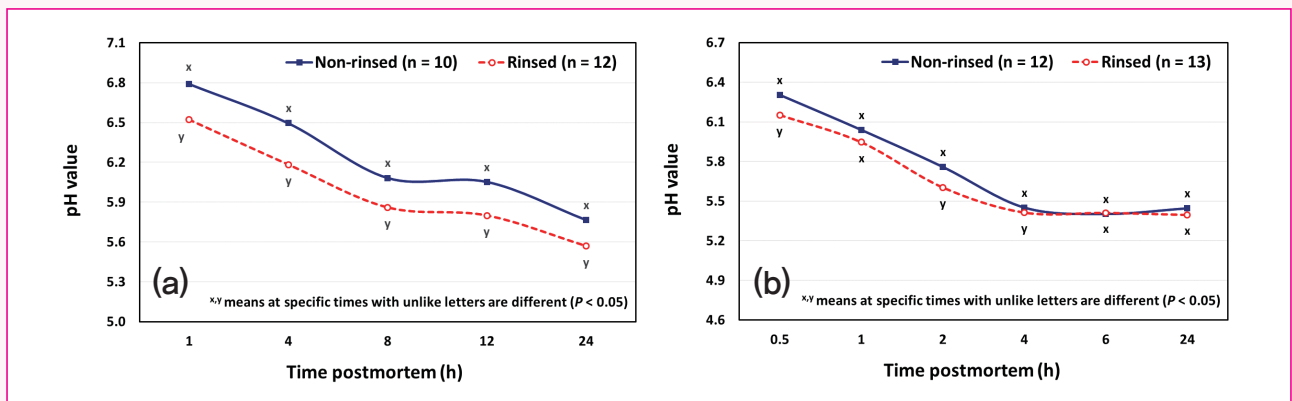


그림 10. RCT 적용 도체의 사후 pH 감소 속도 비교: (a) 소, (b) 돼지 (Kethavath et al., 2019).



부드러웠으며, 프라임 (Prime) 등급의 쇠고기 경우 연도가 더 증진되었다고 설명하였다. 특히, RCT는 단기간 내에 연도를 개선시킬 수 있는 것으로 관찰되었는데, 14일 숙성시킨 쇠고기 스테이크의 경우 대조구보다 훨씬 더 부드러웠으며, 숙성 28일 차에는 대조구와 RCT 처리구 모두 연도가 증진되었지만, 대조구의 경우 14일 숙성된 RCT 처리구보다 덜 부드러웠다고 하였다.

심혈관계 혈관 세정을 통한 연도의 증진 기작은 다음과 같이 설명할 수 있다. RCT 용액은 단백질 가수분해 (proteolytic activity) 과정을 촉진하는데 기여할 수 있으며, 생체중의 10%에 해당되는 용액이 주입될 때 발생하는 압력에 의해 근육의 구조가 약화된다. 또한, 용액 내의 인산은 액토미오신 (actomyosin)의 용해에 영향을 줄 수 있으므로, 이러한 복합적인 상호작용들에 의해 식육의 연도가 개선되어지는 것으로 판단된다. 더불어, 상기의 연도 증진 효과는 식육의 보수력 (water holding capacity)과 단백질 용해성에 있어 어떠한 부정적인 작용을 나타내지 않았다고 하였다. 최근 들어 RCT 적용이 식육의 연도를 개선시켰다는 다수의 결과들이 보고되고 있는데, 양에서 34% (Fowler et al., 2017), 유우에서 54% (Moreira et al., 2019), 소에서 20% (Hite et al., 2019), 들소에서 24% (Mickelson & Claus, 2020)의 전단력을 감소시켰다.

도축 후 도체의 온도와 사후 pH 감소와 관련하여 기존 학설과 상반되는 흥미로운 연구 결과가 있다. 도축 후 도체 온도가 높을수록 사후 해당작용의 속도가 가속화 됨에 따라 pH가 급격히 감소된다. 그 결과, 식육의 보수력은 저하되고 단백질 변성으로 인해 바람직하지 못한 육색이 나타나는데, 이러한 품질 결함은 소에서도 발생되지만 주로 돼지에서 가장 현저하게 나타난다. 반면에, 도체의 pH가 높은 상태에서 도체의 온도가 15°C 이하로 급격하게 냉각될 경우 근섬유의 강한 수축 현상인 저온단축 (cold shortening)이 발생할 수 있다. 흥미로운 사실은 사전에 냉각된 RCT 용액을 도체의 심혈관계 혈관으로 주입하는 것은 사후 pH 감소를 촉진시키는 동시에 저온단축을 방지하는 것으로 나타났다는 점이다

(Moreira et al., 2019). 이것은 근절 길이 수축에 관여하는 칼슘 이온 (Ca^{2+})이 방출되기 전에 근육 내에 모든 에너지가 소모되도록 유도하였기 때문으로 추측되고 있다. 게다가 앞에서 언급했듯이, 빠른 pH 감소에도 불구하고 냉각된 RCT 용액의 사용은 도체에 있어 효과적으로 열을 제거하였으며, 이는 육색소가 변성되는 것을 방지함에 따라 식육의 적색도를 효과적으로 유지하는 결과를 나타내었다.

3.3 Antimicrobial Effect

미생물의 일반적인 배가시간 (doubling time)은 약 20분으로, 20분마다 미생물은 자신의 개체의 수를 2배로 증식할 수 있다. 특히, 살모넬라 균과 같이 편모 (flagella)를 가진 미생물들은 1분 안에 도체의 표면에 부착할 수 있으며, 추후에 제거하는데 있어 어려운 요소로 작용한다. RCT 기술은 도체의 온도와 pH를 신속하게 낮추고, 체내에 잔류하는 혈액을 추가적으로 제거함으로써 병원성 미생물들의 생육을 제어하는데 효과적이며, 도체 표면에 미생물이 부착되는 것을 방해하는 것으로 조사되었다.

미네소타 대학교 (Feirtag & Pullen, 2003)에서 실시한 시험관 내 (*in vitro*) 실험 결과에 의하면, 혈액에서 발견되는 제1철이온 (Fe^{2+})과 같은 금속 양이온을 제거하였을 때 대장균이나 대장균군과 같은 특정 미생물의 생육이 억제되었다고 보고하였다. 더불어, RCT 용액이 가지는 항균활성을 측정하였을 때, 대장균 (*Escherichia coli*), 살모넬라 타이피무리움 (*Salmonella typhimurium*), 슈도모나스 프라기 (*Pseudomonas fragi*)와 같은 미생물들을 생육을 효과적으로 억제하였다. 그림 11a와 11b에서 볼 수 있듯이, 낮은 농도로 병원성 미생물을 접종하였을 때 4~6시간 내에 미생물들이 사멸된 것을 확인할 수 있다. 더불어, 높은 농도의 접종 수준에서도 항균효과는 여전히 존재하였으며, 병원성 미생물의 수를 효과적으로 감소시켰다. 또 다른 연구결과에 의하면 도체를 24시

간 동안 냉장 시설에 보관한 후 위생지표균인 일반세균수, 대장균군, 대장균을 측정하였을 때 RCT 도체의 경우 대조구와 비교하여 일반세균수는 41% 이상, 대장균군은 67% 이상, 대장균은 83% 이상 감소하였다 (그림 11c). 진공 포장된 쇠고기 분쇄육에서는 대장균 H7:O157을 유의적으로 감소시키기에 따라 저장 안정성을 향상시켰으며 (그림 11d), RCT 적용 도체에서 일반세균수가 57% 감소된 연구 결과도 보고되었다 (Moreira et al., 2018).

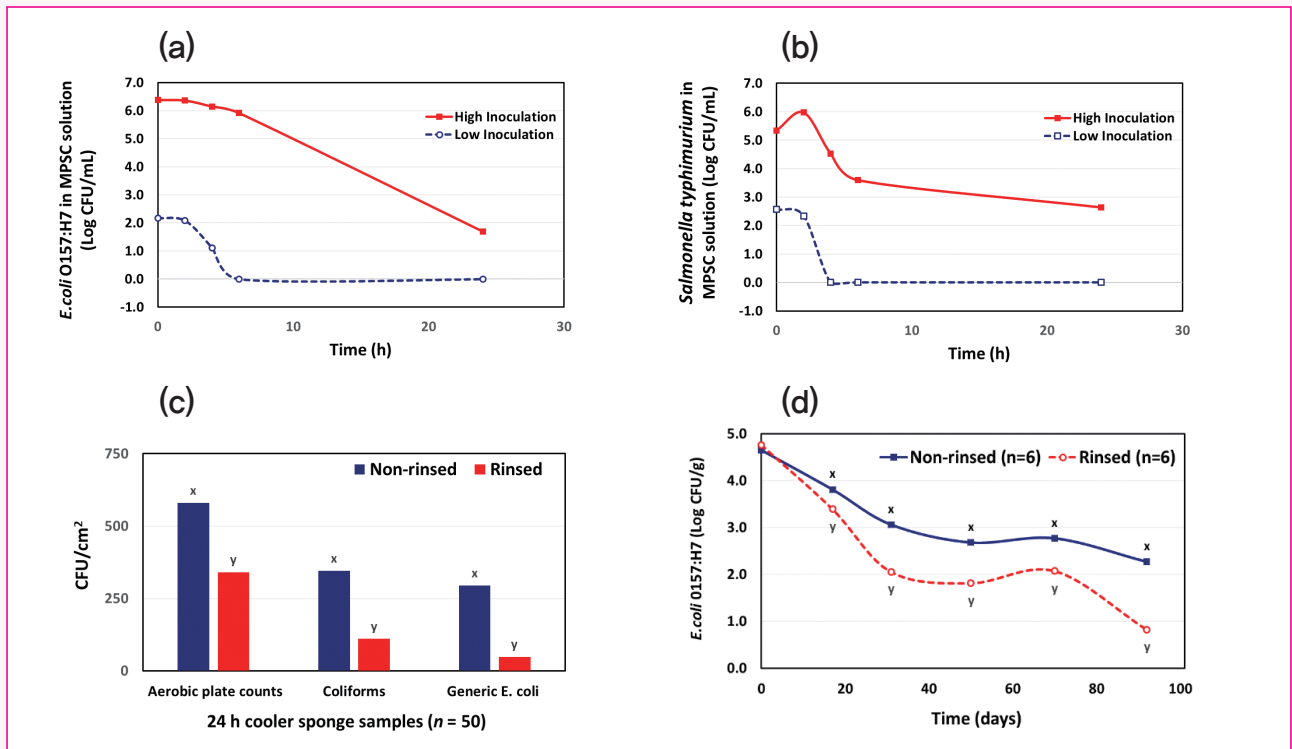
식육의 교차오염이 빈번하게 발생하는 원인 중의 하나는 바로 도체에서 가축이 제거되는 박피공정이다. 캔자스 주립 대학교와 미네소타 대학교 연구원들의 설명에 의하면 RCT 용액은 가축 아래의 모세혈관에 존재할 수 있으며, 박피 공정을 용이하게 함에 따라 미생물이 공기 중에 퍼지는 것을 방지한다고 하였다. 나아가 미생물이 도체의 표면에 부착되는 것을 사전에 예방할 수 있다고 설명하였다.

4. Retained Moisture Declaration (Labelling) for Meat Products

미국의 경우, 축산물에 있어서 함유수분을 (retained moisture)에 관한 표시사항을 요구하고 있다. 그 이유는 냉각을 위해 도체 상태로 장시간 냉장하게 될 경우, 표면 건조로 인한 감량이 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여 주기적인 냉수 분무를 실시하고 있기 때문이다. 이는 도체의 무게 증가로 이어질 수 있으므로, 수분 증가량이 0.5% 이상 부터 표시사항에 명시하도록 규정하고 있다.

미네소타 대학교에 실시한 Moisture free fat (MFF, 지방 제외 수분함량) 분석 결과에 의하면 (2000), 대조구의 MFF 함량은 72.30% 였으며, RCT 처리구는 72.64% 로 측정되었다. 두 처리구 사이의 +0.34 % 차이는 RCT 공정이 최종 제품의 수분함량에 영향을 주지 않으며, 미국의 축산물 표시 기준에도 해당 사항이 없음

그림 11. 미생물 접종 수준에 따른 RCT 용액의 항균활성, (a) 대장균 O157:H7, (b) 살모넬라 타이피무리움, (c) 24시간 동안 도체 냉각 후 위생지표균 비교 결과, (d) RCT적용이 진공포장된 분쇄육에서 대장균 O157:H7의 생육에 미치는 영향 (Feirtag & Pullen, 2003; Feirtag et al., 2002)



을 의미한다. 최근 발표된 연구에서도 RCT 공정이 우육 (Moreira et al., 2018)과 돈육 (Kethavath et al., 2019)의 MFF에 영향을 미치지 않았음을 다시 한번 확인한 바가 있다. 더불어, MPSC는 RCT 사용 및 수출이 승인된 5개국 (미국, 캐나다, 뉴질랜드, 일본, 호주)에서 요구하는 함유수분율 관련 규정의 준수 여부를 주기적인 검사를 통해 철저하게 감시하고 있다.

5. Producing Plant Yields

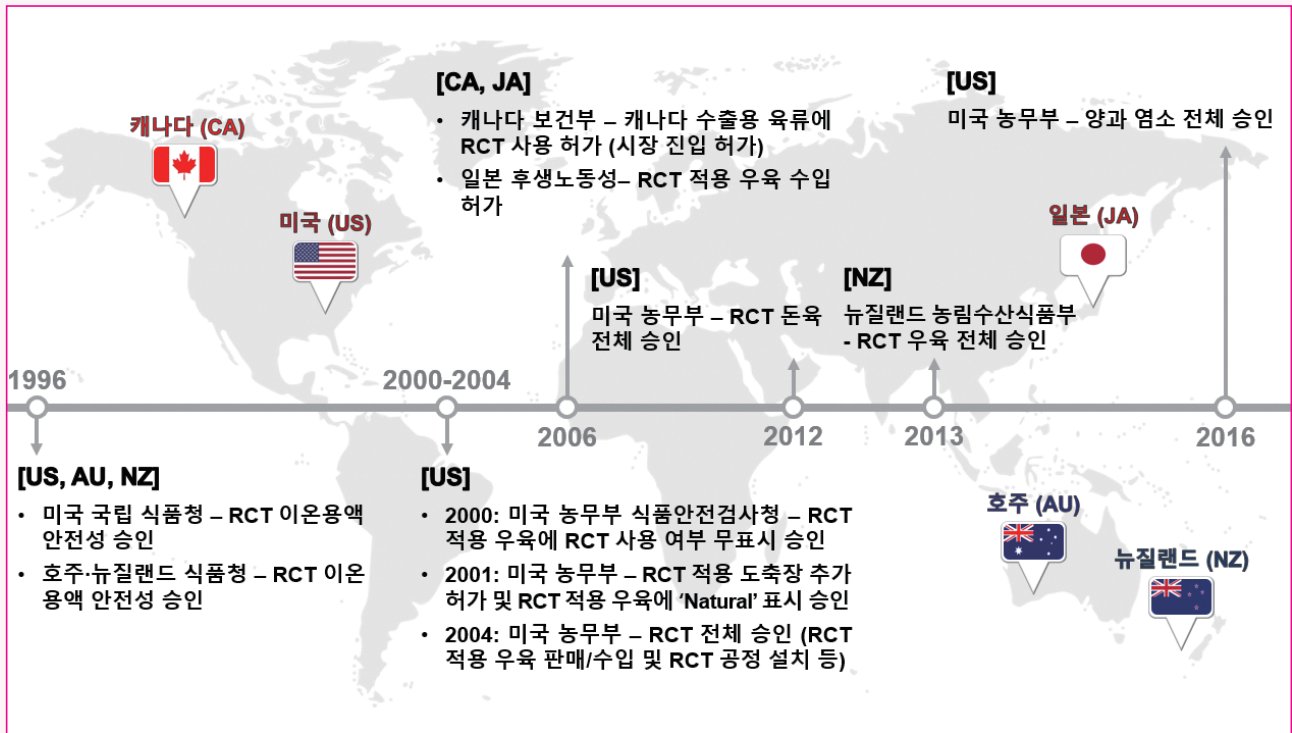
RCT는 박피 공정에서 도체에 적은 손상을 주기 때문에 도체율을 약 2~4% 정도 향상시키는 것으로 분석되었다 (Dikeman et al., 2003; Moreira et al., 2018; Yancey et al., 2002). 더욱이 흥미로운 점은 그림 12에서 보여지는 것처럼 발골 과정도 용이하게 한다는 점이다. RCT 시설 내 가공장과 발골실에서 근무하는 작업자들에 의하면, 소 도체의 목 근처 남아있는 다수의 잔류 혈액들이 제거 됨에 따라 머리부분에서 얻어지는 지육률이 약 2% 정도 증가하였으며, 작업자의 안전성 향상에도 큰 도움이 된다고 설명하였다.

그림 12. 발골 과정에서 분리된 RCT 소의 어깨뼈 (견갑골)



6. The History of Rinse & Chill® Technology Approval (Overseas)

그림 13. Rinse & Chill® Technology의 승인 현황 (해외)



- 1996: [US] 미국 국립 식품청 - RCT 이온용액 안전성 승인
 1996: [AU] 호주 · 뉴질랜드 식품청 - RCT 이온용액 안전성 승인 (ANZFA)
 1997: [AU] [AU] 호주 복지부 - RCT 이온용액 안전성 승인
 1997: [AU] 호주 주정부 - RCT 사용 승인 및 호주 내 첫 RCT 공정 설치
 2000: [US] 미국 농무부 식품안전검사청 - RCT 적용 우육에 RCT 사용 여부 무표시 승인
 2001: [US] 미국 농무부 - RCT 적용 도축장 추가 허가 및 RCT 적용 우육에 'Natural' 표시 승인
 2004: [US] 미국 농무부 - RCT 전체 승인 (RCT 적용 우육 판매/수입 및 RCT 공정 설치 등)
 2005: [US] 미국 농무부 - 미국 수출용 호주산 소고기에 RCT 사용 허가 (시장 진입 허가)
 2006: [CA] 캐나다 보건부 - 캐나다 수출용 육류에 RCT 사용 허가 (시장 진입 허가)
 2006: [JP] 일본 후생노동성 - RCT 적용 우육 수입 허가
 2012: [US] 미국 농무부 - RCT 돈육 전체 승인 (RCT 적용 돈육 판매/수입 및 RCT 공정 설치 등)
 2013: [NZ] 뉴질랜드 농림수산식품부 - RCT 우육 전체 승인 (RCT 적용 우육 판매/수입 및 RCT 공정 설치 등)
 2016: 미국 농무부 - 양과 염소 전체 승인 (RCT 적용 양고기 및 염소고기 판매/수입 및 RCT 공정 설치 등)

Conclusion

수 십년 간의 광범위한 연구와 기술적 진보를 통해, Rinse & Chill[®] Technology는 도축과정에서 다양한 축종(소, 양, 들소)들의 잔류 혈액을 추가적으로 제거하고, 사후 도체의 pH 환경을 최적화하며, 도체의 냉각을 촉진함에 따라 식육의 품질 (색, 연도) 향상 및 저장 안정성을 개선시킬 수 있는 이점들을 전 세계 식육산업에 제공해 오고 있다. 더불어, 심혈관계 혈관 세정에 이용되는 RCT 용액은 근육 대사에 일반적으로 이용되는 안전한 식품 성분으로, 통상적인 냉각공정을 거친 대조구와 RCT 처리구 사이의 비교 실험을 통해 어떠한 잔류 물질도 남지기 않음을 증명하였다. 또한 생체중의 10%에 해당하는 RCT 용액을 도체의 심혈관계 혈관에 주입하는 과정은 함유수분율 (retained moisture)에 있어서 대조구와 0.5% 미만의 차이를 나타내므로 별도의 표시사항도 요구되지 않는다. 그뿐만 아니라 기술의 경제성 측면에서 RCT 공정은 도체율과 정육율을 개선시킴에 따라 최근 몇 년 동안 기술의 상용화가 본격적으로 추진되고 있다. 이러한 기술혁신을 기반으로 지속적인 성장을 통해 대규모 식육가공장의 적용 가능성을 타진해 보려고 한다.

Acknowledgement

사진을 제공해주신 MPSC사에 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. AMSA. 2016. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. American Meat Science Association, Savoy, IL, USA. pp 40-41.

2. Brown T, Richardson RI, Wilkin CA, Evans JA. 2009. Vascular perfusion chilling of red meat carcasses: A feasibility study. *Meat Sci* 83:666-671.
3. Da Cunha Moreira L, Connolly C, Claus JR. 2018. Vascular rinse and chill effects on meat quality and shelf life of cull cows. 71nd Reciprocal Meat Conference (RMC), Kansas, KS, USA.
4. Da Cunha Moreira L, Hwang KE, Mickelson MA, Campbell RE, Claus JR. 2019. Vascular rinsing and chilling: effects on quality attributes and metabolic changes in beef. 65th International Congress of Meat Science and Technology (65th ICoMST), Potsdam/Berlin, Germany.
5. Da Cunha Moreira L, Hwang KE, Mickelson MA, Campbell RE, Claus JR. 2019. Vascular rinsing and chilling carcasses: Effects on quality attributes and metabolic changes in beef. 72nd Reciprocal Meat Conference (RMC), Colorado, CO, USA.
6. Dikeman ME, Hunt MC, Addis PB, Schoenbeck HJ, Pullen M, Kstsanidis E, Yancey EJ. 2003. Effects of post-exsanguination vascular infusion of cattle with a solution of saccharides, sodium chloride, and phosphates or with calcium chloride on quality and sensory traits of steaks and ground beef. *J Anim Sci* 81:156-166.
7. Farouk MM, Price JF. 1994. The effect of post-exsanguination infusion on the composition, exudation, color and post-mortem metabolic changes in lamb. *Meat Sci* 38:477-496.
8. Farouk MM, Price JF, Salih AM, Burnett RJ. 1992. The effect of post-exsanguination infusion of beef on composition, tenderness, and functional properties. *J Anim Sci* 70:2773-2778.
9. Feirtag JM, Pullen MM. 2003. A novel intervention for the reduction of bacteria on beef carcasses. *Food Protection Trends* 23:558-562.
10. Feirtag JM, Pullen MM, Bartholomew D, Timmerman D, Reuter, B. 2002. Novel intervention for reduction of undesirable bacteria on beef carcasses and on-going protection from coliforms and *E. coli* in vacuum packaged ground beef. 55th Reciprocal Meat Conference (RMC), Michigan, MI, USA.
11. Fowler SM, Claus JM, Hopkins DL. 2017. The effect of applying a rinse and chill procedure to lamb carcass immediately post-death on meat quality? *Meat Sci* 134:124-127.
12. Hite LM, Grubbs JK, Blair AD, Underwood KR. 2019. Influence of post-harvest circulatory rinse on tenderness and objective color of cow striploin steaks. 72nd Reciprocal Meat Conference (RMC), Colorado, CO, USA.
13. Hunt MC, Schoenbeck JJ, Yancey EJ, Dikeman ME, Loughin TM, Addis PB. 2003. Effects of post-exsanguination vascular infusion of carcasses with calcium chloride or a solution of saccharides, sodium chloride, and phosphates on beef display-color stability. *J Anim Sci* 81:669-675.
14. Kethavath SC, Cunha Moreira L, Hwang KE, Mickelson MA, Campbell RE, Claus JR. 2019. Post-exsanguination vascular rinsing of market hogs and cull dairy cows on meat. 72nd Reciprocal Meat Conference (RMC), Colorado, CO, USA.
15. Kunst A, Draeger B, Ziegenhorn J. 1984. Glucose: UV methods with hexokinase and glucose-6-phosphate dehydrogenase. In "Methods of enzymatic analysis". Bergmeyer HU (ed). Academic Press, NY, USA. 6:163-172.
16. Mateescu RG, Garmyn AJ, Tait Jr RG, Duan Q, Liu Q, Mayes MS, Garrick DJ, Van Eenennaam AL, Vanoverbeke DL, Hilton GG, Beitz DC, Reecy JM. 2013. Genetic parameters for concentrations of minerals in *longissimus*

- muscle and their associations with palatability traits in Angus cattle. *J Anim Sci* 91:1067-1075.
17. Mickelson MA, Warner RD, Seman D, Crump PM, Claus JR. 2018. Carcass chilling method and electrical stimulation effects on meat quality and color in lamb. 71st Reciprocal Meat Conference (RMC), Missouri, MC, USA.
 18. Mickelson MA, Claus JR. 2020. Carcass chilling method effects on color and tenderness of bison meat. *Meat Sci* 161.
 19. Rhoades RD, King DA, Jenschke BE, Behrends JM, Hively TS, Smith SB. 2005. Postmortem regulation of glycolysis by 6-phosphofructokinase in bovine *M. sternocephalicus pars mandibularis*. *Meat Sci* 70:621-626.
 20. Yancey EJ, Dikeman ME, Addis PB, Katsanidis E, Pullen M. 2002. Effects of vascular infusion with a solution of saccharides, sodium chloride, and phosphates with or without vitamin C on carcass traits, warner-bratzler shear force, flavor-profile, and descriptive-attribute characteristics of steaks and ground beef from Charolais cattle. *Meat Sci* 60:341-347.
 21. Yancey EJ, Hunt MC, Dikeman ME, Addis PB, Katsanidis E. 2001. Effects of post-exsanguination vascular infusion of cattle with a solution of saccharides, sodium chloride, phosphates, and vitamins C, E, or C+E on meat display-color stability. *J Anim Sci* 79:2619-2626.