

318075-1

함한
량우
축고
정기
기술
솔레
개인
발산
지방산

최
종
보
고
서

2019

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농축산물안전생산유통관리기술개발사업 제1차 연도 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002924-01

한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발 최종보고서

2019. 12. 27.

주관연구기관 / 농협경제지주 축산연구원
협동연구기관 / 황성축산업협동조합
위탁연구기관 / 경북대학교

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

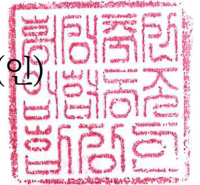
본 보고서를 “한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발”(개발기간 : 2018.09.10.~ 2019.09.09)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 12. 27.

주관연구기관명 : 농협경제지주 축산연구원 (대표자) 강재영 (인)



협동연구기관명 : 황성축산업협동조합 (대표자) 엄경익 (인)



위탁연구기관 : 경북대학교 산학협력단 (대표자) 임병기 (인)



주관연구책임자 : 정재경

협동연구책임자 : 김승겸

위탁연구책임자 : 김남철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	318075-1	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.09.10. ~2019.09.09	단 계 구 분	1/1
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농축산물안전유통소비기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발			
	세부 과제명	한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발			
연구책임자	해당단계 참여연구원 수	총: 12명 내부: 5명 외부: 7명	해당단계 연구개발비	정부:100,000천원 민간:100,000천원 계:200,000천원	
	총 연구기간 참여연구원 수	총: 12명 내부: 5명 외부: 7명	총 연구개발비	정부:100,000천원 민간:100,000천원 계:200,000천원	
연구기관명 및 소 속 부 서 명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농협경제지주 축산연구원 ○ 횡성축산업협동조합 			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:경북대학교 산학협력단			연구책임자 : 김남철	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반등급
----------------------	------

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

1992년 도입돼 현재까지 적용되고 있는 한우고기 품질평가에 대한 새로운 개념의 평가기술 개발을 통하여 소비자들의 욕구 부응과 한우농가의 소득증대 및 한우산업의 세계화를 위하여 700~1,050mm 영역대의 근적외선(NIR) 조사에 따른 흡광도(Abs.)의 특징을 기반으로 “한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술”을 개발한 결과, $R^2=0.8117(p=0.9009)$ 의 신뢰도 높은 검량선을 가져왔다. 이를 횡성축협한우(거세우)에 적용하여 올레인산 함량 기준을 53% 이하(일반육)와 이상(프리미엄육)으로 두 분류 했을 때의 오차율은 7.65%로 나타나 현장 적용이 충분한 것으로 판단되었다.

보고서 41, 58쪽

〈요약문〉

연구의 목적 및 내용	<p>새로운 개념의 한우고기 품질 평가기술 개발을 통하여 소비자들의 욕구에 부응하면서 한우농가의 소득증대와 한우산업의 세계화를 위하여 지난 1년간(2018.09.10.~2019.09.09.) 도축전 한우 234두를 대상으로 촬영한 초음파영상 특징과 도축 후 2분도체 상태의 피하지방에서 조사한 근적외선(NIR) 반응값(흡광도) 특징을 이용하여 한우고기 등심의 올레인산(지방산) 함량 측정기술을 개발하였다.</p>				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 근적외선(NIR)로부터 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램으로 올레인산 함량(%)을 측정한 결과, $R^2=0.8117(p=0.9009)$의 우수한 성능을 나타냈으며, 올레인산 함량을 53%로 기준하여 일반육과 프리미엄육으로 두 분류했을 때의 오차율도 7.65%로 나타나 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다. ○ 초음파영상으로부터 2차원 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램으로 올레인산 함량(%)을 측정한 결과, $R^2=0.7378(p=0.8589)$ 그리고 올레인산 함량을 53%로 기준하여 일반육과 프리미엄육으로 분류했을 때의 오차율 6.51%로 근외적선 특징에 비해 다소 떨어졌다. ○ 이상의 연구결과를 종합해볼 때 금차 개발한 근적외선(NIR) 특징 기반 “한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술”의 현장 적용은 충분히 가능한 것으로 판단되었다. 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한우농가 교육 및 새로운 차별화된 제2의 고급 브랜드화 전개 <ul style="list-style-type: none"> - 선도적용(횡성축협한우 올레인산 53), 중장기(10→100개소) ○ 한우농가 소득증대 및 한우산업의 새로운 발전 기대 <ul style="list-style-type: none"> - 단기(6억원/년/횡성축협한우) → 중장기(36~138억원/전국) ○ 한우 전·후방 관련산업(사료, 개량, 식육문화 등)의 발전 ○ 새로운 축산물 패러다임 구현 및 한우고기의 세계화 				
국문핵심어 (5개 이내)	한우고기	근적외선	초음파영상	DCT특징	올레인산
영문핵심어 (5개 이내)	Hanwoo beef	Near-infrared	Ultrasound imaging	discrete cosine transform	Oleic acid

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행 내용 및 결과	7
3. 목표 달성도 및 관련분야 기여도	55
4. 연구결과의 활용계획	56
붙임. 참고문헌	58
[별첨] 주관연구기관의 자체평가의견서	60

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

○ 새로운 개념의 한우고기 품질평가방법(한우고기 올레인산 (지방산) 함량 측정기술) 개발을 통하여 소비자들의 품질욕구에 부응하면서 한우농가의 소득증대에 기여하고자 함

나. 연구개발 필요성

(1) 연구개발의 개요

(가) 1992년 소고기 등급제 도입과 함께 그동안 한우산업은 많은 발전을 거듭해 왔다. 그러나 최근 소비자들의 새로운 품질 요구와 함께 국내 소고기 시장 자급률 40% 붕괴라는 문제점에 부딪혀 있다. 특히 우리나라와 유사한 품질 개념을 갖고 있는 일본의 경우 이미 이러한 문제점 해결을 위해 10여 년 전부터 기존의 브랜드(네임)에 새로운 브랜드화(네임밍화)하는 전략을 구상하여 적잖은 성과를 거두고 있다.



(나) 이러한 시점에서 10여 년 이상 80~85% 수준에 도달해 있는 우리나라의 육질등급(육량, 육질) 체계는 더 이상 품질평가 기준으로서의 한계에 도달했다고 본다. 또한 그동안의 냉동육 중심 또는 낮은 등급의 냉장육 수준에 불과하던 수입 소고기가 현재는 고급형 또는 맞춤형으로 생산·수입되고 있는 실정이다.

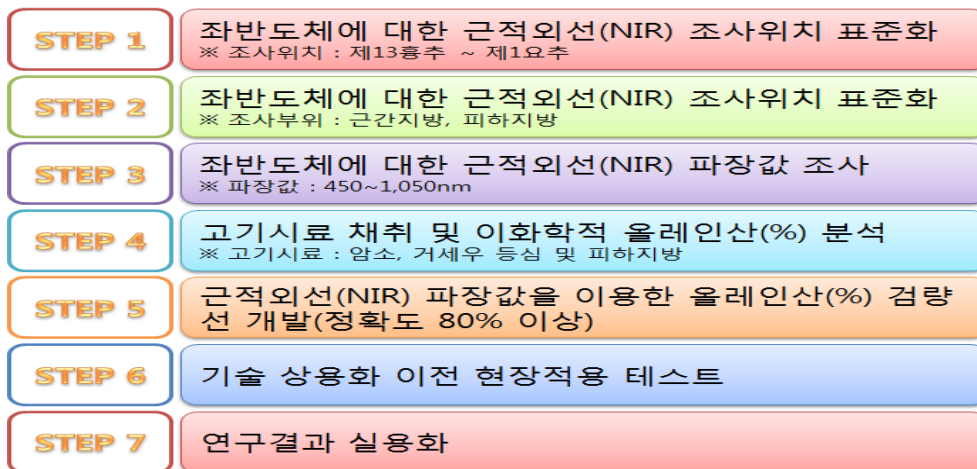
(다) 따라서 수입산 소고기와 한우고기를 차별화하고 기능성(올레인산 등)을 반영한 품질평가 실현하기 위해서는 도축장 등 현장에서 활용 가능한 소고기 올레인산 함량 측정기술의 개발과 현장 접목이 시급한 상황이다. 올레인산(지방산)에 근거한 품질차별화는 이미 일본에서 진행되고 있으며,

일반적으로 올레인산 함량이 50% 이하, 51~55% 그리고 55% 이상 유무에 따라 기존의 육질등급(마블링 중심)에 프라임을 부가 명명하는 방식이다. 농협경제지주 축산연구원 발표(2014)에 따르면 한우의 올레인산 함량은 약 52.80% 수준으로 수입육 보다는 약 7~10% 높지만 일본 화우에 비해서는 3~5% 낮은 것으로 보고되었지만 개체에 따라서는 낮게는 47.84%에서 높게는 56.10%까지 나타나는 것으로 확인되어 새로운 한우고기의 차별화 방안의 가능성을 열어주었다. 이러한 올레인산(함량)은 소고기의 풍미와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

(라) 근적외선(NIR)을 이용하여 품질을 평가하는 기술은 다양한 분야에서 이미 오래전부터 활용되어오고 있다. 특히 축산에서는 사료의 신속·정확한 성분모니터링을 위해 주로 사용되고 있다. 뿐만 아니라 축산물에 있어서도 이미 「물 먹인 소고기」 판별에 적용된 사례가 있어 결코 생소한 부분은 아니라고 할 수 있다.

(마) 이러한 근적외선(NIR)을 이용하여 소고기의 올레인산 함량 측정기술을 개발하기 위해서는 크게 다음의 4단계별 과정이 필요하다.

- Step.1-좌반도체 근적외선(NIR) 조사위치(제13흉추~제1요추, 근간·피하지방) 표준화
- Step.2-조사부위에 대한 근적외선(NIR) 파장값(750nm~1,050) 조사
- Step.3-고기시료(암소·거세우 등심 및 피하지방) 채취 및 이화학적 올레인산(%) 분석
- Step.4-근적외선(NIR) 파장값을 이용한『올레인산(%) 검량선』개발(정확도 80% 이상)



〈연구개발 기본 개념도〉

(바) 이렇게 개발된 「한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술」은 한우농가가 생산한 한우고기에 대한 등급판정 현장에서 간단한 장비와 함께 실시간으로 올레인산(지방산) 함량이 측정될 예정이며 이는 곧 새로운 품질등급 평가기준(일본 예시 ; 올레인산 55/돗토리현, 信州프리미엄소고기/나가노현 등)의 기초자료로 제공될 것이다.

(사) 일본(올레인산 55, 信州프리미엄소고기 등)의 경우 현재 7개현에서 이러한 방식으로 새롭게 프리미엄으로 명명하여 판매한 결과 추가적으로 두당 150천원~250천원의 판매가격을 받는 것으로 조사되어 농가소득 증대와 소비자 욕구 충족에 크게 기여하는 것으로 알려졌다.

(2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

(가) 국내 기술 수준 및 시장 현황

① 축산분야 에서의 근적외선(NIR) 이용 기술은 사료의 신속·정확한 성분 모니터링을 위해 주로 활용되고 있고, 축산물에서는 오래 전에 「물 먹인 소고기」 판별에 적용된 사례가 있다. 올레인산(지방산) 측정에 활용된 사례는 전무하다. 다만, 농협경제지주 축산연구원과 충청북도 축산위생연구소에서 2010년대 초반에 올레인산(지방산) 측정기술 개발을 위해 연구를 시도하였으나 이력이 확인되는 많은 두수의 (성별) 개체 확보와 많은 비용의 문제 그리고 전문가의 집중된 연구 등이 동반되어야 하는데 한계가 있었다.

② 본 산업기술의 시장현황은 적용대상과 용도가 한우에 대한 올레인산(지방산) 측정이라는 점을 감안하면 공익적 활용으로 등급판정 현장 75곳, 개인(법인)의 상업적 활용으로는 10여 곳 수준에서 새로운 차별화의 전략으로 접목될 것으로 예상된다.

③ 경쟁기관 현황과 관련해서는 국내에는 전혀 무관한 상황으로 여겨지고 다만, 일본의 경우 직·간접적으로 기술발전과 소고기 산업 등에서 약간의 경쟁관계 발전으로 전개될 수도 있을 것으로 보여 진다.

④ 지식재산권 현황과 관련해서는 전혀 무관한 상황으로 여겨진다. 기본적인 기초기술(학문)은 이미 표준화 되어있다. 다만, 연구개발 대상의 축종과 측정환경이 우리나라만의 특이성을 갖고 있다.

⑤ 표준화 현황 또한 전혀 개발된 바가 없어 무관하다고 보여 진다.

(나) 국외 기술 수준 및 시장 현황

① 우리나라와 유사한 마블링(근내지방도) 중심의 육질 등급체계를 갖고 있는 일본의 경우에서 만 본 기술을 개발하여 이미 10여 년 전부터 현장에 접목한 결과 현재, 34개현에서 72세트의 시스템을 시험 또는 운영하고 있으며, 그 중 7개 브랜드에서는 실용화하여 두당 150천원~250천원의 농가소득과 소비자 만족을 가져오고 있다.

② 일본의 경우 약 46개 지자체(현 포함)에서 각 지역의 화우산업 발전을 위해 시험 또는 운영하고 있으며, 우리나라보다 20여년 앞선 소고기 고급육 문화를 가지고 있는 상황과 소비자들의 건강과 맛 의식을 감안하면 실용화는 일본을 넘어 세계로 확장될 것으로 보여 진다.

③ 일본의 경우 직·간접적으로 기술발전과 소고기 산업 등에서 약간의 경쟁관계 발전으로 전개될 수도 있을 것으로 보여 지지만 국가적으로 큰 역량의 경쟁관계는 아닐 것으로 보여 진다(향후

국내에서 기술개발과 상품화가 꾸준히 진행된다면).

④ 지식재산권 현황과 관련해서는 전혀 무관한 상황으로 여겨진다. 기본적인 기초기술(학문)은 이미 표준화 되어있다. 다만, 연구개발 대상의 축종과 측정환경이 우리나라만의 특이성을 갖고 있다.

⑤ 표준화 현황 또한 전혀 개발된 바가 없어 무관하다고 보여 진다. 한우와 관련된 올레인산(지방산) 정보 등이 해외에 정보 공개가 제한되었을 것으로 보여 진다.

다. 연구개발 범위

(1) 연구개발의 목표 및 내용

(가) 최종목표

- ① 근적외선(NIR)을 이용한 한우고기의 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발
 - ㉠ 파 장 값 : 750~1,050nm
 - ㉡ 측정부위 : 소의 좌반도체 제13흉추와 제1요추 사이 등심(근육) 피하지방
 - ㉢ 신 령 도 : 근적외선 파장값(750~1,050nm)을 이용한 이화학적 올레인산 함량(%) 추정 검량선 개발(상관도 0.80 이상)

(나) 세부목표

① 주요기능(규격)

- ㉠ 올레인산 함량 측정치 자동 계산, 전송 및 저장
- ㉡ 측정장비의 기계온도와 현장(냉장)온도 간의 차이를 인식하여 자동보정
- ㉢ 이화학적 올레인산 함량(%)과의 상관도가 0.80 이상

② 주요성능

- ㉠ 처리속도 : 5~7번/10초 최대 측정완료
- ㉡ 올레인산 측정 후 시각적 분석을 위한 그래프 표시
- ㉢ 올레인산 측정치에 대한 데이터베이스 구축
- ㉣ GC로 분석된 이화학적 올레인산 함량과 비교하여 빠른 올레인산 측정

③ 핵심기술

- ㉞ 올레인산 함량 측정 부위 및 위치 표준화
- ㉟ 한우고기형 올레인산 측정치의 데이터베이스 구축
- ㊱ 근적외선 올레인산 측정과 이화학적 올레인산 측정간의 상관관계 높임

④ 적용범위(서비스)

- ㉞ 주요 한우고기 생산자인 한우농가에서 출하한 한우에 적용하여
- ㉟ 한우고기의 올레인산 함량 표시제를 통한 한우농가의 소득증대 기여
- ㊱ 한우고기의 올레인산 함량 표시제를 통한 소비자의 구매 욕구 충족

⑤ 부가기술(신뢰도 제고)

㉞ 초음파 육질진단을 통한 GL값(화소값), 생체형질(BF, EMA, MS), 조직감(Tex.) 및 기타 독립변수(성, 월령, 종모우 등) 효과를 추가하여 올레인산 함량(%) 검량선 신뢰도 제고

(다) 연차별 개발목표 및 내용
<1차년도>

① 연구개발 목표

- ㉞ 주관연구기관(농협경제지주 축산연구원)

. 연구설계를 바탕으로 협동연구기관과 협력하여 각종 자료조사와 근적외선(NIR) 올레인산 측정, 이화학적 올레인산 함량 분석, 초음파 화소값(GL값), 초음파 조직감(Tex.)을 분석한 후 독립변수를 이화학적 올레인산 함량(%)으로 하는 검량선(r 80% ↑)개발

- ㉟ 협동연구기관(횡성축산업협동조합)

. 연구개발 목표수행에 필요한 환경조성을 위하여 공시축 확보, 개체정보 조사, 초음파진단 및 각종 시험(NIR 올레인산측정, 등심채취, 도체성적 등) 협조

㉔ 위탁연구기관(경북대학교)

- 주관기관에서 위탁한 초음파 영상에 대한 화소값(GL값) 및 조직감(Tex.) 분석기술 개발 제공
- 주관기관에서 위탁한 근적외선(NIR) 흡광도(Abs.)에 대한 패턴 특징 분석기술 개발 제공
- 올레인산 함량(%) 추정 검량선 및 프로그램 개발

② 개발 내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

㉕ 주관연구기관(농협경제지주 축산연구원)

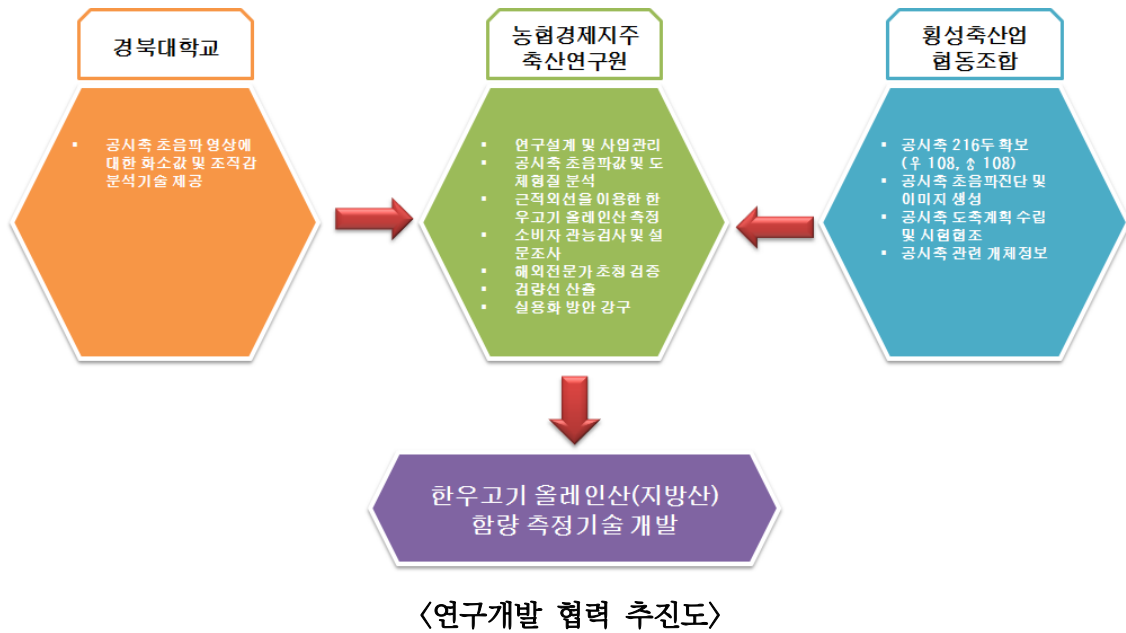
- 연구설계 및 사업관리
- 공시축 216두 초음파값(화소값, 조직감) 및 도체형질(BF, EMA, MS) 분석
- 근적외선(mm)을 이용한 한우고기 올레인산 함량 측정(216두)
- 공시축 216두 등심시료 채취 및 이화학적(일반성분, 지방산 조성 등) 분석
- 올레인산 함량에 기준한 소고기에 대한 관능검사 및 설문조사 실시
- 검량선 검증(해외전문가 초청) 분석
- 검량선 산출(근적외선 파장값 vs 이화학적 올레인산값, 초음파영상값 등)

㉖ 협동연구기관(횡성축산업협동조합)

- 한우 공시축(암소, 거세) 각각 108두 확보(총 216두)
- 공시축 초음파진단(GL값, Tex.값) 및 이미지(jpg) 생성
- 공시축 도축계획 수립 및 시험협조(NIR 올레인산측정, 등심채취, 도체성적 등)
- 기타 공시축 관련 개체정보(출생, 월령, 혈통, 농가 등) 조사

㉗ 위탁연구기관(경북대학교)

- 초음파 영상에 대한 화소값(GL값) 및 조직감(Tex.) 분석기술 개발 제공
- 근적외선(NIR) 흡광도(Abs.)에 대한 패턴 특징 분석기술 개발 제공
- 올레인산 함량(%) 추정 검량선 및 프로그램 개발



2. 연구수행 내용 및 결과

가. 공시축 선정

(1) 연구기간 : `18.12월~`19.01월

(2) 연구담당 : 황성축산업협동조합

(3) 연구내용 : `19.01월부터 07월 사이에 “황성축협한우”로 도축·가공할 개체 중 본 연구의 공시축으로 활용할 한우 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 개체정보(성별, 생년월일, 혈통등록, 농장주, 주소 등)와 도축과정 전·후로 이루어지는 초음파진단, 근적외선조사 및 등심시료 채취 등을 위한 연구공간(도축장, 황성KC)을 확보하였다. 이 때 거세우들의 출하월령은 황성축협한우(브랜드)의 인정범위는 생후 28~33개월령으로 예정하였다.

(4) 연구결과 : 선정당시 「연구개발계획서」의 216두 보다 18두 많은 234두의 공시축 확보하였으며 기본정보를 요약하면 아래 표-1과 같다.

<표-1 : 공시축 선정 결과>

구분	두수	생년월일	혈통등록	농가(호)
거세우	126	2016.6월 ~ 10월	126	40
암소	108	2014.2월 ~ 2015.7월	108	31

나. 초음파영상 획득을 위한 진단 및 관심영역(ROI) 설정 표준화

(1) 연구기간 : `19.03월~`19.07월

(2) 연구담당 : 축산연구원, 황성축산업협동조합

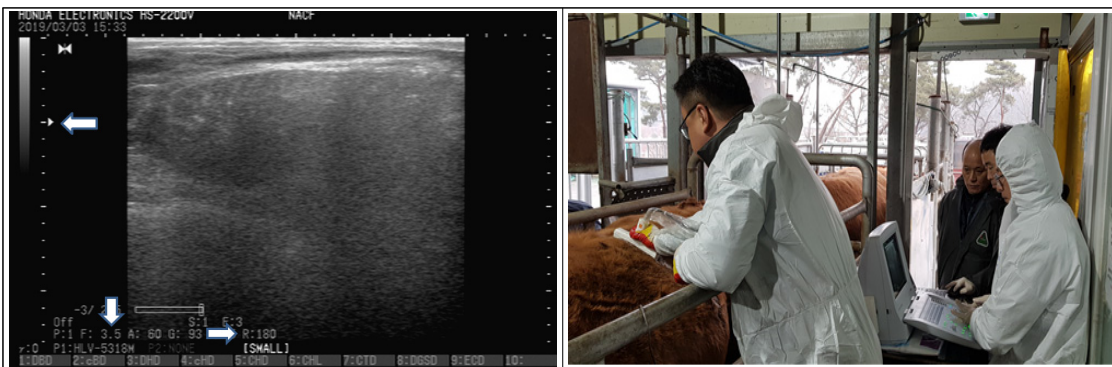
(3) 연구내용 : 초음파영상 획득 기준과 영상의 특징 추출을 위한 관심영역(ROI) 설정에 대한 표준화를 하였다.

(4) 연구결과

(가) 초음파진단 표준화

① 초음파진단기(HS-2200, FHK, 일본)의 주파수(Frequency)는 3.5MHz로 설정하였으며 영상의 크기에 해당하는 배율은 투과깊이 18.0cm 그리고 초음파 힘의 집중조사영역(Focus)은 투과깊이 5.0cm로 하였으며 세부내용은 아래 그림-1의 화살표(↓, →, ←)로 표시하였다.

② 또 다른 표준화 요인인 초음파진단 담당자의 위치와 자세는 소의 좌측 제13흉추와 제1요추 사이의 등심(배최장근)에 대한 직각의 단면 영상정보를 획득할 수 있도록 하였다(아래 그림-1 참조). 기타 제2의 표준화 요인인 공시축의 조건에 대해서는 바른 기립자세와 진단 위치의 이물질 제거 등에 규칙하였다.

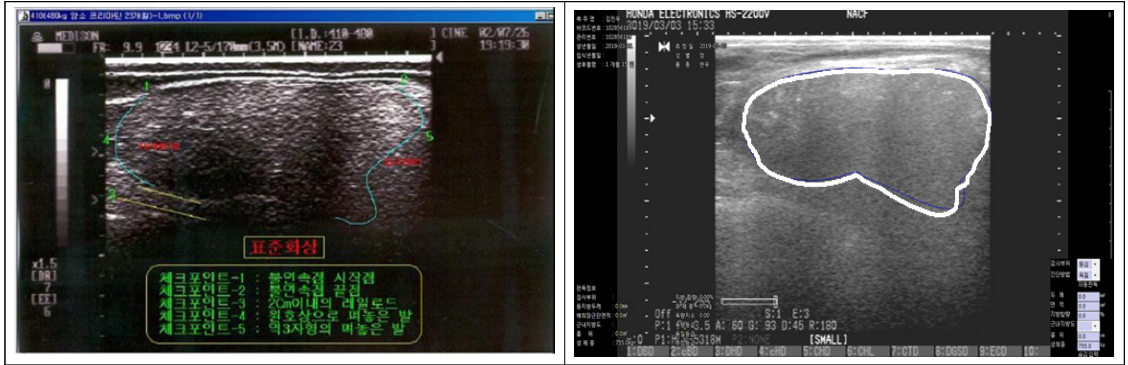


〈그림-1 : 초음파진단기 표준화(좌) 및 기술자·공시축 표준화(우)〉

(나) 관심영역(ROI) 설정 표준화

① 초음파진단은 표준화된 초음파진단 조건으로 도축 24시간 전에 도축장(황성KCC)에서 실시하면서 이미지 저장·판독·관리프로그램인 QUAMS(이다소프트, 한국)에 저장한 후 초음파영상의 특징추출에 필요한 관심영역(ROI)을 설정하였다.

② 관심영역(ROI) 설정은 등심단면적 산출기법에 준하였으며, 등심단면적 산출은 아래 그림-2의 설명에서와 같이 등심단면과 기타 부위의 경계를 의미하는 5개의 체크포인트(CP)를 잇는 타원형의 배최장근단면적 산출하였다.



〈그림-2 : 등심단면적 산출기준(좌) 및 관심영역(ROI) 설정 영상(우)〉

다. 등급판정, 등심 시료채취 및 이화학적 올레인산 함량(%) 분석

(1) 연구기간 : `19.03월~`19.08월

(2) 연구담당 : 축산연구원, 횡성축산업협동조합, 농촌진흥청(농업기술실용화재단)

(3) 연구내용

(가) 공시축의 도체 등급판정에 대한 기본정보(도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도)는 축산물품질평가원(강원지원)에 의뢰하였다(축산물 등급판정 세부기준, 농림축산식품부고시 제2018-109호).

(나) 등심시료 채취는 소고기의 이화학적 올레인산 함량(%) 분석을 위하여 아래 그림-3에서와 같이 좌반도체 제1요추 등심 약 750g을 채취하여 -20℃ 냉동고에 보관한 후 농촌진흥청(농업기술실용화재단)에 분석 의뢰하였다.



〈그림-3 : 등심시료 채취(좌) 및 보관된 등심시료(우)〉

(다) 등심시료에 대한 올레인산 함량(%) 분석은 Folch 등(1957)의 방법에 따라 시료 50g과 chloroform:methanol(2:1) 용액 150mL을 homogenizer 2500rpm로 균질하여 지질을 추출한 다음 무수황산나트륨을 이용하여 수분을 제거하고 여과액을 50~55 ℃에서 농축하였다. 농축한 액을 100 μ l을 따로 0.5N NaOH 용액 1mL 를 가하여 100 ℃에서 20분간 가열한 후 30분간 방냉한 다음 BF₃-Methanol를 2mL 첨가하고 20분간 가열한 후 30분간 방냉하였다. 1mL heptane과 8mL NaCl 첨가한 후 상등액을 취하여 GC(Gas Chromatography)에 주입하여 지방산 측정하였다 (아래 표-2 참조).

〈표-2 : Gas Chromatography 구동조건(농촌진흥청 농업기술실용화재단)〉

Equipment	Condition
Model	Agilent Technologies, US/HP 6890
Column	Omegawax 205 fused-silica bond Capillary column (30m 0.3×2mm I.D., 0.25 μ m film thickness)
Detector	Flame Ionization Detector
Mobile phase column influx rate	Nitrogen(99.99%, Research purity) 1ml/min
split ratio	100 : 1
Injection temperature	250℃
Detector temperature	260℃
Oven temperature	200℃

(4) 연구결과

(가) 공시축 등급판정 결과

① 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 등급판정결과, 거세우의 육량등급은 A등급이 11.90%, B등급이 60.32% 그리고 C등급이 27.78%로 나타났고 암소는 A등급이 31.48%, B등급이

48.15% 그리고 C등급이 20.37%로 나타났다. 육질등급의 경우에는 거세우의 1++등급이 18.25%, 1+등급이 38.10%, 1등급이 29.37% 그리고 2등급과 3등급이 각각 13.49%와 0.79%로 나타난 반면 암소는 1++등급이 0.93%, 1+등급이 18.52%, 1등급이 34.26% 그리고 2등급과 3등급이 각각 39.81%와 6.48%로 나타났다(아래 표-3 참조).

〈표-3 : 공시축 등급판정 결과〉

구분	두수	육량등급			육질등급				
		A	B	C	1++	1+	1	2	3
거세우	126	15 (11.90)	76 (60.32)	35 (27.78)	23 (18.25)	48 (38.10)	37 (29.37)	17 (13.49)	1 (0.79)
암소	108	34 (31.48)	52 (48.15)	22 (20.37)	1 (0.93)	20 (18.52)	37 (34.26)	43 (39.81)	7 (6.48)

() : 출현율(%)

② 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 출하월령과 도체형질별 특성(평균±표준편차)을 살펴본 결과 거세우의 출하월령은 생후 31.02개월령으로 “황성축협한우”에서 제시하는 출하월령 기준(28~33개월령)에 적합할 뿐만 아니라 표준편차에 있어서도 균일성에 큰 문제가 없을 것으로 기대된다. 기타 도체중(kg), 등지방두께(mm), 등심단면적(cm²) 및 근내지방도(No)에 있어서는 각각 443.83±46.22, 13.46±4.45, 91.89±8.87 그리고 5.57±1.96으로 나타나 등심단면적을 제외한 기타 형질에서는 ±1 SD에서 벗어나 개체 간에 차이가 나타남을 알 수 있었다. 반면 암소의 출하월령과 도체중(kg), 등지방두께(mm), 등심단면적(cm²) 및 근내지방도(No)는 각각 47.65±12.99, 363.09±44.16, 13.21±4.73, 88.55±9.16 그리고 3.99±1.71를 나타나 표준편차의 폭이 거세우에 비해 심하게 나타나 출하월령 등에 큰 폭의 허용범위를 갖고 있을 것으로 추정됐다(아래 표-4 참조).

〈표-4 : 공시축 도체형질 결과〉

구분	두수	출하월령 (개월)	도체중 (kg)	등지방두께 (mm)	등심단면적 (cm ²)	근내지방도 (No)
거세우	126	31.02 ±1.62	443.83 ±46.22	13.46 ±4.45	91.89 ±8.87	5.57 ±1.96
암소	108	47.65 ±12.99	363.09 ±44.16	13.21 ±4.73	88.55 ±9.16	3.99 ±1.71

± : 표준편차

③ 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 근내지방도(No)별 출현율(%)을 살펴본 결과 No 9는 거세우가 7.94%, 암소는 0.93%, No8은 거세우가 10.32%, 암소는 0.93% 그리고 No7과 No6은 거세우와 암소가 각각 12.70%와 25.40% 그리고 7.41%와 12.04%를 나타냈고 기타 No5 이하에서도 고른 출현을 보여 다양성을 볼 수 있었다(아래 표-5 참조).

〈표-5 : 공시축 근내지방도 결과〉

구분	두수	근내지방도(No)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
거세우	126	1 (0.79)	9 (7.14)	8 (6.35)	23 (18.25)	14 (11.11)	32 (25.40)	16 (12.70)	13 (10.32)	10 (7.94)
암소	108	4 (3.70)	19 (17.59)	25 (23.15)	22 (20.37)	15 (18.39)	13 (12.04)	8 (7.41)	1 (0.93)	1 (0.93)

() : 출현율(%)

④ 이상의 등급판정 결과와 도체형질 결과 및 근내지방도별 출현분포를 종합해보면 암소의 출하월령과 도체형질들은 거세우에 비해 상대적으로 불안정하고 낮은 값들을 나타내고 있다. 특히 1+ 이상육 출현율이 19.45%라는 점과 근내지방도(No) 평균이 3.99 ± 1.71 이라는 점을 고려하면 향후 육질등급(또는 근내지방도)과 올레인산 함량(%)을 결합한 새로운 소고기 품질기준을 제시할 때 여러 가지 선행과제들에 대해 많은 시간과 고민이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

⑤ 반면 거세우는 상대적으로 안정된 높은 값들을 보여주고 있어 향후 올레인산 함량(%)을 결합한 새로운 소고기 품질기준을 만들 때 유리할 것으로 사료되었다. 특히 1+ 이상육 출현율이 56.35%라는 점과 근내지방도(No) 평균이 5.57 ± 1.96 이라는 점 그리고 근내지방도(No) 6~9의 출현분포가 25.40:12.70:10.32:7.94로 적절하다는 점 등은 충분조건이 될 것으로 사료된다.

(나) 공시축 이화학적 올레인산 함량(%) 분석 결과

① 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 올레인산 함량(%) 분석과 함께 일반성분 함량(%)을 분석한 결과 수분, 조지방, 조단백질 및 조회분이 각각 거세우는 61.64 ± 3.68 , 16.74 ± 4.86 , 19.50 ± 1.31 , 0.85 ± 0.08 으로 나타났고 암소는 64.61 ± 3.17 , 12.60 ± 3.98 , 20.66 ± 1.03 및 0.89 ± 0.07 으로 나타나 거세우의 수분함량이 2.97% 낮고 조지방 함량이 4.14% 높은 것으로 나타났다(아래 표-6 참조).

② 이는 아래 표-7과 표-8의 도체형질과 일반성분과의 상관관계(r) 분석결과에 나타났듯이 근내지방도(No)와 높은 정(+)의 상관관계(거세우-0.867, 암소-0.839)를 갖고 있는 조지방 함량(%)이 상대적 비율관계를 가지고 있는 수분 함량(%)에 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다.

〈표-6 : 공시축 일반성분 분석결과〉

구분	두수	수분(%)	조지방(%)	조단백질(%)	조회분(%)
거세우	126	61.64±3.68	16.74±4.86	19.50±1.31	0.85±0.08
암소	108	64.61±3.17	12.60±3.98	20.66±1.03	0.89±0.07

± : 표준편차

〈표-7 : 거세우의 도체형질과 일반성분과의 상관관계(r)〉

구분	수분	조지방	조단백질	조회분
도체중	-0.252	0.222	-0.136	-0.083
등심단면적	-0.345	0.321	-0.285	-0.132
등지방두께	-0.242	0.217	-0.151	-0.126
근내지방도	-0.862	0.867	-0.835	-0.548

〈표-8 : 암소의 도체형질과 일반성분과의 상관관계(r)〉

구분	수분	조지방	조단백질	조회분
도체중	-0.209	0.186	-0.069	-0.169
등심단면적	-0.171	0.152	-0.057	-0.078
등지방두께	-0.224	0.174	-0.024	-0.018
근내지방도	-0.844	0.839	-0.735	-0.576

③ 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 올레인산 함량(%)을 분석한 결과 거세우가 50.34±2.42, 암소가 49.91±2.59 그리고 단일불포화지방산 함량(%)과 포화지방산 함량(%)은 거세우와 암소가 각각 55.62±2.60와 55.41±2.74 그리고 42.41±2.70와 42.64±2.75로 모두 ±1 SD에 포함돼 개체 간에 차이가 적음을 알 수 있었다(아래 표-9 참조).

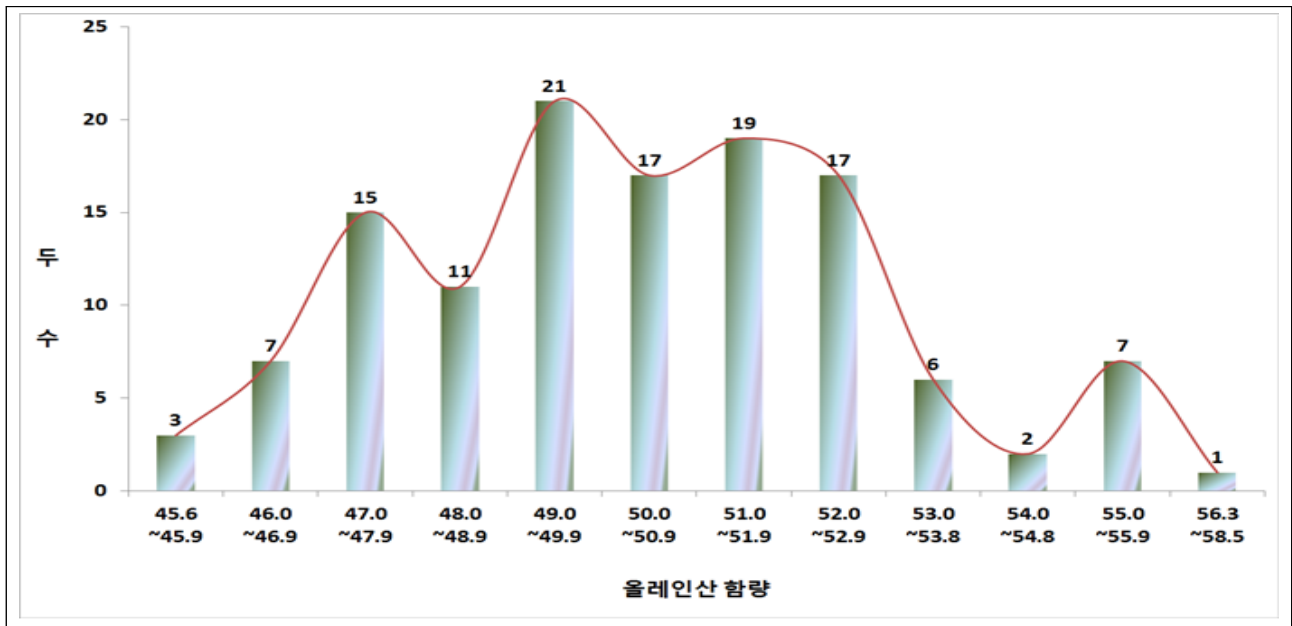
〈표-9: 공시축 지방산 분석결과〉

구분	두수	올레인산(%)	단일불포화(%)	포화지방산(%)
거세우	126	50.34±2.42	55.62±2.60	42.41±2.70
암소	108	49.91±2.59	55.41±2.74	42.64±2.75

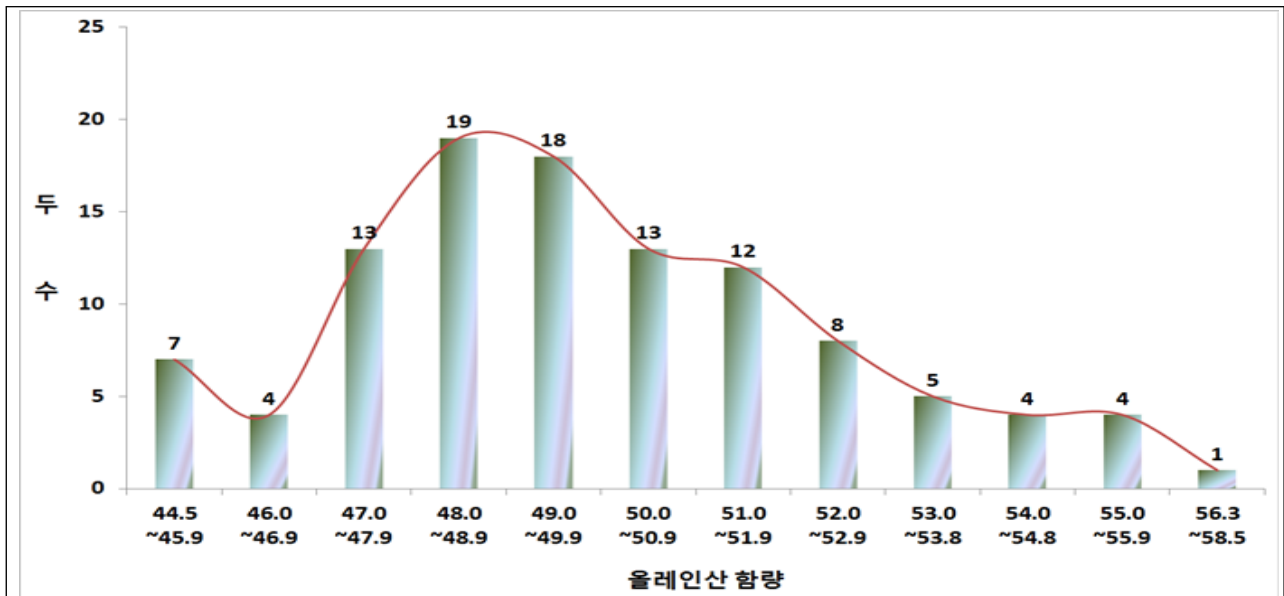
± : 표준편차

④ 그러나 올레인산 함량(%)의 최대값과 최소값의 차이를 살펴보면 거세우와 암소 모두 최대 14.0%의 함량 차이를 갖고 비정형 정규분포의 모습을 띄고 있어 차별화 가능성을 충분히 보여주고 있지만 새로운 고품질의 가치를 제시하고 차별화할 경우에는 올레인산 함량(%)의 기준점에 따라 어려움이 있을 것으로 보여진다(아래 그림-4와 그림-5 참조).

⑤ 예를 들어 올레인산 함량(%)의 차별화 기준점을 55.0% 이상으로 제시할 경우에는 약 4.0~6.0%의 출현율을 나타내 실용화에 여러 가지 어려움이 예상되지만 53% 이상을 제시할 경우에는 약 12.0%의 출현율을 나타내 실용화 가능성이 있을 것으로 사료된다.



〈그림-4 : 거세우의 올레인산 함량대별 출현 분포〉



〈그림-5 : 암소의 올레인산 함량대별 출현 분포〉

⑤ 따라서 거세우와 암소 모두 올레인산 함량(%) 만으로 새로운 품질기준을 만드는 것 보다 일본의 경우처럼 육질등급(또는 근내지방도)과 올레인산 함량(%)을 결합하는 것이 바람직할 뿐만 아니라 소비자들의 인식 향상에 도움이 될 것으로 사료된다. 일본의 주요사례를 살펴보면 근내지방도와 올레인산 함량에 기초한 차별화 기준을 적용하고 있으며 올레인산 함량(%)의 기준은 소고기의 맛 차이가 인지된다는 「평균함량(%) + 2.8%」를 적용하고 있다.

⑥ 이러한 점을 종합적으로 검토하면 새로운 차별화된 한우고기 품질 적용기준은 거세우에 대해서 육질 1+등급 이상육으로 제한하고 올레인산 함량(%)은 횡성축협한우의 경우 평균이 50.34%인 점을 감안하여 3.0%를 더한 53.0% 이상인 개체들에 한정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

라. 근적외선(NIR) 흡광도(값)를 얻기 위한 근적외선 조사 조건 설정

(1) 연구기간 : `19.03월~`19.07월

(2) 연구담당 : 축산연구원, 횡성축산업협동조합

(3) 연구환경 : 근적외선(NIR) 조사는 도축 후 약 4℃ 냉장실에서 12~24시간 현수된 좌반도체의 제13흉추와 제1요추 사이 피하지방에서 측정

(4) 연구내용

(가) 일본에서 실용화하고 있는 소고기 올레인산 함량 측정기(Fat analyser, FHK, 일본)와 관련 검량선(프로그램)을 접목하여 한우고기에 적용했을 때 실제 분석한 이화학적 결과와 상이한 결과를 가져와 한우와 우리나라 축산물등급판정 기준에 적합한 새로운 근적외선 조사위치와 조사부위 그리고 한우에 적합한 올레인산 함량(%) 측정 검량선이 마련돼야 함을 알 수 있었다(아래 표-10 참조).

<표-10 : 한우고기에 대한 일본 적용 기기 측정값과 실제 이화학적 분석값 비교>

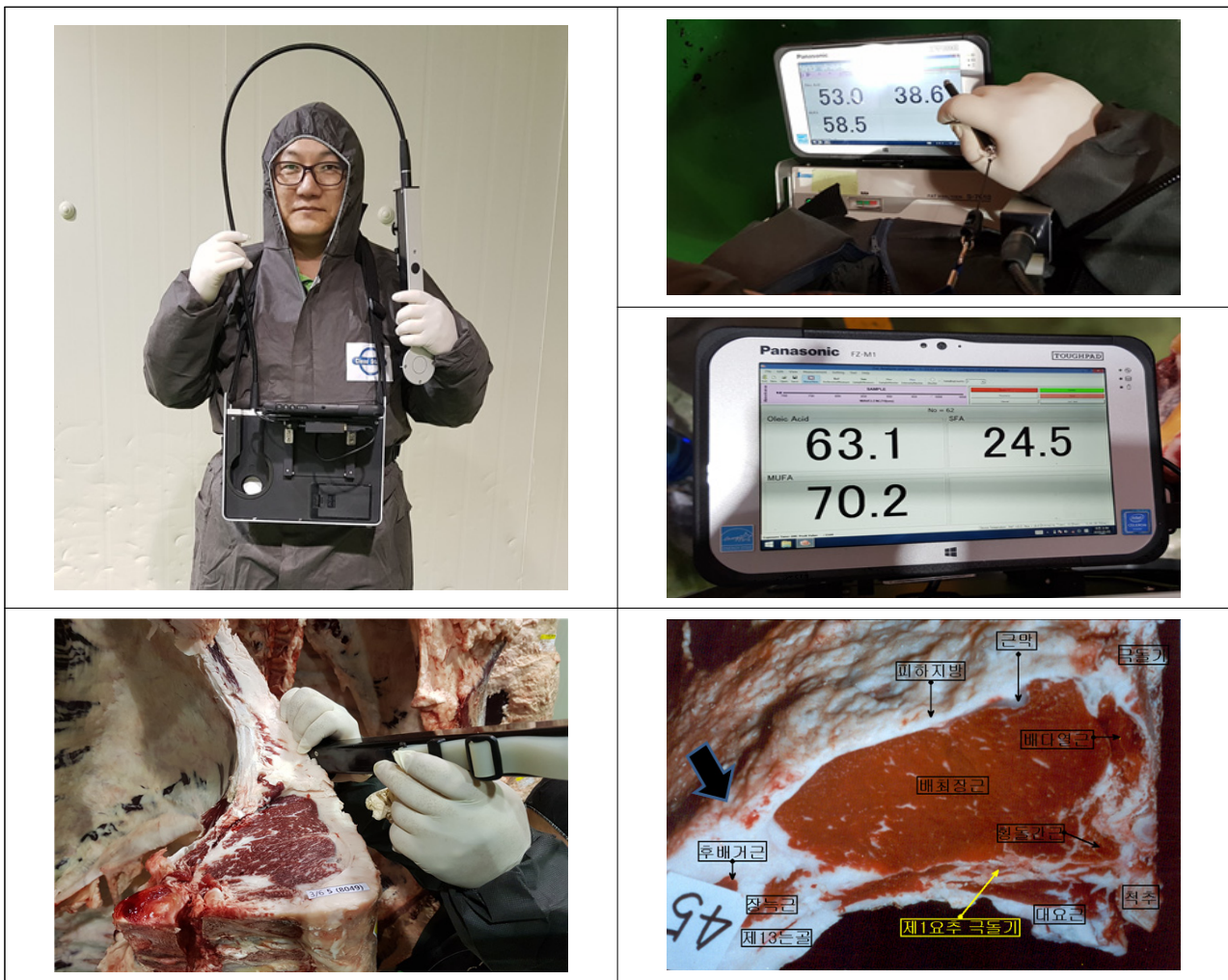
조사기준	두수	지방산 함량(%)		
		올레인산	단가불포화	포화지방산
일본 적용 기기값	234	56.42±2.432	62.66±2.75	33.89±3.29
이화학적 분석값	234	50.11±2.49	55.51±2.65	42.49±2.69

※ 일본기기값 : 일본(흑모화우) 제6~7흉추 근간지방에 기반해 개발된 검량선 적용값

※ 이화학적값 : 한국(횡성축협한우) 제13흉추~제1요추 등심으로 분석한 이화학적 값

(5) 연구결과

(가) 일본의 근적외선 조사위치(좌반도체 제6~7흉추)를 적용할 수 없는 상황을 감안하여 우리나라 축산물등급판정 세부기준(농림축산식품부고시 제2018-109호)을 기반으로 연구하였다. 조사위치는 좌반도체 제13흉추와 제1요추 사이의 등심(배최장근) 주위로 제한하였으며, 조사부위는 권장부위(근간지방의 직경이 3.0cm 이상이면서 깊이가 2.0cm 이상인 지방조직)의 발현이 불규칙하고 빈도수가 약 10% 미만으로 보다 안정적인 근적외선(NIR) 흡광도(값)를 얻기 위하여 아래 그림-6에서와 같이 등심(배최장근)과 후배거근 사이(화살표, ↓) 피하지방(표피 제거 후 조사)로 설정하였다.



〈그림-6 : 좌반도체 제13흉추~제1요추 사이 피하지방 근적외선 조사위치와 부위〉

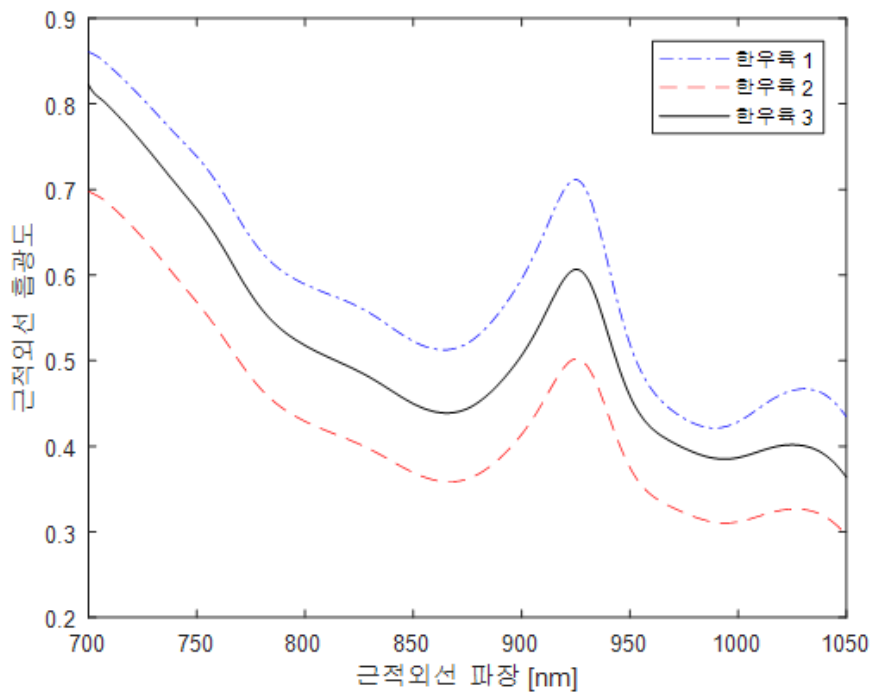
(나) 공시축 234두(거세우 126, 암소 108)에 대한 파장값 700~1,050nm 범위의 근적외선(NIR, Near Infra Red) 조사에 따른 흡광도(Abs. Absorbance)를 조사한 결과 주요 파장값(mm)에 대한 거세우와 암소 간에는 차이가 없었다. 그러나 주요 파장값(mm) 간의 흡광도(Abs. Absorbance) 차이는 0.757 ± 0.130 에서 0.344 ± 0.054 로 크게 나타났다(아래 표-11 참조).

(다) 이를 쉽게 이해하기 위하여 선형 그래프로 전환하면 아래 그림-7에서와 같이 700~1,050nm의 파장에 대해 일정한 형태의 파형(흡광도)를 나타낸다는 의미이다.

(라) 또한 이러한 파형의 형태는 개체간의 올레인산 함량(%) 차이에 따라 반응정도가 다르게 나타나는 것으로 알려졌다.

〈표-11 : 근적외선 주요 파장(nm)에 따른 흡광도(Abs.) 값〉

구분		두수	파장값(nm)							
			700	750	800	850	900	950	1000	1050
흡광도 (Abs.)	거세우	126	0.738 ±0.104	0.615 ±0.093	0.473 ±0.080	0.414 ±0.073	0.470 ±0.071	0.424 ±0.069	0.356 ±0.065	0.344 ±0.054
	압소	108	0.757 ±0.130	0.633 ±0.118	0.490 ±0.104	0.431 ±0.096	0.492 ±0.095	0.441 ±0.089	0.368 ±0.082	0.362 ±0.073



〈그림-7. 랜덤하게 선택된 세 한우육에 대한 근적외선 분광신호 파형〉

마. 올레인산 함량(%)에 기반한 한우고기에 대한 관능검사 실시

(1) 검사일시 : `19.08.20(화), 축산연구원

(2) 검사담당 : 축산연구원

(3) 시료선정

(가) `19.07월 초음파진단한 공시축 33두를 대상으로 초음파영상 특징 기반 (개발한) 올레인산 함량 측정 프로그램으로 올레인산 함량(%)을 측정한 후 올레인산 함량(%)과 관능적 근내지방도(Na) 등을 고려해 거세우 6두와 암소 6두를 선정하여 등심시료 약 2.0kg씩 채취하였다. 이 때 별도로 등심시료 약 1.0kg을 채취하여 이화학적 올레인산 함량(%) 분석을 실시하였다.

(나) 채취한 등심시료는 횡성축협한우의 「도축·가공·유통」 시스템에 준하여 -2 ~ 2℃의 냉장에서 약 20~30일 보관한 후 관능검사에 사용하였다. 이는 본 연구결과를 실용화할 때 실질적으로 소비자들이 맛 평가를 하는 시점과 같은 조건을 맞추기 위함이었다.

(4) 검사방법

(가) 평가방법은 시료에 대해 평가항목별로 좋아하는 정도를 표시하는 헤도닉 척도(Hedonic scale) 방법을 적용하였고, 시료의 가열처리는 약 1.5cm 두께로 준비된 등심을 (전기)프라이팬에 중간 정도로 익힌 후 향(후각), 다즙성, 연도, 맛(미각) 및 종합검사를 평가하였으며 만족도는 표-12에 서와 같이 1(극히 나쁨) ~ 9(극히 좋음)의 9단계를 적용하였다.

<표-12 : 관능검사 시 만족도 표시 기준>

기준	수준(만족도)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
내용	극히 나쁨	매우 나쁨	적당히 나쁨	약간 나쁨	좋지(x) 싫지(x)	약간 좋음	적당 좋음	매우 좋음	극히 좋음

(나) 검사요원은 표-13에서와 같이 총 18명(남-6, 여-12)이었으며 전체 평균연령은 28.2세 이었다.

<표-12 : 관능검사 시 만족도 표시 기준>

성별	인원수	평균연령
남	6	28.7
여	12	27.9
합계	18	28.2

(다) 검사요원들에 대한 주의사항 교육 및 예비 트레이닝은 검사 전일 실시하였으며 당일 검사는 브라인드 열처리(굽기)를 한 시료를 1x1x1cm³의 크기로 준비하여 평가하였다.



〈그림-8 : 관능검사 모습(사전교육, 시료, 굽기, 평가)〉

(5) 검사결과

(가) 올레인산 함량(%)에 따른 맛의 차이를 평가하기 위해 사용한 12두(거세우 6, 암소 6)의 육질등급은 거세우가 1++등급 1두, 1+등급 2두 그리고 나머지 3두는 모두 2등급으로 나타났다. 반면 암소는 1등급과 2등급이 각각 3두씩 나타났다. 이렇게 육질등급별 고른 시료분포를 띄지 못했던 이유는 도축 전 육질등급과 올레인산 함량(%)을 전혀 모르는 상태에서 초음파영상에 기반한 육질등급과 올레인산 함량(%)만을 갖고 샘플링한 한계요인 때문이었다(아래 표-13 참조).

(나) 관능검사 시료 12두(거세우 6, 암소 6) 전체에 대한 향(후각), 다즙성, 연도, 맛(미각) 및 종합검사의 만족도(점)는 각각 6.30 ± 1.50 , 6.31 ± 1.68 , 6.14 ± 1.83 , 6.43 ± 1.66 및 6.48 ± 1.61 로 나타나 모든 항목에 있어서 약간 좋음의 평을 가져왔다. 그러나 성별에 있어서는 거세우가 모든 항목에 있어서 암소보다 약 0.68(향)~0.89점(종합검사) 높은 점수를 받아 거세우의 맛이 조금 더 나은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 사실에 대해서는 맛에 영향을 주는 성, 나이 및 근내지방도 등을 함께 고려해야하기 때문에 단순 결론을 내리기에는 위험할 것으로 사료된다(아래 표-13 참조).

〈표-13 : 공식축 12두의 육질등급과 관능검사 평가결과〉

성별	시료	육질등급	만족도(점수)				
			향(후각)	다즙성	연도	맛(미각)	종합검사
거세우	A	1+	7.61 ±1.11	7.33 ±1.45	6.78 ±1.78	7.83 ±1.21	7.67 ±1.15
	D	1+	6.39 ±1.34	5.72 ±2.02	5.89 ±1.97	6.44 ±1.67	6.33 ±1.67
	E	1++	6.78 ±1.27	6.72 ±1.41	6.22 ±1.81	6.89 ±1.33	6.94 ±1.47
	H	2	6.12 ±1.41	6.65 ±1.41	6.59 ±1.24	6.76 ±1.39	6.76 ±1.21
	I	2	6.18 ±1.38	6.76 ±1.59	6.88 ±1.08	6.12 ±1.74	6.65 ±1.45
	L	2	6.71 ±1.52	6.82 ±1.50	7.18 ±1.58	6.94 ±1.21	7.18 ±1.38
소계		6	6.64 ±1.44	6.67 ±1.65	6.58 ±1.67	6.84 ±1.54	6.92 ±1.46
암소	B	1	6.44 ±1.30	6.50 ±1.67	6.17 ±1.95	6.28 ±1.79	6.33 ±1.45
	C	1	6.44 ±1.17	6.17 ±1.61	6.39 ±1.70	6.83 ±1.46	6.72 ±1.45
	F	1	6.29 ±1.23	6.47 ±1.42	6.41 ±1.19	6.12 ±1.45	6.53 ±1.33
	G	2	5.44 ±1.46	4.89 ±1.33	4.33 ±1.67	5.17 ±1.38	5.06 ±1.51
	J	2	5.65 ±1.78	5.71 ±1.49	5.35 ±2.00	5.94 ±1.86	5.71 ±1.74
	K	2	5.47 ±1.54	6.00 ±1.61	5.53 ±1.65	5.82 ±1.54	5.82 ±1.65
소계		6	5.96 ±1.49	5.95 ±1.62	5.70 ±1.87	6.03 ±1.67	6.03 ±1.63
전체		12	6.30 ±1.50	6.31 ±1.68	6.14 ±1.83	6.43 ±1.66	6.48 ±1.61
비교 (거세우-암소)		-	0.68	0.72	0.88	0.81	0.89

(나) 올레인산 함량(%)과 관능검사 항목[향(후각), 다즙성, 연도, 맛(미각), 종합검사]과의 상관관계(r)를 살펴본 결과, 거세우 6두와 암소 6두를 합한 전체의 경우에는 올레인산 함량(%)이 연도(-0.08)를 제외한 모든 항목에서 0.13~0.39의 정(+)의 상관관계를 나타낸 반면, 암소 6두에 있어서는 향(후각)(0.01)과 다즙성(0.22)에서 정(+)의 상관을 그리고 연도(-0.04), 맛(미각)(-0.16) 및 종합검사(-0.14)에서는 부(-)의 상관을 나타냈다. 그러나 거세우 6두에 있어서는 연도(-0.36)를 제외한 모든 항목에서 0.25~0.81의 정(+)의 상관관계를 나타냈고, 특히 향(후각)(0.81)과 맛(미각)(0.62) 그리고 근내지방도(0.88)에서의 상관수준은 의미가 있을 것으로 사료된다(아래 표-14, -15, -16 참조).

〈표-14 : 12두(거세우 6, 암소 6)에 대한 지방산과 관능검사 항목과의 상관관계(r)〉

구분	향 (후각)	다즙성	연도	맛 (미각)	종합검사	근내 지방도
올레인산	0.39	0.23	-0.08	0.23	0.13	0.56
포화지방산	-0.36	-0.19	0.12	-0.19	-0.09	-0.54
불포화지방산	0.36	0.19	-0.12	0.19	0.09	0.54
-단가	0.34	0.15	-0.16	0.16	0.06	0.53

※ 올레인산(C18:1n9)

〈표-15 : 거세우 6두에 대한 지방산과 관능검사 항목과의 상관관계(r)〉

구분	향 (후각)	다즙성	연도	맛 (미각)	종합검사	근내 지방도
올레인산	0.81	0.25	-0.36	0.62	0.47	0.88
포화지방산	-0.82	-0.29	0.27	-0.58	-0.49	-0.82
불포화지방산	0.82	0.29	-0.27	0.58	0.49	0.82
-단가	0.81	0.27	-0.29	0.58	0.47	0.83

※ 올레인산(C18:1n9)

〈표-16 : 암소 6두에 대한 지방산과 관능검사 항목과의 상관관계(r)〉

구분	향 (후각)	다즙성	연도	맛 (미각)	종합검사	근내 지방도
올레인산	0.01	0.22	-0.04	-0.16	-0.14	-0.16
포화지방산	0.04	-0.20	0.07	0.17	0.17	0.23
불포화지방산	-0.04	0.20	-0.07	-0.17	-0.17	-0.23
-단가	-0.04	0.17	-0.08	-0.18	-0.19	-0.23

※ 올레인산(C18:1n9)

바. 근적외선으로부터 올레인산 함량 측정

(1) 서론

(가) 본 연구에서는 도체(car carcass)의 근적외선 분광신호로부터 올레인산(oleic acid) 함량을 산출할 수 있도록 하는 한우의 올레인산 함량 산출 방법을 개발하였다.

(나) 근적외선 분광기에서 얻은 분광신호를 이용하여 성분을 분석하거나 품질을 평가하는 기술은 이미 다양한 분야에서 오래전부터 활용되어 오고 있다. 특히, 축산에서는 사료의 성분 모니터링을 위해 사용되고 있고, 물을 먹인 소고기 판별에 적용된 사례가 있다. 또한, 일본(돗토리현 포함 7개 현)에서는 화우(Wagyu)의 근내지방도 뿐만 아니라 소고기의 풍미와 관련 있는 올레인산 함량이 높은 육질에 대해 프리미엄 브랜드를 붙여 고가로 판매하는 전략으로 큰 성과를 거두고 있다.

(다) 현재 일본에서 사용되는 근적외선 분광신호로부터 화우고기 육질의 올레인산 함량 산출법은 일본의 소고기 육질판정 기준에 준하여 적용하고 있다. 일본의 소고기 육질판정을 위한 표준 조사위치는 제6흉추와 제7흉추사이 부위이므로, 육질을 판정하는 과정에서 근적외선 분광기 센서를 이 부위의 근간지방 (intermuscular fat) 영역에 대고 올레인산 함량을 측정하고 있다.

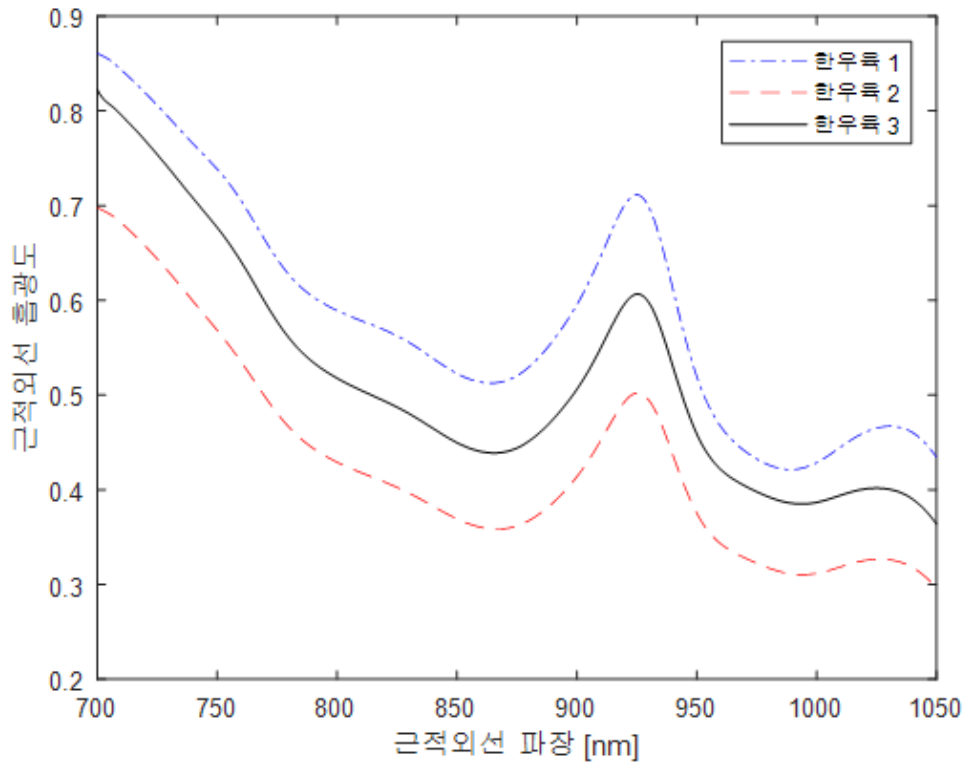
(라) 그러나 품종이 다른 한우(Hanwoo) 고기의 육질판정을 위한 표준 조사위치는 제13흉추와 제1요추사이의 부위이어서 근적외선 분광기 센서가 위치할 충분한 근간 지방 영역을 찾기가 어려운 관계로 대신 피하지방 영역에 대고 올레인산 함량을 산출하게 된다.

(마) 이에, 국내 표준 소고기 육질판정 과정에 따라 제13흉추~제1요추 부위의 올레인산 함량을 산출하되, 올레인산 함량 산출의 정확도를 높일 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다. 본 연구와 관련된 선행기술로는 한국등록특허 제10-0930883호 (2009. 12. 10. 공고, 초음파 영상으로부터 육질의 지방함량 산출 방법)가 있다. 본 연구는 상기와 같은 문제점들을 개선하기 위하여, 국내 표준 소고기 육질판정 과정에 따라 제13흉추~제1요추 부위의 올레인산 함량을 산출하되 올레인산 함량 산출의 정확도를 높일 수 있는 한우의 올레인산 함량 산출 방법을 제시하였다.

(2) 올레인산 함량 측정을 위한 근적외선 특징 추출

(가) 본 연구에서는 근적외선 분광신호로부터 특징을 추출하여 올레인산 함량을 측정하는 방법을 개발하였다. 신호 자체를 특징으로 사용하는 방법과 히스토그램 기반법외에도 미분형 가우시안을 사용한 방법과 DCT를 이용한 방법을 새로이 제시하였다.

(나) 아래 그림-9는 랜덤하게 선택된 세 한우육에 대한 근적외선 분광신호 파형을 나타낸 것이다. 즉, 근적외선 분광신호는 700nm~1,050nm에 대한 흡광도인 351 차원의 벡터로 구성된다.



〈그림-9 : 랜덤하게 선택된 세 한우육에 대한 근적외선 분광신호 파형〉

(다) 미분형 가우시안 기반법은 다음과 같이 근적외선 분광신호를 미분형 가우시안 함수와 상승 적분한 결과를 특징으로 한다.

$$DGauss(k) = \nabla G(k) * x(k)$$

여기서, $x(k)$ 는 근적외선 분광신호를 나타내고, $\nabla G(k)$ 는 다음과 같은 미분형 가우시안 함수를 나타낸다.

$$G(k) = -\frac{x}{\sigma^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right]$$

(라) DCT를 이용한 특징 추출법에서는 다음과 같이 근적외선 분광신호를 DCT 변환한 후 그 절대 계수값을 특징으로 한다.

$$c(k) = |DCT[x(k)]|$$

여기서, DCT는 DCT 변환을 나타내고, $|\cdot|$ 는 절대치 연산을 나타낸다.

(마) 이렇게 추출한 특징들은 다음과 같이 특징벡터를 구성한다.

$$\mathbf{f} = [f_1, f_2, \dots, f_N]^T$$

여기서, \mathbf{f} 는 특징벡터를 나타내고, f_i 는 특징벡터의 각 성분, N 은 특징벡터의 차원을, 그리고 T 는 벡터의 행과 열을 바꾸는 전치 (transpose)를 나타낸다.

(3) 올레인산 함량 측정을 위한 선형회귀

(가) 선형회귀법에서는 특징벡터 \mathbf{f} 와 파라미터 벡터 (parameter vector) \mathbf{b} 와의 내적 연산으로 추정 대상을 산출한다. 즉, 본 장에서는 추정 대상인 한우육의 올레인산 함량을 다음과 같이 산출한다.

$$\hat{y} = \mathbf{f}^T \mathbf{b} = b_0 + b_1 f_1 + b_2 f_2 + \dots + b_N f_N$$

여기서, \hat{y} 는 추정된 올레인산 함량, b_i 는 파라미터 벡터의 각 성분을 나타낸다. 그리고 b_0 는 바이어스와 관련된 성분을 나타내며, f_0 는 $f_0=1$ 인 것으로 가정한다.

(나) 파라미터 벡터 \mathbf{b} 는 다음과 같이 훈련집합 내의 많은 특징벡터들 f_i 로 구성된 특징행렬 \mathbf{F} 와 훈련집합 내에 있는 추정 대상 벡터 \mathbf{y} 로부터 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{\mathbf{b}} = (\mathbf{F})^{-1} \mathbf{y} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{y}$$

여기서, \mathbf{F} 는 $\mathbf{F} = [f_1, f_2, \dots, f_M]^T$ 로서 특징벡터 f_i 들로 구성된 행렬이다. 그리고 추정 대상 벡터 \mathbf{y} 는 $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_M]^T$ 을 나타내며, M 은 훈련 데이터의 개수를 나타낸다.

(다) 추정 대상 벡터 선형회귀가 잘 되었는지의 여부는 다음과 같은 결정계수 (coefficient of determination)와 상관계수(correlation coefficient)를 사용한다.

$$R^2 = 1 - \frac{E[(\hat{y} - y)^2]}{\sigma_y^2}$$

$$\rho = \frac{E[(\hat{y} - E[\hat{y}])(y - E[y])]}{\sigma_{\hat{y}} \sigma_y}$$

여기서, E 는 기대치 (expectation), y 는 추정 대상이 되는 실제 올레인산 함량, 그리고 \hat{y} 는 추정된 올레인산 함량을 나타낸다. 또한, $\sigma_{\hat{y}}$ 및 σ_y 는 각각의 표준편차를 나타낸다.

(4) 연구결과 및 고찰

(가) 올레인산 함량 추정

① 본 연구에서는 2019년 3월에 한우 183두(암소 73두, 거세우 110두)로부터 수집된 351차원의 근적외선 분광신호에 대해서, 신호 자체, 히스토그램, 미분형 가우시안, DCT를 각각 사용하여 얻은 특징벡터를 이용하여 한우의 올레인산을 추정하고, 그 성능을 검토하였다. 또한, 미분형 가우시안에서 표준편차는 1로 선택하였다.

② 이 때, 훈련 데이터의 개수가 183개이므로 추정 대상 벡터의 최대 차원 M 은 $M=183$ 을 의미한다. 선형회귀법에 근거하여 추정 대상을 추정할 때, 특징벡터의 차원 N 은 $N < M$ 이어야 한다. 본 연구에서 특징벡터의 차원 N 은 훈련데이터 183개의 90% 근처인 160 이하로 선택되었다.

③ 근적외선 분광신호의 특성을 주의 깊게 관찰한 결과, 900nm~1,020nm주위의 파형이 선형 회귀에 큰 영향을 미치는 곳으로 판단되었다. 따라서, 이후 실험에서는 $(1,020 - N + 1)\text{nm} \sim 1,020\text{nm}$ 신호를 대상으로 하였다.

④ 아래 그림-10은 DCT 특징, 미분형 가우시안 특징과 함께 신호 자체를 특징으로 하는 방법과 히스토그램 기반법의 네 가지 방법들에 대하여 특징의 차원을 변화시켜 가면서 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율을 측정한 결과들이다. 여기서 두 부류는 올레인산 함량 53%를 기준으로 그 이상인지 그 이하인지의 두 부류를 말한다. 이 때 올레인산 함량(%)의 차별화 기준은 53%로 결정하였으며, 그 이유로는 일본 「돗토리 화우 올레 55」의 경우, 평균값인 52%에 3.0%를 더한 55%를 기준으로 결정한 점을 감안하였다. 中川 陸(2011)에 의하면 사람이 미각으로 식별할 수 있는 올레인산 함량(%)의 차이는 2.8%로 되어있다고 보고한 자료에 근거하였다.

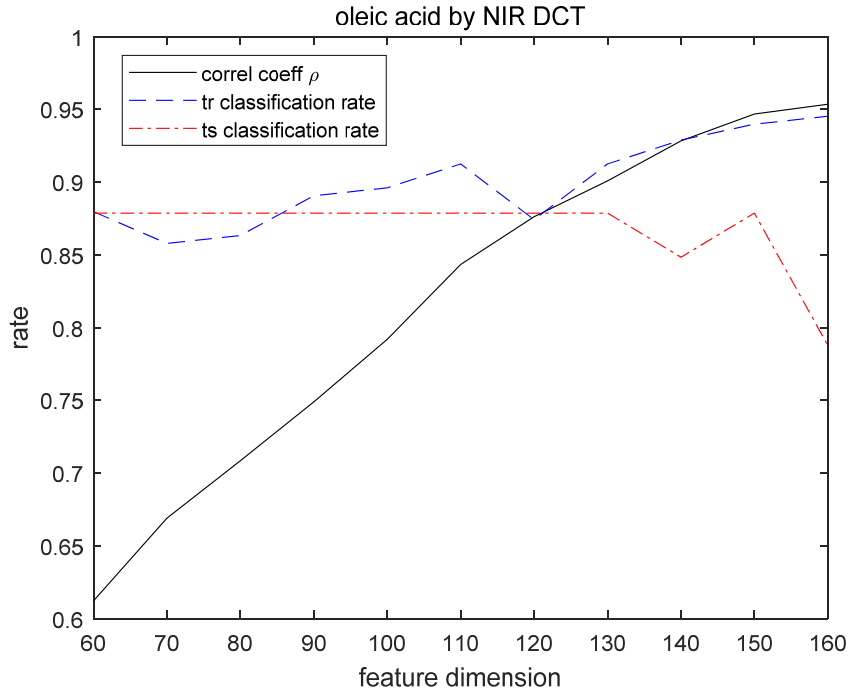
⑤ 네 가지 방법들에 대한 성능이 대체로 특징차원이 $N=130$ 인 경우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 이후 실험에서는 특징차원 $N=130$ 인 경우에 대해서 검토하기로 한다.

⑥ 아래 그림-11은 본 연구에서 제시한 DCT 특징을 사용한 올레인산 함량 산출 결과를 나타내는 그래프이다. 가로축은 실제 올레인산 함량을 나타내고, 세로축은 추정된 올레인산 함량을 나타낸다. 대부분 검량선 근처에 몰려 있어 올레인산 함량 추정이 잘 되었음을 볼 수 있다. 또한, 추정이 얼마나 잘 되었는가를 나타내는 척도로는 결정계수 R^2 와 상관계수 ρ 를 사용하였는데, 이 두 값들이 1에 가까울수록 좋은 결과임을 말해준다. DCT 특징에 의한 결과로는 $R^2=0.8117$, $\rho=0.9009$ 로 두 값 모두 1에 가까워 함량 산출 정확도가 높음을 알 수 있다.

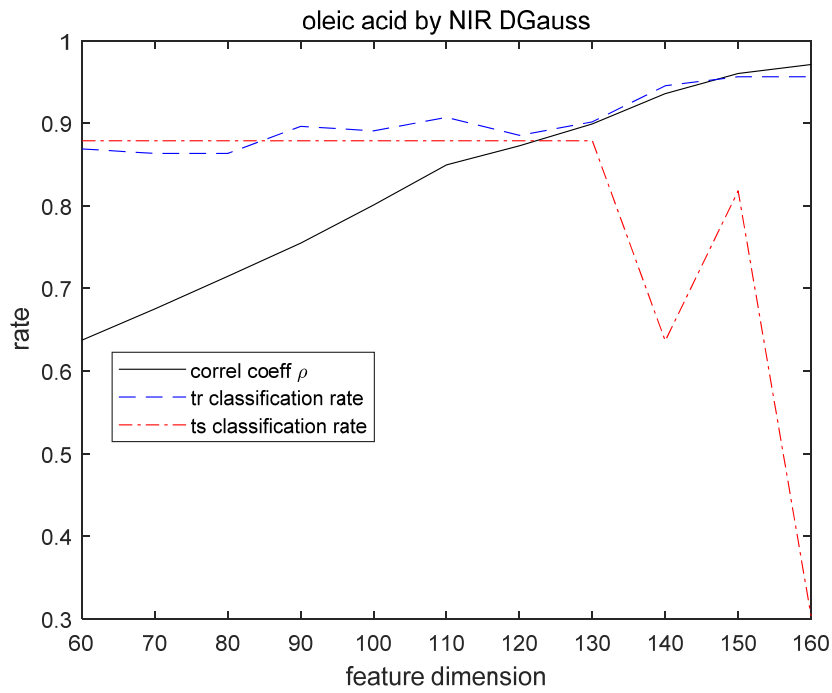
⑦ 아래 표-17은 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 올레인산 함량 추정 성능을 비교한 것이다. 여기서 교차검증(cross validation)[5]은 LOOCV(leave-one-out cross validation)을 사용하였다. 통계에서 교차검증은 훈련 데이터 외의 새로운 데이터가 주어졌을 때의 훈련 데이터를 기반으로 한 추정의 안정성이 얼마나 되는지를 조사하는 데 흔히 사용된다.

⑧ 또한, 테스트 데이터는 앞의 183두와는 다르게 2019년 7월에 33두의 한우로부터 수집되었다. 여기서 결정계수 및 상관계수는 DCT 특징의 경우 가장 높음을 알 수 있다. 신호자체 및 미분형 가우시안의 경우에도 다소 떨어지지만 아주 근접한 성능을 보임을 알 수 있다. 교차검증 상관계수의 경우, 훈련 데이터에 대한 상관계수에 비해 네 가지 특징 모두 많이 떨어지는 것을 볼 수 있어 새로운 테스트 데이터에 대한 추정성능이 훈련 데이터의 경우와 유사한 성능을 기대하기 어려움을 의미한다. 테스트 데이터에 대한 상관계수가 교차검증에서 기대된 바와 같이 교차검증의 경우보다는 높지만 훈련 데이터의 경우보다 다소 떨어짐을 볼 수 있다.

⑨ 아래 표-18은 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 올레인산 함량 산출 성능을 비교한 것이다. 여기서 세 부류 오차율은 올레인산 함량이 53%보다 큰 경우, 48% ~ 53%의 경우, 48%이하의 경우로 분류했을 때의 오차율을 의미한다. 두 부류 오차율의 경우 신호 자체를 특징으로 하는 방법이 제일 좋아 7.65%이며, 테스트 데이터에 대한 오차율은 신호자체, 미분형 가우시안, DCT의 경우 다 같이 12.12% 다소 떨어진다. 그러나 세 부류 오차율은 두 부류 오차율에 비해 두 배이상 증가하며 테스트 데이터의 경우는 인식 불가할 정도로 50% 이상으로 나타났다.

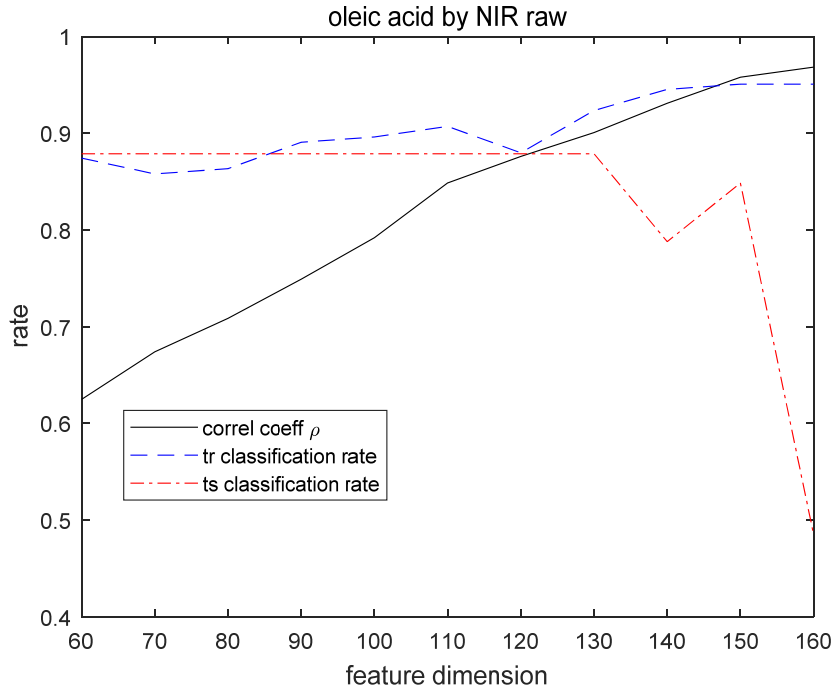


(a) DCT 특징

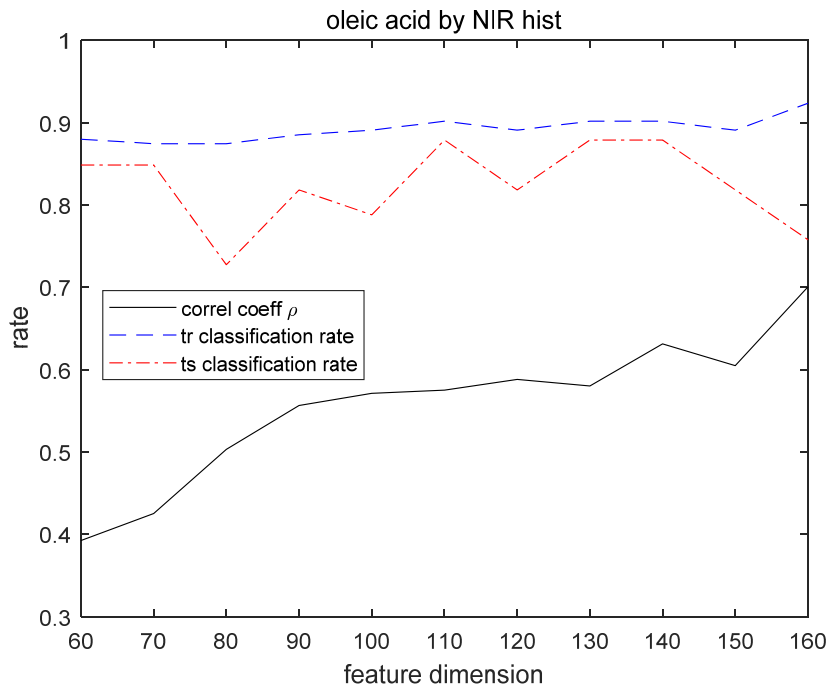


(b) DGauss (미분형 가우시안)

<그림-10 : 근적외선 특징 차원에 따른 올레인산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>

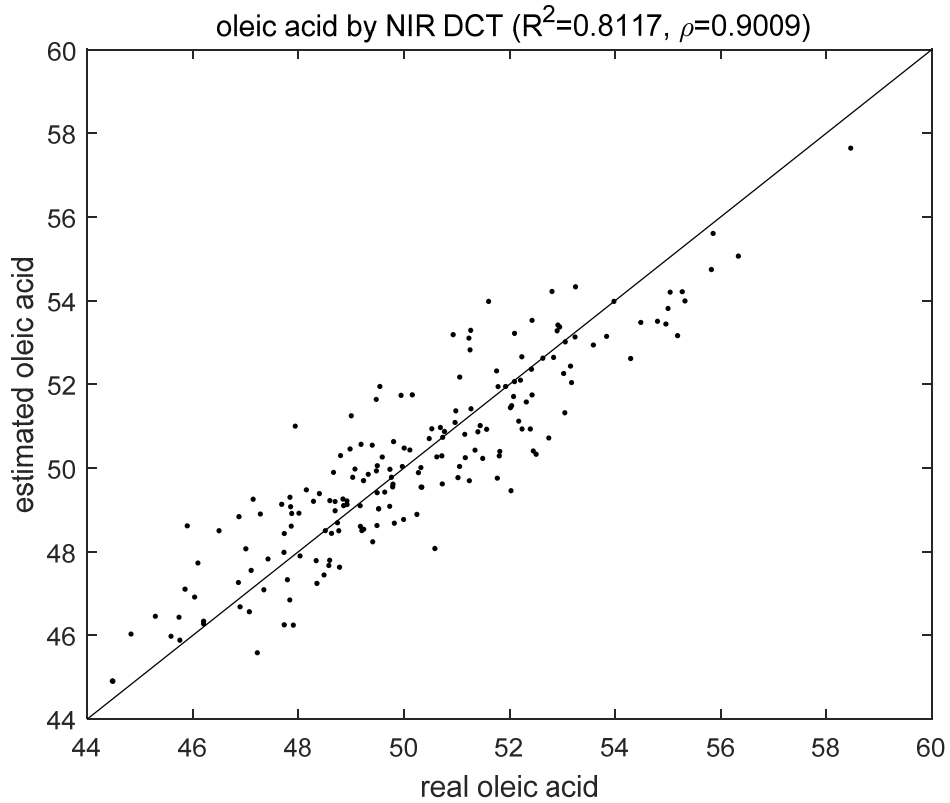


(c) 신호 자체 특징



(d) 히스토그램 특징

<그림-10(연속) : 근적외선 특징 차원에 따른 올레인산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>



〈그림-11 : 183두의 실제 올레인산 함량에 대한 근적외선 DCT 특징 기반 추정 올레인산 함량 그래프〉

〈표-17 : 다양한 NIR 특징들의 올레인산 추정 성능〉

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	결정계수 R^2	상관계수 ρ	교차검증 상관계수 ρ_{CV}	테스트 상관계수 ρ_{ts}
히스토그램	130	0.3363	0.5800	0.0491	0.3393
신호 자체	130	0.8112	0.9007	0.1536	0.4710
DGauss	130	0.8086	0.8992	0.1580	0.5465
DCT	130	0.8117	0.9009	0.1533	0.2919

<표-18 : 다양한 NIR 특징들의 올레인산 추정시 분류 오차율>

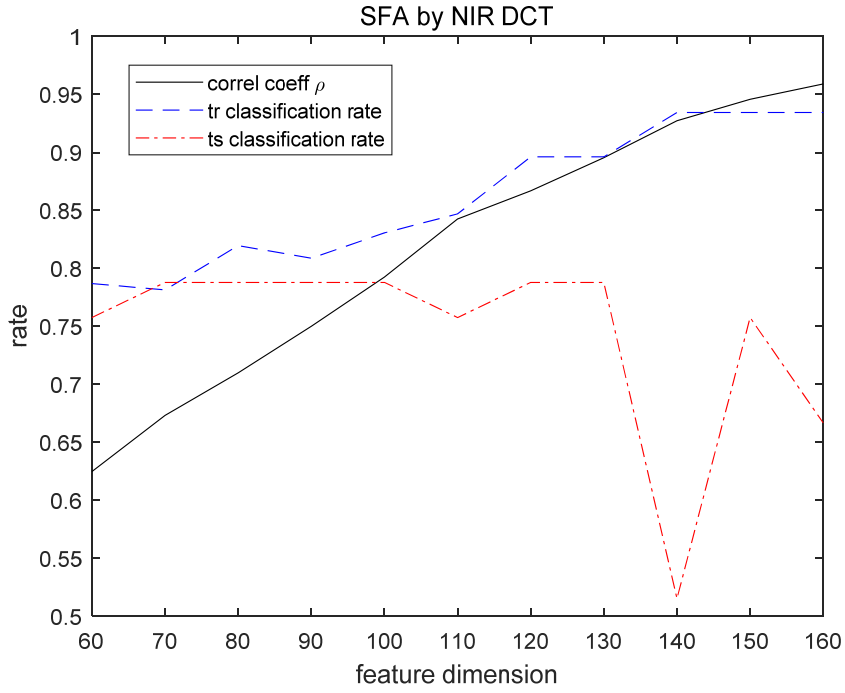
특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	두 부류 오차율	테스트 두 부류 오차율	세 부류 오차율	테스트 세 부류 오차율
히스토그램	130	0.0984	0.1212	0.2568	0.4848
신호 자체	130	0.0765	0.1212	0.1803	0.7273
DGauss	130	0.0984	0.1212	0.2131	0.7273
DCT	130	0.0874	0.1212	0.1967	0.7273

(나) 포화지방산(SFA) 함량 추정

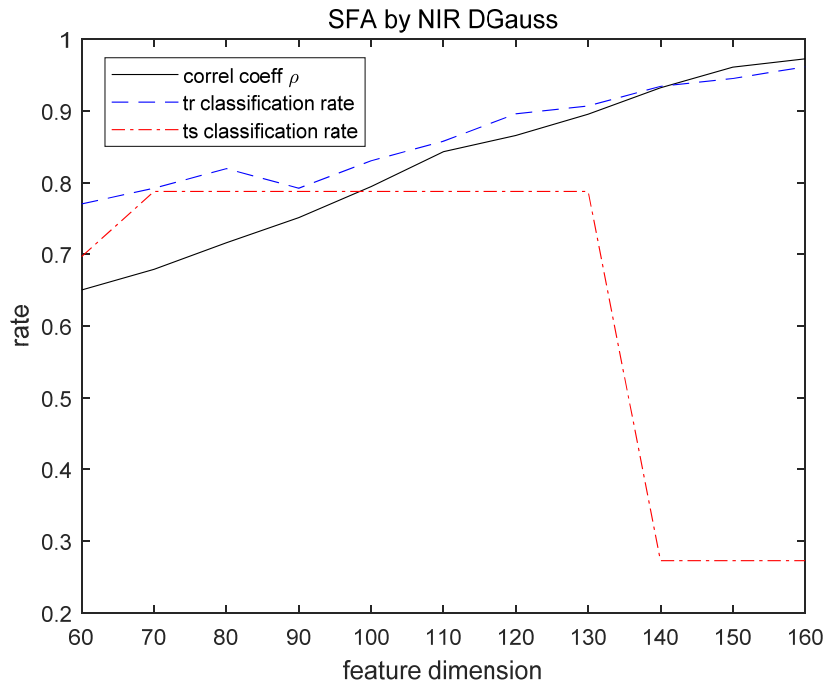
① 포화지방산의 경우, 두 부류 분류는 포화지방산 함량 43%를 기준으로 하였고, 세 부류 분류는 38%, 43%를 기준으로 하였다. 아래 그림-12는 DCT 특징, 미분형 가우시안 특징과 함께 신호 자체를 특징으로 하는 방법과 히스토그램 기반법의 네 가지 방법들에 대하여 특징의 차원을 변화시켜 가면서 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율을 측정한 결과들이다. 네 가지 방법들에 대한 성능이 대체로 특징차원이 N=130인 경우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 이후 실험에서는 특징차원 N=130인 경우에 대해서 검토하기로 한다.

② 아래 그림-13은 본 연구에서 제시한 DCT 특징을 사용한 포화지방산 함량 산출 결과를 나타내는 그래프이다. 가로축은 실제 포화지방산 함량을 나타내고, 세로축은 추정된 포화지방산 함량을 나타낸다. 대부분 검량선 근처에 몰려 있어 포화지방산 함량 추정이 잘 되었음을 볼 수 있다. DCT 특징에 의한 결과로는 $R^2=0.8018$, $\rho=0.8954$ 로 두 값 모두 1에 가까워 올레인산 함량 측정의 경우와 유사하게 포화지방산 함량 산출 정확도가 높음을 알 수 있다.

③ 아래 표-19는 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 포화지방산 함량 추정 성능을 비교한 것이다. 여기서 결정계수 및 상관계수는 신호 자체 특징의 경우 가장 높음을 알 수 있다. DCT 및 미분형 가우시안의 경우에도 다소 떨어지지만 아주 근접한 성능을 보임을 알 수 있다. 교차검증 상관계수의 경우, 훈련 데이터에 대한 상관계수에 비해 네 가지 특징 모두 많이 떨어지는 것을 볼 수 있어 새로운 테스트 데이터에 대한 추정 성능이 훈련 데이터의 경우와 유사한 성능을 기대하기 어려움을 의미한다. 테스트 데이터에 대한 상관계수가 교차 검증에서 기대된 바와 같이 떨어짐을 볼 수 있다.

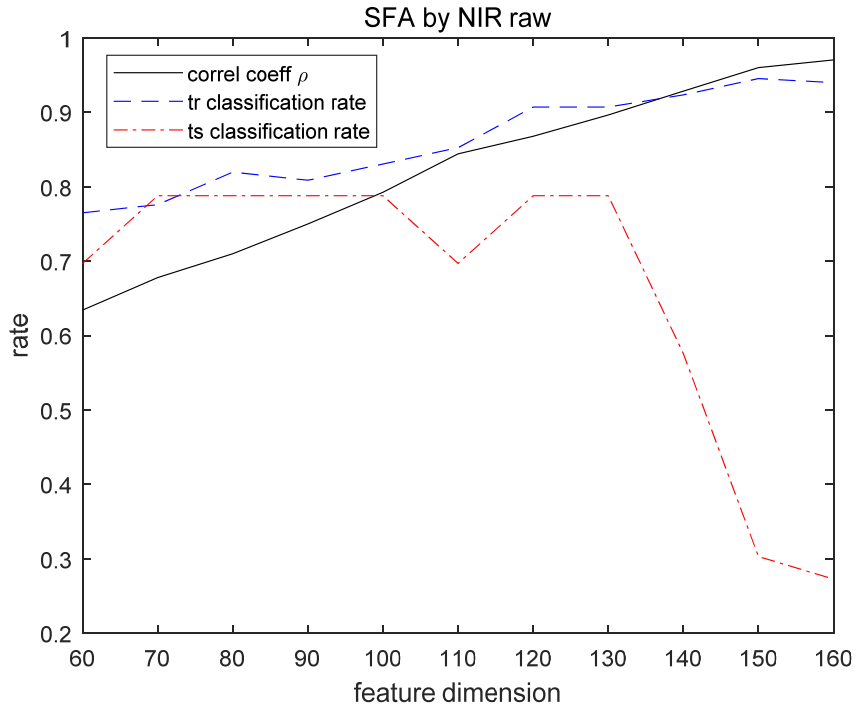


(a) DCT 특징

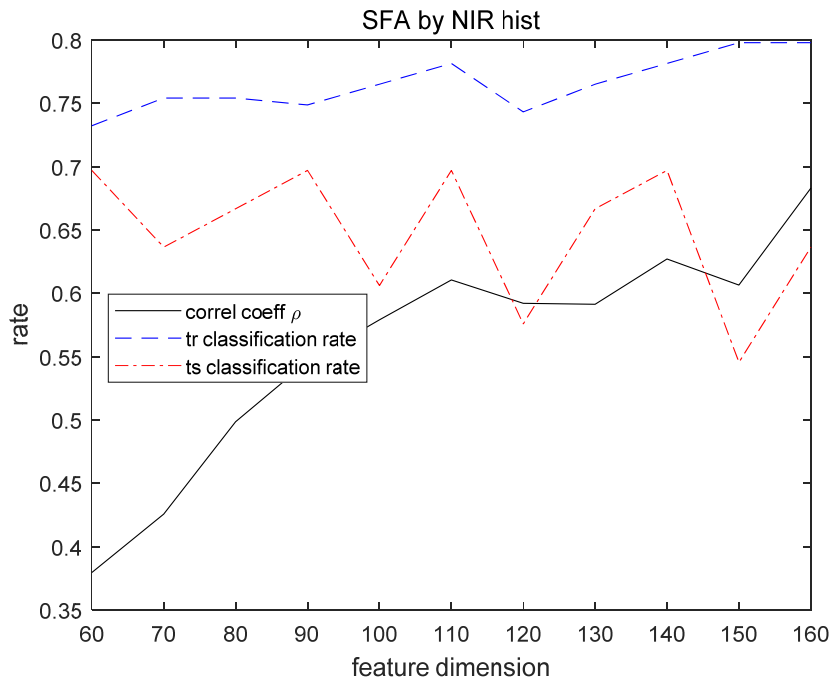


(b) DGauss (미분형 가우시안)

<그림-12 : 근적외선 특징 차원에 따른 포화지방산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>

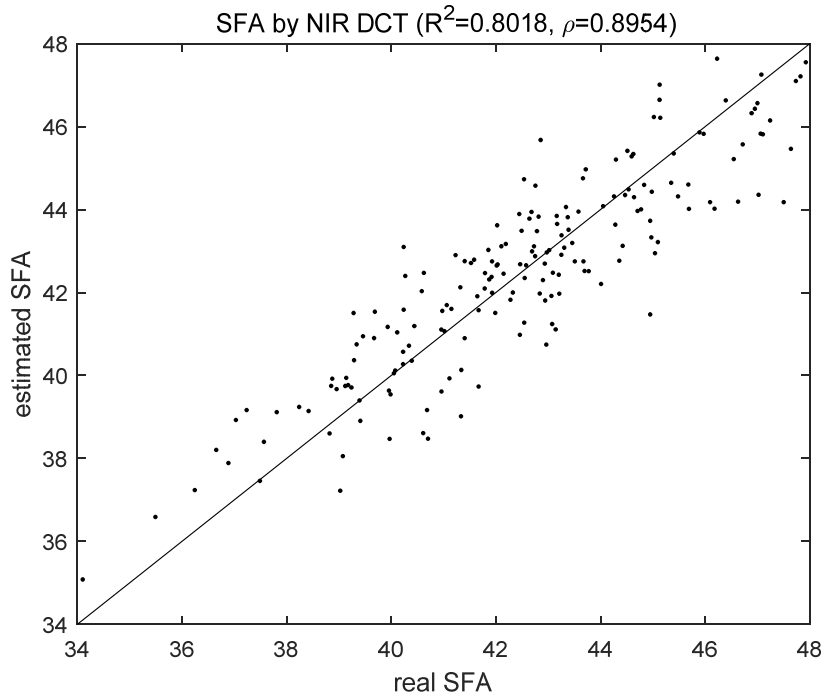


(c) 신호 자체 특징



(d) 히스토그램 특징

<그림-12(연속) : 근적외선 특징 차원에 따른 포화지방산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>



〈그림-13 : 183두의 실제 포화 지방산 함량에 대한 근적외선 DCT 특징 기반 추정 포화 지방산 함량 그래프〉

〈표-19 : 다양한 NIR 특징들의 포화 지방산 추정 성능〉

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	결정계수 R^2	상관계수 ρ	교차검증 상관계수 ρ_{CV}	테스트 상관계수 ρ_{ts}
히스토그램	130	0.3496	0.5913	-0.1283	0.1703
신호자체 (raw)	130	0.8038	0.8965	0.1518	0.2940
DGauss	130	0.8022	0.8956	0.1580	0.4915
DCT	130	0.8018	0.8954	0.1497	-0.0381

④ 아래 표-20은 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 포화지방산 함량 산출 성능을 비교한 것이다. 두 부류 오차율의 경우, 미분형 가우시안 특징 방법이 제일 좋아 9.29%이며, 테스트 데이터에 대한 오차율은 신호자체, 미분형 가우시안, DCT의 경우 다 같이 21.21%로 많이 떨어진다. 또한, 세 부류 오차율은 두 부류 오차율에 비해 두 배이상 증가하며 테스트 데이터의 경우는 인식 불가할 정도로 50%에 가깝게 나타났다.

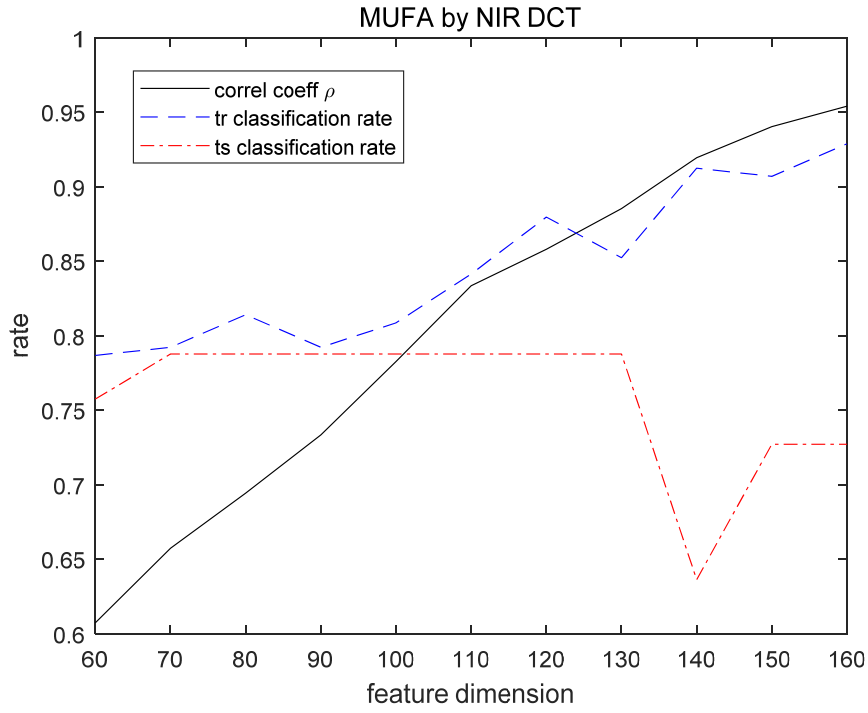
〈표-20 : 다양한 NIR 특징들의 포화 지방산 추정시 분류 오차율〉

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	두 부류 오차율	테스트 두 부류 오차율	세 부류 오차율	테스트 세 부류 오차율
히스토그램	130	0.2350	0.3333	0.3060	0.4545
NIR 신호자체 (raw)	130	0.0929	0.2121	0.2022	0.4848
DGauss	130	0.0929	0.2121	0.1639	0.4848
DCT	130	0.1038	0.2121	0.1967	0.4848

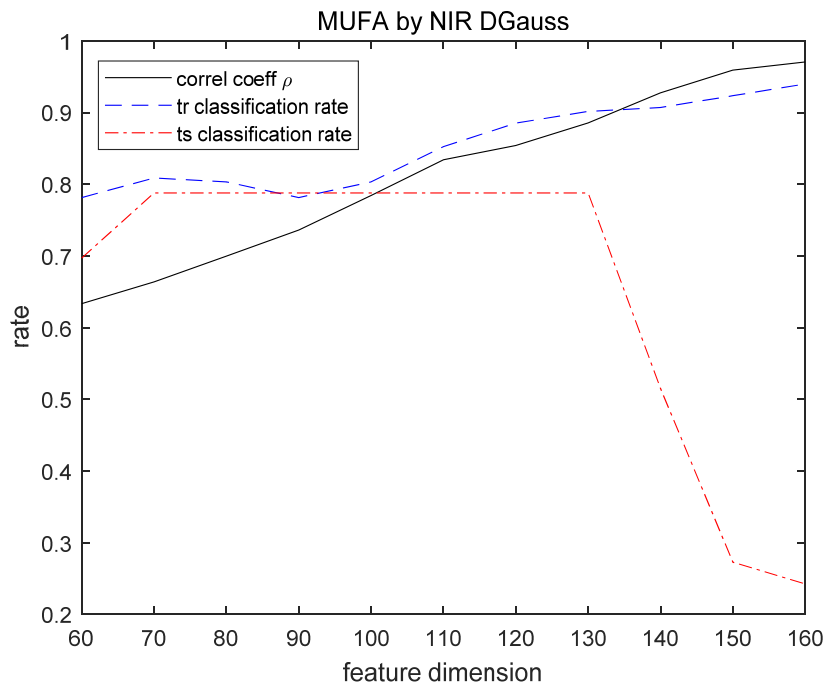
(다) 단가 불포화지방산(MUFA) 함량 추정

① 단가 불포화지방산의 경우, 두 부류 분류는 단가 불포화지방산 함량 58%를 기준으로 하였고, 세 부류 분류는 53%, 58%를 기준으로 하였다. 아래 그림-14는 DCT 특징, 미분형 가우시안 특징과 함께 신호 자체를 특징으로 하는 방법과 히스토그램 기반법의 네 가지 방법들에 대하여 특징의 차원을 변화시켜 가면서 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율을 측정한 결과들이다. 네 가지 방법들에 대한 성능이 대체로 특징차원이 N=130인 경우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 이후 실험에서는 특징차원 N=130인 경우에 대해서 검토하기로 한다.

② 아래 그림-15는 본 연구에서 제시한 DCT 특징을 사용한 단가 불포화지방산 함량 산출 결과를 나타내는 그래프이다. 가로축은 실제 단가 불포화지방산 함량을 나타내고, 세로축은 추정된 단가 불포화지방산 함량을 나타낸다. 대부분 검량선 근처에 몰려 있어 단가 불포화지방산 함량 추정이 잘 되었음을 볼 수 있다. DCT 특징에 의한 결과로는 $R^2=0.7840$, $\rho=0.8854$ 로 두 값 모두 1에 가까워 올레인산 함량 측정의 경우와 유사하게 단가 불포화지방산 함량 산출 정확도가 높음을 알 수 있다.

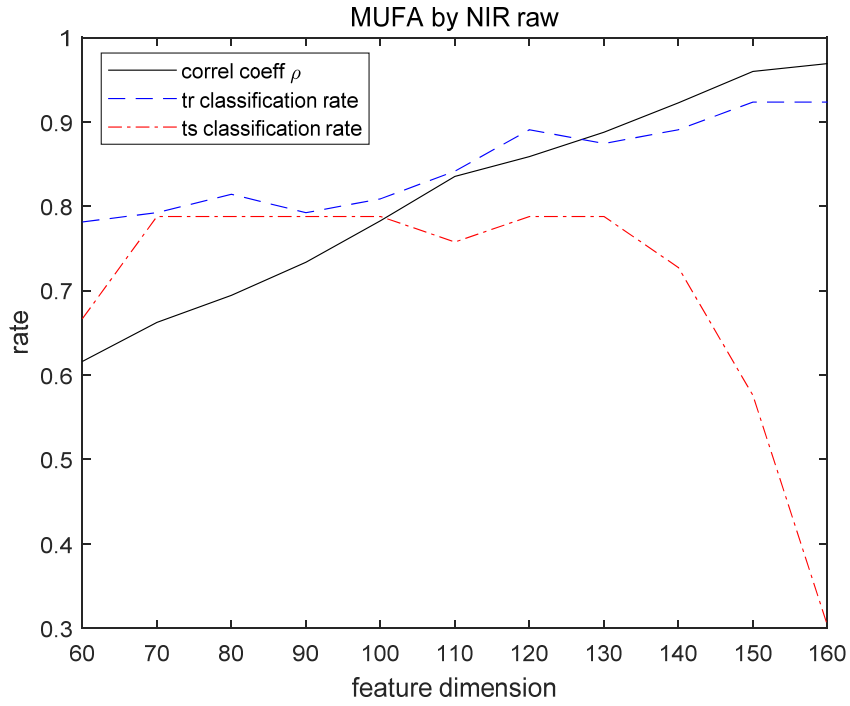


(a) DCT 특징

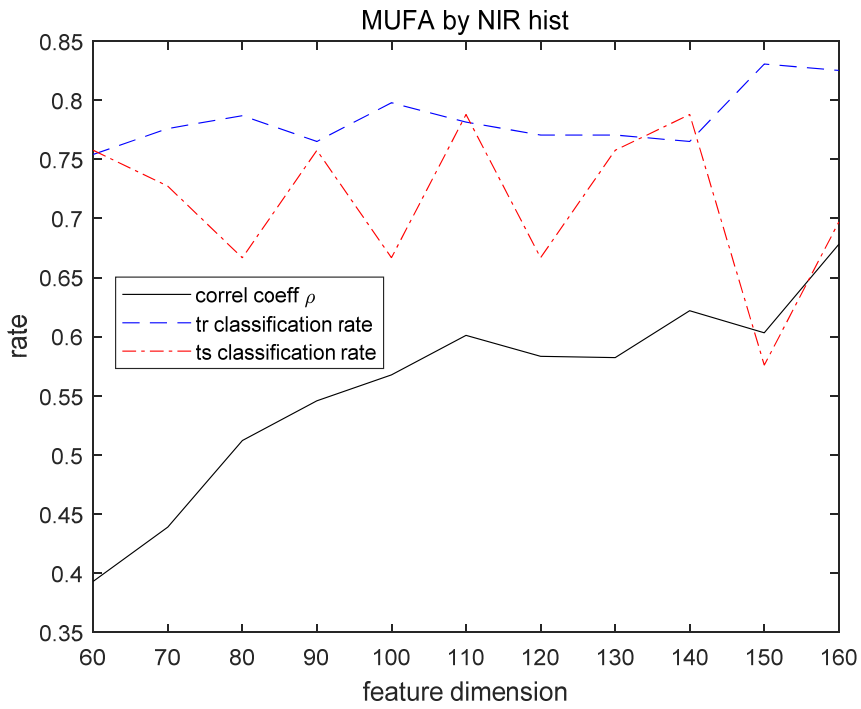


(b) DGauss (미분형 가우시안)

<그림-14 : 근적외선 특징 차원에 따른 단가불포화 지방산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>

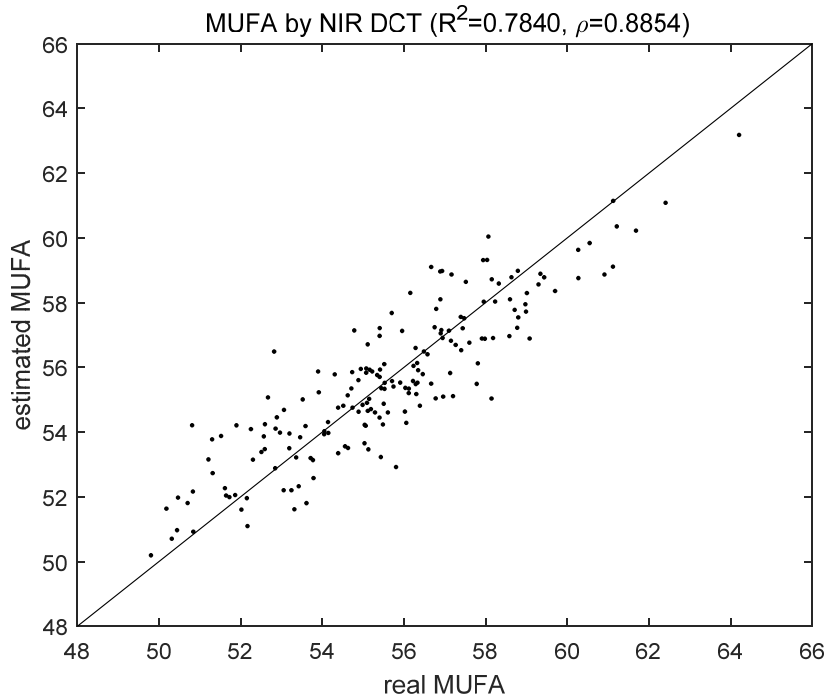


(c) 신호 자체 특징



(d) 히스토그램 특징

<그림-14(연속) : 근적외선 특징 차원에 따른 단가불포화 지방산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>



〈그림-15 : 183두의 실제 단가불포화 지방산 함량에 대한 근적외선 DCT 특징 기반 추정 단가불포화 지방산 함량 그래프〉

③ 아래 표-21은 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 단가불포화 지방산 함량 추정 성능을 비교한 것이다. 여기서 결정계수 및 상관계수는 신호 자체 특징의 경우 가장 높음을 알 수 있다. DCT 및 미분형 가우시안의 경우에도 다소 떨어지지만 아주 근접한 성능을 보임을 알 수 있다. 교차검증 상관 계수의 경우, 훈련 데이터에 대한 상관계수에 비해 네 가지 특징 모두 많이 떨어지는 것을 볼 수 있어 새로운 테스트 데이터에 대한 추정 성능이 훈련 데이터의 경우와 유사한 성능을 기대하기 어려움을 의미한다. 테스트 데이터에 대한 상관계수가 교차 검증에서 기대된 바와 같이 훈련 데이터에 비해 다소 떨어짐을 볼 수 있다.

④ 아래 표-22는 네 가지 근적외선 특징들을 사용한 단가불포화지방산 함량 산출 시 분류 오차율을 비교한 것이다. 두 부류 오차율의 경우, 미분형 가우시안 특징 방법이 제일 좋아 9.84%이며, 테스트 데이터에 대한 오차율은 신호자체, 미분형 가우시안, DCT의 경우 다 같이 21.21%로 많이 떨어진다. 또한, 세 부류 오차율은 두 부류 오차율에 비해 1.5 배이상 증가하며 테스트 데이터의 경우는 인식 불가할 정도로 50%이상으로 나타났다.

<표-21 : 다양한 NIR 특징들의 단가불포화 지방산 추정 성능>

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	결정계수 R^2	상관계수 ρ	교차검증 상관계수 ρ_{CV}	테스트 상관계수 ρ_{ts}
히스토그램	130	0.3390	0.5822	0.0709	0.3499
신호자체 (raw)	130	0.7881	0.8877	0.1077	0.4823
DGauss	130	0.7843	0.8856	0.1107	0.5219
DCT	130	0.7840	0.8854	0.0960	0.3463

<표-22 : 다양한 NIR 특징들의 단가불포화 지방산 추정시 분류 오차율>

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징 차원	두 부류 오차율	테스트 두 부류 오차율	세 부류 오차율	테스트 세 부류 오차율
히스토그램	130	0.2295	0.2424	0.3005	0.5152
NIR 신호자체 (raw)	130	0.1257	0.2121	0.1639	0.6667
DGauss	130	0.0984	0.2121	0.1639	0.6667
DCT	130	0.1475	0.2121	0.1366	0.6667

(5) 결론

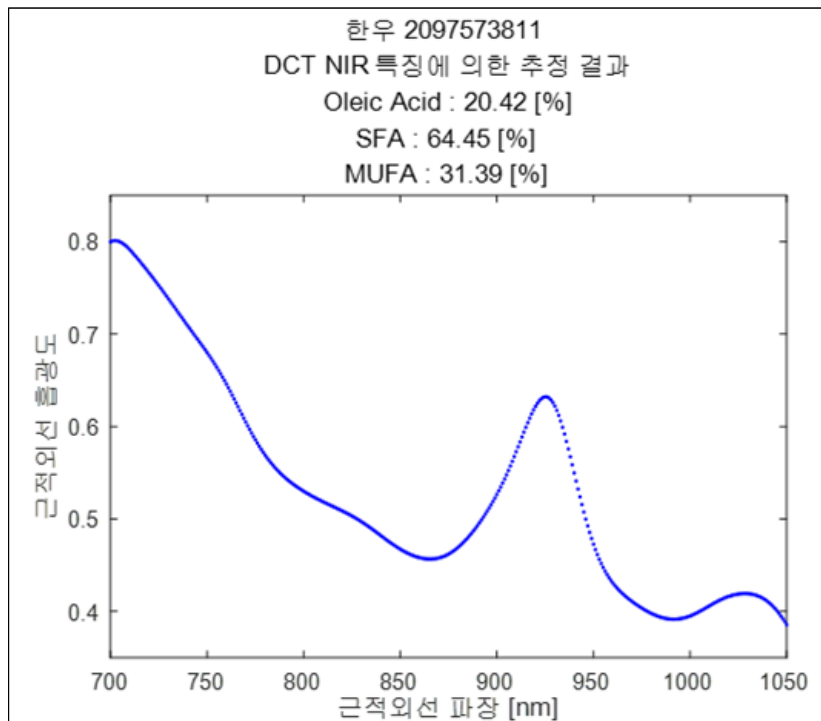
(가) 본 연구에서는, 근적외선 분광신호로부터 특징을 추출하여 선형회귀법에 의해 올레인산, 포화지방산, 그리고 단가 불포화지방산 함량을 추정하였다.

① 351차원의 근적외선 분광신호의 정보를 충분히 이용하기 위해서는 한우육 데이터의 개수가 최소한 351개 이상(일본의 경우[1], 833개 사용) 필요하다. 본 연구에서는 연구비 및 연구기간의 한계로 인하여 충분한 데이터를 확보하지 못한 것으로 사료된다.

② 올레인산 함량 측정을 포함하여 포화지방산 및 단가 불포화지방산 함량 추정의 경우, 신호 자체, DCT, 미분형 가우시안 특징들 모두 우수한 것으로 나타났다.

③ 올레인산 함량 추정의 경우, 결정 계수 및 상관계수가 $R^2=0.8117$, $\rho=0.9009$ 로 비교적 우수한 성능을 보였으며, 53%를 기준으로 일반육과 프리미엄급의 두 부류로 분류할 때의 오차율이 7.65%로 10% 이하가 되어 현장에 적용할 만한 것으로 판단된다. 포화지방산 및 단가 불포화지방산 함량 추정의 경우도 올레인산 함량 추정 시와 유사한 경향을 보였다.

(나) 본 연구의 결과를 토대로 최종 개발한 「근적외선 분광신호를 이용한 올레인산 함량 추정 프로그램」의 적용사례 화면은 아래 그림과 같다.



〈그림-16 : 근적외선 DCT 특징 기반 개발한 지방산 함량(%) 측정 프로그램 화면〉

사. 초음파 영상으로부터 올레인산 함량 측정

(1) 서론

(가) 본 연구에서는 도축되지 않은 상태의 가축의 초음파영상으로부터 육질의 올레인산(oleic acid) 함량을 산출하는 방법을 개발하였다. 초음파 영상장치는 X-선 영상, CT 영상, MRI영상 장치 등과는 달리 생체에 해를 주지 않아 장시간 실시간으로 생체 내부를 관찰하기가 용이하다. 또한, 상대적으로 가격도 저렴하고 소형이어서 현장에서 가축의 질병을 진단하는 데 널리 사용되고 있다. 뿐만 아니라, 가축의 초음파영상으로부터 육질 판단과 밀접한 관련이 있는 근내지방도 또는 근내지방 함량 (intramuscular fat %)을 산출하는 방법에 관한 연구들이 수행된 바 있다. 본 연구에서는 여기에서 더 나아가 초음파영상으로부터 육질의 풍미와 관련이 있는 올레인산 함량을 산출하고자 한다.

(나) 현재 일본에서는 화우(Wagyu) 도체의 근적외선분광기(near infrared spectrometer)로부터 얻은 신호로부터 육질의 올레인산 함량을 산출하는 방법이 실용화되어 육우농가의 소득증대에 큰 기여를 하고 있다. 그러나 아직 초음파영상으로부터 올레인산 함량을 산출하는 방법은 시도된 바 없다.

초음파영상으로부터 올레인산 함량을 산출하는 방법은 근적외선 분광신호로부터 올레인산 함량을 산출하는 방법에 비해 생체상태에서 얻는 것이라 정확도가 떨어지지 않는다면 더욱 효과적인 방법이라 할 수 있다. 그러나 초음파영상은 근적외선 분광신호에 비해 잡음성 성분이 많고 지방 함량은 육안으로 보아도 어느 정도 판정이 가능하지만 올레인산 함량은 육안으로 판정이 어려운 점이 있다.

(다) 본 연구에서는 육안으로 판단하기 어려운 올레인산 함량 산출을 초음파영상으로부터 용이하게 산출할 수 있도록 한다. 또한, 도체로부터 얻는 근적외선 분광신호에 비해 생체로부터 얻는 초음파영상에서 올레인산 함량을 산출함으로써 풍미가 있는 고급육의 생산을 위한 사양관리 개선과 출하시기 조절이 용이하여 한우농가의 소득 증대에 크게 기여할 수 있다. 더 나아가서, 소 이외의 다른 가축에도 확대 적용할 수 있다.

(2) 초음파영상의 전처리 및 관심영역(ROI) 획득

(가) 아래 그림-17은 본 연구에서 제시한 초음파영상으로부터 육질의 올레인산 함량 산출 방법에 대한 흐름도이다. 제시한 방법에서는 한우의 올레인산 함량을 산출하기 위해 도축되지 않은 상태에서 한우의 제13흉추와 제1요추 사이의 등심단면에 대한 육질의 초음파영상을 입력 받게 된다 (S10).

(나) 초음파영상의 전처리 및 관심영역(ROI ; region of interest) 획득은 다양한 초음파 영상기기 및 다양한 환경에 강인하도록 하기 위한 필수 단계이다. 아래 그림-18은 도축되지 않은 상태에서 촬영한 한우의 육질 초음파영상의 예이다. 이렇게 입력 받은 초음파 영상신호에는 올레인산 함량 산출의 정확도를 떨어뜨리는 불필요한 영역이 많이 포함되어 있다.

(다) 육질 판단 전문가가 초음파영상을 관찰한 후 올레인산 함량 산출에 유리한 관심영역을 설정한다(S12). 아래 그림-19는 본 연구에 의한 방법에 따라 초음파 입력영상에 관심영역을 설정하고, 이를 둘러싸는 사각형 형태로 잘린 영상을 보여주고 있다.

(라) 초음파영상은 일반영상에 비해 잡음성 성분도 많고 화질도 떨어진다. 본 연구에서는 이러한 화질 저하를 극복하기 위하여 히스토그램 균등화 (histogram equalization), 조명 보상화 (illumination compensation), 영상 정규화 (image normalization)의 세 과정으로 구성된 전처리 단계를 거친다(S14). 히스토그램 균등화는 영상처리 분야에서 널리 알려진 밝기분포 조정 과정이다. 조명보상 과정에서는 다음과 같이 초음파 영상은 초음파가 조사되는 성분과 반사되는 성분의 곱으로 표현된다고 가정한다.

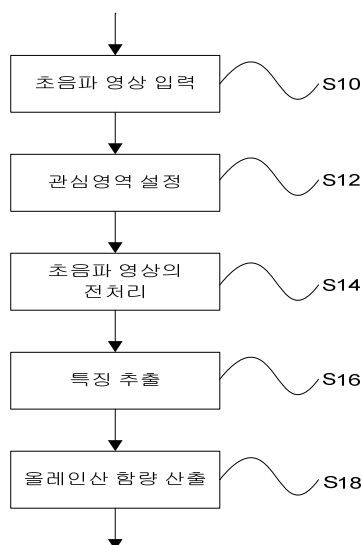
$$f(p) = i(p) \times r(p)$$

여기서, p 는 2차원 화소 위치, $f(p)$ 는 초음파영상, $i(p)$ 는 초음파 조사성분, 그리고 $r(p)$ 는 초음파 반사성분을 나타낸다.

(마) 이러한 초음파영상 형성 모델식에 근거하여 초음파영상에서 불균일한 초음파 조사성분을 제거하고 순수한 도체의 육질 상태를 나타내는 반사성분을 구하고자 한다. 즉, 다음과 같이 반사성분을 추정한다.

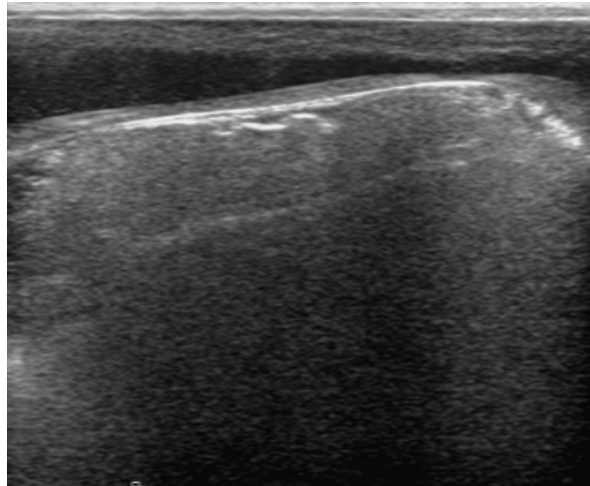
$$\hat{r}(p) = \frac{f(p)}{\hat{i}(p)}$$

여기서, $\hat{r}(p)$ 는 추정된 초음파 반사성분, $\hat{i}(p)$ 는 추정된 초음파 조사성분을 나타낸다.



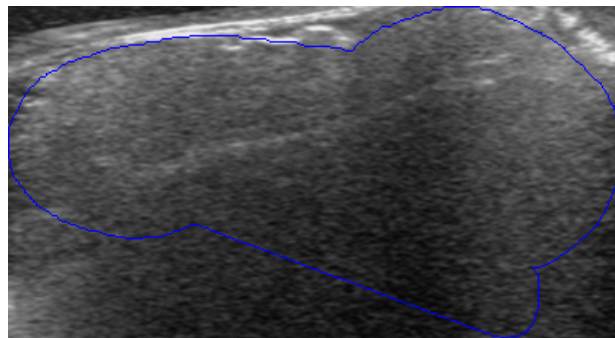
<그림-17: 초음파영상으로부터 육질의 올레인산 함량 산출 방법에 대한 흐름도>

초음파 입력 영상



<그림-18 : 도축되지 않은 상태의 한우의 초음파영상>

관심영역 설정된 초음파 영상



<그림-19 : 초음파 입력영상에 설정된 ROI 및 이를 둘러싸는 사각형 영상>

추정된 초음파 조사 성분 은 다음과 같이 같이 계산된다.

$$\hat{i}(p) = G_{\sigma}(p) * f(p)$$

여기서, $G_{\sigma}(p)$ 는 표준편차가 σ 인 2차원 가우시안(Gaussian) 함수를 나타내며, *는 두 영상간의 상 승적분 (convolution)을 나타낸다.

(바) 전처리 단계를 거치기 직전 초음파영상의 밝기는 [1, 255]의 범위에 놓여 있다고 가정한다. 여기서 최저 밝기값이 1인 이유는 초음파 반사성분을 추정하기 위해 초음파영상을 추정된 조사성분 으로 나누어 줄 때 0으로 나누어주는 경우를 피하기 위함이다. 또한, 가우시안 함수의 표준편차 σ 의 설정 시, 초음파 조사성분이 반사성분에 비해 초저주파라고 간주하여 초저주파 성분을 추출하기 위해 큰 값으로 설정한다.

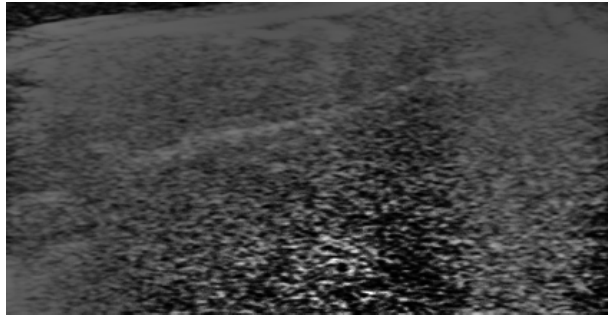
전처리의 마지막 과정인 영상 정규화 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{r}(p) = (\hat{r}(p) - \mu_0) \times \frac{\sigma_1}{\sigma_0} + \mu_1$$

여기서, $\tilde{r}(p)$ 는 정규화된 초음파 반사성분, σ_0 는 추정된 초음파 반사성분 $\hat{r}(p)$ 의 표준편차, μ_0 는 추정된 초음파 반사성분 $\hat{r}(p)$ 의 평균, σ_1 는 정규화된 초음파 반사성분 $\tilde{r}(p)$ 의 표준편차, μ_1 은 추정된 초음파 반사성분 $\tilde{r}(p)$ 의 평균을 나타낸다.

(사) 아래 그림-20은 본 연구에서 제시한 방법에 따라 관심영역을 둘러싸는 사각형 초음파 영상의 전처리된 결과 영상이다. 이때, 가우시안 함수의 표준편차 σ 는 30, 정규화를 위한 파라미터 μ_1 과 σ_1 은 각각 128과 50으로 하였다.

전처리된 초음파 영상



<그림-20 : 관심영역을 둘러싸는 사각형 초음파영상의 전처리 결과 영상>

(3) 올레인산 함량 측정을 위한 초음파영상 특징 추출

(가) 특징 추출 과정은 방대한 입력 데이터로부터 회귀분석에 중요한 핵심 정보를 가진 데이터를 뽑아내는 과정이다. 일반적으로 입력 데이터의 차원이 컴퓨터에서 다루기에는 너무 과도할 뿐만 아니라 많은 데이터들이 회귀분석에 방해가 되기도 한다. 본 연구에서는 다해상도 방향성 Haar 필터링과 2차원 DCT를 사용하여 데이터를 축소하였다.

(나) 다해상도 방향성(multi-resolution direction: MRD) Haar 필터링은 다음과 같이 표현된다.

$$f_{s,\theta}(p) = h_{s,\theta}(p) * I(p)$$

여기서, p 는 화소, s 는 다해상도 스케일, θ 는 방향, 그리고 $I(p)$ 는 초음파 영상을 나타낸다. 스케일들의 집합 S 는 $S = \{1, b, \dots, bM-1\}$ 이고, 방향들의 집합 Θ 는 $\Theta = \{0, \phi, \dots, (N-1)\phi\}$, b 는 스케일 베이스, ϕ 는 $\phi = 2\pi/N$ 이다. Haar 필터의 임펄스 응답 $h_{s,\theta}(p)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$h_{s,\theta}(p) = \begin{cases} 1, & p = -se^{j\theta} \\ -1, & p = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{식-1})$$

여기서, $se^{j\theta}$ 는 원점에서의 거리가 s 이고 방향이 θ 인 화소를 나타낸다. (식-1)식과 같은 Haar필터는 잡음에 약하기 때문에 이를 보완하기 위하여 다음과 같이 Gaussian 평활화를 도입하여 수정한다.

$$\begin{aligned} f_{s,\theta}(p) &= h_{s,\theta}(p) * g_s(p) * I(p) \\ &= [g_{s,\theta}(p + se^{j\theta}) - g_s(p)] * I(p) \end{aligned}$$

여기서, $g_s(p)$ 는 다음과 같은 Gaussian 평활화 함수이다.

$$g_s(p) = \frac{1}{2\pi(s\sigma_0)^2} \exp\left[-\frac{1}{2(s\sigma_0)^2} \|p\|^2\right]$$

아래 그림-21은 Haar필터($M = 4, N = 8$)의 임펄스 응답을 나타낸다.

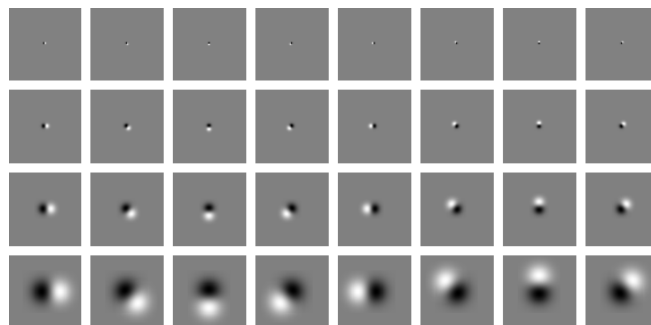
Haar 에너지(energy) 영상 및 모듈러스 상관도(modulus correlation) 영상은 다음과 같이 생성된다.

$$a_s(p) = \langle |f_{s,\theta}(p)| \rangle_{\theta}$$

$$\nu_s(p) = \text{COR}_{\theta}(f_{s,\theta}(p), |f_{s,\theta}(p)|) \quad (\text{식-2})$$

여기서, $\langle \cdot \rangle_{\theta}$ 는 모든 방향에 대한 평균값을 나타내고, COR는 다음과 같은 상관도를 나타낸다

$$\text{COR}_{\Psi}(g_1(\psi), g_2(\psi), \dots, g_n(\psi)) = \frac{\left\langle \prod_{i=1}^n g_i(\psi) \right\rangle_{\Psi}}{\left[\prod_{i=1}^n \langle |g_i(\psi)|^n \rangle_{\Psi} \right]^{1/n}}, \quad n \geq 2 \quad (\text{식-3})$$



<그림-21 : Haar필터($M = 4, N = 8$)의 임펄스 응답>

Haar 스케일성 상관도(scale-shift coorelation) 영상은 다음과 같이 생성된다.

$$\chi_s(p) = \text{COR}_{\Theta}(f_{s,\theta}(p), f_{sb,\theta}(p)) \quad (\text{식-4})$$

여기서 스케일성 상관도는 fs, θ 와 fsb, θ 사이의 상관도를 측정한다.

또한, 방향성 상관도(orientation-shift correlation) 영상은 다음과 같이 생성된다.

$$\rho_s(p) = \text{COR}_{\Theta}(f_{s,\theta}(p), f_{s,\theta+\phi}(p)) \quad (\text{식-5})$$

$$\gamma_s(p) = \text{COR}_{\Theta}(f_{s,\theta}(p), f_{s,\theta+\phi}(p), f_{s,\theta+2\phi}(p)) \quad (\text{식-6})$$

(식-2)~(식-6)는 국부 상관도이나, 전체 화소에 대한 다음과 같은 전역 상관도 영상을 얻을 수 있다.

$$\lambda_{s,\theta}^l(p) = \text{COR}_{\mathbf{P}}(f_{s,\theta}(p), f_{s,\theta}(p + se^{j(\theta+l\phi)})), \quad l = 1, 2$$

$$\lambda_{s,\theta}^3(p) = \text{COR}_{\mathbf{P}}(f_{s,\theta}(p), f_{s,\theta}(p + se^{j(\theta+\phi)}), f_{s,\theta}(p + se^{j(\theta+2\phi)})$$

앞에서 구한 MRD Haar 통계 영상으로부터 MRD Haar 특징은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{f}_{\text{Haar}} = [\mathbf{f}^1, \mathbf{f}^2, \mathbf{f}^3, \mathbf{f}^4]$$

$$\mathbf{f}^i = [f_1^i, f_b^i, \dots, f_{b^{K-1}}^i], \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$\mathbf{f}_s^1 = [\mu_{\mathbf{P}}(a_s(p)), \sigma_{\mathbf{P}}(a_s(p)), \mu_{\mathbf{P}}(\nu_s(p)), \sigma_{\mathbf{P}}(\nu_s(p))]$$

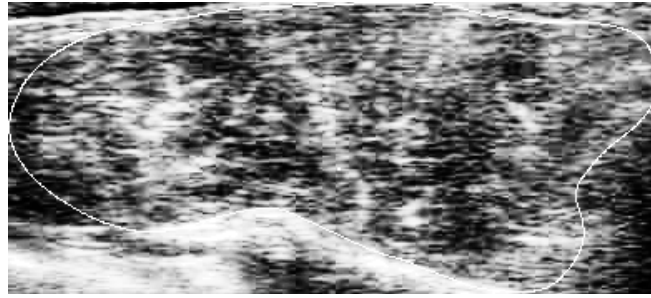
$$\mathbf{f}_s^2 = [\mu_{\mathbf{P}}(\chi_s(p)), \sigma_{\mathbf{P}}(\chi_s(p)), \mu_{\mathbf{P}}(\rho_s(p)), \sigma_{\mathbf{P}}(\rho_s(p))]$$

$$\mathbf{f}_s^3 = [\mu_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^1), \sigma_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^1), \mu_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^2), \sigma_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^2)]$$

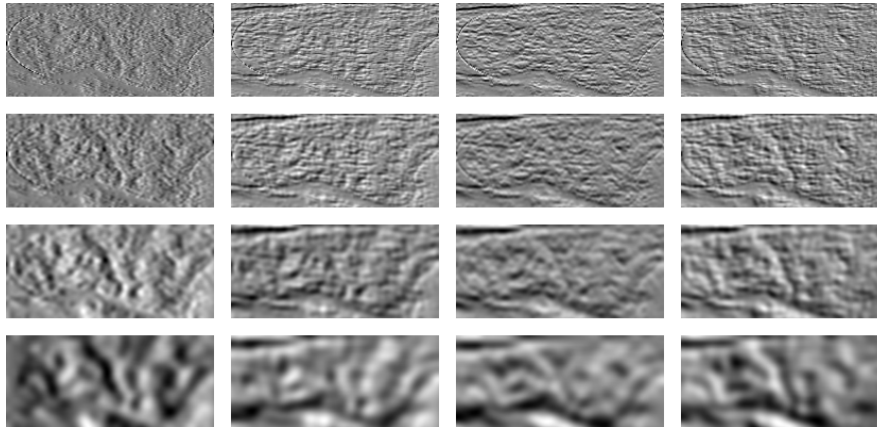
$$\mathbf{f}_s^4 = [\mu_{\mathbf{P}}(\gamma_s(p)), \sigma_{\mathbf{P}}(\gamma_s(p)), \mu_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^3), \sigma_{\Theta}(\lambda_{s,\theta}^3)]$$

여기서, K는 스케일의 개수를 나타내며, $\mu_{\mathbf{P}}$ 및 $\sigma_{\mathbf{P}}$ 는 전체 화소에 대한 평균 및 표준편차를 나타내고, μ_{Θ} 및 σ_{Θ} 는 전 방향에 대한 평균을 나타낸다.

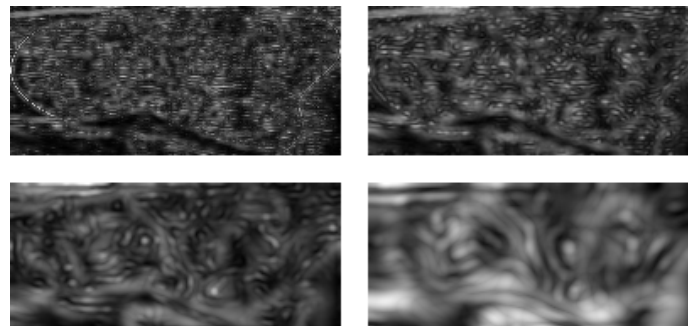
아래 그림-22는 원영상 (a)에 대한 Haar필터 (M = 4, N = 8)의 출력 영상 및 Haar 에너지 영상을 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

〈그림-22 : 원영상(a)에 대한 Haar필터 의 출력 영상(b) 및 Haar 에너지 영상(c)〉

(다) DCT를 이용한 특징 추출법에서는 다음과 같이 초음파영상을 2차원 DCT 변환한 후 그 절대 계수값을 특징으로 한다.

$$c(q) = \mathcal{Z} (| \text{DCT2}[I(p)] |)$$

여기서, $c(q)$ 는 지그재그 스캔에 따라 순서가 재정리된 2차원 DCT 변환계수를 나타내고, $I(p)$ 는 초음파 영상을 나타낸다. $I(p)$ 는 JPEG 등의 영상압축 기술에서 DC 및 저주파 성분을 남기고 고주파 성분을 제거하기 위해 사용되는 지그재그 스캔 (zig-zag scan)을 나타내고, DCT2는 2차원 DCT를 나타내고, q 는 지그재그 스캔에 따른 위치를 나타낼 수 있다. 이로부터 DCT 특징 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{f} = [|c(1)|, |c(2)|, \dots, |c(N)|]$$

(4) 연구결과 및 고찰

(가) 본 연구에서는 2019년 3월에 한우 169두(암소 69두, 거세우 100두)로부터 획득된 초음파 영상에 대해서, ULBP(uniform local binary pattern)[4], 히스토그램, 2차원 DCT, MRD Haar특징을 각각 사용하여 얻은 특징벡터를 이용하여 한우의 올레인산 함량을 추정하고, 그 성능을 검토하였다. ULBP 특징 추출에서는 다해상도 ULBP 및 MULBP(magnitude LBP)를 채택하였다. 스케일의 수는 8개, 스케일 베이스는 2로 특징의 차원은 $8 \times (10+10) = 160$ 이다. 또한 MRD Haar 특징 추출에서 스케일의 수는 10개, 스케일 베이스는 $b = \sqrt{3}$ 로 특징의 차원은 $10 \times 2 \times 8 = 160$ 이다.

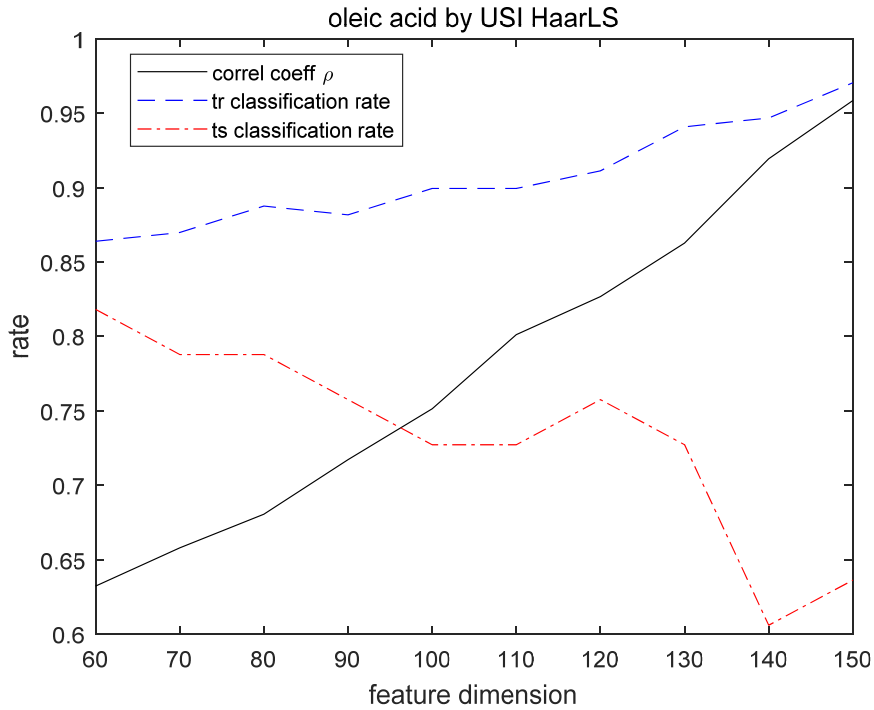
(나) 이 때 훈련 데이터의 개수가 169개이므로 추정대상 벡터의 최대 차원 M은 M=169를 의미한다. 선형회귀법에 근거하여 추정대상을 추정할 때, 특징벡터의 차원 N은 $N < M$ 이어야 한다. 본 연구에서 특징벡터의 차원 N은 훈련데이터 169개의 95% 근처인 160 이하로 선택하였다. 근적외선 분광신호의 특성을 주의 깊게 관찰한 결과, 900nm~1020nm 주위의 파형이 선형회귀에 큰 영향을 미치는 곳으로 판단되었다. 따라서 이후 실험에서는 $(1020 - N + 1) \text{nm} \sim 1020 \text{nm}$ 신호를 대상으로 하였다.

(다) 아래 그림-23은 MRD Haar특징, 2차원 DCT 특징과 함께 히스토그램 특징과 ULBP 특징을 사용하는 네 가지 방법들에 대하여 특징의 차원을 변화시켜 가면서 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율을 측정한 결과들이다. 여기서 두 부류는 올레인산 함량 53%를 기준으로 그 이상인지 그 이하인지의 두 부류를 말한다. 네 가지 방법들에 대한 성능이 대체로 특징차원이 $N = 120$ 인 경우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 이후 실험에서는 특징차원 $N=120$ 인 경우에 대해서 검토하기로 한다.

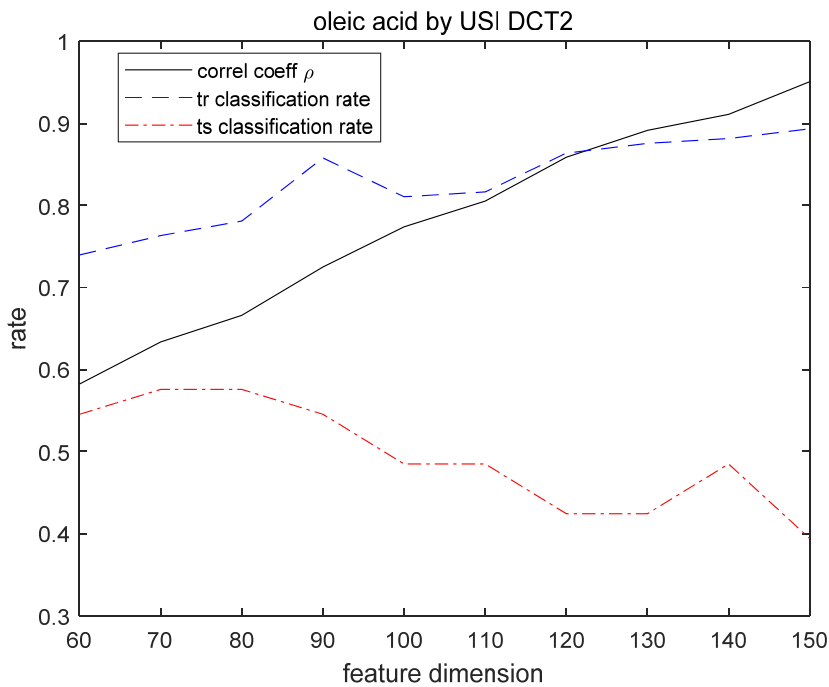
(라) 아래 그림-24는 본 연구에서 제시한 2차원 DCT 특징을 사용한 올레인산 함량 산출 결과를 나타내는 그래프이다. 가로축은 실제 올레인산 함량을 나타내고, 세로축은 추정된 올레인산 함량을 나타낸다. 대부분 검량선 근처에 몰려 있어 올레인산 함량 추정이 잘 되었음을 볼 수 있다. 또한 추정이 얼마나 잘 되었는가를 나타내는 척도로는 결정 계수 R^2 와 상관계수 ρ 를 사용하였는데, 이 두 값들이 1에 가까울수록 좋은 결과임을 말해준다. DCT 특징에 의한 결과로는 $R^2=0.7379$, $\rho=0.8589$ 로 두 값 모두 1에 가까우나 근적외선 특징보다는 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다.

(마) 아래 표-23은 네 가지 초음파 영상 특징들을 사용한 올레인산 함량 추정 성능을 비교한 것이다. 여기서 교차 검증은 LOOCV를 사용하였다. 또한, 테스트 데이터는 앞의 169두와는 다르게 2019년 7월에 33두의 한우로부터 수집되었다. 여기서 결정계수 및 상관계수는 2차원 DCT 특징의 경우 가장 높음을 알 수 있다. 다음으로 ULBP가 2차원 DCT에 근접하고, MRD Haar와 히스토그램은 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 교차검증 상관계수의 경우, 훈련 데이터에 대한 상관계수에 비해 네 가지 특징의 상관계수들이 모두 0에 가까운 값으로, 새로운 테스트 데이터에 대한 추정 성능이 훈련 데이터의 경우와에 비해 좋은 성능을 기대하기 어려움을 의미한다. 테스트 데이터에 대한 상관계수들도 0에 가까운 값을 나타내는 것으로 나타났다.

(바) 아래 표-24는 네 가지 초음파 영상 특징들을 사용한 올레인산 함량 산출 성능을 비교한 것이다. 두 부류 오차율의 경우, 2차원 DCT 특징이 제일 좋아 6.51%이지만, 테스트 데이터에 대한 오차율은 모두 2배 이상으로 많이 떨어진다. 또한, 세 부류 오차율은 두 부류 오차율에 비해 두 배이상 증가하며 테스트 데이터의 경우는 오차율이 50% 이상으로 크게 나타났다.

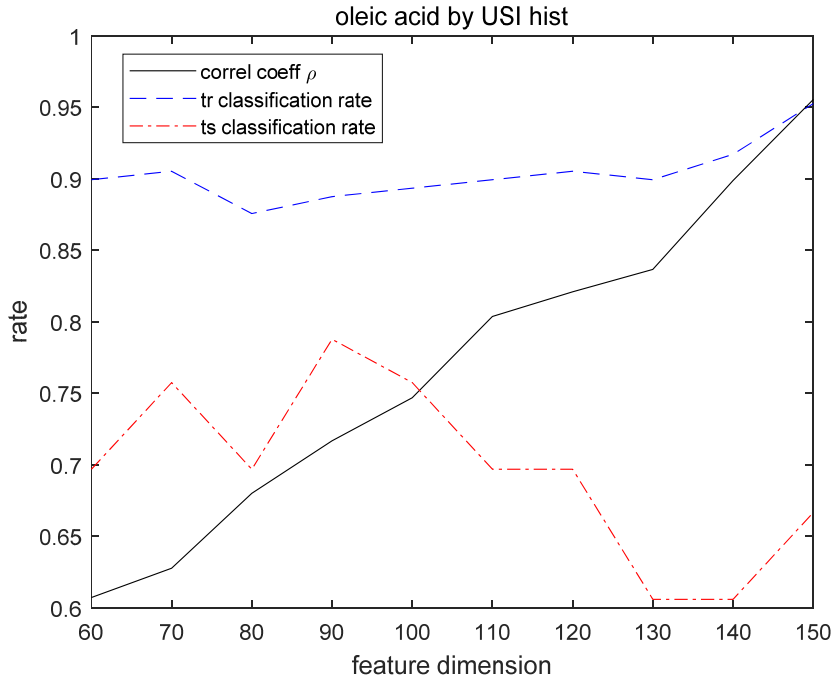


(a) MRD Haar 특징

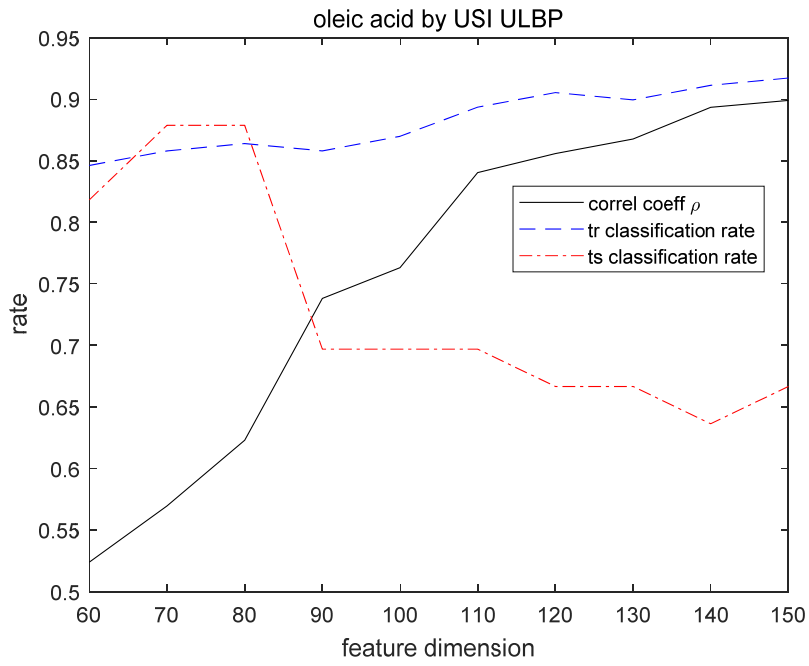


(b) 2차원 DCT 특징

< 그림-23 : 초음파 영상 특징 차원에 따른 올레인산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율 >

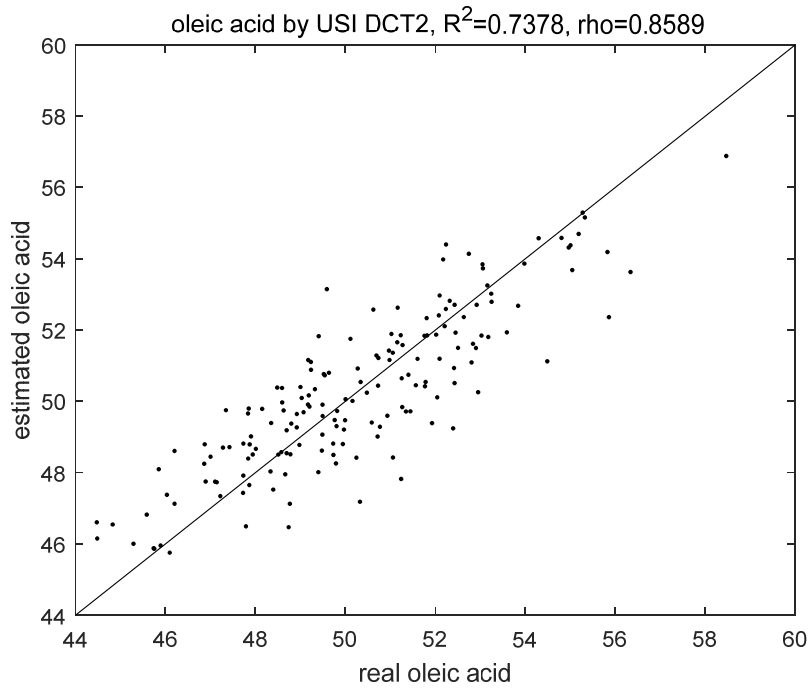


(c) 히스토그램 특징



(d) ULBP 특징

<그림-23(연속) : 초음파 영상 특징 차원에 따른 올레인산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율>



〈그림-24 : 169두의 실제 올레인산 함량에 대한 초음파 영상의 2차원 DCT 특징 기반 추정 올레인산 함량 그래프〉

〈표-23 : 다양한 초음파 영상 특징들의 올레인산 추정 성능〉

특징차원 및 성능 초음파 영상 특징	특징 차원	결정계수 R^2	상관계수 ρ	교차검증 상관계수 ρ_{CV}	테스트 상관계수 ρ_{ts}
ULBP	120	0.7324	0.8558	0.0197	-0.1675
히스토그램	120	0.6742	0.8211	-0.0029	0.0026
DCT2	120	0.7378	0.8589	-0.0481	-0.0455
HaarLS	120	0.6835	0.8268	-0.0343	0.2164

〈표-24 : 다양한 초음파 영상 특징들의 올레인산 추정시 분류 오차율〉

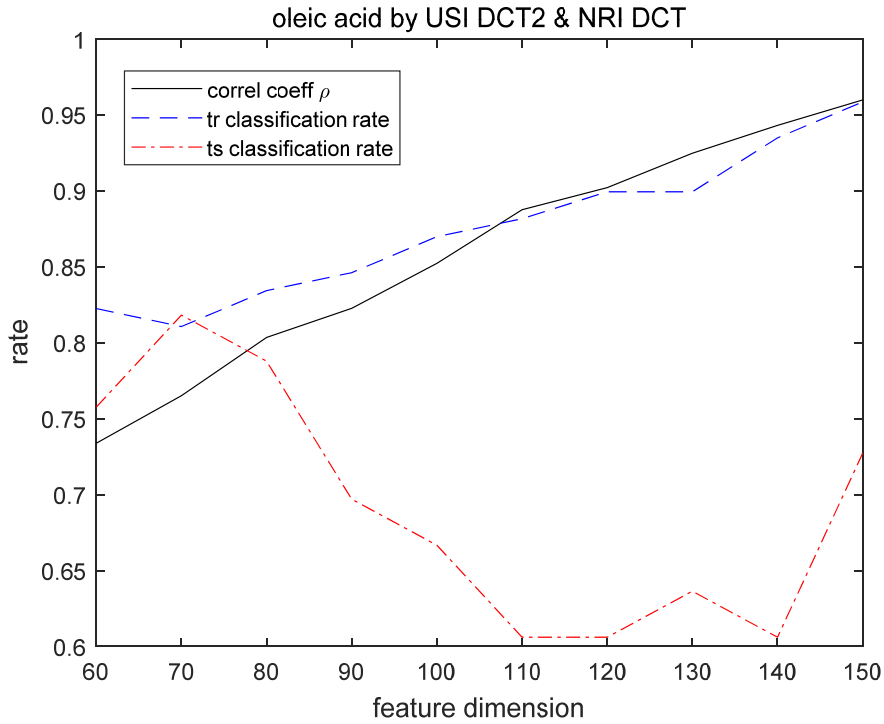
특징차원 및 성능 초음파 영상 특징	특징 차원	두 부류 오차율	테스트 두 부류 오차율	세 부류 오차율	테스트 세 부류 오차율
ULBP	120	0.0947	0.3333	0.1834	0.6970
히스토그램	120	0.0947	0.3030	0.2426	0.5758
DCT2	120	0.0651	0.4242	0.1893	0.6667
HaarLS	120	0.0888	0.2424	0.2071	0.6667

(사) 아래 그림-25는 초음파 2차원 DCT 특징과 근적외선 DCT 특징을 융합하여 올레인산 함량을 추정하되, 융합된 특징의 차원을 변화시켜 가면서 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율을 측정한 결과들이다. 여기서 두 부류의 기준은 올레인산 함량 53%로 하였다. 특징 차원이 증가함에 따라 훈련집합의 상관계수와 두 부류 인식율은 증가하나 테스트 집합의 두 부류 인식율은 감소하는 것으로 나타났다.

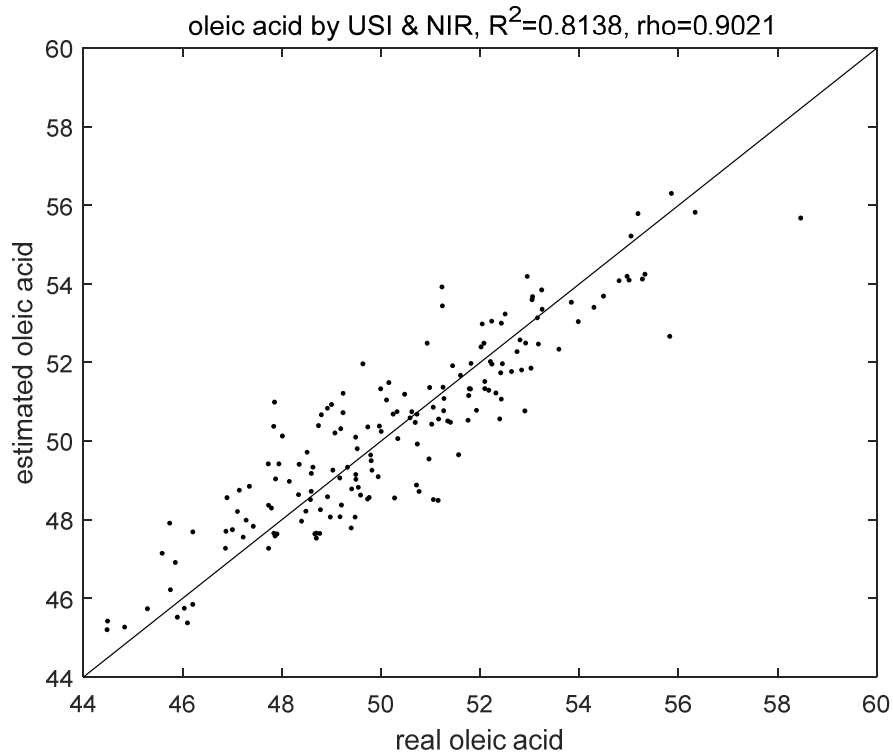
(아) 아래 그림-26은 초음파 2차원 DCT 특징과 근적외선 DCT 특징을 융합하여 올레인산 함량을 추정하는 경우, 실제 올레인산 함량에 대한 올레인산 함량 산출 결과를 나타내는 그래프이다. 대부분 검량선 근처에 몰려 있어 올레인산 함량 추정이 대체로 잘 되었음을 볼 수 있다. 융합특징에 대한 $R^2=0.8138$, $\rho=0.9021$ 로 두 값 모두 1에 가까우나 근적외선 특징 단독의 경우와 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

(자) 아래 표-25는 초음파 2차원 DCT 특징과 근적외선 DCT 특징을 융합하여 올레인산 함량을 추정한 경우, 훈련 데이터의 결정계수, 상관계수, 교차검증 상관계수, 테스트 데이터에 대한 상관계수를 비교한 것이다. 여기서 교차 검증은 LOOCV를 사용하였다. 또한, 테스트 데이터는 앞의 169두와는 다르게 2019년 8월에 33두의 한우로부터 수집되었다. 근외적선 DCT 특징 단독의 경우와 유사한 결과를 보이고 있다.

(차) 아래 표-26은 초음파 2차원 DCT 특징과 근적외선 DCT 특징을 융합하여 올레인산 함량을 추정한 경우, 분류 오차율을 나타낸 것이다. 두 부류 오차율 및 세 부류 오차율이 근적외선 DCT 특징 단독의 경우에 비해 저조한 것으로 나타났다. 결과적으로 초음파 영상 특징과 근적외선 특징의 융합은 그 효과가 적은 것으로 판단된다.



〈그림-25 : 초음파 영상 2차원 DCT특징과 근적외선 DCT특징의 융합된 특징의 차원에 따른 올레인산 함량 추정 성능 : 상관계수, 훈련 데이터의 두 부류 인식율, 테스트 데이터의 두 부류 인식율〉



〈그림-26 : 169두의 실제 올레인산 함량에 대한 초음파 영상의 2차원 DCT 특징 및 근적외선 DCT 특징의 융합 기반 추정 올레인산 함량 그래프 (특징차원=120)〉

〈표-25 : 초음파 영상의 2차원 DCT 특징 및 근적외선 DCT 특징의 융합 기반 올레인산 추정 시, 훈련 데이터의 결정계수 및 상관계수, 교차검증 상관계수, 그리고 테스트 데이터에 대한 상관계수〉

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징차원	결정계수 R^2	상관계수 ρ	교차검증 상관계수 ρ_{CV}	테스트 상관계수 ρ_{ts}
DCT2 & DCT	120	0.8896	0.9021	0.1949	0.3791

〈표-26 : 초음파 영상의 2차원 DCT 특징 및 근적외선 DCT 특징의 융합 기반 올레인산 추정 시 분류 오차율〉

특징차원 및 성능 NIR 특징	특징차원	두 부류 오차율	테스트 두 부류 오차율	세 부류 오차율	테스트 세 부류 오차율
DCT2 & DCT	120	0.1006	0.3939	0.1834	0.6970

(5) 결론

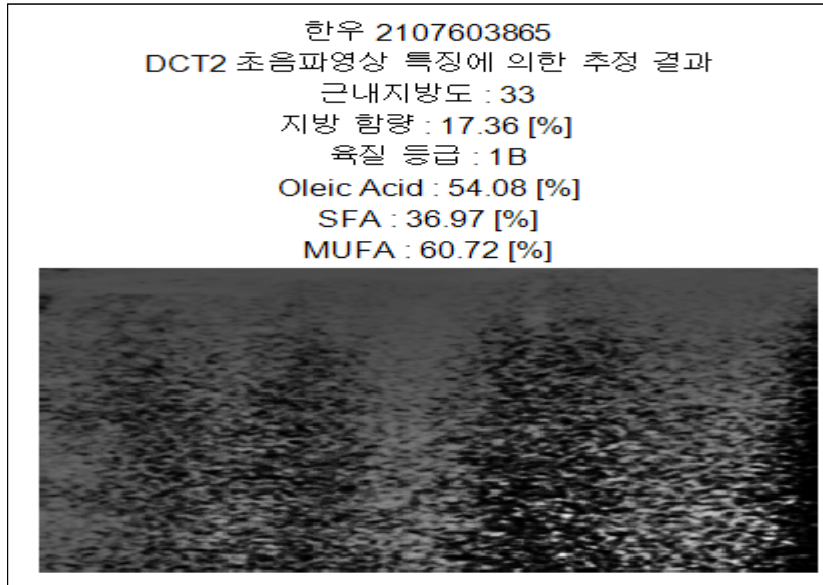
(가) 본 연구에서는 초음파영상로부터 특징을 추출하여 특징벡터로부터 선형회귀법에 의해 올레인 함량을 추정하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 초음파영상의 다양한 특징 정보를 충분히 활용하기 위해서는 한우 초음파영상의 개수가 많을 수록 추정의 정확도를 높일 수 있으나, 163두로 한정되어 있어 다소 아쉽다고 판단된다. 본 연구에서는 연구비 및 연구기간의 한계로 인하여 충분한 데이터를 확보하지 못한 것으로 사료된다.

② 초음파영상 특징 기반 올레인산 함량 측정의 경우, 2차원 DCT 특징의 결정 계수 및 상관 계수가 $R^2=0.7378$, $\rho=0.8589$ 로 근외적선 특징에 비해 다소 떨어짐을 보였고, 53%를 기준으로 일반육과 프리미엄급의 두 부류로 분류할 때의 오차율이 6.51%로 10% 이하가 되었으나, 테스트 데이터에 대한 두 부류 오차율이 2배 이상으로 증가하여 현장에 적용하기에는 아직 다소 부족하다고 판단된다.

③ 초음파 특징과 근적외선 특징을 융합하여 올레인산 함량을 측정하는 경우, 초음파 특징이 근적외선 특징에 비해 성능이 다소 떨어져서 결과적으로 융합된 특징의 성능도 근적외선 특징 단독에 비해서 다소 떨어지거나 유사하여 융합의 효과가 적은 것으로 나타났다.

(나) 본 연구의 결과를 토대로 최종 개발한 「초음파영상을 이용한 올레인산 함량 추정 프로그램」의 적용사례 화면은 아래 그림과 같다.



〈그림-27 : 초음파영상 DCT 특징 기반 개발한 지방산 함량(%) 측정 프로그램 화면〉

아. 종합결론

(1) 본 연구에서는, 근적외선 분광신호로부터 특징을 추출하여 선형회귀법에 의해 올레인산, 포화 지방산, 그리고 단가불포화 지방산 함량을 추정하였다. 또한, 초음파 영상으로부터 특징을 추출하여 선형회귀법에 의해 올레인 함량을 추정하였다. 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 근적외선 특징이나 초음파영상 특징을 추출하여 올레인산 함량이나 육질 및 근내 지방도를 산출하기 위해서는 한우 데이터의 개수가 400여개 이상이 필요한 것으로 판단되었다. 이를 위해서는 연구비 및 연구기간이 충분히 뒷받침되어야 하겠다.

② 근적외선 특징에 근거한 올레인산 함량 측정을 포함하여 포화지방산 및 단가불포화지방산 함량 추정의 경우, 신호 자체, DCT, 미분형 가우시안 특징들 모두 우수한 것으로 나타났다. 올레인산 53%를 기준으로 일반육과 프리미엄급의 두 부류로 분류할 때의 오차율이 7.65%로 10% 이하가 되어 현장에 적용할 만한 것으로 판단된다.

③ 초음파영상의 2차원 DCT 특징 기반 올레인산 함량 측정의 경우, 올레인산53%를 기준으로 일반육과 프리미엄급의 두 부류로 분류할 때의 오차율이 6.51%로 10% 이하가 되었으나, 테스트 데이터에 대한 두 부류 오차율이 2배 이상으로 증가하여 현장에 적용하기에는 아직 다소 부족하다고 판단된다.

④ 초음파영상 특징과 근적외선 특징을 융합하여 올레인산 함량을 측정하는 경우, 초음파영상 특징이 근적외선 특징에 비해 성능이 다소 떨어져서 결과적으로 융합된 특징의 성능도 근적외선 특징 단독에 비해서 다소 떨어지거나 유사하여 융합의 효과가 적은 것으로 나타났다.

⑤ 따라서 현장 적용은 근적외선 특징 단독에 근거한 올레인산 함량 측정 기술을 접목하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3. 목표 달성도 및 관련분야 기여도

○ 목표

(단위 : 건수)

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책·홍보		기타(타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	특허등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
											SCI	비SCI	논문평균IF						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건		건	명	명	건	건	
가중치	15					50				15							20		
최종목표	1					1				1	1		2	1	2		1	1	2

○ 목표 달성여부

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
지식재산권	15	100	우수(특허출원 2건)
기술인증	15	100	우수(기술실시 이전)
사업화	50	100	우수(횡성축협한우 올레인산 53)
정책활용	20	-	
합계	100점		

4. 연구결과의 활용계획

○ 본 연구에서 개발한 근적외선 특징 기반 올레인산 함량 산출 방법을 한우농가에 널리 교육 보급할 뿐만 아니라 생산자단체(조합 등)와 협의하여 차별화된 제2의 고급 브랜드화도 전개해 나아갈 계획이다.

가. 선도적용

(1) 개발된 연구개발 결과는 우선 선도적으로 우리나라 최고의 한우로 평가받고 있는 황성축협한우(브랜드)에 접목하여 소비자들과 생산자들의 한우고기에 대한 우수성의 빠른 인식전환을 유도할 계획이다.

(2) 적용방법은 현행 마블링 중심의 육질등급 기준에서 올레인산 함량(%)을 혼용한 신개념 품질(등급)로 표시한다.

(가) 대 상 : 거세한우

(나) 기 준 : 근내지방도 No.4 이상이면서 올레인산 함량이 53% 이상인 개체(12.4%)

(다) 로 그 : 기존)황성축협한우 → 격상) 황성축협한우 올레인산 53



(라) 예시(일본)



나. 확대적용

(1) 선도적용 단계를 걸친 후 단계적으로 다른 한우 브랜드육에 확대 적용하여 한우고기 전반의 질적향상과 이로 인한 한우농가 소득증대 및 한우산업의 새로운 발전기반을 구축할 계획이다.

(가) 단기)횡성축협한우→중기)기타 한우브랜드육→장기)한우산업 전반(도체등급제)

다. 기대성과 및 파급효과

(1) 기술보급에 따른 경제적 효과로서는 한우농가 소득증대 효과가 기대된다.

(가) 단기 : 횡성축협 한우 : 6억원/년[산출기준 - 200천원*0.3(30%)*10천두]

(나) 중기 : 기타 한우브랜드 : 36억/년[산출근기 - 횡성축협한우*0.6(60%)*10곳]

(다) 장기 : 한우비육산업(230천두/년) : 138억원/년[200천원*0.3(30%)*230천두]

(2) 기타 소비자들의 한우고기에 대한 새로운 이미지 부각효과를 기반으로 국내 전·후방 관련산업(사료, 개량, 식육문화 등)의 발전이 기대되고, 기타 삼겹살 중심인 돼지고기 문화에도 새로운 파급효과가 발생할 것으로 기대된다. 더 나아가서는 새로운 축산물 패러다임 도입을 통하여 선진축산을 구현할 것으로 기대된다.

(3) 뿐만 아니라 현재 홍콩 등 동남에 국한되어 있는 한우고기의 수출이 새로운 가치평가와 함께 다른 지역으로 확대되어 한우고기의 세계화에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Piao, T. Okura, and M. Irie, "On-site evaluation of Wagyu beef carcasses based on the monounsaturated, oleic, and saturated fatty acid composition using a handheld fiber-optic near-infrared spectrometer," *Meat Science*, vol. 137, pp. 258-264, 2018.
- [2] R. E. Walpole and R. H. Myers, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Fifth Ed., Macmillan, 1993.
- [3] N. C. Kim and H. J. So, "directional statistical Gabor features for texture classification," *Pattern Recognition Letters*, vol. 112, pp. 18-26, 2017.
- [4] T. Ojala, M. Pietikäinen, T. Mäenpää, "multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 24, no. 7, pp. 971-987, 2002.
- [5] S. Arlot, "A survey of cross validation procedures for model selection," *Statistical Surveys*, vol. 4, pp. 40-79, 2010.
- [6] 中川 陸, 「平成23年度国産牛肉産地ブランド化に関する事例調査報告IV」をアップしました 5 . 和牛肉の新たな評価基準に着目したブランド化. 2011.
- [7] 김남철 외, 가축의 올레인산 함량 산출 방법 및 장치, 국내특허 출원번호 10-2019-0105604, 2019년 8월.
- [8] 김남철 외, 초음파 영상으로부터 가축의 올레인산 함량 산출 방법 및 그 전자 장치, 국내특허 출원번호 10-2019-0105605, 2019년 8월.
- [9] 김남철, 초음파 영상의 지방함량 산출 프로그램 개발에 관한 연구, 경북대학교, 농협중앙회 연구 보고서, 2006년12월.
- [10] 김남철 외, 초음파 영상으로부터 육질의 지방함량 산출 방법, 국내특허 등록번호 10-0930883, 2009년 12월.

요 약 서

새로운 개념의 한우고기 품질 평가기술 개발을 통하여 소비자들의 욕구에 부응할 뿐만 아니라 한우 농가의 소득증대와 한우산업의 세계화를 위하여 지난 1년간(2018.09.10.~2019.09.09.) 연구한 “한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발” 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 공시축으로는 계획보다 18두 많은 234두(거세우 126, 암소 108)의 황성축협한우를 사용하였다.

2. 초음파 영상자료 획득과 관심영역(ROI) 설정은 도축하기 12~24시간 전에 소의 좌측 제13흉추와 제1요추 사이에서 배최장근(등심) 단면에 대한 B-mode 표준화상을 얻은 후 등심단면적에 해당하는 영역을 산출하였다.

3. 도체에 대한 등급판정과 등심시료에 대한 지방산 분석은 각각 축산물품질평가원과 농촌진흥청에 의뢰하였으며 육질 1등급 이상육 출현율과 올레인산 함량은 각각 70.94%(거세우 85.72, 암소 53.71)와 50.14%(거세우 50.34 암소 49.91)로 나타났다.

4. 소의 좌반도체 제13흉추와 제1요추 사이 피하지방에서 조사한 근적외선(NIR)에 대한 흡광도(Abs.)는 성간에는 차이가 없었지만 파장(mm)대별로는 0.757 ± 0.130 에서 0.344 ± 0.054 로 크게 나타났다.

5. 등심시료에 대한 이화학적 올레인산 함량과 관능적 맛과의 상관관계를 분석한 결과 거세우에 있어서 향(후각)과 맛(미각)에 각각 0.81과 0.62의 정(+)의 상관을 나타냈다.

6. 근적외선(NIR)로부터 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램으로 올레인산 함량(%)을 측정할 결과, $R^2=0.8117$, $p=0.9009$ 의 우수한 성능을 나타냈으며, 올레인산 함량을 53%로 기준하여 일반육과 프리미엄육으로 분류했을 때의 오차율도 7.65%로 나타나 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

7. 초음파영상으로부터 2차원 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램으로 올레인산 함량(%)을 측정한 결과, $R^2=0.7378$, $\rho=0.8589$ 그리고 올레인산 함량을 53%로 기준하여 일반육과 프리미엄육으로 분류했을 때의 오차율 6.51%로 근외적선 특징에 비해 다소 떨어졌다.

8. 이상의 연구결과를 종합해볼 때 금차 개발한 근적외선(NIR) 특징 기반 “한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술”의 현장 적용은 충분히 가능한 것으로 판단되었다.

[별첨]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		318075-1	
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	농축산물안전유통소비기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	한우고기 올레인산(지방산) 함량 측정기술 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	농협경제지주 축산연구원			연구책임자	정재경
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	`18.09.10.~ `19.09.09	100,000	100,000	200,000
	2차연도				
	3차연도				
	4차연도				
	5차연도				
	계	`18.09.10.~`19.09.09	100,000	100,000	200,000
참여기업					
상대국	상대국연구기관				

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2019.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
농협경제지주 축산연구원	부장	정재경

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	정재경
-----	-----

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

도축전 한우 234두를 대상으로 촬영한 초음파영상 특징과 도축 후 2분도체 상태의 피하지방에서 조사한 근적외선(NIR) 반응값(흡광도) 특징을 이용하여 한우고기 등심의 올레인산(지방산) 함량 측정기술을 개발한 결과, 근적외선(NIR)로부터 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램은 $R^2=0.8117(p=0.9009)$ 그리고 초음파영상으로부터 2차원 DCT 특징을 추출하여 개발한 프로그램은 $R^2=0.7378(\rho=0.8589)$ 을 가져왔다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

1992년 도입돼 현재까지 적용되고 있는 한우고기 품질평가에 대한 새로운 개념의 평가기술 개발을 통하여 소비자들의 육구 부응과 한우농가의 소득증대 및 한우산업의 세계화가 시급한 과제였기 때문에 본 연구결과는 현장적용이 가능한 충분한 해결방안이라 사료된다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

본 연구결과에 대한 육구가 소비자, 생산자 모두 많았다는 점과 현장 적용 시 우리나라 소 등급판정시스템(제13홍추와 제1요추사이 피하지방에서 조사)을 기반으로 신속하게 측정될 수 있기 때문에 활용 가능성은 매우 높을 것으로 사료된다. 또한 일본의 사례를 살펴봐도 빠른 보급이 예상된다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

주관연구기관과 협동연구기관의 국책 연구 경험부족에도 불구하고 당초 2년(3억원) 계획되었던 연구를 1년(2억원)에 압축 수행하기 위해서는 나름 최선의 성실성을 갖고 임했기 때문에 가능했던 것이라 사료된다. 특히 연구기간 중 약 2개월은 구제역으로 이동제한 조치도 있었다.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

시기적으로 아직 현장 실용화 성과는 없지만 공개발표된 성과는 국제학술지 AIHC(Journal of Ambient Intelligence & Humanized Computing)에 1편 그리고 일본 전문가 초청을 통한 세미나 발표 3건과 함께 국내 특허 출원 2건(초음파 영상으로부터 가축의 올레인산 함량 산출방법 및 그 전자장치, 가축의 올레인산 함량 산출방법 및 장치)의 성적을 거뒀다.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
지식재산권	15	100	우수(특허출원 2건)
기술인증	15	100	우수(기술실시 이전)
사업화	50	100	우수(횡성축협한우 올레인산 53)
정책활용	20	-	
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

새로운 개념의 (근적외선(NIR) DCT 특징을 이용한 올레인산 함량 측정)한우고기 품질평가 기술 개발을 통하여 소비자들의 육구 부응과 한우농가의 소득 증대 그리고 한우산업 발전의 충분한 계기가 될 것으로 사료됨

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

당초 2년(3억원) 계획되었던 연구를 1년(2억원)에 압축 수행하면서 소비자와 한우농가의 육구를 충족하기 위해 나름 우리나라의 소고기 유통과정에 실용화를 위하여 최선의 노력을 다한 결과, 신뢰할만한 결과를 도출했다는 점과 충분한 예비실험과 배경실험 등에 아쉬움이 있었다는 점 고려

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

근적외선 DCT특징 기반 올레인산 함량 측정기술에 대한 현장 기술이전 및 각종 교육·홍보를 통하여 한우고기의 새로운 차별화된 고급 브랜드화를 전개해 나아갈 계획임. 우선 공동연구기관인 횡성축협에 적용한 후 단계적으로 10여개에서 궁극적으로는 희망하는 모든 한우 브랜드경영체로 확대할 계획임. 이 과정에서 추가적인 연구보완과 정책활용 등의 조치가 필요함

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

개발결과에 대한 사실은 사회적 공유의 책무가 있지만 일부 연구내용(공시축 성적정보, DCT 특징 정보, 검량선 정보 등)에 대한 사실은 보안이 필요

2. 연구기관 자체의 검토결과

개발결과에 대한 사실은 사회적 공유의 책무가 있지만 일부 연구내용(공시축 성적정보, DCT 특징 정보, 검량선 정보 등)에 대한 사실과 특허 출원한 2건에 대한 내용은 최소 약 2년 정도의 보안이 필요

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농축산물안전생산유통관리기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농축산물안전생산유통관리기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.