

발 간 등 록 번 호

11-1541000-000507-01

한우육의 냉장 저장 프로파일 및 냉장 시스템 개발
Development of Hanwoo Refrigeration Storage Profile
and Refrigerating System

한우육 냉장 시스템 개발
Development of Hanwoo Refrigerating System
한우육의 저장 프로파일 설정을 위한 연구
Research of Hanwoo Refrigeration Storage Profile

서울대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “한우육의 냉장 저장 프로파일 및 냉장 시스템 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 5 월 29 일

주관연구기관명 : 서울대학교
주관연구책임자 : 조 성 인
세부1연구책임자 : 조 성 인
연 구 원 : 권 오 상
연 구 원 : 박 두 산
연 구 원 : 서 현 권
연 구 원 : 이 재 정
연 구 원 : 박 성 민
연 구 원 : 최 종 우
연 구 원 : 노 기 현
연 구 원 : 박 경 원
세부2연구책임자 : 김 용 노
연 구 원 : 정 윤 경
연 구 원 : 김 소 희

요 약 문

I. 제 목

한우육의 냉장 저장 프로파일 및 냉장 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국민소득 증가에 따른 국민 생활개선에 따라 외식문화가 발달하고 아울러 식육 소비경향이 양적으로 증가하고 있으며, 식육 선택에서도 질적인 면으로의 변화가 두드러지게 나타나고 있다. 특히 쇠고기 개방에 따라 외국산 쇠고기 수입이 대폭 늘고 있고 한우에 비해 저렴하여 쇠고기 소비가 전체적으로 증가하고 있으며, 이에 맞서 품질과 안전성을 내세운 한우의 소비량도 증가 추세에 있다.

한우의 가격은 외국산 쇠고기에 비해 비교적 고가임에도 불구하고 냉동육으로 수입된 외국 쇠고기에 비해 상대적으로 육질이 부드럽고 육즙이 많아 선호하는 경향이 뚜렷하다. 이에 따라 한우의 소비량이 2008년 17만 3,800톤으로 전년에 비하여 1.5% 증가하고 있다.

한우 소비를 촉진하기 위해서는 가정에서도 한우에 대해 보관이 용이하고 장기간 보관하더라도 품질이 저하되지 않아야 되나, 현행 한우 보관은 가정용 일반 냉장고나 김치냉장고의 별도 저장 공간을 활용하는 방법이 사용되고 있다. 가정용 냉장고는 다양한 식재료 및 음식을 보관하는 공간으로 효율도가 높으나 다른 음식과의 교차오염이나 저장온도의 부적합 등으로 한우고기를 비롯한 육류를 3~4일 이상 냉장저장하기에 환경이 적합하지 않다. 또한, 잦은 문 여닫음으로 인해 냉장 온도가 고르지 않아 한우육을 3~4일 이상은 냉장칸에 저장할 수 없으므로 냉동실을 이용하여 저장하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 육류의 냉동과 해동의 과정을 통해 육질이 손상되고 육즙의 손실이 일어나므로 좋은 보관방법이라 할 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 새로운 냉장 시스템의 개발을 통해 **한우육을 가정에서도 냉장 상태로 약 2주 정도 장기간 보관할 수 있도록 하여 가정에서도 직거래를 통해 부담 없이 다량의 한우육을 구매할 수 있도록 하고자 한다.** 이를 통해 일반가정에서 얼리지 않은 상태로 맛있게 한우고기를 조리할 수 있어 한우의 소비가 촉진될 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 한우육을 신선하게 장기 보관할 수 있는 냉장저장 프로파일을 개발하여 한우 냉장고 시스템에 적용하고 현행 한우육 유통 체계의 문제점에 대한 개선책을 제시하여 소비자가 쉽게 한우를 직거래로 구입 할 수 있도록 하여 한우 소비 촉진에 기여하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

가. 한우육 유통 체계 조사 및 분석

- 한우육의 유통 체계 조사 및 분석
- 한우육 직거래 현황과 실태
- 한우 냉장고의 소비자 수용성 및 시장성 분석

나. 한우육의 저장 프로파일 설정을 위한 연구

- 온도, 자외선 살균 저장 환경에 따른 한우육 등심의 저장 특성 분석
- 냉각 방식(직접, 간접)에 따른 저장성 분석
- 개발 시스템과 기존 냉장시스템의 한우육 저장성 비교 평가

다. 한우육 냉장 시스템의 개발

- 열 유동 유체해석을 이용한 냉장시스템 설계
- 냉장 시스템 시작기 설계 및 제작
- 냉장 온도 제어부, 자외선 살균 장치 설계
- 냉각 방식(직접, 간접)에 따른 냉장 시스템 구성
- 냉장 온도 제어 특성 평가

Ⅳ. 연구개발결과

한우육을 얼리지 않고 약 2주 동안 장기간 저장이 가능한 가정용 냉장고를 개발하였다. 냉장 온도에 대한 제어와 저장 초기 자외선 조사를 통한 살균기능, 그리고 숙성 모드를 중점으로 하는 한우육 저장 시스템을 제작하였다. 기존의 가정용 냉장고에서는 3~4일 이상 냉장상태로 보관하기 어려워 그 이후는 냉동을 시켜야 했다. 냉동된 고기를 해동하여 조리하면 육즙이 빠져 맛이 떨어지게 된다. 이 시스템은 기존의 가정용 냉장고가 다른 음식과의 교차오염, 부적당한 저장온도 설정 등으로 인하여 한우육 장기 저장에 적합하지 못한 것을 개선하여 한우육을 약 2주 정도 냉장 저장하는 가능성을 확보하는데 성공했다. 이를 통해 한우육 전용 냉장고를 시판함으로써 일반 가정에서 홈쇼핑이나 인터넷 등을 통한 직거래(4인 가족 기준 2주 동안 약 3kg 주문하여 소비 가능)를 활성화 하여 한우육 소비를 촉진할 수 있을 것으로 기대한다.

또한 본 연구를 통해 개발된 한우육 시스템의 시장성에 대한 설문조사를 실시하였다. 서울 거주 20세 이상 65세 이하 총 476명을 대상으로 조사한 결과 50% 이상이 가격이 적당하다면 한우냉장육시스템을 구매할 의향이 있다는 응답을 보였으며, 이들은 평균적으로 30만원 정도의 지불의사를 보였다. 따라서 한우육 저장 시스템의 출시를 통해 새로운 시장이 탄생할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 가정에서 육류소비가 많은 미국, 유럽 국가에 충분히 수출할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

○ 실용화 계획

- (주)아이디알시스템에 기술지도를 실시할 예정.
- 최종 제품에 대하여 원가경쟁력을 확보하기 위해 금형 제작 및 각 부품에 대한 표준화 실시.
- 가정에 설치되어 사용될 제품이므로 제품의 미관을 고려한 설계를 진행할 예정이며, 제품의 디자인에 맞추어 시제품에 사용되었던 제품에 대하여 부품 평가를 실시할 예정.
- 실용화를 위해 내구테스트 및 제품에 대한 외부 성능기관 및 시험기관에 의뢰하여 제품에 대한 안정성 및 사용자 편의성에 대한 조사를 실시할 예정.

○ 산업화 계획

- 참여기업의 사업화 및 제품의 산업화를 위해 마케팅 계획이 필요하며 대량 생산체제의 구축 계획이 필요.
- 소비자에게 20만원대 이하의 제품으로 공급하는 것을 목표로 하고 양산 시스템 적용시 예상되는 가격에 설정할 예정.
- 한우 냉장고를 소비자가 사용할 때, 편리하고 목적에 부합될 수 있도록 사용자 인터페이스에 대하여 추가적인 지도를 실시할 예정.

○ 특허 출원 계획

- 특허 : 가정용 기능성 한우냉장고

SUMMARY

I . Title

Development of Hanwoo refrigeration storage profile and refrigerating system

II . Aims and Necessity of the research and development

As household income increases, the consumption of meat increases rapidly along with the growth of food-service industry. Not only has the amount of consumption itself increased, but also the high quality has been carried as the most important factor when making a purchase. Free and open-trade made imported beef more easily accessible with cheaper price, which lead the expansion of total beef consumption. Placing its high-quality and safety at the head, Hanwoo consumption has been gradually increased as well. Despite of its high price, Hanwoo has been placed in high preference compare to other freeze-imported one, due to its tender fleshiness and lively juiciness.

In order to promote in consumption of Hanwoo, the storage system which provides simplicity and endurance is necessary. Currently, Hanwoo is generally kept in either regular cold storage or Kimchi refrigerator, which remarkably damages the quality of meat. Regular cold storage or refrigerator does not provide appropriate environment for the storage of Hanwoo because it is kept with other food products which lead contamination of meat directly and also frequent open of door. For this reason, Hanwoo is stored frozen in most cases which require thawed process where considerable damage in quality takes place.

Thus, the purpose of this research is to develop a new cold storage system dedicated for Hanwoo which provides longer shelf life of meat at home. Such system is expected to enhance the consumption of Hanwoo while preserving its quality.

On the other hand, problem and limitation of current distribution system of Hanwoo is assessed to provide the improved way of distribution, which is expected to enhance the consumption of Hanwoo as well.

III. Contents and scope of the project

(1) Investigation and Analysis of current Hanwoo distribution system

- Investigation and Analysis of current Hanwoo distribution system
- Analysis of current online direct transaction of Hanwoo
- Analysis of consumer acceptance and marketability of Hanwoo refrigerator

(2) Hanwoo storage profile

- Storage characteristics of Hanwoo related to temperature, humidity, and UV irradiation
- Storage characteristics of Hanwoo related to the method of cooling
- Assessment of newly developed system compare to regular cold storage

(3) Development of Hanwoo storage system

- Design of cold storage system using CFD
- Design and production of a testing system
- Design the temperature control system and UV irradiation system
- Characteristics of testing system with temperature control

IV. Result of the research

The Hanwoo cold storage system is developed by controlling the cold temperature and UV irradiation on initial stage of storage. The system dedicated for Hanwoo is successful in storing meat for more than two weeks while preserving its freshness quality. The system is expected to enhance the consumption of Hanwoo.

The survey is carried to assess the marketability of the Hanwoo cold storage system; total 476 residents of Seoul, age 20 to 65. The survey results indicate that 50% of respondents are willing to purchase Hanwoo cold storage system with appropriate price, and the appropriate cost was placed around 300,000 won. Thus, it is expected that launching of Hanwoo cold storage system could create a new market.

V. Plan for application of the research

(1) Commercialization plan

- IDEAL SYSTEM CO., will participate in commercialization plan.
- Design new exterior for Hanwoo storage system
- Each parts and interface will be tested for safety and suitability in home using

(2) Industrialization plan

- Build a plan for mass production and marketing
- Aim the consumer price of Hanwoo storage system for 200,000won
- Provide instruction for developing new user interface

(3) Plan for apply for a patent

- patent on a home use functional refrigerator for Hanwoo storage

CONTENTS

Chapter 1. Overview of the project	1
Section 1. Aims of the research and development	1
Section 2. Necessity of the research and development	2
1. Economical aspects	2
2. Industrial aspects	2
Section 3. Contents and scope of the project	4
1. Analysis of chain system of Hanwoo	5
2. Research of Hanwoo storage profile	5
3. Development of Hanwoo refrigerator	5
Chapter 2. Status of the technology development in Korea and foreign countries	7
Section 1. Status of development in Korea	7
Section 2. Status of development in other countries	7
Chapter 3. Research contents and results	8
Section 1. Analysis on chain system of Hanwoo	8
1. Scale and importance of beef market	8
2. Chain system of Hanwoo	17
3. Present state of direct dealing of Hanwoo	31
4. Analysis of economic efficiency and consumer acceptance	36
Section 2. Research of Hanwoo storage profile	48
1. Outline of research	48
2. Materials and methods	49
3. Research on temperature and humidity for long-term storage	60
4. Research of sterilization using by UV lamp	69
5. Development of Hanwoo storage and aging environment	92
6. Study of safety on <i>Listeria monocytogenes</i>	107

Section 3. Development of Hanwoo storage system	109
1. Principle of Refrigerator	109
2. Development of Hanwoo storage system by remodeling	126
3. Result of CFD and determination of cooling system	134
4. Development of second Hanwoo storage system	145
5. Development of final Hanwoo storage system	152
Chapter 4. Archivement and contributions to related fields	160
Section 1. Archivement	160
Section 2. Contributions to related fields	162
Chapter 5. Application of the result	163
Chapter 6. Overseas technology information related collected during the research	165
Chapter 7. References	166

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적	1
제 2 절 연구개발의 필요성	2
1. 경제적 중요성	2
2. 산업적 중요성	2
제 3 절 연구개발의 범위	4
1. 한우육 유통 체계 조사 및 분석	5
2. 한우육의 저장 프로파일 설정	5
3. 한우육 냉장 시스템 개발	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	7
제 1 절 국내 기술개발 현황	7
제 2 절 국외 기술개발 현황	7
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	8
제 1 절 한우육의 유통 체계 조사 및 분석	8
1. 국내 쇠고기 소비시장의 규모 및 비중	8
2. 한우육의 유통구조	17
3. 한우직거래 현황과 실태	31
4. 소비자 수용성 및 경제성 분석과 방법론 개발	36
제 2 절 한우육의 저장 프로파일 설정을 위한 연구	48
1. 연구의 개요	48
2. 재료 및 방법	49
3. 한우육의 장기저장을 위한 온도 및 습도 설정 연구	60
4. 자외선을 이용한 살균 및 설정 연구	69
5. 한우 저장 및 숙성 프로파일 개발	92
6. <i>Listeria monocytogenes</i> 에 대한 안전성	107

제 3 절 한우육 냉장 시스템 개발	109
1. 냉장고 원리	109
2. 기존 냉장고 개조를 통한 시작기 개발	126
3. 열유동해석 및 냉각방식 선정	134
4. 2차 시작기 개발	145
5. 최종 모델 개발	152
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	160
제 1 절 목표대비 성과 및 달성비율	160
제 2 절 관련 사업분야의 기여도	162
제 5 장 연구개발 성과 및 성과 활용 계획	163
제 1 절 실용화 및 산업화 계획	163
제 2 절 교육/지도/홍보 등 기술확산 계획	163
제 3 절 특허/품종/논문 등 지식재산권 확보 계획	164
제 4 절 추가연구/타 연구에 활용 계획	164
제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보	165
제 7 장 참고문헌	166

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

국민소득 증가에 따른 국민 생활개선에 따라 외식문화가 발달하고 아울러 식육 소비경향이 양적으로 증가하고 있으며, 식육 선택에서도 질적인 면으로의 변화가 두드러지게 나타나고 있다. 특히 쇠고기 개방에 따라 외국산 쇠고기 수입이 대폭 늘고 있고 한우에 비해 저렴하여 쇠고기 소비가 전체적으로 증가하고 있으며, 이에 맞서 품질과 안전성을 내세운 한우의 소비량도 증가 추세에 있다.

한우의 가격은 외국산 쇠고기에 비해 비교적 고가임에도 불구하고 냉동육으로 수입된 외국 쇠고기에 비해 상대적으로 육질이 부드럽고 육즙이 많아 선호하는 경향이 뚜렷하다. 이에 따라 가정에서의 한우의 소비량이 증가하고 있다.

한우 소비를 촉진하기 위해서는 가정에서도 한우에 대해 보관이 용이하고 장기간 보관하더라도 품질이 저하되지 않아야 되나, 현행 한우 보관은 가정용 일반 냉장고나 김치냉장고의 별도 저장 공간을 활용하는 방법이 사용되고 있다. 가정용 냉장고는 다양한 식재료 및 음식을 보관하는 공간으로 효용도가 높으나 한우를 비롯한 육류를 저장하기에 환경이 적합하지 않고 잦은 문 여닫음으로 인해 냉장 온도가 고르지 않아 한우를 냉장칸에 저장할 수 없으므로 냉동실을 이용하여 저장하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 육류의 냉동과 해동의 과정을 통해 육질이 손상되고 육즙의 손실이 일어나므로 좋은 보관방법이라 할 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 새로운 냉장 시스템의 개발을 통해 한우육을 가정에서도 냉장 상태로 장기간 보관할 수 있도록 하여 가정에서도 직거래를 통해 부담 없이 다량의 한우육을 구매할 수 있도록 하고자 한다. 이를 통해 한우의 소비가 촉진될 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 한우육을 신선하게 장기 보관할 수 있는 저장 프로파일을 개발하여 저장 시스템에 적용하고 현행 한우육 유통 체계의 문제점에 대한 개선책을 제시하여 소비자가 쉽게 한우를 직거래로 구입 할 수 있도록 하여 한우 소비 촉진에 기여하고자 한다. 이에 가정에서 한우육에 대한 냉장저장 방법을 개발하고 이에 적합한 냉장고를 설계하기 위하여 본 연구의 목적을 아래와 같이 설정하였다.

- 한우육 저장에 관여하는 여러 요소의 규명과 이들이 한우육 저장성에 미치는 영향에 대해 각 요소별 프로파일을 정리하고 한우육을 최상의 상태로 오래 저장할 수 있는 조건을 설정함
- 한우육 냉장 저장에 관한 프로파일을 활용하여 한우육을 가정에서 냉동시키지 않고 보다 오래 저장하고 숙성기능과 살균기능을 가진 냉장 시스템 개발

- 한우육의 유통체계에 대한 분석을 통해 보다 짧은 유통 경로를 통해 소비자가 한우육을 보다 저렴하게 소비할 수 있는 체계 개선에 대한 연구.

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 경제적 중요성

국내에서 육류는 1년에 가정 내외부에서 1인당 약 35kg 가량 소비되고 있으며, 연 4.34% 증가하고 있으며 육류의 품질과 조리의 안전성 우려 때문에 외식보다는 가정용 요리를 통한 육류의 소비가 늘어나고 있다. (가축통계, 농림부, 2005) 국민 1인당 가정에서 육류 소비량은 연간 약 10kg이고, 2007년 1월 현재 한국 인구는 4,839만명임을 고려할 때, 유아를 제외하고 고기를 소비하는 인구를 약 4,000만 명으로 추산하면 연간 총 가정의 육류 소비량은 약 40만 톤으로 추정된다.

가정에서 한우육을 1일 소비량 이상으로 구매할 경우에는 한우육을 저장하게 되는데, 현재까지는 냉동 저장이 주를 이루고 있다. 냉동으로 한우육을 저장하는 경우에는 조리하기까지의 냉동 보관과 조리 전의 해동과정에 필요한 에너지가 낭비되고 있으며, 육류 1kg 해동에 필요한 열에너지는 1kWh로 추산된다. 마이크로웨이브 효율이 100%인 경우(즉 전기 에너지 1kWh가 모두 열에너지로 전환)에 해동에 필요한 전기 소비량은 연간 총합으로 4억kWh로 추산되며, 1kWh의 전기세는 370원(100kWh 이하인 경우)이므로 총 1,490억원이 해동에 소비되고 있다. 냉동된 육류 중에 약 50%가 마이크로웨이브를 사용하여 해동된다면 연간 국가적으로 약 745억 원 이상을 절약 할 수 있으며 이를 수입원유로 환산하면 1.5백만 배럴에 해당한다.

2. 산업적 중요성

축산물등급판정소가 실시한 2000년도 설문조사에 의한 쇠고기 구매 시 냉장육(85.9%), 냉동육(9.1%)의 구매가 이루어졌으며, 신선도(36.1%)와 등급(22.6%)이 구입 판단에 중요한 요소로 나타났고, 요리 방법은 구이(62.4%)와 불고기(24.8%)가 주를 이루고 있다.

보통 가정에서 육류를 1주일 단위로 구매한 후 3일 이상 냉장 저장이 불가능하여 일반적으로 냉동 보관을 하고 있으며, 요리 필요시에 자연해동으로는 시간(2~3시간)이 오래 걸리고, 마이크로웨이브를 이용한 급속해동에는 에너지가 낭비되고 육질의 맛이 저하되어 일반 가정에서 육류 소비의 불편을 초래하게 되어 설문조사 결과 85%가 냉동 보관하며 70%가 해동의 불편을 호소하고 있다.

고기를 저장함에 있어 살얼음이 낄 정도로 얼리거나 냉동해서 해동을 하면 냉동하는 순간 숙성이 정지되고 해동으로 맛과 영양소를 포함한 육즙이 빠져나가므로 맛이 없어지고 육질이 더 질리게 된다. 육즙에는 단백질, 비타민, 무기물 등의 영양소가 함유되어 있으므로 이를 장기간 저장하는 것이 중요하다.

최상의 고기 맛을 얻기 위해서는 도축된 고기를 얼리지 않고 저온(1℃~5℃)에서 냉장된 상태로 유통되어 최종 소비되는 것이 바람직하며, 가정에서 장기간(7일-10일 정도) 신선한 상태로 냉장 보관할 수 있는 가정용 육류냉장고가 있다면 고기 해동의 불편함이 없이 고기의 맛을 최상으로 유지할 수 있으므로 육류 소비의 증가가 예상된다(그림1).

수입육은 냉동된 상태로 수입되어 유통과정에서 여러 차례 냉동과 해동 과정을 거치게 되므로 숙성이 덜된 상태에서 맛이 감소되고, 가정에서도 냉동 보관한 후 해동을 하여 조리한다면 고기 맛은 더욱 저하되고 육질도 더욱 질겨지게 된다. 따라서 한우 고기를 도축 후에 냉장된 상태로 유통하여 최종 소비자인 가정에서 육류냉장고를 이용하여 필요할 때 해동하지 않고 바로 요리하여 먹을 수 있다면 한우 맛은 수입육을 훨씬 능가하여 국내 한우 고기의 경쟁력이 지금보다 더욱 높아지게 될 것이다.

연구 조사에 의하면 육류가 주요한 박테리아나 곰팡이의 감염원으로서 작용하여 냉장고의 다른 식품이 쉽게 변질되고, 육류와 생선 보관실에서 대장균과 같은 세균이 제일 많이 검출되어 냉장고 내에 다른 저장 음식으로의 세균 감염이 우려된다. 따라서 육류 저장을 따로 분리하여 일반 냉장고의 크기를 줄일 수 있고 육류로부터의 오염원을 차단하여 과일, 채소, 음료수, 반찬류 등을 보다 더 안전하게 저장하는 기능으로 차별화된 냉장고를 개발하여 공급하면 소비자들의 필요를 더욱 증가시킬 수 있다.

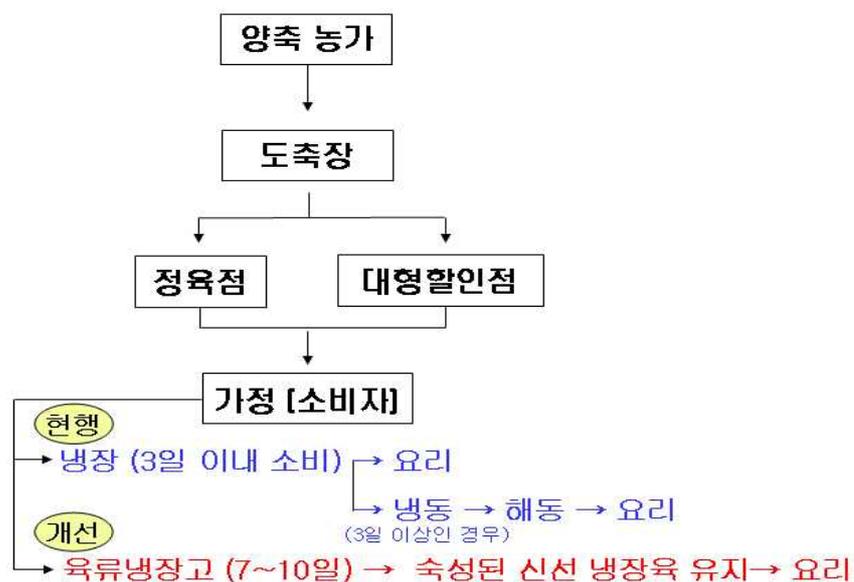


Fig. 1 Expected effect from Hanwoo storage system for consumer.

제 3 절 연구개발의 범위

본 연구과제는 아래와 같이 3개의 주요 부분으로 구성된다.

연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
한우육 유통 체계 조사 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한우육의 유통 체계 조사 및 분석 ○ 한우육의 직거래 현황과 실태 	<ul style="list-style-type: none"> - 한우육의 도축에서 도·소매까지 유통 경로 및 물류량 조사 - 유통체계의 문제점 제시 - 한우육 저장 시스템의 시장성 조사
한우육 등심의 온도, 습도 저장 특성에 따른 저장 프로파일 설정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도, 자외선 살균 저장 환경에 따른 한우육 등심의 저장 특성 분석 ○ 냉각 방식(직접, 간접)에 따른 저장성 분석 ○ 개발 시스템과 기존 냉장시스템의 한우육 저장성 비교 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 한우육 등심의 온도에 따른 저장성 분석 - 자외선의 살균 영향에 대한 분석 - 각 냉각 방식에 따른 한우육의 저장성 분석 - 개발 시스템과 일반 냉장시스템의 한우육 저장 특성 비교 (이화학적) - 육류 냉장고에 저장된 육류의 이화학적 변화 분석 - 육류의 신선도 및 저장성 평가
한우육 냉장 시스템의 시작품 설계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열 유동 유체해석을 이용한 냉장시스템 설계 ○ 냉장 시스템 시작품 설계 및 제작 ○ 온도 제어부, 자외선 살균 장치 설계 ○ 냉각 방식(직접, 간접) 냉장 시스템 구성 ○ 온도 제어 특성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 냉장시스템 설계를 위한 열, 유체 해석 시뮬레이션 - 냉장 시스템 시작품 설계 및 제작 - 온·습도의 정밀제어를 위한 알고리즘, 제어부 설계 및 제작 - 자외선 살균 장치 설계 및 제작 - 냉각방식에 따른 각각의 냉장 시스템 제작 - 각 제어 요소의 제어성능 평가 - 성능향상을 위한 연구 - 개발 시스템과 일반 냉장시스템의 한우육 저장 특성 비교 (관능적)

1. 한우육 유통 체계 조사 및 분석

한우육의 유통 체계는 고기의 신선도와 가격형성에 중요한 요소로 작용한다. 소비자에게 전달되는 경로와 환경에 대한 조사를 통해 한우육이 보다 효율적이고 저렴하게 그리고 신선하게 유통될 수 있는 시스템 보완에 대한 조사를 한다. 특히 최근 늘어나는 가짜 한우육 유통에 대한 제재를 위한 방안 모색과 시스템 보완을 위한 방안을 모색한다. 통계자료를 통해 한우육의 수요와 공급에 대한 기초 자료를 토대로 유통단계와 각 단계에서의 저장 조건 모니터링을 수행한다. 또한 늘어나는 한우육 인터넷 유통시장에 대한 조사를 통해 대규모 포털 사이트의 개설 가능성과 이로 인한 한우육의 투명한 유통과 각 등급에 맞는 한우육이 적절한 가격에 소비될 수 있는 시스템 마련 가능성에 대한 분석을 수행한다.

2. 한우육의 저장 프로파일 설정

육류의 저장성을 평가하는 방법에는 몇 가지 요소들은 육색, pH, 보수력, VBN(Volatile Basic Nitrogen), TBA(Thiobarbituric acid), 미생물, 지방산, biogenic amine, 관능검사가 있다. 육류의 저장 기간에 따라 이들 성분의 변화가 생기는데 저장기간 중 이와 같은 육질의 품질변화를 최대한 억제하여 저장기간을 늘릴 수 있는 조건을 규명한다. 특히 자외선 살균을 통해 초기 미생물 수를 줄이고 저장기간을 연장할 수 있는 처리와 호냉성 미생물의 영향에 대한 연구를 통해 안전성 문제에도 고려를 한다. 냉각시스템의 저장성 평가를 위해 저장된 한우육의 부위별 저장 특성과 이화학적 분석을 수행하여 저장성 향상에 대한 검증을 수행한다. 다음은 본 연구의 목표이다.

- 한우육의 부위별 저장 최적 온도 규명
- 냉장 저장 중 자외선 조사의 소독 효과 규명
- 냉각 방식이 한우육 저장성에 미치는 영향
- 한우육 냉장 시스템과 일반 냉장고의 육류 저장성 및 신선도 비교 평가
- 육류 냉장고에 저장된 육류의 이화학적 변화 분석

3. 한우육 냉장 시스템 개발

냉장 시스템의 규모와 설계를 위해 유체해석 시뮬레이션을 통해 냉장고를 설계한다. 이를 바탕으로 직접 냉각 방식의 냉장 시스템(시작기)을 제작하여 온도를 정밀하게 제어하도록 제작한다. 또한 미생물 생육 억제를 위해 자외선 살균 장치를 설치하고 제어 가능하도록 제작한다. 간접식 및 직접식 냉각식 냉장 시스템을 개발하여 실제 한우육을 저장하였을 때 저장성에 미치는 영향을 분석하기 위한 냉장 시스템을 개발한다. 각 냉각 방식에 따른

냉장 시스템은 실제 한우육을 저장하면서 일반 냉장고에 저장된 시료와 저장성 실험을 수행하며 이로서 한우육 냉장 시스템의 저장 성능을 평가하게 된다. 저장 성능은 이화학적 분석과 관능적 평가를 통해 이루어지며 에너지 효율면도 고려하여 냉동육의 해동 에너지와 비교한다. 다음은 본 연구의 목표이다.

- 열 유동 유체해석을 이용한 냉장고 설계
- 온도, 자외선 살균 제어장치 설계 및 개발
- 냉각 방식(직접, 간접)에 따른 냉장 시스템 개발
- 한우육 냉장 시스템의 성능과 효율 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

현재까지의 국내 특허자료와 연구 결과를 검색한 결과 가정용 육류 냉장고에 관한 자료는 없으므로 김치냉장고와 본 기술을 비교하였다. 다음 2개의 자료는 기존 김치 냉장고와 일반 냉장고에서의 육류 보관 및 해동에 관한 것이다.

연구수행 기관	연구개발의 내용
위니아 만도	육류 보존을 겸하는 직간냉식 복합형 김치냉장고를 개발하였으나 김치 보관을 주목표로 개발되었고, 육류에는 특화되어있지 않음.
삼성전자	냉장고에 별도 해동칸을 개발하여 냉동된 육류의 해동 및 급해동.

제 2 절 국외 기술개발 현황

쇠고기의 각 저장 요소별 저장성에 미치는 개별적인 연구는 진행된 사례가 있고, 저장성을 늘리기 위해 미생물의 증가율을 낮추기 위한 연구 사례가 있으나, 본 연구에서는 한우육을 대상으로 하기 때문에 국외 연구 성과를 바로 적용하기 어렵다. 따라서 한우육의 저장성 향상과 관련된 각 요소들의 복합적 최적 조건 규명에 대한 연구는 한우의 국내 시장 경쟁력을 위해 필요하며, 육류를 대상으로 가정용 냉장시스템 개발에 관한 해외 연구 자료는 없으므로 본 연구를 통해 냉장시스템에 대한 연구를 진행하였다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 한우육의 유통 체계 조사 및 분석

1. 국내 쇠고기 소비시장의 규모 및 비중

가. 축산업의 위치

(1) 농업부문의 비중

곡물에 비하여 소득탄력성이 큰 축산물은 소득의 변화에 소비가 민감하게 반응하기 때문에 부가가치액의 변화도 심하였다. 특히, 1997년 말 외환위기 상황에서의 축산업의 부가가치는 1997년 2조 1,971억원에서 1998년 1조 3,089억원으로 40.4%가 감소하였으나 같은 기간 동안 재배업은 18조 60억원에서 17조 3,628억원으로 3.6%가 감소하였다.

농업에 있어 축산업의 비중은 1997년 10.7%에서 IMF 관리 시기에는 급감하였고 2000년 이후 경제가 안정화되면서 다시 증가하여 2002년에는 16.7%까지 상승, 2003년 다소 주춤했으나 이후 증가하여 20%를 상회하다가, 2008년에는 경기침체로 15.7%로 감소하였다(표1).

Table 1. Changes of added value in agricultural sector

(단위: 10억원, %)

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
재배업	18,006.0 (87.6)	17,362.8 (91.2)	18,387.4 (85.8)	18,645.9 (86.4)	18,733.2 (85.2)	18,159.8 (81.5)	17,969.6 (81.7)	19,408.5 (79.3)	16,791.4 (73.8)	17,225.9 (76.0)	17,000 (77.4)	1,6456.7 (81.6)
축산업	2,197.1 (10.7)	1,308.9 (6.9)	2,694.1 (12.6)	2,595.9 (12.0)	2,872.4 (13.1)	3,721.9 (16.7)	3,579.8 (16.3)	4,603 (18.8)	5,467.7 (24.0)	4,947.7 (21.8)	4,422.2 (20.1)	3175 (15.7)
부대 서비스	345.5 (1.7)	358.9 (1.9)	342.8 (1.6)	344.9 (1.6)	371.7 (1.7)	407.2 (1.8)	433.8 (2.0)	458.4 (1.9)	496.5 (2.2)	493.4 (2.2)	531.2 (2.4)	532.9 (2.6)
계	20,548.6 (100,0)	19,030.6 (100,0)	21,424.2 (100,0)	21,586.7 (100,0)	21,977.3 (100,0)	22,288.9 (100,0)	21,983.2 (100,0)	24,469.9 (100,0)	22,755.6 (100,0)	22,667.0 (100,0)	21,953.4 (100,0)	20,164.6 (100,0)

주: 당해년가격임.

자료: 농림부, <농림업주요통계>, 2009

(2) 축산업 부문별 비중

축산업의 전체 생산액은 1997년 6조9,031억원에서 2004년 10조8,398억원으로 57.0%가 증가하였다. 이 중 식육으로 소비되는 소, 돼지, 닭의 생산액 변화를 살펴보면 1997년 소의 생산액은 2조 1,073억원(30.5%), 돼지의 생산액은 1조9,601억원(28.4%), 닭의 생산액은 7,729억원(11.2%)으로 소의 비중이 가장 컸으나, 외환위기로 쇠고기의 소비가 급감한 1998년부터는 돼지의 비중이 더 커지면서 2008년 현재 소의 생산액은 3조 5,476억원(26.1%), 돼지는 4조 0,853억원으로(30.1%), 닭은 1조 429.4억원(10.5%)으로 나타났다(표2, 그림2).

Table 2. Yield changes in livestock sector

(단위:10억원, %)

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
축산업 생산액(A)	6,903	7,515	7,937	8,082	8,312	9,052	8,870	10,540	11,737	11,676	11,277	13,593
소 생산액(B)	2,107	1,836	1,778	1,879	1,700	2,136	2,463	2,894	3,148	3,274	3,478	3,548
비중(B/A)	30.5	24.4	22.4	23.2	20.5	23.6	27.8	26.7	26.8	28.0	30.8	26.1
돼지 생산액(C)	1,960	2,390	2,687	2,372	2,692	2,918	2,681	3,667	3,759	3,609	3,320	4,085
비중(C/A)	28.4	31.8	33.9	29.3	32.4	32.2	30.2	33.8	32.0	30.9	29.4	30.1
닭 생산액(D)	773	858	768	821	863	729	641	948	1,113	1,330	1,028	1,429
비중(D/A)	11.2	11.4	9.7	10.2	10.4	8.1	7.2	8.7	9.5	11.4	9.1	10.5

자료: 농림부, <농림통계연보>, 2009

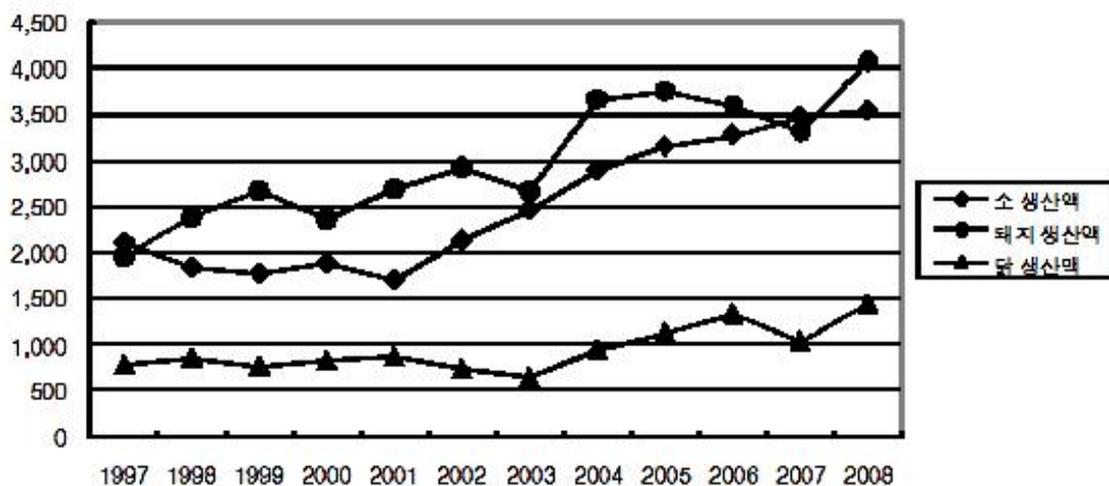


Fig. 2 Yield changes trend in livestock sector.

(단위: 10억원)

나. 한우산업의 생산 및 소비 현황

국내 한우 생산액, 사육두수, 농가수의 변화추이를 살펴보면, 1995년 17,756억원에서 2000년 18,788억원, 2007년 34,478억원으로 증가하였다. 또한 사육두수는 1995년 2,594 천두에서 2000년 1,590천두, 2007년 2,201천두로 증가하였다. 마지막으로 농가 수는 1995년에는 519천호이고 2000년 290천호, 2007년 184천호로 농가 수는 계속 감소하는 있는 실정이다.

국내 쇠고기 총 소비량은 1970년 이후 꾸준한 증가추세를 보이고 있으나, 2008년도에는 전년도에 비해 다소 감소한 365.1천톤이었다. 2008년 총 소비량 중 국내산은 17만 3,800톤,

수입산은 22만 4,100톤으로 전년에 비하여 국내산은 1.5%증가한 반면, 수입산은 10.5%가 증가하였다. 같은 기간 쇠고기 총 공급량은 2008년 43만 8,200톤으로 2007년에 비해 7.1% 증가하였다. 총 공급량 중 국내 생산량은 17만 3,800톤이며, 수입산 쇠고기의 물량은 22만 4,100톤이다.

쇠고기 소비량은 연간 1인당 7.6kg('07)수준으로 1인당 소비량 추이를 살펴보면 1995년에는 6.7kg/년, 2000년에는 8.5kg/년, 2003년 8.1kg/년이며 2008년에는 7.5kg/년이었다.

쇠고기의 수입물량을 보면 2007년(203천톤)은 '03년(294천톤)까지 증가하다가 '03.12월 미국의 광우병(BSE)발생으로 급감('04:133천톤) 후 회복세를 보이고 있다(표3).

Table 3. The supply and consumption of domestic beef

(단위: 천톤)

구분		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
공급	전년이월	73.5	18.0	55.0	99.9	49.9	28.0	35.0	40.3
	생산	162.6	147.4	141.6	144.9	152.4	158.1	171.2	173.8
	수입	166.0	292.3	293.6	132.9	142.6	179.4	202.8	224.1
	계	402.1	457.7	490.2	377.6	344.9	365.6	409.1	438.2
수요	국산소비량	164.4	147.4	141.6	144.9	152.4	158.2	171.2	173.8
	수입소비량	219.7	255.3	248.6	182.9	164.4	172.4	197.5	191.3
	차년이월	18.0	55.0	99.9	49.9	28.0	35.0	40.3	73.1
	계	402.1	457.7	490.2	377.6	288.9	295.6	328.4	292.0
총 소비량		384.1	402.7	390.2	327.8	316.9	330.6	368.7	365.1
자급률(%)		42.8	36.6	36.3	44.2	48.1	47.9	46.4	47.6
1인당소비량(Kg)		8.1	8.5	8.1	6.8	6.7	6.8	7.6	7.5

자료: 농협중앙회, <축산물 가격 및 수급자료>

다. 생산구조 및 비용분석

(1) 산업구조

한육우 사육은 번식·비육·일관사육으로 구분되며, 한우사육 농가 수는 감소 추세이나 사육의 전업화 및 규모화는 가속화되고 있다. 2000년대 이전에는 농가별로 사양방법이 상이했으나, 2000년 이후 한우브랜드화가 활성화되고 이에 사육농가가 규합되어 사양방법을 통일하는 등 상품성제고를 위한 전업농가의 조직화는 증가 추세이다(표4).

Table 4. Industrial structure of Hanwoo

구분	2000년	2005년	2007년
전체/전업농가(천호)	290/4.1	192/6.1	184/8.1
전업농가 사육비중(%)	25.0%	32.5	38.0
호당 사육두수(두)	5.5	9.5	11.9

자료: '08 농림부 내부자료

2007년의 한우 농가평균 소득은 번식우 736천원/두, 비육우 1,459천원/두이다. 사육두당 소득분포를 보면 번식우의 경우 30~49두 사육농가의 소득이 높은 반면, 비육우는 100두 이상 사육농가의 소득이 높다. 번식우 소득은 총 736천원으로 10두미만의 경우 885천원, 10~29두는 751천원, 30~49두는 899천원, 50두 이상은 565천원이다. 이에 반해 비육우의 소득은 총 1,459천원이며 20두미만은 1,262천원, 20~49두는 1,557천원, 50~99두는 1,578천원, 100두 이상의 경우는 1,625천원이다.

한우사육의 지역별 분포를 보면 전국적으로 사육되고 있으나 주산지는 경북(20.3%), 전남(16.6%), 충남(12.6%) 순이다(표5).

Table 5. The main producing area and rate of Hanwoo ('08.9)

순위	도 별		
	지역명	사육 마리 수(마리)	점유율(%)
전국		2,469,895	100.0
1	경북	501,979	20.3
2	전남	409,032	16.6
3	충남	311,335	12.6
4	전북	276,632	11.2
5	경남	263,502	10.7

자료: 농협중앙회, <축산물 가격 및 수급자료>

(2) 생산단계 비용분석

(가) 번식단계(한우암소)

2007년 송아지 생산비(번식우 두당 사육비의 평균) 214만원이고 평균 번식률은 74.5%이다. 생산비는 사료비, 고용노력비, 자가노력비, 자본이자, 기타 등으로 이루어지며 이중 사료비 등 직접비용이 55%로 121만원이며, 고정자본이자 28%, 자가노력비 17%등을 합한 간접비용이 45%로 97만원이다. 사육규모별 생산비를 보면 30~49두 농가의 생산비가 가장 낮으며, 50두 이상 대규모농가의 생산비가 높다. 이는 규모의 증가에 따라 자가 노력비는 감소하나 고용노력비가 증가한 탓이다(표6).

Table 6. The production cost for single calf ('07)

(단위:원/두)

구 분	사 육 규 모 별						'06 (b)	'05 (c)
	10두 미만	10~29	30~49	50두 이상	평 균 (a)	구 성 비 (%)		
사 료 비	783,102	853,507	754,905	923,267	866,745	39.7	803,072	796,573
(농후사료)	536,767	580,308	515,733	587,972	576,993	26.4	519,952	533,137
(조 사 료)	246,195	263,740	234,013	292,318	271,387	12.4	264,912	245,322
(TMR사료)	140	9,459	5,159	42,977	18,365	0.8	18,208	18,114
고용노력비	611	8,974	1,287	37,534	15,828	0.7	15,525	10,026
기 타	273,984	307,242	291,640	381,729	330,442	15.1	335,558	315,171
소 계 (A)	1,057,697	1,169,723	1,047,832	1,342,530	1,213,015	55.5	1,154,155	1,121,770
자가노력비	588,975	395,016	294,870	184,666	362,519	16.6	384,439	345,557
자본이자	550,672	569,395	545,396	666,027	609,133	27.9	615,616	622,618
합 계 (B)	2,197,344	2,134,134	1,888,098	2,193,223	2,184,667	100.0	2,154,210	2,089,945
부산물수입(C)	45,027	45,741	46,308	32,425	42,240		75,627	81,150
경영비(A-C)	1,012,670	1,123,982	1,001,524	1,310,105	1,170,775		1,078,528	1,040,620
생산비(B-C)	2,152,317	2,088,393	1,841,790	2,160,798	2,142,427		2,078,583	2,008,795
번식률(%)	79.2	76.8	82.3	72.0	74.5		75.3	75.2

자료: 농협중앙회'07년 축산물생산비조사 기준

(나) 비육단계(한우수소)

통상적으로 5~6개월 령의 수송아지를 구입하여 비육을 시작하며 송아지 구입 후 6개월 령에 거세를 실시한다. 거세율은 2000년(13.7%), 2005년(49.4%), 2007년(60.6%)이었다가 2008년 7월에는 68.1%로 그 비율은 점점 증가하고 있다. 송아지는 약 18~24개월까지 비육한 후 24~30개월 령에 출하하는 것이 일반적인데 비거세우의 경우 24개월 령 전후, 거세우는 30개월 령을 전후하여 출하한다. 출하 시 거세우는 대부분 조합이나 브랜드주체를 통해 계통출하하고 등급판정결과에 따라 대금을 정산한다. 반면 비거세우의 경우 주로 가축시장이나 산지수집상을 통해 생체가격으로 판매한다.

2007년 비육농가는 평균157kg의 송아지를 구입하여 평균643kg에 판매하였고 평균사육일수는 621일이다. 규모별 특성을 보면 대규모농가는 판매체중과 사육기간이 긴 반면 일당증체량은 낮다(표7).

Table 7. The production status of fattening cattle ('07)

구 분	사 육 규 모 별				평균
	20두미만	20~49	50~99	100두이상	
구입체중(kg/두)	162	152	153	157	157
판매체중(kg/두)	620	654	657	665	643
사육일수(월)	562 (18.7월)	654 (21.8)	652 (21.7)	669 (22.3)	621 (20.7)
일당증체량(kg/두)	0.815	0.768	0.773	0.759	0.783

자료: 농협중앙회 '07년 축산물생산비조사 기준

비육우 두당 사육비는 5,070천원 중 사료비 등 직접비가 4,099천원으로 81%이며 자가노력비 등의 간접비용이 971천원으로 19%이다. 사육규모가 커질수록 사육비용이 증가하는데 이는 주로 사료비와 고용노력비가 증가하는 반면 가축비는 일정하기 때문이다. 간접비의 경우 자가노력비가 줄어 규모가 증가할수록 오히려 감소하는 경향을 볼 수 있다(표8).

Table 8. The production cost for single fattening cattle ('07)

(단위 : 원/두)

구 분	사 육 규 모 별						'06 (b)	'05 (c)
	20두 미만	20~49	50~99	100두 이상	평 균 (a)	구 성 비 (%)		
가 축 비	2,337,921	2,265,621	2,269,117	2,255,251	2,292,442	45.2	2,206,983	2,384,787
사 료 비	1,267,296	1,542,310	1,627,686	1,613,602	1,463,390	28.9	1,312,127	1,254,920
(농후사료)	993,701	1,183,660	1,290,827	1,091,977	1,111,820	21.9	1,000,855	988,913
(조 사 료)	236,933	289,322	306,443	262,500	267,051	5.3	253,708	227,193
(TMR사료)	36,662	69,328	30,416	259,125	84,519	1.7	57,564	38,814
고용노력비	5,451	8,714	8,989	62,377	17,305	0.3	21,085	14,422
기 타	286,630	378,490	312,626	349,477	325,946	6.4	335,041	288,676
소 계	3,897,298	4,195,135	4,218,418	4,280,707	4,099,083	80.8	3,875,236	3,942,805
자가 노력비	442,565	361,628	246,013	115,001	327,753	6.5	379,498	323,703
자본이자	560,925	687,087	697,354	705,856	643,275	12.7	591,591	600,513
합 계	4,900,788	5,243,850	5,161,785	5,101,564	5,070,111	100.0	4,846,325	4,867,021
부산물수입(C)	23,968	21,066	10,856	14,986	19,295		22,873	27,812
경영비(A-C)	3,873,330	4,174,069	4,207,562	4,265,721	4,079,788		3,852,363	3,914,993
생산비(B-C)	4,876,820	5,222,784	5,150,929	5,086,578	5,050,816		4,823,452	4,839,209

자료: 농협중앙회 '07년 축산물생산비조사 기준

라. 한육우의 가격동향

한우의 산지가격의 상승세가 계속되어 2007년에는 9월의 산지가격은 이전 40여개월간 최고치를 기록하였다. 이는 한우 정육식당 및 직거래장터가 한우의 새로운 판매망으로 성장하여 한우소비자체가 꾸준히 증가했기 때문이다. 또한 원산지 표시제와 쇠고기 이력추적제 확대 시행으로 한우에 대한 신뢰도가 한층 높아진 것도 하나의 이유이다. 2007년 9월 한우 암소(600kg)의 산지가격은 540만 5천원으로 8월의 평균가격인 508만 9천원에 비해 31만 6천원 가까이 올랐다. 같은 기간 한우 수소의 산지가격 역시 487만원에서 516만 7천원으로 30만원 가까이 뛰었다. 이기간의 가격 상승은 6%에 달한다. 또한 암소는 2006년 평균가격인 417만원에 비해 약 30% 오른 것으로 지난 2006년 4월 이후 약 40개월 만에 가장 높은 수준이다. 수소의 산지가격 역시 2006년 거래가격인 356만 1천원에 비해서는 무려 45%이상 상승하였다. 송아지 가격 역시 상승했는데 2009년 9월의 가격은 240만 1천원으로 1년 만에 무려 140만원이나 급등하였다. 이는 소비자의 수입육에 대한 불신을 반영한 것이라 볼 수 있다(표9, 그림3).

Table 9. Price trends in production locality

(단위: 천원)

		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월
송아지	암	1,370	1,482	1,509	1,629	1,718	1,869	1,930	2,032	2,125
	수	1,514	1,618	1,669	1,852	1,989	2,121	2,176	2,312	2,411
250Kg	암	1,565	1,708	1,762	1,923	2,028	2,183	2,251	2,350	2,400
	수	1,787	1,890	1,964	2,187	2,324	2,498	2,549	2,656	2,724
350Kg	암	2,725	2,874	2,833	2,874	2,906	3,150	3,102	3,179	3,340
	수	2,485	0	2,732	0	2,800	2,565	2,974	2,923	3,164
600Kg	암	4,602	4,584	4,597	4,670	4,698	4,751	4,831	5,089	5,405
	수	3,659	3,694	3,699	3,688	3,702	3,808	3,949	4,870	5,167

자료: 농협중앙회 유통정보, 월별가격동향

실제로 농협의 각 단위조합들이 운영 중인 정육점형 식당인 축산물프라자의 경우 2006년 70개에서 2007년 9월말 현재 100개로 증가하였다. 또한 대규모 한우단지만 전국에 13곳이 조성되어 있고 최근 수도권 등에 소규모 형태의 한우전문 식당 등도 대거 생겨나고 있다.

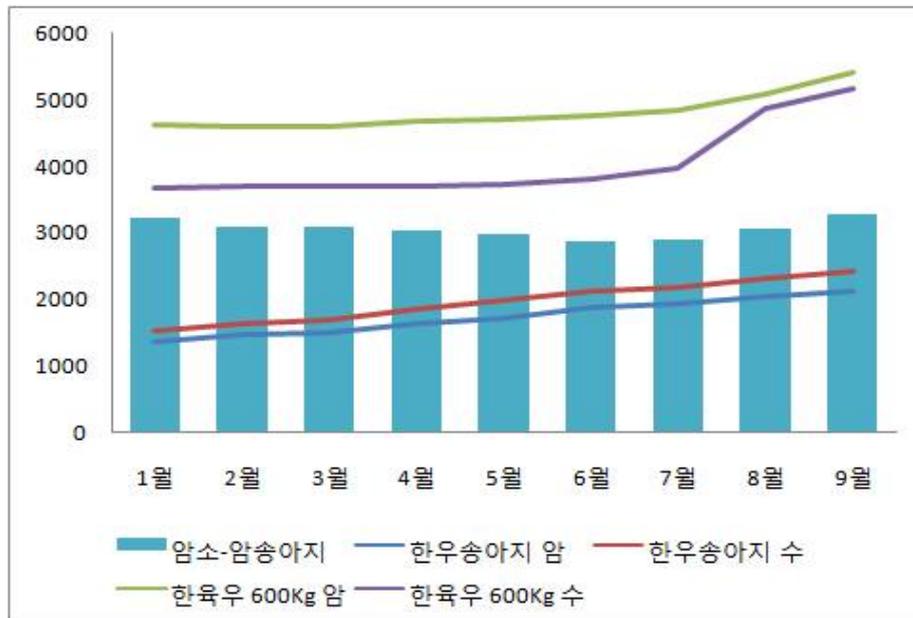


Fig. 3 Price trends of Hanwoo in production locality.

2. 한육우의 유통구조

이 부분에서는 국내에서 소의 유통과 이들의 생축이 도축되어 고기로 유통되는 과정에 대하여 살펴보고자 한다. 구체적으로 제 1절에서는 유통구조, 제 2절에서는 유통경로, 제 3절에서는 유통비용분석에 대하여 살펴보고자 한다.

가. 유통구조

(1) 생산·출하 단계

한우 사육농가는 2008년 9월 기준 181천호이고, 사육두수는 2007년 12월말 2,034천두에서 266천두가 증가한 2,300천두이다. 사육두수는 최근 들어 지속적으로 증가하는 추세이므로 사육 증가에 따른 소 값 하락 등 한우산업 여건변화에 대응하기 위한 대책이 요구되며 유통단계의 고비용구조 등은 우선적으로 해결해야 할 과제이다.

정부는 2004년부터 개방화에 대응하여 규모화 된 우수 브랜드 집중 육성을 통한 경쟁력 강화 등 축산물 브랜드 육성대책 추진하고 있다. 목표는 2013년까지 80여개 축산물브랜드 육성, 출하비중 50%달성이다. 2007년 11월에 2단계 발전대책(2007.11)을 수립하여 규모화·차별화된 브랜드를 통해 고품질 생산, 유통기반 강화, 직거래 등 경영·마케팅역량 향상에 주력하고 있다. 이에 지리산 순한한우 등 11개 광역브랜드 출현 등 광역화에 진전이 있었으나, 안정공급 능력이 확보된 조직화 단계 진입은 아직 미흡한 상황이라고 할 수 있다.

전국 80개소 가축시장을 보면 연간 300천두 내외가 거래되고 있으나, 비거세우 등 저급육 위주로 거래되고 있어 그 기능이 점차 축소되고 있다. 또한 수집반출상은 전국에 약 1,000여명이 활동(월 100두 이상 50여명)하고, 이들은 정육점·대형매장·대량 수요처 등에 직접 공급하는 역할을 한다.

(2) 도축·가공단계

80개소 도축시설(공판장 7개, 도매시장 6개, 축산물종합처리장(LPC) 8개, 도축장 59개)에서 68만두의 한·육우를 도축하며 2007년의 평균 가동률은 31%이다. 규모별로 보면 20천두 이상 도축규모 9개소에서 약 46%를 도축하고, 나머지 71개소에 54%를 도축하고 있어 이것이 도축장 경영악화 요인으로 작용하고 있음을 알 수 있다(그림4). 따라서 도축장 규모화를 통한 가동률 향상과 위생처리능력 제고, 가공·포장·도매기능의 일관화로 유통 효율성 향상이 요구된다.

식육포장처리업체는 전국 1,262개소로 연간 529천톤(부산물포함) 처리하고 있다. 또한 요식업소 등의 틈새시장을 목표로 하는 소규모 업체가 많으며(연 매출 10억원 미만인 66%, 839개소), 수입육을 동시 취급하는 경우가 많다. 따라서 처리능력 규모화 및 한우 유통의 투명성 제고가 필요하다.

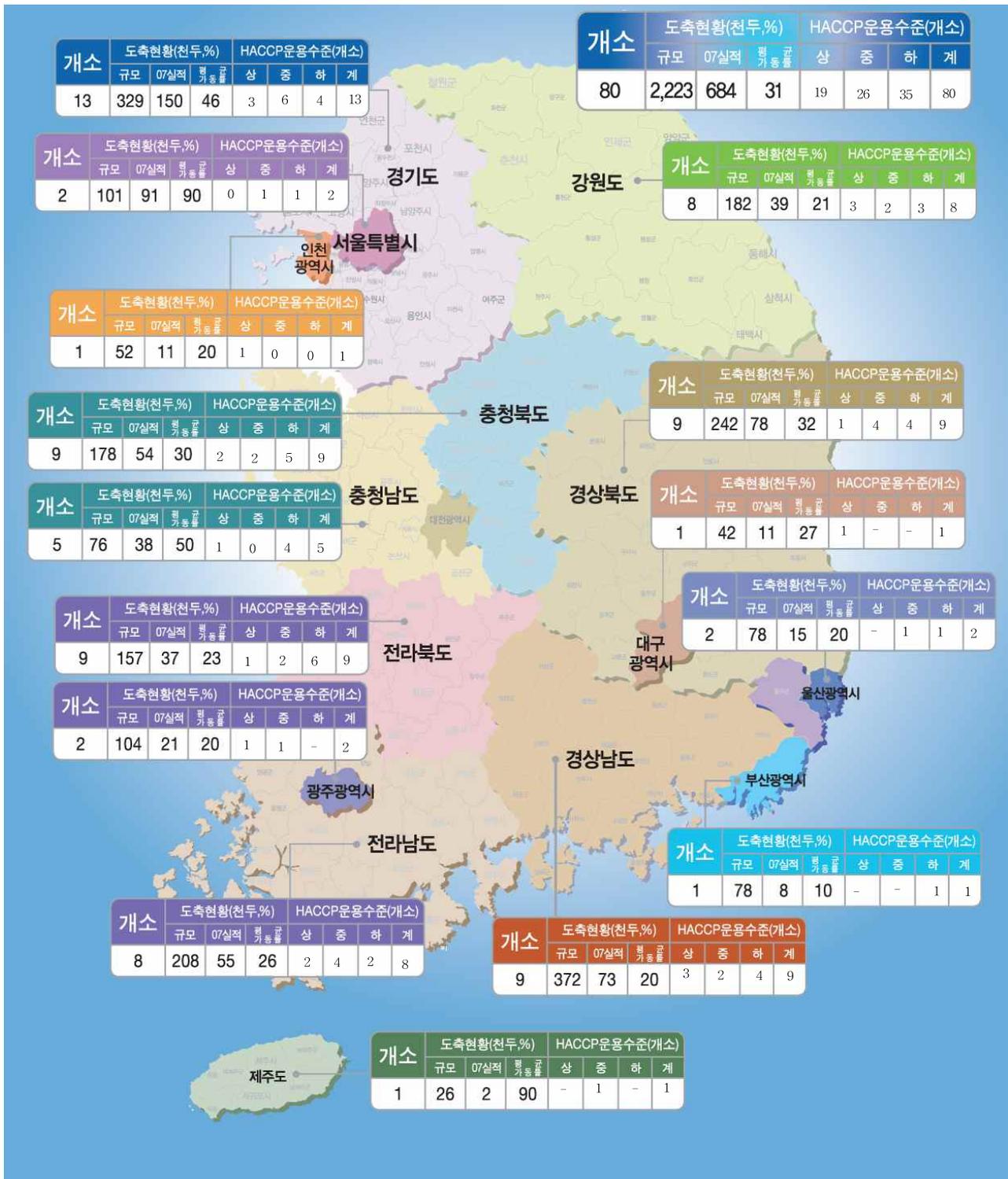


Fig. 4 The status of cattle slaughterhouses all over the country.

자료: '08 농림부 내부자료

(3) 유통·소비단계

한우육의 국내 유통은 도매기능은 공판장 중도매인, 도매상인(대상인 300여명), 육가공공장 등이 수행하고 있으며, 각 대상인은 소매점 15개 내외에 공급하여(총 4,500여개), 국내 유통물량의 20%를 처리한다.

식육판매업소는 총48,362개소로 이중 백화점 80개소, 대형마트 316개소, 슈퍼 7,027개소, 농·축협 2,169개소, 식육점 38,770개소에 이른다. 최근 한우육의 새로운 판매망인 정육식당, 한우판매타운(14개 업체, 355개소 운영)등의 개설이 늘고 있으며, 상설 직거래 장터(101개소)도 증가추세에 있다. 이에 공정하고 합리적인 가격결정체제 구축이 요구된다(표10).

Table 10. The business criteria on livestock slaughterhouses, processing and sales

구분	허가·신고대상	영업자 수('07, 개소)	시설 기준	준수 사항
도축업 (식용목적으로 도살·처리)	허가 (시도)	80	부지 2,000m ² 이상, 계류장·작업실·검사실·폐기물처리시설·소독시설, 자동이송장치 등	종업원 위생교육, 검사관 지시 준수, 수질검사 등
가공업 (햄버거패티, 갈비가공품 등)	허가 (시도)	1,575	자동화시설(전과정), 악취제거 시설, 온도조절시설(실내 15℃ 이하 유지) 등	종업원 위생교육, 표시사항 준수, 생산·작업기록 및 원료수불 관계서류 보관 등
포장처리업 (단순절단 후 포장, 첨가물·식품 등 혼입불가)	허가 (시군구)	2,423	악취제거시설, 온도조절시설(실내 15℃이하 유지) 등	종업원 위생교육, 냉동육의 해동 판매 금지, 생산·작업기록 및 원료수불 관계서류 보관 등
운반업 (도축이후 축산물 운반)	신고 (시군구)	1,390	운반시설(냉장·냉동), 세차시설, 차고, 영업장	종업원 위생교육, 수질검사, 생축운송 금지, 지육유통시 현수, 냉장·냉동 유지 등
식육판매업 (식육·포장육 판매, 소분 가능)	신고 (시군구)	48,362	작업장, 냉장·냉동시설, 진열상자, 저울, 급수시설, 화장실 등	종업원 위생교육, 도축검사증명서 보관, 수질검사, 냉동육의 해동판매 금지, 거래내역서 보관 등
수입판매업 (축산물 수입업)	신고 (검역원)	2,675	독립된 영업소, 보관창고, 급수시설, 화장실 등	냉장육의 냉동전환시 신고, 거래내역서 작성보관 등
이동판매 (직거래)	승인 (농식품부)	8대	냉동·냉장시설 갖춘 차량, 판매업의 시설기준과 동일(단, 영업장·작업실·급수시설·화장실에 대한 기준완화)	식육판매업의 준수사항과 동일

자료: '08 농림부 내부자료

나. 소 및 쇠고기 유통경로

농가에서 출하된 소는 단계별로 크게 4가지 형태로 유통되고 있으며 그 유형은 다음과 같다.

○ I 유형(6단계): ('03) 33% → ('06) 13.1%

* 농가 → 우시장 → 수집반출상 → 도축장 → 도매 → 소매 → 소비자

○ II 유형(5단계): ('03) 43% → ('06) 40.1%

* 농가 → 수집반출상 → 도축장 → 도매 → 소매 → 소비자

○ III 유형(4단계): ('03) 12% → ('06) 40.1%

* 농가 → 생산자단체 → 도축장 → 소매 → 소비자

○ IV 유형(3단계): ('03) 12% → ('06) 6.7%

* 농가 → 도축장 → 소매 → 소비자

현재 소 및 소고기의 유통경로(그림5)를 살펴보면, 규모화와 브랜드 사업의 진전으로 우 시장이나 수집반출상을 통한 출하방식은 감소하고, 브랜드 경영체를 통한 출하는 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 식육판매점의 경우 비선호 부위 판매에 어려움이 있으므로 지육 보다는 육가공업체 등을 통한 부분육의 구매를 확대하고 있는 실정이다.

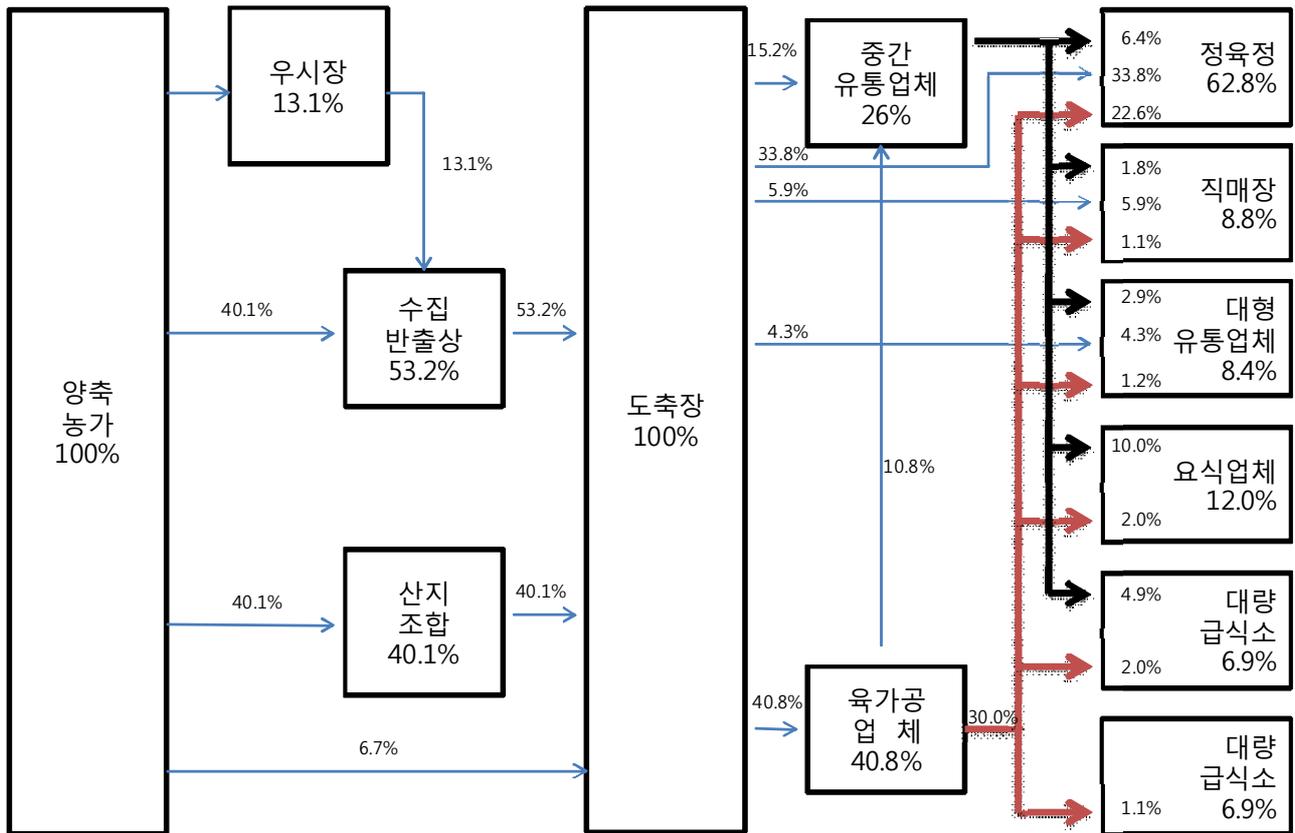


Fig. 5 The distribution channel ratio of cattle and beef.

자료 : '2006 가축 유통실태 조사 및 개선방안' 연구용역 결과(한국육류유통수출입협회)

다. 유통비용분석

(1) 경로별 유통비용

유통경로와 지역별로 유통비용은 다소 차이가 있지만, 소비자 판매가격의 40% 내외로 유통비용이 발생한다. 2008년도 소고기의 평균 소비자 판매가격은 9,648,500원, 농가수취가격은 5,736,111원(59.5%), 유통비용은 3,912,369원(40.5%)으로 조사되었다. 이를 좀 더 자세하게 횡성 한우(거세, 1+등급)를 기준으로 살펴보면, 서울로 출하('08.8 기준)할 경우 평균 소비자 판매가격은 9,634천원, 농가 수취가격은 5,733천원(59.5%), 유통비용은 3,901천원(40.5%)으로 나타났다. 또한 유통단계가 짧은 생산자단체 직영판매를 통한 유통의 유통비용은 3,418천원(37.1%)으로 가장 낮음을 알 수 있다(표11,12,13).

Table 11. The price structure by commodity (단위: 원, %)

구분	농가수취가	유통비			소비자가
		직접비	간접비	이윤	
소고기	5,736,111	368,225	1,197,996	2,346,148	9,648,500
(원/두)	59.5	3.8	12.4	24.3	100.00

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

참고: 농가수취금액은 소비자가격에서 유통비용을 제한 금액임(품목별 조사시점 가격 기준)

Table 12. The distribution cost according to the distribution ways of Hoengseong bullock (단위 : 천원/두, %)

구분		수집반출상	공판장 출하	생산자단체	평균
농가 수취가격		5,798 (58.9)	5,622 (59.6)	5,798 (62.9)	5,733 (59.5)
유통비용		4,051 (41.1)	3,816 (40.4)	3,418 (37.1)	3,901 (40.5)
단계별	출하단계	50 (0.5)	78 (0.8)	50 (0.5)	60 (0.6)
	도매단계	290 (2.9)	319 (3.4)	530 (5.8)	325 (3.4)
	소매단계	3,711 (37.7)	3,419 (36.2)	2,838 (30.8)	3,515 (36.5)
비용별	직접비	312 (3.1)	448 (4.7)	330 (3.6)	364 (3.8)
	간접비	1,050 (10.7)	1,000 (10.6)	2,142 (23.2)	1,146 (11.8)
	이윤	2,689 (27.3)	2,368 (25.1)	946 (10.3)	2,396 (24.9)
소비자 판매가격		9,849 (100)	9,438 (100)	9,216 (100)	9,634 (100)

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

참고: 1. 수집반출상 : 농가 → 수집반출상 → 도축장 → 도매상 → 정육점

2. 공판장출하 : 농가 → 산지 조합 → 도축장 → 도매시장(공판장) → 정육점

3. 생산자단체 : 농가 → 산지 조합 → 도축장 → 직영판매점

Table 13. The details of distribution cost by channels

구 분		수집반출상		공판장출하		생산자단체		산출근거
단계별	비용명세	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
양추가	농가수취가	5,798	58.9	5,622	59.6	5,798	62.9	생체중 650kg
수 집 반출상	용역비	340	3.5					수집반출상
	-생체운송	(50)	(0.5)					농가→도축장
	-자조금	(20)	(0.2)					
	-도축비	(122)	(1.2)					수수료 81, 도축세 38, 등급판정 등 3 * 산지도축
	-지육운송비	(50)	(0.5)					도축장→서울 (400천원/8두)
	-하차비	(20)	(0.2)					주차장→정육점
	-간접비	(50)	(0.6)					통신비, 교통비 등
	-이 윤	(28)	(0.3)					
공판장	운송비			48	0.5			380천원/8두
	조합수수료			30	0.3			경락가의 0.5%
	자조금			20	0.2			
	도축비			129	1.4			수수료 86, 도축세 40, 등급판정 등 3 * 공판장 도축
	상장수수료			89	0.9			경락가의 1.5%
	중개수수료			81	0.9			지육경락가의 1.43%
생산자 단 체	생체운송비					50	0.5	농가→도축장 (100천원/2두)
	부분육생산비					180	2.0	골발비 120, 소포장재비 60
	자조금					20	0.2	
	지육운송비					80	0.9	도축장→직영판매장 (240천원/3두)
	간접비					250	2.7	판매홍보촉진비용
최 종 소비처 (정육점, 직영점)	골발비	50	0.5	50	0.5			지육 →정육
	간접비	1,000	10.1	1,000	10.6	1,892	20.5	점포유지관리, 공과금, 인건비, 감가상각비 등
	이 윤	2,661	27.0	2,338	24.8	946	10.3	
	판매가격	9,849	100.0	9,438	100.0	9,216	100.0	

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

(2) 단계별 유통비용 분석

소 및 소고기의 유통단계는 크게 출하단계-도축단계-가공단계-도매단계-소매단계의 5단계로 구분할 수 있으며, 자세한 사항은 다음과 같다.

(가) 출하단계

출하단계는 다음의 4가지로 나눌 수 있으며 그 유통단계는 다음과 같다.

○ 가축시장 출하형

농가 → 가축시장 → 수집반출상 → // 도축장 → 도·소매

○ 산지수집상 출하형

농가 → 산지수집상 → 도축장 → // 도·소매, 대형유통업체

○ 계통 출하형

농가 → 산지 조합 → // 도축장(공판장) → 도·소매

○ 브랜드 출하형

농가 → 브랜드 경영체 → // 도축장 → 직영점, 대형유통업체

각 출하단계에 따라 유통비용은 상이하며 가축시장 출하형의 유통비용은 108천원/두로 이 과정에서 발생하는 유통비는 생체운송비(농가→가축시장) 30천원, 우시장 사용료 10천원, 수집반출상 이윤 18천원, 생체 운송비(가축시장→도축장) 50천원이다. 이러한 방법은 번식농가(암소) 및 10두 미만 소규모 농가에서 주로 선택하고 있다. 다음은 산지수집상을 통한 출하형으로 유통비용은 68천원으로 영월 다하누촌, 정읍 산외마을, 착한고기 등이 산지수집상을 통한 출하의 사례이다. 이들은 산지수집상과 계약 출하를 하며 별도의 사양관리는 없고, 경우에 따라 산지수집상이 육가공장 또는 도매점을 운영하는 경우도 있다. 계통출하형의 유통비용은 80천원/두(운송비 50, 조합 수수료 30)로 브랜드 경영체에 가입하지 않은 조합원이 이용하는 방식이다. 브랜드 출하형의 경우에는 50천원/두(운송비 50)의 유통비용이 들며, 이 때 종축 및 통일된 사양관리를 통해 생산된 거세한우를 브랜드로 육성·출하하며 브랜드 경영체는 조합형과 영농조합형의 두 형태로 구분된다.

(나) 도축단계

도축단계 유통은 크게 도축과 공판기능을 갖춘 공판장 출하와 단순 의뢰도축의 두 가지로 구분한다. 도축단계에서 도축비, 도축세, 등급판정 수수료, 검사료, 자조금의 유통비용(약 133,000원)이 공통적으로 발생하며, 공판장 출하시에 중개수수료와 상장수수료가 공통비용에 추가(17,000원 정도)적으로 필요하다(표14).

Table 14. The expenses in slaughter process

구 분	유통비용	관련 법규	수취인	부담자
도 축 비	70,000원/두	축가법 시행규칙 제38조	공판장	출하자
도 축 세	39,890원/두	지방세법 제234조의2 제2항	지자체	출하자
등판 수수료	2,000원/두	축산법 제41조제3항	등판소	출하자
검 사 료	1,500원/두	축가법시행규칙 제59조	지자체	출하자
자 조 금	20,000원/두	축산자조금법	자조금 단체	출하자
상장 수수료	거래금액 × 1.5%	농안법 시행규칙 제39조 3항4호	공판장	출하자
중개 수수료	지육경락가 × 1.43%	농안법 시행규칙 제39조 3항4호	중도매인	구입처

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

(다) 가공단계

육가공업체는 '08년 기준 1,262개소로 연간 529천톤(부산물 포함)을 처리하며 도축장(91.2%) 및 도매시장(8.8)에서 지육을 들여와 부분육으로 생산한다. 육가공업체는 이를 각각 정육점(55.5%), 중간유통업체(25%), 요식업체(14.5%), 대량급식처(5.0%) 등에 공급하며, 육가공업체 발골 및 부분육생산 등에 소요되는 유통비용은 판매가격의 7% 수준이다. 일반적으로 부분육의 판매가격은 산지가격에 의해 결정되기보다 당시 유통시장의 여건에 따라 결정된다.

(라) 도매단계

한우고기 도매기능은 공판장 중도매인, 도매상인(대상인 300여명), 육가공공장 등이 수행한다. 도매상인은 보통 15개 내외의 소매점(총 4,500여개)을 관리하며, 국내 유통물량의 20%를 처리하고 있다. 중간유통업체는 일반도축장(50.4%), 육가공업체(41.5%), 도매시장(8.1%)에서 부분육을 구입하여, 요식업체(38.4%), 정육점(24.5%), 대량급식처(19.0%), 대형

마트(11.0%), 직매장(7.1%)에 공급한다. 최근에는 육가공업체가 주로 도매업을 겸하고 있어 중간유통업체를 통한 유통 비중은 감소 추세이다. 또한 도매단계 유통비용은 평균 4% 수준이며, 생산자단체 직영판매(판매 홍보·촉진비용 추가 소요)가 가장 높게 나타난다. 경로별 도매단계 유통비용율을 보면 수집반출상이 2.9%, 공판장 3.4%, 생산자단체 직영판매가 5.8%이다.

(마) 소매단계

식육판매업소는 48천개소('07)이며, 서울·광역시에 41.7%가 분포한다(표15). 정육점(62.8%)이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 직매장·대형유통업체·요식업체 등이 주요 역할 수행하고 있다. 최근 쇠고기 판매량이 확대되고 있는 대형유통업체는 396개소(백화점 80, 할인매장 316)이며, 정육식당, 한우판매타운(14개 업체, 355개소 운영), 직거래장터(101개소), 홈쇼핑, 인터넷 쇼핑몰 등이 증가하는 추세이다.

소매단계의 유통비용은 발골비와 점포유지관리비, 인건비, 제세공과금, 감가상각비 등을 포함한 간접비로 구성된다. 판매처별로 소비자 가격은 상품성 등에 따라 차이가 있을 수 있으나 일반적으로 백화점>대형마트>정육점>농협 하나로마트의 순이다(표16).

Table 15. The status of meat shops

지 역	식육판매업소		지 역	식육판매업소	
서울	7,927개소	16.4%	경기	9,187개소	19.0%
부산	3,207	6.6	강원	2,065	4.3
대구	2,513	5.2	충북	1,850	3.8
인천	2,179	4.5	충남	2,343	4.8
광주	1,878	3.9	전북	2,323	4.8
대전	1,349	2.8	전남	2,743	5.7
울산	1,114	2.3	경북	3,705	7.7
-	-		경남	3,341	6.9
-	-		제주	638	1.3
소계	20,167	41.7	소계	28,195	58.3
합 계 : 48,362개소 / 100%					

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

Table 16. The consumer prices of Hanwoo in shop kinds

(단위 : 천원/두)

업 체 별	백화점	대형할인매장	정육점	농협
판매가격	11,119	8,860	7,588	6,801

자료: 농수산물 유통공사, 판매처별 가격조사 결과('08. 10, 농협, 3등급 기준, 600kg)

직영점은 10% 수준의 이윤을, 일반정육점 및 대형마트는 25~30%의 이윤을 부가하여 판매한다. 농협은 부분육 및 마리단위 구매를 병행하고, 많은 판매장을 운영하기 때문에 매장별 교환 판매를 통해 체화부위 해소하고 있다. 이에 반해 정육점 및 대형마트는 마리단위 구매를 하기 때문에, 비선호 부위 및 부산물 재고 등을 이유로 이윤을 높게 책정하고 있다.

한우 두당 판매대금 중 정육이 87%, 부산물이 13% 내외로 부산물 소비의 급감으로 부산물가격이 정육가격에 전가되는 경향이 있다. 따라서 정육의 경우, 소비자 선호부위인 등심, 안심, 채끝 등의 판매가격을 비선호 부위인 사태, 갈비 등의 2.2배 이상으로 책정되는 경우가 발생한다. 소 한 마리(650kg) 중 선호부위는 53kg 내외로 전체(237kg)의 22% 수준으로 등급별로 다소 차이가 있으나 1,169~1,429천원에서 부산물이 판매되고 있다.

(2) 연도별 유통비용 현황

농가→수집반출상→도축장→소매→소비자의 유통경로를 통한 연도별 유통비용을 형성→서울의 경우를 통해 보면 표17과 같다.

Table 17. The status of distribution cost in years

(단위: %, 원/두)

구분		'04	'05	'06	'07	'08
유통비용(비율)		37.2	37.1	40.2	37.1	41.1
비용별	직접비	6.0	4.6	4.5	4.1	3.1
	간접비	17.5	13.0	13.5	12.7	10.7
	이윤	13.7	19.5	22.2	20.3	27.3
단계별	출하단계	5.2	0.7	0.7	0.3	0.0
	도매단계	-	4.3	4.3	4.1	3.5
	소매단계	32.0	32.1	35.2	32.7	37.6
농가수취가격		3,920,000	4,825,000	4,662,500	5,235,000	5,797,945
유통비용액		2,322,430	2,849,373	3,130,168	3,090,155	4,051,305
소비자가격		6,242,430	7,674,373	7,792,668	8,325,155	9,849,250

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

유통비용율은 '08년에 41.1%로 전년대비 4.0%p 증가하였는데 이는 소비자가격 상승에 따른 소매단계 이윤증가가 원인이다. 또한 도축세 인하 등의 영향으로 직접비가 감소되었고 고정비의 성격이 강한 간접비는 소비자 가격상승으로 비율이 감소하였다.

나. 현행 유통구조의 문제점 및 대책

(1) 유통구조의 문제점

여러 유통단계를 거치면서 한우의 산지출하가와 소비자 구매가의 격차가 발생한다. 일반적으로는 산지에서 출하되어 정육점을 통해 소비자에게 한우가 공급될 경우 유통단계의 누적마진이 110%정도이다. 다시 말하면 1등급 600kg의 소를 농가에서 6,000,000원에 판매한다면 수집상은 이를 도축장에 5%의 마진을 붙여서 넘기게 된다. 도축장에서는 4만원/두의 도축비 등을 포함한 이윤 15%정도의 마진을 남기고 도매상에 판매한다. 이 때 한우의 가격은 7,245,000원으로 상승하게 된다. 도매상은 정육점 등 소매상에 비용을 포함해 30% 수준의 유통마진을 붙이고, 정육점은 운송비·보관비 등을 포함한 60%의 마진을 남겨 소비자 가격을 정한다. 이에 따라 최종 소비자는 15,069,600원에 구입하는 셈이다. 특히 한우는 도·산매 중개상인이 많아 보통 7~8단계를 거치기 때문에 유통마진은 더해질 수 있다. 또 한우 전문점 등 식당에서 소비자가 구입할 경우 마지막 단계에서 350%가 넘는 마진이 더해진다. 실제로 강원 영월 산지의 한우 직거래 매장인 '다하누촌'에서 1인분(150g)에 7000원 수준인 1등급 쇠고기(등심·안심·갈비살 등 모듈구이)가 강남과 광화문 등 서울 도심지역에서는 3만원 이상에 판매되는 등 유통비용의 증가로 인해 소비자 가격이 상승하고 있다.

(2) 대책

현행 유통구조의 문제점을 해결하기 위한 방안은 크게 출하단계, 도축가공단계, 소매단계로 구분하여 살펴볼 수 있다.

(가) 출하단계

농가 조직화 및 규모화를 통한 생산 및 출하단계의 비용절감 방법으로 수요처별 수요량과 수요시기에 대응한 송아지 생산·입식·출하조절을 실시하고 개체별로 통합출하와 관리 DB를 구축한다, 또한 생산·유통·경영·브랜드관리 등 각 분야별 전문가를 통한 브랜드 경영체별 취약분야에 대한 맞춤형 컨설팅 강화를 통해 비용을 절감할 수 있다.

(나) 도축·가공단계

도매시장과 LPC 등에 부분육 경매·가공시설을 확충하고 시설현대화를 지원하여 부분육 유통을 활성화하여 소비자의 비선호 부위의 적체를 해소하는 것도 하나의 방법이다. 또한 축산물 종합 도매·물류기지를 조성하여 유통의 활성화를 도모하여 유통비용을 줄일 수 있다.

(다) 소매단계

직영판매 비중 확대 및 직영판매 유통비용(간접비)을 절감한다.

직영판매의 유통비용(2,838천원/두)과 수집상 출하 등의 기타방법을 이용한 유통비용(3,591천원)을 가중평균한 유통비용은 두당 3,516천원이다(표18). 현재 직영판매비중이 10% 내외이므로 직영판매의 비중을 확대하여 유통비용을 절감하는 것도 고려해야 한다.

Table 18. The distribution cost of direct sale and the other sale('08)

(단위: 천원, %)

	기타방법			직영판매	유통비용
	수집상	공판장	평균(계)		
유통비용	3,711 (1,967)	3,419 (1,265)	3,591 (3,232)	2,838 (284)	3,516
점유비	53	37	90	10	

자료: 08년 농림부 내부자료

참고: ()내는 가중치 (유통비용*점유비)

3. 한우직거래 현황과 실태

가. 직거래 현황

다음은 직거래 장터 2곳과 서울 내 위치한 대형마트 2곳을 2009년 9월 21-25일의 5일간 조사를 한 한우 가격비교표이다. 직거래장터와 대형마트의 경우 등심100g기준의 최고등급(1++)의 가격은 한 직거래 장터가 7,500원인 반면 대형마트는 10,480원으로 무려 3000원의 차이가 났으며, 그 아래 등급 역시 평균적으로 2,000원의 차이를 보였다. 채끝 역시 1+등급은 3150원, 1++등급은 3480원 차이가 나고, 양지의 경우 1++등급은 4080원, 1등급은 2080원 차이가 있음을 볼 수 있다. 이외에도 부위와 등급에 관계없이 직거래 장터의 가격이 훨씬 저렴함을 알 수 있다(표19).

Table 19. Table of Hanwoo price comparison

(단위: 원/100g)

한우	직거래A	직거래B	하나로	A마트	직거래A	직거래B	B마트
등급	1+등급			1++등급			
채끝	6,500	6,700	9,500	9,650	7,000	7,200	10,480
양지	3,500	3,000	4,800		3,800	3,200	7,280
등심	8,000	7,000	9,500	9,950	8,500	7,500	10,480
앞다리	3,600				3,800		
부채살	5,600		6,000	8,570	6,000		
우둔	3,600		4,000		3,800		
안심		6,500	9,500	9,650		7,000	
사태		3,000				3,200	
차돌		2,800				2,900	
정육		2,700				2,800	

자료: 농수산물유통공사 조사자료('08.8)

다음의 그림은 한우 판매 FLOW와 일반구매시를 비교한 것이다. 산지/경매 가격을 100으로 보았을 경우, 일반구매의 경우 소비자는 382의 가격으로 한우를 구매해야 하는 반면 이마트의 경우 통합도축가공시스템을 운영하여 도축/가공장에서 원가 절감이 이루어지고 있으며, 센터 DC 운영을 통하여 안정된 가격으로 한우를 공급하여 소비자가 구매하는 한우의 가격이 352임을 알 수 있다. 이는 일반구매와 약 30의 차이가 나는 것으로 2008년 한우(두/600kg) 산지가격이 3,895천원임을 고려하면, 1168,5천원의 비용이 절감되는 것을 알 수 있다(그림6).

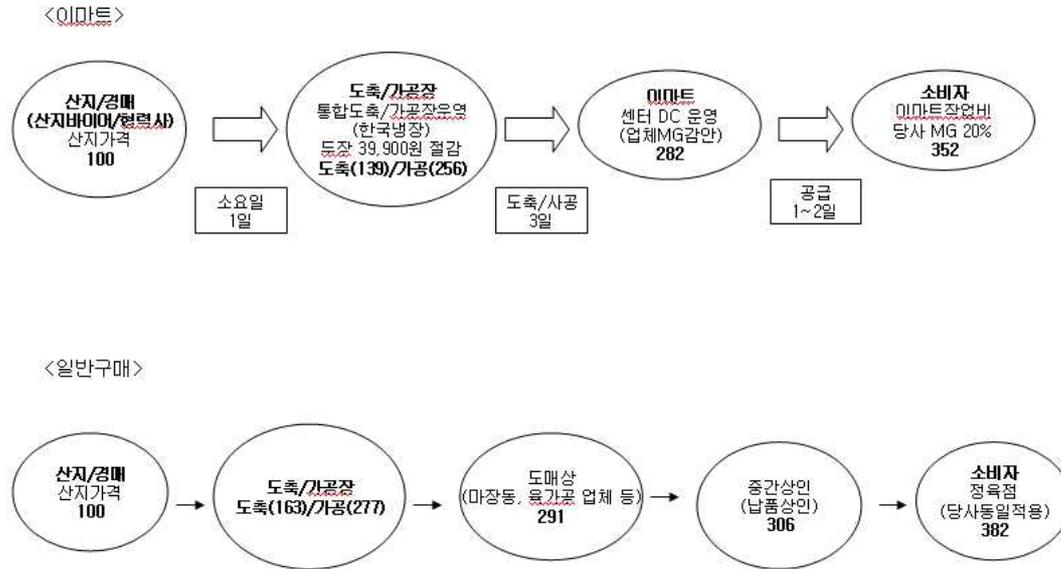


Fig. 6 Distribution flow of Hanwoo.

나. 한우산업조직화 - 축산물 브랜드 중심

한우농가 조직은 지역축협과 전국한우협회로 대별된다. 지역축협은 2007년 말 기준 119개 조합, 138천 농가, 1,929천두를 사육하고 있으며, 한우개량사업, 컨설팅, 송아지생산안정제, 쇠고기 이력사업, 계통출하, 구매사업 등 생산유통 관련 사업을 실시하고 있다. 한우협회는 9개 도지회, 130개 시군지부, 2만 농가가 참여하고 있으며 농가이익을 대변하는 농정활동 및 정책 건의, 한우 자조금 및 판매점 인증제사업 등을 추진하고 있다.

최근 축산물 브랜드를 중심으로 한 직거래가 증가하는 추세이다. 2007년 기준 특허청에 등록된 한우브랜드는 202개로 브랜드경영체 사육은 67만두로 전체 사육두수 205만두의 32.6%를 차지한다. 축협조합, 한우협회 및 영농법인 등 생산자 브랜드가 대부분을 차지한다(표20).

Table 20. Status of Hanwoo-brands ('07)

구 분		브랜드 수			사육규모	
		소계	활동	비활동	두수(천두)	비중(%)
생산자 브랜드	농·축협	71	65	6	495	74.1
	지자체	13	5	8	36	5.4
	생산자단체	41	23	18	106	15.9
	개별농가	27	16	11	5	0.7
	소 계	152	109	43	642	96.1
유통브랜드	가공 및 유통회사	50	33	17	26	3.9
합 계		202	142	60	668	100

자료: '08 농림부 내부자료 자료

한우브랜드는 1단계 비육농가 조직화 또는 2단계 번식농가관리 내용의 일부를 수행하는 초기단계 형태가 많다. 일부 발전조합은 1단계를 기반으로 3단계 유통기능을 추진하고 있다. 횡성, 안성마춤, 단풍미인, 대관령, 흥천, 늘푸름한우 등이 예이다. 다음은 광역화를 통해 4단계 기능을 추구하는 사례가 있으나 아직은 초보적인 단계에 머물고 있으며 지리산 순한한우, 청풍명월, 하늘소, 토바우, 하이록 등이 있다. 브랜드 발전 단계의 분류는 표21에 나타나 있다.

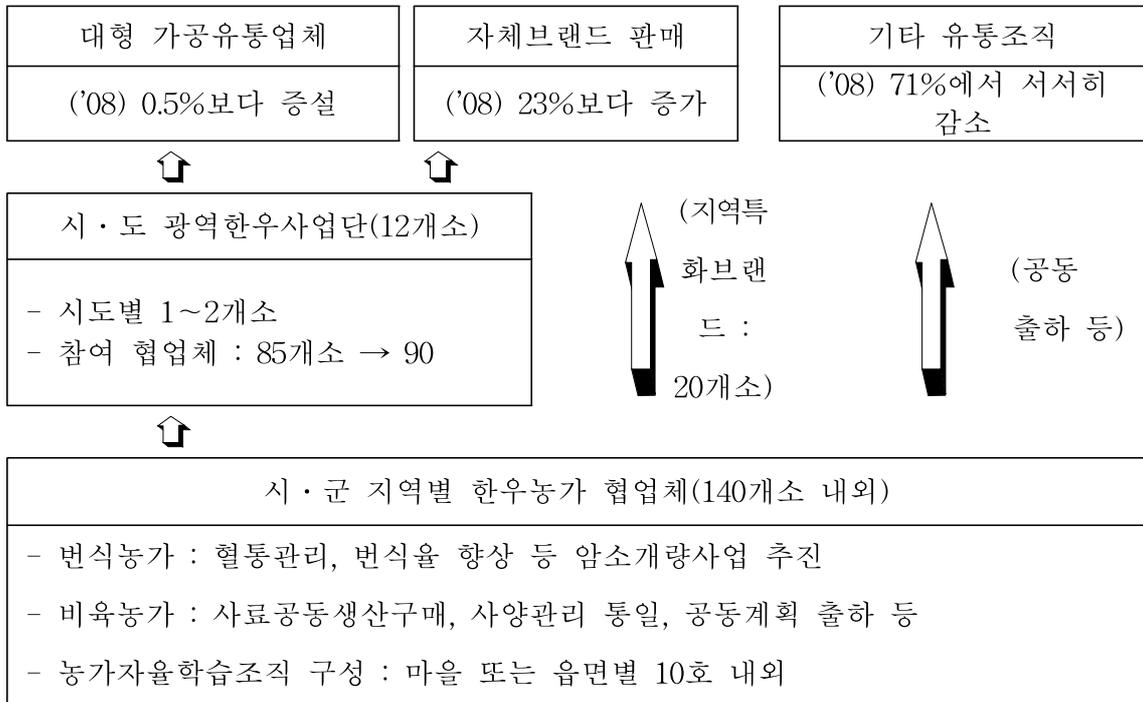
현재 번식농가의 대부분이 영세농가로 체계적인 컨설팅 및 관리가 미흡한 실정이며 한우 브랜드사업 참여두수의 비율이 32.6%의 수준으로 전국 202개 브랜드 경영체 중 정책사업에 참여하는 브랜드는 38개소에 불과하다(표22). 대부분이 초기단계 브랜드에 머물러 있어 번식농가까지 연계되는 경우가 적어 생산성 향상과 자율수급 조절 기능 강화 등 자율적으로 발전 역량을 제고하는데 어려움이 있다. 또한 브랜드별로 차별화의 요소가 없이 영세 브랜드가 난립하는 경우가 대부분이라 소비자의 혼선만 가중하는 실정이다. 이는 일반 소고기와 품질의 차별은 없으면서 가격만 비싸다는 인식을 소비자에게 주고 있으며 농가 수취가격은 낮고, 소비자가격은 높은 구조로 소비확대에 큰 제약을 준다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 시군 지역별로 한우농가 협업체를 구성하고 사업실적을 평가하여 우수 협업체에 차별화된 지원을 하고 전문컨설팅사업단을 운영하여 생산성 향상을 추진하여 한우산업조직화의 활성화를 유도해야 한다.

Table 21. The classifications of Hanwoo brand growth step.

단계	특 징	주요 내용
1 단계	비육농가 조직화	사료공동구매, 사양관리 통일, 공동방역, 농가 전문교육 실시, 적정 출하시기 지도 및 조절
2 단계	번식농가 관리	암소 정액공급 및 인공수정관리, 암소 개량자료 수집관리 및 분석, 우량 송아지 유통기능 확보
3 단계	도축·유통 기능 강화	가공장 확보 및 자기 브랜드 출시, 대형 유통업체와 연계·납품, 직매장 활성화
4 단계	대규모 전문 판매법인화	브랜드 자체 쇠고기 유통 주도능력 확보, 시장물량 조절 등

Table 22. System map of Hanwoo brand growth promotion plan



자료: '08 농림부 내부자료

다. 브랜드·산지와 소비판매점간의 직거래 확대 및 연계강화

앞서 언급한 바처럼 브랜드와 소비판매점간, 산지와 소비판매점간의 직거래 확대 및 연계 강화는 소매단계의 유통비용을 절감하여 소비자가 한우를 저렴한 가격에 구매할 수 있도록 한다. 브랜드와 소비판매점간 직거래 확대를 위해서 현형 축산물 직거래 장터 및 이동차량 운영확대로 생산-소비자의 접근성을 개선하려는 움직임이 최근 보이고 있다. 지차체/농협 등을 통한 직거래 장터개설, 아파트단지와 자매결연, 각종 지역 문화축제참여와 농협 금융 점포 활용을 통해 직거래를 확대하고 있으며 2009년 현재 38개소 17,000회가 시행되고 있으며, 정부는 축산물 이동판매차량도 2008년 8대에서 2009년에는 100대로 증차하고자 노력 중이다. 또한 직거래활성화를 위해 축산물 이동판매차량의 주체를 농협중앙회에서 지역조합까지 확대하며 이에 대한 승인권자도 농식품부장관에서 시도지사로 위임하였다. 또한 축산물 종합직판장 및 플라자(식육판매+식당) 개설하여 대도시 밀집지역 직판장이 2008년 기준 70개소이며 축산물플라자에 대한 전폭적인 지원을 통해 2008년 80억원에 달하였다. 이외에도 브랜드경영체와 식육판매업소간 직거래 체계를 구축하거나 브랜드경영체와 소비지 대량소비처간 직거래를 확대하는 방안을 통해 유통비용을 절감할 수 있다. 또한 IPTV(Internet Protocol Television), 사이버거래소 등 신유통채널과 전략적 제휴를 통한 온라인 시장 개척도 직거래 확대의 한 방법으로 최근 온라인을 통한 한우육 판매가 증가하고 있다.

온라인을 통한 판매는 고객이 당일 주문하는 양만큼 생산해 판매하는 주문생산시스템과 진공포장방식을 이용한 배송을 통해 10일 이상 냉장보관이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 시중 백화점에서 1등급 한우의 가격은 100g당 1만원에 육박하며 500g 기준으로 5만원하는 한우가 한 인터넷 쇼핑몰에서는 1만 5000원에 판매되고 있어 소비자의 반응이 매우 폭발적이다. 이는 시중 백화점보다 절반 넘게 저렴한 가격으로 판매 4~5시간 만에 모두 매진되는 진기록을 올렸다. 이와 같은 온라인 쇼핑몰은 산지와 직접연계를 통해 쇠고기 값을 시중 백화점에 비해 많게는 70% 가까이 떨어뜨리고 있다. 소비자들 역시 연일매진으로 이러한 온라인 쇼핑몰의 한우판매에 호응을 보내고 있다. 이러한 한우가격 파괴바람은 복잡한 유통구조를 없앴기에 가능해졌다. 보통 복잡한 유통구조를 거치면서 한우의 유통마진이 부풀려지는데 농수산물유통공사에 따르면 이렇게 부풀려진 유통마진은 쇠고기 값의 39.3%에 해당한다고 한다. 백화점에서 판매하는 일부 브랜드 한우 역시 산지와 직거래를 하지만 온라인을 통한 판매보다 값이 비싸기는 마찬가지이다. 일종의 '발뛰기'인 백화점 유통구조 상에는 브랜드 관리와 백화점 판매마진 등이 많이 포함되기 때문이다. 인터넷 쇼핑몰을 통한 판매는 온라인 직거래 수준으로 연결해 농가는 가격을 제대로 받으면서 소비자들도 저렴한 가격에 한우를 구입할 수 있게 되어 매우 긍정적이다.

온라인을 통한 한우육 구입이 활성화되기 위해서는 부풀려진 유통마진을 줄이고 쇠고기 이력추적제도의 활성화를 통해 소비자에게 신뢰감을 줄 필요성이 있다. 또한 각 지역의 한우브랜드들 또한 각자의 온라인 쇼핑몰을 구축하여 가격 거품 없는 한우대중화를 이끌고, 홈페이지를 통해 저렴한 판매시스템을 구축하여 온라인 판매를 활성화할 수 있을 것이다.

4. 소비자 수용성 및 경제성 분석과 방법론 개발

가. 개발중인 제품의 소비자 수용성 분석기법 개관

한우육냉장시스템은 현재 개발 중인 상품으로서, 이 상품에 대한 소비자들의 수용성이 어느 정도인지를 시장에서 관측할 수 있는 자료를 이용해서 확인할 수는 없다. 따라서 이 경우 유사상품의 시장에서의 수용성을 관찰하거나 아니면 소비자들을 대상으로 하는 설문 조사를 활용하는 방법 등을 사용하여야 할 것이다. 그러나 전자의 경우 한우육냉장시스템 자체가 유사 사례를 찾기 어려운 제품이라 활용되기 어렵고, 따라서 소비자들을 대상으로 설문조사를 하는 방식을 사용하고자 한다.

아직 판매되지 않는 제품에 대한 소비자들의 수용성을 설문조사기법을 이용해 분석하는 것은 매우 흔한 분석법이라 할 것이다. 예를 들어 농림부문에 있어서도 아직 판매되지 않고 있는 GMO 농산물에 대한 소비자 수용성을 분석한 권오상(2003) 등의 연구가 있다.

본 연구가 분석을 위해 사용하는 방법은 가상가치평가법 혹은 조건부가치평가법(contingent valuation method, CVM)이라 불리는 분석법이다¹⁾. 이 기법은 성과물이 만들어지는 어떤 가상적인 상황을 만들어서 설문지를 통해 제시하고, 이 성과물과 관련하여 응답자들이 어떤 행동을 선택하도록 한 후, 그 결과를 이용해 성과물에 대한 소비자들의 지불의사(willingness to pay)나 수용성을 분석하는 방법이다. 이 방법은 본 연구에도 적용 가능하지만, 이 방법은 어떤 사업이나 성과물이 얻어질 상황을 가상적으로 설명하기 때문에 응답자들이 그 평가대상을 정확히 숙지했느냐 하는 것이 의문시될 수 있다. 아울러 성과물이 가상적일뿐 아니라 그에 대해 비용을 지불하는 것도 가상적이기 때문에 설문조사에서 소비자들이 성과물을 위해 돈을 낼 생각이 있다고 응답해도 자신들이 실제로 그러한 금액을 내는 것은 아니다. 따라서 설문조사에서의 소비자들의 응답이 설문조사가 가정하는 현상이 발생했을 때 그들이 선택할 실제 행동과 일치한다는 보장도 없다. 또한 설문조사에 응하는 응답자들은 자신들의 응답결과가 제품의 개발방향이나 혹은 관련 정책선택에 영향을 미칠 것임을 알 경우 전체 분석결과에 영향을 미치기 위해 자신의 실제 지불의사와 상관없이 다분히 전략적인 응답을 할 수도 있다²⁾.

CVM은 이상과 같은 문제점을 가지지만 아직 존재하지 않는 제품이나 사업성과를 가치 평가할 때 사용될 수 있는 거의 유일한 방법이고, 아울러 그 동안 많은 연구를 통해 예상

1) 이 기법에 관해서는 주로 환경경제학 분야에서 권오상(2007), Freeman(2003), Haab and McConnell(2002), Bockstael and McConnell(2007) 등의 여러 문헌에 의해 소개된 바 있다.

2) 진술선호법이 가지는 이러한 문제들은 흔히 이 분석기법의 편의(bias)라고 불리는데, 여기에서 설명된 첫 번째 편의는 포함효과편의(embedding bias), 두 번째 편의는 가설편의(hypothetical bias), 세 번째 편의는 전략적 편의(strategic bias)라 각각 불린다(권오상, 2007).

되는 문제점들을 완화하기 위한 기법들이 충분히 개발되어 왔기 때문에 이들 기법들을 적절히 사용할 경우 비교적 신뢰할만한 결과를 얻을 수도 있다. 실례로 1989년 발생한 알래스카의 Exxon Valdez 유조선 좌초에 따른 피해액 산정에 있어 미국 행정부 기관인 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)가 위촉한 위원단의 보고서는, 진술선호법의 하나로서 본 연구가 사용하고자 하는 CVM(contingent valuation method)의 타당성을 인정한 바가 있다.

본 연구는 가상가치평가법 혹은 조건부가치평가법, 즉 CVM의 여러 가지 분석법 중에서도, 비교적 오류의 가능성이 적다는 것이 이론적·경험적으로 밝혀진 투표모형(referendum model) 혹은 양분선택모형(dichotomous choice model)을 사용할 것이다. 이 방법은 응답자로 하여금 자신들의 개발될 제품에 대한 지불의사를 직접 금액으로 말하게 하는 것이 아니라, 제품에 대해 예를 들어 10만원을 지불할 의사가 있는지를 물어보고, 그 응답결과를 “예” 혹은 “아니오” 중 하나로 받아낸 후, 그 결과를 계량분석하여 개발될 제품에 대한 소비자들의 수용성 혹은 지불의사를 도출한다. 본 연구는 제품에 대한 지불의사 분석을 위해서로 다른 지불금액을 두 번 연속 제시하는 이중(double-bounded) 양분선택형 질문법을 사용하고, 그 결과를 몇 가지 계량경제학적 절차로 분석하여 적절한 지불의사를 선택한다. 이러한 투표모형은 아울러 각 개인이 구매할 상품의 내용을 확인하고, 그 가격과 비교하여 구매여부를 결정하는 실제 구매행위와 매우 유사한 장점도 가진다.

어떤 개인 j 의 소득이나 학력 등을 포함하는 관측되는 개인 특성변수의 묶음을 s_j 라 하고, 이 개인의 관측되지 않는 모든 특성들의 효과를 반영하는 확률변수를 n_j 라 할 때, 이 개인의 한우육 냉장시스템에 대한 지불의사를 하나의 함수로서 $CS_j = \gamma s_j + n_j$ 와 같이 표현할 수 있다. 이 함수를 추정하여 모수들의 묶음을 γ 를 알게 되면, 통상적으로 n_j 는 평균이 0인 대칭적 분포를 따른다고 가정하므로 지불의사의 대표값으로 γs_j 를 사용할 수가 있다.

t^1 과 t^2 를 각각 설문에서의 첫 번째 및 두 번째 제시금액이라 하면, 응답결과가 어떻게 나오느냐에 따라 지불의사의 범위를 다음과 같이 정할 수 있다.

- ① '예-아니오' 응답 시 $t^1 \leq CS < t^2$
- ② '아니오-예' 응답 시 $t^1 > CS \geq t^2$
- ③ '예-예' 응답 시 $CS \geq t^2$
- ④ '아니오-아니오' 응답 시 $CS < t^1$

이상과 같은 두 가지 응답결과를 모두 반영하는 이중(double-bounded) 양분선택형분석법 (Hanemann et al.(1991); Cameron and Quiggin(1994))과 두 가지 응답 중 첫 번째 응답결과만을 반영하는 단일(single-bounded) 양분선택형분석법을 사용할 수 있는데, 단일양분선택모형을 통해 사업에 대한 지불의사를 도출하기 위해서도 어떤 j 번째 응답자의 지불의사함수를 통상적으로 다음과 같이 설정한다.

$$CS_j = \gamma s_j + n_j$$

이 경우 어떤 개인 j 가 제안된 사업에 찬성할 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(\text{yes}) = \Pr(CS_j > t_j) = \Pr(\gamma s_j + n_j > t_j) = \Pr(n_j < \gamma s_j - t_j)$$

만약 n_j 가 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 정규분포를 따른다면, 또 다른 확률변수 $\frac{n_j}{\sigma}$ 는 다시 표준정규분포를 따르므로 제시된 안에 찬성할 확률은 $\Phi\left(\frac{\gamma s_j}{\sigma} - \frac{1}{\sigma} t_j\right)$ 와 같고, 이를 이용해 역시 우도함수와 그에 따른 파라미터의 최우추정치를 도출할 수 있으며, 이상의 절차를 통해 $\frac{1}{\sigma}$ 와 $-\frac{\gamma}{\sigma}$ 가 추정되므로 지불의사 γs_j 는 $\frac{\gamma/\sigma}{1/\sigma} s_j$ 와 같이 구해줄 수 있다.

두 번의 연속질문에 대한 응답결과를 활용하는 양분선택형분석에서는 응답이 '예-예'와 같이 나타난 경우에는

$$t^2 > t^1 \quad \text{이므로,} \quad \Pr(\gamma s_j + n_j > t^1, \gamma s_j + n_j \geq t^2) = \Pr(\gamma s_j + n_j \geq t^2)$$

와 같이 단순화시킬 수 있고,

'아니오-아니오' 응답의 경우에는

$$t^1 > t^2 \quad \text{이므로,} \quad \Pr(\gamma s_j + n_j < t^1, \gamma s_j + n_j < t^2) = \Pr(\gamma s_j + n_j < t^2)$$

와 같이 단순화할 수 있다. YY 를 '예-예'의 응답일 경우 1, 아니면 0의 값을 갖도록 하고, YN, NY, NN 도 마찬가지로 방법으로 정의하면, 결국 j 번째 응답자의 우도함수는 다음과 같이 나타난다.

$$L_j = \Pr(t^2 - \gamma s_j > n_j \geq t^1 - \gamma s_j)^{YN} \times \Pr(\gamma s_j + n_j \geq t^2)^{YY} \\ \times \Pr(\gamma s_j + n_j < t^2)^{NN} \times \Pr(t^1 - \gamma s_j > n_j \geq t^2 - \gamma s_j)^{NY}$$

이제 확률변수 n_j 가 분산이 σ^2 인 정규분포를 따른다고 가정하면 위의 식을 다음과 같이 추정 가능한 우도함수로 전환할 수 있다.

$$L_j = \left\{ 1 - \Phi\left(\frac{t_j^2 - \gamma s_j}{\sigma}\right) \right\}^{YY} \times \left\{ \Phi\left(\frac{t_j^2 - \gamma s_j}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_j^1 - \gamma s_j}{\sigma}\right) \right\}^{YN} \\ \times \left\{ \Phi\left(\frac{t_j^1 - \gamma s_j}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_j^2 - \gamma s_j}{\sigma}\right) \right\}^{NY} \times \Phi\left(\frac{t_j^2 - \gamma s_j}{\sigma}\right)^{NN}$$

위의 우도함수를 극대화하도록 추정된 γ 를 이용해 지불의사는 γs_j 와 같이 계산된다. 한편, 이상의 통계분석을 통해 도출되는 γ 와 σ 는 그 자체가 확률적인 영향을 받는 확률변수이기 때문에 지불의사의 대표값 $\frac{\gamma}{1/\sigma} s_j$ 등도 역시 확정된 값이 아니라 확률변수라고 보아야 한다. 따라서 지불의사의 대표값 자체가 표본이 달라지는 등의 변화로 인해 그 값이 바뀔 수 있기 때문에 어떤 분포를 가지게 된다. 대표 지불의사의 분포를 도출하기 위해서는 추정된 γ 와 σ 가 가지는 분포로부터 매우 많은 수의 γ 와 σ 값을 추출하는 시뮬레이션을 행한 후, 이들 추출된 값에서 지불 의사값을 모두 계산하여 그 평균이나 분산, 4분위 수 등을 구하면 된다³⁾.

3) 이 방법은 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 방법이다.

나. 분석을 위한 설문조사

아직 개발·판매되지 않은 제품인 관계로 설문조사를 통해 소비자들의 개발품에 대한 지불의사와 수용성 추정하였다. 설문은 2010년 3월 19일~3월 21일의 3일간 서울지역의 소득이 있는 가구의 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자를 대상으로 하였다. 소고기 소비량, 구입빈도, 주 구입등급 및 품목, 주 구입처 등과 같은 축산물 소비에 대한 일반적인 질문과 보기가트를 이용한 개발품에 대한 설명을 통해 개발 중인 한우육 냉장시스템에 대한 지불의사 질문과 응답자의 소득 등 사회경제적 특성이 설문내용에 포함된다. 방문설문을 통해 총 476명이 응답하였으며 핵심 설문내용은 다음과 같다.

문 1. 앞에서 설명 드린 기능을 가진 제품이 개발되어 대당 _____원에 판매되며, 연간 전기요금은 약 _____원이 소요된다면, 귀하께서는 이 제품을 향후 3년 이내에 구입하실 의향이 있으십니까?

- ① 예, 있다() ☞ 문 2로 ② 아니오, 없다() ☞ 문 3으로

문 2. 그렇다면 개발품이 _____원[문 1의 2배 금액]에 판매된다면 귀하께서는 이 제품을 향후 3년 이내에 구입하실 의향이 있으십니까?”

- ① 예, 있다() ② 아니오, 없다()

문 3. 그렇다면 개발품이 _____원[문 1의 1/2배 금액]에 판매된다면 귀하께서는 이 제품을 향후 3년 이내에 구입하실 의향이 있으십니까?”

- ① 예, 있다() ② 아니오, 없다()

응답자 중 남성은 248명, 여성은 225명, 무응답은 3명이며 2,30대의 응답자가 293명으로 전체 응답자의 62%를 차지하였다(그림7).

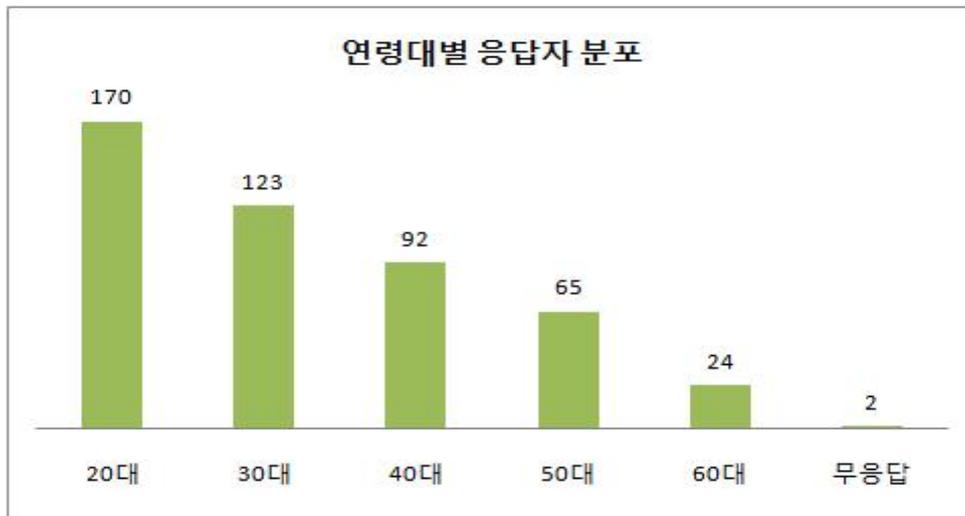


Fig. 7 Distribution of respondents in age.

한 달 평균 외식을 제외한 가정 내 소고기 소비 횟수는 1회 이하가 26%, 2~5회가 62%임을 확인할 수 있다(그림8). 또한 대형마트에서 가정용 소고기를 구입하는 소비자는 총 252명이며, 일반소매점이 118명이었다. 또한 인터넷, 홈쇼핑 및 산지직거래를 이용하여 소고기를 구입한다는 응답자도 52명으로 총 응답자의 11%를 차지하였다. 응답자들 중 한우육을 구입하는 소비자는 274명, 수입육을 구입하는 소비자는 201명으로 조사되었다. 한우육을 구입하는 소비자는 수입육에 비해 한우육의 맛이 좋으며 안전성이 뛰어나 한우육을 소비한다고 응답하였다. 이에 반해 수입육의 구매를 선호하는 이유는 한우육에 비해 저렴한 가격 때문이라고 응답한 사람이 125명이며, 한우육과 비교해 차이가 없어서 수입육을 구입한다는 의견도 42명에 달했다.

가정내 소비횟수

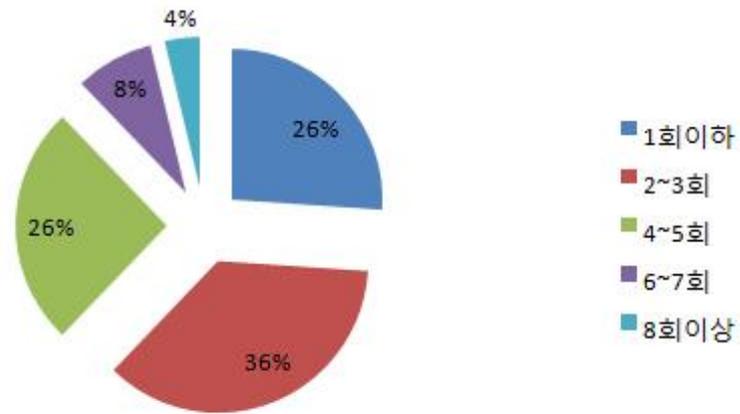


Fig. 8 Numbers of beef consumptions per household in monthly average.

한우육 선호이유

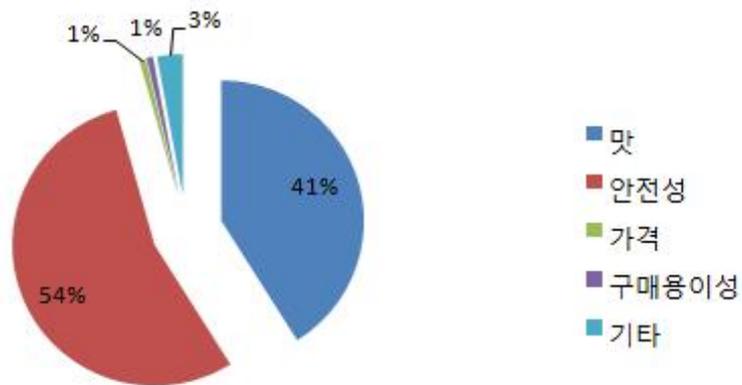


Fig. 9 Reasons of preferring Hanwoo.

수입육 선호이유

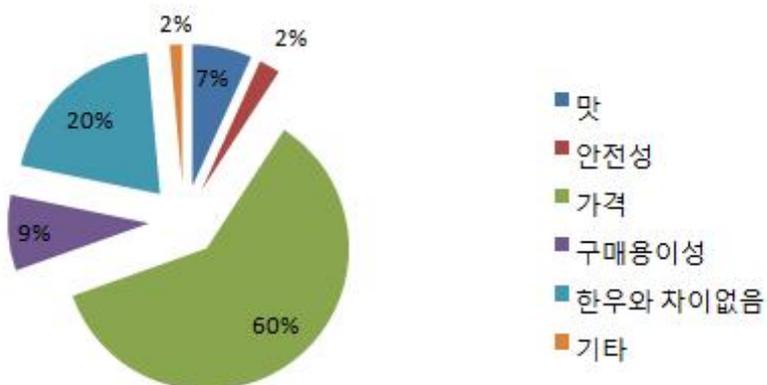


Fig. 10 Reasons of preferring imported beef.

설문응답자 중 68%인 322명이 현재 가정 내에 김치냉장고를 보유하고 있고 김치냉장고에 육류를 보관하는 응답자는 이 중 105명이었다. 김치냉장고에 육류를 함께 보관하지 않는다고 응답한 사람의 57%는 위생문제로, 25%는 신선도가 떨어지기 때문이라고 대답하였다.

이상의 설문결과를 이산선택모형(discrete choice model)로 분석하여 개발품에 대한 지불의사와 구입의향을 도출하였다.

다. 분석결과

한우육냉장시스템에 대한 지불의사는 CVM기법 중 양분선택모형을 추정하여 분석한다. 설문조사에서 제품에 대해 자세히 설명한 후 다음과 같은 질문을 하였다.

귀하께서는 한우육 냉장시스템이 개발된다면 15만원에 구입할 의사가 있으십니까?

위의 질문에 대해 "예"라고 대답할 경우 금액을 두 배로 올려 다시 한 번 더 묻고, "아니오"라고 대답할 경우에는 금액을 절반으로 낮추어 다시 한 번 더 물었다. 이러한 질문방식은 개발될 제품의 구입여부를 묻는 절차로서, CVM연구들에 의해 다른 형태의 질문방식에 비해 응답자의 실제 지불의사를 보다 정확히 도출할 수 있는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

본 연구는 개발될 제품에 대한 이해를 돕기 위해 제품의 특성과 제품을 이용해 다량의 한우육을 직거래를 통해 구매하여 소비할 때의 장점 등을 설명하였다. 또한 설문지를 작성함에 있어 응답자들이 설문내용을 잘 이해하는지 등을 파악하기 위해 서울대학 재학생들을 대상으로 focus group interview를 수행한 후 그 결과를 반영하여 설문내용을 수정하였다.

설문조사는 총 5가지로 구분되며, 각 설문지별로 처음 제시금액은 150,000원, 200,000원, 300,000원, 400,000원, 600,000원이었다. 이 금액들 가운데 하나가 임의로 선택되어 각 응답자에게 제시되었고, 두 번째 질문에서는 첫 번째 질문에 대한 응답결과에 따라 그 두 배 혹은 그 절반이 제시되었다.

각 질문에서 제시된 금액별 지불 찬성률은 아래의 표 23과 같다.

4) 이에 관한 보다 자세한 설명은 권오상(2007)이 하고 있다.

Table 23. The purchase agreement rate on Hanwoo refrigerator in classified price

첫 번째 질문		두 번째 질문	
제시금액(원)	지불 찬성률(%)	제시금액(원)	지불 찬성률(%)
150,000	52	80,000	42
200,000	28	100,000	32
300,000	35	150,000	44
400,000	29	200,000	33
600,000	16	300,000	34
		400,000	32
		600,000	21
		800,000	7
		1,200,000	19

첫 번째 질문에서 제시된 금액이 높을수록 대체로 찬성률이 낮아 사업에 대한 제품의 가격이 높을수록 구입을 꺼린다는, 논리적으로도 예측할 수 있는 결과를 보여준다. 두 번째 질문에 대해서는 제시금액이 높다고 해서 반드시 구입 찬성률이 낮아지는 것이 아닌데, 이는 두 번째 질문에서 제시된 금액은 첫 번째 질문에 대한 응답결과에 의해 결정되기 때문에 역시 당연한 결과이다.

이러한 응답결과는 제시된 금액을 지불할 의향이 있는지를 응답자가 밝힌 것일 뿐이고 지불의사를 직접 나타내지는 않는다. 따라서 이들이 개발될 한우육 냉장시스템을 위해 스스로 지불하고자 하는 금액을 구하기 위해서는 추가 분석을 거쳐야 한다. 한우육 냉장시스템에 대한 지불의사는 이를 구매함으로써 만족도가 높아졌기 때문에 대신 각 개인이 제품을 위해 지불하고자 하는 금액을 의미한다. 이런 종류의 지불의사를 보상잉여(compensating surplus, CS)라 부르기도 하는데, 그 크기에는 소득 등 각 개인이 가지는 여러 가지 특성이 영향을 미칠 수 있다. 아울러 외부적으로는 관측될 수 없는 여러 가지 사정에 의해서도 지불의사는 달라질 수 있다. 이러한 관측되지 않는 요인에 의해서도 지불의사가 달라지는 것을 허용하기 위해서는 관측되는 개인 특성뿐 아니라 어떤 확률변수 역시 지불의사에 영향을 미친다고 가정할 필요가 있다.

이러한 가정 하에서 분석을 하되, 먼저 소비자들 중 어떤 가격에서라도 이 제품을 구입하지 않으려는 사람이 어느 정도인지를 확인하였다. 이 질문에서는 전체 응답자 476명의 약 51%인 243명이 구입의사가 없음을 밝혔다. 이들 중 구입의사가 전혀 없는 이유를 밝힌 경우 그 이유는 표 24와 같이 정리된다.

Table 24. Refuse reasons of purchasing Hanwoo refrigerator.

지불거부 이유	응답자 수
구입할 능력이 없다	18
집에서 육류를 거의 먹지 않는다	33
지금 있는 냉장고 등을 잘 사용하면 된다	83
제품을 신뢰할 수 없다	13
기타	16

이상의 거부 이유 가운데 ‘지금 있는 냉장고 등을 잘 사용하면 된다’든가 ‘제품을 신뢰할 수 없다’ 등의 반응은 아직 제품을 실제로 보지 않은 상태에서 취하는 신중함 때문에 제품 구입 의사가 없음을 나타낸 것으로 보이며, 따라서 실제 제품이 공급되면 이들 중 일부는 제품을 구입할 수도 있다. 따라서 실제 구입거부율은 50% 미만으로 해석하여야 할 것이다.

응답자들의 어떤 특성이 제품을 구입할 의향이 있는지에 영향을 미치는지를 확인하기 위해 가격과 상관없이 제품을 구입할 의향이 있는지를 소비자들의 개인 특성과 소비자들에게 처음 제시된 제품 가격에 대해 프로빗(probit) 분석을 하였다. 그 결과는 표25와 같다. 분석결과를 보면 먼저 제시된 가격이 높을수록 구입을 어떤 경우든 하지 않겠다는 비율이 높는데 이는 당연한 결과이다. 응답자의 개인특성으로서, 가족 수가 많고 결혼을 했을 경우 가격이 적당하다면 제품을 구매하겠다고 말할 확률이 높다. 소득의 경우도 구매의사에 양(+)의 영향을 주지만 통계적 유의성은 낮은 편이다. 그 외 교육수준이나 성별 등은 가격에 관계없이 구매할 의향이 있는지 아니면 아예 구매 의향이 없는지를 결정하는 데에는 영향을 미치지 않았다.

Table 25. Individual characteristics affecting on Hanwoo purchasing.

변수	추정계수	t-값
상수항	-0.219	-0.96
제시금액	-7.75e-07	-2.03**
소득수준	0.047	1.48
결혼 여부	0.248	1.96**
가족 수	0.145	2.59***
응답자수	462	
lnL	-280.78	

***: 1% 수준에서 유의, **: 5% 수준에서 유의, *10% 수준에서 유의.

이제 어떤 경우든 구매하지 않겠다는 응답자는 제외하고 가격이 적절하면 구매할 의향이 있다는 응답자의 응답결과만을 모아 한우냉장시스템에 대한 지불의사를 추정한다. 표26은 먼저 처음 제시된 금액을 지불할지를 응답한 결과만을 활용하는 단일양분선택형 질문의 추정결과이다.

Table 26. The estimations of WTP(Willingness to pay) model: Single-bounded dichotomous choice

변수	모형 1		모형 2	
	추정계수	t-값	추정계수	t-값
상수항	-0.236	-0.90	0.511	3.07***
제시금액	-1.85e-06	-3.75***	-1.77e-6	-3.72***
소득수준	0.131	3.80***		
응답자 수	305		315	
lnL	-196.91		-434.6	

***: 1% 수준에서 유의, **: 5% 수준에서 유의, *10% 수준에서 유의.

위의 추정결과에서 모형 1은 응답자의 사회·경제적 특성 중 지불의사에 유의한 영향을 미치는 소득수준을 반영한 추정결과이다. 소득수준이 높을수록 지불의사가 높지만, 이 경우 지불의사액 계산에 포함되는 상수항의 추정치가 통계적으로 유의하지 않게 된다. 모형 2는 제시된 금액만을 설명변수로 포함하는 경우인데, 제시금액과 상수항의 파라미터가 모두 통계적으로 유의하여 지불의사 추정치도 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

이어서 아래의 표 27은 이중양분선택형 모형을 추정한 결과를 보여준다. 지불의사 도출

에 활용되는 모든 파라미터의 통계적 유의성이 높고, 모형 1에는 소득수준을 반영하여도 소득수준은 물론 상수항까지 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하다.

Table 27. The estimations of WTP(Willingness to pay) model: Double-bounded dichotomous choice.

변수	모형 1		모형 2	
	추정계수	t-값	추정계수	t-값
상수항	121991	2.82***	323593	21.64***
소득수준	34250	5.00***		
ln(σ)	12.370	222.92***	12.412	226.39**
응답자 수	305		315	
lnL	-827.49		-447.46	

***: 1% 수준에서 유의, **: 5% 수준에서 유의, *10% 수준에서 유의.

아래의 표 28은 가격이 적당하다면 한우육냉장시스템을 구매할 의향이 있는 사람들이 이 시스템에 대해 지불하고자 하는 금액을 나타낸다.

Table 28. The estimations of WTP(Willingness to pay) per household.

(원/1년)

모형		표본 통계			
		평균	표준편차	최소	최대
단일양분 선택형	모형 1	295,721	155,199	-56,510	582,957
	모형 2	288,119	0	288,119	288,119
이중양분 선택형	모형 1	315,876	78,900	156,241	464,489
	모형 2	323,593	0	323,593	323,593

추정방법에 따라 지불의사액이 다르기는 하지만 약 30만원 정도의 지불의사가 도출되었다. 특히 통계적으로 보다 안정적인 형태를 보여준 이중양분선택형을 적용할 경우 32만원 정도로 단일양분선택형의 경우보다 다소 높은 지불의사가 도출되었다.

결론적으로 얘기하면, 설문조사에 참여한 서울시민 성인의 50% 이상이 가격이 적당하다면 한우냉장육시스템을 구매할 의향이 있다는 응답을 보였으며, 이들은 30만원 정도의 평균적인 지불의사를 보였다.

제 2 절 한우육의 저장 프로파일 설정을 위한 연구

1. 연구의 개요

한우육의 냉장 저장을 위해서는 저장 환경의 설정이 필요하다. 식육으로서 우육은 myoglobin의 함량이 높아 다른 고기에 비해 진한 색조를 나타나게 된다. 특히 신선육은 다량의 수분과 영양소를 함유하고 있기 때문에 변패가 일어나기 쉬우므로 도살에서 저장, 이용에 이르기까지 특별한 주의와 취급이 필요하다. 이런 변패를 방지하기 위해 가장 쉽게 사용되는 방법은 저온에서 저장하는 것이다. 이런 저온 저장을 광범위하게 냉장이라 할 때, 그 저장온도에 따라 냉장육과 동결육으로 구분하고 있다. 일반적으로 냉장육은 동결되지 않는 0~10℃ 범위에서 취급하는 것을 말하며, 동결육은 육류의 빙결점 이하에서 동결한 것으로 관능적으로 동결상태에 있는 것을 말한다. 동결육은 일반적으로 -18℃이하의 저온에서 얼리는 경우가 많다(박정기 외 15인, 1996).

Fennema와 Powrie⁵⁾에 의하면 냉장 저장 중에도 저장 온도에 따라 쇠고기의 이화학적 변화의 차이가 크게 생긴다. 가장 큰 차이가 예상되는 것은 미생물 수의 변화로, 저장 온도에 따라 그 증식의 정도가 크게 달라진다. 따라서 온도에 중점을 두어, 냉장육에 가장 적합한 저장 온도를 찾는 실험이 필요하다. 이 실험 과정에서 신선도의 변화를 객관적으로 측정하기 위해 다양한 이화학적 인자들을 측정하였다.

5) Fennema and W.D. Powrie, Fundamentals of low-temperature food preservation, *Advance. Food Res.* 13 (1964), pp. 219-347

(2) 한우육 재료 사전 준비

지육 상태로 운반된 등심부위 시료는 운반 과정에서 진공 포장되어 부패 혹은 감염의 가능성을 최소화 하였다. 시료를 공급받은 도매업소에서 포장을 제거한 시료를 슬라이서를 통해 1.5cm 두께로 일정하게 절단하였고 바로 지퍼백에 포장하여 아이스박스에 담아 연구실로 운반되었다. 운반된 시료는 바로 저장 실험을 위한 냉장고로 옮겨 담아 실험을 진행하였다. 재료 준비 과정에서 시료에 접촉하는 사람 혹은 물체로 인한 오염을 막기 위해 70% 에틸알콜을 사용하여 소독을 거쳤으며, 상온에 노출되는 시간도 최소로 하였다. 그림 13은 도매업소 내 별도의 위생실에서 시료를 절단·개별 포장하는 모습이며, 그림 14는 개별 포장된 시료가 아이스박스에 담긴 사진이다.



Fig. 13 Image of packaging Hanwoo.



Fig. 14 Image of packed beef in icebox.

나. 한우육 품질 인자 측정

(1) 신선도 인자

(가) 육류의 pH와 측정방법

pH는 육류의 산성도를 나타내는 척도이다. 도체 사후 근육의 pH값은 ATP(adenosine triphosphate)의 분해에 따른 젖산의 축적으로 인해 점차 내려가게 된다. 이런 변화는 저장 온도가 10℃ 이상에서는 빠르게 일어나지만, 10℃ 이하에서는 정체된다. 이런 pH값의 저하는 사후 약 하루 동안 가장 빠르게 나타나며, 그 이후 일정 pH에 도달하여 일정해지는 경향을 보인다. 도달하는 최종 pH의 범위는 육류의 종류와 부위에 따라 다르다.

한우육 시료의 pH는 시료 5g에 증류수 20ml을 첨가하여 Ultra-turrax(Janken & kunkel, Model No. T25, West Germany)를 사용하여 8,000rpm에서 1분간 균질한 후 유리전극 pH Meter(Orion, Model 420 A+, USA)를 사용하여 측정하였다. 육류의 저장에 있어 pH 6.2 이상으로 측정된 식육을 상한 것으로 판단(Offer, 1991)하기도 하나, pH에 의한 부패의 판단은 무리가 있다고 알려져 있다. 그림 15는 시료의 pH 측정에 사용된 측정기를 나타낸다.



Fig. 15 Image of pH Meter for measuring sample pH.

(나) 육류의 단백질 변패도의 정의 및 측정방법

육류의 단백질 변패도를 나타내는 방법으로 휘발성 염기태 질소함량(VBN, volatile basic nitrogen)을 측정하였다. VBN은 한우육 내의 단백질이 저장 기간 동안 얼마나 부패하였는가를 확인하는 척도가 된다. VBN의 측정은 다음과 같이 이루어졌다. 시료 5g을 20ml의 증류수와 섞고 30~60초 정도 균질화한 후 총 부피가 50ml가 될 때까지 증류수를 첨가한 후 여과지(Whatman No.1)를 이용하여 여과한다. Conway dish의 내실에 0.01N H₃BO₃ 1ml을 넣고 여과한 시료 1ml을 Conway dish 외실에 넣은 후에 Conway reagent 50 μl를 Conway dish 내실에 신속히 넣는다. 그 후 외실에 K₂CO₃ 포화용액 1ml을 넣고 뚜껑을 닫은 후 37°C에서 120분간 반응시켰다. 반응 후 0.02N H₂SO₄을 3μl씩 내실의 붕산용액에 적정하여 다음 공식을 사용하여 측정하였다.

$$VBN(mg\%) = ((a - b) \times f \times 0.02 \times 14.007 / S) \times 100 \times 100$$

이 때,

a : 본시험 적정치 (ml)

b : 공시험 적정치 (ml)

f : 0.02N H₂SO₄ 표준화 지수

S : 시료의 중량

국립수의과학검역원의 검역기준에 의하면 20mg%를 부패 기준으로 하여, 이보다 높은 값을 가지는 식육을 부패한 것으로 본다(국립수의과학검역원 고시 제2008-27호의 제 2. 축산물의 기준 및 규격 2. 식육가공품 및 포장육). 그림 16은 Conway dish에서 시약과 시료를 반응시키는 모습이다.



Fig. 16 Image of conway dish with titration.

(다) 육류의 지방 산패도 측정방법

지방산패도는 티오바르비투르산 반응물질 수치(TBARS, thiobarbituric acid reacting substance)를 통해 측정하였다. 육류의 지방은 저장과정에서 산화되어 내부의 malonaldehyde 화합물이 유리되어 malonaldehyde가 분해되게 된다. 이 malonaldehyde는 TBA 반응을 거쳐 적색의 색소를 만들어 지방의 산패도를 확인하는 척도가 될 수 있다.

지방산패도의 측정은 Witte 등(1970)의 방법을 이용하여 이루어졌다. 시료 10g에 0.3% BHA(beta hydroxy acid) 50 μ l를 가하고 extracting solution [20% TCA(trichloroacetic acid) in 2M phosphoric acid solution] 25ml을 가하여 균질화한 후 증류수를 이용하여 50ml까지 희석시켰다. 이 추출용액을 여과지(Whatman No.1)를 이용하여 여과한 후 0.02M TBA solution과 1:1로 혼합한 이후 암실에서 15시간 발색 시켰다. 발색된 용액을 spectrophotometer(TU-1800, Human Co. LTD., Korea)를 이용하여 530nm에서 흡광도를 측정한 후 [TBA = O.D.(optical density) \times 5.2]의 공식으로 TBA 값을 측정하였으며, TBA 수치는 mg malonaldehyde/kg으로 나타내었다. 이 값이 0.46 이상인 식육을 부패한 것으로 판단하며, 0.5 이상의 범위에서는 산패취가 나기 시작한다.⁷⁾ 그림 17은 TBA 분석 과정에서 흡광도를 측정에 사용된 분광기를 나타낸다.

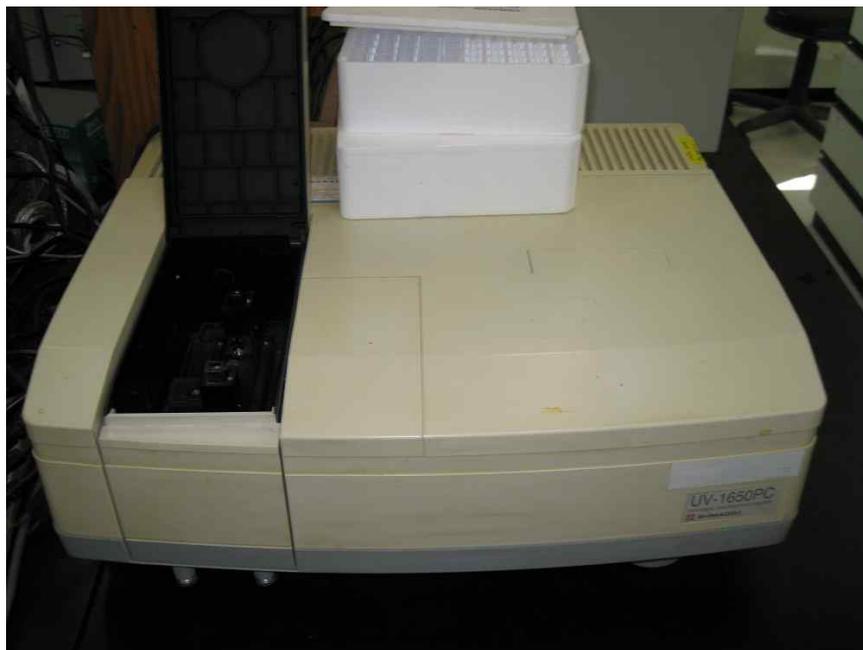


Fig. 17 Image of spectrophotometer used for TBA analysis.

7) Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C., 1954. Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. Food Technol. 8, pp. 326-330

(라) 육류의 총 미생물 수 측정방법

시료 총 균수의 확인은 A.O.A.C(association of official agricultural chemists)의 standard plate counts 방법을 변형하여 실시하였다. 시료 5g과 45ml의 1% 멸균 peptone(Difco Laboratories, U.S.A.) 용액을 멸균된 polyethylene 백에 넣어 BagMixer (interscience, France)로 균질한 후에 10진 희석법으로 희석한 후, 희석액 1ml을 도말하였다. 37°C incubator(HK-IBO 25, 한국종합기기, Korea)에서 48시간동안 배양하여 측정하였다. 배지는 petrifilm™ ACP(Aerobic Count Plate)(3M, U.S.A)을 사용하였다. 계수된 미생물 수는 CFU(colony forming unit)로 나타내었다. 총 미생물수는 log 7 CFU를 넘는 시료를 부패한 것으로 판단(Ayres, 1960, Gill. 1982)한다. 그림 18은 시료의 총 미생물 수를 측정하는데 사용한 petrifilm을 나타낸다.



Fig. 18 Image of petrifilm in incubator for total microbial count.

(3) 보조 인자

(가) 육색 정의 및 측정방법

육색은 육류의 상태를 눈으로 식별하는데 영향을 미치는 인자로 이 색은 hue, chroma, lightness에 의해 결정된다. Hue는 색상을 결정하고 chroma는 채도를 결정하며 lightness는 빛의 반사도로 설명된다. 육색을 결정하는 가장 중요한 요인은 빛의 파장을 흡수하고 반사시키는 색소들의 함량 및 그것들의 화학적 상태이다. 그러나 눈으로 인식하는 육색은 조명이나 배경 등 외적인 환경 요인에 의해서도 영향을 받는다. 뿐만 아니라, 육질의 미세 구조와 조직도 빛을 흡수하고 반사시키는데 많은 영향을 준다. 따라서, 육색의 측정은 되도록 일정한 환경에서 이루어 질 수 있어야 한다. 신선육의 색은 주로 육색소인 마이오글로빈(myoglobin)에 의해서 좌우되는데, 마이오글로빈의 함량은 식육동물의 종류, 연령 및 부위에 따라 다르다.

육색은 chromameter (Model CR-210, Minolta Co. LTD., Japan)를 사용하여 각 시료마다 측정부위를 달리하여 6번씩 CIE L^* , a^* , b^* 값을 측정하였다. Chromameter는 1회 측정시 3회씩 측정을 반복하여 그 평균값을 사용하였다. 매번 기기 측정시마다 표준백색판을 측정하여 calibration을 진행하였다. 표준 백색창의 값은 $L^*=97.69$, $a^*=-0.43$, 그리고 $b^*=+1.98$ 이었다. L은 명도(lightness)를 나타내며 그 범위는 0 (흑색)~100 (백색)이며, a는 적색도(redness), b는 황색도(yellowness)를 의미한다. 그림 19는 육색 측정에 사용된 색도계를 나타낸다.



Fig. 19 Chromameter used for meat color measurement.

(나) 가열감량(heat loss)과 측정방법

가열감량은 식품의 조리, 가공 과정에서 손실되는 물질의 비중을 나타낸다. 식육의 가열감량이 클수록 조리에 의한 영양적 손실이 커지게 되므로 가열감량은 낮을수록 좋다. 가열감량의 측정은 150℃의 전기그릴(Tefal SA, France)에서 4~6회 뒤집으면서 시료의 표면이 타지 않도록 가열하였다. 가열은 시료의 중심온도가 75℃가 될 때까지 이루어 졌으며, 가열 후 상온에서 30분간 방냉하여 초기 중량과 방냉 후 중량의 차이로 측정하여 %로 나타내었다. 시료의 중심온도를 측정하는 데 사용한 온도계는 펜 타입 온도계(Accu Research, Korea)로 뾰족한 끝 부위에서 온도를 측정할 수 있다. 측정범위는 -50℃ ~ +150℃로써, 0, 1℃단위 측정이 가능하며 ±1℃의 정확도를 갖는다. 그림 20는 시료의 가열 중 심부온도의 측정 모습을 나타낸다.



Fig. 20 Image of heating and measuring inner temperature of sample.

(다) 육류의 보수력(water capacity)과 측정방법

보수력은 식육에 물리적인 힘(절단, 세절, 압축 등)을 가하였을 때, 식육내 수분을 유지하려는 성질을 말한다. 식육의 유리수 중에는 용해성 단백질이 들어 있으며, 유리수는 식육을 자를 때에 쉽게 육표면으로 스며나와 불쾌감을 줌과 동시에 영양적 손실도 초래한다. 이렇게 손실되는 수분을 육즙(育汁, drip)이라고 한다. 이런 육즙의 손실이 큰, 즉 보수력이 낮은 식육은 수분손실이 많아 식육의 감량이 크고 영양적 손실도 크다. 보수력은 고기의 육색, 연도, 다즙성에 지대한 영향을 끼친다.

보수성이 변하게 되는 원인은 근원섬유의 수축에 있다. 근원섬유는 단백질과 지질로 구성된 근형질막(sarcolemma)으로 둘러싸여 있으며, 수분이 근형질막을 통과할 수가 있다. 그런데 근육의 전체용적은 근원섬유로 가득 차 있지 않아 내부에 공간을 가지게 된다. 이 공간을 외부공간이라 하면, 섬유 내부공간에는 전체수분의 약 12~15%, 외부공간에는 85~88%가 존재하게 된다. 따라서 근원섬유의 수축이 발생하면 섬유간 공간이 커지고 내부 수분이 외부로 이동하며, 이 수분은 쉽게 drip의 형태로 손실된다⁸⁾.

시료의 보수력은 시료 200mg을 건조기에서 보관했던 whatman No.1 위에 정량한 후 두 개의 plexiglass plate 사이에 놓고 2분간 압착한 후, 육면적과 수분의 면적을 compensating polar planimeter(Planix EX, TAMIYA, JAPAN)로 측정하여 [보수력(%) = (육조직이 묻어 있는 면적 / 수분이 젖어있는 총면적) × 100]의 공식을 이용하여 계산한다. 그림 21은 시료의 보수력을 측정하는 과정을 나타낸다.



Fig. 21 Image of measuring water capacity of meat sample.

8) Homikel, 1986 .A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle

(라) 육류의 전단력과 측정방법

육류의 전단력(shear value)은 육질의 질긴 정도를 나타내는 관능적 인자이다. 가열에 따른 전단력의 변화는 크게 40~50℃, 65~75℃ 구간에서 크게 일어나게 되는데, 40~50℃에서의 변화는 수축근육의 변성에 기인하며, 65~75℃의 변화는 collagen 등의 결합조직 단백질이 가장 심한 단축을 나타내는 데에서 발생한다. 전단력은 WBSF(Warner-Bratzler shear force)로 측정하였다. WBSF는 식육의 전단력을 blade를 이용하여 자르는데 필요한 힘의 최대값을 통해 측정하는 방식이다.

전단력의 측정을 위해 시료를 75℃의 water bath(BIOFREEE, BF-30LB, Korea)에서 50분간 가열한 후, 5℃의 흐르는 물에서 30분 동안 냉각한 후, Texture Analyzer(CT3, Brookfield, USA)를 통해 shear force를 측정하여 WBSF를 구하였다. 그림 22은 시료의 전단력을 측정하는 모습을 나타낸다.



Fig. 22 Image of measuring shear value of sample using Texture Analyzer.

(3) 관능평가

관능평가는 훈련된 5명의 관능요원들을 통하여 신선육의 육색, 이취, 변색, 기호도와 가열 후의 육색, 풍미, 연도, 다즙성, 기호도의 관능검사를 9점법으로 수행하였다(1='나쁨' 혹은 '없음', 9='좋음' 혹은 '강함'). 해당 결과는 SAS 프로그램(9.1, 2002)의 GLM procedure를 이용하여 분산분석을 수행하였고, 평균간 유의성 검정은 Duncan의 multiple range test로 95% 수준에서 처리구간의 차이를 분석하였다.

3. 한우육의 장기저장을 위한 온도 및 습도 설정 연구

가. 일반 냉장고의 온도/습도 측정

(1) 일반 냉장고 선정

가정에서 일반적으로 사용하는 냉장고는 차가워진 공기를 강제 순환시켜 주위의 온도를 낮추는 간접냉각 방식의 냉장고이다. 크게 냉동실과 냉장실로 구성된다. 증발기를 통해 차가워진 냉매를 거쳐 냉각된 공기를 송풍기를 통해 냉동실로 유입시켜 냉동실의 온도를 낮추고, 그 냉동실의 공기를 냉장실로 통하게 하여 냉장실의 온도를 낮추는 구조이다. 이를 통해 냉동실은 영하의 온도를 유지하게 되고, 냉장실은 저온 상태를 유지할 수 있는 것이다. 보통 식품을 저장하게 되는 위치인 냉장실의 온도를 파악하기 위해 가정용 일반냉장고, 양문형 냉장고, 업소용 냉장고 3대의 온도와 습도 변화를 측정하였다.

(2) 온도/습도 측정 방법 및 결과

일반형 냉장고, 양문형 냉장고, 업소용 냉장고를 대상으로 온도와 습도를 측정하였다. 측정에 사용된 온도계는 Thermal Recorder(T&D Corporation, Japan)의 TR-72U 모델이다. 이 온도계는 $-60 \sim 155^{\circ}\text{C}$ 범위의 온도에서 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 의 정확도를 보여주어 0.1°C 단위로 온도를 표시해 준다. 또한 10~95% RH의 범위의 습도를 $\pm 5\%$ 의 정확도 측정 가능하며 1%단위로 습도를 표시한다. 측정된 온도와 습도는 30초 간격으로 기록하였다. 각 냉장고의 냉장실의 중앙부 온도를 측정하여 비교 대상으로 하였다.

측정 결과 S社 일반형 냉장고는 그림 23에서 보이듯이 평균 온도 -2.1°C 에 평균 습도 35.1%로 가동되었으며, S社 양문형 냉장고는 그림 24에 보이는 것 처럼 평균 온도 4.2°C , 평균 습도 57.6%로 가동되었다. L社 업소용 냉장고는 그림 25에 보이듯이 평균 온도 4.7°C 에 평균 습도 61.1%로 가동되는 것을 확인할 수 있었다. 이 데이터들을 한우 시료의 보관 환경 중 일반 냉장고 보관 환경의 기준으로 삼았다. 그래프에서 적색은 온도를 나타내며, 녹색은 습도를 나타낸다.

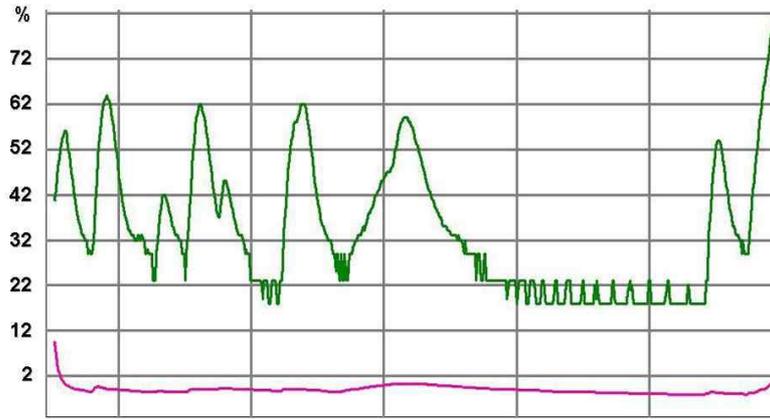


Fig. 23 Changes of temperature and relative humidity in common refrigerator.

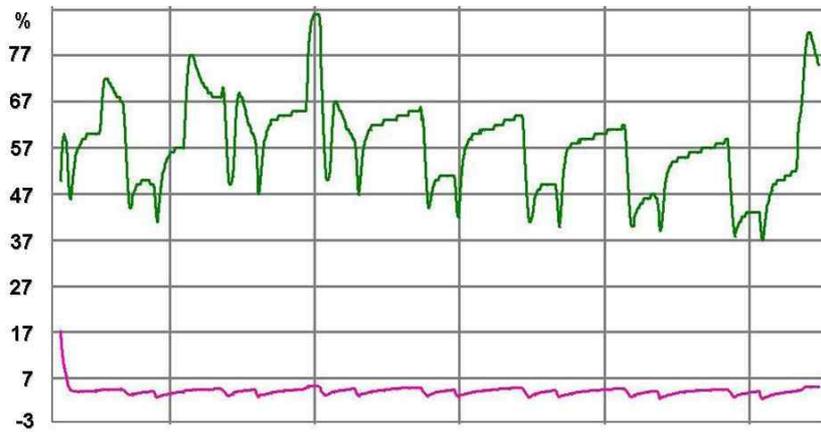


Fig. 24 Changes of temperature and relative humidity in common refrigerator with double door.

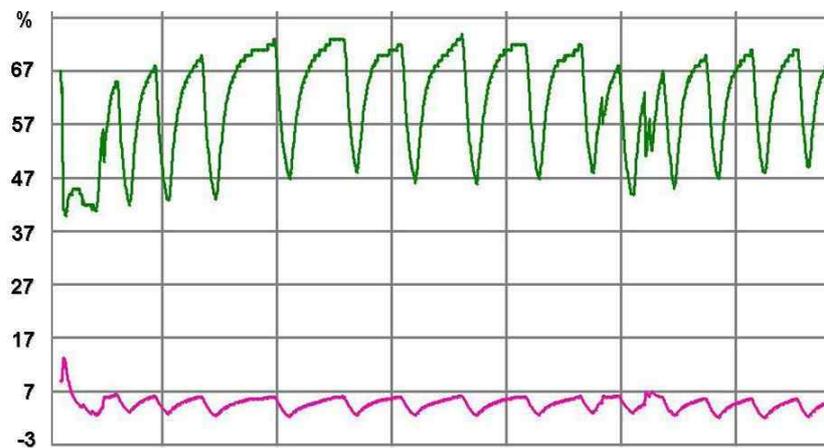


Fig. 25 Changes of temperature and relative humidity business refrigerator.

나. 한우육의 냉장 저장 프로파일 결정을 위한 실험

(1) 저장 요인 결정을 위한 실험 환경 설정

식품의 신선한 저장 방법은 적절한 온도 환경에 보관하는 것이며, 이는 한우육도 마찬가지이다. 한우육의 저장 온도에 따라 나타내는 저장성에 대한 실험과 한우육 냉장고의 제어 목표 온도를 결정하기 위해 다음과 같은 온도 그리고 습도 조건에서 한우육 저장 실험을 수행하였다. 대조군으로 설정한 일반 가정용 냉장고에 한우육을 저장하는 실험을 포함하여 6가지 조건에서 실험을 수행하였다. 표 29는 설정 조건을 표로 나타낸 것이다.

Table 29. Temperature and relative humidity setting for storage profile determination

Label	Condition		Type of refrigerator
	Temperature	R.H.	
T1	5℃	17%	Refrigerator
T2	5℃	85%	Thermo-hygrostat
T3	5℃	55%	Thermo-hygrostat
T4	2.5℃	85%	Thermo-hygrostat
T5	2.5℃	55%	Thermo-hygrostat
T6	-1℃	98%	Refrigerator

항온항습기(Groth Chamber. HB-3015-O 한백과학, 대한민국)는 온도와 함께 습도가 조절 가능하였으며, 냉장고의 경우 측정된 습도의 값을 사용하였다. 온도는 일반 냉장고의 온도에서 측정된 5℃, 2.5℃와 한우육의 빙결점에 가까운 -1℃를 기준으로 하였다.

(2) 실험 결과

한우육의 저장 환경 설정을 위한 실험결과 pH는 저장 시간의 경과에 따른 유의성 있는 변화가 보이지 않았다. 또한 신선도 초과 기준치를 넘는 경우도 발견되지 않았다. 다른 대조군들도 차이가 보이지 않아 유의성이 없는 것으로 판단되었다(그림26).

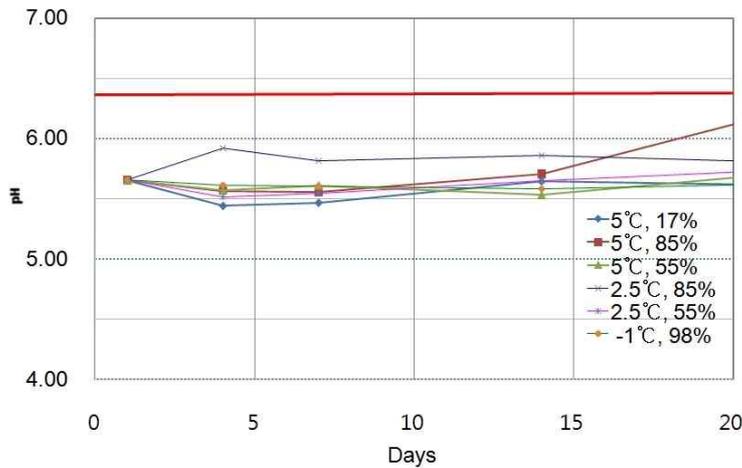


Fig. 26 Changes in pH of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

TBA의 경우, 21일간의 한우육 저장 기간동안, T2와 T5 시료만이 기준치 0.5 mg malonaldehyde/Kg를 초과하였다. T3 시료가 TBA 측정에서 가장 낮은 값을 보였지만 21일차에 도달하였을 때 T1과 거의 같은 수치를 보인 것으로 보아, TBA의 변화에는 온도와 습도 외의 요소들도 영향을 끼치는 것으로 보인다. 하지만 T1~T6의 저장 환경 모두에서 14일간의 TBA 값은 모두 기준치 이하였으므로, 2주간의 보관에 있어 지방 산패에 대한 큰 우려는 필요하지 않을 것으로 판단되었다(그림27).

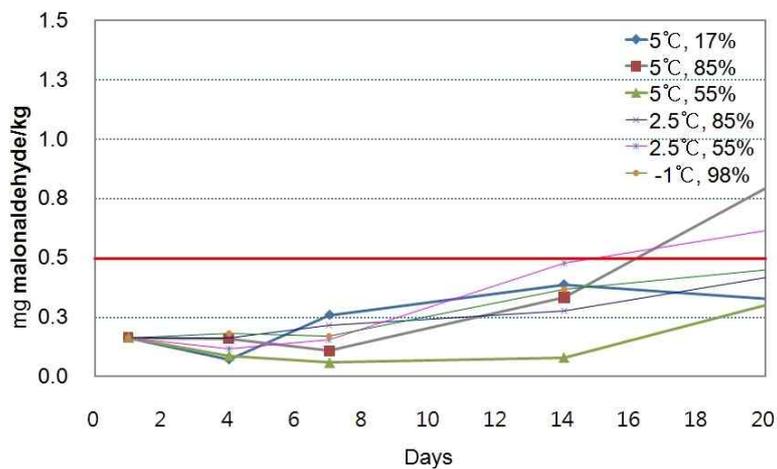


Fig. 27 Changes in TBA of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

VBN 값은 저장 기간 중 T4 만이 기준치 20mg%를 초과하였으며, 이 경우에도 14일간에는 어느 보관 환경에서도 기준치를 초과한 경우는 없었다. T2, T4를 제외한 모든 시료는 저장 기간 동안 거의 증가세를 보이지 않았다(그림28).

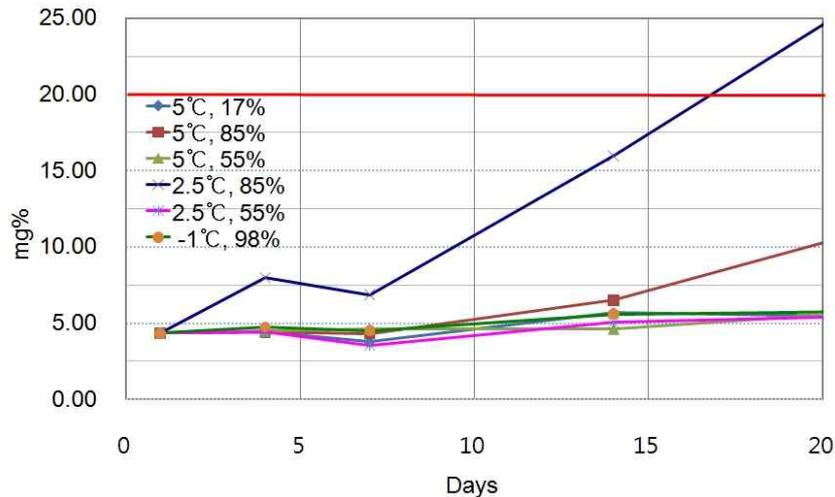


Fig. 28 Changes in VBN of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

식육 내 총 미생물수의 측정에서 다른 저장성 인자들에서 잘 나타나지 않던 저장 온도와 습도에 따른 유의적인 차이를 관찰할 수 있었다. 보관 기간 21일 동안은 모든 시료가 기준치에 다다르지 않았다. 하지만 그 증가폭을 고려하여 보면, -1°C 환경에서 저장한 시료가 log 2 CFU에 저장 기간 21일 동안 거의 증가하지 않아 미생물의 번식을 크게 차단하는 것으로 보였다. 따라서 미생물의 증가로 인한 부패를 막기 위해서는 -1°C에서 저장하는 것이 유리할 것으로 판단하였다(그림29).

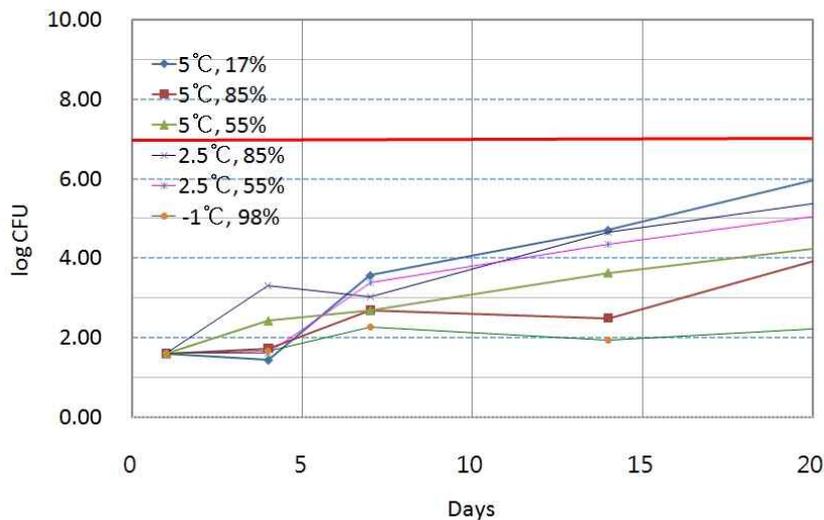


Fig. 29 Changes in total microbes of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

위의 저장성 인자들을 비교해 보았을 때, 다른 인자에서는 온도와 습도에 따른 차이와 경향성이 명확히 나타나지 않았으나, 미생물 성장에 대해서만은 큰 차이를 발견할 수 있었다. 다른 환경에 비해 -1°C 에서 저장한 경우 21일간의 저장 실험에서 미생물 성장 억제를 보여주었으므로, -1°C 의 환경이 한우육 장기 냉장 보관에 가장 유리하다고 판단하였다. 따라서 -1°C 온도 환경을 한우육 저장을 위한 목표 프로파일로 설정하기로 하였다.

이 결과는 일반적으로 널리 알려진 미생물의 성장에 관한 설명에도 부합한다. 냉장 저장에 있어 미생물의 생장은 온도가 상승할수록 빨라지게 되므로, 한우육의 부패를 방지하기 위해서는 한우육의 냉각점 이상에서 가장 낮은 온도를 선택하는 것이 좋을 것이다. 한우육의 빙결점은 약 -2°C 이므로, 냉장고 내부 온도가 -1°C 로 유지된다면 동결은 발생하지 않을 것이다.

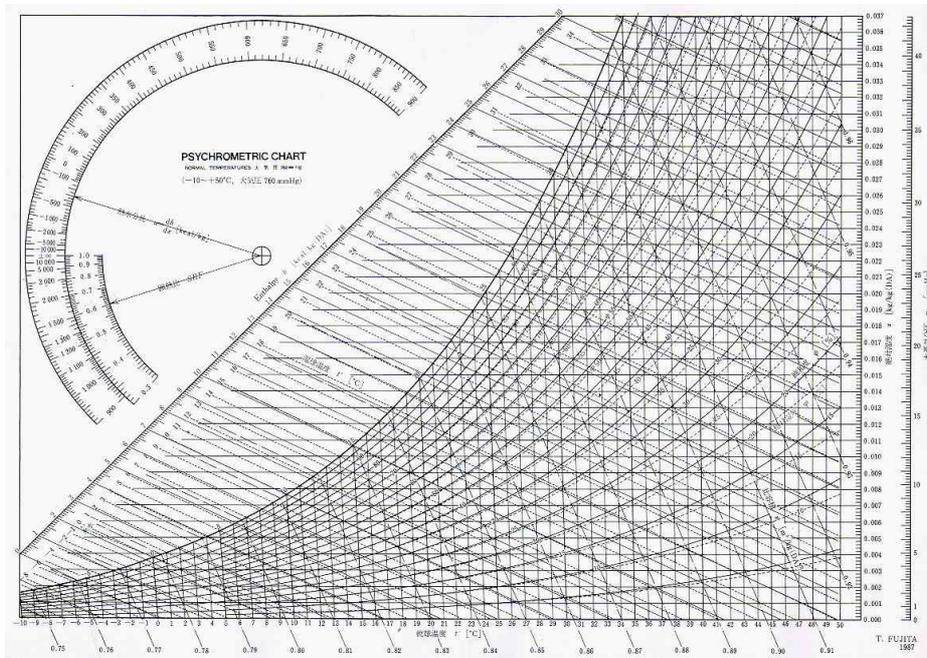


Fig. 30 Psychrometric Chart.

또한 위 실험 결과에서 확인할 수 있는 것처럼, 17%, 55% 85%의 습도에 따른 명확한 차이는 확인할 수 없었다. -1°C 는 대부분의 절대습도에서 이슬점 이하로 내려가는 온도 범위이므로(그림30), 공기 중의 상대습도는 항상 85%로 이상으로 유지되는 구간이다. 따라서 해당 온도에서 보관할 경우 습도에 대한 조절은 불필요할 것으로 사료된다.

신선도 인자 외의 보조 인자에 대한 분석도 수행하였다. 육색 중 명도 L은 t4가 그 값이 50까지 증가하며 다소 높게 나타났지만(그림31) 그 외의 시료는 모두 40~45 이내의 값을 유지하며 21일간의 저장 기간 동안 큰 변화는 보이지 않았다. 적색도 R의 경우, t6가 가장

높은 값(18~20)을 보여 다른 온도에서 저장한 시료들(12~15)보다 크게 높은 값을 나타냈다(그림32). 적색도는 일반적으로 높을수록 소비자가 선호하는 경향성이 있기에 t6이 육색에 있어 큰 장점을 가진다 하겠다. 황색도 또한 t6이 가장 높은 값(5~6)을 보였다(그림33). 그 차이는 적색도 만큼 크지는 않았지만, 이 또한 소비자의 선호도에 있어 긍정적으로 작용할 요소이다.

가열감량은 저장 온도와 습도에 대하여 유의성 있는 차이가 보이지 않았다(그림34). 가열감량의 측정 과정에 있어 저장 기간과 저장 환경에 따른 변화보다 조리 상태에 더 큰 영향을 받아 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다.

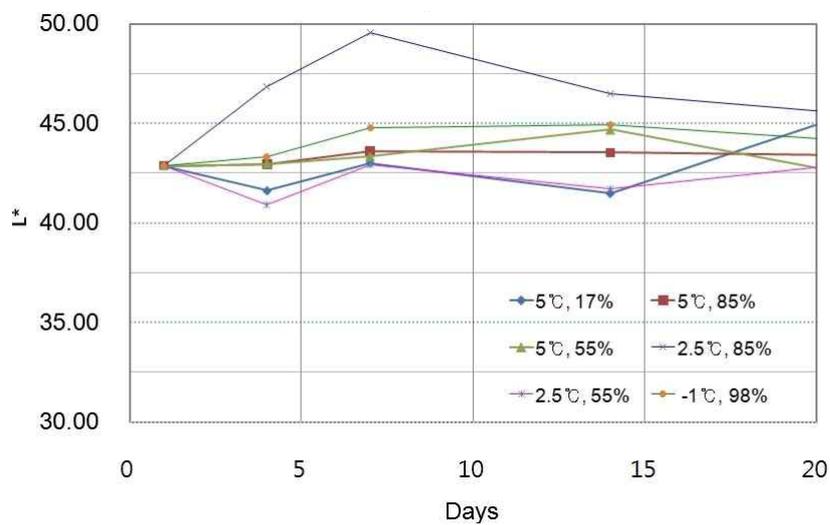


Fig. 31 Changes in lightness of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

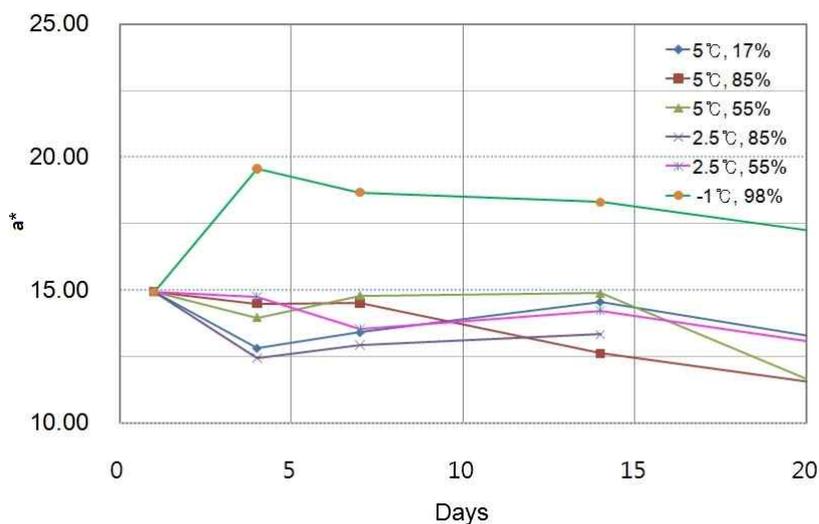


Fig. 32 Changes in redness of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

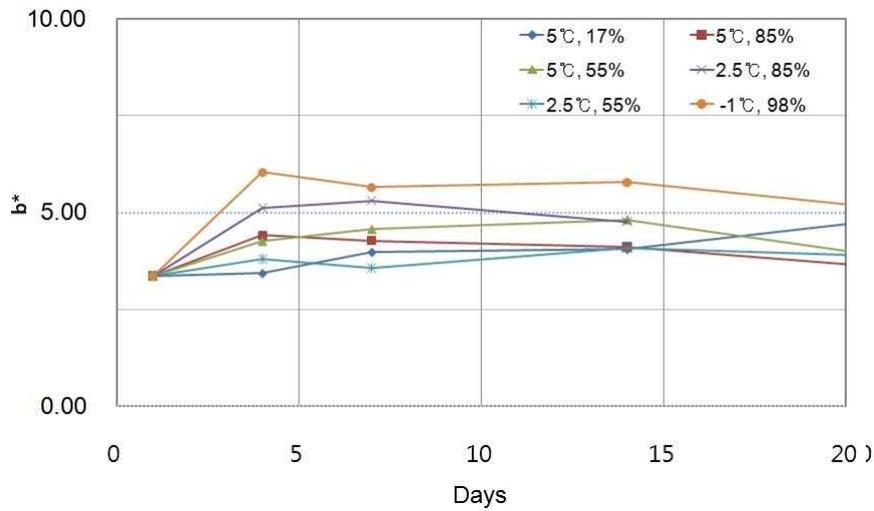


Fig. 33 Changes in yellowness of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

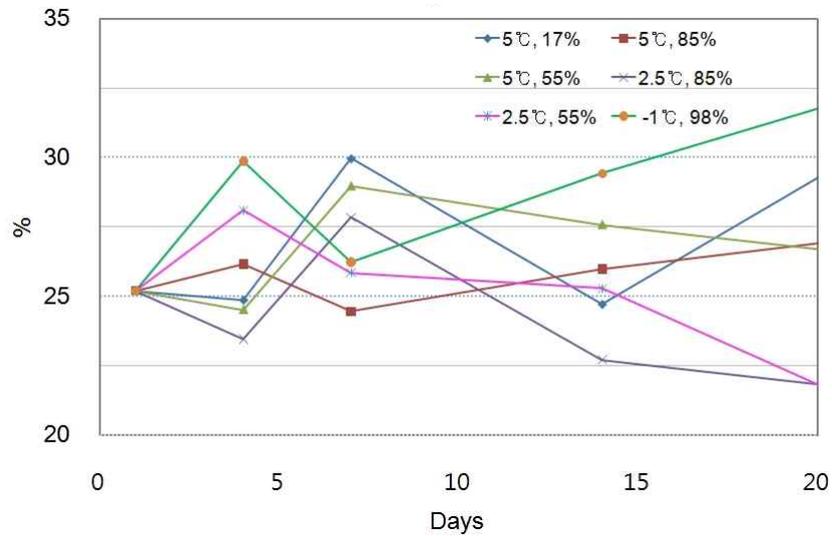


Fig. 34 Changes in cooking loss of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

보수력의 측정에서도 기간 또는 저장 환경에 따른 유의성은 보이지 않았다(그림35). 저장 환경에 따른 영향보다는 각 시료 간의 차이가 더 큰 요인으로 작용한 것으로 보인다.

전단력의 측정 결과에서도 유의성은 확인되지 않았다(그림36). 일반적으로 육류의 보관 과정에서 사후경직 후 해경 과정을 거치게 되어 전단력이 떨어질 것으로 예측하였으나, 측정된 값은 기간에 무관하게 증/감이 반복되어 저장을 통한 연화기작의 파악에 도움이 되지 않았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 한우육 저장 시스템의 저장 온도는 -1°C 로 설정하는 것이 적합할 것으로 보인다. 이 온도는 한우육의 빙결점에 가까우므로, 동결을 방지할 수 있도록 한우육 저장 시스템의 온도를 일정하게 유지시키는 기술이 필요할 것으로 보인다.

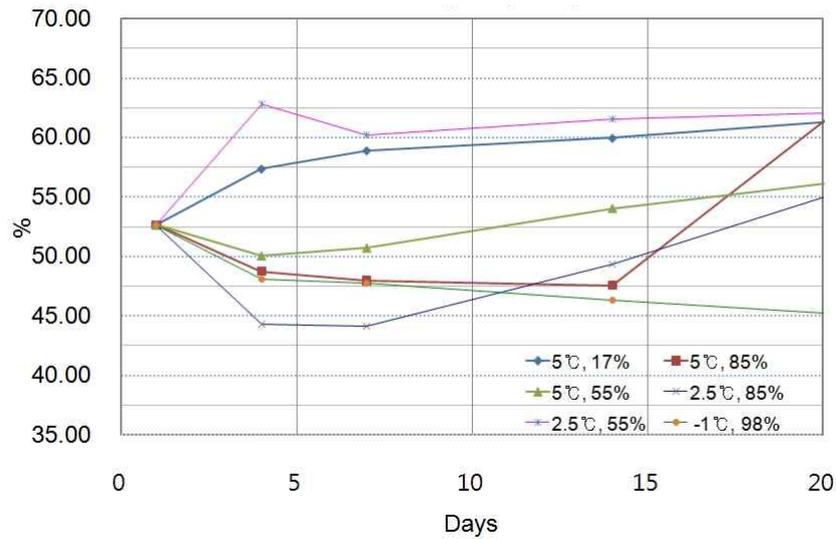


Fig. 35 Changes in Water Holding Capacity of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

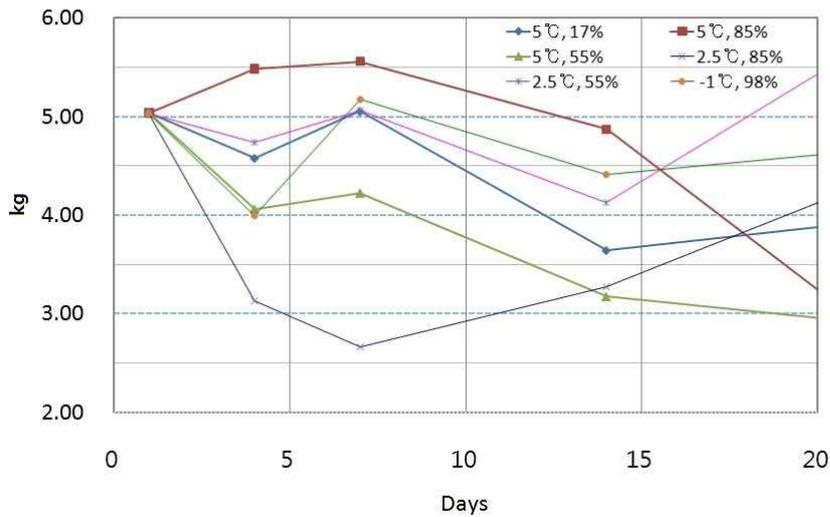


Fig. 36 Changes in WBSF of Hanwoo loin during storage in various temperature and relative humidity conditions.

4. 자외선을 이용한 살균 및 설정 연구

가. 자외선 및 자외선램프

(1) 자외선 특징

태양광의 스펙트럼을 프리즘을 통과시켰을 때 가시광선의 보라색보다 바깥쪽에 위치하는, 눈에 보이지 않는 빛이다. 1801년 독일의 화학자 J.W. 리터가 태양스펙트럼의 보라빛 바깥쪽에 염화은을 보다 세계 흑화시키는 힘을 가진 빛이 존재하는 것을 확인함으로써, 자외선을 발견하였다. 자외선은 약 380~10nm에 이르는 파장으로 된 넓은 범위의 전자기파의 총칭으로서, 극단적으로 파장이 짧은 자외선은 X선과 거의 구별되지 않는다. 자외선은 화학작용이 강하므로, 적외선을 열선(熱線)이라 하는 것에 대응하여 화학선이라 하기도 한다.

(2) 자외선의 분류

자외선의 파장은 380nm보다 짧은 파장의 빛이며, 파장의 종류에 따라서 성질이 다르다. 자외선 파장의 범위는 100nm ~ 400nm이며, 100nm ~ 280nm를 UV-C(단파), 280nm ~ 315nm를 UV-B(중파), 315nm~400nm를 UV-A(장파)로 분류한다.

- UV-A Light (315nm - 400nm) : Black light 라고도 하며 실내에서 선탠 (sun tan) 을 하거나 푸른 조명을 할 때 사용한다.
- UV-B Light (280nm - 315nm) : dorno선이라고 부르며 비타민D를 형성하거나 피부에 홍반현상을 일으킬 수 있다.
- UV-C Light (200nm - 280nm) : germicidal(살균)선이라고 하여 살균 작용이외에 산소를 오존으로 바꾸기도 합한다.
- 254nm : 살균전용파장, 오존파괴작용이 간하다.
- 진공자외선 : 파장이 짧아 투과력이 극히 약하며 우주공간에서 존재하는 자외선이다.
- 185nm : 오존생성파장 (TOC(total organic carbon) 제거용)

(3) 자외선 살균효과

(가) 자외선 살균 원리

자외선이 살균 효과를 가지는 것은 자외선 조사가 DNA(deoxyribonucleic acid)에 영향을 끼치기 때문이다(그림38). DNA에 자외선이 조사되면 DNA의 염기 중 티민의 분자구조가 집중적으로 파괴된다. 자외선을 흡수한 티민은 이웃한 티민이나 시토신과 눌러 붙게 되어 티민이 중합되면 DNA의 복제가 이루어지지 못하기 때문에 조사된 생명체로서의 기능이

정지되게 된다. 따라서 자외선을 조사하면 조사 부위의 균과 미생물의 DNA가 손상되어 더 이상의 증식을 막는 것이라 할 수 있다.

(나) 자외선 살균의 특징

자외선 살균의 특징은 모든 균종에 대해서 유효하고 약물이나 가열 등에 의한 살균방법과 달리 피조사물에 거의 변화를 주지 않으며 사용방법이 간단하며 경제적이다. 또 공기, 물의 살균에 가장 적당하고 공기, 물 이외의 대부분의 물질은 조사를 받은 표면의 살균에 한정하며 살균효과는 조사 중에 한하여 잔존하지 않는다.

일정한 강도의 자외선에 노출된 미생물의 생존율은 노출시간이 경과함에 따라 S자형 곡선을 나타내며 감소한다. 자외선을 낮은 에너지 수준으로 좌한 경우 미생물은 사멸되지 않고 부분적 상해를 입게 되며, 점차 자외선 조사량을 증가시키면 미생물의 생존수는 급속하게 감소한다. 자외선을 조사하다 보면 미생물이 사멸되지 않고 살균이 지체되는 현상이 관찰될 수 있는데, 그 이유는 저항성이 있는 미생물이 존재하거나, 용액 중에 부유한 현탁물질 또는 포장재에 의해 자외선이 차단되기 때문이다. 그림37은 자외선에 노출된 미생물의 일반적인 사멸 곡선이다.

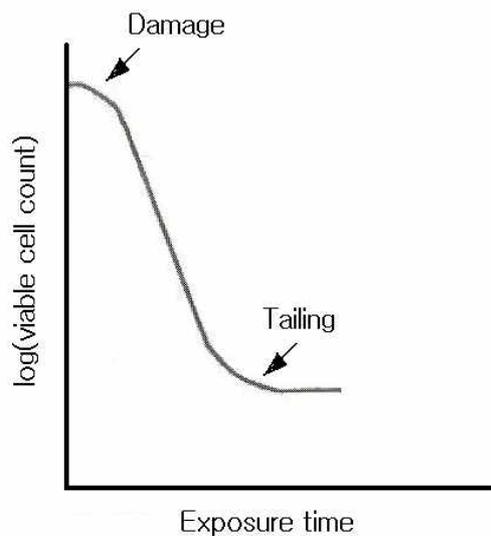


Fig. 37 Sterilization with UV exposure time.

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(다) 자외선 살균 조사량

각종 세균을 살균하는데 필요한 자외선 조사량은 실험자나 균주, 균의 발아단계, 환경, 조작 조건 등에 따라 조금씩 다른 수치가 보고되어 있다. 적리균, 티브스균, 콜레라균 등의 그람음성균은 대장균과 같은 정도이고, 화농균, 결핵균, 녹농균, 고초균 등의 그람양성

균은 대장균의 1.5~5배, 효모균은 2~6배, 곰팡이는 3~50배로 많은 조사량이 필요하다

자외선과 미생물 사멸속도와 관련한 문헌은 적으나 사멸곡선상에서 대수적으로 직선의 관계에 있는 영역의 치사율은 단위면적을 통과하는 총 복사에너지양과 관계가 있다. 총 복사에너지의 단위는 J/m²이며, 이를 자외선 조사의 살균효과를 표현하는 자외선 조사량(UV dose)이라 한다. 이 값은 자외선 조사속도(W/m²)에 노출시간을 곱한 값과 동일하며 아래의 수식과 같다.

$$S = \frac{P}{P_0} = \frac{e^{(-E \cdot t)}}{Q}$$

여기서,

S = 살균의 생존율

P = 조사 후의 살균수

P₀ = 조사 전의 살균수

E = 살균선의 방사강도 [μ W/cm²]

t = 살균시간 [min]

Q = 생존율 36.8%로 하는데 필요한 살균 조사량 [μ Wmin/cm²]

Q 값은 동일한 균일지라도 환경에서도 차이가 발생한다. 비교적 건조한 상온공기 중의 대장균에 대한 Q의 값은 약 5 μ W·min/cm²이지만, 습한 공기 중에서는 이 2배정도이고, 배지 상에서는 3~5배, 수중에서는 약 8배의 값이 된다. 이 데이터는 대부분의 균은 습도에 따라서 자외선 살균을 하여도 잘 죽지 않음을 의미하기도 하고, 수분이 있으면 균이 잘 살아간다는 것을 나타내기도 하므로 살균에 참고하여야 한다. 아래의 표 30은 대장균에 있어서 환경별 유효 자외선 조사량을 나타낸 것이다.

Table 30. Effective UV dose for sterilization of coliform bacillus.

살균율 (%)	생존율 (%)	상대습도 35% 조건 (μ W · min/cm ²)	광활성 고려시 조건 (μ W · min/cm ²)	수중의 경우 (μ W · min/cm ²)
63.2	36.8	5	12.5	38
90	10	11.5	28.8	87.5
99	1	23.5	57.8	175
99.9	0.1	34.5	86.8	262.5
99.99	0.01	46.5	115.3	350.0
99.999	0.001	57.8	144	437.5

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(라) 살균에 영향을 미치는 요소

자외선 살균은 전통적으로 물, 공기, 제품 특히 식품 표면을 살균하는데 많이 사용되어 왔다. 자외선 살균은 다른 처리방법에 비해 경비와 시간이 걸리지 않고 매우 짧은 시간에 살균할 수 있는 등 많은 이점이 있으므로, 의료, 화장품, 전자공업, 식품의 원료수나 철도차량·선박·가정 등의 음료수 등 널리 응용되고 있다. 그러나 액상식품 분야에서는 제품 대부분이 자외선을 투과하지 못하고, 탁도가 높거나 유색제품이나 겔 타입 제품은 살균이 안 되는 등, 자외선살균을 이용하는데 한계가 있다. 자외선 투과도가 나쁜 제품은 표면만 살균할 수 있다는 점을 충분히 인식하여 자외선 살균방법은 응용하면 살균 효과를 극대화할 수 있다.

자외선 살균법이 많이 사용되는 곳은 물 살균이나 본 연구에서 고려할 수 있는 영향요소는 아래와 같다.

- 균의 종류 : 살균하려는 균의 종류에 따라 살균량이 달라진다. 대장균을 살균할 때 살균 효과가 1 이라면, 일반세균의 경우는 1/2~1/4 정도이다. 곰팡이류에 대해서는 살균효과가 적기 때문에 여과 등의 다른 처리방법을 병용한다 .
- 물의 투명도 : 물은 살균선을 잘 투과하지만, 용존하는 성분에 따라 투과 정도가 크게 다르다. 특히 철분이나 불용해 미립자가 존재하면 살균선의 투과율이 극히 나빠진다. 투과율이 나쁜 액체를 살균 할 경우는 액을 얇은 층으로 하여 흘러 보내면서 조사하는 것도 한 방법이다.
- 처리 유량(유량 속도) : 처리효율은 유량 속도에 반비례한다 . 유량 속도가 크면 살균효과는 서서히 저하된다. 필요에 따라 유량조절로 제어한다 .
- 램프의 표면 오염 : 물에 접촉되는 석영관의 표면에 스케일이나 슬라임이 부착되면 자외선 투과율이 급격히 낮아져 살균효과도 저하되므로 정기적인 청소나 점검을 하도록 해야 한다 . 철분이 있는 지하수나 정수되지 않은 원수를 살균할 때는 정기적으로 표면을 세척해 주어야한다 .
- 수온 : 살균램프는 수온의 영향을 받아서 살균선 (파장 253.7nm)출력의 저하를 일으킨다. 이 관계는 살균램프 및 살균장치의 구조에 따라
- 램프의 열화 : 살균램프의 살균출력은 점등시간에 따라 서서히 감소하며 살균효과도 차츰 저하 된다 . 살균램프는 수명이 9000시간이다. 램프의 수명이 다하면 램프가 잘 켜진다고 해도 새 램프로 교환하는 것이 좋다.

(4) 기타 살균 방법

냉장 시스템에 비교적 쉽게 적용할 수 있는 다른 살균 방법은 아래와 같다.

(가) 오존 살균 방법

오존에 의한 음료수 살균을 1893년 네덜란드의 Oudshoorn에서 처음으로 라인강물을 처리하기 위하여 사용되었다. 오존의 사용은 단순한 살균력뿐만 아니라 철과 망간을 침전시키는 효과가 있으며 SO₂ 물질의 분해 또는 흐린 물의 제거나 냄새와 맛 또한 여러 유기물질을 산화시키는 역할을 하였다. 오존의 사용은 염소소독보다 더 경비가 많이 들고 번거로우며 살균력의 지속성이 없는 방법이지만 음료수에 사용할 수 있는 방법 중 가장 살균력이 뛰어나며 염소 소독 시 생길 수 있는 발암물질인 클로로포름이라는 2차 부산물과 같은 유해물질을 생성하지 않는 장점이 있다.

오존은 박테리아 제거라는 조건에 있어 주의가 필요하다. 오존을 이용한 유해 박테리아 제거 시에 부패 유기물을 영양분으로 하는 좋은 미생물마저 파괴하기 때문이다. 또한 오존 살균은 수분, 온도, pH, 오존 농도, 유기물의 종류와 시간에 따라서 병원균에 대한 치사율이 결정되며, 수중에서 오존을 통한 살균을 실시할 때, 오존 가스의 작용은 아주 순간적이며, 산화 후에 오존은 유독성 부산물이나 잔류물을 남기지 않고 원래의 산소 형태로 돌아간다.

오존을 통한 살균 메커니즘을 정확하게 규명되지 않았으나 오존이 물과 반응하여 hydroxy radical(OH) 혹은 hydroperoxy radical(HO₂)이 형성 되어 살균작용을 나타내는 것으로 추정되고 있다.

(나) 초단파(microwave) 살균

초단파 살균은 식품 중의 유극성 분자가 전장에 배향하려고 해서 심한 진동 또는 회전운동을 하며 내부 발열하면서 품온이 내외부 모두 급속히 상승하는 것을 이용한 것이다. 초단파는 우리가 사용하는 전파 중 파장이 짧고 빛에 가까운 성질을 겸하고 있으며 금속에 닿으면 완전히 반사되어 금속에 작용을 미치는 경우는 없다.

초단파를 단시간 반복적으로 식품에 적용시킴으로써 강한 작용에 의하여 균체내 단백질이나 생리활성 물질이 변성을 일으켜 살균이 촉진된다. 초단파 살균의 이점은 품질에 손상 없이 식품의 내부까지 단시간 살균이 가능하고 보통의 가열살균보다 저온에서 목적을 달성할 수 있으며 비금속물질로 포장된 식품의 가열살균이 가능하다. 생체를 구성하는 각종 고분자의 가동성기, 극성기, 이온 등이 심하게 회전하므로 단백질, 핵산 등이 변성을 일으켜 살균을 촉진시킨다. 또 열전도에 의한 온도 상승의 지체가 없고 평균 출력이 낮고 시료 온도가 높지 않아도 살균목적을 달성할 수 있다.

조리살균을 하나의 공정으로 초단파가열을 하는 경우가 많고 포장식품, 병조림식품, 도시락 등은 저장이나 보존을 목적으로 하여 살균 혹은 멸균을 하고 있다. 초단파 가열로 수분이 증기화하여 포장용기면에 이슬이 맺혀 식품의 품질저하를 발생시키는 경우가 있고, 또한 수분이 많은 전분식품을 가열멸균한 후 장기보존하면 노화현상이 일어난다. 청주, 간장, 야채조미료, 유산음료 등 용기봉입식품, paste형상식품, 크림살균에도 탁월한 효과가 있으며 실용화시대에 이르고 있다. 로스햄과 같이 지방질과 단백질이 분리되어 존재하는 식품은 균일가열이 어려우나 소시지, 어육연제품과 같이 균일한 육질 식품의 살균에는 적합하며 실용화가 진행되고 있다.

(다) 기타 살균 방법

냉장 시스템에 적용하기는 어려움이 있으나, 식품의 살균에 적용할 수 있는 살균법은 다음과 같다.

고압 살균 : 수백 Mpa의 고압을 이용해서 살균하는 방법이다. 이를 위해서는 고압에 견딜 수 있는 장치가 필요하기에 장치 비용이 매우 높은 단점을 갖는다. 최근에는 압력 수준을 낮추어 장치 비용을 줄이기 위해서, 시료의 수소 이온 농도(pH)를 낮추거나(예 : 탄산가스 용해) 첨가제(예 : allylisothiocyanate)의 투입 및 온도 조정 등으로 살균효과를 고압수준과 동일 수준으로 하려는 연구가 진행되고 있다.

고전압 살균 : 고전압 펄스를 이용하여 순간적으로 살균을 실시할 수 있는 방안이 시험적으로 진행되고 있다. 이 방법은 임계 전압 이상의 고압을 아주 짧은 시간동안에 펄스 형태로 가하여 살균효과를 얻을 수 있는 것인데, 곡류 저장 시스템에 적용하기 위해 연구가 진행되고 있다.

가스 살균 : 가스를 이용한 살균방법으로 크세논(Xe)과 같은 불활성 가스를 시료와 혼합하여 고압으로 유지하면 크세논 가스가 시료 표면 등에 부착된 미생물 세포액 중에 용해되었다가 순간적으로 감압하면 세포외로 방출되어 균체에 손상을 입혀 살균 효과를 나타내는 방식이다.

전자선 살균 : Soft electron 처리 방법으로 불리우며, 종래의 방사선 처리보다 저에너지 전자선을 이용하는 방법이다. 전자선의 투과력을 억제해 표면 부분만 살균처리를 하여 대상물의 품질열화를 방지할 수 있다. 투과력이 약해 전 표면 조사가 필요하므로 균일한 조사를 위해 전동 장치를 부착해야 한다. 살균 효과가 다른 비열처리에 비해 양호하여 대량 처리 시스템 등에 이용할 수 있다.

(5) 자외선 살균과 기타 살균과의 차이

자외선 살균을 냉장 시스템에 기본 장착 모델로 선정하고 타 살균 방법과 비교하였다(표 31).

Table 31. Comparison with common sterilization methods.

분류	자외선살균	열 살균	약품 살균	오존 살균	방사선 살균
균종의 살균	모든 살균에 대해 유효	모든 살균에 대해 유효	특정 살균에 대해서만 유효	모든 살균에 대해 유효	모든 살균에 대해 유효
살균선 변화	거의 변하지 않는다	변하는 경우도 있다	변하는 경우도 있다	변하는 경우도 있다	거의 변하지 않는다
투과성	공기, 물 등을 제외하고는 투과성이 낮다	물건의 내부에 대해서도 유효	물건의 내부에 대해서도 유효	공기 이외는 물건의 표면만 유효	물건의 내부에 대해서도 유효
살균 소요 시간	짧다	꽤 길다	꽤 길다	길다	짧다
살균작용의 지속성	조사하는 동안만 유효	가열하는 동안만 유효	일반적으로 꽤 길다	오존잔류 동안만 유효	조사하는 동안만 유효
사용방법	용이	곤란한 경우도 있다	용이	용이	곤란
최적대상물	공기, 물, 물건의 표면살균	물, 식품, 기구	물, 식품, 기구	공기	물, 식품, 기구
설비비	싸다	비싸질 경우가 있다	일반적으로 싸다	일반적으로 싸다	비싸다
유지비	싸다	조금 싸다	일반적으로 비싸다	싸다	일반적으로 비싸다

(6) 자외선 램프 선정

자외선을 이용하여 식품에 살균하기 위해서는 UV-C 계열을 사용하여야 하며, UV-C(단파)의 자외선 중에서, 가장 살균력이 강한 253.7nm의 자외선을 풍부하게 발생시키는 램프를 사용해야 한다. 또한 UV-C 내에서도 단파는 공기 중의 산소와 반응하여 오존을 만들어내는 효과가 있다. 이 오존에 의해 더욱 효율적인 살균이 가능하기도 하나, 오존 특유의 냄새가 문제가 된다. 오존은 사용자에게 비릿한 냄새로 인식되어 불쾌감을 불러올 수 있기 때문이다. 자외선에 의한 살균은 살균램프를 점등시키는 것만으로 살균할 수 있기 때문에 사용방법이 간단하고 설치비와 유지비도 경제적이다.

냉장 시스템에 적용 가능한 모델로서 오존이 발생하는 G12T5VH(Lighttech, Hungary) 모델과 오존을 발생시키지 않는 모델인 G12T5L(Lighttech, Hungary)가 있었다. G12T5VH 모델은 $30\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 출력에 살균선 (253.7nm)과 오존을 발생시키는 (184.9nm) 파장을 동시에 조사(照射)하여 비조사면에도 살균이 이루어지는 장점이 있다. G12T5L 모델은 자외선 출력이 $32\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 로서, 오존이 발생하는 184.9nm의 파장을 제외하고 253.7nm의 조사에 중점을 둔 램프이다. 두 모델 모두 길이는 235mm이며, 관경은 16mm 이다. 본 연구에서 사용한 램프는 그림 38과 같으며, (a)는 G12T5VH 모델이고 (b)는 G12T5L 모델이다. 초기에는 G12T5VH 모델을 사용하였으나, 특유의 오존취로 인해 일상 환경에 두기에는 곤란한 점이 많아 G12T5L 모델로 교체하였다.

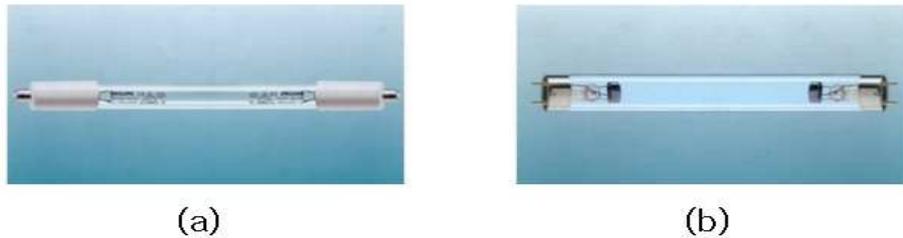


Fig. 38 Image of UV lamp.

나. 자외선 살균의 효과 실험

(1) 한우육의 자외선 조사와 냉장 저장

(가) 실험방법

자외선 살균이 실제로 한우육의 저장성 향상에 도움이 되는지, 또한 어느 정도의 조사 시간을 거치는 것이 가장 적절할지를 판단하기 위해 조사 시간을 다양하게 설정하여 한우육의 조사 실험을 진행하였다. 한우 등심을 1cm 두께로 slice하여 plastic tray에 LLDPE wrap으로 포장한 후 -1°C 항온항습기에 저장하였으며, 그림 39와 같이 자외선램프를 설치하였다. 자외선 조사에 따른 한우 등심의 이화학적, 관능적 저장특성의 변화를 측정하기 위하여 항온항습기 저장 시 최초 1회에 한하여 30분, 60분, 120분간 자외선을 조사하였다. 시료의 이화학적 분석은 저장 3, 6, 13, 20일차에 각각 수행하였다.



Fig. 39 Image of UV lamp installed in thermo-hygrostat.

(나) 실험 결과

자외선 조사시간은 한우 등심의 pH, 보수력, 전단력에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 다만 자외선을 60분과 120분 조사한 등심에서 명도가 전체 저장기간에 걸쳐 유의적으로 낮게 나타났으며 ($p < 0.05$), 저장기간이 증가함에 따라 적색도와 황색도가 조사하지 않은 등심에 비해 빨리 감소하는 것으로 나타났다(그림 40~42). 저장기간 동안 한우 등심의 pH에 있어서는 일관된 경향을 나타내지 않았다(그림43). 또한 저장기간 동안 한우 등심의 보수력(그림44)과 가열감량(그림45)에 있어서도 유의적인 차이를 보이지 않아 120분까지의 자외선 조사는 pH와 함께 보수력과 가열감량에 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

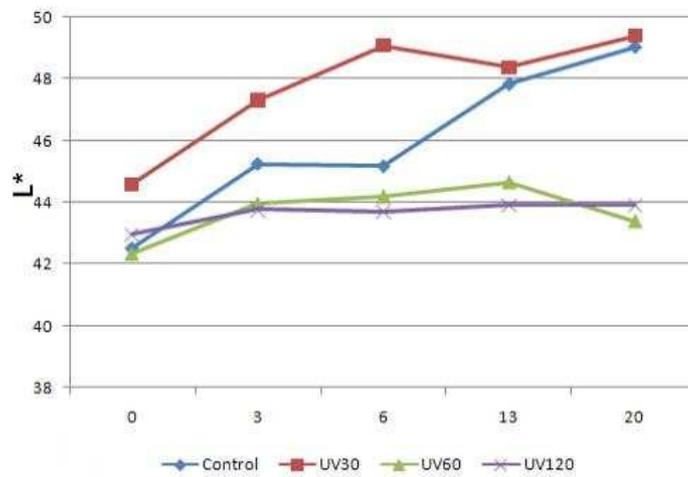


Fig. 40 Changes in lightness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

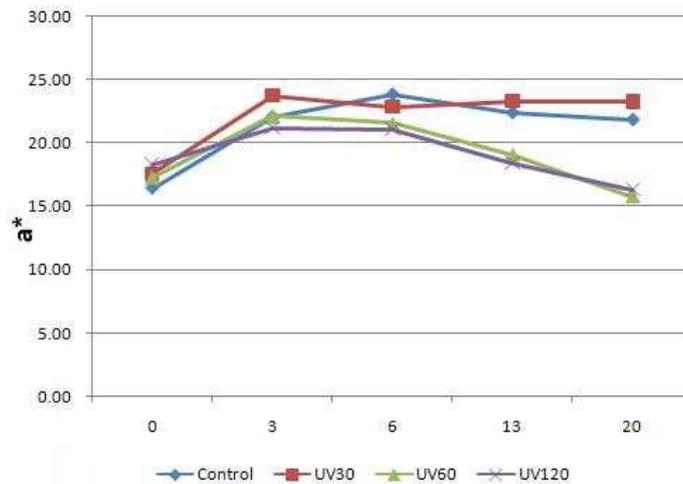


Fig. 41 Changes in redness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

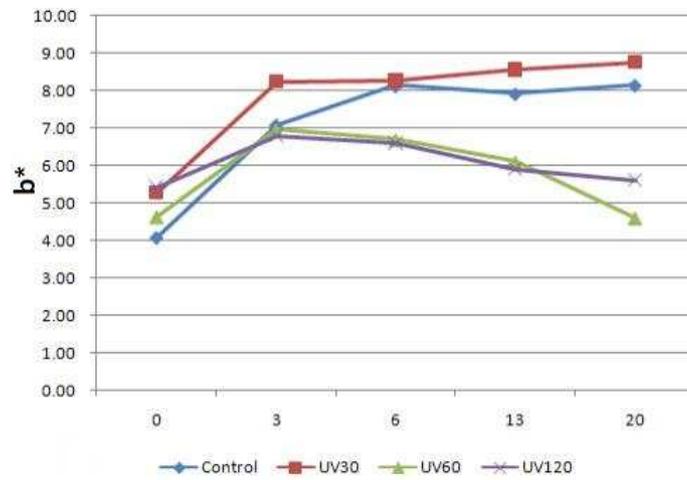


Fig. 42 Changes in yellowness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

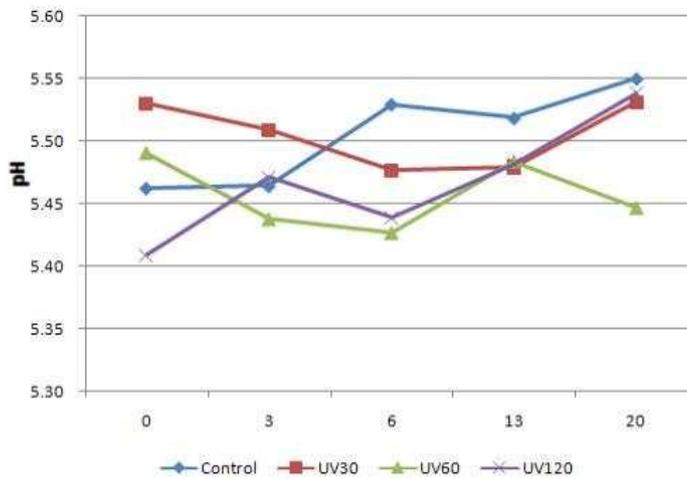


Fig. 43 Changes in pH of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

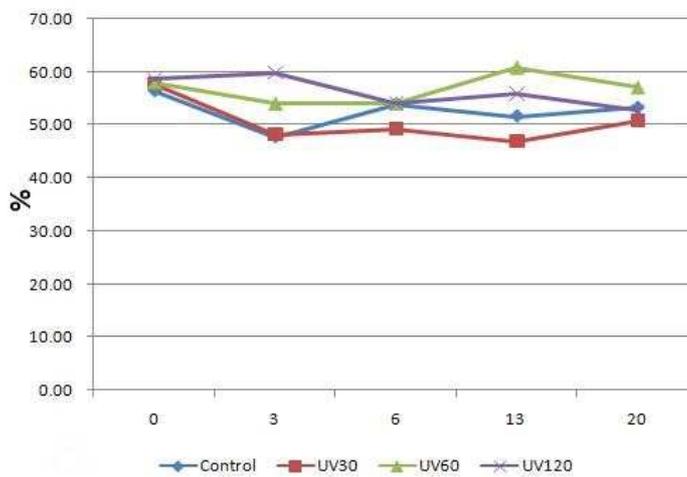


Fig. 44 Changes in water capacity of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

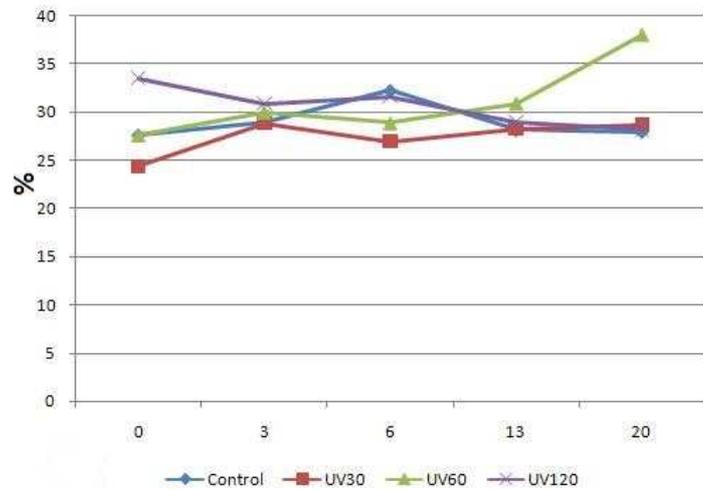


Fig. 45 Changes in cooking loss of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

자외선 조사에 따른 한우 등심의 저장기간 중 신선도 변화는 그림 46~48에 나타낸 바와 같다. 저장기간이 증가함에 따라 단백질 변패도, 지방산패도, 총 균수 모두 유의적으로 증가하는 결과를 보였다. 총 균수에 있어서 자외선 조사를 60분과 120분 수행했을 때 초기 세균수의 유의적인 감소효과를 얻을 수 있었으며, 이를 통하여 저장기간 동안 유의적으로 낮은 세균수를 유지할 수 있는 효과를 얻을 수 있었던 것으로 사료되었다.

다만 지방산패도에 있어서 60분과 120분 자외선을 조사한 등심 시료들에서 저장기간 중 더 빠른 지방산패도의 증가를 보여 세균에 대한 살균효과와 지방 산패를 촉진하지 않는 자외선의 적정 조사수준에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

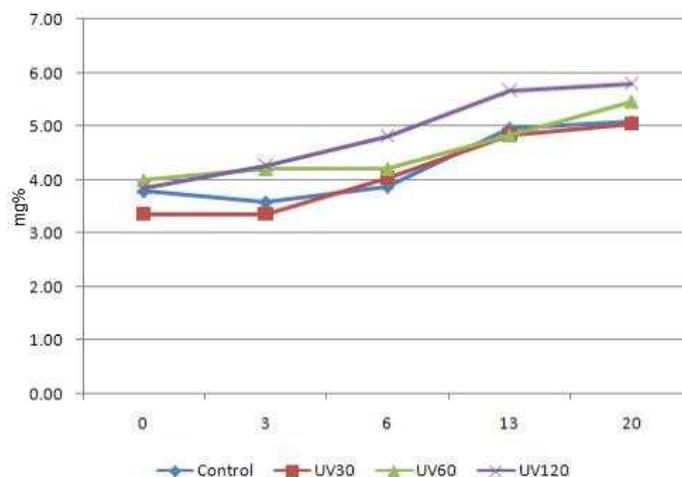


Fig. 46 Changes in VBN of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

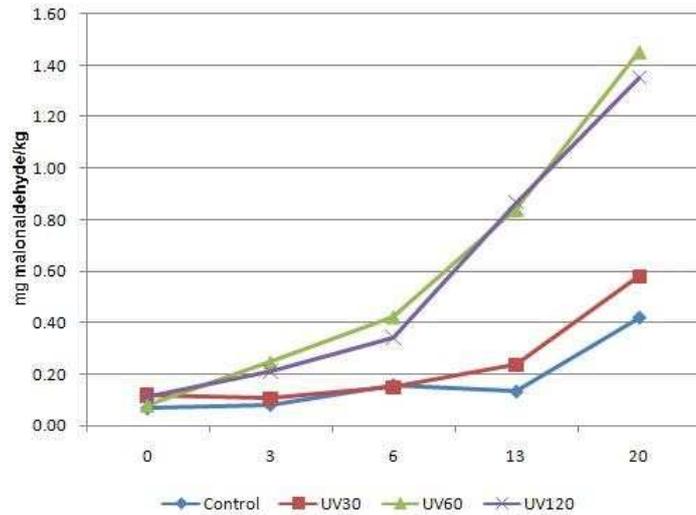


Fig. 47 Changes in TBA of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

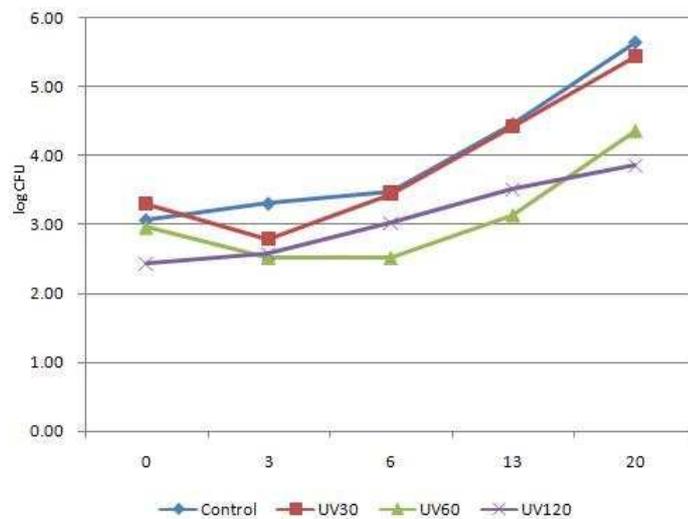


Fig. 48 Changes in total microbes of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

자외선 조사에 따른 한우 등심의 관능적 특성은 가열 전과 후로 구분하여 수행하였다(표 32, 33). 가열 전 등심은 자외선 조사에 의해 육색과 변색도에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 독특한 자외선 조사취에 의해 이취 항목에서 유의적으로 높은 점수를 얻었으며, 이로 인하여 기호도에서도 조사를 하지 않은 대조구에 비해 유의적으로 낮은 기호도를 보였다. 그러나 저장기간이 증가함에 따라 조사취가 약해지면서 저장 3일차부터는 대조구와 유의적인 차이를 나타내지 않았다(표 32). 그러나 가열 후 등심에서는 저장기간 동안 모든 자외

선 조사를 한 처리구들에서 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않아 자외선 조사가 가열육의 풍미에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(표 33).

Table 32. Changes in sensory evaluation of control and UV irradiated Hanwoo loin meat by days before cooking.

		0	3	6	13	20
육 색	Control	8.93±0.25aA	9.00±0.00aA	7.90±0.57B	7.70±0.48B	6.20±0.79abC
	UV30	8.50±0.71bAB	8.80±0.42abA	8.00±0.67BC	7.80±0.42C	7.40±0.97aC
	UV60	8.80±0.42aA	8.50±0.53bA	8.40±0.70A	7.80±0.42A	6.00±2.05bB
	UV120	9.00±0.00aA	8.87±0.35aAB	8.45±0.60B	7.45±0.76C	5.70±1.59bD
이 취	Control	1.00±0.00cC	1.30±0.48BC	1.20±0.42BC	1.90±0.32bC	4.00±2.16abA
	UV30	2.40±1.17abAB	1.30±0.48C	1.20±0.42C	1.70±0.48bBC	2.80±1.40bA
	UV60	2.70±1.06aB	1.50±0.71C	1.70±0.82C	2.00±0.67abBC	4.70±1.16aA
	UV120	2.00±0.91bBC	1.57±0.57C	1.60±0.50C	2.40±0.50aB	3.10±1.07bA
변 색	Control	1.00±0.00bC	1.00±0.00C	1.30±0.48C	2.00±0.47B	2.60±0.70abA
	UV30	1.10±0.32aB	1.00±0.00B	1.30±0.48B	1.90±0.57A	2.00±0.82bA
	UV60	1.00±0.00bB	1.00±0.00C	1.50±0.71B	1.80±0.79B	3.70±1.83aA
	UV120	1.00±0.00bC	1.00±0.00C	1.10±0.31C	2.05±0.89B	3.55±1.64aA
기 호 도	Control	9.00±0.00aA	8.60±0.70AB	8.30±0.48BC	8.00±0.00aC	5.90±1.29aD
	UV30	8.10±0.88bcA	8.60±0.52A	8.40±0.52A	7.90±0.32aA	7.00±1.49aB
	UV60	7.90±0.99cA	8.60±0.52A	8.10±0.74A	7.70±0.48aA	4.60±1.78bB
	UV120	8.50±0.63bA	8.70±0.47A	8.30±0.57A	7.05±0.69bB	5.90±1.17aC

Table 33. Changes in sensory evaluation of control and UV irradiated Hanwoo loin meat by days after cooking.

		0	3	6	13	20
육 색	Control	8.93±0.25abAB	9.00±0.00A	8.70±0.48AB	8.60±0.52aB	7.80±0.79C
	UV30	8.90±0.32abA	9.00±0.00A	8.90±0.32A	8.60±0.52aA	8.00±0.67B
	UV60	9.00±0.00aA	8.70±0.48AB	8.60±0.52AB	8.40±0.52aB	7.00±0.82C
	UV120	8.67±0.55bA	8.73±0.45A	8.70±0.57A	7.70±0.86bB	6.85±1.81C
풍 미	Control	8.57±0.63aAB	8.90±0.32aA	8.70±0.48AB	8.30±0.67B	7.30±0.95abC
	UV30	9.00±0.00aA	8.90±0.32aA	8.60±0.52A	8.00±0.67B	7.70±0.95aB
	UV60	8.00±0.82bAB	7.80±0.92bAB	8.50±0.53A	7.60±0.97B	6.60±0.52bC
	UV120	7.60±0.89bB	8.37±0.72aA	8.40±0.68A	8.00±0.86AB	6.70±1.49abC
연 도	Control	7.90±0.76bB	8.30±0.67	8.40±0.52	8.30±0.48	8.10±0.32
	UV30	7.90±0.57bA	8.10±0.99aB	8.60±0.52A	8.40±0.52AB	8.40±0.52AB
	UV60	8.90±0.32a	8.60±0.52AB	8.20±0.42B	8.50±0.53AB	8.40±0.52B
	UV120	8.27±0.64b	8.33±0.80	8.20±0.77	8.40±0.50	8.35±0.59
다 즙 성	Control	8.10±0.76abAB	8.40±0.52A	7.80±0.42B	7.70±0.48aB	6.60±0.52C
	UV30	8.50±0.53aA	8.50±0.71A	8.20±0.63A	7.60±0.52abB	6.90±0.57C
	UV60	8.00±0.82abA	8.00±0.94A	7.70±0.48A	7.00±0.47cB	6.30±0.48C
	UV120	7.83±0.79bA	8.10±0.71A	8.00±0.79A	7.10±0.72bcB	6.30±0.86C
기 호 도	Control	8.60±0.67abA	8.60±0.52A	8.20±0.42A	8.10±0.57A	6.90±0.99abB
	UV30	9.00±0.00aA	8.80±0.42A	8.50±0.53AB	8.00±0.67B	7.40±0.97aC
	UV60	8.50±0.71bA	8.50±0.53A	8.40±0.52A	7.40±0.97B	6.10±0.74cC
	UV120	8.17±0.70bA	8.47±0.68A	8.50±0.69A	7.50±0.83B	6.45±0.76bcC

자외선 조사실험 결과 자외선의 조사 시간이 길어질수록 한우 등심에서 세균에 대한 살균효과가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 60분과 120분간의 UV 조사 시료는 저장기간 중 더 빠른 지방산패도의 증가를 보이는 것 또한 확인되었다. 30분간의 조사에서는 세균에 대한 살균효과는 거의 나타나지 않으나, 지방 산패도의 증가 또한 발생하지 않았으므로 30분~60분 사이의 조사 시간에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 따라서 1세부에서 개발한 2차 시작기 내에서의 추가 실험을 통해 적절한 자외선 조사 시간을 결정하고자 하였다.

(다) 2차 자외선 조사 실험 방법

1차 실험에서 자외선 조사에 의한 총 미생물수의 유의미한 감소를 확인했기에, 보다 적절한 조사 시간을 정하기 위해 추가 실험을 진행하였다. 한우 등심은 1.5cm 두께로 slice하여 zipperbag으로 포장한 후 -1℃ 직접 냉각 방식의 냉장 시스템에 저장하여 공시재료로 사용하였다. 자외선 조사에 따른 한우 등심의 이화학적, 관능적 저장특성의 변화를 측정하기 위하여 항온항습기 저장 시 최초 1회에 한하여 0분, 15분, 45분간 자외선을 조사하였다. 저장성 분석은 저장 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14일차에 각각 분석을 수행하였다.

(라) 2차자외선 조사 실험 결과

육색 과 가열감량의 변화에 있어 각각 저장 시간과 자외선 조사 시간에 따른 유의미한 변화는 보이지 않았다. 명도는 아무런 유의성도 발견하지 못하였고(그림 49), 적색도(그림 50)와 황색도(그림 51)의 경우 조사시간과 무관히 초반 다소 증가하다가 6일차 이후 감소하는 경향성은 보였지만, 유의한 결과는 아니었다. 자외선 조사 시간에 따른 육색과 가열감량(그림52)에 대한 영향은 거의 없는 것으로 보인다.

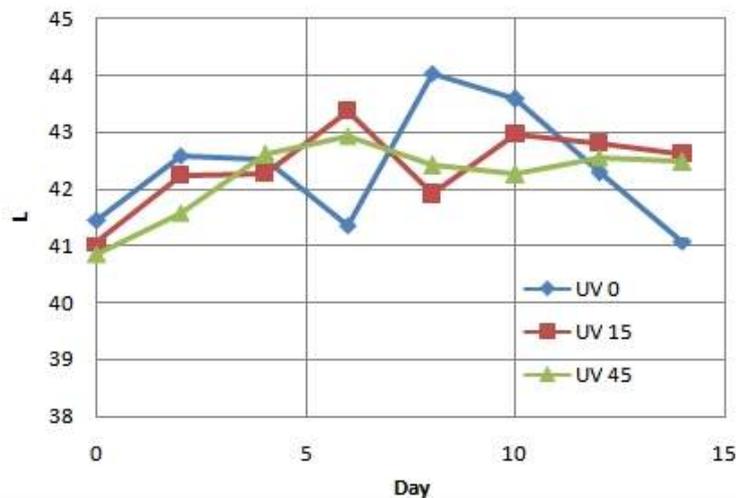


Fig. 49 Changes in lightness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

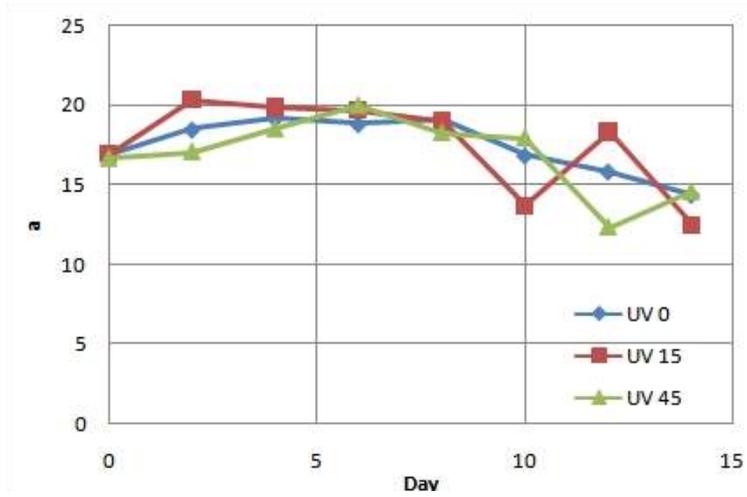


Fig. 50 Changes in redness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

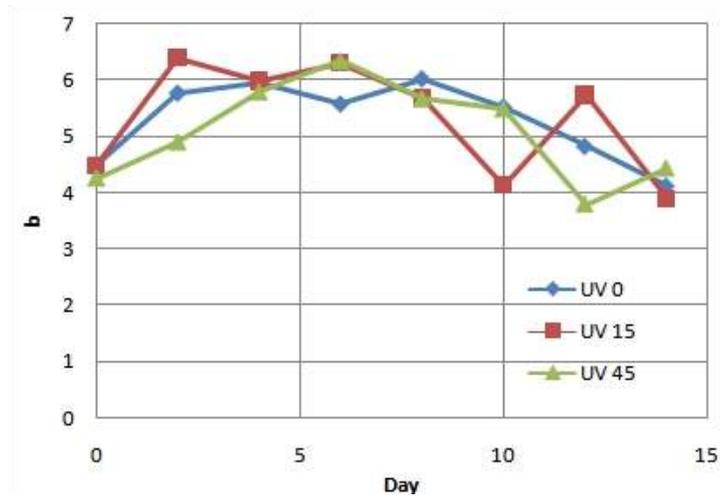


Fig. 51 Changes in yellowness of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

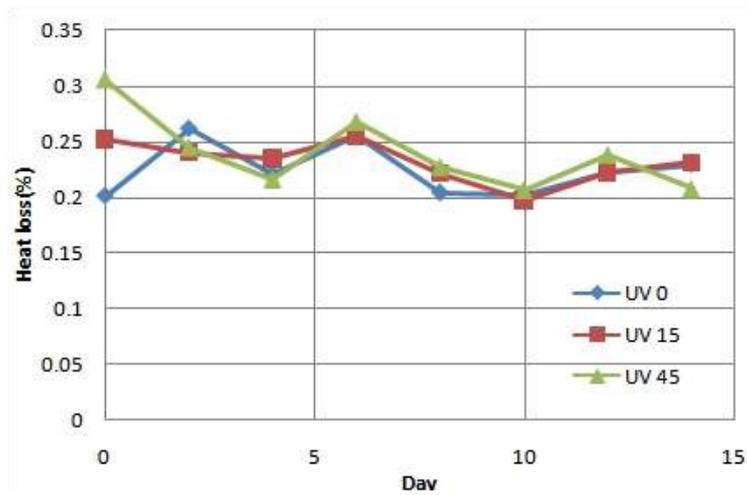


Fig. 52 Changes in heat loss of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

이화학적 저장성 검사에서 공통적으로 나타나는 것은 저장 기간에 따른 VBN, TBA, 미생물수의 증가추세이다. 이들은 모두 저장성과 관련된 수치로, 시일이 지남에 따라 점차 부패 기준치에 다가가는 모습을 보여주었다. pH값은 기간에 따른 유의성이 크게 보이지 않는다. 일반적으로 pH6.2 이상의 값을 식육이 상한 것으로 판단(Offer, 1991)한다. 하지만 본 실험에서는 그림 53에서 보이는 것처럼 pH 값은 기준치를 넘지 않으면서도 기간의 변화에 따른 뚜렷한 경향성은 그다지 보이지 않았다.

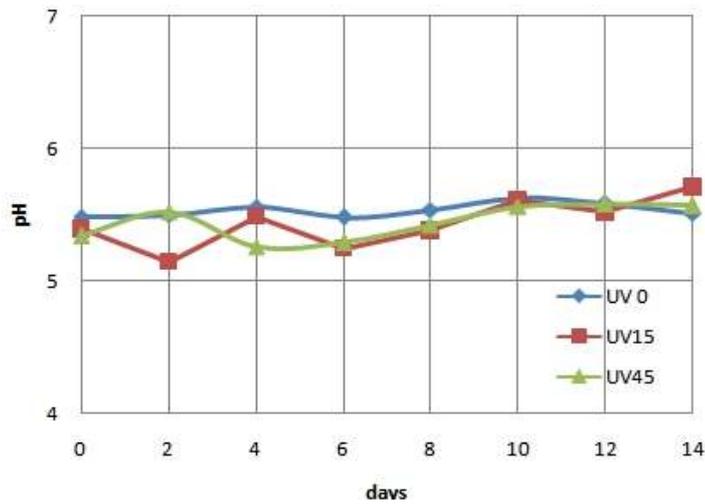


Fig. 53 Changes in pH of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

단백질 변패도(VBN)의 경우 그림 54에서 보이는 것처럼 부패 기준치 20mg%에 UV 0분은 12일, UV 15분은 10일, UV 45분은 9일 만에 도달하는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 그 차이는 그렇게 크지 않아, 자외선 조사 시간에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다. 특히 15분간의 조사는 control인 0분간의 조사와 거의 동일하여 영향을 찾아보기 힘들었다.

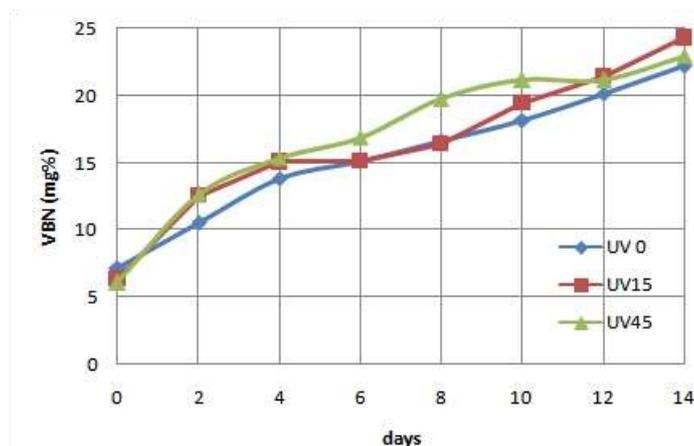


Fig. 54 Changes in VBN of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

지방 산패도(TBA)의 경우 그림55에서 보이듯이 부패 기준치 0.46mg malonaldehyde /kg (Brewer et al., 1992)에 모든 시료가 7일 정도면 도달하는 모습을 보인다. 또한 기준치 도달 이후 UV 45분의 TBA값이 다른 시료에 비해 높게 나온 것으로 보아 자외선 조사가 지방산패를 촉진할 수 있는 것으로 보인다. 이는 자외선 조사 시간이 길어질수록 지방산패도의 선형증가추세를 보인 사례(Carolyn et al., 1955)와 같은 결과이다.

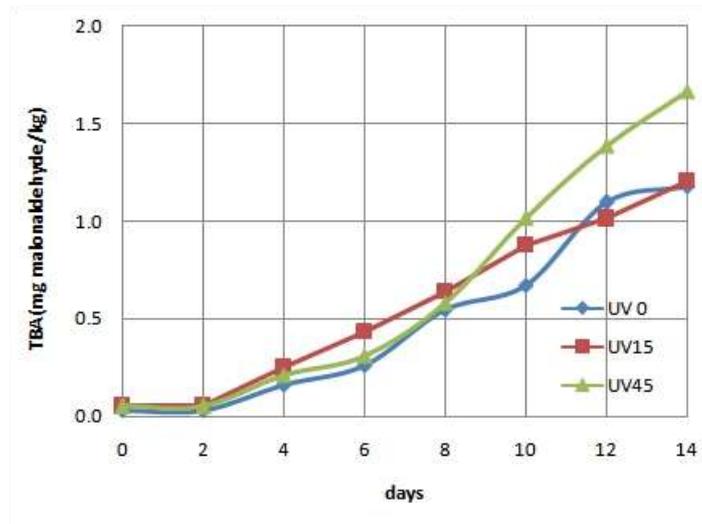


Fig. 55 Changes in TBA of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

이처럼 자외선의 조사가 지방 산패를 촉진시키는 이유는 지방의 산패 과정과 관련이 있는 것으로 보인다. 지방이 공기 중에 노출되면 지방 내의 불포화 성분이 산소와 결합해 과산화수소물로 전환되며, 이 과산화수소물이 분해되어 휘발성 물질로 변하게 된다. 이 과정을 산패라 하며, 생성물 중에는 불쾌한 냄새를 동반하는 것들이 있어 사람에게 불쾌감을 주게 된다. 자외선이 조사된 지방은 분해되어 반응성이 높은 자유라디칼(free radical)이 형성되게 된다. 자유라디칼을 지닌 물질은 반응성이 높아 쉽게 반응을 하게 된다. 자유라디칼은 산화를 촉진시켜 많은 과산화수소물을 만들게 되고, 지방은 보다 빠르게 산패하게 된다.

총 미생물수의 경우 그림 56에서 보이듯 모든 시료가 실험기간인 2주 이내에 부패 기준치인 log 7 CFU(Ayres, 1960, Gill, 1982)를 넘지 않았다. 자외선 조사의 즉각적인 효과를 보여줄 초기 0일차 시료들의 수치가 같은 것에서 보이듯이, 조사 직후에는 미생물 수치가 크게 떨어지는 모습을 보여주지는 않았다. 하지만 6일차 이후의 결과에서 확인 할 수 있는 것처럼 UV 45분 조사 시료는 미생물수의 증가가 억제되는 모습을 보이며, 15분 조사 시료는 미생물수가 7일 정도 유지되다 점차 증가하는 모습을 보였으며, 0분 조사 시료는 미생물 수가 점차적으로 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

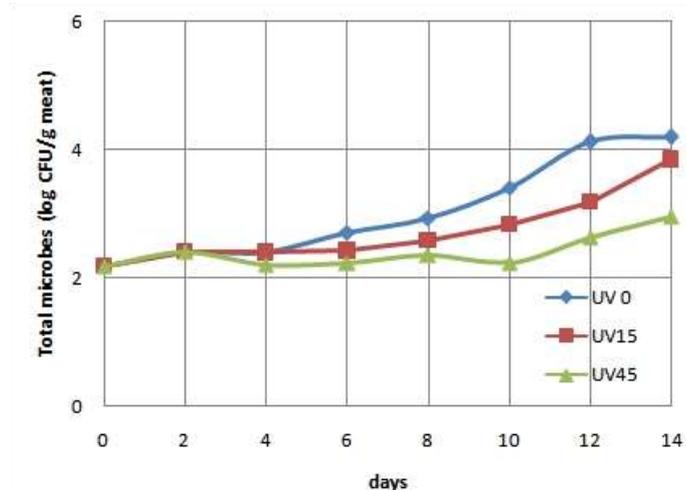


Fig. 56 Changes in total microbes of Hanwoo loin during storage in various UV irradiation time.

실험을 통해 자외선 조사가 한우육의 저장성에 미치는 영향을 알 수 있었다. 자외선 조사는 그 시간이 길수록 더 많은 미생물을 감소시키는 것으로 보인다. 하지만, 지방 산패도에 있어서는 오히려 더 긴 자외선 조사가 더 빠른 산패를 가져왔다. 분명히 미생물 수가 감소했음에도 불구하고 지방 산패가 가속화 된 것은 자외선의 조사에 의한 영향으로 보인다. 자외선 조사 1차 실험에서 30분의 조사가 유의적인 TM(total microbial counts)의 감소를 가져오지 않았고, 본 실험에서 45분의 조사가 충분한 미생물 수 감소를 가져오면서도 1차 실험의 60분 조사에 비해 VBN과 TBA의 증가가 유의적이지 않았음을 알 수 있다.

따라서 한우육의 저장성 향상을 위해 자외선을 조사하는 것은 30분~45분 사이의 시간으로 한정하여야 지나친 지방 산패를 일으키지 않으면서도 미생물의 수가 감소하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

다. 포장 재질에 따른 자외선 살균 효과

(1) 실험 배경

자외선을 통해 한우육을 살균하는 과정에서 랩과 지퍼백의 두가지 포장재를 사용했기에, 이런 포장지의 사용에 따른 차이가 우려되었다. 따라서 랩 포장과 지퍼백에 각각 보관된 한우육의 저장성을 비교하여 포장 재질이 한우육의 저장에 미치는 영향을 평가해 보도록 하겠다.

(2) 포장지의 선정

랩 포장은 일반적인 스티로폼 용기에 한우육을 담은 뒤, 공기를 차단할 수 있도록 랩 포장을 통해 밀봉한 상태의 포장을 말한다. 일반적으로 정육의 판매는 이런 트레이를 통해

이루어진다. 정육점에서 일반적으로 사용하는 랩 포장은 PVC(polyvinyl chloride)재질로 된 경우가 대부분이다. 폴리에틸렌 제품과 비교하여 내한성·신장성은 뒤떨어지나, 투명성·강도에서 우수하다는 특징을 가진다.

지퍼백은 일반 가정에서 음식을 장기 보관할 때 간편하게 밀봉할 수 있는 방법을 제공해주어 널리 쓰이는 포장재이다. 이런 지퍼백은 주로 LDPE(Low Density Polyethylene Film, 저밀도 폴리에틸렌)와 LLDPE(Linear Low Density Polyethylene Film, 선형저밀도 폴리에틸렌)의 합성체로 만들어지게 된다. LDPE와 LLDPE는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 기계적 작업성이 뛰어나다.
- 수증기 투과성이 낮고 가스 투과성 높다. 자외선의 투과성이 높다.
- heat seal 성이 좋으며 간단하다.
- 인쇄적성이 나쁘다.
- 식품산화 변질이 적다.
- 내열식품용으로 부적당하며, 내한식품에 적절하다.
- 가격이 저렴하며, 용매에 불용, 유연성을 가진다.
- 비교적 저온에서 살균도 가능하다..
- 인장력이 좋으나 투명성이 P.P에 비해 떨어진다.
- 일반적으로 압출코팅가공이 많다.
- 다양한 색상첨가가 가능하다.
- 가장 일반적인 소재로서 대부분의 연포장에는 Sealant로서 쓰인다.

[용 도]

냉동식품, 신선야채, 육류, 과자, instant식품, 미곡류, 섬유류 포장, 비닐봉지, 겉포장류, 건축용, 농업용, 공업용 등 가장 일반적으로 사용되어지는 비닐이다.

(3) 실험 방법

시료는 1.5cm 두께로 slice하여 zipperbag과 LLD-PE wrap의 2개군으로 나누어 포장한 후 -1℃ 직접 냉각 방식 2차 시작기에 저장하였다. 저장 초기에 UV를 15분간 조사하여 미조사 시료와 비교한 후, 그 이후로는 지퍼백 포장 시료와 랩 포장 시료의 변화를 측정하였다. 저장성의 분석은 0일과 14일에 각각 이루어졌다.

(4) 실험 결과

pH의 측정 결과(그림 57)는 이전의 실험들과 마찬가지로 지퍼백과 랩 포장 사이에 유의성 있는 차이는 발견되지 않았다. 기간에 따른 변화도 0.2 이내로 역시 유의성을 보이지 않

았다. VBN 값도 큰 차이를 보이지 않았다(그림 58). 저장 초기치에서 14일 보관까지 그 값의 증가를 보이면서 두 포장방식 모두 비슷한 값을 나타내었다. TBA는 두 시료 모두 14일차에는 기준치인 0.5를 넘는 모습을 보여주었다(그림 59). 포장 방식에 따른 다소의 차이는 있으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 총 미생물수의 경우(그림 60), 두 시료 모두 기간에 따른 큰 증가 없이 미생물 성장이 억제된 모습을 보여주었다. 이것은 자외선 조사에 의한 효과로 생각된다. 두 시료 모두 비슷한 수준에서 미생물수가 억제되었으며, 따라서 포장 재질에 따른 차이는 거의 없는 것으로 확인되었다.

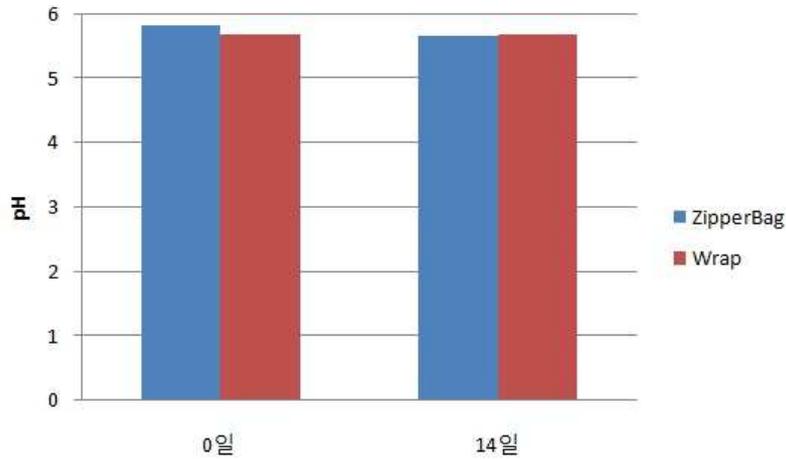


Fig. 57 Changes in pH of Hanwoo by wrapping material.

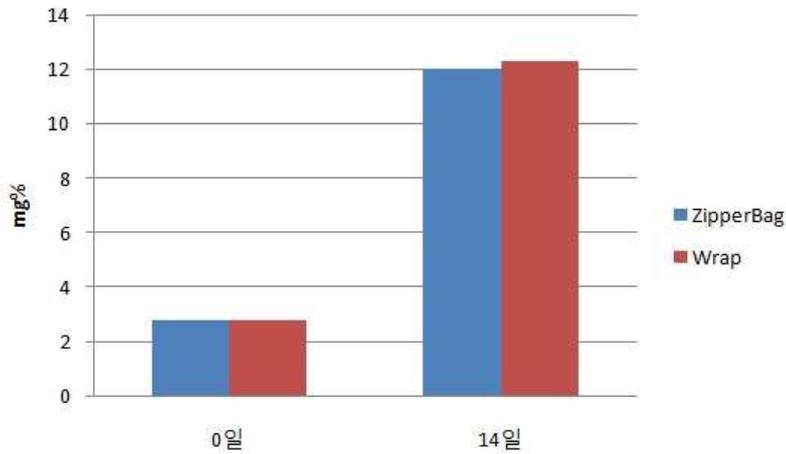


Fig. 58 Changes in VBN of Hanwoo by wrapping material.

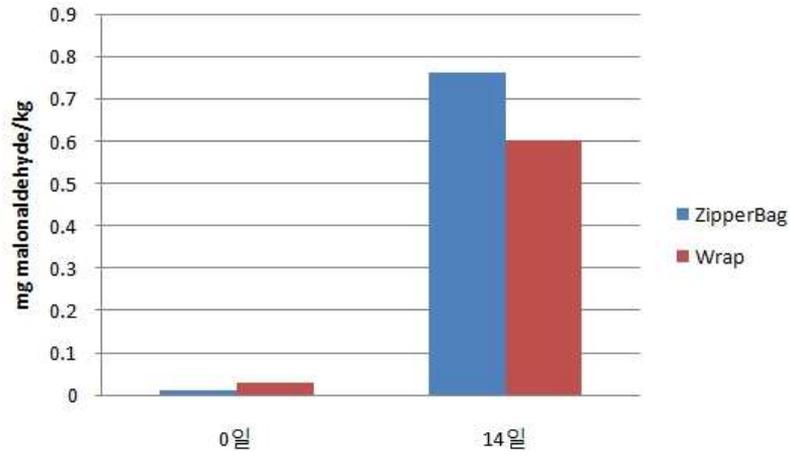


Fig. 59 Changes in TBA of Hanwoo by wrapping material.

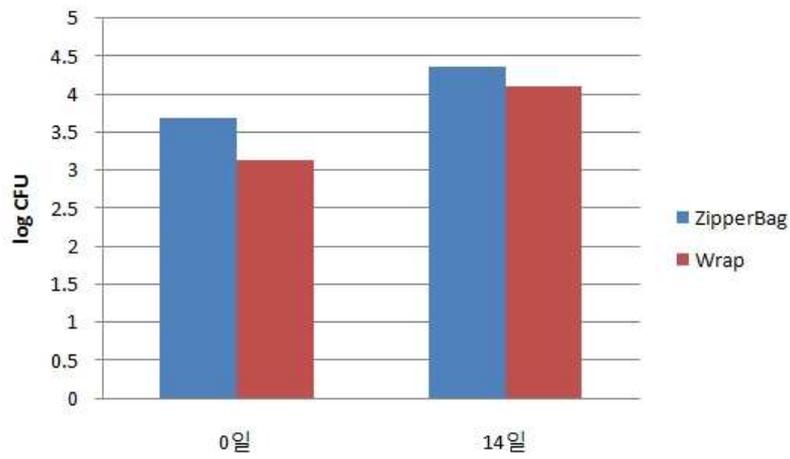


Fig. 60 Changes in total microbes of Hanwoo by wrapping material.

5. 한우 저장 및 숙성 프로파일 개발

가. 숙성 저장의 효과

사후 근육에 있어서 가장 중요한 변화는 부드럽고 유연하며 신전성이 있는 상태에서 단단하고 신전성이 없는 단계로 바뀌는 것이며, 이러한 현상을 사후강직(rigor mortis)이라 한다. 이 현상은 근섬유단백질인 myosin과 actin 근섬유 간에 불가역적이고 영구적인 상호 결합이 강하게 형성되기 때문이다. 생체 근육에서 이러한 결합은 다시 이완되나, 사후 근육에서는 결합을 해리시킬 수 있는 에너지원이 고갈되었기 때문에 결합된 상태로 강직되는 것이다.

한우를 정상적으로 도축한 이후 뼈를 발라내고 부분육 상태(약 pH 5.6)에서 진공포장이 끝나게 되면 도축이후 3일이 소요되고 이 때 한우고기는 사후강직(근육의 수축현상)이 완료되어 가장 질겨지게 되므로 이 때 저온에서 일정기간 숙성과정을 거치게 함으로서 육질이 훨씬 좋아지게 된다⁹⁾.

(1) 사후경직 메카니즘(mechanism)

(가) 당의 분해

생체에서 ATP는 미토콘드리아(mitochondria)에서의 산화적 대사작용에 의하거나 혐기적 해당(당의 분해)에 의하여 보충된다. 그러나 도축이 진행되어 혈액 공급이 중단되면 산소공급원이 없어지므로 산화적 대사작용에 의한 ATP 생산이 중단된다. 또한 세포내로 운반되어오는 새로운 포도당이 소멸되면 저장되어 있는 글리코겐(glucogen)의 분해가 ATP를 재합성할 수 있는 유일한 방법이 된다. 이들 반응의 최종산물은 젖산(lactic acid)이며 이것은 사후 일정기간 동안 증가한다. 그 결과로서 근육의 pH는 7.1~7.3에서 5.5~5.7 범위까지 떨어진다. 그림61은 근육에서의 에너지대사 경로를 나타내고 있다.

9) 한우고기 숙성방법과 효과, 김진형, 축산기술연구소 종축개발부

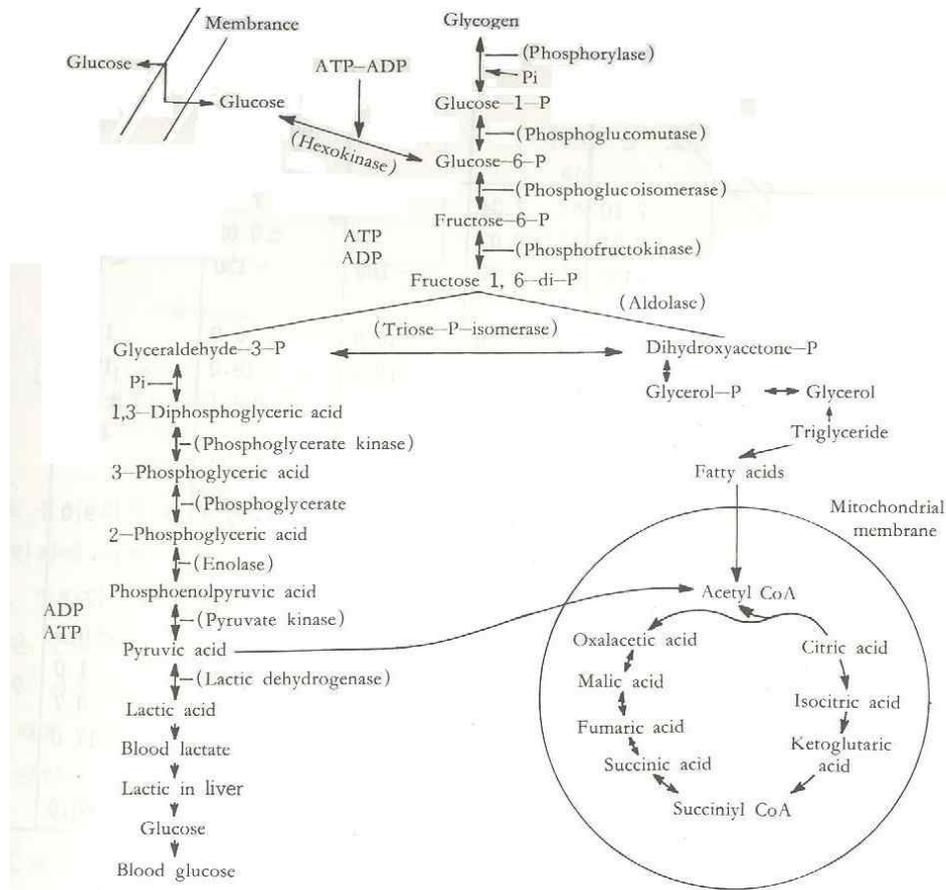


Fig. 61 Energy metabolism in muscle.
 [출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(나) 글리코겐의 분해

글리코겐은 포도당으로 이루어진 다당류로, 동물 세포에서 보조적인 단기 에너지 저장 용도로 쓰인다. 주로 간과 근육에서 만들어지지만, 뇌, 자궁, 그리고 질에서도 만들어질 수 있다. 글리코겐은 녹말의 동소체라는 이유로 동물성 녹말이라고 불리기도 하며 글리코겐의 구조는 아밀로펙틴과 흡사하다. 글리코겐은 많은 세포의 세포질에서 과립 상태로 존재하며 포도당 대사 회로에서 중요한 역할을 한다. 글리코겐은 인체에서 포도당을 급히 필요로 할 때 신속하게 저장된 포도당을 공급할 수 있지만, 포도당을 저장하는 효율성은 지방에 비해 떨어진다. 간세포의 경우, 식사 직후에는 글리코겐이 간세포 전체 무게의 8%(성인의 경우 100~120g)까지 늘어나기도 한다. 오직 간에서 생성된 글리코겐만이 다른 장기에서도 사용되며, 근육세포에서는 글리코겐의 농도가 간에서보다 훨씬 낮지만(전체 세포 무게의 1%), 전체적인 양에서는 간에 저장된 글리코겐을 앞선다. 분자식은 포도당 60,000 개이므로 $C_6H_{12}O_6 \times 60,000$, 결국 $C_{360,000}H_{720,000}O_{360,000} \rightarrow (C_6H_{12}O_6)_{60000}$ 이다. 그림62는 글리코겐의 화학 구조이다.

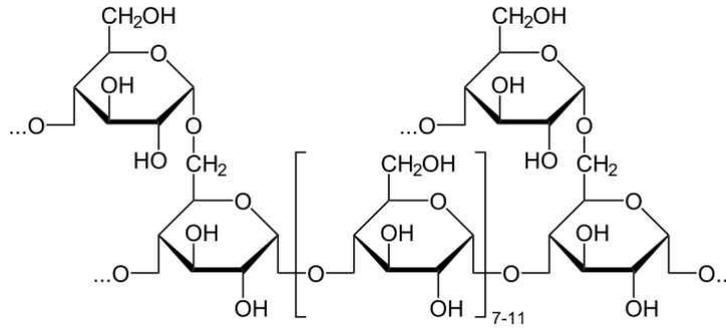


Fig. 62 Chemical structure of glycogen.

근육에는 에너지의 저장원으로 지방과 글리코겐이 있는데, 도살 직후 글리코겐의 함량은 시간의 경과에 따라 표34와 같이 감소하는 경향을 보인다.

Table 34. Changes in glycogen contents by hours

Unit : mg/100g

Storage (0~4℃)	Horse	Pork	Chicken	Storage (0~4℃)	Horse	Pork	Chicken
0	2,200	765	110	24	1,960	141	
2	2,175	312	0	48	1,805	80	
4	2,119	180		72		61	
8	2,157	171		168	1,720		

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

소가 쉬고 있을 때의 휴지근에서의 글리코겐의 함량은 사후 즉시 채취한 대부분의 소 근육과 비슷한 수준의 농도를 함유하고 있다. 소의 배최장근의 경우 사후 0, 6, 12, 24, 48 시간 경과 시의 글리코겐의 함량은 56.7, 41.6, 30.4, 10.1, 10.0 μ mol/g이다. 휴지기와 사후 5~10분에서의 글리코겐의 수준이 품종 간에 다르게 나타난다. 글리코겐은 돼지근육의 경우 사후 빠르게 진행하여 3 ~ 5 시간에 최종농도에 도달한다.

①젖산의 생성

도살 직후 소의 배최장근에서 채취한 근육은 6~10 μ mol/g 범위이다. 특히 젖산농도는 사후 1, 3, 6, 13, 24 시간 경과 시 시간에 따라 증가하며 사후 24시간 경과시 80~100 μ mol/g까지 증가한다.

②pH의 저하

젖산의 축적에 따라 사후 근육의 pH는 내려간다. 세포내 pH의 감소와 젖산 증가와의 관계는 그림 63과 같이 직선적이며, 가축의 종류와 상관없이 다소 차이는 있지만 그림 64와 같이 감소하는 경향을 뚜렷이 보인다.

일반적으로 사후초기 pH값을 보면 그 범위가 7.08~7.34이고 사후 10~15분 이내 채취한 소의 근육은 pH 6.9~7.0까지 나타낸다. 외적인자의 영향으로 pH값의 감소는 환경온도가 높을수록 빠르게 감소함을 알 수 있다(그림65).

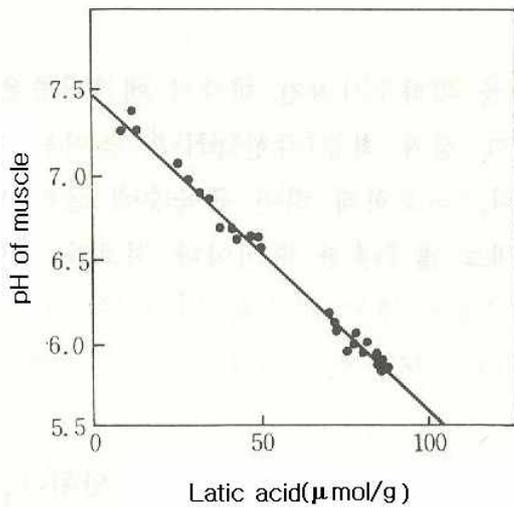


Fig. 63 pH vs. lactic acid in muscle.
[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

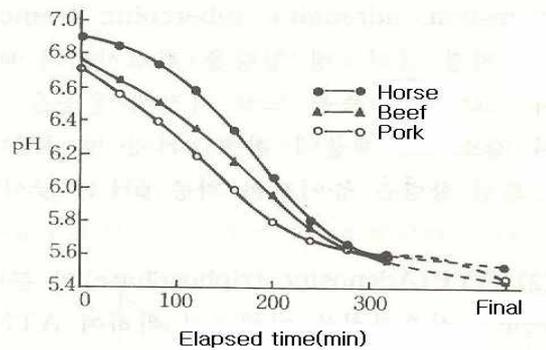


Fig. 64 pH variation with time.
[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

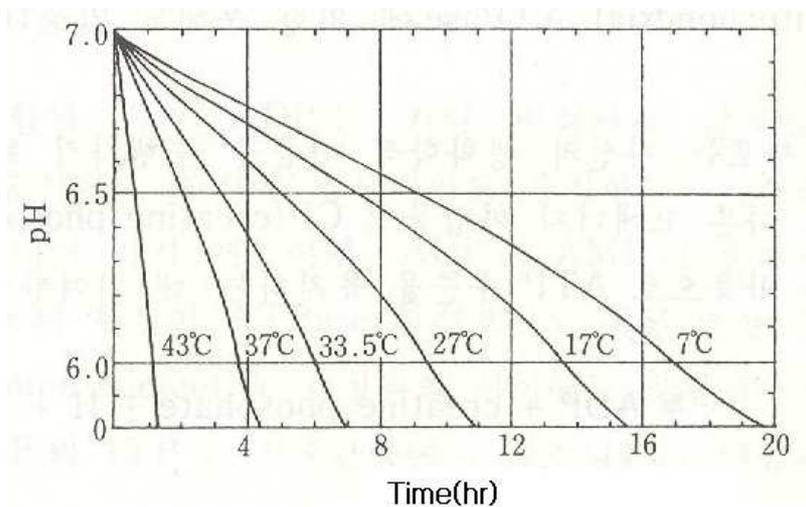


Fig. 65 pH decreasing with temperature and time.
[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(다) APT(Adenosine trphosphate)의 분해

근육의 사후과정을 이해하기 위하여 ATP가 분해되는 과정을 알아야 한다. ATP는 세포 내에서 주요한 고에너지 화합물로서, 이온수송을 포함한 많은 대사반응을 수행하는 데 이용되고 있으며, 세포생존을 위해 필수적인 물질이다. 따라서 사후 근육세포에서도 가능한 ATP수준을 일정하게 유지하려고 한다.

사후에 소비되는 글리코겐의 에너지는 ADP(adenosine diphosphate)에서 재생되는 ATP로 옮겨진다. ATP는 ATP 가수분해효소에 의해 ADP와 인산(Pi)으로 가수분해되어 에너지를 방출한다. 글리코겐이나 ATP의 에너지는 전부가 화학적 반응이나 운동에 사용되는 것은 아니고, 많은 부분이 열로 전환된다. 따라서 도살 후는 호흡에 의한 방열이 없기 때문에 도체온도가 상승하여 경직열이 발생한다.

세포는 자신의 생화학적 반응을 수행하기 위한 주에너지원으로서 ATP를 이용하지만, 또 다른 고에너지 화합물인 인산크레아틴(CP ; creatine phosphate)도 상당한 농도로 존재하며, 다음과 같은 반응으로 ATP 수준을 유지하는 데 기여한다.



따라서 근세포가 일을 하게 될 때 ATP 분해속도가 빠르더라도 세포의 ATP농도는 안정되어 있다. 동일한 과정이 사후 근육에서도 일어난다. CP의 70%가 분해될 때까지 ATP 농도는 어느 정도 일정하게 유지되며, 70%이상 분해되면 ATP 수준은 급격히 그리고 최종적으로는 거의 0까지떨어진다. 또 이러한 감소가 시작되는 시기는 글리코겐 분해가 정지하는 시기보다도 빠른 것으로 보아 ATP의 소비속도는 글리코겐에 의한 재생속도보다도 빠르다는 것을 알 수 있다(그림 66).

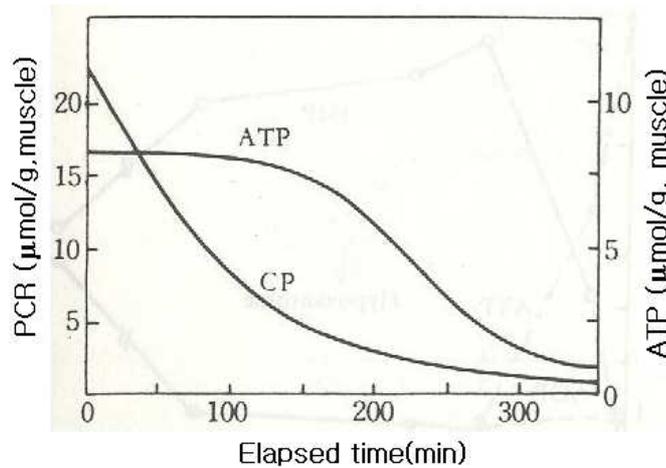
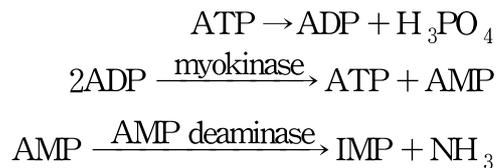


Fig. 66 CP and ATP decreasing with time.

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

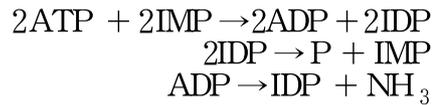
한편 근육과 품종에 따라 ATP 감소율의 폭 넓은 변이가 있음에도 불구하고 사후 특정 pH에서 원래의 ATP농도에 대한 비율은 오히려 일정하다. 근육의 pH가 6.3으로 떨어질 때까지 대략 ATP의 1/8이 분해되며 pH 5.6~5.7에서 거의 90%가 분해된다.

ATP는 ATPase에 의하여 ADP와 무기인자로 분해된다. ADP는 통상 CP와 함께 또는 해당에 의하여 재인산화 된다. 그러나 사후 시간이 경과함에 따라서 CP는 감소하고 해당은 ATP의 재합성을 유지할 수 없게 된다.

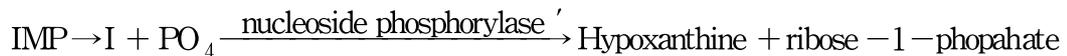


사후 ATP가 감소함에 따라 ADP는 거의 변화하지 않지만, 이노신산(IMP; inosine monophosphate)이 ATP의 감소량만큼 증가하고 동시에 암모니아도 증가한다. 이것은 ATP가 분해되어 가기 때문이다. ADP나 AMP(adenosine monophosphate)가 증가하지 않는 것은 미오키나아제(myokinase)와 AMP deaminase의 활성이 ATPase 활성보다도 훨씬 높은 것을 의미한다. 사후 근육에서 NH₃ 생산과 아데닌 뉴클레오티드 소실과의 사이에는 상관 계수가 0.99에 이른다는 것이 확인되었다.

또한 IDP(inosine diphosphate)와 ITP(inosine triphosphate)도 사후근육에서 발견되는데 다음과 같은 방법으로 생성된다.



IMP는 다음과 같은 경로로 더욱 분해된다.



IMP는 단맛을 내는 중요한 뉴클레오티드로 숙성에 의한 고기의 풍미향상에 기여하고 있다. 이 IMP는 숙성 중 일단 최대농도에 달한 다음 점차 감소한다. 최대농도는 생체 중에서의 ATP 농도를 초과할 수 없다는 일반적인 원리이다.

(1) 사후경직(rigor mortis)과 단축(shortening)

도살 후의 근육은 하중을 걸면 늘어나고, 하중을 제거하면 원래의 길이로 되돌아간다. 신장성은 점차 감소하여 최후에는 소실된다. 도살 후의 근육에서는 ATP가 충분히 존재하고 근소포체로 칼슘이온(Ca^{2+})이 회수되어 있기 때문에 미오신(myosine)과 액틴(actine)과의 결합은 억제되고 있다. 여기에 외부의 힘이 작용하면 액틴을 함유하는 가는 필라멘트(thin filament)는 굵은 필라멘트(thick filament)사이에서 미끄러져 나와 근육은 길어지고 외부의 힘이 사라지면 원래의 위치로 미끄러져 들어간다. 미끄러져 들어가는 것은 원래 근육에는 커넥틴(connectin) 등의 탄성단백질이 근육의 섬유방향으로 나란히 붙어 있어서 이 단백질의 수축력에 의한 것으로 생각되고 있다.

이와 같이 칼슘이온이 없는 상태에서 ATP가 존재하면 근육은 자유롭게 이완·수축이 되며, ATP는 가소제(plasticizer)의 역할을 하고 있다. ATP가 없으면 칼슘이온의 유무에 관계없이 미오신과 액틴이 결합하여 외부의 힘에 의해 떨어지는 일은 없기 때문에 가는 필라멘트는 미끄러져 나올 수 없게 되므로 신축성을 잃게 된다. 이와 같은 상태를 경직이라 한다. 신장성의 소실이 ATP나 글리코겐의 소실처럼 사후 유지온도가 높을수록 빨리 일어난다.

(가) 사후경직(강직) 과정

진술한 바와 같이 근육의 사후 경직과정에는 3단계로 구분할 수 있다. 맨 처음에 근육의 신장성(신축성)의 소실은 대단히 느리게 진행하는데 이때를 delay period라고 하고, 다음 단계로 빠른 단계를 fast period, 최후에 신장성이 매우 저하된 상태에서 일정한 수준에 이르는 post rigor phase로 나눌 수 있다. 즉, 근육중에 ATP가 존재하지 않으면 actin과 myosin은 견고하게 결합하여 actomyosin을 형성하게 되고 신장성을 잃게 된다. 따라서 지체기의 길이는 근육중의 ATP 함량의 다소에 의해 결정된다고 할 수 있다.

(나) 산경직(acid rigor)

안정을 유지하면서 거의 운동을 시키지 않은 상태에서 도살한 동물의 사후 근육에서 일어나는 경직현상으로 지체기가 길고 급속기가 대단히 짧다. 체온 정도의 온도에서는 경직중에 단축이 일어난다. 경직은 산성 측에서 일어나고 경직 후의 pH는 5.7 또는 그 이하이다. 산경직 중에서도 스트레스를 받은 동물의 근육은 지체기가 짧은 특징이 있다.

(다) 알칼리 경직(alkaline rigor)

피로한 상태에서 도살된 동물의 근육에서 일어나는 경직으로 지체기 및 급속기가 대단히 짧고 급속히 일어난다. 체온 및 실온에서도 심한 근육 단축이 일어난다. 경직은 생근(intact muscle)과 거의 비슷한 약알칼리 또는 중성에서 일어나고, 경직 후의 pH도 거의 변화 없이 7.2 부근이다.

(라) 중간형 경직(intermediate type rigor)

절식시킨 상태에서 도살된 동물의 근육에서 일어나는 경직인데, 지체기가 짧고 급속기는 비교적 긴 편이며 근육의 단축이 약간 일어난다. 경직은 중성 또는 약산성에서 일어나고 경직 후의 pH는 6.7~7.0 정도이다.

(2) 근육의 단축(경직단축, shortening)

생화학적 또는 물리적 메카니즘에서 이미 언급하였으나, 부연하여 설명하면 도살 후에 근육을 잘라내어 방치해 두면 단축현상이 일어난다. 근질의 길이가 짧아지고, 전자현미경하에서 관찰하면 A대(암대)의 길이는 변하지 않지만 I대(명대)가 짧아져 있다. 한편, 잘라낸 근섬유의 양끝을 고정시켜 두면 경시적으로 장력이 발생한다. 이것은 사후의 근육에서도 생근과 마찬가지로 가는 필라멘트가 굵은 필라멘트 사이로 미끄러져 들어가기 때문에 발생하고 그 이후 ATP가 남아 있지 않기 때문에 미끄러져 들어간 상태가 그대로 유지된다. 미끄러져 들어가는 데 소요되는 에너지는 ATP로부터 얻어진다. 그러나 발생하는 장력은 생근의 수축 때보다도 훨씬 적다. 도살 후의 근육에서 칼슘이온은 근소포체에 회수되어 있기 때문에 전기자극 등을 주어 칼슘이온을 방출시키지 않는 한 수축하지 않는다.

어느 기구가 사후의 수축에 관여하고 있는지 아직 정확히는 알지 못하고 있지만, 여하간 계속 감소하는 ATP가 사후 수축을 수반하여 ATP의 소실과 동시에 수축상태로 고정되는 것이다. 이때 도체는 최대 경직기에 달한다. 수축한 고기를 가열하면 경도(toughness)도 증가된다. 경직수축은 pH가 중성에 가까울수록 강하게 일어나지만, 사후 근육을 가열했을 때의 경도는 최종 pH(ultimate pH)가 낮을수록 심하다. 따라서 pH 저하에 의한 수축단백질의 상태변화 즉, 보수력(water holding capacity)의 저하는 사후 가열육의 경도 증가에 크게 관여하고 있다.

Table 35. Changes in myotome length followed by hours after butchery

도살후의 시간(hr)과 저장온도	근질의 길이의 평균(μ)	도살직후의 시간(hr)과 저장온도	근질의 길이의 평균(μ)
도살직후	2.4±0.06	24 hr, 2°C	.3±0.05
4 hr, 2°C	2.±0.07	24 hr, 6°C	.7±0.03
4 hr, 37°C	2.2±0.07	24 hr, 25°C	.8±0.03
8 hr, 2°C	2.0±0.03		
8 hr, 37°C	.5±0.04	24 hr, 37°C	.7±0.06

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(3) 저온단축(cold shortening)과 해동경직(thaw shortening)

도살 후 도체에서 절취한 소머리의 고기조각을 1~37℃에서 방치하면 1℃에서 가장 빠르고 심하게 단축하며, 15℃에서 단축이 가장 느리고 작다. 발생하는 장력도 단축량에 비례하고 있다. 또 늙은 소의 경우가 60% 단축함에 비하여 어린소의 흉골하악근은 20%만 단축한다. 소의 흉골하악근은 경직 전 상태에서 6~18℃ 사이에 두었을 때 근절길이가 10% 단축되지만, 6℃ 이하에서는 70%까지 단축되고, 20~38℃에서는 40% 단축된다. 저온단축은 높은 pH(보통 6.7 이상)의 높은 ATP수준(5~6 mM)에서 더 빨리 나타나는 데 반하여(낮은 온도에 도달한 후 몇 분 이내) 사후경직 단축은 낮은 pH(보통 6.0 이하)와 낮은 ATP수준(1 mM 이하)에서 서서히 나타난다. 또한 ATP의 소비는 고온일수록 빠르다는 관점에서 저온단축은 ATP가 감소하기 때문에 일어나는 경직단축과는 구별되고 있다. 근소포체의 기능은 저온에서 저하되기 때문에 이 때 방출된 칼슘이온과 아직도 충분히 남아있는 ATP에 의해 생근과 같은 단축이 일어난다고 생각되어 왔다.

최대경직기에 도달하지 않았을 때 동결한 근육은 해동함에 따라 남아있던 글리코젠과 ATP의 소비가 다시 활발해져서 최대경직에 이르게 된다. 경직에 도달하는 속도는 동결하지 않은 근육을 해동시와 같은 환경온도에 놓았을 때보다도 훨씬 빠르다. 수축도 심하여 정도도 높고 다량의 드립을 발생한다. 이것을 해동경직(thaw rigor)이라고 하며, 도살 직후의 것을 동결 후 해동했을 때 가장 심하다. 이것을 피하기 위해서는 최대경직기 후에 동결하면 된다.

해동경직도 저온단축과 마찬가지로 ATP 존재하에서의 수축이라는 점에서 저온에 의한 미토콘드리아와 근소포체의 기능저하에 따른 유리 칼슘이온의 증대에 기인된다고 생각된다.

(4) 사후경직 해제(숙성전기)

근육은 사후경직을 완료하면 그 후 경직은 서서히 풀려 부드러워진다. 이것을 사후경직의 해경(resolution)이라고 한다. 해경에 필요한 시간은 경직이 완료할 때까지 요하는 시간과 마찬가지로 동물의 종류, 근육의 종류, 기타 조건에 의해 역사 다르다.

2~4℃의 온도에 근육을 방치한 경우 닭에서는 3~4시간에 경직이 완료되고 2일 후에는 해경도 끝나지만, 다른 가축에서는 경직완료까지 1~2일 요하고, 해경은 돼지 및 말에서는 3~5일, 소에는 7~10일을 요한다.

해경중에 ATP 재생은 전혀 일어나지 않기 때문에 경직기에 달하는 과정의 역순으로 볼 수 없다. 따라서 해경은 따로 해명하여야 하며, 다음 세 가지를 주요 원인으로 판단된다.

(가) Z선의 약화

Z선은 근절(근을 단위)과 근절과의 연결선으로서 도살 직후에는 근절이 매우 긴 규칙적인 형태의 횡적구조를 가지고 있으나 시간이 경과하여 숙성된 경우에는 근절의 1~3개로 된 조각으로 나누어지는 것을 확인 할 수 있다. 곧 Z 선이 약화되면서 해경을 된다는 것을 의미한다. 그림 67은 이런 시간에 따른 변화를 보여주고 있다.

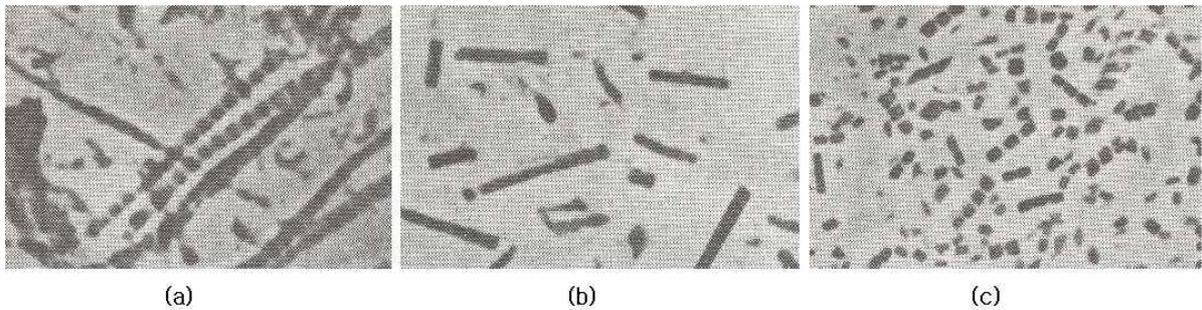


Fig. 67 Muscle fragmentation with time (a) 0hr (b) 9hr (c) 48hr.

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(나) Actin-myosin간의 결합의 약화

도살 직후의 근육(그림 68(a))은 이완되어 있지만 사후경직 과정(그림 68(b))에서 근절이 짧아지게 된다. 그러던 것이 숙성이 진행(그림 68(c))되면서 근절이 원래의 길이로 복원되어 결과적으로 도살 직후의 근육과 구별할 수 없을 만큼 길어진다는 논리이다.

식육의 경도는 근절이 길이와도 관계하고 있는데 근절이 길고 actin filament와 myosin filament가 2중의로 겹치는 부분이 적을수록 식육은 부드럽기 때문에 근절의 복원의 숙성에 따른 식육 연화의 요인으로도 되고 있다.

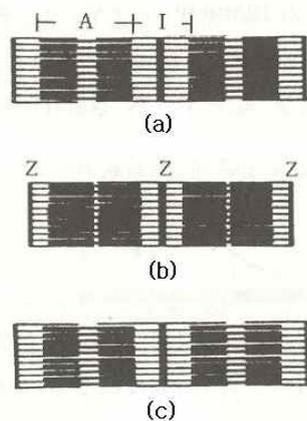


Fig. 68 Length of muscle fragment with time.

[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

(다) Connection (gap filament)의 약화

Connection은 Maruyama 등(1976)에 의해 발견된 탄성 탄백질로서 connection이 myosin filament와 Z선을 연결하고 있다. 도살 직후의 근육은 생시와 마찬가지로 높은 탄력성을 나타내지만, 사후의 근육은 저장기간이 경과함에 따라 탄력성을 잃고 숙성된 식육에서는 손으로 눌러도 복원이 되지 않게 된다. 그림 69는 이런 근육의 구조를 나타내고 있다.

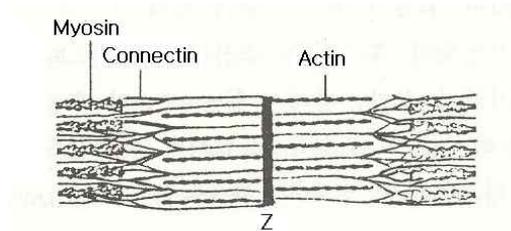


Fig. 69 Components of muscle.
[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

나. 숙성 저장 프로파일의 판단을 위한 인자의 선정

숙성이 얼마나 되었는가를 파악하기 위해 본 연구에서는 주로 ‘전단력’의 변화에 초점을 맞췄다. 숙성을 거친 우육은 경화가 풀리면서 연화의 경향이 나타나기 때문에 숙성으로 인한 변화를 가장 대표적으로 나타낼 수 있는 한 인자라고 생각했기 때문이다. 또한 Huff와 Farrish(1993)¹⁰의 쇠고기의 연도에 관한 연구에서 숙성일의 경과와 함께 전단력이 감소한다는 보고가 있었다. 그림 70은 4°C에서의 쇠고기 전단력 변화를 보여준다.

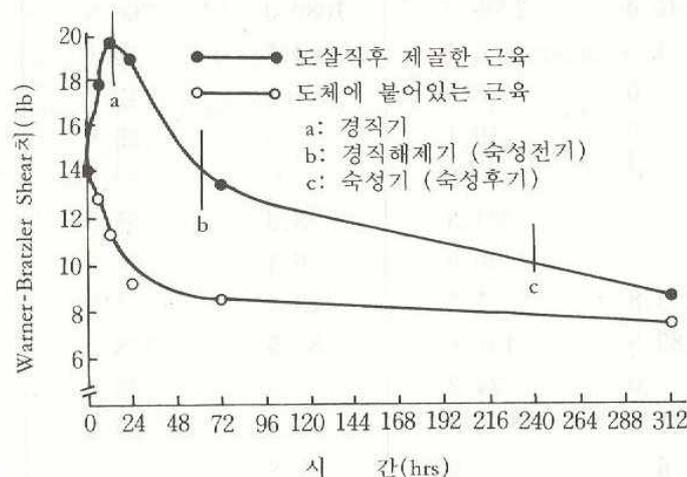


Fig. 70 Changes in properties of beef Semitendinosus at 4°C.
[출처 : 박정기 외. 식육의 과학과 이용]

10) Bovine longissimus muscle tenderness as affected by postmortem aging time, animal age and sex, E.J. HUFF, F.C. PARRISH, JR. Journal of Food Science, 1993

다. 숙성 프로파일의 적용 및 검증

실제로 5°C가 한우 숙성을 위해 적합한 온도인지 확인하기 위해 저장 실험을 진행하였다. 2차 시작기에서 온도 설정을 조정하여 내부 온도 분포를 5±1°C로 조절하였다. 총 시료는 한우 거세우 3마리의 좌측 등심 3축이 이용되었다. 시료는 판매처에서 바로 지퍼백에 담겨져 아이스박스를 통해 운반되어 2차 시작기에 보관되었다. pH, TBA, VBN, TM과 전단력을 측정하였고, 관능평가를 실행하였다. 저장 온도보다 높은 온도로 설정했기에 숙성과 함께 진행 정도를 고려하여 7일 동안 시료를 보관하였다. 저장성의 측정은 0, 2, 5, 7일에 이루어졌으며, 온도에 의한 영향만을 고려하기 위해 자외선 조사는 시행하지 않았다.

숙성의 효과를 확인하기 위해 전단력의 변화를 매 1일에 걸쳐 측정하였다. 전단력의 측정은 WBSF(Warner-Bratzler shear force)로 이루어졌으며, 각 시료에서 매회 각 3개의 시료를 선택하여 각 시료를 5회씩 반복 측정 하였다. 각 시료의 초기치에는 다소 큰 차이가 보였다. A, B, C 3축의 시료의 전단력 초기치가 각각 3.1284kg, 2.4146kg, 3.9612kg으로 차이가 있었으나, 1일차에 진행된 실험에서 모든 시료의 전단력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다(A1.9038kg, B 1.2504kg, C 1.3444kg). 이런 감소는 1일차에서 가장 크게 일어나고, 그 이후로는 유의성 없는 변화를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 5°C에서의 보관에 따른 연도 변화의 이점은 하루 정도의 보관으로 충분히 보이기 때문에, 적절한 숙성 기간은 약 하루라고 결론지을 수 있었다(그림 71).

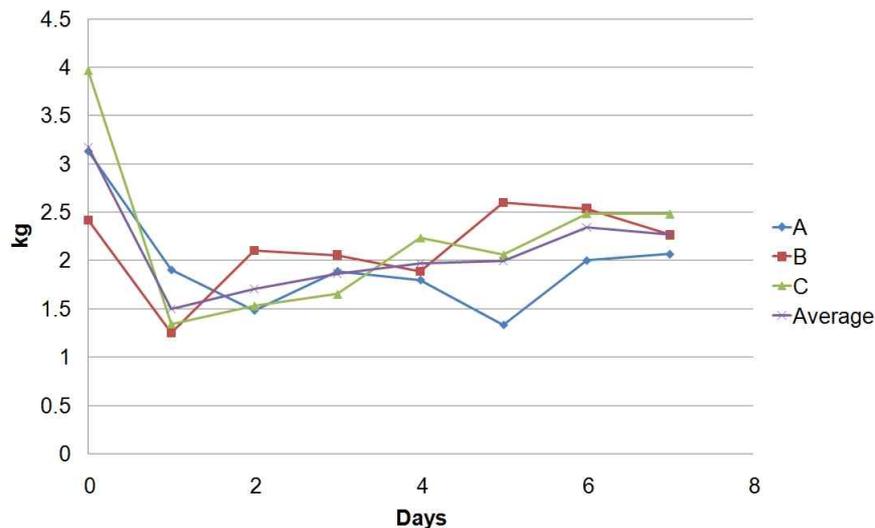


Fig. 71 Changes in WBSF of Hanwoo at 5°C by days.

신선도 측정 평가 결과, 7일간의 저장 기간동안은 pH와 TBA, VBN, TM 수치 모두에서 부패 기준치를 넘지 않았다. pH는 이전의 다른 실험들과 마찬가지로 유의성 있는 변화를

보여주지 않았다(그림72). 하지만 TBA, VBN과 TM의 경우 -1°C 에서 저장할 때에 비해 그 증가정도가 큰 것을 확인할 수 있었다. VBN은 다소 높은 초기치(6.5mg%)를 보였으며, 저장초기 2일차에 약 8mg% 정도의 상승폭을 보인 이후 7일차까지 꾸준히 증가하여 기준치 20mg%에 근접하는 양상이 확인되었다(그림73). TBA의 경우 5일차 실험까지는 완만한 증가세를 보였으나 마지막 7일차 실험에서 값이 0.3 이상 증가하여 기준치 거의 근접하여 숙성온도에서의 보관이 길어질 경우 급속하게 지방산패가 일어날 것이 우려되었다(그림 74). TM의 경우 초기 수치가 평균 log CFU 4.0의 값을 보였으며, 7일 동안의 저장동안 2.0 이상이 증가하여 기준치 7.0에 근접하였다(그림 75).

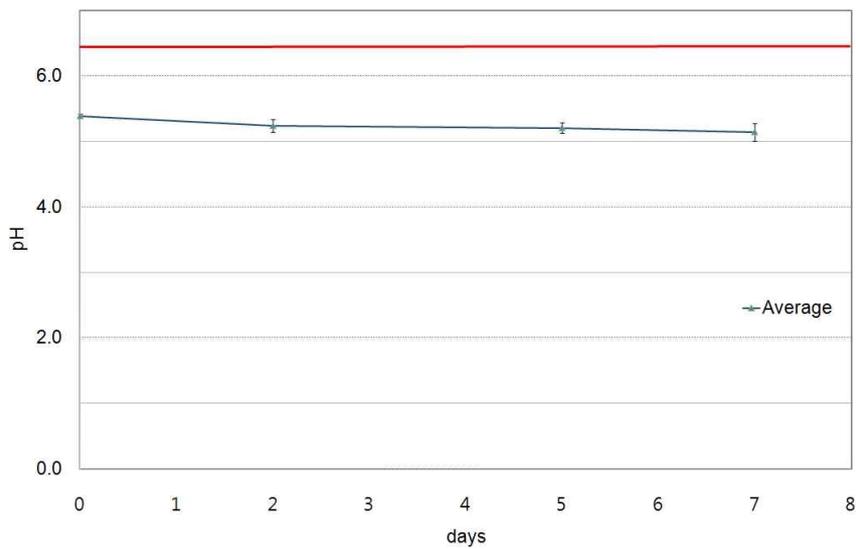


Fig. 72 Changes in pH of Hanwoo at 5°C by days.

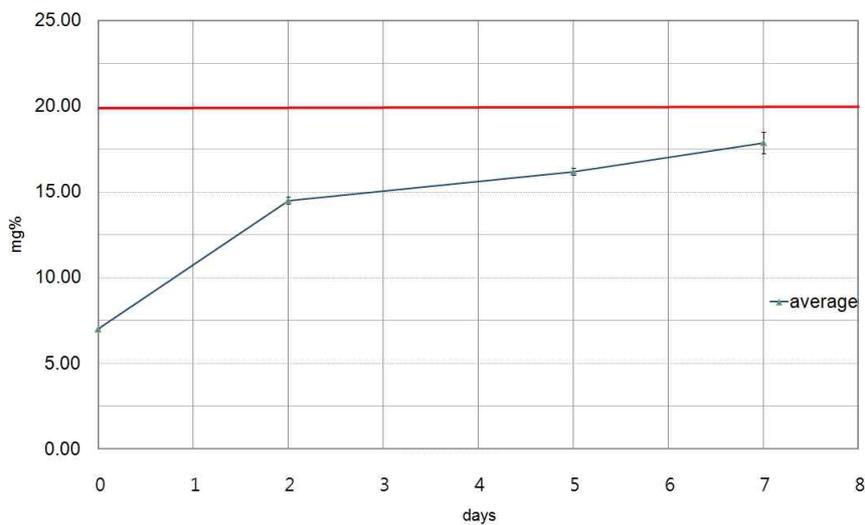


Fig. 73 Changes in VBN of Hanwoo at 5°C by days.

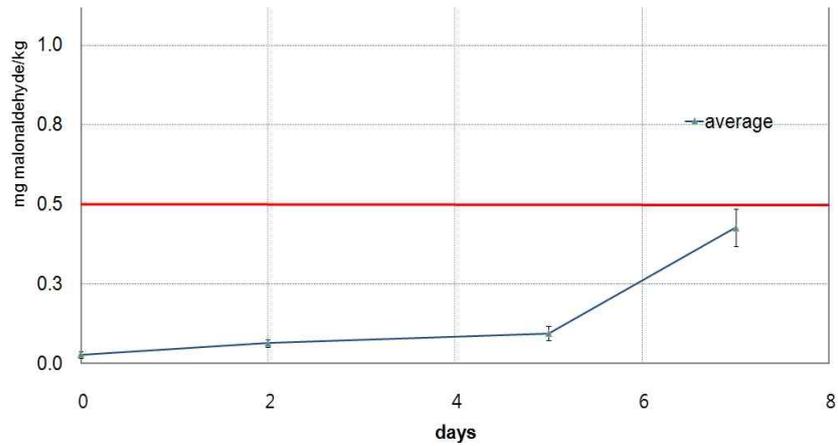


Fig. 74 Changes in TBA of Hanwoo at 5°C by days.

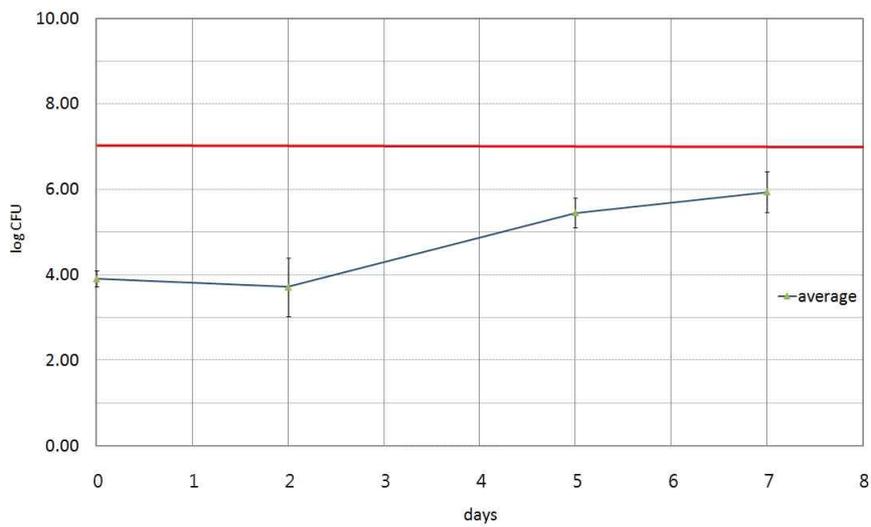


Fig. 75 Changes in total microbes of Hanwoo at 5°C by days.

이처럼, 숙성 온도로 설정한 5°C에서는 신선도 판단 요소들이 저장 온도인 -1°C에 비해 빠르게 부패 기준치에 도달하는 모습을 확인할 수 있었다. 따라서 장기보관 시에는 5°C에서의 보관은 적절하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 적절한 숙성 온도의 이용을 위해서는 약 하루간의 숙성 온도에서의 보관을 통해 육질의 연화를 유도하고, 그 이후에는 저장 온도인 -1°C에서 보관하는 것이 육질의 보존에 유리할 것으로 생각된다.

6. *Listeria monocytogenes*에 대한 안전성

본 실험에서 저장된 온도에서 총 미생물 수에 대한 검증 실험은 하였으나, 저온성 세균인 *L.monocytogenes*(*Listeria monocytogenes*)에 대한 직접적인 검증은 없어 관련 논문들을 통해 본 저장 환경의 안전성을 검증해 보고자 한다. *L.monocytogenes*만을 분석하는 이유는, 저온성 미생물 중 *L.monocytogenes*가 치사를 유도할 수 있을 정도로 치명적이며 가장 많은 감염 사례를 나타내고 있기 때문이다.

본 연구에서 목표로 하는 한우육 냉장 시스템은 조리를 거치기 전인 생육을 보관하는 것을 목적으로 한다. 따라서 충분한 가열을 거칠 경우 *L.monocytogenes*의 사멸을 기대할 수 있을 것이다. 하지만 저장 시스템 내에서 *L.monocytogenes*의 성장을 최대한 억제함으로써 저장 시스템의 안전성을 보다 높게 보장 할 수 있을 것이다.

Seeliger 와 Jones(1986)에 따르면, *L.monocytogenes*의 MGT(minimum growth temperature)는 1°C라고 보고되어있다. 하지만 Walker(1990) 등에 따르면, *L.monocytogenes*의 냉장 온도 계육에서 배양 실험 결과 -0.4~-0.1°C에서 MGT가 결정되었다고 한다. 이 온도는 한우육의 저장 프로파일로 잡은 -1°C보다 높은 온도이기에 저장 상태에서 *L.monocytogenes*의 성장 가능성은 높지 않다고 하겠다. 또한 같은 논문의 아래 그림 76에서 확인할 수 있는 것처럼 1.5°C와 0.8°C에서 배양 실험 결과를 보았을 때, *L.monocytogenes*는 저장 목표 기간인 14일을 거치면서 오히려 감소하거나 유지되는 결과를 보여 표준 사용 기간 내의 *L.monocytogenes*의 과다 생장은 우려하지 않아도 될 것으로 보인다.

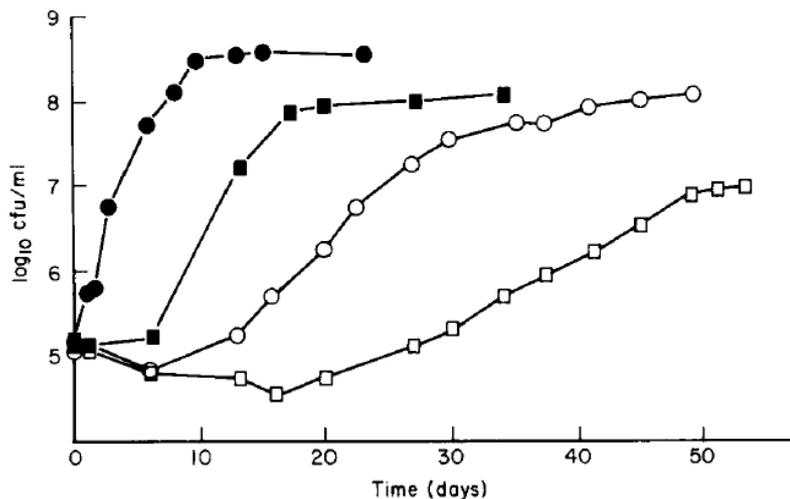


Fig. 76 Growth of *Listeria monocytogenes* CRA 433 in chicken broth when incubated at 8.7, 3.5, 1.5 and 0.8°C (●, ■, ○ and □ respectively).

다만 숙성 온도인 5°C에서의 저장의 경우 다소의 성장 가능성이 우려된다. 하지만 그림 76에서 확인할 수 있는 것처럼 5°C보다 높은 8.7°C에서의 저장에서도 1일간에 증가량은 로그 스케일에서 약 0.8의 증가를 보이는 데에 불과하다. 본 저장 시스템에서의 숙성 모드는 1~2일 간으로 운용을 제한하였기에 이로 인한 영향은 크지 않을 것으로 보인다.

또한 본 저장 시스템에서 적용하는 UV 의 약 30분 간의 조사는 *L.monocytogenes* 의 성장을 크게 막을 수 있을 것으로 보인다. Andreja 등의 연구(2010)에서 제시된 *L.monocytogenes*의 성장에 UV가 끼치는 영향(그림 77)을 보면, 육제품의 상태에 따라 다르기는 하나 약 30분의 UV 조사로 로그 스케일 2 이상의 감소를 가져올 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 UV 조사를 통해 *L.monocytogenes*로 인한 식중독을 상당 부분 막을 수 있을 것으로 보인다.

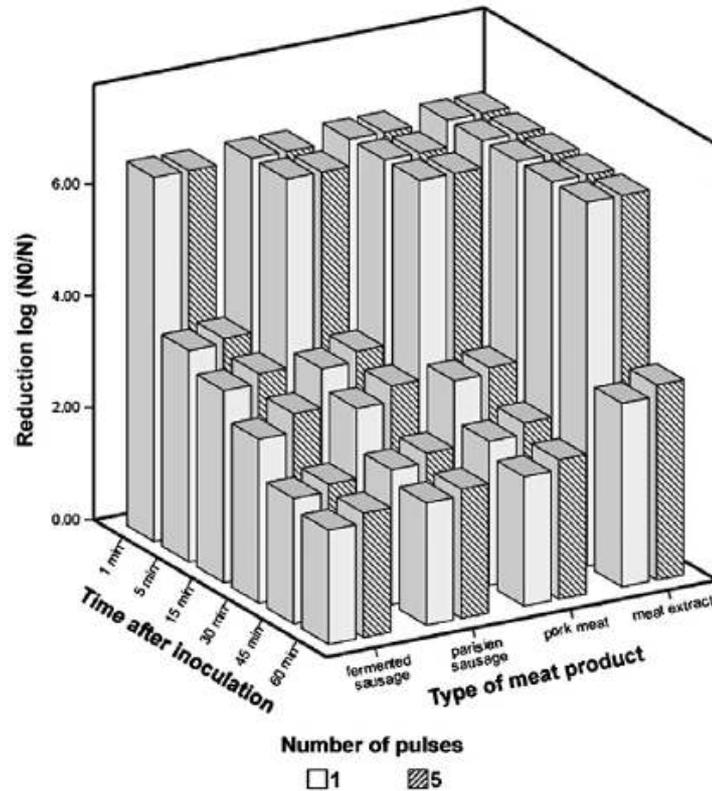


Fig. 77 Log reduction in population of *Listeria monocytogenes* with 1 and 5 intense UV light pulses on a side of a stainless steel knife in contact with different meat products at various time intervals after the inoculation.

제 3 절 한우육 냉장 시스템 개발

1. 냉장고 원리

가. 냉장고의 작동 원리

(1) 냉각방식의 분류

냉동은 공기조화 및 열환경공학에서 가장 기본적인 분야 중의 하나로서, 어떤 물질 또는 공간의 온도를 주위의 공기온도보다 낮게 유지하기 위하여, 그 물체가 있는 공간을 냉각함으로써 저온의 물체로부터 열을 흡수하여 고온의 외기로 열을 인위적으로 이동시키는 것을 말한다.

냉동 시스템의 성능은 공조 시스템의 효율과 제어에 큰 영향을 받기 때문에 냉동에 대한 이해를 통하여 전체 시스템의 목적에 부합하는 냉동설비를 선택하고 운전하여야 한다.

냉동은 크게 얼음의 용해열, 드라이아이스의 기화열 등과 같이 상변환과정에서 필요한 열을 주위에서 흡수하여 일시적 냉동효과를 얻는 자연냉동과 냉장고 및 에어컨 등에 있어서 압축기 등과 같이 필요한 에너지를 입력으로 하여 저온부에서 열을 흡수하고 이를 고온부에서 방출하여 연속적인 냉동효과를 얻는 기계 냉동법으로 구분할 수 있다. 기계적 냉동 방법은 압축기체의 팽창에 의한 냉동법, 증발열을 이용한 기계적 냉동, Peltier 효과를 이용한 전자냉동(electronic refrigeration) 등이 있다.

압축기체의 팽창에 의한 냉동방법은 압축기체를 팽창하는 방법에 따라 단열팽창 및 교축(throttle) 팽창에 의한 냉동방법으로 구분할 수 있다. 단열팽창에 의한 냉동은 압축된 기체를 실린더 내에서 팽창시키면, 팽창기체는 외부에 일을 하며 온도가 강하하는 단열팽창의 원리를 이용한 냉동법으로, 주로 공기 냉동기나 항공기의 냉방장치에 이용되며, 교축팽창에 의한 냉동법은 압축기체를 노즐과 같은 교축장치를 이용하여 팽창시키면 낮은 압력 및 온도를 얻는 Joule-Thomson의 효과를 활용하고 있으면 공기의 액화에 이용되어 왔다.

증발열에 의한 냉동법은 증기압축식(vapor compression) 및 흡수냉동(absorption refrigeration) 등으로 구분된다. 증기압축식은 압축기에 일을 공급하여 저압의 증기냉매를 고압의 증기로 압축하며, 응축기에서 주위로 방열한 후 팽창과정을 통하여 저온 및 저압의 2상상태의 냉매가 되며, 증발기에서 어떤 물체 또는 공간으로부터 열을 흡수하여 냉동효과를 얻는다. 흡수냉동은 압축기 대신에 흡수기 및 발생기를 사용하며, 고온의 증기 또는 폐열원을 열원으로 하여 발생기를 구동하는 열구동사이클이다. 그림 78은 일반적인 증기압축식 열펌프의 구조를 나타내고 있다. 증기압축식의 일반적인 구조로 압축기, 증발기, 응축기 및 팽창장치 등 네 개의 기본 구성요소를 나타내 그림이다. 전기 에너지나 혹은 다른 에너지원으로 압축기를 구동해서 증발기에서 나오는 저압의 차가운 냉매증기를 압축하여 고온 고압의 과열증기를 토출시킨다. 응축기에서는 압축기에서 나온 과열증기를 냉각시켜 외기로 열을 방출하며 냉매증기는 응축되어 액화된다. 과냉액체 상태의 냉매는 팽창장치를 통하여 급격히 팽창하여 저압 및 저온의 2상상태의 냉매가 되어 증발기로 들어간다. 증발기로 들어간 냉매는 주위로부터 열을 흡수하면서 증발하여 점차 냉매증기가 된다. 이상과 같

은 냉동사이클에서 저압측의 증발기에서의 흡열량을 이용하면 냉동기가 되고, 고압측의 응축기에서의 방출열량을 이용하면 열펌프가 된다.

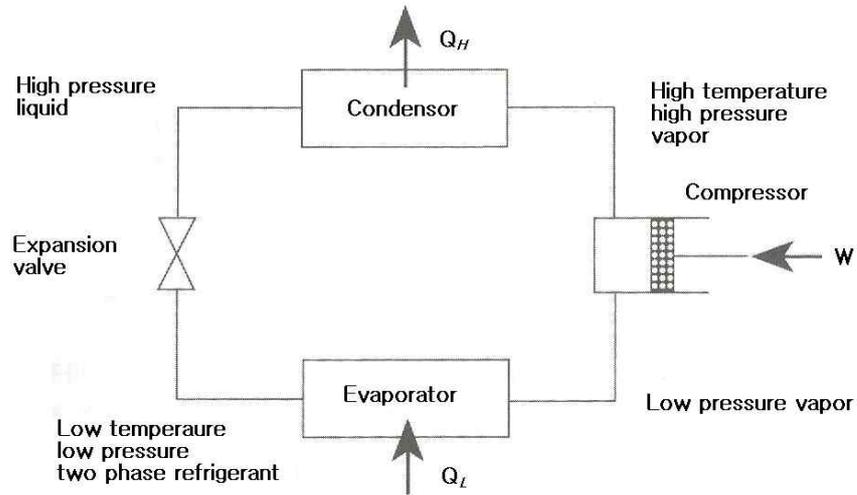


Fig. 78 General vapor compression type of heat pump.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

전자냉동은 Peltier 효과를 이용한 시스템으로 서로 다른 금속에 직류전류를 통하면 고온과 저온의 접점이 각각 나타나는 원리를 이용하고 있다. 그림79는 냉장고에 전자냉동을 응용한 경우인데, 저온부 접점을 이용하여 주위로부터 열을 흡수하여 냉장고 내의 온도를 유지하고, 고온부의 접점을 통하여 주위로 방열한다. 전자냉동은 압축기를 사용하지 않으므로 시스템의 소음 및 진동이 없고, 전류를 제어하여 정확한 용량제어를 실시할 수 있다. 다만 시스템의 효율이 낮아 아직 대형 냉장 시스템에의 적용은 어려움이 있어 주로 소형 시스템 및 특수 용도에만 사용하고 있으며 기능성 냉장고와 같이 제한된 공간에서 제한된 용량의 냉장이 필요한 경우에 사용되고 있다.

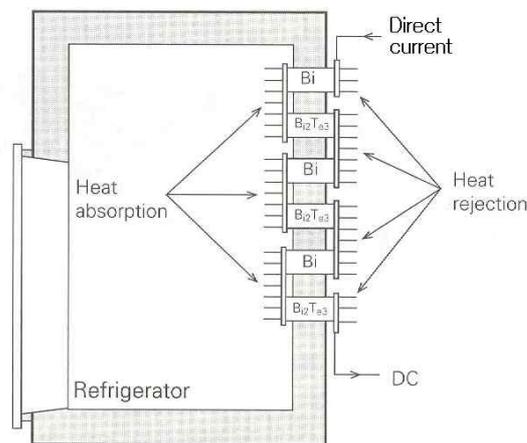


Fig. 79 Refrigerator using Peltier effect.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

(2) 냉동시스템의 성능

냉동 시스템의 성능은 유효한 출력(유효냉동효과)과 입력의 비로서 정의한다. 냉방에 사용되는 냉동 시스템의 성능은 COP_c (Cooling coefficient of performance)로 다음과 같이 나타낸다.

$$COP_c = \frac{\text{Effective refrigerating effects}}{\text{Total input energy}}$$

여기서 냉동시스템의 입력에너지는 주로 압축기 및 팬의 구동에 소요되며, 냉동효과는 증발기에서 흡수하는 열량으로 나타낸다.

열펌프는 난방에 사용되는 냉동시스템으로 시스템의 성능은 COP_H (Heating coefficient of performance)로 다음과 같이 나타낸다.

$$COP_H = \frac{\text{Effective heating effects}}{\text{Total input energy}}$$

냉동효과(refrigerating effects)는 단위중량의 냉매가 증발기에서 흡수하는 열량(kcal/kg 또는 Btu/lb)으로 표시한다. 냉동능력(refrigerating capacity 또는 cooling capacity)은 냉동기가 단위시간 동안 증발기에서 흡수할 수 있는 열량으로서 kcal/h, Btu/h 또는 냉동톤(refrigeration ton, RT)으로 표현한다. 여기서, 1 냉동톤이란 표준기압에서 0°C의 물 1톤을 24시가 동안에 0°C의 얼음으로 만드는 냉동기의 능력 또는 용량을 나타낸다. 1냉동톤은 3,024kcal/h이며, 영국단위계를 사용할 경우에는 12,000Btu/h이다.

(3) 모리엘(Mollier) 선도와 T-S 선도

냉동성능 및 냉장시스템의 해석을 위해 간편하게 사용되는 선도는 P-h선도와 T-S선도이며, 특히 P-h 선도에서 가장 효과적으로 사용되고 있는 것이 모리엘 선도이다.

모리엘 선도는 세로축에 압력의 대수를, 가로축에 엔탈피를 취하여 냉매의 각종 특성값을 나타내는 선도로 P-h선도라고도 한다(그림80). 이 모리엘 선도는 여러 가지 냉동 시스템의 계산에 사용되며, 압력(p), 엔탈피(h), 온도(t), 부피(V), 엔트로피(S) 등에 대하여 상태값이 같은 점을 연결한 선들로 구성되어 있다. 이때 엔탈피는 어떤 물체가 함유하고 있는 열량의 총합을 말한다. 즉, 어떤 물체의 내부에너지가 U, 압력을 P, 비체적을 V라고 할 때 엔탈피(H)는 아래와 같다.

$$H=U+PV$$

그림 81은 이런 모리엘 선도의 R134a 냉매에 대한 예이다.

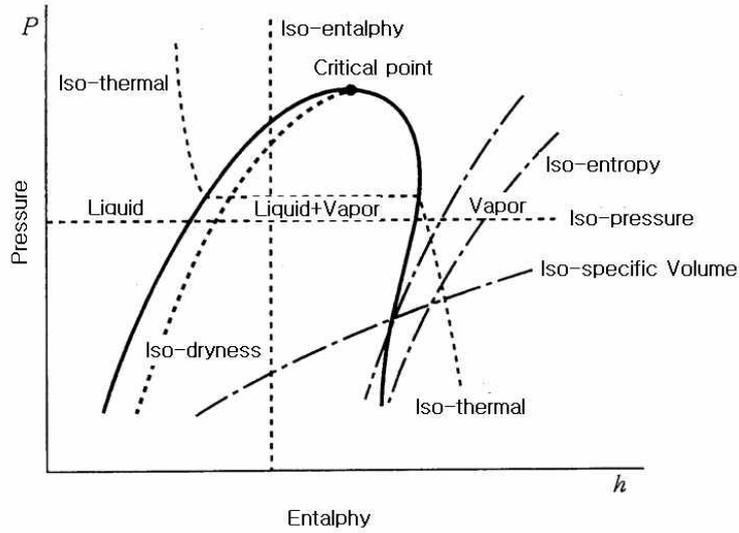


Fig. 80 P-h chart of mollier diagram.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

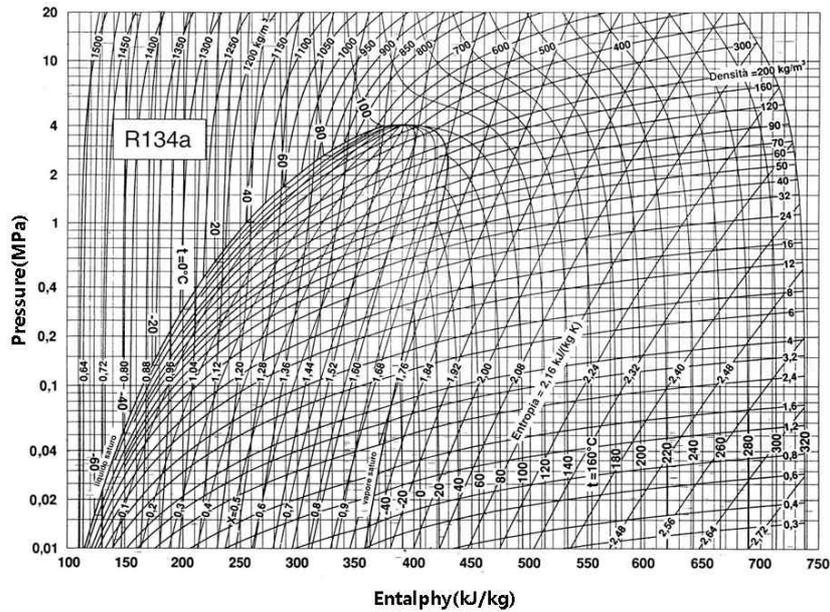


Fig. 81 Mollier diagram of R134a refrigerant.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

엔트로피는 절대온도(T)인 어떤 물체에 가해진 열량(Q)이 있을 때, 엔트로피(S)가 증가하였다고 정의한다. 따라서 자연계의 변화에서는 엔트로피가 항상 증가하는 경향을 나타내고, 그 변화는 비가역적이다. T - s 선도는 상태의 변화에 따른 열량을 면적으로 환산할 수 있는 표로서 압력이나 엔탈피의 값을 읽는 것이 불편하여 별로 사용되지 않는 선도이나 절대온도인 물체에 가해진 열량의 변화를 표시한다. 그림 82는 T - s 선도를 나타낸다.

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

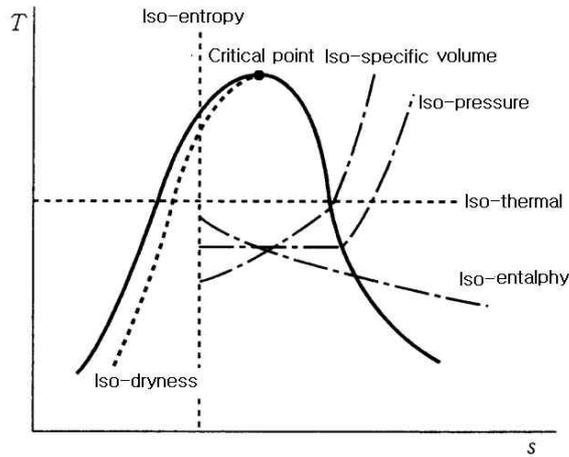


Fig. 82 T-S diagram.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

(4) 카르노냉동사이클

냉동사이클은 열역학적인 가역사이클의 원리가 기준이 된다. 카르노사이클은 두 개의 정해진 온도 사이에서 작동할 때 최대의 효율을 얻을 수 있는 이상적인 가역사이클이다. 열기관에서의 카르노사이클은 공온의 열원에서 에너지를 공급받아 일부는 일로 변환하고 나머지는 저온의 열원으로 방출하는 동력사이클이다. 하지만 냉동기와 열펌프는 저온의 열원에서 열을 흡수한 후 고온으로 열을 이동시켜야 하므로 일이 요구되는 사이클이다. 따라서, 냉동기나 열펌프의 이상적인 가역냉동사이클은 역카르노사이클(reversed Carnot cycle)이 되며 이때의 역카르노사이클을 카르노냉동사이클이라고 부른다.

카르노냉동사이클은 2개의 등온과정과 두 개의 단열과정으로 이루어져 있다. 그림83은 카르노냉동사이클의 온도-엔트로피 선도를 나타내고 있다. 카르노냉동사이클의 2→3의 등온과정을 통하여 저온의 증발온도 T_e 에서 열을 흡수하고, 등온과정을 통하여 고온의 응축온도 T_c 에서 열을 방출한다. 두 개의 단열과정은 압축기에서의 단열압축(3→4), 그리고 터빈에서의 단열팽창(1→2)으로 구성되며, 이들은 모두 가역과정이므로 단열과정은 등엔트로피 과정이 된다. 카르노냉동사이클은 모두 가역과정으로 구성되어 있어 실제 냉동 시스템의 사이클보다 높으며 이상적인 사이클이다.

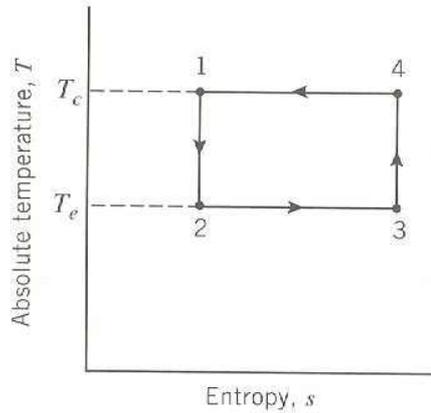


Fig. 83 Standard refrigerating cycle.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

냉방이 목적인 경우 카르노냉동사이클의 COPsms 등엔트로피 팽창 및 압축으로 이루어져 있으므로 증발기와 응축기의 온도(K)만의 함수로 나타낼 수 있다. 각 과정에서 열량 및 일은 다음과 같다.

$$Q_c = T_c(S_4 - S_1)$$

$$Q_e = T_e(S_3 - S_2) = T_e(S_4 - S_1)$$

$$W = Q_c - Q_e$$

따라서 위 수식을 이용하여 냉방 COP를 정의하면 다음과 같다.

$$COP_{c, \text{Carnot}} = \frac{Q_e}{W} = \frac{T_e}{T_c - T_e}$$

(5) 표준냉동사이클

최대의 효율을 나타내는 카르노냉동사이클을 실제로 구현하는 데는 여러 가지 어려움이 따르므로 가능한 카르노냉동사이클에 가깝도록 시스템을 설계하여야만 효율의 극대화를 추구할 수 있다. 모든 과정을 가역과정으로 구성하는 것은 불가능하지만 등엔트로피 선도상에서 사각형의 사이클을 유지한다면 냉동사이클을 비교적 카르노냉동사이클에 접근시킬 수 있다.

기체를 냉매로 사용하지 않고 냉장효율을 높이기 위해 2상상태의 냉매를 사용하면 포화상태의 기체와 액체의 상태를 구현할 수 있다. 이러한 냉매는 포화액체에서 포화기체로의 등온, 등압의 증발과정을 통하여 열을 주위로부터 흡수하고, 포화기체에서 포화액체로의 등온, 등압의 응축과정을 통해서 주위로 열을 방출함으로써 직사각형의 사이클을 구성한다. 그림84에 나타난 사이클 또한 이상적인 사이클이므로 실제 사이클을 이루기 위해서는 시스템의 개선이 필요하다.

증발기에서 나온 과열상태(과정 3)의 냉매가 압축기로 들어가는 경우에 있어 다양한 형태의 압축기는 압축동안에 발생하는 액체압축 현상에 의해 압축기가 손상되거나 압축효율이 떨어지는 현상이 발생한다. 따라서 압축기 입구에서는 냉매가 최소한 포화증기 상태로 변화되고 이를 건압축(dry compression) 과정을 통해 액체로 압축되어야 실제 사용되는 압축기의 손상이 방지된다.

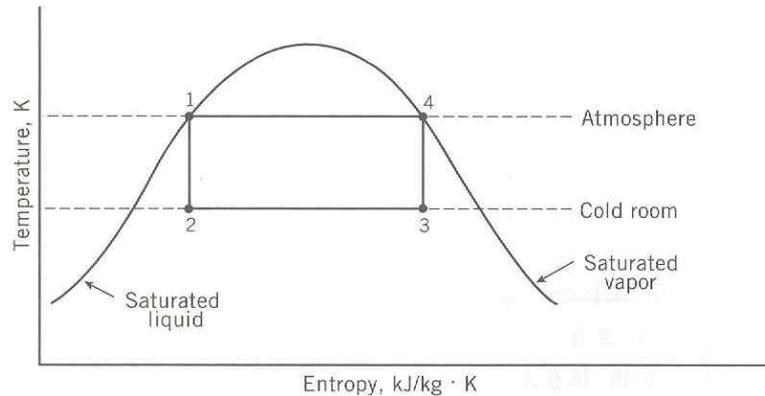


Fig. 84 Carnot refrigerating cycle using two-stages collant.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

또한 과정 1에서 과정 2로 변하는 팽창과정은 단열팽창으로서 이 과정에서 생성되는 일을 압축기에 공급되어 사용될 수 있으나 압축기 구동 에너지에는 턱없이 부족하여 교축장치를 사용하여 단열팽창을 시키고 있다. 과정 1→2를 통해 주위로의 열전달이 없고, 위치에너지 및 운동에너지의 변화가 무시되는 경우에 이 과정은 등엔탈피과정으로 가정될 수 있다.

상기의 내용을 실제적인 운전사이클에 적용하면 표준증기 압축사이클(standard theoretical vapor compression cycle)로 표현할 수 있으며 그림85와 같이 온도(T)-엔트로피(S)와 압력(P)-엔탈피(i, h) 선도로 나타낼 수 있다.

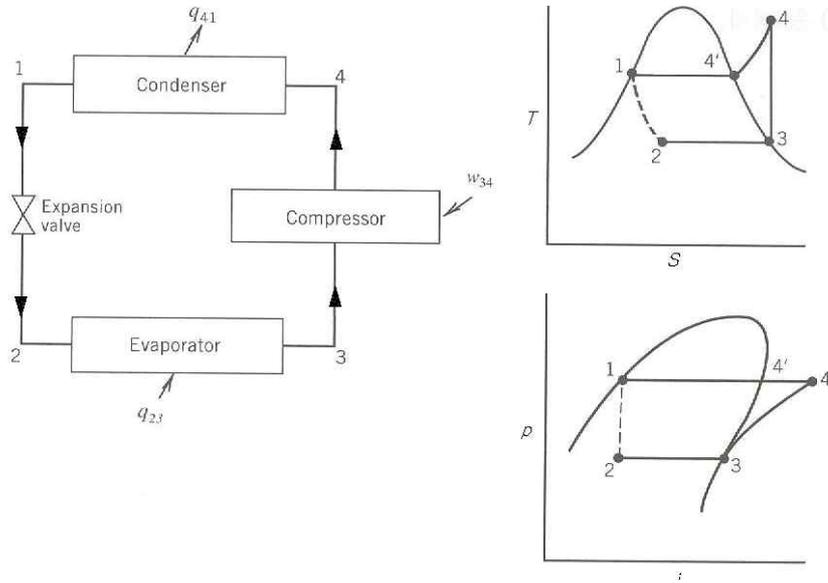


Fig. 85 Standard theoretical vapor compression cycle.
 [출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

표준증기 압축사이클에서 압축기로 들어가는 냉매는 정해진 증발압력에서의 포화증기라고 가정할 때, 압축과정 3→4는 가역단열 과정으로 등엔트로피 과정으로 응축압력까지 압축하여 과열증기상태인 점인 4로 토출되고 이후 4'까지는 증기온도가 감소한다. 이후 4→1까지의 과정을 통해 일정한 압력선을 따라 포화증기선은 4'에서 1까지의 응축과정은 일정한 온도와 일정한 압력 하에서 열을 방출한다. 응축기에서 응축과정을 거쳐 주위로 방열을 한 후, 냉매는 포화 액체상태(점 1)로 팽창장치로 들어간다. 냉매는 팽창장치에서 등엔탈피과정으로 팽창하여 저온, 저압의 2상상태의 냉매를 토출한다. 2상상태의 냉매는 증발기를 통과하면서 주위로부터 열을 흡수하여 증발하고 포화증기상태로 압축기에 흡입되어 하나의 사이클을 구성한다. 이때 압축기의 소요동력은 위치 에너지 및 운동 에너지의 변화를 무시한다면 다음과 같다.

$$\frac{W_{34}}{m} = w_{34} = i_4 - i_3$$

과정 1→2는 등엔탈피 과정이므로 $i_1 = i_2$ 이며, 응축기와 증발기에서 각각 방열되고 흡수된 열량은 다음과 같다.

$$\frac{Q_{41}}{m} = q_{41} = i_4 - i_1$$

$$\frac{Q_{23}}{m} = q_{23} = i_3 - i_2 = i_3 - i_1$$

표준증기 압축사이클에서 성능계수(COP)는 유효 냉동용량을 압축기 소요동력으로 나누면 되므로 다음과 같다.

$$COP = \frac{Q_{23}}{W_{34}} = \frac{i_3 - i_1}{i_4 - i_3}$$

(6) 실제 증기압축 냉동사이클

실제 증기압축 냉동사이클은 이론적인 사이클과는 차이가 있다. 주된 차이는 압축기에서 발생한다. 실제의 압축기는 등엔트로피과정으로 가정하지만 압축기의 마찰손실 및 주위로 나가는 열전달 등의 효과 때문에 압축과정은 일반적으로 가역과정인 등엔트로피과정에서 크게 벗어난다. 또한 압축기를 제외한 모든 부분에서 냉매배관의 마찰저항 때문에 냉매유동의 압력강화가 존재한다. 냉매 또한 일반적으로 오일과의 혼합물로 구성된다.

실제 사이클은 이론적인 사이클에서 벗어나 시스템내의 비가역성이 증가하고, 실제의 일량은 표준증기 압축사이클보다 증가하게 된다. 팽창장치 입구의 조건도 액체-기체의 2상상태와 포화액체 상태 또는 과냉액상태로 존재하며, 이때의 온도차이를 과냉도(degree of subcooling)이라 칭한다. 증발기의 출구조건도 포화증기 및 과열증기상태로 존재하여 이때의 차이를 과열도(degree of superheat)라고 칭한다. 따라서 시스템의 효율을 극대화시키기 위해서는 압축기 입구의 과열도를 적절히 유지하여야 한다. 이러한 이유 때문에 실제의 증기압축 냉동사이클은 그림86, 그림87과 같이 차이가 발생된다. 이를 저감하기 위해 일반 냉장고와 같은 냉동장치는 증발기 출구에 저온의 증기냉매를 이용하여 응축기 출구의 냉매를 과냉시키기 위해 액체-흡입 열교환기를 사용하고 있다. 그림88은 냉동사이클에서 가장 많이 사용되고 있는 물리에르 차트에 실제 증기압축 냉동 사이클을 표시하였다.

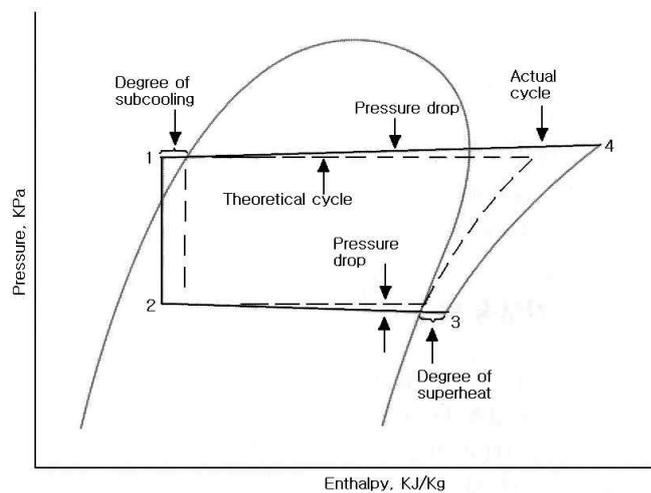


Fig. 86 Actual vapor compression cycle.

[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

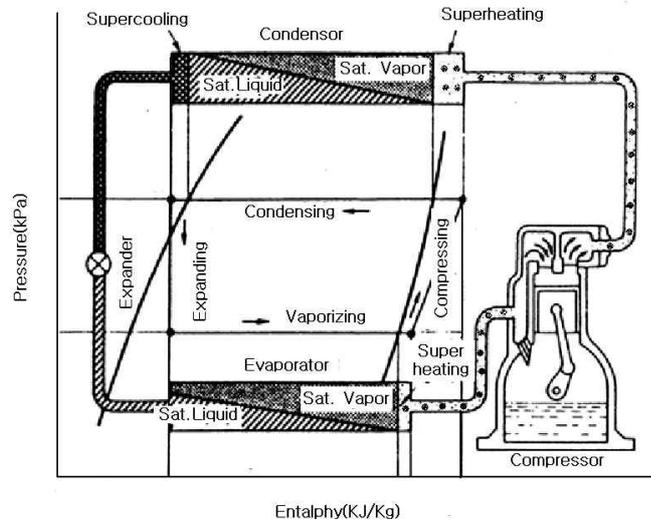


Fig. 87 Diagram of actual vapor compression cycle.
[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

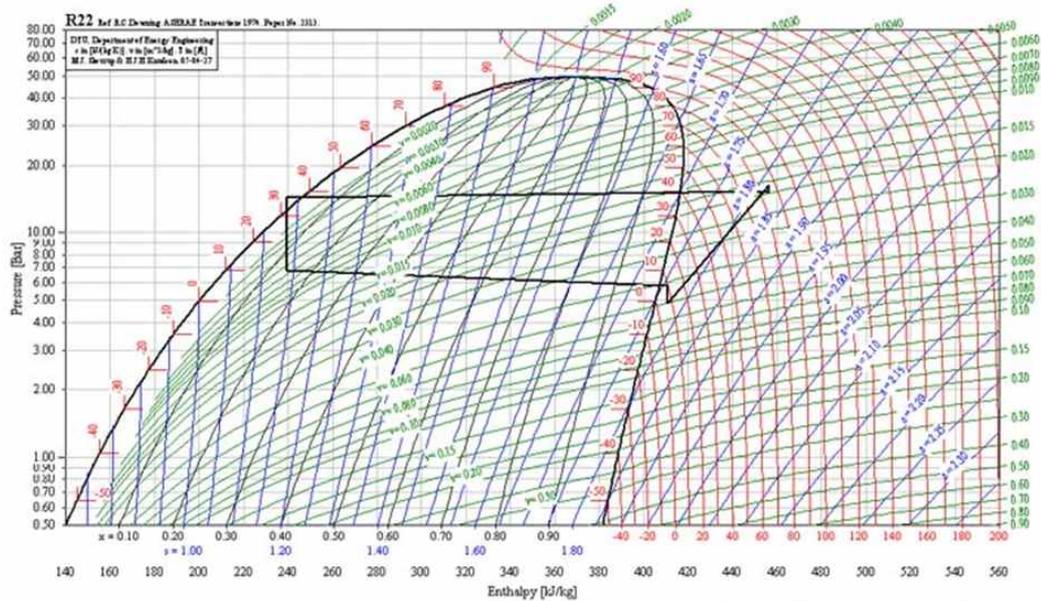


Fig. 88 Mollier chart and actual vapor compression cycle.
[출처 : 민만기 외. 공기조화 및 냉동]

(7) 냉동사이클의 기본 구성

증기압축식 냉동사이클은 압축, 응축, 팽창, 그리고 증발의 네 가지 기본과정으로 이루어지며, 이 과정을 수행하는 장치로서 압축기, 응축기, 팽창장치 및 증발기가 있다.

압축기는 냉동작용의 중심역할을 하는 부품으로 그림89와 같으며 그 용량 및 특성이 전체 성능에 미치는 영향이 크다. 따라서 압축기의 선정에는 종류에 따른 특성과 이에 따라 나타나는 시스템 효율에 관해 충분한 이해와 고려가 있어야 한다. 압축기는 기본적으로 용

적형(positive displacement type)과 터보형(dynamic type or turbo type)으로 구분할 수 있다. 용적형 압축기는 냉매증기의 체적을 감소시켜 압력을 증가시키는 장치이며 왕복 압축기 및 회전 압축기(베인형, 스크루형) 등이 이에 속한다. 터보형 압축기는 회전부재로부터 각운동량이 연속적으로 냉매증기에 전달되며 결과적으로 운동 에너지가 압력 상승으로 전환되는 장치로서 원심압축기가 이에 속한다. 여러 가지 형태의 압축기들은 각각 그 적용분야에 따른 특성과 장단점들을 가지고 있다. 따라서 특정한 용도에 따른 압축기의 선택에는 압축기의 크기와 운전특성 및 사용냉매에 따른 특성들이 고려되어야 한다.

실제 냉동효과를 얻는 증발기와 흡수된 열량을 외부로 방출하는 응축기는 상변화가 수반되는 열교환장치이다. 냉동시스템에서 획득한 에너지는 대부분 응축기를 통해 외부로 방출된다. 특히 냉동 시스템에서 획득한 에너지란 증발기에 흡수된 열량과 압축기 가동 등에서 소요된 에너지를 포함한다. 압출기로부터 토출된 고압, 과열의 냉매가스는 응축기로 유입되어 공기 또는 물 등의 저온물체로 에너지를 전달한다.

응축기는 셸-튜브형(shell and tube type), 셸-코일형(shell and coil type), 이중관형(double pipe type) 등이 있으며, 보통 수평식 셸-튜브형 응축기가 가장 많이 사용되고 있다. 특히 가정용으로 많이 사용되고 있는 공랭식 응축기에서는 주위공기로 열을 방출하는데, 주로 흰(fan)이 부착된 관을 사용하며 흰 쪽으로는 공기가 유동하고 관 내부는 냉매가 흐르는 구조로 되어 있다. 공기와의 접촉은 어디에서든지 가능하므로 소형 냉동 시스템은 거의가 공랭식을 사용한다. 그림90은 일반적인 응축기이다.



Fig. 89 Air compressor.



Fig. 90 Condenser.

증발기는 팽창밸브 또는 모세관 후단에 위치하며 이 부품을 통해 저온 저압의 냉매가 증발기로 유입되고 여기서 냉매는 증발하면서 증발온도보다 온도가 높은 물체(보통 공기, 물 등)로부터 열을 흡수하여 냉동효과를 얻는다. 증발기는 일반적으로 냉매의 공급방법에 따라 건식, 만액식, 또는 액순환식으로 분류할 수 있다. 그림91은 일반 가정용으로 많이 사용되는 건식 증발기이다.

팽창장치는 비교적 단순한 장치이면서도 시스템의 제어라는 관점에서 볼 때 매우 중요한 부품이다. 팽창장치는 액체상태인 냉매의 압력강화와 더불어 증발기로 유입되는 냉매의 유량조절의 역할을 하는 장치이다. 많이 사용되는 팽창장치로서는 온도조절 팽창밸브와 모세관 장치이며 이외에도 오리피스, 정압팽창밸브, 플로트 밸브 등이 사용된다. 일반적으로 온도조절 팽창밸브와 모세관을 사용한다.

팽창밸브(그림 92)는 내부에 다이어프램과 스프링 압력조절장치가 내장되어 다이어프램 전단과 후단의 압력차에 따라 냉매의 유량이 자동으로 조절되어 증발기 출구부분의 과열도를 일정하게 유지하게 하여 준다. 증발기의 부하가 증가하면 증발기 출구부분의 과열도가 증가되어 밸브를 더 크게 열리게 함으로서 냉매유량이 증가되어 이에 따라 과열도는 감소되고 반대로 부하가 감소하면 밸브가 닫히면서 냉매 유량을 감소되고 과열도가 감소되어 증발기의 과열도는 다시 증가한다. 이러한 작동들은 증발기 출구 부분의 과열도를 일정하게 유지시켜 주는 역할을 하게 한다. 여기서 스프링 장력은 조절나사에 의하여 조절이 가능하며, 일반적으로 3~5℃의 과열도를 유지하도록 제작자에 의하여 조정된다.

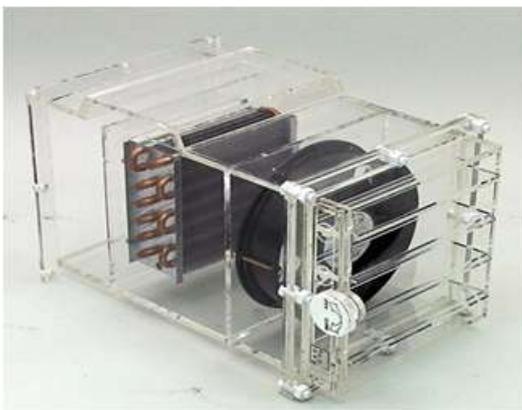


Fig. 91 Evaporator.



Fig. 92 Expansion valve.

나. 냉장방식의 종류

(1) 일반 냉장고의 구조

일반 냉장고는 가정용에서 주로 사용하며, 그 사용원리는 냉동원리와 동일하다. 일반 냉장고의 주요 구성은 아래와 같다.

- 냉동장치 : 냉동 cycle에 의해 냉장고 내부를 냉각하며, 압축기, 응축기, 팽창밸브 및 증발장치로 구성된다. 압축, 응축 장치의 외관은 스테인레스 강판을 프레스 가공하여 제조한다. 제품 중간에 구멍이 있거나 곡선이 많이 들어가 가공에 어려움을 겪는 부분을 프레스 가공으로 해결하는 것이다. 연결관은 일반적으로 황동으로 만들어져 사용되고 냉장고 내의 각종 부품(suction pipe , compressor, cluster pipe)과 조립이 편리하도록 연결되며, 이때 발생하는 열의 일부는 냉장고의 하단부에 모여 있는 수분을 증발 시키는 역할을 한다.

- 전기회로 장치 : 냉장고의 온도를 조절하는 온도제어 및 사용자가 냉장고를 사용할 때 원활히 사용할 수 있는 부가 장치를 포함한다.

- ① 운전 제어 장치 : 운전제어장치에는 온도조절기와 서리제거장치가 있다. 온도조절 장치는 냉장고 안을 적당한 온도로 유지시키기 위한 장치이며, 그 온도는 수납하는 식품에 따라 다르나 대체로 5~7 ℃이다. 서리제거장치는 냉장고문의 개폐에 따라 침입한 외기 중의 수분이나 냉장고 안의 식품에서 증발한 수증기 등이 서리가 되어 증발기에 부착하는데, 서리가 많아지면 냉각력이 저하하므로 제거해야 한다. 서리제거장치는 서리를 용해하는 장치이며 자동식·다이얼식·누름단추식 등이 있다. 서리제거에 사용되는 제상히타는 제상 시에만 발열하여 냉각기 표면에 부착된 성에를 제거하여 냉각성능을 유지해 줄 때 사용하며, 동-니켈합금을 이용해서 제작하고 열원이 필요한곳에 발열체로 사용한다.

② 온도제어 : 온도제어 장치는 냉장고의 주목적인 일정 온도 유지에 핵심적인 부품이므로 냉장고에서 아주 중요한 부품이다. 자동온도조절기 또는 항온기라고도 하며, 온도를 오랜 시간 일정하게 유지하기 위한 항온조·전기로 등에도 사용된다. 냉장고에서 온도조절기구는 자동 스위치로 온도가 올라가면 닫혀지고, 내려가면 올라가도록 작용한다. 이를 위해 사용되는 것은 대부분이 바이메탈과 벨로우즈이다. 바이메탈은 선팅창계수가 다른 2장의 합금판을 맞붙인 것인데, 온도변화에 따라 바이메탈이 활 모양으로 굽는 정도가 변하므로 이것을 이용해서 스위치를 개폐시킨다. 그림93은 바이메탈의 기본 원리이다.

냉장고의 온도제어를 위해 두 개의 온도조절기를 사용하는데, 냉동실의 온도 제어를 콤프레서의 작동여부를 통해 결정하는 frost thermostat와 냉장실의 온도를 감지하여 냉장실의 냉기 순환량을 통제하는 damper 써머로 나누어지며, 온도가 높아지면 냉기 조절판이 흡입구를 연다.

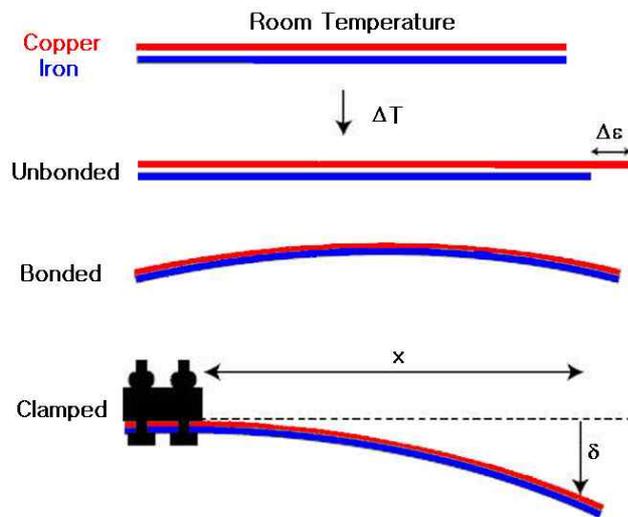


Fig. 93 Principle of bimetal.

③ 제상 장치 : 냉장고의 증발기에 생긴 성에, 얼음, 서리 등을 녹이는 장치이다. 일명 서리제거인데 이것은 무더운 날씨에 차가운 음료수나 캔을 들고 있을 때 음료수 병이나 캔에 시간이 지나면서 표면에 물방울이 생기는 현상이다. 냉장고를 비롯한 모든 냉방기기들은 내부에서 이러한 현상이 생기면 냉각효율이 현저히 떨어지므로 신속히 내부 결빙을 제거해야 한다. 이러한 작업을 제상이라 하며 이 목적으로 제상히터를 내부에 사용한다. 제상 시 일정온도가 되면 자동적으로 센서가 감지하여 제상히터를 작동하는 능동형과 사용자가 제상스위치를 동작시키는 수동형이 있다.

④ 동력장치 : 냉기 순환용 fan motor, 응축용 fan motor는 주조를 이용해서 외형체를 만든다. 내부에 사용되는 부품은 소성, 주조 등의 다양한 가공 과정을 거쳐서 만들어지고, motor의 무게가 많이 나가므로 보통 냉장고의 밑 부분에 부착되어 있다. 냉장고에 사용되는 motor는 fan을 돌리기 위한 동력장치이므로 비교적 작은 동력을 필요로 한다.

- 저장고 : 냉동실과 냉장실로 나누어지며, 냉장고의 뒤와 밑 부분에 사용되는 CASE는 스테인레스 강판을 금형 제작하여 사용한다. 스테인레스 강판은 단열성이 좋아서 열의 외부방출을 줄일 수 있어 냉장고의 에너지 효율을 높이는데 큰 영향을 준다. 그림 94는 일반적으로 사용되는 가정용 냉장고의 구성이다.

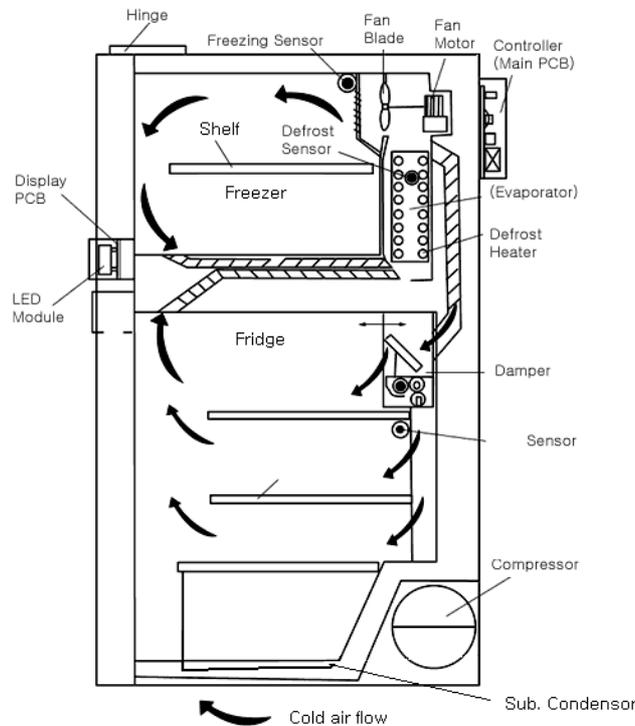


Fig. 94 General home refrigerator.

(2) 냉장방식 구분

(가) 직냉식 냉장고

직냉식냉장고는 증발기를 냉동실 전면 또는 제작시의 편의에 따라 벽면에 설치하고 냉동실 내부의 자연 대류에 의해 냉기가 전달되는 방식을 사용하는 냉장고이다. 직냉식은 냉기를 강제로 순환시키지 않아 냉장 또는 냉동 대상체의 표면의 건조를 방지할 수 있고, 팬

등을 설치하지 않아 압축기를 제외한 소음의 발생이 없으며, 구조를 단순화할 수 있어 있어 김치냉장고와 냉동전용고로 많이 사용되고 있다. 냉동실에 증발기를 4면에 설치할 경우 냉동실 내부의 온도를 단기간에 열을 흡수하여 결빙시간이 짧고 내부의 온도편차가 적어 전체 공간을 효율적으로 사용할 수 있으며 습도를 높게 유지할 수 없이 야채 등을 신선하게 장기간 저장할 수 있다. 냉동실과 냉장실을 구분하는 경우에는 냄새의 이동이 없어 저장 물체의 오염을 방지할 수 있다. 반면 수분을 별도로 제거할 수 있는 제습기가 설치되지 않는 경우에는 증발기 표면에 서리가 맺혀 효율이 낮아질 수 있으므로 서리방지 장치를 적용할 수 있다.

(나) 간냉식 냉장고

간냉식 냉장고는 냉동식 후면 또는 밑면에 1개의 냉각기를 설치하고, fan에 의하여 강제적으로 냉기를 순환시켜 실내를 냉각시키는 냉각방식이다. 현재 이 방식은 fan을 이용하여 전체 냉동/냉장실을 순환시키므로 적은 비용으로 시스템을 구성할 수 있다. 간냉식 냉장고는 냉동실에 성애가 끼지 않아 냉동실이 항상 청결하게 유지할 수 있으며, 냉동/맛냉실/냉장실 등 다양한 용도로 제작이 가능하며 전체 공간의 온도분포가 일정하여 대용량으로 제작이 가능하다. 반면 전체의 공간을 fan에 의해 순환시키기 때문에 저장 물체의 냄새의 이동에 의한 저장품의 손상이 발생할 수 있으며, 강제 대류를 발생시킴에 따라 저장물체에 표면건조가 일어나므로 염채류 등을 장기간 보존할 수 없다. 그림 95는 직접냉각 방식과 간접냉각 방식의 냉장고이다.

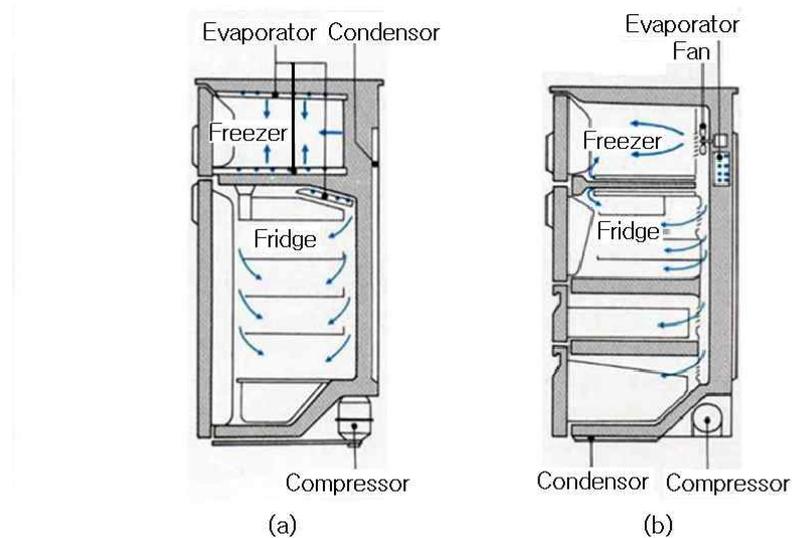


Fig. 95 Direct / indirect cooling refrigerator.

(다) 직간냉식 냉장고

단기간에 냉장온도를 낮출 수 있는 직냉의 장점과 전체의 균일한 온도분포를 이룰 수 있는 간냉의 장점을 혼용하여 냉장실 하단부에 증발기를 설치하고 별도의 fan을 이용하여 냉기의 흐름을 발생시키는 방식이 직간냉식이라 할 수 있다.

다. 기능성 냉장고의 종류

가정용 냉장고는 냉동을 위한 품목부터 야채/육류/과일 등 다양한 저장물을 한꺼번에 저장할 수 있는 다목적형 냉장고이다. 가정용 냉장고는 사용자의 다양한 요구를 만족시키기 위해 다양한 구성 공간을 가지고 있어 편리하게 저장할 수 있는 장점이 있다. 반면 다양한 저장물체를 저장함으로써 냄새에 의해 다른 저장물체가 오염될 수 있고, 저장 물체의 저장 조건이 다양한 경우에는 저장에 한계가 있다.

이러한 사용자의 다양한 욕구를 만족시키기 위해 기능성 냉장고가 개발되어 보급되고 있으며, 한국인의 요구에 부합된 김치냉장고가 대표적인 예라고 할 수 있다. 최근에는 소비의 고급화에 따라 화장품 냉장고 및 와인 냉장고가 개발되었고, 주식으로 사용되는 쌀의 적정 함수율을 유지하여 미질을 개선하거나 장기간 보관할 수 있는 쌀 냉장고가 개발되었다.

기능성 냉장고의 냉장방식은 사용자의 편의를 위해 개발되어 대부분 직냉식을 채택함으로써 소음을 낮추고 표면건조를 방지하며 단기간에 저장대상물의 온도를 낮추고 정밀한 온도제어를 통하여 저장 대상물의 장기저장성을 높이고 있다.

2. 기존 냉장고 개조를 통한 시작기 개발

가. 간접 냉각식 냉장고의 개조

간접 냉각식 시작기를 만들기 위해 사용한 냉장고는 LG전자의 R-B144GD 모델이었다. 이 모델은 냉장실 용량 101L, 냉동실 용량 36L를 가지는 모델로 폭 514mm에 깊이 606mm이며, 높이는 1110mm이다.

해당 모델의 전체를 사용하기엔 온도 분포의 제어가 어려웠으므로, 냉동실만을 실험의 대상으로 사용하였다. 냉동실에서 냉장실로 연결된 유출로를 스티로폼과 스펀지를 이용하여 막음으로서 냉동실에만 냉각이 집중되도록 하였다. 컨트롤러의 PT1000hm 센서는 냉동실의 냉기 유입부에 설치하여 냉각기 제어의 기준온도로 삼았다. 그림 96과 97은 개조된 냉장고의 모습이다.



Fig. 96 Image of indirect refrigerator.



Fig. 97 Image of indirect refrigerator (Inner side).

나. 직접 냉각식 냉장고의 개조

직접 냉각식 시작기를 만들기 위해 사용한 냉장고는 LG전자의 R0A104GDA 모델이었다. 이 모델은 총 96L의 용량을 가지며, 폭 463mm에 깊이 500mm, 높이 830mm이다.

간접 냉각식 냉장고에서는 용량 36L의 냉동실만을 사용하였기 때문에, 직접 냉각식 냉장고에서도 96L의 용량을 모두 이용하는 것이 아닌 36L의 공간만을 이용한 냉각을 해야 직접적인 비교가 가능할 것이다. 따라서 냉각관이 설치된 공간을 기준으로 36L의 공간을 확보한 후, 나머지 공간에 스티로폼을 설치하여 36L의 공간에서만 열교환이 일어나도록 하였다. 그림 98과 99는 개조된 냉장고의 모습이다.



Fig. 98 Image of direct refrigerator.



Fig. 99 Image of direct refrigerator (Inner side).

다. 냉장고 온도 제어 및 계측

본 연구에서 개발된 한우육 냉장 시스템은 컴퓨터를 사용하여 MCU(microcontroller unit)와 통신을 하고 냉장 시스템의 동작에 대한 정보를 저장하고 제어하기 위하여 Visual-basic을 사용하여 프로그램을 설계하였다. 직접 냉각식 시작기와 간접 냉각식 시작기 모두 같은 컨트롤러를 사용하였다. 컨트롤 패널은 설정 온도 값, 자외선램프 켜짐 설정 시간, 현재 내부 온도를 디지털로 컴퓨터 화면에 나타낸다. 자외선램프는 냉장고 문이 열리면 자동으로 off 동작을 수행하고 문이 닫히면 설정된 시간동안 on 동작이 이루어지도록 설정하였으며 on 동작 시간 설정은 제어시스템을 구동하기 위하여 개발된 운용 프로그램으로 조절이 가능하도록 제작하였다. 이 자외선램프의 on 동작은 프로그램 구동 최초 1회에만 이루어지도록 하였다. 그림 100에 개략적인 회로 구조를 묘사해 놓았다.

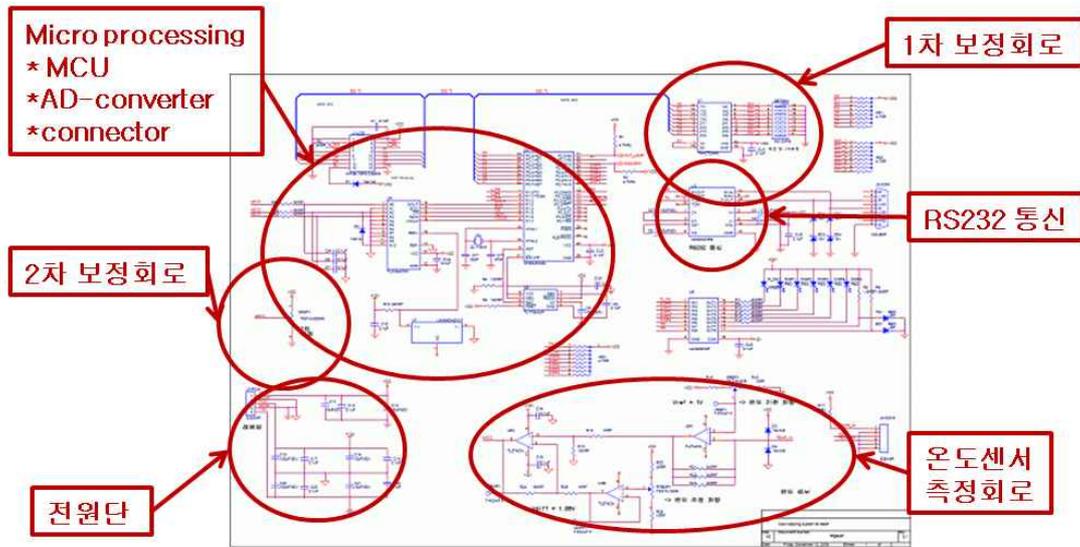


Fig. 100 Circuit diagram of tester controller.

한편, 초기에 개발된 제어 시스템을 구동하는 운용 프로그램은 저장 온도를 상시 -1°C 로 유지하기 위하여 제어 동작 시, 자동 온도 조절동작에서 발생하는 작동 오차 범위를 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5°C 로 설정하였으나 실제 실험 결과 $0.1^{\circ}\text{C} \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 의 작동 오차 범위에서는 개발된 시스템이 동작 효율이 상대적으로 낮아지는(과부하로 인한 shut down, 응축기의 over-heating, 제어 동작의 오류 발생 빈도 증가 등)인하여 단점이 발생하여 제어 동작 시 온도 조절 범위는 $-1^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 운용 프로그램을 수정하였다.

그림 101은 온도 제어와 자외선램프 동작 회로부, 전원 공급부, 그리고 현재 온도를 나타내는 LCD(liquid crystal display) 패널을 비롯한 회로 안전장치를 나타낸다. 시작기 내부의 온도 센서로부터 읽어 들인 온도 정보는 30초마다 data acquisition 채널을 통해 컴퓨터에 저장된다.

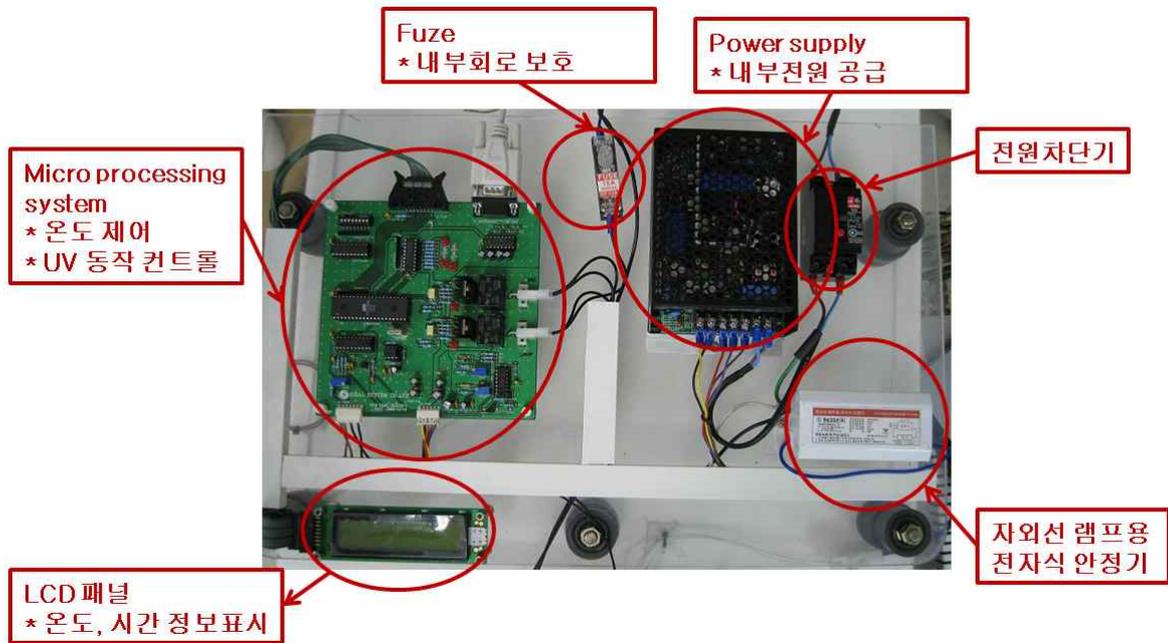


Fig. 101 Image of Hanwoo storage system controller (Tester).

실제 온도 측정을 위해서 60채널 DAQ(data acquisition) 기판(National Instrument, USA)을 이용하였다. 60채널은 온습도 측정 센서 HTG3500(Humirel, France)을 사용하여 온도와 습도를 측정한다. 각 HTG3500에서 온도와 습도 두 개의 정보가 제공되므로, 총 30개의 센서를 이용할 수 있었다. HTG3500은 다음과 같은 특성을 가진다.

- Supply Voltage (Peak) : 20 V
- Humidity Operating Range : 0 ~ 100 RH
- Temperature Operating Range : -40 ~ 110 °C
- Maximum Output Current : 3 mA
- Maximum Power : 10 mW

각 HTG3500은 Vcc와 Ground를 입력받고, 습도와 온도에 따른 전위값의 변화를 출력한다. 이 출력을 컴퓨터로 변환하면 현재 온도를 측정할 수 있다. 따라서 2개의 출력을 가지므로, 60채널에서는 총 30개의 센서에서 온도와 습도값을 입력받을 수 있다.

이 센서를 이용한 60채널은 LABVIEW 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터에 접속되었다. LABVIEW에서는 온도에 따른 아날로그 전위값을 읽어 그것을 실제 온도와 습도 값으로 변환하고, 그 변환된 온도 값을 매초마다 텍스트파일로 출력한다.

이후에 서술될 모든 실험의 온·습도 분포 실측치는 이 60채널을 통해 측정된 값이며, 목표 공간에 대해 30개의 센서를 배치하여 측정하였다. 60채널의 측정 개념도는 그림 102와 같다.



Fig. 102 Data flow chart of 60ch DAQ and tester storage system.

(1) 간접 냉각 방식의 온도 분포 측정

Fig. 99과 같이 27개로 분할된 위치에 온도 센서를 고정 시켰으며 이들 중 상 2번, 중 1,2,3번, 하 1,2,3번 위치를 제외한 총 20곳에서 온도 변화를 측정하였다. 총 27 구역으로 분할된 위치 중에 제외된 7곳은 냉기가 냉장실로 유입되는 유로와 가까운 위치이다. 센서(구조물)가 냉기의 흐름을 변형시킬 수 있다고 판단되었기 때문에 제외하였다. 그림103은 기본적인 배치도이다.

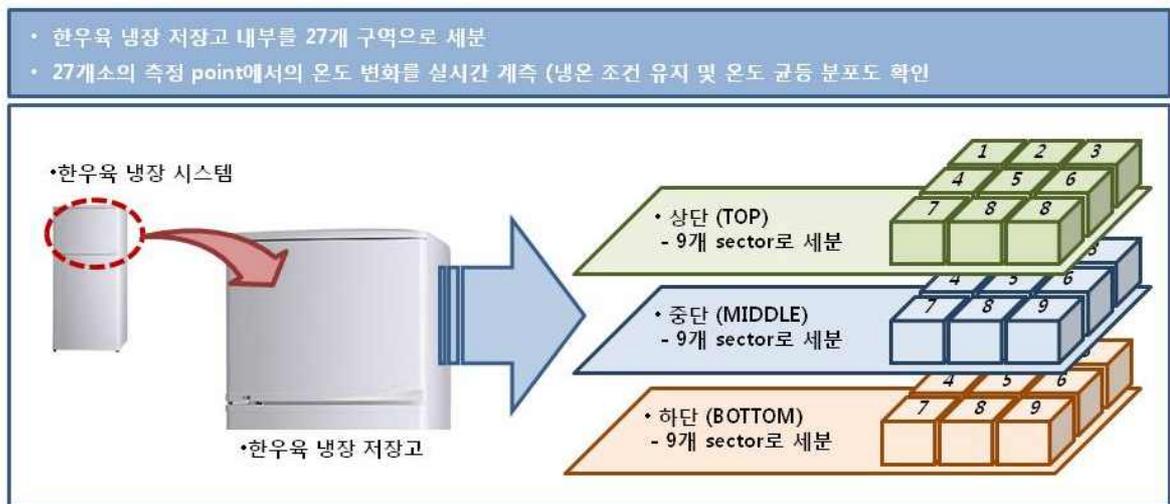


Fig. 103 Setting of thermometer in indirect storage system.

다음 그림 104와 105는 각각 냉기의 유출로를 폐쇄하지 않은 측정 결과와 유출로를 폐쇄한 측정 결과이다. 시작기 냉장 시스템의 온도 제어기는 냉장고 상단의 내부에서 하단으로 냉기가 유출되지 않은 조건에서 온도가 목표 제어 온도로 내려가는데 걸리는 시간이 폐쇄하지 않은 조건보다 약 80초 정도 빠른 성능을 보였다. 온도 변화의 차이도 매우 작았으며 냉장고 위치별(상·중·하) 온도 차이도 작은 결과를 보였다. 냉장실의 냉기가 유출되지 않도록 유출로를 차단한 조건에서 목표 온도를 유지하는 특성이 우수하며 이는 냉각 시스템의 전원을 on/off하는 주기가 길어져 결국 소모 전력이 적어 효율적인 시스템 설계가 가능하다고 할 수 있다. 전체적으로 중단 온도가 가장 낮고, 하단 온도가 가장 높은 모습을 보인다. 이는 냉기 유입구가 중층에 있는 것이 원인으로 보인다. 하단 온도와 중단 온도의 차이는 약 1℃정도로 사실상 같다고 할 수 있을 것이다.

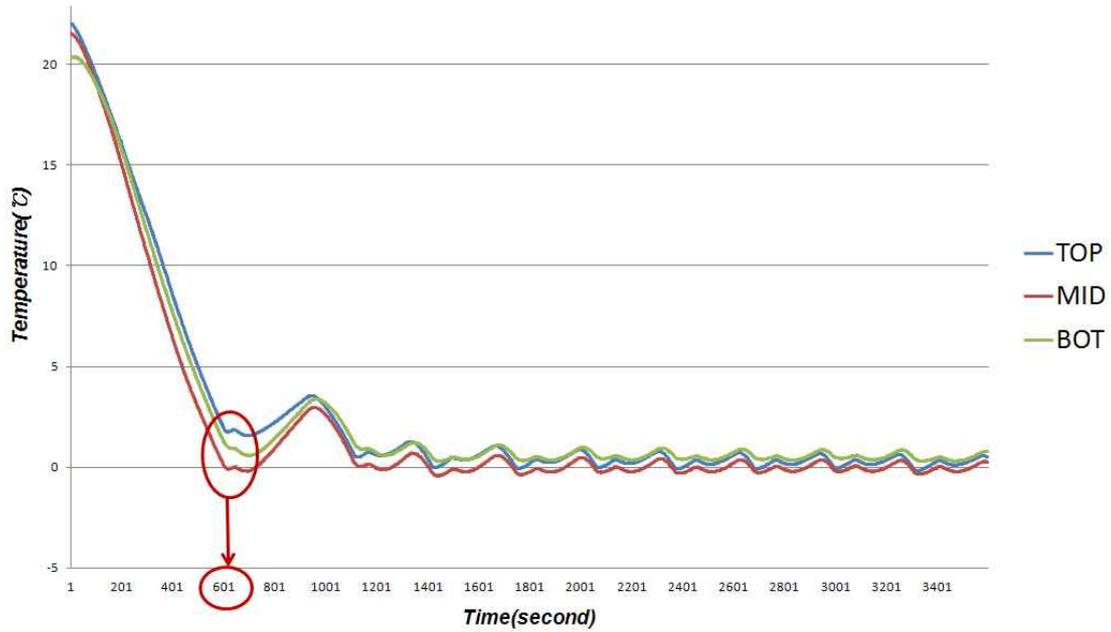


Fig. 104 Changes in temperature of indirect cooling system that open outflow.

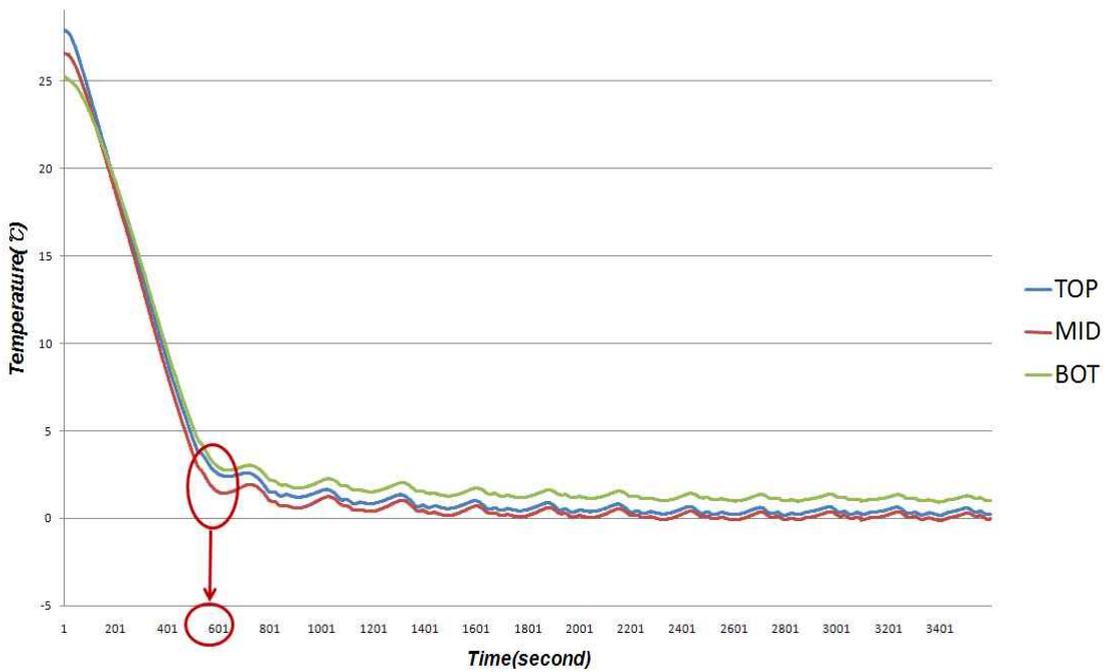


Fig. 105 Changes in temperature of indirect cooling system that closed outflow.

(2) 직접 냉각 방식의 온도 분포 측정

직접 냉각 방식의 실제 온도 변화를 측정하기 위해, 간접 냉각 방식의 측정 방법과 마찬가지로 27개의 장소(상단 9개, 중단 9개, 하단 9개)의 영역에 온도 측정 센서를 설치하였다. 간접 냉각 방식 냉장고의 냉동실에 비해 직접 냉각 방식의 냉장실이 크기가 컸기 때문에 같은 크기의 공간을 만들기 위해 스티로폼을 설치하여 그림106의 최하단 부를 차단하였다.

이를 통해 같은 36L의 공간을 확보하여 같은 조건에서 온도 변화 과정을 관찰할 수 있었다. 상단은 냉각판의 위 부분이었으며, 중단과 하단은 냉각판의 아래 부분에 각각 설정하였다.

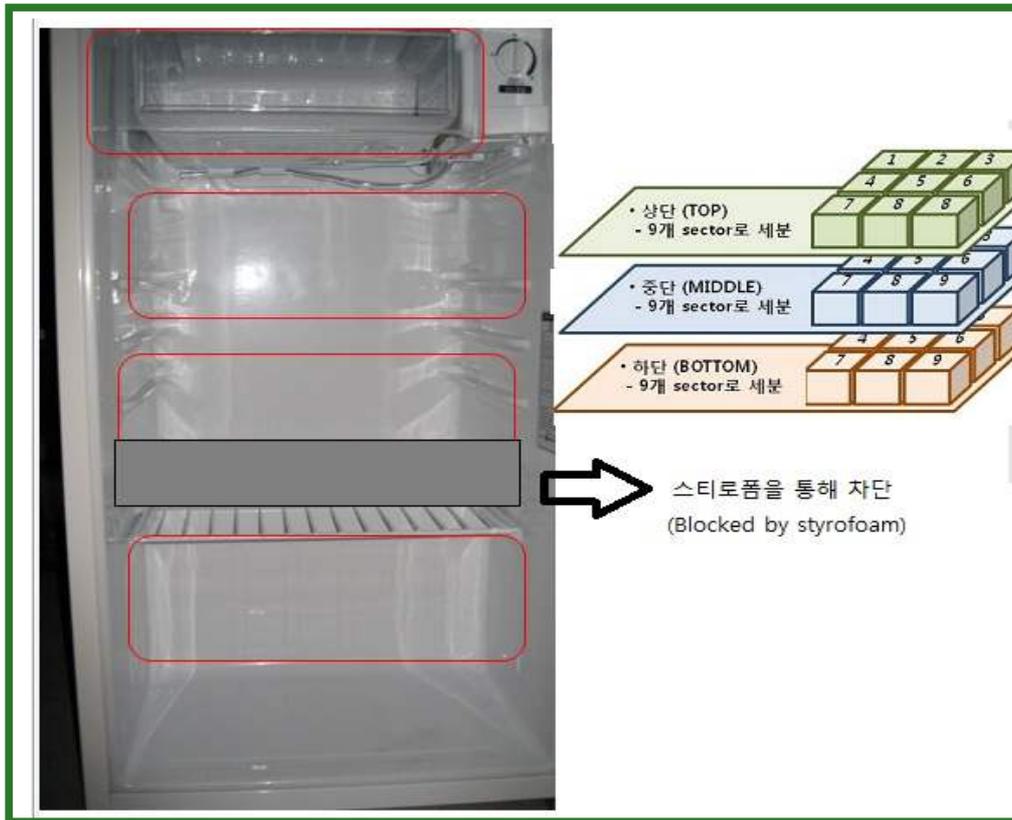


Fig. 106 Setting of thermometer in direct storage system.

측정 결과, 직접 냉각 방식은 목표 온도에 도달하는 데에 약 600초 정도가 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 간접냉각 방식에 비해 초기 온도는 그렇게 많이 내려가지 않는 편이나, 몇 개의 On/Off 주기를 거치면서 1000초 정도 부터는 오히려 더 낮은 온도 분포를 보여주었다. 하지만 냉각판 윗부분인 상단의 온도는 목표 온도인 -1°C 보다 훨씬 높은 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 모습을 보인다. 이는 냉각판에 의해 냉각된 공기가 밀도의 차이로 인해 하강하기 때문에 상단에는 냉각 효과가 미미하기 때문으로 추측된다. 중단과 하단의 온도도 불안정한 편이다. 하단부의 온도는 제어 목표 온도인 -1°C 에서 크게 벗어나지 않으나, 중단부는 냉각판의 바로 밑에 위치하고 있어 -5°C 까지 하락하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 107은 실측 결과를 그래프로 나타내고 있다.

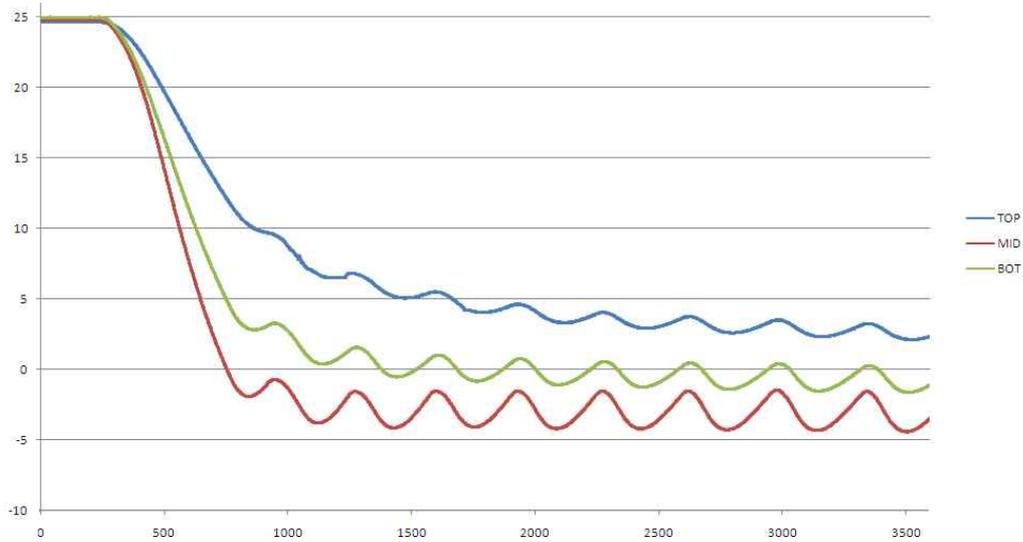


Fig. 107 Changes in temperature of direct cooling system.

3. 열유동해석 및 냉각방식 선정

가. 열유동해석 방법

전산 유체 역학(CFD, Computer Fluid Dynamics)는 일반적인 해의 가 존재하지 않는 유체 역학적 해석을 컴퓨터의 유한요소 해석법을 통해 해결하고자 하는 분야이다. 일반적으로 CFD에서는 질량 보존 방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존 방정식을 지배 방정식으로 한다. 이를 일반 좌표계에서 나타내면 다음과 같다.

○ 질량 보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x^j} [J \alpha_m^j (\rho u_m)] = 0$$

즉, 유체의 유입과 유출에 의한 질량의 변화량과 해당 면적에서의 질량 변화량은 같아야 함을 나타낸다.

○ 운동량 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_m) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x^j} [J \alpha_m^j (\rho u_n \mu_i - \tau_{ni} + P \delta_{nr})]$$

의 u_m 은 Cartesian 속도이며, J는 비직교 좌표계로의 변환을 위한 Jacobian을 나타낸다.

$$J = \det \left| \frac{\partial(y_1, y_2)}{\partial(x_1, x_2)} \right|$$

또한 α_m^i 는 일반 좌표계의 contravariant 기본벡터 \vec{e} 와 직교 좌표계의 단위 벡터 \vec{i}_m 의 내적을 나타내고, δ_{mi} 는 Kroneckers delta를 나타낸다.

○ 에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho T) + \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial x^j} \left[\rho u_m T - \mu_{eff} \frac{\partial T}{\partial x^m} \alpha_m^n \alpha^{nj} \right] = q^m$$

μ_{eff} 는 난류운동의 에너지 방정식을 시간 평균할 때 나타나는 난동에 의한 열 확산 및 분자에 의한 열 확산을 포함하는 유효 열 확산 계수이다.

시뮬레이션을 위해 이용된 프로그램은 Gambit 2.4.6(Ansys, 미국)과 Fluent6.3.23(Ansys, 미국)의 두 가지다. Gambit은 유체 해석을 하기위한 공간을 설정하는 프로그램이다. 상용 CAD(computer aided design) 프로그램과 같이 공간을 설정하고, 그 공간을 유한 요소 해석을 위해 mesh하여 작은 조각의 부분들로 나눈다. 이렇게 유체 해석을 진행할 공간의 설계가 완료되며, Fluent를 통해 각 부분에 wall, air, 단열재 등의 속성을 부여하여 기본적인 boundary condition을 설정한다. 이렇게 해석을 위한 설정이 마련되면 solver등의 해석 방법을 설정하여 시뮬레이션을 실행하게 된다.

본 해석에서는 단열재로 사용된 스티로폼의 물성치를 입력하였다. 사용된 발포 폴라스티렌 단열재(50T:2호)는 26kg/m³의 밀도를 가지고 열 전도율 0.034W/m·K로 설정되며, 정압비열 1kJ/kg·k의 값을 가진다. 공기와 벽면(steel)은 fluent database의 자료를 이용하였다.

Fluent에서 제공하는 난류모델은 Larminar, k-epsilon, k-moega, Reynold stress, large eddy simulation등이 있다(Fluent manual, 2006). 이 중 냉장고의 유동 해석을 위해 $k-\epsilon$ 모델을 실제화한 realized $k-\epsilon$ (2 eqn)모델을 이용하였다. $k-\epsilon$ (2eqn)에서는 계수의 조절을 통해 환경의 제어가 가능하나, 본 실험에서는 일반적인 공기 유동을 분석하므로 수치에 변화를 가하지는 않았다. 그림 108은 기본적인 해석의 과정을 보여준다.

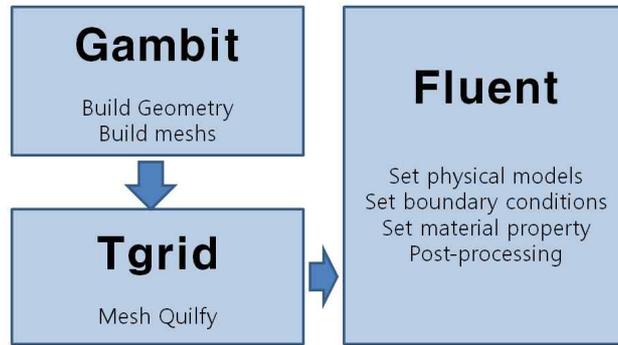


Fig. 108 Fluent fluid analysis Process.

나. 냉장고 모델 설계

(1) 간접 냉각식 냉장고모델 설계

CFD 시뮬레이션 해석을 위해 냉장고 내부 공간을 CAD화하여 Gambit을 통해 구조를 구현하였다. 구조는 되도록 단순화 하여 mesh가 크게 깨지는 현상을 방지하고자 하였다. 냉기가 들어오는 곳과 나가는 곳에 boundary type을 설정하여 Fluent에서 inflow와 outflow의 설정이 가능하도록 하였다. 그림 109는 구현된 geomery의 모습이다.

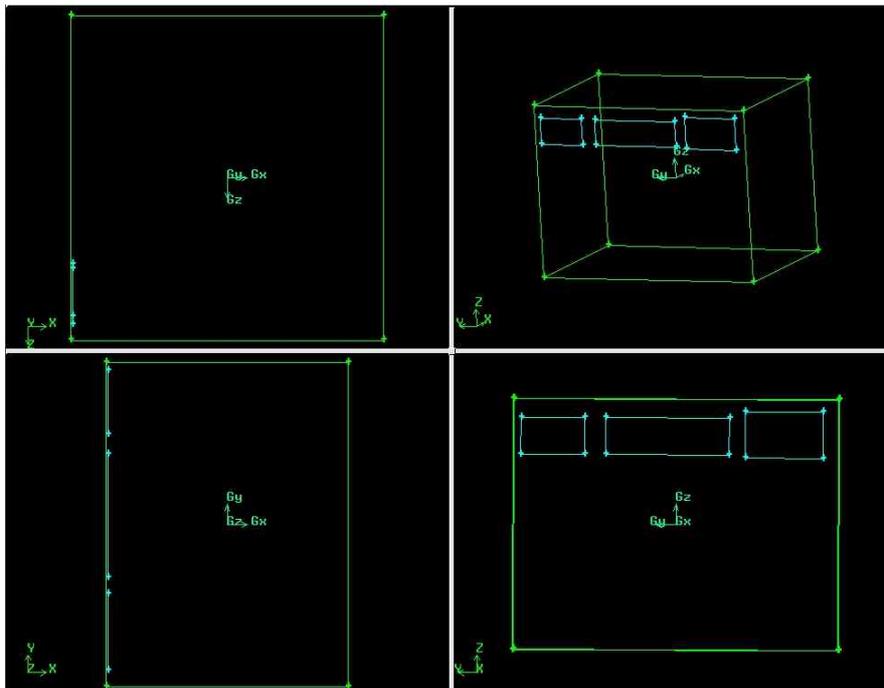


Fig. 109 Gambit geometry of indirect storage system.

Geometry를 구현한 후에는 mesh 작업을 거쳐 유한 요소 해석이 가능하도록 하였다. mesh 크기는 지나치게 세밀할 경우 시뮬레이션이 어려워지며 mesh 크기를 지나치게 크게 잡을 경우 해석이 어려운 모양의 mesh 덩어리들이 생겨 시뮬레이션의 정확도가 하락하는 원인이 된다. 본 해석에서는 약 1cm 간격의 mesh를 설정하였다. Mesh 생성 결과는 그림 110과 같다.

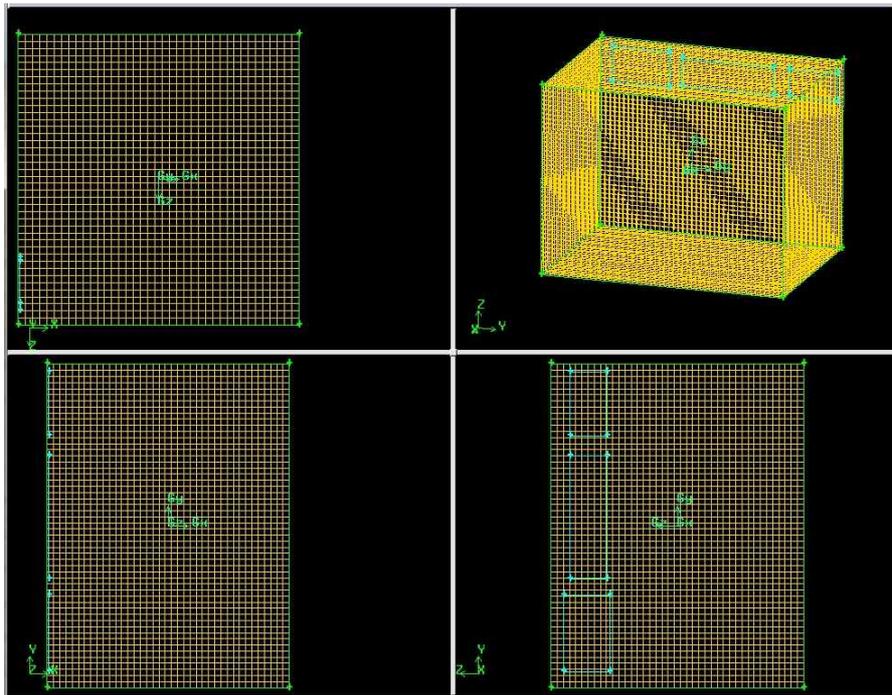


Fig. 110 Mesh of indirect storage system.

(2) 직접 냉각식 냉장고 모델 설계

직접 냉각식 냉장고 모델 설계를 위해서 역시 geometry를 구현하였다(그림 111). 간접 냉각식과는 달리 특별히 Inflow와 outflow로 설정되는 구간 없이 냉각판이 존재하는 면 전체에서 냉각이 이루어지므로, Boundary type의 설정에 있어 따로 면을 생성하지 않고 냉각판이 존재하는 영역 전체를 한 타입으로 설정하여 균일하게 냉각되는 것을 가정하였다. 직접 냉각식 냉장고 모델 설계에 있어서도 간냉식과 마찬가지로 약 1cm 간격의 mesh를 설정하여 각 면의 냉각에 따른 내부 온도 분포의 변화를 관찰할 수 있도록 하였다(그림 112).

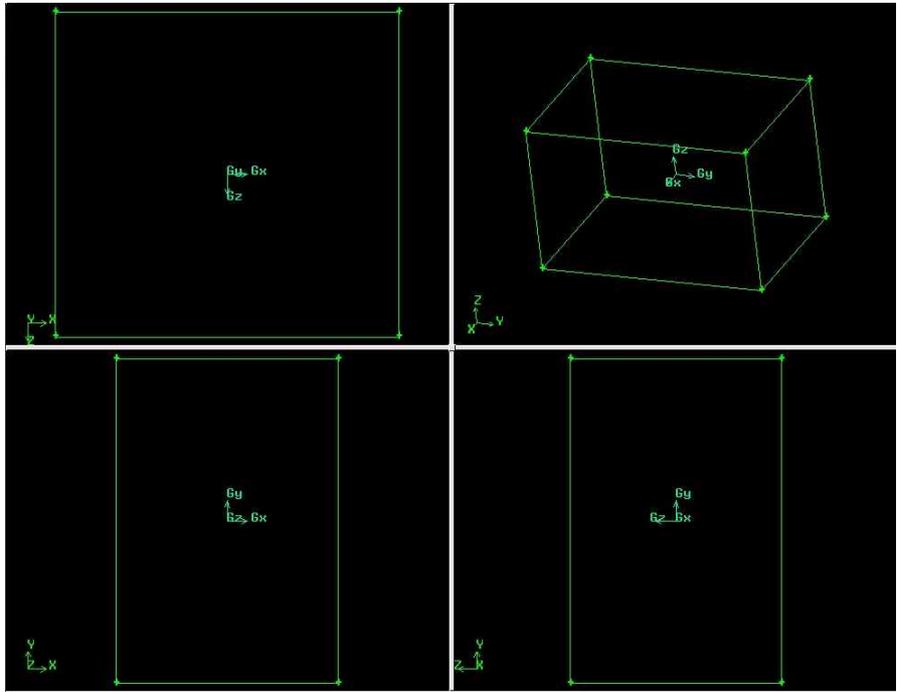


Fig. 111 Gambit geometry of direct storage system.

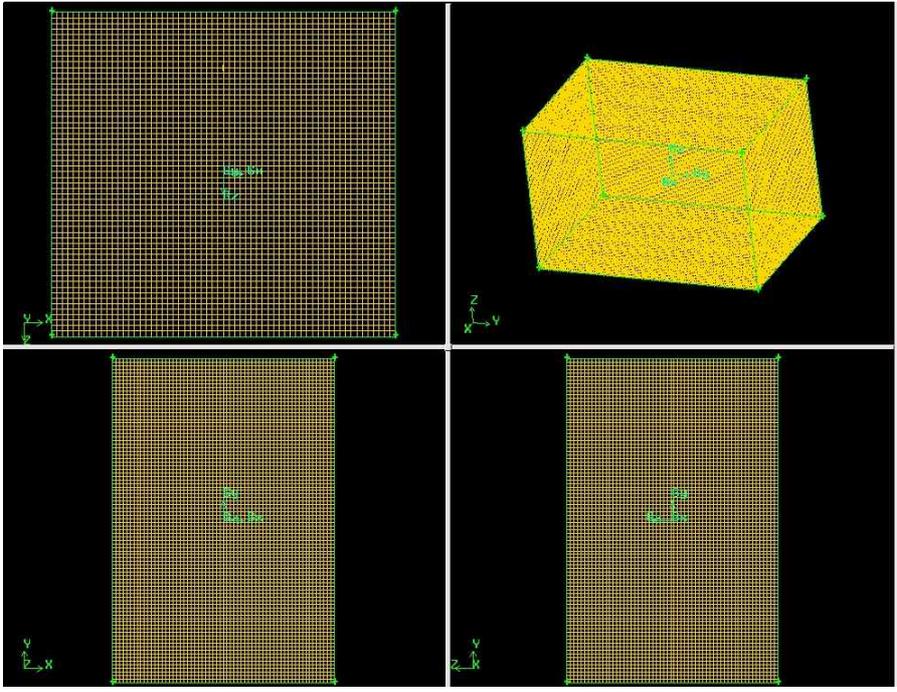


Fig. 112 Mesh of direct storage system.

다. 직냉 방식과 간냉 방식의 시뮬레이션 결과

(1) 한우육 냉장 시스템 시작기와 열, 유동 해석 결과 분석

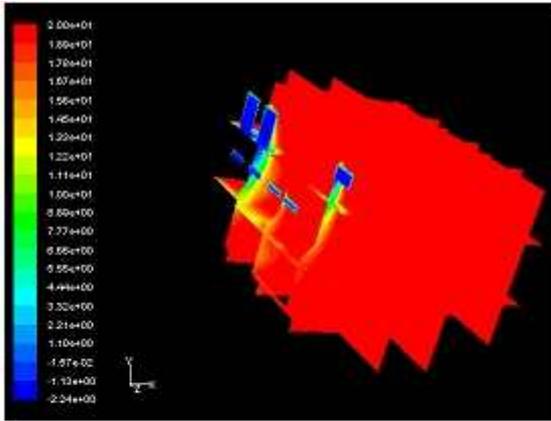
냉장 시스템 시작기의 모형으로 열, 유동 해석을 수행한 결과와 실제 냉장 시스템 시작기의 내부 위치별 온도 측정치를 비교하기 위해 동일한 조건(초기 작동 온도, 냉기 온도, 냉기 유입 속도)에서 시작기를 가동하여 온도 변화와 분포도를 분석하였다. 실측 결과와 시뮬레이션 결과에 대하여 냉장 시스템 시작기의 제어부가 최초 off되는 시간까지의 온도 변화를 비교 분석하였다.

시뮬레이션의 결과는 동영상으로 출력하여 지점들의 변화를 색으로 표시하였다. 각 지점의 온도는 좌측에 나타나는 온도막대를 통해 각 색이 나타내는 온도를 확인하여 읽어낼 수 있다. 온도막대에 나타나는 온도는 절대온도(K)단위로서, 273K가 섭씨 0℃와 같다. 따라서 300K는 27℃, 250K는 -23℃를 각각 나타내게 된다. 이를 통해 실측 결과의 온도분포와 비교하여 시뮬레이션의 유효성을 확인할 수 있다.

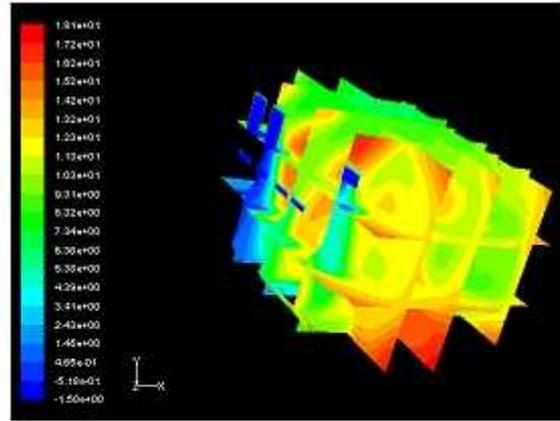
(2) 간접 냉각 방식의 시뮬레이션 결과

열, 유동 해석을 수행한 결과 시작기의 내부의 온도 변화는 약 10분이 경과가 된 후부터 큰 변화가 없는 것을 확인 할 수 있었다(그림113). (단, 7분경과 결과와 10분경과의 온도 bar의 범위가 다름 [7분 : -1.5 ~ 5.7℃, 10분 : -1.5 ~ -1.07℃]) 선행 실험에서 냉기의 유출을 막기 위해 냉기 유출로를 폐쇄하였을 때 최초 목표 제어 온도까지 도달하는데 걸린 시간이 9분인 점을 감안하면 해석 결과는 상당히 유사하다고 할 수 있다. 이는 해석 시 결정했던 유체 상수를 비롯한 여러 조건들도 실제 시스템에 적용하였을 때 적합하다는 것을 결론할 수 있다.

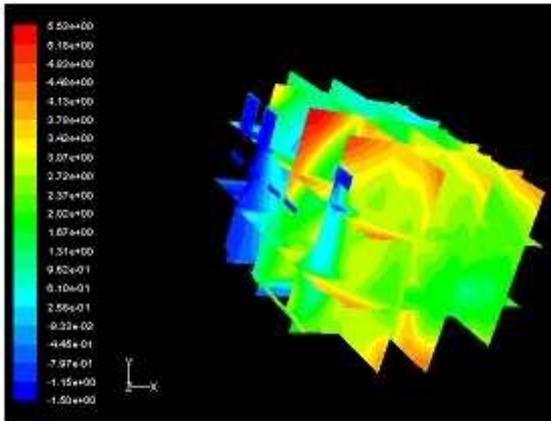
시뮬레이션 결과를 분석하면 실제 시작기 냉장고 내부의 온도 분포(그림114)는 열, 유동 해석 결과와 유사하게 상단부의 냉기가 유입되는 곳으로부터 가장 먼 위치의 Top7의 온도가 가장 높게 나타난다. 이는 냉각된 공기는 상대적으로 고온인 냉기에 비해 밀도가 높기 때문에 생기는 현상이라 할 수 있다. 또한 냉기가 유출되는 위치인 Top3의 온도도 실측 온도와 해석 결과에서 온도가 가장 낮다.



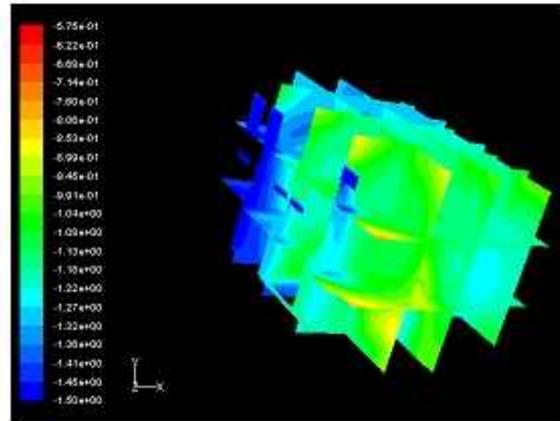
(a) 1초 경과



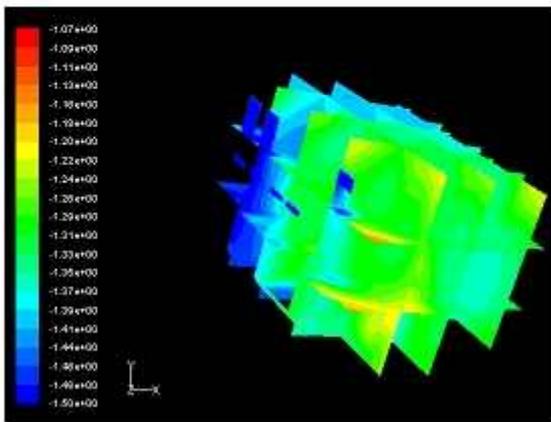
(b) 1분 경과



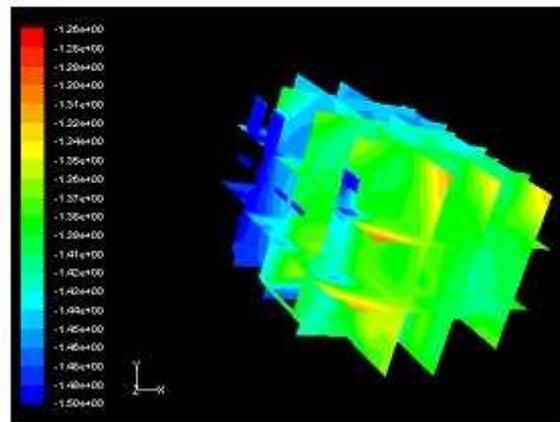
(c) 3분 경과



(d) 7분 경과



(e) 10분 경과



(f) 15분 경과

Fig. 113 Result of fluent analysis in indirect storage system.

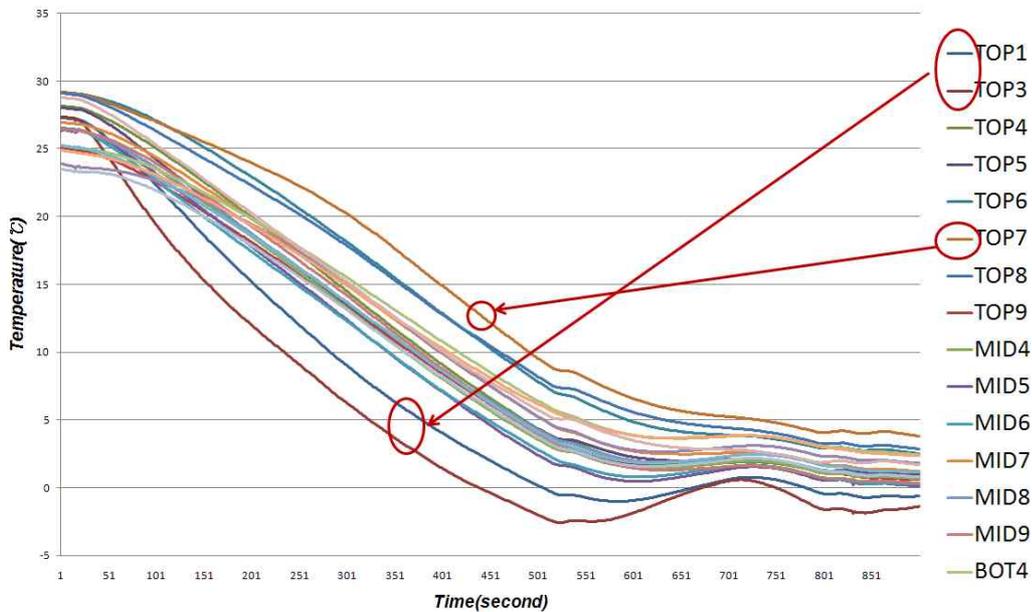


Fig. 114 Real measurement data of indirect storage system.

하지만 10분(600초)동안의 냉각 후 실측 된 간접 냉각식 냉장고 내부의 온도 차이는 최대 4°C이었으나 열 유동 분석의 결과의 내부 온도의 차이 크기는 최대 0.5°C로 시뮬레이션 결과의 온도 분포가 보다 고르게 나타났다. 이런 차이가 나타난 것은 시뮬레이션에서는 내부 온도에 대해 외부 온도가 영향을 끼치지 못하는 반면, 실측에서는 문틈을 통해 외기(外氣)가 내부 온도 분포에 영향을 끼치기 때문으로 생각된다. 이런 차이를 제외하면 시뮬레이션을 통해 냉각 시스템의 냉각 소요 시간과 냉장 유지 온도를 예측할 수 있으며, 부분에 따른 온도 분포를 예상할 수 있음을 확인할 수 있었다.

(3) 직접 냉각 시스템의 시뮬레이션 결과

직접 냉각 시스템의 시뮬레이션은 약 600초 정도의 시간이 경과한 뒤에는 그 변화가 적다(그림 115). 이는 실측결과에서 나타난 약 800초에 냉각판 주변 온도가 목표 온도에 도달하고, 약 1000초에서 목표 온도에 도달한 결과에 비해 매우 빠른 것이라 할 수 있다. 이와 같은 차이가 발생한 것은 냉각판의 온도 설정이 그 원인이라 짐작된다. 즉 냉각판이 냉매가 순환하고 시간이 경과함에 따라 점차 온도가 하락하여 하단의 온도가 제어 목표인 -1°C에 도달하는 때에야 냉각판의 온도가 -15°C에 도달하는 데 비해, 시뮬레이션에서는 냉각판이 해석 초기부터 -15°C에 도달해 있기 때문에 실측 결과보다 빠른 냉각을 보여준 것으로 보인다. 온도 분포는 실측 결과와 마찬가지로 하단의 온도가 가장 높고 냉각판에 가까울수록 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있어, 직접 냉각식 저장 시스템에서도 시뮬레이션을 통해 대략적인 온도 분포도를 예측할 수 있음을 보이고 있다.

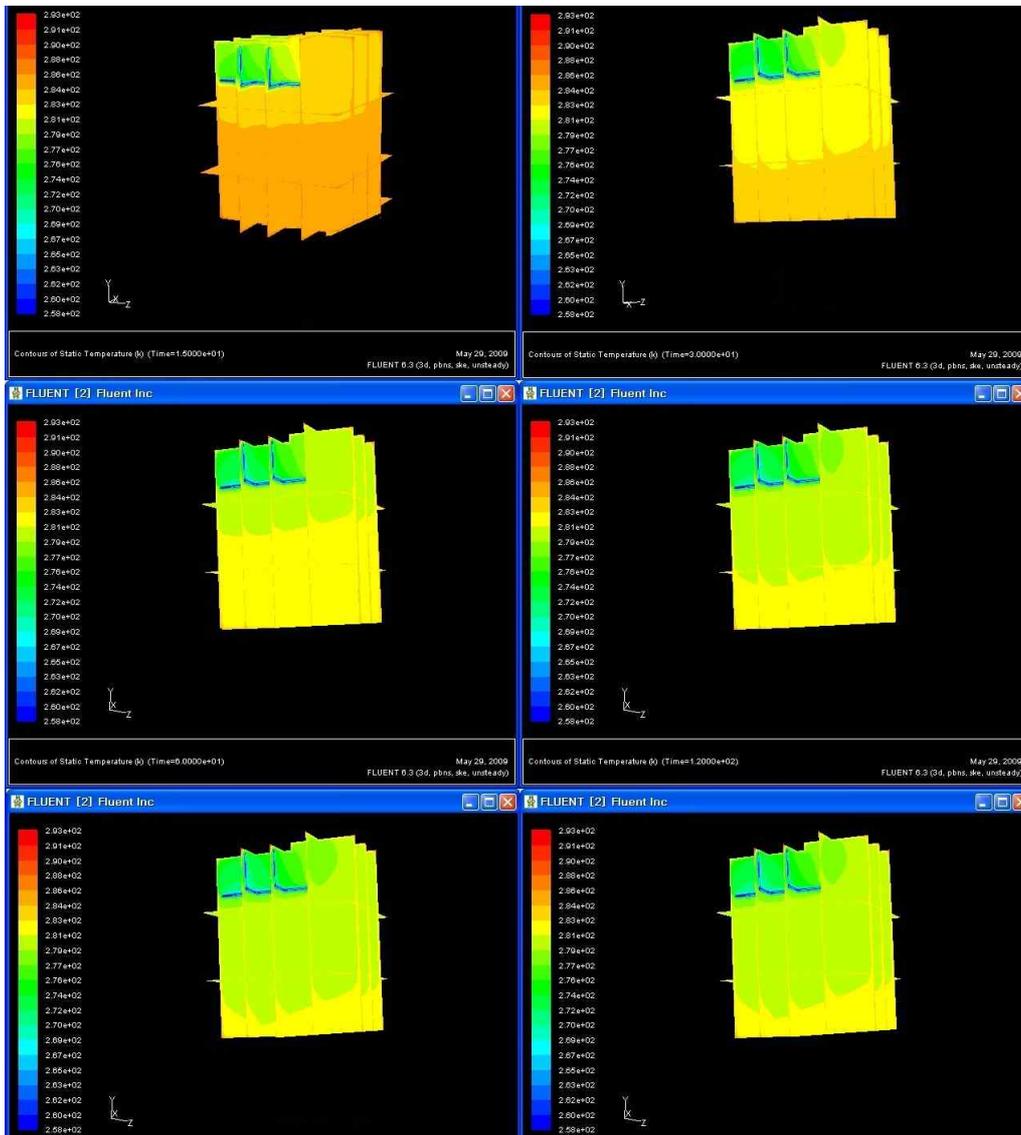


Fig. 115 Result of fluent analysis in direct storage system.
(15, 30, 60, 120, 180, 600 sec)

다. 냉각 방식의 결정

위와 같이 내부 온도 분포는 간접 냉각 방식이 좀 더 고르게 나타났다. 이런 차이가 발생한 원인으로 간접 냉각 방식의 강제 대류 방식을 차이로 들 수 있다.

간접 냉각 방식은 강제 대류를 일으켜 내부 공기를 순환시키기에 대류에만 의존하는 직접 냉각 방식에 비해 내부 온도 분포를 고르게 유지하는데 유리한 것이다. 반면에 직접 냉각 방식은 냉기가 직접 대류하기 때문에 냉각 초기에는 냉각관에 가까운 지점의 온도가 우선적으로 하락하며, 냉각이 진행되어 목표 온도에 도달한 이후로는 대류로 인해 바닥 부분의 온도가 낮게 나타나는 단점을 보였다.

하지만 간접 냉각 방식은 강제 대류에 의해 냉장고 음식물의 표면이 마르는 단점이 존재한다. 이런 단점은 실제 저장실험 결과에서도 반영되어 2절의 직접 냉각 시스템과 간접 냉각 시스템의 비교 실험에서 직접 냉각 시스템이 신선도 유지에 유리한 결과를 보였다. 따라서 한우육의 신선도 유지를 위해서는 직접 냉각 방식을 채택하는 것이 유리할 것으로 보인다. 다만, 내부 온도의 분포 직접 냉각 방식이 다소 불리한 점을 개선할 필요가 있다. 직접 냉각 시스템에서 온도 분포의 편차가 큰 것은, 냉각관에 가까운 부분의 공기부터 냉각되어 점차적으로 냉장고 내부의 공기 온도를 낮춰나가기 때문이다. 따라서 냉각관을 여러 면에 설치함으로써 냉각관과의 거리에 의한 온도 편차의 발생을 줄일 수 있을 것이다.

이와 같은 아이디어를 확인하기 위해 냉각관을 문과 바닥을 제외한 4면에 설치한 직접 냉각식 저장 시스템의 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 기존 직접 냉각 시스템보다 신속한 500초만에 최하단부를 제외한 상단과 하단이 목표 온도에 다다른 것을 확인할 수 있었다. 또한 냉각관에 접한 부분과 바닥을 제외한 저장 공간 대부분이 목표 온도인 -1°C 에서 유지되는 것도 확인할 수 있었다(그림116).

이와 같은 결론을 통해, 제작될 시작기는 직접 냉각방식을 채택하되 문과 바닥을 제외한 네 개의 벽면 전체에서 냉각을 하도록 제작하기로 결정하였다.

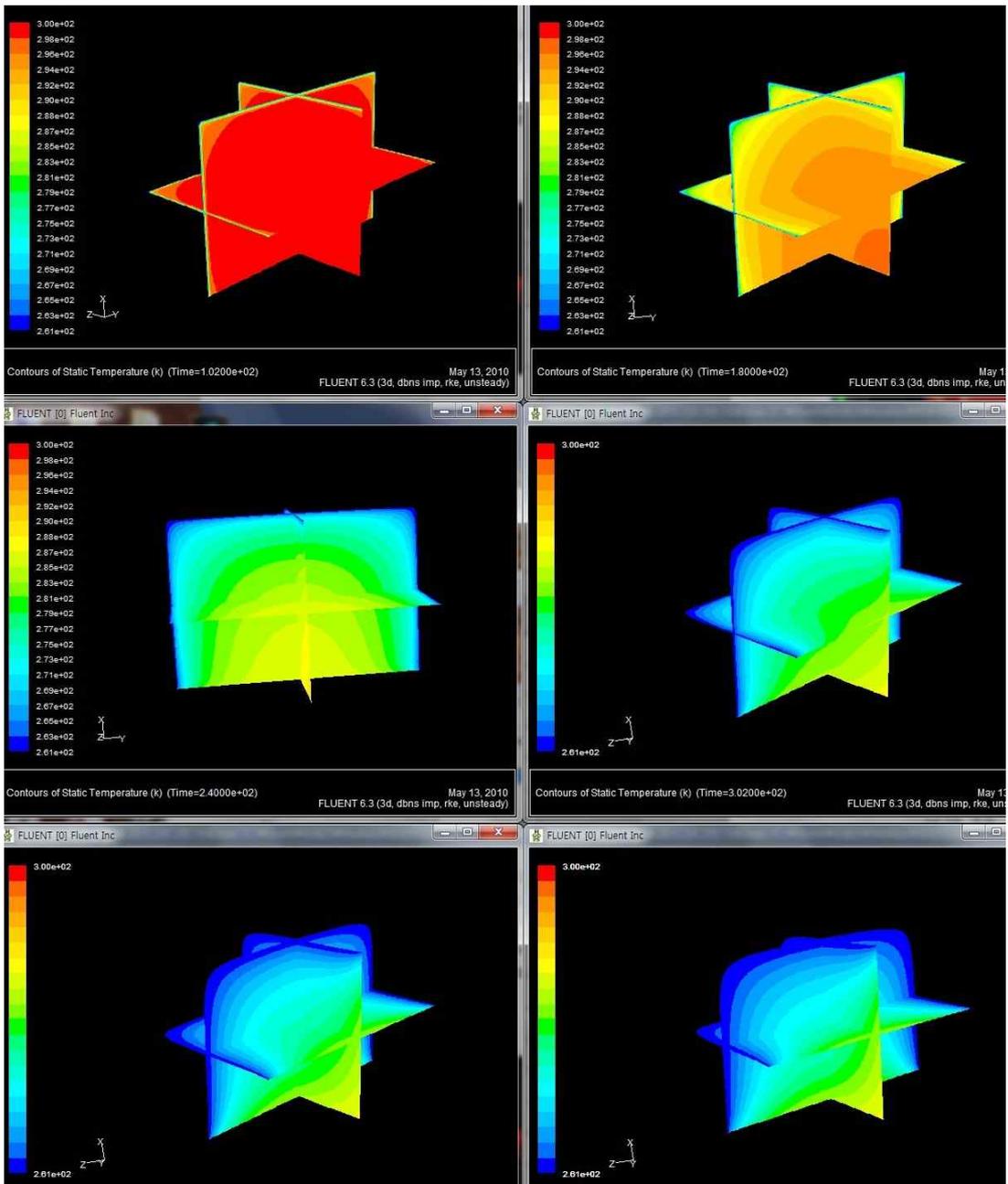


Fig. 116 Result of fluent analysis in 4-face cooling plated direct storage system (10, 180, 240, 300, 420, 500 sec).

4. 2차 시작기 개발

가. 2차 시작기의 설계

시뮬레이션과 간접 냉각 시스템, 직접 냉각 시스템에서의 한우육 저장 실험 결과를 바탕으로 2차 시작기를 제작하게 되었다. 시작기 제작은 (주) 청우정공에 의뢰하여 진행되었다. 2차 시작기의 설계 방침은 다음과 같이 설정하였다. 2차 시작기에서 수행 될 실험들의 유의성을 확보하기 위해 3대를 제작하여 실험시마다 3반복 이상의 시료를 확보할 수 있도록 하였다.

- 직접 냉각 방식을 통해 안전하게 육류 저장
- 4면 냉각 방식을 채택하여 온도 분포를 균일화
- 가정용임을 감안하여 약 45L의 크기 설정
- 선반을 설치하여 고기를 저장할 수 있도록 함
- 1차 시작기에서 사용한 컨트롤러를 이용.
- 숙성실과 저장실을 구분하여 저장실(윗칸)은 4면에서, 숙성실(아래칸)은 3면에서 냉각이 이루어지도록 설계하였다.

실제 설계된 시작기의 도면은 그림117과 같다. 각 공간의 좌측부, 우측부, 후면부에는 직경 9.5mm의 동관을 설치하여 냉각된 냉매가 지나가 실제 냉각이 이루어지게 된다. 문 부분에는 고무로 빈틈을 막아 외부와의 열교환을 차단하였다. 상부에 있는 빈 공간은 기계실로서 응축기와 압축기, 증발기 등이 설치되며 이들을 제어하기 위한 릴레이도 설치되었다.

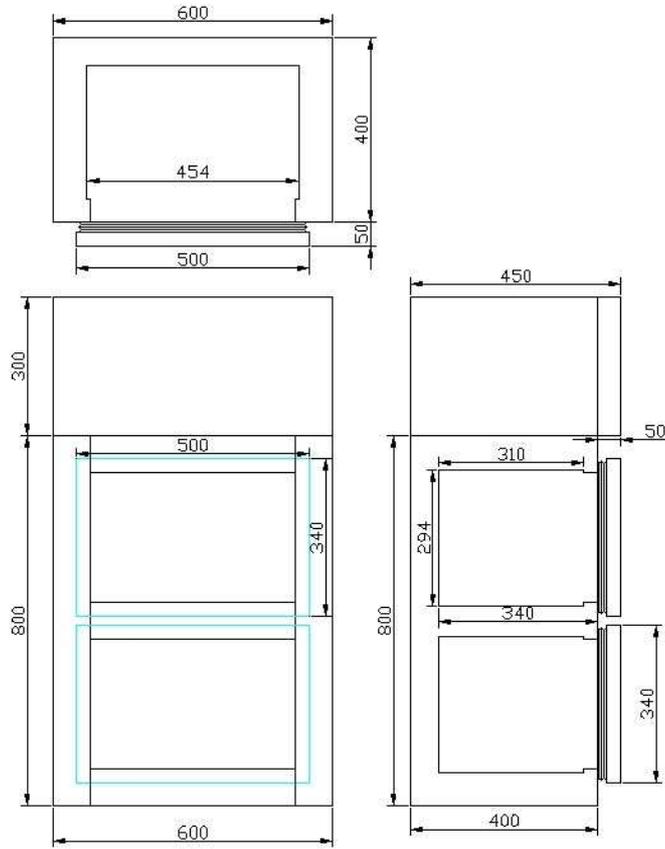


Fig. 117 Drawing of second tester storage system.

나. 2차 시작기의 제작

완성된 2차 시작기에서 사용된 압축기는 D社의 COMP1/4HP(마력) 모델 DL-25 였으며, 증발기와 응축기는 냉장고 상단의 공간에 동관으로 만들어져 있다. 송풍기를 증발기에 설치하여 방열 효과를 보강하고 있다. 상단 위의 공간에는 컨트롤러를 배치하여 2차 시작기 시스템을 제어하였다. 내부 공간에는 4개의 선반이 설치되어 한우육의 적재를 가능하게 하였다.

상부 냉장 공간은 저장칸으로 바닥과 문측을 제외한 4면에서 냉각이 이루어진다. 하부 냉장 공간은 숙성칸으로 바닥과 천장, 문측을 제외한 3면에서 냉각이 이루어지도록 하였다. 완성된 모습은 그림 118과 같다.



Fig. 118 Image of second Hanwoo storage system tester.

2차 시작기의 제어는 컨트롤러에 의해 이루어지며, 컨트롤러의 제어는 또한 PC 제어 프로그램과의 통신으로 이루어진다. 컨트롤러는 점점 제어방식을 이용하여 냉각기와 UV의 On/Off를 조절한다. 또한 PT100을 통해 입력된 내부 온도 정보를 통해 압축기와 냉각 시스템을 On/Off할 시점을 컴퓨터를 통해 결정한다. 개념도는 그림 119와 같다.

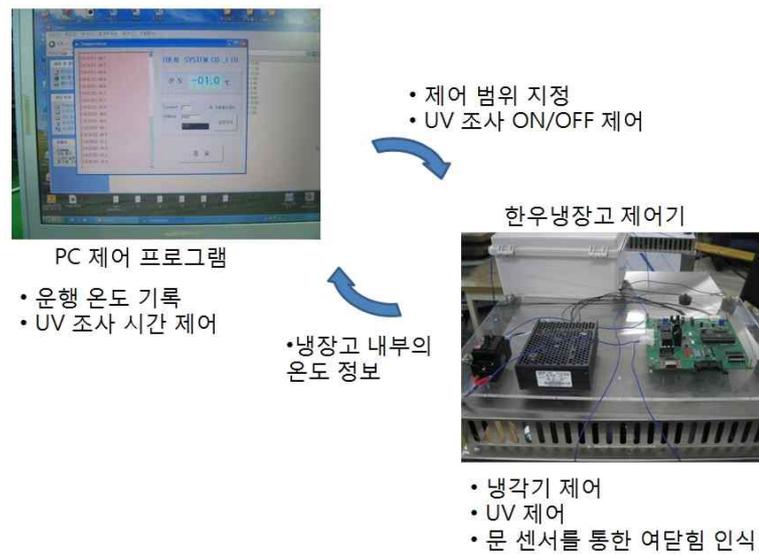


Fig. 119 Conceptual of second Hanwoo storage system tester control.

다. 2차 시작기의 성능 평가 - 내부 온도 분포 (실제 측정)

2차 시작기의 성능 평가를 위해 선행 실험과 마찬가지로 60채널을 통해 내부 온도 분포를 측정하였다(그림120). 배치 또한 선행 실험과 마찬가지로 상단, 중단, 하단의 공간을 등분하여 각각 9개의 센서를 배치하고 2차 시작기를 구동하여 내부 온도의 변화와 분포를 측정하였다. 실온 상태에서부터 냉각기 가동을 시작하여 냉각이 안정화 된 이후의 온도 변화에 초점을 맞추기로 하였다. 냉각 컨트롤러의 제어는 온도 측정 지점의 온도가 0℃에 도달하면 압축기를 작동시키고, 해당 지점의 온도가 -0.5℃에 도달하면 압축기의 작동을 중지하여 목표 온도인 -1℃보다 낮은 온도로는 떨어지지 않도록 조절하였다.

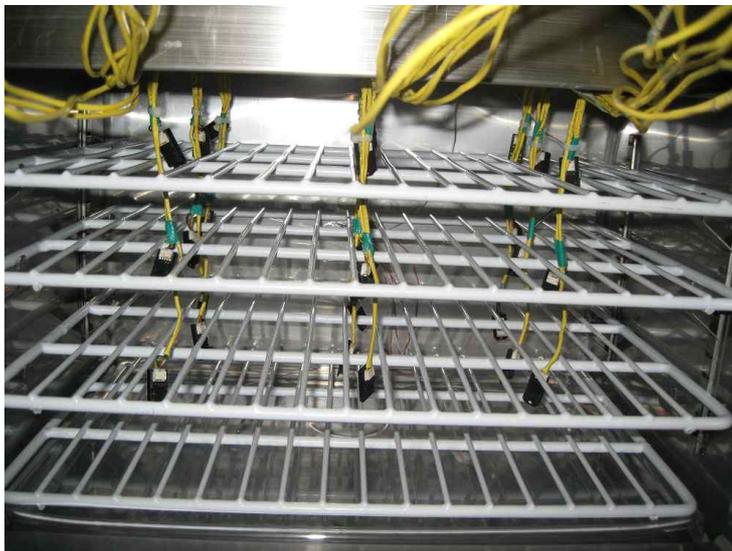


Fig. 120 Image of temperature measurement of second Hanwoo storage system tester.

측정 결과는 약 12000초(200분)의 시험 가동에서 2차 시작기의 상단, 중단, 하단의 온도 배치로 비교하였다. 온도의 패턴이 동일한 범위를 왕복하는 약 2000초 이후를 안정화 된 이후의 온도 배치라 하자.

측정 결과에서 하단부의 온도가 가장 빨리 하락하며, 그 범위도 목표 온도보다 다소 낮은 -1.5℃~-2.0℃ 사이를 왕복하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 냉각된 공기가 대류에 의해 하층부에 모이기 때문에 발생한 현상으로 보인다. 중단부와 상단부의 온도는 +1℃에서 -0.5℃의 범위를 왕복하는 것으로 보인다. 이상의 결과로 볼 때 상단부와 하단부의 온도 평균 차이가 약 2.0℃ 이내로 유지되어 1차 직접 냉각 시작기에서 발생한 8~9℃의 분포 차이에 비해 정온화에 보다 효율적임을 확인할 수 있었다. 또한 하단부의 온도가 1차 시작기에서는 -5℃까지도 하락했던 데에 비해 2차 시작기에서는 -2℃이내에서 유지 가능했으며

하단을 제외한 상단과 중단부에만 육류를 저장할 경우 동결 발생의 위험은 없을 것으로 판단하였다(그림 121).

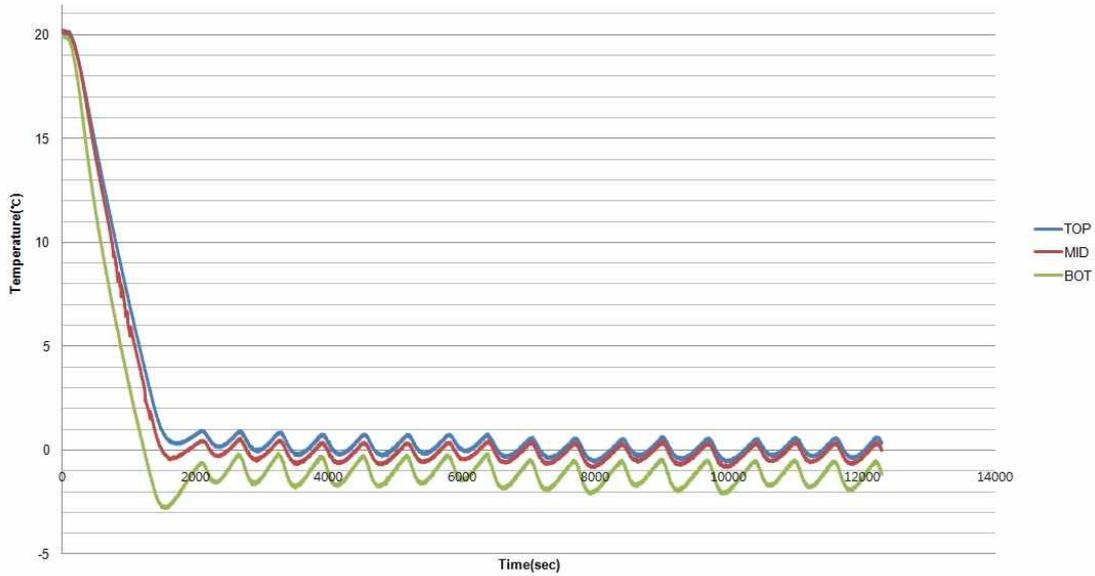


Fig. 121 Changes in temperature of second tester.

라. 직냉 방식과 간냉 방식, 일반 냉장고의 실제 한우육 저장성 비교

일반냉장고(LG-FR-B332H)의 신선칸에서 고기를 저장하고, 간냉(간접 냉각 방식) 시작기와 2차 시작기(직접 냉각 방식)에 한우육을 보관하여 그 신선도지표를 비교해 보았다.

pH의 경우, 14일간의 저장 기간 동안 기간에 대해서도, 시료별 처리에 대해서도 유의적인 변화를 보이지 않았다(그림122).

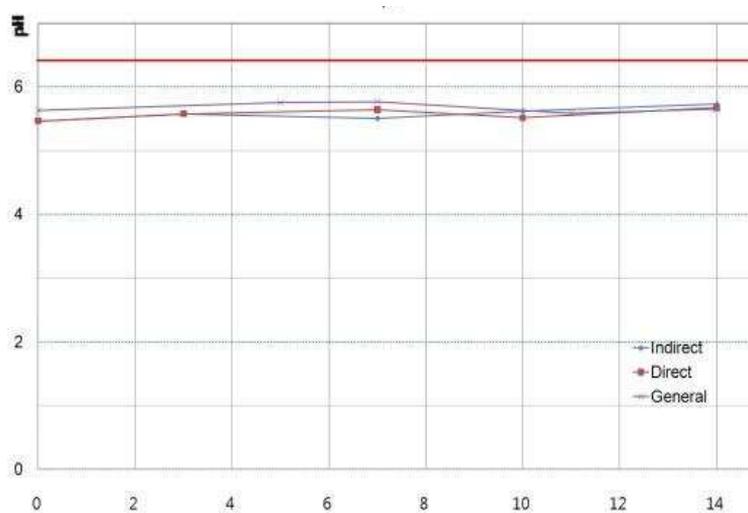


Fig. 122 Changes in pH of Hanwoo loin by storage system.

TBA의 경우, 14일간의 저장 기간 동안 간냉식 시작기와 일반 냉장고에서 저장한 시료가 기준치 0.5를 넘은 것을 확인할 수 있었다. 0~10일간의 저장기간에는 직냉식의 TBA 수치가 다소 높게 나타났으나, 직냉식은 14일차 실험까지 기준치를 넘지 않았고 간냉식 냉장고에서의 TBA 수치는 증가세를 띄면서 기준치를 초과하여 직냉식의 저장성이 더 안정적인 것으로 나타났다(그림123).

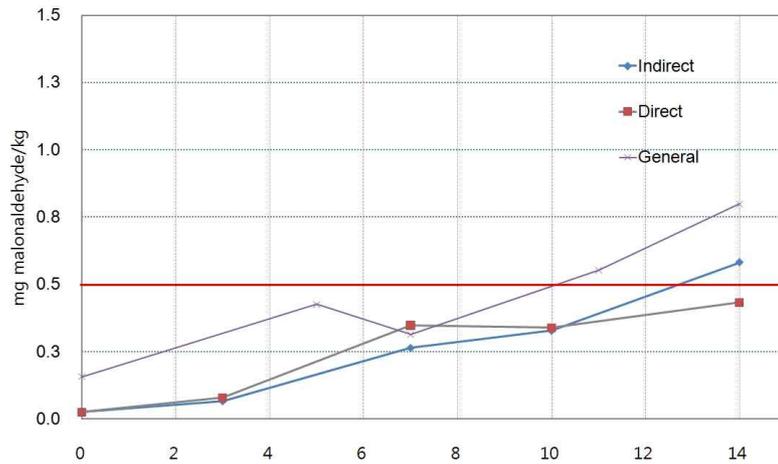


Fig. 123 Changes in TBA of Hanwoo loin by storage system.

VBN의 경우에는 일반 냉장고에서 저장한 시료만이 기준치 20mg%에 14일차에 도달하였다. 직냉과 간냉 모두 기준치를 초과하지 않았으며, 수치상의 큰 차이를 보이지는 않았으나 대체적으로 간냉 시료가 더 낮은 값을 보였다(그림124).

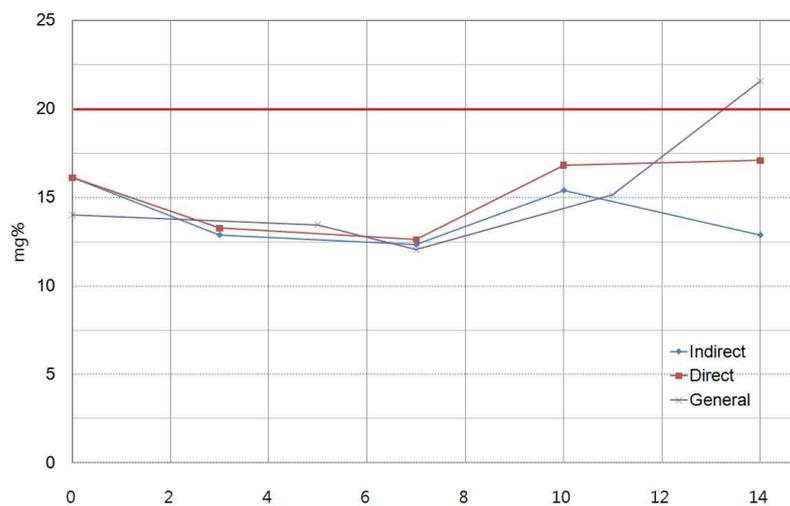


Fig. 124 Changes in VBN of Hanwoo loin by storage system.

미생물수의 경우는 일반 냉장고에서 저장한 시료가 7일만에 기준치를 초과하면서 저장성에 큰 문제를 나타냈다. 초기치(0일차 시료)의 값이 다소 높았던 것을 감안하더라도, 일반 냉장고에 저장한 시료의 미생물 증가량도 가장 높아 1주 이상의 저장에 적합하지 않은 것으로 보인다. 간냉식 저장 시료는 14일차에 기준치에 도달하였고, 직냉식 시료는 14일간의 저장 기간 동안 기준치에 못 미치는 log CFU 5.33의 수치를 보였다(그림125).

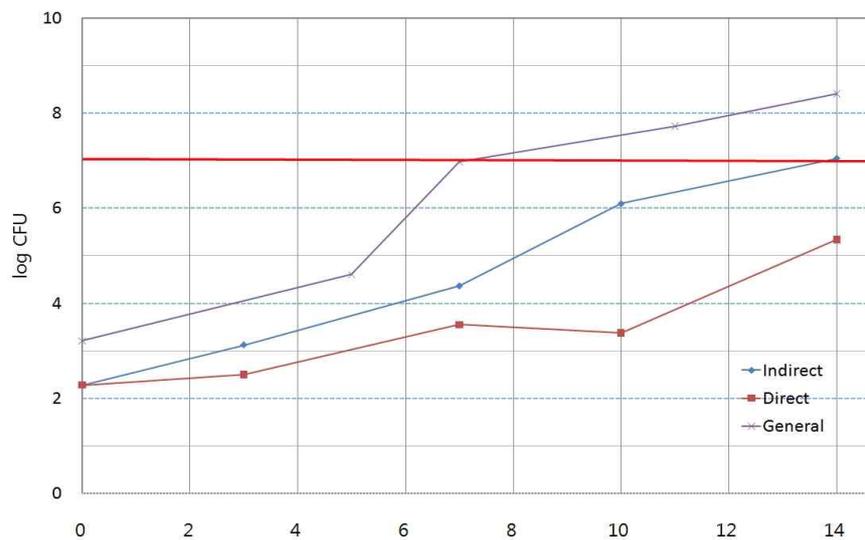


Fig. 125 Changes in total microbes of Hanwoo loin by storage system.

위 결과들을 종합했을 때 일반 냉장고의 저장성이 가장 좋지 않았으며, 간냉 시작기가 그보다 우수한 저장성을 보여주었다. 2차 직접 냉각 방식 시작기에서의 저장성이 가장 우수하게 나타났으며, 2주정도의 저장에서도 신선도 수치가 한계기준치를 넘지 않는다는 것을 확인하였다.

5. 최종 모델 개발

가. 최종기의 설계

(1) 최종기 사양 선정

- 직접 냉각 방식을 통해 안전하게 육류 저장
 - 3면 냉각 방식을 채택하여 온도 분포를 균일화
 - 가정에서 부담 없이 사용 가능하도록 2차 시작기에 비해 소형화
 - 선반을 설치하여 고기를 저장할 수 있도록 함
 - 새 컨트롤러를 제작하여 PID(proportional integral derivative) 제어를 적용하고 PC(personal Computer) 연결 없이도 제어 가능하도록 함
 - 숙성실과 저장실의 구분 없이 한 칸에서 숙성과 저장 모드를 모두 지원
- 표 36은 최종기의 사양을 보여주고 있다.

Table 36. Specification of final Hanwoo storage system

	사양	비고
저장공간 크기	350*370*300	약 38.5L
사용 전원	AC 220V60 Hz	
자외선 출력	30uw/cm ²	
압축기의 출력	187.5 Wh	1/4HP(horse power)
입력 인터페이스	Menu/ESC, Up, Down, Left, Right, Enter의 버튼 6개	
출력 인터페이스	LCD, 영어를 지원하며 2줄로 출력	

(2) 최종기 설계

(가) 제어 회로의 설계

1차, 2차 시작기에서 공통적으로 나타났던 온도 편차의 문제를 해결하기 위해 PID 제어 방식을 컨트롤러에 적용하기로 하였다. 기존 제어 방식으로는 PID 제어의 구현이 불가능하기에 새로운 MCU를 적용한 보드를 제작하기로 하였다. 보드를 제작함으로써, 기기와 분리된 형태로 존재하던 컨트롤러를 최종기 내부에 부착이 가능할 정도의 크기로 구현할 수 있을 것이다. 자세한 구조는 다음과 같다.

전원부에서는 +12V, 0V, -12V, +5V의 전원을 입력받아 회로 전체에 전력을 배분해 주게 된다(그림127).

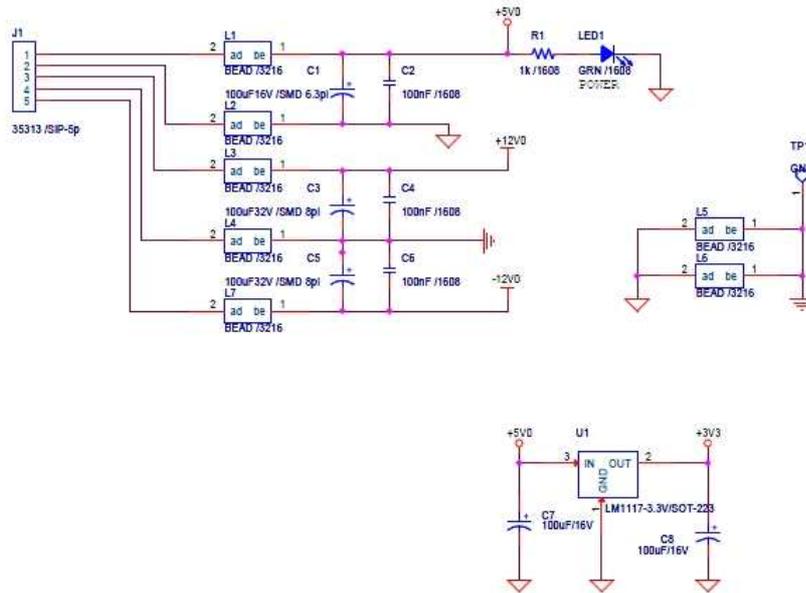


Fig. 127 Power part drawings of final Hanwoo storage system.

통신부에서는 RS232를 통해 현재 온도와 작동 상태 등을 전송할 수 있으며, JTAG(joint test action group)와 ISP(in-system programming) 입력을 지원하여 MCU에 내부 프로그램을 입력하거나 수정할 수 있다(그림128).

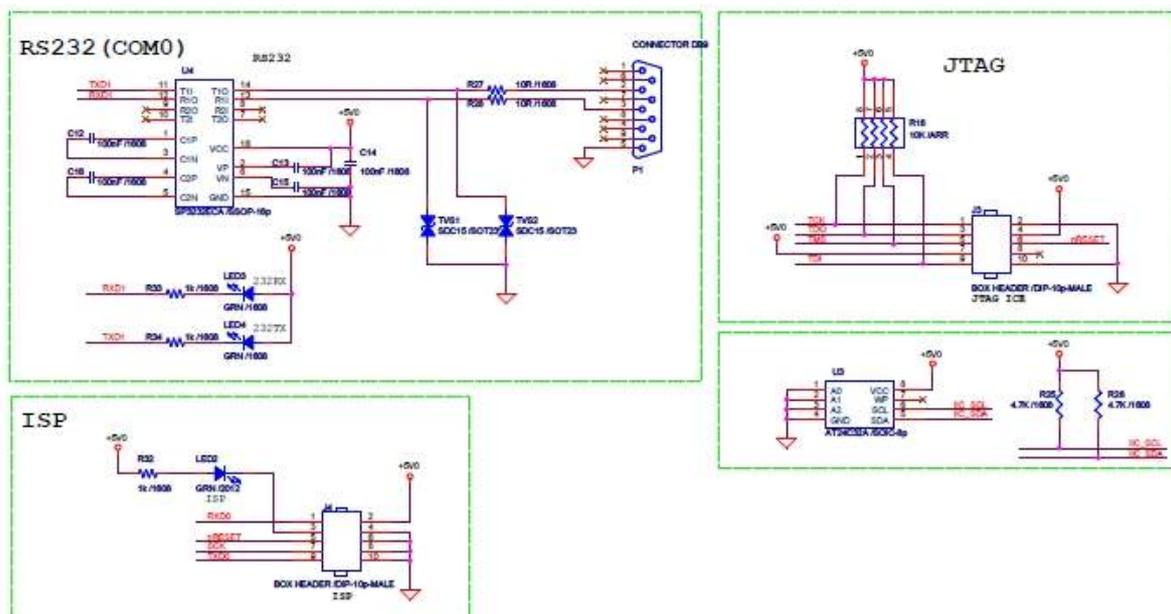


Fig. 128 CPU part drawings of final Hanwoo storage system.

온도인식부에서는 PT100Ω 소자를 이용하였다. 이때 0.1℃단위의 온도 입력을 위해서는 작동 환경에 따라 기준 전압과 내부 저항, 전류가 흐를 경우의 PT100Ω 자체의 온도상승에 따른 저항 변화를 감안하여 전위값을 입력 받아야 하므로 그를 위한 보정회로가 포함되어 있다. 보정을 끝낸 전위값은 ADC(analog-digital Converter)를 통해 MCU가 인식할 수 있는 정보로 변환되어 입력되게 된다(그림129).

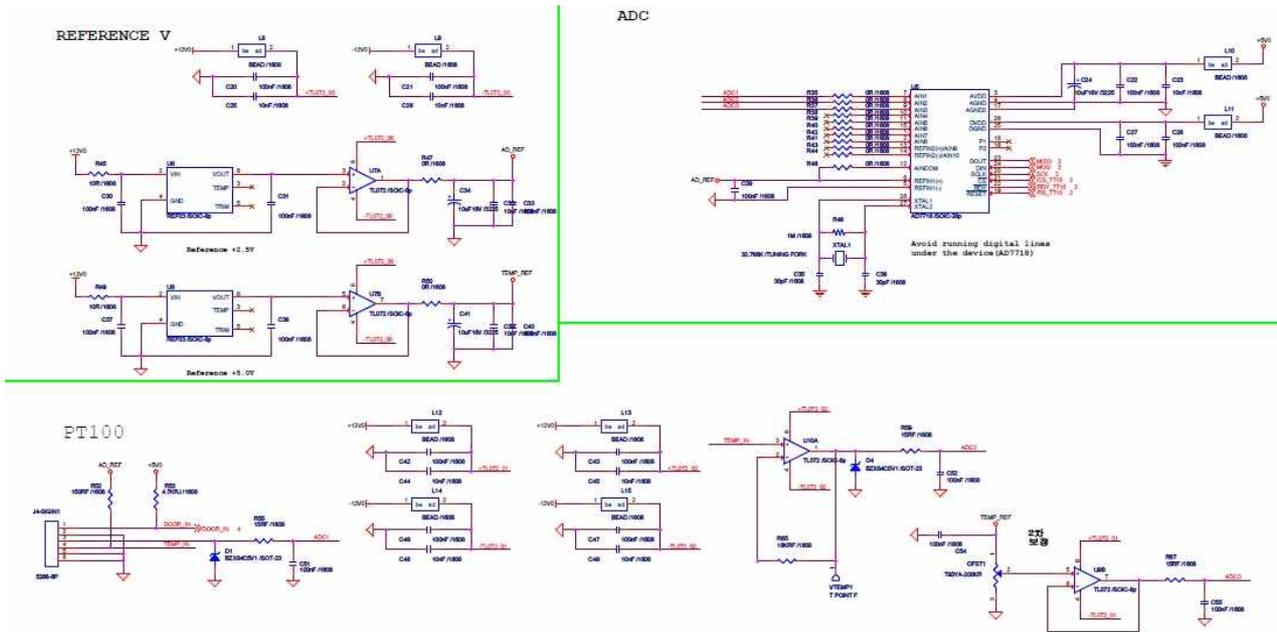


Fig. 129 Temperature measurement part drawings of final Hanwoo storage system.

그림 130은 PCB(printed circuit board)로 제작된 컨트롤러의 모습을 보여주고 있다.



Fig. 130 Controller PCB substrate.

(나) 제어 프로그램

PID 제어를 컨트롤러에 적용한 후, 실제 냉장고에서 구동을 하려던 중 냉각기의 부하에 대한 문제가 제기되었다. PID제어를 위해서는 냉각 장치의 냉각 강도 조절이 필요하다. 냉각기 자체에서의 냉각 강도 조절이 가능하다면 컨트롤러에서의 PID 제어에 문제가 없으나, 최종기는 크기를 작게 하기 위해 축소된 구조의 컴프레서를 사용하여 그 강도의 조절이 거의 불가능 하였다.

PID 제어의 적용에 있어서 구동 강도의 조절이 불가능한 경우는 보통 PWM(Pulse Width Modulation)제어방식을 채택하게 된다. PWM 제어는 기준이 되는 일정 주기를 정하고, 그 주기 동안의 기기 구동 시간을 조절하여 강도를 조절하는 제어 방식이다. 이 PWM 방식에서 주기의 결정에 따라 냉각기는 몇 초 간격, 심지어는 일초 내에도 몇 번씩 On/Off 상태를 반복하게 되기 때문에 냉각기에 커다란 부하가 걸리게 된다. 이렇게 과동작을 거치게 된 냉각기는 결국 고장이 발생하기 때문에, PWM 제어를 적용하면서도 동작의 안정성을 가져올 방안이 필요하였다. 단시간내의 On/Off의 잦은 변화가 과부하의 가장 큰 원인이 되므로, On→Off 혹은 Off→On 으로의 상태 이행에 반드시 1분 이상의 간격을 두게 함으로써 안정성의 향상을 도모하였다.

컨트롤러에 사용된 언어는 C로써, CodeVisionAVR Evaluation V2.04.7a를 이용하여 컴파일 되었다. 컨트롤러는 크게 4개의 모드를 통해 작동하도록 설정하였다.

1. 저장 모드

입력	온도	PID 제어, -1℃ 목표로 작동	
	Door On/Off	열림	닫힘
	시간	-	-
출력	SSR-FAN	PID 제어	PID 제어
	SSR-LAMP	OFF	OFF

저장모드는 가장 기본으로 설정되는 모드이며, 2세부 실험에서 최적 저장 온도로 확인된 -1℃에서의 저장을 목표로 하여 작동한다.

2. UV 모드

입력	온도	PID 제어, -1℃ 목표로 작동	
	Door On/Off	열림	닫힘
	시간	0~30분	0~30분
출력	SSR-FAN	PID 제어	PID 제어
	SSR-LAMP	OFF	ON

SSR-LAMP가 ON이 된 상태에서 Door가 열리면 시간 SSR-LAMP를 OFF로 하고 시간 Freeze하여, 다시 문이 닫히면 다시 SSR-LAMP를 ON으로 하고 시간을 이어서 입력도 록 하여 일정한 자외선 조사시간을 유지하도록 하였다.

3. 숙성모드1

입력	온도	PID 제어, 5℃ 목표로 작동	
	Door On/Off	열림	닫힘
	시간	24시간	24시간
출력	SSR-FAN	PID 제어	PID 제어
	SSR-LAMP	OFF	OFF

숙성모드는 숙성을 위한 모드로, 하루의 숙성 기간을 거쳐 한우육의 풍미를 끌어내고 보 다 연한 고기를 즐길 수 있도록 해 준다. 24시간이 경과하면 저장모드로 자동 변경된다.

4. 숙성모드2

입력	온도	PID 제어, 10℃ 목표로 작동	
	Door On/Off	열림	닫힘
	시간	12시간	12시간
출력	SSR-FAN	PID 제어	PID 제어
	SSR-LAMP	OFF	OFF

숙성모드 2는 보다 빠른 숙성을 위한 모드이나, 자칫 부패 발생의 우려가 있어 12시간 이상이 경과하면 저장모드로 자동 변경된다.

컨트롤러는 총 6개의 버튼 입력(ESC/MENU, 상, 하, 좌, 우, Enter)을 받아 사용자가 모 드를 변경할 수 있다. Menu 버튼은 모드별 저장 온도의 변경, 회로 내 저항 수치의 초기 화 등 연구를 위한 세부 옵션 변경을 지원한다. 좌, 우 버튼을 통해 모드의 선택이 가능하 며, 엔터 버튼을 통해 선택된 저장 모드로 변경되게 된다.

(다) 최종기 설계 및 제작

컨트롤러 외에 냉장고도 최종기를 제작하였다. 크기를 보다 시판 제품에 가깝게 줄이고, 두 칸 구조에서 한 칸 구조로 변경하여 한 칸 내에서 숙성과 저장기능을 모두 지원할 수 있도록 하였다. 가정에서 사용하도록 하기 위해 냉장고를 소형으로 제작하면서, 공간을 적 게 사용하는 컴프레서 HSL9Y-4를 사용하였다. 또한 컨트롤러와 압축기, 응축기, 증발기 등이 설치될 수 있도록 저장 공간과 기기실을 구분하였다.

내부에는 선반을 설치하여 고기의 저장을 편리하게 하였다. 선반에는 자외선램프를 고정하는 지지대를 부착하여, 자외선램프의 수명이 다 할 경우 선반에서 쉽게 분리하여 교체할 수 있게 하였다. 선반은 총 3개 층이 설치되어 저장 공간을 분할하여 효율적인 육류의 보관이 가능하도록 하였다. 그림 131은 기본적인 외관 설계도이다.

도면에서 빗금으로 표시된 부분은 유리로서, 외부에서 문을 열지 않고 내부 상태를 확인할 수 있도록 설치하였다. 단, 유리를 설치할 경우 결로(結露) 현상이 심해지는 단점이 있다. 외부 기온과 냉장고 내부 기온이 평균 15~20 도 이상 차이가 나기 때문에, 그 사이에 존재하는 유리에 물방울이 맺히게 되고, 이는 자칫 품질에 영향을 줄 수 있다.

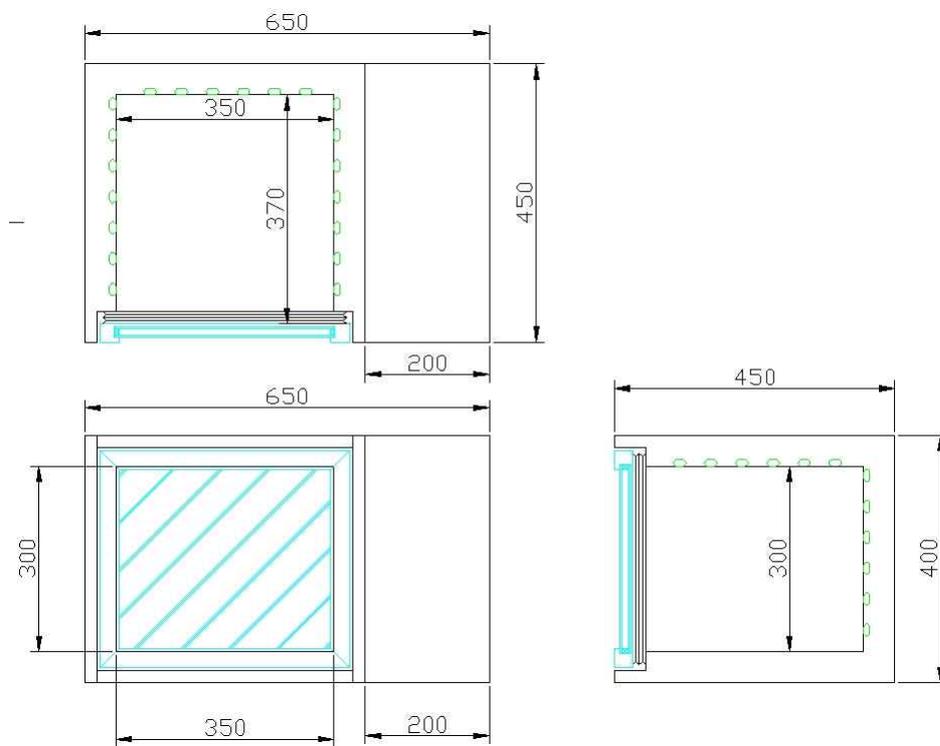


Fig. 131 Drawing of final Hanwoo storage system exterior.

이런 문제점을 해결하기 위해, 유리를 이중으로 설치하여 직접적인 온도 차이의 발생을 줄이도록 하였다. 또한 두 유리 사이 공간에 열선을 배치하여 내부 공간의 냉각에는 영향을 주지 않으면서도 유리에 발생하는 결로를 효율적으로 제거할 수 있도록 하였다.

저장 공간 우측에 마련된 200mm*450mm*400mm의 공간은 기계실로서 압축기, 증발기, 응축기 등과 함께 송풍기가 설치하였다. 또한 제어를 위한 내부 LCD 창과 버튼부, 컨트롤러와 컨트롤러의 전원 공급을 위한 SMPS(switching-mode power supply), 자외선램프의 구동을 위한 안정기 등도 같은 공간에 설치되었다. 이렇게 시판 가능한 수준의 최종기를 만들어 낼 수 있었다. 그림 132와 133은 완성된 최종기의 모습이다.



Fig. 132 Image of final Hanwoo storage system.



Fig. 133 Image of Hanwoo storage system machinery part (Inner side).

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1절 목표대비 성과 및 달성비율

본 연구는 한우육의 냉장 저장 프로파일 및 냉장 시스템 개발을 위해 3년의 수행되었으며, 년차별 목표와 최종 목표를 달성하였다. 아래 표는 과제를 수행하기 위해 수행된 연구 개발 목표와 내용을 기술하였으며 실제 과제를 수행한 결과를 간략히 요약하고 달성비율을 표시하였다.

연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구 수행 주요 결과	달성비율
한우육 유통 체계 조사 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한우육의 유통 체계 조사 ○ 인터넷 유통시장 조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 쇠고기 소비시장의 규모 및 비중에 대한 조사 실시를 통해 시장이 매년 7%정도의 비율로 증가하고 있음을 제시함. - 한우육에 대한 생산구조 및 비용분석을 통해 2007년기준으로 전업농가의 비율이 8,100개로서 2000년에 비해 100% 증가하였으며, 호당 사육두수도 증가하고 있음을 제시함. - 한우육에 대한 유통구조를 생산·출하, 도축·가공, 유통·소비단계로 구분하여 조사하였음. - 한우육에 대한 유통단계 비용분석을 통해 유통단계가 짧은 생산자 직영판매가 유통비용이 낮게 나타났으며, 인터넷을 통한 직거래시 더욱 낮출 수 있음을 제시함. 	100%
한우육 등심의 온도, 습도 저장 특성에 따른 저장 프로파일 설정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도, 습도, 자외선 살균 저장 환경에 따른 한우육 등심의 저장 특성 분석 ○ 냉각 방식(직접, 간접)에 따른 저장성 분석 ○ 개발 시스템과 기존 냉장시스템의 한우육 저장성 비교 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 기초연구로서 온도, 습도 및 자외선 살균효과에 대한 실험을 실시하였으며, 가정용 냉장고의 특성을 조사하여 온도를 일정하게 제어해야 할 필요성을 제시하였음. - 장기 저장을 위해서 적절한 온도를 -1℃로 설정하였으며, 자외선 특성 실험을 통해 긍정적인 자외선 조사 효과 결과를 획득하였음. - 냉장방식을 결정하기 위해 가정용 냉장고(간냉식) 및 가정용 냉장고의 직냉식 개조를 통해 상호 비교하였으며, 이를 통해 직냉식 방식 	100%

		<p>이 간냉식에 비해 상대적으로 우수한 결과를 나타내었음.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제작된 직냉식 냉장고와 가정용 냉장고를 상호 비교하여 한우육 전용 냉장고의 비교우위를 제시하였음. 	
한우육 냉장 시스템의 시작품 설계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열 유동 유체해석을 이용한 냉장시스템 설계 ○ 냉장 시스템 시작품 설계 및 제작 ○ 온도 제어부, 자외선 살균 장치 설계 ○ 냉각 방식(직접, 간접) 냉장 시스템 구성 ○ 온도 제어 특성 평가 ○ 개발 시스템과 기존 냉장시스템의 한우육 저장성 비교 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 열유통 해석을 통해 1차 시작기와 시제품에 대한 사전 시뮬레이션을 통해 냉장고 내부의 온도 특성을 조사하였음. - 1차 시작기는 시중에서 판매되고 있는 가정용 냉장고를 개조하여 직냉식으로 개조하였으며, 1차 시작기용 제어회로를 별도로 개발하여 적용하였음. - 1차 시작기의 제어부는 온도 및 자외선 살균장치에 대한 제어부를 포함하고 있으며 -1℃로 온도를 설정하였으며 습도 제어부는 생략하였음. - 직냉/간냉 상호 비교실험을 통해 직접냉각 방식이 우수하여 제작단가가 상승하는 혼합형을 배제하고 직냉식 냉장시스템을 개발하였음. - 시작품 및 시제품을 대상으로 다양한 온도에 대하여 저장성 평가를 실시하였으며, 화학적 특성(pH, 육색, 보수력, 가열감량)을 측정하고 저장성(지방산패도, 단백질변패도, 총균수)을 측정하여 비교하였음. - 시제품과 일반적인 저장방법을 상호 비교하였으며, 개발 시제품이 우수한 결과를 나타내었음. 	100%

제 2절 관련 사업분야의 기여도

1. 한우육 관련 사업에의 기여도

본 연구는 현행 한우육의 유통구조의 최종 단계인 소비자로 하여금 더욱 많은 양의 쇠고기를 구입하는 데에 있어 방해요소인 가정 내 저장의 어려움을 해소함으로써 더욱 많은 양의 쇠고기를 소비하게 하는 데에 기여할 수 있다.

가정에서 많은 양의 쇠고기를 소비하기 위해서는 한우육의 고유한 맛을 손상시키지 않는 저장방법이 필요하며, 이를 위해서는 기존에 사용되고 있는 냉동저장 방식에서 냉장 저장 방식으로 전환함으로써 한우육의 우월한 맛을 지킴으로 가정에서 더욱 많은 양의 쇠고기를 일괄구매하게 하는 효과를 내어 일시적으로 한우육의 소비를 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 기타 관련 사업분야의 기여도

한우육 장기 저장을 위한 기능성 냉장고의 개발 및 보완을 통해 각 개별 가정에 보급되어 있는 김치냉장고와 같이 보급하는 것이 본 연구의 주요 목표이다. 본 연구결과는 한우에 대하여 장기간 저장할 수 있는 기능 및 살균 기능을 부가하고, 소비자의 필요를 반영하여 소비자에게 효용성이 높은 제품화가 되면 연간 수십만대의 생산 효과가 발생할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과 활용 계획

제 1 절 실용화 및 산업화 계획

가. 실용화 계획

- 본 연구결과를 실용화하기 위해 본 연구과제의 참여 기업은 (주)아이디알시스템에 기술지도를 실시할 예정이다.
- 최종 제품에 대하여 원가경쟁력을 확보하기 위해 금형 제작 및 각 부품에 대한 표준화를 실시할 예정이다.
- 가정에 설치되어 사용될 제품이므로 제품의 미관을 고려한 설계를 진행할 예정이며, 제품의 디자인에 맞추어 시제품에 사용되었던 제품에 대하여 부품 평가를 실시할 예정이다.
- 실용화를 위해 내구테스트 및 제품에 대한 외부 성능기관 및 시험기관에 의뢰하여 제품에 대한 안정성 및 사용자 편의성에 대한 조사를 실시할 예정이다.

나. 산업화 계획

- 참여기업의 사업화 및 제품의 산업화를 위해 마케팅 계획이 필요하며 대량 생산체제의 구축 계획이 필요함.
- 소비자에게 20만원대 이하의 제품으로 공급하는 것을 목표로 하고 양산 시스템 적용시 예상되는 가격에 설정할 예정이다.

제 2 절 교육/지도/홍보 등 기술 확산 계획

- 본 연구결과를 참여기업에 우선 기술전수를 실시할 계획임
- 한우 냉장고를 소비자가 사용할 때, 편리하고 목적에 부합될 수 있도록 사용자 인터페이스에 대하여 추가적인 지도를 실시할 예정임.

제 3 절 특허/품종/논문 등 지식재산권 확보 계획

가. 특허 출원 계획

- 실용실안 1 : 자외선 살균효과를 내장한 기능성 한우냉장고
내용 : 한우에 대하여 기능성을 부여한 냉장 시스템을 개발하고 자외선 조사 시간에 따라 저장효과가 다르게 나타나므로 저장시 온도설정과 자외선 조사시간을 제품의 상태에 따라 조사할 수 있는 기능성 냉장고
- 실용실안 2 : 진공포장 기능을 내장한 기능성 한우냉장고
내용 : 실용실안 1에 추가하여 일반포장 방법과 진공포장 방법을 혼용할 수 있도록 간이용 진공 펌프를 내장하고 진공팩을 구비하여 저장성을 높이는 기능성 냉장고

나. 논문 계획

- SCI급 논문에 투고하여 심사 진행 중
Journal : Computers and electronics in agricultural, ASABE(American Society of agricultural and biological engineers)
Title : Development of meat-only home refrigerator and characteristics of stored beef
- 학술대회 참가 및 발표
Conference : KSAM(Korean Society for Agricultural Machinery) 2010 winter conference
Title : Effect of initial UV irradiation on Hanwoo shelf life during cold storage

제 4 절 추가연구/ 타 연구에 활용 계획

- 진공 포장을 포함한 기능성 냉장고를 통한 저장성 향상에 대한 추가 연구
내용 : 현행 포장방법은 랩포장이 일반적이거나 진공포장 기능을 한우 기능성 냉장고에 부여하고 진공포장에 따른 저장성 향상에 대한 연구를 추가적으로 진행함.

제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보

기능성 냉장고는 1995년 개발된 한국의 김치냉장고를 시판 제품의 시초로 본다. 기업의 배송 및 저장 요구에 의한 기능성 냉장고의 개발은 많았으나, 가정용으로 개발된 기능성 냉장고는 많은 사례가 없었다. 따라서 기능성 냉장고에 대해서는 해외에 동일 연구내용이 거의 존재하지 않는 실정이다.

따라서 연구 개발 과정에서 한우육 저장 시스템의 개념 정립에 도움이 되었던 논문 정보 일부를 간략하게 정리해 보았다.

(가) Effect of blade tenderization, aging time, and aging temperature on tenderness of beef longissimus lumborum and gluteus medius

저자: D. A. King, T. L. Wheeler, S. D. Shackelford, K. D. Pfeiffer, R. Nickelson and M.Koohmaraie

내용: tenderization, 숙성 기간과 숙성 온도가 쇠고기의 등최장근, 준둔근의 전단력에 미치는 영향을 확인한 연구이다. -0.5°C 와 3.3°C 에서 12일, 26일, 40일간 저장된 시료의 전단력 변화를 측정하였다. 총 300개의 시료가 준비되었고, 시료는 2.54cm두께로 준비되었다. 결과적으로 허리 최장근에서는 3.3°C 에서의 저장이 tenderization을 대체할 수 있을 정도로 연화 효과가 있었으나, 준둔근에서는 저장 기간으로 인한 연화 효과가 적게 나타났다고 결론을 내었다.

이 연구를 통해 한우육 저장 시스템의 개발에 있어 온도의 설정을 통한 숙성 시스템의 개발 가능성을 타진하였으며, 그 적용 결과 5°C 에서의 숙성 모드를 첨가하도록 결정하였다.

(나) Effect of gamma irradiation on microbial load and quality characteristics of miced camel meat.

저자: M. Al-Bachir, R. Zeinou

내용: Gamma irradiation이 낙타 고기의 미생물과 화학적, 관능적 특징에 미치는 영향에 대한 논문이다. 낙타 고기를 0, 2, 4, 6kGy의 감마선을 조사하여 조사 시료와 비 조사시료를 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$ 환경에 보관하여 2주, 4주, 6주간의 변화를 측정하였다. 모든 범위의 조사에 대하여 미생물은 감소 효과를 나타냈으며, 약 2주에서 6주 사이의 보관 가능 일자 연장 효과를 나타내었다. 이로 인한 다른 수치의 변화는 거의 없었으나, VBN와 산화도의 증가를 가져오게 되었다. 관능검사를 통한 조사 시료와 비 조사 시료의 차이는 거의 발견되지 않았다.

해당 연구를 참고하여 미생물수의 감소에 대한 자외선의 효과를 실험하였고, 그 유효성을 입증하여 한우육 저장 시스템에 적용한 것은 3장에서 서술한 바와 같다.

제 7 장 참고문헌

1. 고용덕, 김홍재, 전성식, 성낙계. 1994. 냉장고를 이용한 김치발효 및 저장제어시스템의 개발. 한국식품과학회지 26(3) : 199~203.
2. 권오상. 2007. 환경경제학. 박영사.
3. 권오상. 2003. "가상가치평가법을 이용한 유전자변형제품의 소비자 수용성에 관한 계량 분석" 『농업경제연구』 44 : 111-132.
4. 한국과학기술정보연구원 기술정보분석실. 2005. 식품의 살균기술 최근 동향.
5. 김대근, 이신호, 김수민, 석영수, 성삼경. 1998. 포장방법이 냉장 쇠고기의 이화학적 성질 변화에 미치는 영향. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. Vol. 25 : 944~950.
6. 김진수. 2000. 식품냉동냉장학. 효일.
7. 김진형. 한우고기 숙성방법과 효과. 축산기술연구소 종축개발부.
8. 김현욱. 1997. 낙농 및 식품미생물학. 선진문화사.
9. 노정숙, 김종현, 이명주, 김명희, 송영욱. 2008. 동치미 최적발효 및 저장을 위한 김치냉장고의 자동숙성 시스템개발. 한국식품과학회지 40(6) : 661~668.
10. 노정숙, 서현주, 오정환, 이명주, 김명희, 최홍식, 송영욱. 2007. 배추김치의 최적발효 및 저장을 위한 김치냉장고의 자동숙성 시스템 개발. 한국식품과학회지 39(4) : 432~437.
11. 농림부. 08년 농림부 내부자료.
12. 농림부. 2009. 농림업주요통계.
13. 농림부. 2009. 농림통계연보.
14. 농수산물유통공사 조사자료('08.8).
15. 농수산물 유통공사. 판매처별 가격조사 결과.
16. 농협중앙회. 축산물 가격 및 수급자료.
17. 농협중앙회 유통정보. 월별가격동향.
18. 민만기 외 4인. 2002. 공기조화 및 냉동. 사이텍미디어.
19. 박정기 외 15인. 1996. 식육의 과학과 이용. 선진문화사.
20. 박현진, 이철호. 2008. 식품저장학. 고려대학교출판부.
21. 오종택, 최광일, 홍성대. 2003. 고품질 헛감 보관용 냉장고 개발. 대한설비공학회 냉동냉장설비전문강연회 자료 51~67.
22. 윤정의. 1999. 식품저장학. 세진사.
23. 전재근. 1989. 김치 냉장고의 설계요소와 제작에 관한 연구.
24. 한국육류유통수출입협회. '2006 가축 유통실태 조사 및 개선방안' 연구용역 결과.

25. 한규호, 김남규, 이시경, 조진국, 최강덕, 전유진, 이치호. 2005. Mitochondrial Malate Dehydrogenase 활성을 이용한 냉장우육과 냉동우육의 판별법 개발. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 34 : 1599~1605.
26. Al-Bachir M., and R. Zeinou. 2009. Effect of gamma irradiation on microbial load and quality characteristics of minced camel meat. *Meat Sci.* 82 : 119~224.
27. Bockstael N. E., and K. E. McConnell. 2007. *Environmental and Resource Valuation with Revealed Preferences: A Theoretical Guide to Empirical Models.* Berlin, Springer.
28. Brewer M. S., W. G. Ilkins, and C. Harbers. 1992. TBA values, sensory characteristics, and volatiles in ground pork during long-term frozen storage: Effect of packing. *J. Food Sci.* 57: 558.
29. Cameron T. A. and J. Quiggin. 1994. Estimation Using Contingent Valuation Data from a "Dichotomous Choice with Follow-Up" Questionnaire. *J. of Environ. Econ. and Manage.* 27: 218-234.
30. Djenane D., A. Sanchez-Escalante, J. A. Beltran, and P. Roncales. 2001. Extension of the Retail Display Life of Fresh Beef Packaged in Modified Atmosphere by Varying Lighting Conditions. *J. Food Sci.* 66(1) : 181-186.
31. Fennema O. and W. D. Powrie. 1964. Fundamentals of low- temperature food preservation. *Advance. Food Res.* 13 : 219~347.
32. Freeman III A. M. 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, 2nd ed., Washington D. C., Resources for the Future.
33. Habb T. C. and K. E. McConnell, 2002, *Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation*, Cheltenham, Edward Elgar.
34. Hanemann W. M., J. B. Loomis, and B. J. Kanninen. 1991. Statistical Efficiency of Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation. *Am. J. Agri. Econo.* 73 : 1255-1263.
35. Huff E. J, and F. C. Parrish. 1993. Bovine longissimus muscle tenderness as affected by postmortem aging time, animal age and sex. *Journal of Food Sci.* 58(4) : 713-716.
36. Kauffman R. G., G. Eikelenboom, P. G. van der Walb, B. Engelt, and M. ZaardHomikel. 1986. A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle. *Meat Sci.* 18(4) : 307-322.
37. Krinsky I. and A. Robb. 1986. On Approximating the Statistical Properties of Elasticities. *Rev. of Econ. Stat.* 86 : 715-719.

38. Lagerstedt A., L. EnfaNlt, L. Johansson, and K. LundstroNm. 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Science* 80 : 457~461.
39. Manousaridis G., A. Nerantzaki, E. K. Paleologos, and A. Tsiotsias. 2005. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. *Food Microbiology* 22 : 1~9.
40. Rajkovic A., I. Tomasevic, N. Smigic, M. Uyttendaele, R. Radovanovic, F. Devlieghere. 2010. Pulsed UV light as an intervention strategy against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 on the surface of a meat slicing knife. *J. Food Eng.* 100 : 446-451
41. Seeligerh H. P. R., and D. Jones. 1986. *Listeria* in *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* Vol. 2. ed. pp. 1235-1245. Baltimore: Williams & Wilkins.
42. Skoog D. A., F. J. Holler, and T. A. Nieman. 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Thomson Learning, Inc. U.S.A.
43. Turner E. W., W. D. Paynter, E. J. Montie, M. W. Bessert, G. M. Struck, and F. C. Olson. 1954. Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *Food Technol.* 8 : 326~330.
44. Wagner J. R., and M. C. Anon. 1985. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. *J. Food Technol.* 20 : 735~737.
45. Wagner J. R., and M. C. Anon. 1986. Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle I. Myofibrillar ATPase activity and differential scanning calorimetric studies. *J. Food Technol.* 21 : 9~18.
46. Wagner J. R., and M. C. Anon. 1986. Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle II. Influence on solubility, viscosity and electrophoretic behaviour of myofibrillar proteins. *J. Food Technol.* 21 : 547~549.
47. Walker S. J., P. Archer, and J. G. BANKS. 1990. Growth of *Listeria monocytogenes* at Refrigeration Temperatures. *J. Applied Bacteriology* 68 : 157-162.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.