

발간 등록 번호

11-1541000-001708-01

계란의 유통개선을 위한
품질 정량화 자동계측 시스템 개발

(Development of precise quantitative quality measurement
system for the improvement of egg distribution)

연구 기관

성균관대학교

강원대학교

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “ 계란의 유통개선을 위한 품질 정량화 자동계측 시스템 개발에 관한 연구” 과제(세부과제 “계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명에 관한 연구”)의 보고서로 제출합니다.

2012년 12월 일

주관연구기관명 : 성균관대학교
주관연구책임자 : 황 현
세부연구책임자 : 황 현
연 구 원 : 조 성 호
연 구 원 : 이 동 구
연 구 원 : Nguyen Xuan Loc
연 구 원 : 김 남 균
연 구 원 : 엄 주 태
협동연구기관명 : 강원대학교
협동연구책임자 : 윤 원 병

요 약 문

I. 제 목

계란의 유통개선을 위한 품질 정량화 자동계측 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 계란의 신선도를 위시한 품질계측 및 규격화와 더불어 유통혁신의 기반이 되는 계란 품질계측 인자 선정 및 IT 융합 기술에 의거한 정밀 정량화 품질계측 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

현재 축산물 등급판정소에서 적용하고 있는 시스템인 영국 TSS(Technical Services and Supplies) 사의 QCM+system은 계란의 신선도 척도인 호우단위(Haugh Unit) 및 난황색의 구분을 수행한다. 그러나 시스템의 복잡성 및 사용성에 있어서 개당 25초정도의 처리시간이 소요되며, 또한 수입 장비이므로 사후관리가 까다롭고 장시간이 소요된다. 그리고 고가의 소모품으로 인하여 운영비용이 많이 소요되는 문제가 있다.

본 연구에서 개발한 시스템은 정밀성에서 기존 시스템과 동일한 정도의 성능 구현을 목표로 하고 있으며, 처리시간은 10초 이내 그리고 단일 시스템으로 호우 유닛 및 난황색 판정을 총괄 처리할 수 있도록 한다. 또한 처리 후 데이터베이스 연계를 통한 유통이력 추적정보를 제공 할 수 있도록 하여 유통관리 효율을 높이는 것을 목표로 한다. 그 외 난황 및 난백의 시간에 따른 변화 정보를 저장하여 향후 계란의 신선도 계측의 새로운 요소를 찾는 연구에 기초 자료를 제공한다.

계란은 다른 축산물에 비하여 비교적 좋은 품질의 단백질과 다양한 영양분을 갖는 우수한 축산물로 많은 소비자들에게 인식되어 온 식품으로서 계란의 유통과정에서 계란의 호흡 및 수분증발 등으로 내부의 품질 변화가 발생한다. 따라서 계란의 내부의 물리적 변화와 화학적 변화를 관찰하여 품질을 판단하는 판정과 이에 근거한 품질 요인들의 명확한 기준 설정을 통하여 등급화의 기준이 필요하다.

계란은 초기 생산단계도는 집하 단계에서 정확한 신선도 측정이 요구되며 등급 판정 이후 판매지로 이송된다. 계란의 유통기간은 28일로 정하고 있으며, 유통 도중에는 계란의 신선도 유무를 판별이 어렵다. 유통과정 중에 계란의 신선도 유무를 판별하려면 계란을 할란 측정 방법

을 사용할 수밖에 없다. 이러한 신선도를 확인하기 위하여 실행하는 방법은 여러 가지가 있지만 가장 보편적인 방법은 파괴적인 방법인 haugh unit(HU)을 가장 일반적으로 이용하고 있다.

이 방법은 계란을 활란하여 편편한 바닥에서 내용물의 높이를 측정해 신선도를 결정하는 방법으로 계란의 내부 품질에 대한 정확한 판단을 내릴 수 있으나, 수동·접촉식 방법이기 때문에 측정을 위해 많은 시간과 인력이 필요하며, 인력에 의한 수작업 품질 계측으로 계측자에 의한 판단으로 인한 계측 오차가 크게 측정되어 신뢰성을 확보하기 힘든 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점들을 개선하기 위해 이러한 문제점들을 개선하기 위해 최근 영상처리 기술을 통한 농산물의 품질 판정, 검사, 수확 작업 등에 다양하게 적용하려는 시도가 진행되고 있다. 최근 들어 프로세서의 성능이 비약적으로 향상되었고 영상 처리 관련 주변 하드웨어와 소프트웨어의 발전에 힘입어 과거에는 실시간 처리를 할 수 없었던 복잡하고 정교한 영상처리 기술 적용이 용이해 졌다. 외국 영상 처리 기술 응용 연구의 경우 주로 과실류의 수확과 선별자동화 그리고 곡물류의 외관검사에 관한 연구들이 주를 이루고 있다.

본 연구에서는 영상처리 기술을 통한 비접촉식 품질 정량화 자동계측 기기를 통해 유통 온도별 유통 기간에 따른 신선도에 대한 지표를 마련하고자 기존 품질 계측 인자인 이화학적 변화, 점도를 기준인자로 선정하여 자동 계측기기를 통한 저장 중 농후 난백의 높이 및 퍼짐도 측정간의 상관관계 및 저장 기간에 따른 신선도를 확인하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

(1) 주관연구기관(제1세부: 성균관대학교)

계란 품질의 결정인자들에 대한 정량화 계측 알고리즘 및 시스템 개발 구축

본 과제에서 목표로 하는 연구 개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

본 연구에서는 계란의 품질을 결정할 수 있는 인자들에 대한 정량화 계측을 위한 알고리즘 및 시스템을 개발 구축한다.

1. 계란의 난황, 농후난백, 수양난백, 이물질, 호우단위 등에 필요한 영상 계측정보 획득하는 컴퓨터시각계측시스템을 개발
2. 컴퓨터시각계측시스템 개발시 조명문제 해결방안
 - 배면 인공 조명을 통한 영상처리 수행을 통하여 최대한 조명에 대한 오류를 제거함. LED 도광판을 이용한 위치별 조도가 균일한 조명장치 사용을 통한 조도 왜곡을 최소화함. 챔버 사용으로 외부 조명의 간섭을 최소화
3. 획득한 영상정보로부터 품질을 자동으로 정밀하게 계측하는 알고리즘을 개발
 - 난황 높이, 크기(체적), 농후난백 높이, 크기(체적), 난황 색상, 난백의 이물질 여부, 시간에 따른 난백의 퍼짐도(탄성)
4. 영상처리 알고리즘 문제 해결방안
 - 경계면 오류 : 초점 불안정으로 인한 경계면의 흐림 현상을 제거하고자 좁은 화각의 카메라사용으로 초점 범위 확장
 - 난황 난백 및 배경 분리 문제 : 컬러 영상처리를 수행하여 상호 분리함
5. 노이즈 문제 해결방안
 - 영상 노이즈의 경우 조도가 낮을 경우 발생될 수 있으며, 충분한 조명 하에서의 영상 노이즈의 경우 필터링을 통하여 제거되거나 발생될 가능성이 낮음
6. 중량 정보 및 계란의 품질에 대한 영상정보를 데이터베이스로 축적하고 이를 활용할 수 있는 GUI 환경 통합 시스템 관리 모듈을 개발
7. 계란의 샘플링은 현재 축산물 등급판정원에서 수행하고 있는 방법을 사용하여 샘플링하며, 축산물등급판정원의 검사 방법에 맞추어 등급간의 대표성에 대한 검증을 수행
8. 현재 축산물 등급판정원에서 수행하는 품질측정 시퀀스를 준용하여 시스템을 개발할 것이

므로 다량의 샘플링 측정으로 인한 시스템 보완은 문제가 되지 않을 것으로 판단함.

(2) 협동연구기관(제1협동연구기관 : 강원대학교)

계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명

본 연구에서는 새로운 컬러 컴퓨터 시각 계측 시스템을 통한 계란의 품질계측 인자를 선정하여 계란의 신선도 등의 품질과 기존 품질인자와의 상관관계를 규명하고 최적의 품질계측 인자를 다음과 같이 선정한다.

1. 계란 품질 계측 인자 선정 및 시험 평가
 - 선행연구를 바탕으로 한 계측인자 선정 후 컬러 컴퓨터 시각 계측 시스템을 통한 저장 실험을 실시하여 신선도에 대한 계측인자의 변화 평가
2. 계란의 품질인자와 신선도 상관관계 규명 및 최적인자 선정
 - 품질 계측인자와 신선도 상관관계를 저장실험을 통해 규명
 - 저장 실험 데이터를 통한 최적인자 및 비교 기준인자 선정
3. 유통품질 기준 확립에 있어서 시간에 따른 품질인자의 변화 조사
(농후난백 높이, 시간에 따른 난백의 퍼짐도)
 - 저장 기간 동안 품질인자의 이화학적 변화 규명
4. 사육에 따른 계란 품질인자의 변화 규명
 - 대형할인마트에서 구매한 계란과 강원지역 농가에서 친환경 사육한 모계(母鷄)가 산란한 계란을 통한 품질인자 비교

IV. 연구개발결과

(1) 주관연구기관(제1세부: 성균관대학교)

계란 품질의 결정인자들에 대한 정량화 계측 알고리즘 및 시스템 개발 구축

본 과제에서 목표로 하는 연구 개발의 결과는 다음과 같다.

본 연구는 계란의 품질을 결정할 수 있는 인자들에 대한 정량화 계측을 위한 알고리즘 및 시스템을 개발하기 위해 수행되었다. 본 연구에서 개발된 계측시스템은 컬러 컴퓨터 시각시스템을 이용하여 비접촉식으로 난백과 난황의 색상 정보를 획득 할 수 있으며, 고해상도의 컬러 카메라를 사용하여 계란을 파각 후에 난백과 난황의 시간에 따른 변화 상태와 중량을 정밀하게 측정하도록 개발 되었다. 시스템의 정확도를 측정할 인자로는 난황의 높이, 난황의 면적, 난백의 높이, 난백의 면적, 계란의 중량이다. 5가지 주요 인자의 정확도를 측정하기 위해 정형화된 물체를 사용하여 물체를 다 각도에서 측정한 후 측정값과 정형화된 물체의 실제 값과 비교하여 검증하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기존의 품질계측 시스템인 영국 TSS사의 QCM-SYSTEM이 독립적인 측정 방식의 불편함을 개선할 수 있도록 하나의 모듈로 통합하였다.
2. 접촉식으로 측정 하던 기존의 시스템에서 컬러 컴퓨터시각시스템을 이용하여 비접촉식으로 난백과 난황의 색상 정보를 획득할 수 있게 하였다.
3. 영상처리 알고리즘 적용을 통하여 기존의 시스템이 하드웨어 적인 부분으로 인해 발생하던 비용적인 측면과 시간적인 측면을 소프트웨어적으로 해결함으로써 비용과 시간적인 낭비를 줄였다.
4. 개발된 시스템의 정확도 검증 결과 중량의 경우 최대 0.5g 오차를 나타내었으며 난백과 난황의 높이 측정 시 물체의 이동에 따른 오차율은 2% 이하의 정확성, 난황과 난백의 면적 측정 결과 평균 3%이하의 높은 정확성을 보였다.
5. 기존의 시스템에서는 느린 계측 속도로 인해 측정할 수 없었던 계란의 파각 후 나타나는 변화에 대한 측정을 수행할 수 있도록 컬러 컴퓨터시각시스템을 사용하여 수행한 결과 계란의 경우 파각 이후에도 몇 초 동안 난황과 난백의 수양화 현상으로 높이가 변화한다는 것을 수치적으로 확인 할 수 있도록 개발 하였다.
6. 난백의 높이의 변화로 인해 난황의 높이 값을 인자로 받는 기존의 신선도 측정 방법인 호우유닛 수치에도 시간에 따라 변화한다는 것을 사용자가 쉽게 가시적으로 확인할 수 있도록 GUI (graphical user interface)환경 하의 사용자 인터페이스를 구축하였다.

(2) 협동연구기관(제1협동연구기관 : 강원대학교)

계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명

1. 계란 품질 계측 인자 선정 및 시험 평가

- 계란 품질 계측 인자 선정: 논문들을 참고문헌으로 하여 계측인자를 선정

가. 계란 저장 실험에서 신선도를 평가하는 품질 계측 인자로 저장 기간에 따른 무게 감소율, 난백의 pH 변화, 호우유닛(Haugh Unit:HU)의 변화 확인 [Rocculi et al.(2009)]

나. 저장 기간이 증가함에 따라 기실의 부피가 증가하는 것을 무게 감소율을 인용하여 비교 계측 [Kim et al.(2007)]

다. 암탉의 종류에 따른 저장 기간 동안의 신선도 변화를 평가하기 위하여 품질 계측 인자로 난황의 점도 변화 및 난황의 pH를 측정 [Severa et al.(2010)]

라. 계란 저장 실험에서 저장기간에 따른 신선도 변화를 계측하기 위하여 계란의 무게와 농후난백의 높이를 활용한 호우유닛과 전처리(균질화)한 난백 점도를 측정하여 상관관계를 분석 [Kemps et al.(2010)]

마. 저장 기간이 증가함에 따라 농후난백의 수양화로 인하여 난백의 높이가 감소하며, 이는 할란시 난백의 퍼짐도에 영향 [연구 기록이 없으며 본 과제에서 수행]

- 품질 계측 인자 선정을 위한 저장시점별 측정

가. 저장 기간동안 계란 품질 계측 인자의 변화 및 패턴을 확인하기 위하여 5℃, 20℃, 35℃에서 저장실험을 실시

- 시험 평가

가. 계란의 무게감소율

- 계란의 초기 무게를 기준으로 저장 기간에 따른 무게 감소율을 측정

나. 난황 및 난백의 pH

- 계란의 난황과 난백을 분리하여 각각의 저장 기간에 따른 pH를 측정

다. 농후난백의 높이

- 컬러컴퓨터시각계측 시스템을 이용하여 농후난백이 안정화된 30초를 기준으로 농후난백의 높이를 계측

라. 호우유닛(HU)

- 컬러컴퓨터시각계측 시스템을 통해 계측된 농후난백 높이와 무게를 이용하여 호

우유닛을 측정

마. 난황 및 난백의 점도

- 계란의 난황과 농후난백, 수양난백을 각각 분리하여 난백의 점도는 LVDV-II Pro(Brookfield engineering laboratory, Middleboro, Inc.USA)를 이용하여 측정, 난황의 점도는 RVDV-II Pro를 이용하여 측정

2. 계란의 품질인자와 신선도 상관관계 규명 및 최적인자 선정

가. 계란의 무게감소율

- 계란의 호흡 작용으로 인하여 기공을 통하여 성분들 배출됨으로서 지속적으로 증가

나. 난황 및 난백의 pH

- 신선한 계란의 난백의 경우 pH는 7.0-8.5로 측정되나 계란에 용해된 CO₂의 배출로 인하여 난백의 경우 초기에 급속도로 상승이후 미소적으로 증가하였으며, 난황의 경우 신선란은 5.8-6.5로 측정되나 난황과 난백의 성분 농도차로 인한 삼투압 현상으로 상대적으로 pH가 높은 난백 성분 및 수분이 유입됨으로서 지속적인 증가

다. 농후난백의 높이

- 농후난백의 수양화로 인하여 지속적인 감소

라. 호우유닛(HU)

- 계란의 무게 및 농후난백의 높이 감소로 인하여 지속적인 감소

마. 난황 및 난백의 점도

- 난황의 점도는 난백의 유입으로 인하여 지속적으로 감소하였으나, 농후난백을 포함한 난백의 점도는 일정한 점도수치를 기록하지 않고 높은 편차범위로 측정되어 품질 계측 인자로서 적합하지 않음
- 수양 난백의 점도는 저장 초기 점도수치가 매우 낮으며 저장 기간에 따른 유의차 있는 점도 감소 경향을 나타내지 않아 품질 계측 인자로 적합하지 않음

바. 퍼짐도 측정

- 저장 초기의 경우 퍼짐도 측정시 초기 난백 높이의 강하속도가 빠르고 측정 초기(0.5초)와 마지막 측정시기(30초) 간의 높이차이가 비교적 높게 나타났으나 저장기간이 증가함에 따라 농후난백의 수양화로 인해 측정 초기와 마지막 측정치의 높이차이가 낮으며 이로 인해 강하속도가 느림

- 최적인자 선정

- 컬러 컴퓨터 시각계측 시스템을 통한 농후난백의 높이 계측은 영상 분석을 통한 자동화로 인한 짧은 측정 시간 및 객관적인 데이터 측정으로 신뢰성 확보함으로 최

적인자로 선정하였으며 신선도에 대한 기준인자로서 기존 품질 계측 인자 중 오차범위가 낮은 인자를 선정

- 동일 시료 반복 계측: 오차범위 \pm 최소 0.01, 최대 0.22mm으로 계측 가능
 - ※ 계측 높이(100%)대비 오차 범위: 최소치(0.001%) 최대치(3.01%)
- 동일 저장 조건 시료 계측: 오차범위 \pm 최소 0.32 최대 2.51mm로 계측 가능
- 무게 감소율의 경우 최대 오차범위가 $\pm 0.6\%$ 로 매우 낮아 비교할 기준인자로 선정

3. 유통품질 기준 확립에 있어서 시간에 따른 품질인자의 변화 조사

- 난황 높이, 크기(체적), 농후난백 높이, 크기(체적), 난황 색상, 난백 색상, 시간에 따른 난백의 퍼짐도(탄성), 시간에 따른 난황의 높이 변화율(탄성)

- 시간에 따른 품질 인자의 변화 조사: 농후난백 높이, 시간에 따른 난백의 퍼짐도

가. 농후난백 높이: 저장 기간이 증가함에 따라 농후난백의 수양화로 인하여 높이 감소

※ 저장 온도별 A등급 판별 최대 저장 기간 측정

5°C 저장: 저장 기간 30일까지 신선도 유지

20°C 저장: 저장 기간 20일까지 신선도 유지

35°C 저장: 저장 기간 35일까지 신선도 유지

【측정시 특이사항】

5°C 저장시 30일 이후에도 신선도 유지 예상, 기타 온도 저장 실험에서 위 기재된 기일 이후의 측정 불가.

- 시간에 따른 난백의 퍼짐도: 저장 초기 농후난백의 퍼짐도에 비하여 저장기간이 증가함에 따라 난백의 수양화로 인하여 퍼짐도 수치가 낮아짐. 이는 난백의 수양화로 인하여 농후난백을 이루고 있는 ovomuchin-lysozyme 복합체의 disulfide bond 결합력이 약해짐으로서 농후난백의 초기 높이가 낮아짐으로서 퍼짐도가 저장기간이 증가함에 따라 낮아짐

4. 사육에 따른 계란 품질인자의 변화 규명.

- 대형할인마트에서 구매한 계란과 강원지역 농가에서 친환경 사육한 모계(母鷄)가 산란한 계란에 대한 품질인자인 퍼짐도를 비교해보았으나 출하시점이 동일한 이유로 시료간의 유의차가 없는 것으로 판명

5. 기존 품질 검사인자와의 비교.

- 기존 품질 검사 인자인 난황 점도측정은 측정에 있어 난황의 분리가 실험자의 숙련도에 따

라 데이터에 많은 영향을 미치며, 시간이 오래 걸리고 복잡하며 자연시료인 계란의 특성상 시료간의 편차가 크게 발생한다. 또한 난백 점도 측정은 Kemps et al.(2010)에 따르면 측정이 매우 어려우며 농후 난백을 함께 측정할시 점도가 일정하지 않고, 수양 난백만을 측정시 점도가 너무 낮아 저장 기간에 따른 점도변화가 유의차가 없었다. 따라서 자동화 영상 분석을 통한 품질 측정이 데이터에 대한 객관적인 신뢰성이 더 높음

6. 개발 시스템의 축산물품질평가원에서의 적용 가능성 검증.

- 저장 실험을 통하여 개발 시스템인 컬러 컴퓨터 시각 측정시스템을 검증 완료
- 동일 시료 반복 측정: 오차범위는 최소 ± 0.01 , 최대 0.22mm으로 측정 가능
 - ※ 측정 높이(100%)대비 오차 범위: 최소치(0.001%), 최대치(3.01%)
- 동일 저장 조건 시료 측정: 오차범위 \pm 최소 0.32 최대 2.51mm로 측정 가능

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

가. 기술적 측면

- 중량 정보 및 계란의 품질에 대한 영상정보를 데이터베이스로 축적하고 이를 활용할 수 있음.
- 기존 접촉식 시스템의 대체 장비로 적용가능.
- 기존 장비로 할 수 없었던 계란의 신선도 판정을 위한 주요 인자 분석 및 탄성도 등의 분석을 할 수 있어 보다 다양하고 세밀한 신선도 검사 방법 제시 가능.
- 비접촉 계측 방법의 다양화 연구에 활용됨.
- 관련 기술의 특허 출원을 통한 지적 재산권 보호.
- 시스템과 알고리즘에 대한 특허 취득이 가능함.
- 멀티 컬러 카메라 및 배면 조명을 통한 3차원 계란 신선도 판정 시스템

나. 경제적 산업적 측면

- 기존 외산 장비 대체로 수입대체 효과 극대화.
- 외산 장비의 사후관리의 문제점 해결.
- 현재 진행 중인 중국으로의 시스템 수출 가능.

2. 성과활용 계획

가. 활용방안

- 기존에 상용화된 계란 품질 시스템을 개선을 하여 품질 규격화, 유통 및 안전성 확보를 통하여 유통체계를 합리화하고 소비자의 고품질 구매욕구와 선택 구매욕을 충족시킬 수 있다.
- 품질판정 받은 원료란에 대해 생산자 번호와 계군번호 등을 기재한 등급판정확인서를 발급하고, 납품처별 공급수량과 구매한 액란의 생산이력을 추적할 수 있도록 축산물 검수 시스템을 보완하는 등 품질등급 표시를 통해 소비자가 계란을 구입할 때 계란의 품질등급과 판매가격을 비교하여 합리적인 판단을 할 수 있도록 정보를 제공 함.

나. 제품화 계획

- 참여업체인 (주)중앙IT&T가 주도하여 칼러 컴퓨터시각을 이용한 품질 정량화 자동계측 시스템을 제품화 및 시제품 출시 할 계획임.
- 균일 LED 배면 평면 조명 시스템 개발
- 할란 계측의 편이 및 정밀성 확보를 위한 계측 유리면 개발
- 멀티 고해상도 컬러 카메라를 이용한 평면/측면 경계 영상 획득 시스템 개발
- 외부 조명 배제를 위한 Curtain Wall 구축

다. 산업화 계획

- 사업화 수준의 시스템 개발을 위하여 실제 축산물 등급 판정소에서 기존 시스템과 병행하여 적용성 시험을 수행하며, 기존의 시스템의 단점을 보완하는 개발체계를 구축한다.
- 시스템의 개발이 완료되고 계측시스템을 이용하여 계란 품질등급 결정에 필요한 최적의 품질인자가 선정되면 추가로 기술표준원 사업을 통하여 별도의 표준화 사업을 수행할 예정이다.
- 관련 학회 및 박람회 등을 통해 전체 시스템 개발과 성능에 관한 홍보.
- 개발한 시스템은 (주)중앙IT&T가 제품화하여 축산물품질평가원 및 국내 계란유통 관련 업체와 연구기관에 시판(50대/년) 공급할 예정임.
- 중국으로 개발 시스템에 대한 수출 계획을 추진하고 있다.
- 과제 완료 즉시 제품 상용화 추진.
- 계란 품질 계측 시스템 기술은 국내·국제 특허를 통해 보호.

SUMMARY

Two commercial systems for the egg quality measurement have been imported and available in Korean market. QCM+system manufactured by TSS Co., Ltd, is composed of 5 independent units which measure color of the egg shell, weight of an egg, value of the haugh unit, height of the yolk of an egg, and height of the dense white part of an egg. Measurements using QCM+system are mostly performed manually and color is examined by the naked eye via comparing with color model templates. The accuracy and repeatability of the measurement are low since it utilizes the mechanical probe and naked eye in measuring the height. Egg Analyzer utilizes the ultra-sonic wave to measure the height of the yolk of an egg and the height of the dense white part of an egg. It takes long measuring time and can not also measure the color property of an egg.

In this research, nondestructive automatic measurement system via color computer vision system was developed to measure the color properties and variation of the heights of the yolk and the white of an egg. Load cells were also mounted to measure the weight of an egg. The egg quality was obtained from the top and side view images of an egg via measuring the height of the yolk and the dense white, color of the yolk, and time variation of the heights of the yolk and the white.

The image processing algorithms were developed to recognize the existence of an egg for the difference of the images, binarization, labeling, and Hough transformation using Microsoft Visual Studio 2008 C# language and OpenCV of the Intel Co., Ltd. Halcon 10.0 image processing library of MVtec Co., Ltd. was also used in developing image processing routines. Heights of the yolk and the white of an egg were obtained from the side images of an egg.

In other to measure the yoke color of an egg, RGB image was transformed to HSI color image after performing illumination compensation. The noise of the image was removed via labeling process and edge extraction was performed. Contour of the yolk was extracted and location which is 1 cm apart from the boundary of the yolk was selected to measure the height of the dense white of an egg.

The egg livestock is excellent with good proteins and various nutrients. But egg cause quality changes of internal due to breathing and moisture evaporation in the distribution process. Therefore, It is necessary to grade eggs inside the physical and chemical changes in the distribution process observed by quality factors of clear standards set. In this study, The new method of non-contact was introduced in order to improve the accuracy based on the problems that caused by measurement time, manpower consumption, and the user's skill in operating the contact measurement method in the system of existing commercial eggs quality.

Experiments were carry out in the 5, 20, 35 °C temperature conditions to make indicators for the changes of egg freshness according to distribution temperature and duration of distribution conditions utilizing non–contact devices. Existing factors; Weight, pH, and viscosity were used as the criteria to make freshness indicators for each the temperature range through the unit. The weight of egg decreased depending on the storage period by respiration. PH increased due to the emission of CO₂ dissolved in the internal.

In addition, the viscosity of the albumen decreased due to the liquefaction of the egg white, yet it was impossible to be used as an indicator of freshness in case of thick albumen which does not record constant viscosity figures, and no significant change in viscosity was found during storage period in case of thin albumen which has too low initial viscosity. In the measuring of the degree of diffusion using non–contact device, and Haugh unit based on the height of egg white albumen, the degree of diffusion decreased as storage temperature increased due to the liquefaction, and Haugh unit declined due to the weight reduction during the storage period and to the liquefaction of thick albumen. In the evaluation of freshness during 30 days of the storage period in the low temperature conditions, A grade was successfully maintained until the end of the term in the storage at 5°C, and for 20 days at 20°C, and 12 days at 35°C.

CONTENTS

List of Table

List of Figures

Chapter 1 Overview of research and development	1
Section 1 Research objectives	1
1. Final research objectives	1
2. The specific objectives of the final research and development projects	1
Section 2 Necessity of Research	4
Chapter 2 Technology development status at home and abroad	6
Section 1 Domestic production and market trends	6
Section 2 Abroad production and market trends	6
1. QCM+system manufactured by TSS Co., Ltd in the United Kingdom	6
2. EMT-5200 manufactured by Crescent Science and Technology Co., Ltd in China	8
3. Viscometer manufactured by brookfield Co., Ltd In the United States	3· 1
Chapter 3 Research and development performed Contents and Result	5 1
Section 1 Basic theory	5 1
1. Image processing theory	5 1
Section 2 The measurement system of eggs configuration and specifications	7· 2
1. The entire configuration	2
2. Image acquisition	2
3. Measurement of Weight	2
Section 3 Egg system of measurement algorithms	4 3
1. Each mode screen	3
2. Measurement algorithms	3

Section 4 Experimental methods	74
1. The top of camera calibration methods	94
2. The side of camera calibration methods	05
3. Load cell calibration methods	25
Section 5 Results and Discussion	45
1. Measurement accuracy of the side camera	45
2. Measurement accuracy of the top camera	55
3. Load cell accuracy	8
4. Change according to the time of yolk and albumen height and area	17
Section 6 Freshness correlation and quality factor and selection of optimum according to the store period for eggs stored at 35 °C	47
1. Research purposes	7
2. Research methods	5
3. Research result	7
Section 7 Egg quality and measurement instrument evaluation according to breeding	9·8
1. Research purposes	8
2. Research methods	8
3. Research result	9
Section 8 Freshness evaluation 2according to the store period for eggs stored at 20 °C	91
1. Research purposes	9
2. Research methods	9
3. Research result	9
Section 9 Freshness evaluation according to the store period for eggs stored at 5, 20 and 35 °C	106
1. Research purposes	106
2. Research methods	106
3. Research result	108
Chapter 4 Contribution of purposes achievement and Related fields	81
Section 1 Research objectives and the achievement by year	81

Chapter 5 Plan of research and development accomplishment and utilization	1
Section 1 Plan of utilization and industrialization	2
1. Utilization planning	10
2. Product planning	10
3. Industrialization planning	10
Section 2 Plan to propagate technique of Education, guidance and publicity	21
Section 3 Plan to secure Intellectual Pro-perty Right and patent, Research	321
Section 4 Plan of utilization to further research and other studies	4
1. Further research planning	14
2. Plan of utilized in other studies	4
Chapter 6 References	15

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
제 1 절	연구 목표	1
1.	최종 연구 목표	1
2.	최종 연구 개발 사업 세부 목표	1
제 2 절	연구의 필요성	4
제 2 장	국내외 기술개발 현황	6
제 1 절	국내 제품생산 및 시장 현황	6
제 2 절	국외 제품생산 및 시장 현황	6
1.	영국 TSS(Technical Services and Supplies)사의 QCM+system	6
2.	중국 Crescent Science and Technology사의 EMT-5200	8
3.	미국 brookfield의 점도계	B
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	15
제 1 절	기초이론	15
1.	영상처리 이론	15
제 2 절	계란 측정 시스템의 구성 및 사양	27
1.	전체구성	27
2.	영상 획득부	29
3.	중량 측정	32
제 3 절	계란 시스템의 측정 알고리즘	34
1.	각 모드별 화면	35
2.	측정 알고리즘	38
제 4 절	실험 방법	47
1.	윗면 카메라 보정 방법	49
2.	측면 카메라 보정 방법	50

3. 로드셀 보정 방법	52
제 5 절 결과 및 고찰	54
1. 측면 측정 정확도	54
2. 윗면 측정 정확도	55
3. 로드셀 정확도	68
4. 시간에 따른 난황과 난백의 면적, 높이 변화	71
제 6 절 35℃ 저장 기간에 따른 품질인자와 신선도 상관관계 규명 및 최적인자 선정	74
1. 연구 목적	74
2. 연구 방법	75
3. 연구 결과	77
제 7 절 사육에 따른 계란 품질 및 측정 기기 평가	89
1. 연구 목적	89
2. 연구 방법	89
3. 연구 결과	90
제 8 절 20℃에서 저장 기간에 따른 신선도 평가	91
1. 연구 목적	91
2. 연구 방법	91
3. 연구 결과	94
제 9 절 5℃, 20℃, 35℃에서 저장 기간에 따른 신선도 평가	106
1. 연구 목적	106
2. 연구 방법	106
3. 연구결과	108
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	118
제 1 절 연도별 연구 목표 및 달성도	118
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	120
제 1 절 실용화·산업화 계획	120
1. 실용화 계획	120
2. 제품화 계획	120
3. 사업화 계획	120
제 2 절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등	122

제 3 절 특허, 연구 등 지식재산권 확보계획	123
제 4 절 추가연구, 타연구에 활용 계획 등	124
1. 추가 연구계획	124
2. 타연구에 활용 계획	124
제 6 장 참고문헌	125

List of Table

Table 1 Specifications of DFK 72BU02 camera	9· 2
Table. 2 Specifications of IMB-15FT CCD camera	0· 3
Table. 3 Specifications of HD-Lcell-01	2· 3
Table. 4 Specifications of JMOD-128	3· 3
Table. 5 Pixels change according to the position of the side of the camera	1· 5
Table. 6 Weight change according to the position	35
Table. 7 Pixels error after calibration	45
Table. 8 The center of the measurement results of model 1	6· 5
Table. 9 The top of the right side of the measurement results of model 1	6· 5
Table. 10 The top of the left side of the measurement results of model 1	7· 5
Table. 11 The bottom of the left of the measurement results of model 1	7· 5
Table. 12 The bottom of the right of the measurement results of model 1	8· 5
Table. 13 The center of the measurement results of model 2	8· 5
Table. 14 The top of the right side of the measurement results of model 2	9· 5
Table. 15 The top of the left side of the measurement results of model 2	9· 5
Table. 16 The bottom of the left of the measurement results of model 2	0· 6
Table. 17 The bottom right of the measurement results of model 2	0· 6
Table. 18 The center of the measurement results of model 3	1· 6
Table. 19 The top of the right side of the measurement results of model 3	1· 6
Table. 20 The top of the left side of the measurement results of model 3	2· 6
Table. 21 The bottom of the left of the measurement results of model 3	2· 6
Table. 22 The bottom of the right of the measurement results of model 3	3· 6
Table. 23 The center of the measurement results of model 4	3· 6
Table. 24 The top of the right side of the measurement results of model 4	4· 6
Table. 25 The top of the left side of the measurement results of model 4	4· 6
Table. 26 The bottom of the left of the measurement results of model 4	5· 6
Table. 27 The bottom of the right of the measurement results of model 4	5· 6
Table. 28 The center of the measurement results of Model 5	6· 6
Table. 29 The top of the right side of the measurement results of Model 5	6· 6
Table. 30 The top of the left side of the measurement results of Model 5	7· 6
Table. 31 The bottom of the left of the measurement results of model 5	7· 6
Table. 32 Weight according to the direction of the calibration results	9· 6
Table. 33 Weighing scales and measuring results	0 7
Table. 34 Power model coefficients for Egg Albumen spread values	201
Table. 35 Viscosity model coefficients of egg yolk	301

List of Figures

Fig. 1 QCM+system	6
Fig. 2 Egg Analyzer	7
Fig. 3 Crescent Science and Technology EMT-5200	8
Fig. 4 Egg weight measurement system	9
Fig. 5 (a) Three-dimensional surface measurement principle of the egg albumen (b) Measurement principle a plan view of the albumen	9
Fig. 6 Fresh eggs for measuring devices	10
Fig. 7 York color measurement methods	11
Fig. 8 Brookfield viscometer	31
Fig. 9 Pinhole camera model	7
Fig. 10 General image acquisition	71
Fig. 11 Radiation distortion	81
Fig. 12 Distortion Correction	91
Fig. 13 Distortion Model	91
Fig. 14 Tangential distortion	102
Fig. 15 Egg of binarization	12
Fig. 16 Modulus of HSI Color	22
Fig. 17 Connection for labeling	32
Fig. 18 Labeling process	32
Fig. 19 Difference operations of the egg	52
Fig. 20 Hough Circle Transform	52
Fig. 21 Pro direction of outline tracing considering 8-directional connectivity	62
Fig. 22 Process of outline tracing	62
Fig. 23 Egg of the system configuration	72
Fig. 24 Egg of the system	82
Fig. 25 DFK 72BU02 camera	92
Fig. 26 IMB-15FT CCD camera	103
Fig. 27 Lighting devices	13
Fig. 28 Inverter	13
Fig. 29 Compensation Panel	13
Fig. 30 HD-Lcell-01	23
Fig. 31 EPX4XM8A	33
Fig. 32 The main screen of Measurement System of Egg Quality	53
Fig. 33 Screen calibration window	53
Fig. 34 Color grading window	63
Fig. 35 Yolk Color Fan	63
Fig. 36 Weight calibration window	63

Fig. 37 The side camera calibration window	73
Fig. 38 Distortion Correction window	73
Fig. 39 Flow Chart of Measurement System of Egg Quality	8. 3
Fig. 40 Height measuring algorithm	93
Fig. 41 Area measuring algorithm	44
Fig. 42 Measurement time set	64
Fig. 43 Cube object	8
Fig. 44 Squared sheet	8
Fig. 45 Pixel calibration value	94
Fig. 46 The object changes according to the distance of the side of the camera	0. 5
Fig. 47 Precision Scale	25
Fig. 48 The top of the camera calibration models	55
Fig. 49 The center screen of model 1	65
Fig. 50 The right of the top screen of the model 1	65
Fig. 51 The top of the left side of model 1	75
Fig. 52 The bottom of the left of model 1	75
Fig. 53 The bottom of the right of model 1	85
Fig. 54 The center screen of model 2	85
Fig. 55 The right of the top screen of the model 2	95
Fig. 56 The top of the left side of model 2	95
Fig. 57 The bottom of the left of model 2	06
Fig. 58 The bottom of the right of model 2	06
Fig. 59 The center screen of model 3	16
Fig. 60 The right of the top screen of the model 3	16
Fig. 61 The top of the left side of model 3	26
Fig. 62 The bottom of the left of model 3	26
Fig. 63 The bottom of the right of model 3	36
Fig. 64 The center screen of model 4	36
Fig. 65 The right of the top screen of the model 4	46
Fig. 66 The top of the left side of model 4	46
Fig. 67 The bottom of the left of model 4	56
Fig. 68 The bottom of the right of model 4	56
Fig. 69 The center screen of model 5	66
Fig. 70 The right of the top screen of the model 5	66
Fig. 71 The top of the left side of model 5	76
Fig. 72 The bottom of the left of model 5	76
Fig. 73 Changing the height of the Egg White	17
Fig. 74 Changing the height of the egg yolk	27
Fig. 75 Changes in the area of the Egg White	27
Fig. 76 Changes in the area of the egg yolk	37

Fig. 77 Weight loss according to the store period for eggs stored at 5°C	7
Fig. 78 Weight loss values(5) of shell egg samples during 28 days	8
Fig. 79 Egg albumen pH according to the store period for eggs stored at 35°C	9
Fig. 80 pH values of shell egg samples during 28 days of storage at 25°C.	8
Fig. 81 Egg yolk pH according to the store period for eggs stored at 35°C	1
Fig. 82 Viscosity and pH values varying with storing time.	2
Fig. 83 Viscosity of thin albumin according to the store period for eggs stored at 35°C	3
Fig. 84 Total Egg Albumen of thin albumin according to the store period for eggs stored at 35°C	8
Fig. 85 Evolution in the viscosity of fresh albumen with increasing shear rate.	5
Fig. 86 Evolution in the viscosity of mixed albumen with increasing shear rate.	6
Fig. 87 Viscosity of egg yolk according to the store period for eggs stored at 35°C	8
Fig. 88 Effect of storage time on the viscosity of a yolk as function of shear rate.	8
Fig. 89 Angular spread measurements for egg in a poultry farm	9
Fig. 90 Angular spread measurements for egg in a discount stores	9
Fig. 91 Egg Albumen height measurement algorithm flowchart through image analysis	2
Fig. 92 Original image (left) & the region of interest image (right)	4
Fig. 93 RGB image from the switch to the HSV image	5
Fig. 94 Saturation histogram of the image(a) & Thresholding images (b)	5
Fig. 95 Saturation & Contrast extracting outlines of images of the two images and image subtraccio	5
Fig. 96 Weight loss according to the store period for eggs stored at 20°C	6
Fig. 97 Changes in egg weight during storage under packing and unpacking conditions.	7
Fig. 98 Egg Albumen pH according to the store period for eggs stored at 20°C	8
Fig. 99 The yolk pH according to the store period for eggs stored at 20°C	8
Fig. 100 Egg Albumen height according to the store period for eggs stored at 20°C	9
Fig. 101 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 20°C	10
Fig. 102 Spread measure according to the store period for eggs stored at 20°C	10
Fig. 103 Viscosity of thin albumin according to the store period for eggs stored at 20°C	3
Fig. 104 Viscosity of egg yolk according to the store period for eggs stored at 20°C	4
Fig. 105 Weight loss according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35°C	8
Fig. 106 Egg Albumen pH according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35°C	9
Fig. 107 Egg yolk pH according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35°C	10
Fig. 108 Spread measure according to the store period for eggs stored at 5°C	2
Fig. 109 Spread measure according to the store period for eggs stored at 20°C	3
Fig. 110 Spread measure according to the store period for eggs stored at 35°C	4
Fig. 111 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 5°C	5
Fig. 112 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 20°C	6

Fig. 113 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 35°C611

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구 목표

1. 최종 연구 목표

(1) 주관연구기관(제1세부: 성균관대학교)

계란 품질의 결정인자들에 대한 정량화 계측 알고리즘 및 시스템 개발 구축

(2) 협동연구기관(제1협동연구기관 : 강원대학교)

계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명

2. 최종 연구 개발 사업 세부 목표

(1) 주관연구기관(제1세부: 성균관대학교)

계란 품질의 결정인자들에 대한 정량화 계측 알고리즘 및 시스템 개발 구축

본 연구는 계란의 신선도를 위시한 품질계측 및 규격화와 더불어 유통혁신의 기반이 되는 계란 품질계측 인자 선정 및 IT 융합 기술에 의거한 정밀 정량화 품질계측 시스템을 개발을 목표로 하고 있다.

현재 축산물 등급판정소에서 적용하고 있는 시스템인 영국 TSS(Technical Services and Supplies) 사의 QCM+system은 계란의 신선도 척도인 호우단위(Haugh Unit) 및 난황색의 구분을 수행한다. 그러나 시스템의 복잡성 및 사용성에 있어서 개당 25초정도의 처리시간이 소요되며, 또한 수입 장비이므로 사후관리가 까다롭고 장시간이 소요된다. 그리고 고가의 소모품으로 인하여 운영비용이 많이 소요되는 문제가 있다.

본 개발제품은 정밀성에서 기존 시스템과 동일한 정도의 성능 구현을 목표로 하고 있으며, 처리시간은 10초 이내에 그리고 단일 시스템으로 호우 유닛 및 난황색 판정을 총괄 처리할 수 있도록 한다.

또한 처리 후 데이터베이스 연계를 통한 유통이력 추적정보를 제공 할 수 있도록 하여 유통관리 효율을 높이는 것을 목표로 한다. 그 외 난황 및 난백의 시간에 따른 변화 정보를 저장하여 향후 계란의 신선도 계측의 새로운 요소를 찾는 연구에 기초 자료를 제공한다.

연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- 계란의 난황, 농후난백, 수양난백, 이물질, 호우단위 등에 필요한 영상 계측정보를 획득하는

컴퓨터시각계측시스템을 개발한다.

- 획득한 영상정보로부터 품질을 자동으로 정밀하게 계측하는 알고리즘을 개발한다.
[난황 높이, 크기(체적), 농후난백 높이, 크기(체적), 난황 색상, 난백 이물질 여부, 시간에 따른 난백의 퍼짐도(탄성)]
- 기존 시스템에서 측정을 하지 못하는 난백과 난황의 비율을 측정하여 계란의 신선도와 상관관계를 규명을 하고, 혈반이나 잔반, 알끈에 의해서 난백의 높이 변화 오차를 보정 하는 시스템을 개발 한다.
- 중량 정보 및 계란의 품질에 대한 영상정보를 데이터베이스로 축적하고 이를 활용할 수 있는 GUI 환경 통합 시스템 관리 모듈을 개발한다.

(2) 협동연구기관(제1협동연구기관 : 강원대학교)

계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명

국내 계란의 등급판정을 하기위해 사용되는 장비인 QCM+system와 Egg Analyzer의 단점인 목시에 의한 판별 또는 수작업으로 인한 오차와 낮은 계측정밀도, 수입품으로서 발생 되는 고장수리에 의한 시간과 비용소모에 대한 단점들을 보완하고 장점들을 개선하는 새로운 시스템 개발한다.

계란의 신선도 평가에 있어서 사용되는 품질인자들에 대해서 조사하여 그에 대한 저장 및 유통 조건에 따른 품질 인자의 정량화 계측값을 통하여 계란의 생산이력에 재사용하고 생산자의 사육관리에 도움을 준다.

계란품질의 정량화 계측을 통하여 구매자 및 거래자에게 객관적인 기준에 따라 신선도에 대한 정보를 제공하고 소비자에게 신뢰성 확보 및 합리적인 구매와 유통 환경 조건에 의한 저장 기간에 따른 신선도의 변화를 조사함으로써 생산정보와 품질정보 그리고 유통정보를 디지털 인증을 통하여 생산자, 유통업자, 소비자가 일정 부분 공유할 수 있는 정보화에 의거한 새로운 계란 유통 체계와 질서의 정립한다.

계란 단백질은 인체 단백질 성분과 비슷해서 인체에 효과적으로 흡수되기 때문에 노인, 성장기 어린이, 임산부에게 필요한 이상적인 단백질 식품으로서 비타민 c만 제외하고 생존에 필요한 모든 비타민이 다 들어 있어 과히 '완전식품'이라 할 만큼 영양소가 풍부한 식품이다. 이와 같은 계란은 현재 유통기한 표시 방법은 유통기한만 표시한 제품, 산란일자를 기준으로 유통기한을 표시한 제품, 포장일자를 기준으로 유통기한을 표시한 제품 등 업체마다 제각각이다. 이러한 품질등급 표시에 대한 기준안을 마련함으로써 소비자가 계란을 구입할때 계란의 품질 등급과 판매가격에 비교하여 합리적인 판단할 수 있도록 정보를 제공해야한다.

계란 생산 체계를 갖추고 있는 업체의 경우, 인력에 의한 수작업 품질계측과 목시에 의한 판

단은 계측오차가 크게 되어 품질판정의 신뢰성을 확보하기가 힘들다. 따라서 자동화된 품질계측 시스템을 이용한 품질계측과 이를 바탕으로 한 등급판정시스템이 구축함으로써 과학적이고 객관적인 기준에 따라 표시해 줌으로써 거래지표를 제공하고, 계란의 품질고급화를 통해 대외 경쟁력을 높이며, 통일된 거래규격 확립으로 소비자의 신뢰성을 확보할 수 있는 것이다.

뿐만 아니라, 품질 인자의 정량화 계측값은 계란의 생산이력에 재사용되고 생산자의 사육관리와 소비자의 선택적 구매 및 건강관리에 활용하며, 기대효과로는 계란에 품질을 표시함으로써 소비자에게 올바른 선택기준을 제공하고 안전하고 위생적인 계란의 생산·유통·소비체계를 확립할 수 있으며, 계란의 품질차별화로 농가의 소득증대 및 대외경쟁력을 갖추게 하는 동시에 계란 소비를 증가시켜 양계 및 관련 산업의 발전에 기여할 수 있다.

연구내용 및 범위는 다음과 같다.

- 계란 품질을 계측하는 다양한 인자들을 선정하여 실험을 통하여 품질 평가 지표로 적합한 계측인자를 선정
- 계란의 신선도와 품질인자간의 상관 관계를 규명함으로써 품질인자 중 최적의 인자를 확인하여 품질 평가의 지표안을 마련
- 유통과정에 있어서 유통 시간에 따른 품질인자의 변화를 조사하여 유통방법에 따른 유통 품질 기준안 마련
- 계란의 품질에 영향을 미치는 모계의 건강 상태 및 나이 등의 영향을 확인하기 위하여 다양한 모계를 통하여 획득한 계란에 대해서 품질인자를 통한 품질 등급안 규정
- 기존에 널리 사용되는 품질 검사인자와 새로 개발한 칼리컴퓨터 시작을 이용한 계란품질 등급 계측기를 이용한 품질인자간의 비교
- 개발 시스템의 축산물품질평가원에서의 적용 가능성 검증

제 2 절 연구의 필요성

본 연구의 대상품목인 계란의 경우 영양학적으로 우수하여 전 세계적으로 소비가 증가하는 추세이다. '2008 농림수산물식품 주요통계(농림수산물식품부)'에 따르면 '80년 1인당 연간 소비량이 119개에 불과했던 계란은 '90년에는 167개로, 그리고 '00년에는 184개로 늘어난 데 이어 '06년에는 223개로 대폭 증가했다.

계란은 슈퍼마켓에서 손쉽게 구할 수 있는 식품 중 가장 질이 높은 단백질 식품으로 가격도 저렴한 편에 속한다. 미국 계란영양센터에 의하면 계란 단백질은 인체 단백질 성분과 비슷해서 인체에 효과적으로 흡수되기 때문에 노인, 성장기 어린이, 임산부에게 필요한 가장 이상적인 단백질식품이라고 한다. 과거 계란을 많이 먹으면 콜레스테롤 수치가 올라가서 심장병 발병 위험이 높아진다는 인식이 확산된 바 있다.

그러나 '90년대 접어들면서 계란 노른자 속의 레시틴 성분이 콜레스테롤의 흡수를 방해하기 때문에 계란을 먹어도 콜레스테롤 수치가 높아지지 않으며 콜린이라는 성분은 오히려 두뇌 활동에 도움을 주어 기억력 향상은 물론 치매를 예방한다는 등의 연구결과가 발표되면서 계란 소비가 다시 급격하게 증가했다. 또한 계란 속의 루테인이라는 성분은 백내장과 황반변성 및 유방암과 자궁암 등 일부 암도 예방해 주는 것으로 알려져 있다.

그리고 계란의 콜린과 루테인은 생체이용률이 높아 혈중에서 흡수되는 콜린과 루테인 양도 매우 높다. 그 이유는 계란의 난황에는 이미 식물이나 다른 사료에서 얻은 영양성분이 농축되어 있기 때문이다. 계란에는 비타민 C만 제외하고 생존에 필요한 모든 비타민이 다 들어 있어 과히 '완전식품'이라 할 만하며 일부 당뇨병 환자 등을 제외하고 저렴하고 손쉽게 매일 섭취할 수 있는 영양의 보고라 해도 과언이 아닐 것이다.

업계에서는 올해 800억원대의 브랜드 란 시장 규모가 2013년까지 2000억원대까지 늘어날 것으로 전망하고 있다. 브랜드 란이 최근 급속히 성장하는 것은 계란에 대한 소비자들의 인식 변화 때문이다. 계란은 전통적으로 중소기업체나 농가 등의 개별사업자들의 '판란', '일반란' 중심으로 유통돼 왔다. 하지만 식품안전과 계란의 품질, 기능성에 대한 소비자들의 높아진 눈높이로 '판란' 대신 PB계란과 CJ제일제당, 풀무원, 오뚜기 등 대기업의 브랜드 란 수요가 늘고 있다.

그러나 (사)소비자시민모임 보고서에 의하면 2010년 7월 5일부터 8월 9일까지 백화점, 대형 할인점, 농협하나로클럽, 생활협동조합, 재래시장 등 12곳에서 판매하는 계란 35개 제품(1060개 계란)을 대상으로 품질 검사를 실시한 결과, 시판 계란 35개 제품(1060개 계란) 중 15개(42.8%) 제품이 품질 최하위 등급인 '3등급' 판정을 받았고, 계란 신선도(호우단위) 검사 결과, '불량(C급)' 제품은 6개(17.1%)로 나타났다. 검사 결과를 보면, 계란의 품질과 가격이 반드시 비례하는 것은 아니었다.

계란의 품질등급과 개당 가격을 비교해보면, 계란의 개당 가격이 비싸지만 품질등급은 낮은 제품이 있는가 하면, 품질등급이 높지만 개당 가격은 저렴한 제품이 있는 것으로 조사되었다. 현재 시판 계란의 유통기한 표시 방법은 유통기한만 표시한 제품, 산란일자를 기준으로 유통기한을 표시한 제품, 포장일자를 기준으로 유통기한을 표시한 제품 등 업체마다 제각각이다.

계란 생산, 유통, 판매업체는 계란제품에 품질등급을 표시하여야 한다. 품질등급 표시를 통해 소비자가 계란을 구입할 때 계란의 품질등급과 판매가격을 비교하여 합리적인 판단을 할 수 있도록 정보를 제공해야 한다. 따라서, 국내에 유통되는 계란에 대한 디지털 인증을 통하여 생산정보와 품질정보 그리고 유통정보를 생산자, 유통업자, 소비자가 일정 부분 공유할 수 있는 정보화에 의거한 새로운 계란 유통체계와 질서의 정립이 절실하다.

현재 계속적으로 증가하는 계란 수요로 인하여 계란 품질의 등급화는 국민 건강과 계란 관련 산업 발전에 필수적인 과제이다. 축산물품질평가원에서도 이러한 점을 알고 많은 투자와 홍보를 통하여 현재 계란 생산업체에게 품질판정기준에 따른 등급판정을 유도하고 있다. 대량 생산체제를 갖추고 있는 관련업체의 경우, 인력에 의한 수작업 품질계측과 목시에 의한 판단은 계측오차가 크게 되어 품질판정의 신뢰성을 확보하기가 힘들다. 따라서 자동화된 품질계측 시스템을 이용한 품질계측과 이를 바탕으로 한 등급판정시스템이 구축되기를 희망하고 있다. 이러한 품질 인자의 정량화 계측값은 계란의 생산이력에 재사용되고 생산자의 사육관리와 소비자의 선택적 구매 및 건강관리에 활용된다.

계란품질의 정량화 계측 필요성은 품질을 과학적이고 객관적인 기준에 따라 표시해 줌으로써 거래지표를 제공하고, 계란의 품질고급화를 통해 대외경쟁력을 높이며, 통일된 거래규격 확립으로 소비자의 신뢰성을 확보할 수 있는 것이다. 뿐만 아니라, 기대효과로는 계란에 품질을 표시함으로써 소비자에게 올바른 선택기준을 제공하고 안전하고 위생적인 계란의 생산·유통·소비체계를 확립할 수 있으며, 계란의 품질차별화로 농가의 소득증대 및 대외경쟁력을 갖추게 하는 동시에 계란 소비를 증가시켜 양계 및 관련 산업의 발전에 기여할 수 있다.

본 연구를 통하여 시스템을 개발한 후 축산물등급판정원에서 적용성 검사를 추진한다. 등급 표시를 위한 일괄처리시스템 구축은 핵심 장치인 계란품질계측시스템이 개발되면 부가적으로 수행할 예정이다.

그리고 본 연구의 최종 목표는 “계란의 유통개선을 위한 품질 정량화 자동계측 시스템 개발”로서 평가자가 제안하는 온라인 계란선별기와는 다른 종류의 시스템이며 계란선별법의 경우에는 측정하는 인자가 본 과제에서 대상으로 하고 있는 축산물등급판정원의 품질계측인자들과는 매우 상이한 것이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 제품생산 및 시장 현황

국내 제품생산은 본 연구과제에 참여하고 있는 중앙 IT&T에서 성균관대학교 연구진의 도움을 받아 제품의 연구 개발에 착수하였고, 본 연구 과제를 통하여 기술적 완성도를 확립하고 제품화를 완료할 계획으로 있다.

제 2 절 국외 제품생산 및 시장 현황

1. 영국 TSS(Technical Services and Supplies)사의 QCM+system

계란 품질계측 장비로는 QCM+system이 있는데 영국 TSS(Technical Services and Supplies)사의 제품이 수입되어 판매되고 있다.



Fig. 1 QCM+system

그림 1 QCM+system은 시스템을 구성하는 단위 장치가 QCM+(메인프로세서), QCR(난각색측정기), QCBi(전자저울), QCH(난백높이측정기), QCC(난황색측정기), QCT(난각두께측정기)로 이루어져 있으며 계란의 호우유닛의 계측, 난황색 판정, 계란의 무게, 높이, 색상 자동측정 등 계란 등급 판정 장비로 사용되고 있다. QCC는 난황색 측정기기로서 색지를 이용하여 수작업으로 판별하며, QCR은 난각색측정기기로서 색차계를 이용하여 접촉식으로 측정이 이루어진다. QCBi는 전자저울로서 무게 측정하며, QCH는 난백높이 측정기기로서 난백높이는 접촉식에 의한 기계적인 장치를 사용하여 측정한다. 이러한 수동 측정방식은 측정 지점 선정에 있어서 실험자의 주관적인 판정에 의해서 이루어지며, 실험자의 숙련도에 따라서 난백 높이가 달라지는 등 여러문제점이 있기에 객관적인 판단 지표로 사용하기 어렵다.

그림 2는 초음파를 이용하여 난황과 난백의 높이를 측정하는 Egg Analyzer 제품이 수입되고 있다. 농후난백의 높이를 측정하는데 있어서 100개의 지점을 측정하여 평균하는 형태로 계측하

고 있으며 계측 소요시간이 17초 정도 소요된다.



Fig. 2 Egg Analyzer

난백의 높이를 측정하기 위해서는 작업자가 수동으로 난백 높이를 측정한다. 작업자가 측정자를 이용하여 난황과 난백의 경계면으로부터 농후난백의 퍼짐이 넓은 방향으로 약 10mm 지점을 임의로 선정하여 그 부분의 난백 높이를 측정한다.

하지만 이러한 수동 측정방식은 측정 지점 선정에 작업자의 주관이 개입될 소지가 있으며, 작업자의 숙련도에 따라 동일한 계란의 난백 높이가 달라지는 등 여러 문제점이 있었기 때문에 객관적인 판단 지표의 역할을 하기에는 어려움이 있다.

2. 중국 Crescent Science and Technology사의 EMT-5200

그림 3은 Crescent Science and Technology사의 EMT-5200은 계란의 호우유닛(HU)의 계측, 난황색의 판정을 수작업에서 자동 계량하여 본 측정기로 연산하는 자동 계측기이다. 다시말해 계측하는 사람의 개성, 기분, 지역차, 색상을 보는 빛의 영향이 일체 없으며, 따라서 언제나 일정한 계측이 가능하다. 측정 시간의 단축을 통해서 1개 측정시 약 17초가 소요된다.



Fig. 3 Crescent Science and Technology EMT-5200

가. 계란의 무게 측정 기능

그림 4는 계란의 무게측정을 위해 로드셀(Load Cell) 방식의 전자 저울을 계란분석기 내부에 내장하였다. 무게 측정은 분석기 상단에 계란을 올려놓는 것만으로 무게가 측정된다. 우리나라의 계란 중량 규격 확인방법은 신청인이 제시한 롯트의 크기에 따라 중량 규격이 맞는지를 확인하기 위하여 계란 등급판정 기준 및 방법에 따라 표본 추출된 낱개의 계란에 대하여 중량을 칭량하고 해당 규격의 범위를 벗어나는 계란의 수를 조사한다.

계란의 중량규격은 계란의 무게에 따라

- 왕란 (68 gm 이상),
- 특란 (68 gm 미만 ~ 60 gm 이상),
- 대란 (60 gm 미만 ~ 52 gm 이상),
- 중란 (52 gm 미만 ~ 44 gm 이상),
- 소란 (44 gm 미만)의 5개 규격으로 분류한다.

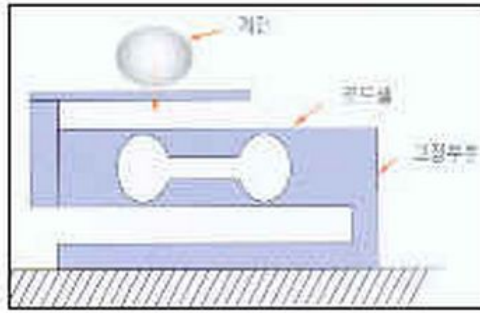


Fig. 4 Egg weight measurement system

이와 같은 검사방법은 결국 검사된 계란의 중량을 칭량한 근거를 프린터로 남기고 이 계란을 곧바로 할란검사에 들어감으로써 검사의 정확성은 물론 신빙성을 인정받을 수 있다. 로드셀은 미세한 위치변화를 하중으로 변환하는 소자이다. 따라서 본 분석기를 구입한 후 수송한다면 운반시 충격이나 진동을 받으면 측정기에 무리가 가해지므로 고정기구로 고정시켜 운반하여야 한다.

나. 난백(흰자위)의 높이

그림 5는 난백의 높이는 초음파를 이용하여 두께를 측정 방법이다. 슬라이더 위에 놓인 측정용 접시의 중심에 난황이 없도록 계란을 깨서 접시 위에 놓고 난백이 많은 쪽을 슬라이더가 들어가는 방향을 향하도록 접시를 회전시킨다. 버튼을 눌러 슬라이더 들어감과 동시에 초음파 측정이 연속적으로(50회) 시작되고 이동에 맞추어 다음 그림처럼 A~D까지의 데이터 가운데 난백의 B~C 사이의 데이터만을 뽑아내어 평균치를 산출하여 난백의 높이가 정해진다. 따라서 수평면(면이 경사진 A~B, C~D는 계측 불능) B~C만 유효숫자가 되므로 보다 정밀도를 높이기 위해서는 수평면이 많을수록 양호한 상태가 된다. 극히 신선한 계란에서는 그림의 C부분이 구분이 없으므로 이 경우에는 측정을 할 수가 없다.

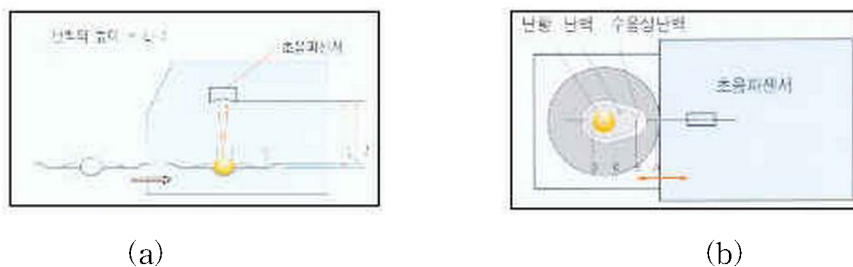


Fig. 5 (a) Three-dimensional surface measurement principle of the egg albumen
(b) Measurement principle a plan view of the albumen

다. 신선한 계란의 측정용 장치

그림 6은 측정이 어려운 신선한 계란은 간단한 어댑터의 사용으로 측정이 가능한 장치이다. 이 경우에는, 옵션으로 준비된 어댑터를 놓고 난황을 낮추어 난백에 수평면을 만들어 측정하는 방법을 사용한다. 종래에 실행된 수동식 측정기로는 임의의 1점만 측정하였지만, EMT-5200은 다점(0.5 mm 눈금으로 평균 50점)의 높이를 계측하여 평균치로 표시되며 비접촉 계측으로 정밀도가 높은 측정이 된다. 물론 계란의 난백에 알끈이 있거나 거품이 있으면 측정치가 틀리게 나오므로 떼어내고 측정해야 한다.



Fig. 6 Fresh eggs for measuring devices

라. 난황색의 측정

그림 7은 난황색 측정 원리이다. 종래는 로슈칼라펜을 난황에 비추어 눈으로 비교 판단해 왔다. 색상이 눈에 비추어지는 차이를 가져오는 것으로는 다음과 같은 제약이 따른다.

- ① 측정환경의 빛(직사 태양광선, 대낮의 햇빛, 전등, 형광등)
- ② 사람의 개인차도 있다. 아침, 저녁, 성별, 연령차에 따라 색상이 눈에 들어오는 방법이 미묘하게 차이가 난다.
- ③ 난황의 주변색에 따라서도 다르게 나타난다. EMT 측정용 접시의 회색이 영향을 가장 덜 받는다.
- ④ 샘플의 크기에도 영향을 받는다.

이처럼 눈으로 측정하는데는 여러 가지 불안정 요소가 있으며 사람에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. EMT의 경우, 주변은 암실이 되고 여분의 외부 빛이 없어 빛이 색깔에 미치는 상태가 양호한 할로겐 램프(태양광에 가까운)로 측정하고 있으므로 어디서, 언제든지 측정해도 조건은 일정하므로 이것이 기계 측정의 좋은 점이고 표준값이라고 말할 수 있다.

그림 7에서처럼 난황으로 반사된 할로겐 빛이 바로 수직 상단부에 있는 RGB센서(색채의 3원색 - 적색, 녹색, 청색)에 들어가 난황색이 난황 컬러 식별기에 대표되는 1~15의 분류 값으로 연산되고 있다. 따라서 난황의 상단부에 카라자(알끈)가 있거나 난백이 두껍게 올라가 붙어있는 경우 당연히 수치는 1~2포인트 밑으로 나온다. 시험적으로 휴지조각을 위에 얹어 보면 차

이가 있음을 알게 된다. 또한 난황이 극단적으로 적은 계란은 난황의 면적이 적어지기 때문에 정밀도가 높은 수치가 나오지 않는다. 본 계란 분석기에서는 컬러식별기의 1~15를 소수점(예 ; 8.6, 12.3 등)으로 측정 연산하고 표시는 4사 5입하여 9와 12로 표시한다. 그러나 프린터 출력 시의 평균은 소수점으로 계산한다.

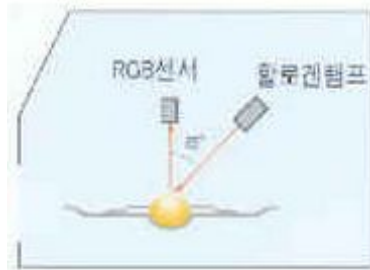


Fig. 7 York color measurement methods

마. 호우유닛(HaughUnit)의 계산

계란의 신선도를 측정하기 위하여 세계적으로 호우유닛(HU)을 사용하는데, 계란의 품질평가는 크게 주관적인 요인과 객관적인 요인으로 분류할 수 있다. 주관적인 요인으로는 맛과 신선도이고, 객관적인 요인으로는 청결도, 계란의 크기, 외관 성상, 난각강도, 난각색, 난백질, 난황색 등이라 할 수 있다. 계란의 신선도를 이야기할 때 난백질을 주로 이야기하는데, 이는 신선한 계란을 깨보면 부드럽고 볼록한 난백이 외농후난백의 캡슐에 싸여 있는 둥근 난황을 중앙에 단단하게 고정하고 있으며 알끈도 난황에 단단하게 고정되어 있다.

저장기간이 긴 계란을 깨보면 난백의 퍼지는 정도가 커지고 난황이 한쪽으로 물리는 경향이 있으며, 수양난백과 농후난백의 차이도 뚜렷하지 않다. 계란은 산란 즉시 품질의 저하가 시작되고, 이러한 품질 저하는 시간이 경과하면서 지속된다. 이 변화에 영향을 주는 주된 요인은 농후난백이 분해되어 수양난백이 되는 것인데, 이것은 계란의 내부구조와 난백층 및 난백의 구조적 배치가 깨진 결과이다. 농후난백의 분해는 이산화탄소와 pH에 의해 촉진된다. 난백의 pH는 산란 직후 7.6 정도이고 환경온도 20 °C에서 하루가 지나면 8.5 정도로 높아지며, 며칠 지나면 9.0~9.4로 상승된다.

난백의 품질 저하 속도는 이산화탄소의 손실 속도, pH 상승 및 온도 등에 의해 영향을 받는다. 난백질 저하를 막기 위하여 집란 및 출하대기 시간을 단축하고, 바람직한 저장조건을 유지하여 판매할 수 있다면 최소 2주간은 산란 당시의 신선도를 유지할 수 있으며, 가정에서도 구입 계란을 냉장 보관하면 난질 저하를 방지할 수 있다. 계란의 신선도와 난백질 간에는 깊은 상관관계가 있어 난백질을 이용한 호우유닛 값으로 계란의 신선도를 평가하는 수치로 가장 많이 활용하고 있다. 호우유닛은 계란의 무게와 농후난백의 높이로 측정하여 계산식에 의하여 산출한 값을 나타내는 수치(0~100 이상)이다.

미농무성의 계란 품질기준에 있어서 호우유닛을 이용한 등급기준은 72 이상은 AA급, 71~

55는 A급, 54~31은 B급, 30 이하는 C급으로 분류하고 있다. 한편, 최근 우리나라의 계란품질 평가기준에 의한 호우유니트 단위는 72 이상은 A급, 71~60은 B급, 59~30은 C급, 30 이하는 D급으로 분류하고 있다. EMT-5200은 이러한 호우유니트의 측정 및 계산은 물론 자동으로 계산된 호우유니트 값을 표시하며, 아울러 자동으로 등급의 계산 및 표시까지 모두 본체에 내장된 CPU를 이용하여 자동으로 액정화면에 표시하고 자동으로 프린터에 기록한다. 또한 RS-232C 통신 케이블을 통하여 PC에서 데이터를 출력하고 보관하며 자동 기록 및 인쇄하는 기능을 수행하도록 설계 제작되어 있는 세계에서 유일한 계란 분석기이다.

3. 미국 brookfield의 점도계

그림 8은 미국 brookfield의 점도계이다. 점도(Viscosity)를 간단하게 정의하면 액체가 유동할 때 나타나는 내부 저항을 말한다. 점도의 단위는 절대점도: Poise(g/cm·sec)로 표시되며, 여기에 밀도를 곱해주면 동점도(Kinematic Viscosity)가 된다.



Fig. 8 Brookfield viscometer

절대점도는 중력을 고려하지 않은 점도이며 동점도는 중력의 존재하에 나타내는 점도로서 액체의 경우 대부분 동점도를 사용한다.

이관계를 간단하게 정리하면 다음과 같다.

동점도(Kinematic Viscosity) : Stokes(cm²/sec) 1 Stokes=100 cSt(Centistokes)

절대점도와 동점도와의 관계 : $v(\text{동점도}) = \eta(\text{절대점도}) / \rho(\text{밀도})$

점도계(Viscometer)는 점도를 측정하는 점도계의 종류는 무엇을 어떻게 측정하는가에 따라 여러가지 종류가 있다.

1. 유리관형으로는 Cannon사에서 나오는 캐논 점도계가 있으며 주로 액체형의 40℃, 100℃의 점도 측정에 주로 쓰이고 있음.
2. 기기형으로는 Brookfield점도계가 있으며 주로 액체를 강제로 냉동시켜 -10, -20, -30℃이하의 온도에서의 점도를 측정한다.
3. 그 이외에 레드우드 점도계, 잔컵 점도계, 앵글러 점도계, 고무의 무늬점도 측정에 사용되는 무늬 점도계등이 있다.

유체 점성의 크기를 나타내는 물질 고유의 상수는 점성률·점도라고도 한다. 유체의 점성 정도를 나타내는 중요한 값이다.

흐름방향 x축에 직각인 y축 방향에서 유속 v에 변화가 있을 때 x축에 평행인 면 안에 유체의 속도기울기에 비례하는 변형력 $X = \eta \partial v / \partial y$ 가 작용한다. 이 때 비례상수 η 가 점성도이다. 일반적인 단위는 kg/m·s 또는 Pa·s로 표시한다.

그 외에도 CGS 단위계로는 g/cm·s를 사용하는데 1g/cm·s를 1poise(푸아즈)라고 하며, 1P로 표시한다. 또한 푸아즈의 100분의 1을 centi-poise(cP)라고 하며, 실험실에서 점도의 단위로 많이 사용하고 있다. 즉 1 poise = 1g/cm·s = 100cP = 0.1kg/m·s로 표시할 수 있으며, 1cP = 0.01g/cm·s = 0.00672Ibm/ft·s = 2.42Ibm/ft·hr로 표시한다. 국제단위계 단위로는 뉴턴초매제곱미터(N·s/m²)를 사용한다.

점도계에는 여러 종류가 있는데, 우선 가는 관 속을 일정 부피의 유체가 흐르는 시간을 재든가, 정상적인 유체를 흘러 보내 유량(흐름의 양)을 재고, '푸아죄유의 법칙'을 적용해서 점성률을 구하는 것을 세관(細管) 점도계라 한다. 그 중에서 오스트발트점도계는 물의 점성률을 표준 삼아 그것과 비교되는 값을 실측하는 것으로서 역사적·실용적으로 기본적인 점도계로 알려져 있다.

이 밖에 정지한 유체 속의 작은 구(球)의 낙하속도를 측정해서 스토크스의 법칙을 적용하는 막구점도계, 기포의 상승속도를 측정하는 기포점도계, 동축(同軸) 원통간에 유체를 채우고 내부 원통을 회전시켜 점성저항을 재는 회전점도계, 유체 속의 진동체가 하는 비틀림 진동의 감쇠를 재는 진동점도계, 앵글러도를 측정하는 앵글러점도계 등이 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 기초이론

1. 영상처리 이론

가. 1차 저주파 통과 필터

저주파 통과필터(Low-pass filter)는 이름 그대로 저주파 신호를 통과시키고 고주파 신호는 걸러내는 기능을 한다. 일반적으로 측정 장비에서 측정하려는 데이터는 저주파 성분이고 노이즈 성분은 고주파로 되어 있다. 어떠한 데이터에 평균을 내면 그 데이터의 노이즈는 사라진다. 하지만 평균을 내면 새로 들어온 데이터는 평균값에 편중되어 새로운 데이터의 의미를 잃어버린다. 여기서 말하는 저주파 통과 필터는 이러한 단점을 보완한 필터라 할 수 있겠다.

$$\overline{x_k} = a\overline{x_{k-1}} + (1-a)x_k \quad (1)$$

위 식(1)은 1차 저주파 통과 필터이다. a 는 $0 < a < 1$ 인 상수이다. $\overline{x_k}$ 는 평균, $\overline{x_{k-1}}$ 은 직전 평균이 된다. 식(1)이 데이터의 노이즈를 걸러내고 새로운 데이터가 직전데이터의 평균에 편중되는 단점을 보완한 식인지에 대한 검증은 다음과 같다.

$$\overline{x_{k-1}} = a\overline{x_{k-2}} + (1-a)x_{k-1} \quad (2)$$

식(2)에서 전 평균값($\overline{x_{k-1}}$)은 다음과 같다. 이 식을 식(1)에 대입하고 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{x_k} &= a\overline{x_{k-1}} + (1-a)x_k \\ &= a(a\overline{x_{k-2}} + (1-a)x_{k-1}) + (1-a)x_k \\ &= a^2\overline{x_{k-2}} + a(1-a)x_{k-1} + (1-a)x_k \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 측정 데이터(x_{k-1}, x_k)에 곱해진 계수 $a(1-a)$ 와 $1-a$ 크기를 비교해 보면 a 는 $0 < a < 1$ 인 상수이므로 두 계수 사이에는 다음과 같다.

$$a(1-a) < 1-a$$

이 결과와 식(3)을 비교해 보면 전 측정값보다 새로운 측정값이 더 큰 가중치를 가진다는 것을 알 수 있다. 다른 방법으로 식을 검증하면 다음과 같다. 식(1)을 참고하여 $\overline{x_{k-2}}$ 는 다음과

같이 정의된다.

$$\overline{x_{k-2}} = a\overline{x_{k-3}} + (1-a)x_{k-2} \quad (4)$$

윗 식을 식(3)에 대입해서 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{x_k} &= a^2\overline{x_{k-2}} + a(1-a)x_{k-1} + (1-a)x_k \\ &= a^2(a\overline{x_{k-3}} + (1-a)x_{k-2}) + a(1-a)x_{k-1} + (1-a)x_k \\ &= a^3\overline{x_{k-3}} + a^2(1-a)x_{k-2} + a(1-a)x_{k-1} + (1-a)x_k \end{aligned} \quad (5)$$

측정 데이터의 계수 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$a^2(1-a) < a(1-a) < 1-a$$

다음과 같은 관계를 통해 이전 측정 데이터일수록 더 작은 계수가 곱해 진다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 저주파 통과 필터는 오래된 측정값일수록 더 작은 가중치를 부여 하는 필터이다. 이러한 가중치를 달리하는 방식으로 저주파 통과 필터는 평균이라는 잡음 제거 특성과 새로운 데이터에 대한 민감성을 모두 만족하는 필터라 할 수 있다.

나. 영상 왜곡 보정

카메라의 렌즈는 한꺼번에 많은 빛을 받아들이기 위해 사용된다. 빛의 양이 적으면 카메라에 생기는 노이즈가 증가 하여 영상의 품질이 저하된다. 그러나 렌즈를 사용하지 않으면 문제점이 발생하는데 그 문제점은 왜곡 때문에 생기는 영상 손상이다. 계측기기에서 카메라의 영상 왜곡은 측정 정밀도가 높을수록 왜곡에 대한 오차율이 증가하므로 반드시 해결해야 하는 문제이다.

(1) 카메라 모델

3차원 세계에서 객체 위의 한 점에서 빛이 발산되면 그 중 하나의 광선만이 핀홀(Pinhole - 중앙에 작은 구멍)을 통과한다. 광선은 영상 평면에 투영(project) 된다. 영상은 영상 평면(image plane) 또는 투영 평면(projective plane)에 맺히게 된다. 이 영상이 얼마만의 크기로 상이 맺히는 지는 핀홀 카메라의 초점거리(focal length)에 의해 결정된다.

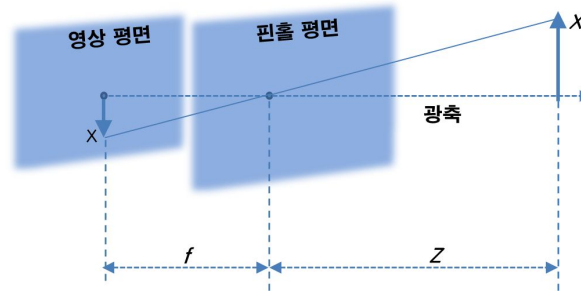


Fig. 9 Pinhole camera model

이상적인 핀홀 카메라의 경우, 핀홀 구멍으로부터 영상 평면까지의 거리가 초점 거리가 된다. 그림 9을 보면 f 는 핀홀 카메라의 초점거리이며, Z 는 카메라와 객체사이의 거리를 나타낸다. X 와 x 는 각각 실제 객체와 영상내의 객체 크기를 나타낸다. 그림 9에서 삼각형의 관계를 보면 $-x/f = X/Z$ 의 관계를 찾을 수 있다. 이를 이용하여 영상 내의 객체 크기는 다음과 같다.

$$-x = f(X/Z)$$

핀홀 카메라 모델을 조금 변형하여 하면 다음과 같다.

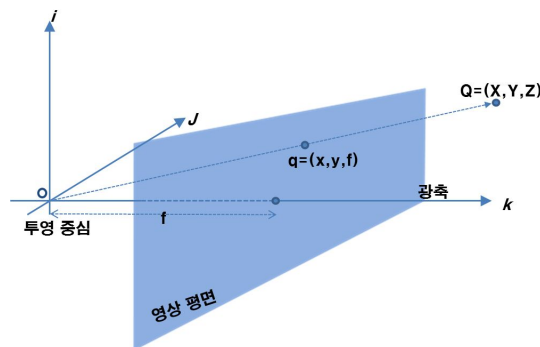


Fig. 10 General image acquisition

그림 10처럼 구조를 변경하면 객체가 핀 홀의 오른쪽에 상이 맺히게 되고 역상이 아닌 똑바로 된 영상이 생성된다. 바늘 구멍은 투영 중심(center of projection)의 역할을 하게 된다. 실제 객체상의 한 점에서 발산한 빛은 투영 중심을 행하게 된다. 광축(optical axis)과 영상 평면이 만나는 점을 주점(principal point)이라 한다. 그림 10은 그림 9에서 나타나는 영상의 크기와 일치하므로 삼각형의 관계를 통해 $x = f(X/Z)$ 관계식을 얻을 수 있다.

그림 10을 보면 주점이 항상 영상 센서(imager)의 중심이 되지 못한다. 이는 100만분의 1의 정확도로 영상 센서를 장착해야 하는 일인데 실제로 광축이 센서의 중심을 정확하게 지나가는 일은 불가능하다. 그러므로 투영 평면에서 좌표 중심의 이동 변위를 표현하기 위한 두 개의 새로운 파라미터 c_x 와 c_y 가 필요하다. 그러므로 3차원에 존재하는 점 $Q = (X, Y, Z)$ 가 영상에 평면에 맺히는 점의 좌표는 (x_{screen}, y_{screen}) 는 다음과 같다.

$$x_{screen} = f_x \left(\frac{X}{Z} \right) + c_x, y_{screen} = f_y \left(\frac{Y}{Z} \right) + c_y$$

위 식에서 두 개의 초점 거리를 사용한 것을 볼 수 있다. 이는 대부분의 저가 영상 센서는 개별 픽셀들이 정사각형이 아닌 직사각형 모양이기 때문이다. 초점 거리 f_x 는 렌즈의 실제 초점 거리에 영상 센서의 개별 요소의 크기 s_x 를 곱한 값이 된다. 이러한 관계는 f_y 와 s_y 의 사이에서도 동일하게 적용된다.

(2) 렌즈 왜곡

왜곡(distortion)이 전혀 없는 렌즈는 이론적으로 존재할 수 있다. 그러나 실제 렌즈에는 왜곡이 존재하기 마련이다. 이러한 렌즈 왜곡은 제조 과정에서 발생한다. 수학적으로 이상적인 포물선(parabolic) 렌즈보다 구면(spherical)의 렌즈를 만드는 것이 쉽다. 또한 렌즈와 영상 센서를 완벽하게 정렬하는 것도 어려운 일이다. 렌즈의 왜곡에는 크게 방사 왜곡(radial distortion)과 접선왜곡(tangential distortion)이 있다. 방사 왜곡은 렌즈의 모양에 의해 발생하며, 접선 왜곡은 카메라 조립에서 발생한다.

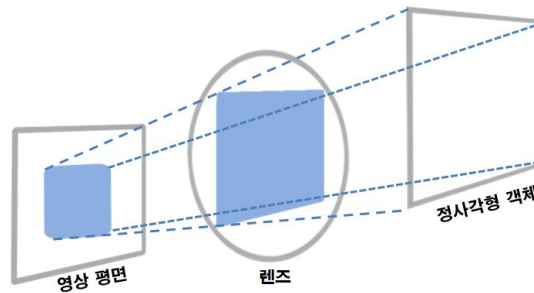


Fig. 11 Radiation distortion

그림 11는 방사 왜곡이 생기는 이유를 직관적으로 보여 주는 그림이다. 렌즈의 중심에서 먼 곳을 자나는 광선은 좀 더 가까운 곳을 지나는 관성보다 더 많이 휘어져 지나간다. 일반적으로 중저가의 렌즈일수록 이러한 왜곡 현상이 더 많이 발생한다. 방사왜곡은 영상 센서의 중심에서는 거의 발생하지 않고, 주변으로 갈수록 많이 발생한다. 실제 방사 왜곡은 $r = 0$ 주변에서는 적게 발생하며 이는 테일러급수(Taylor series)의 몇 개 항으로 표현할 수 있다. 저가의 웹 카메라의 경우, 처음 두 개 항으로 왜곡을 표현할 수 있지만 렌즈의 왜곡이 심할수록 세 번째 방사 왜곡 항인 k_3 까지 사용한다. 일반적으로 영상 센서에서 한 점의 방사 위치는 다음 수식에 의해 조정된다.

$$x_{corrected} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

$$y_{corrected} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

여기서 (x, y) 는 왜곡된 점의 원래 위치이고, $(x_{corrected}, y_{corrected})$ 는 보정된 새로운 위치를 나타

낸다. 그림 12은 실제 시스템에서 왜곡이 보정 알고리즘을 적용해 영상을 보정된 화면으로 그림 (a) 보정 전 화면, 그림 (b)는 보정 후 화면이다. 빨간색 실선을 보았을 때 방사 왜곡이 보정되었음을 확인 할 수 있다.

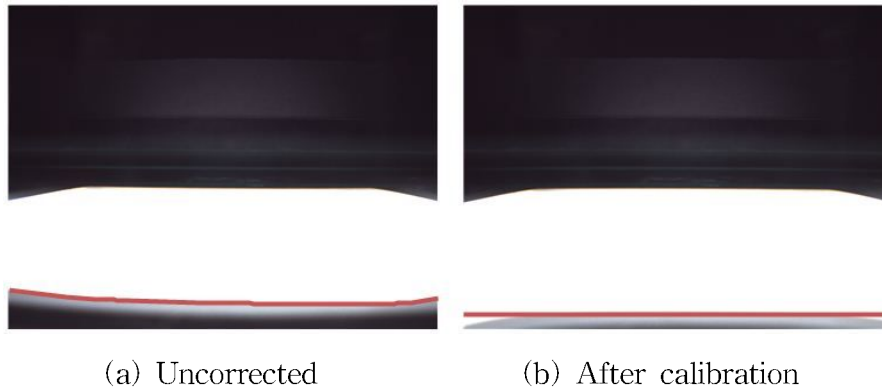


Fig. 12 Distortion Correction

그림 13은 사각형 모양의 격자 위치에서 방사 왜곡에 의해 이동되는 모습을 보여준다. 광축의 중심에서 멀어질수록 안쪽으로 향하는 이동량이 크다는 것을 볼 수 있다. 렌즈의 왜곡에서 두 번째로 크게 나타나는 왜곡은 접석왜곡(trangential distortion)이다.

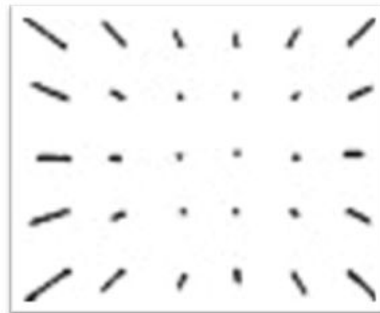
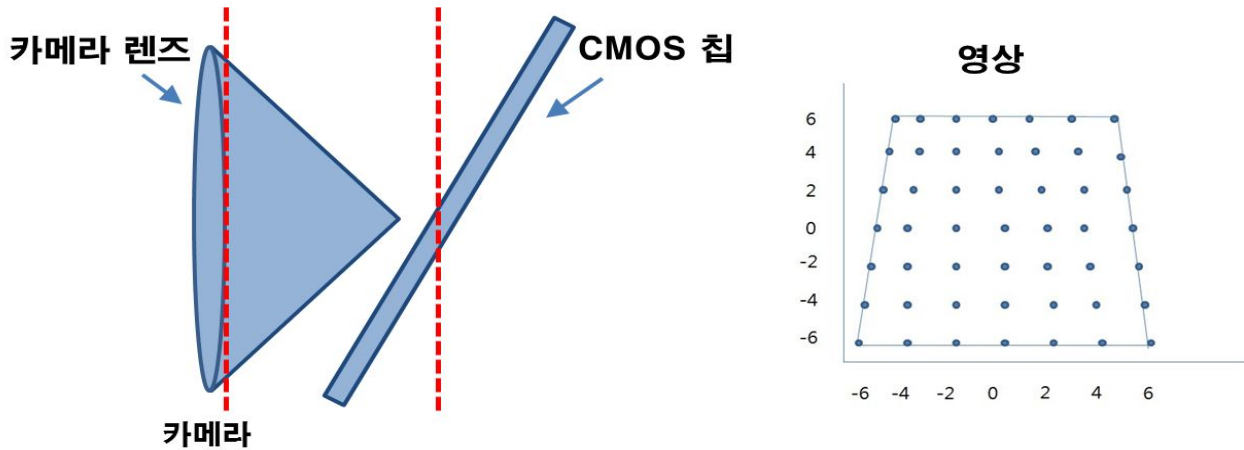


Fig. 13 Distortion Model

이 왜곡은 그림 14에 나타난 것과 같이 카메라 제조 과정에서 렌즈와 영상 평면이 완벽하게 평행을 이루지 않기 때문에 발생한다.



(a) Tangential distortion of the camera (b) Tangential distortion of the rectangular structure

Fig. 14 Tangential distortion

접선 왜곡은 두 개의 파라미터 p_1 과 p_2 에 의해 표현되며 방사 왜곡과 마찬가지로 아래와 같은 수식으로 보정 할 수 있다.

$$x_{corrected} = x + [2p_1y + p_2(r^2 + 2x^2)]$$

$$y_{corrected} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2x]$$

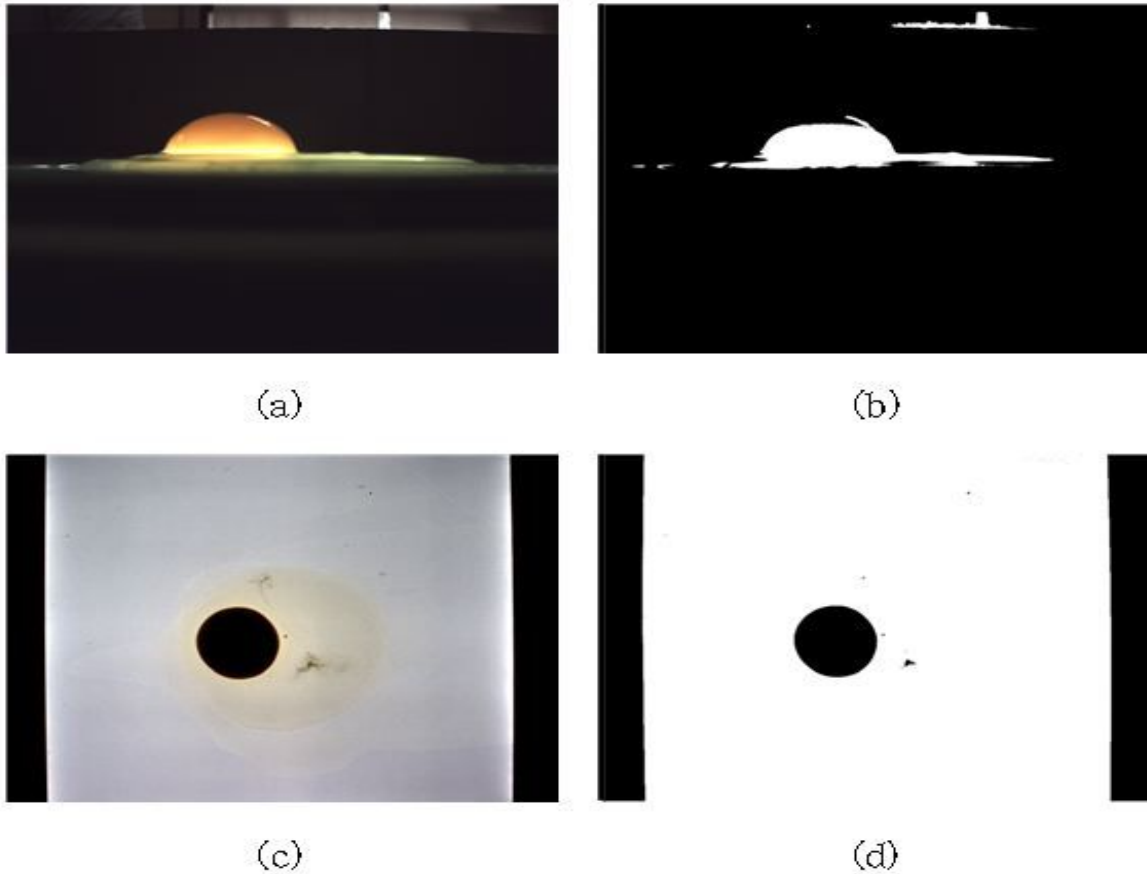
다. 이진화(binartization)

영상의 이진화는 영상을 0 또는 1로 표현하는 것이다. 그러나 영상을 0 또는 1의 만의 숫자로 표현하면 눈으로 판별하기가 어렵기 때문에 영상의 이진화에서는 픽셀(pixel) 값을 0 또는 255로 변환한다. 영상의 이진화는 영상 처리 분야에서 많이 사용 되면 객체의 위치를 찾기 위한 전처리 과정으로 사용된다. 이진화를 수행하는 방법은 영상의 그레이스케일 값에서 특정 값보다 크면 255로 바꾸고, 작으면 0으로 바꾸는 방법을 사용한다. 이때 픽셀 값의 크기를 비교하는 기준값을 임계값(threshold)라고 한다. 이진화의 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$g(x,y) = 0 \quad \text{if } f(x,y) \leq T$$

$$255 \quad \text{if } f(x,y) > T$$

위 식에서 $f(x,y)$ 와 $g(x,y)$ 는 각각 입력 영상과 출력 영상을 의미하며, T 는 임계값을 의미한다.



(a) Side of the screen (b) The side binarization
(c) Top of the screen (d) The top binarization

Fig. 15 Egg of binarization

그림 15는 실제 계측기에서 측정된 이미지를 150의 임계값으로 설정하고 이진화한 영상이다. 그림 (a)는 윗면 이미지의 원본이며, 그림 (b)는 그림 (a)의 이진화 영상, 그림(c)는 윗면 카메라에서 얻는 원본 영상이며, 그림 (d)는 그림 (c)이진화 영상이다. 이진화를 통해 전체 영상에서 원하는 영상을 추출할 수 있다.

라. HSI 색모델

HSI 색 모델은 기존에 적색(Red), 녹색(Green), 파랑(Blue)으로 표현 하던 영상을 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Intensity)로써 색을 표현하는 방식이다. 색상은 빨간색, 노란색, 파란색, 보라색 등의 색의 종류를 의미한다. 채도는 색이 탁하고, 선명한 정도를 의미한다. 예로 빨간색에 대하여 채도가 높으면 선홍색에 가까운 것이 되며, 채도가 낮으면 다소 탁한 빨간색이 된다. 다른 색도 마찬가지로 표현된다. 명도는 밝기를 나타낸다. HSI 색 모델은 그림 16과 같이 두 개의 원뿔을 상하로 붙여놓은 형태로 정의된다.

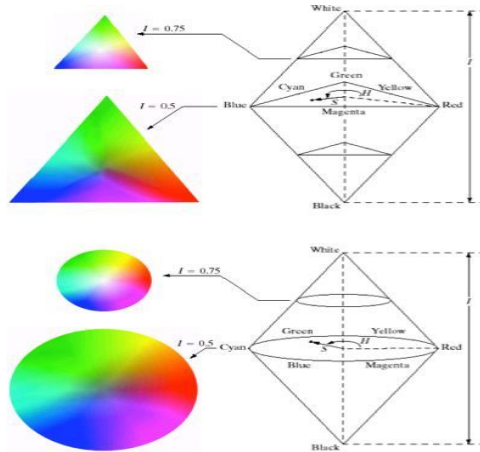


Fig. 16 Modulus of HSI Color

이때 색은 원형으로 정의되며 보통 0도에서 360도 사이의 각도로 표현된다. 명도는 원뿔의 아래쪽 꼭지점에서 최소값 0을 갖고, 위쪽 꼭지점에서 최대값 1을 갖는다. 채도는 명도를 고정하였을 때 나타나는 원형의 모양에서 원의 중심으로부터의 방사형으로 뻗어나가는 거리로 표현한다. 색상의 값이 0도에 해당할 때 색상은 빨간색을 갖는다.

그리고 각도가 점차 증가 하면 120도에서 녹색, 240도에서 파란색, 그리고 다시 360도에서 빨간색으로 돌아오게 된다. 채도 값이 0이면 색은 오직 명도만으로 표현된다. 명도가 0에 가까우면 색이 어두워지고 명도가 1에 가까우면 밝게 느껴진다. HSI 색모델은 RGB 색 모델을 통해 변환 할 수 있다. RGB 색 모델을 HSI 색모델로 바꾸는 식 6과 같다.

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{1}{2} \frac{(R-G) + (R-B)}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \quad (6)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

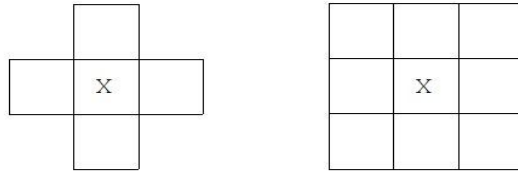
마. 레이블링(라벨링)

레이블링이란 인접한 연결되어 있는 모든 화소에 동일한 번호(라벨)을 붙이는 것을 말하며 다른 연결 성분에도 다른 번호를 붙이는 작업이다. 레이블링된 영상에서 임의의 번호를 가진 영역만 추출하면 원하는 영상의 영역만을 분리할 수 있다. 영역이 분리되면 특별한 영역에 대해서만 픽셀의 크기, 중심의 좌표, 길이 등을 추출해 내는 것이 가능하게 된다. 이진화된 영상을 레이블링 하는 가장 간단한 방법은 Glassfire 알고리즘이다.

Glassfire 알고리즘은 마른 잔디(glass)에서 불(fire)이 번져나가는 모양과 비슷하게 화소를 레

이블링하기 때문에 붙여진 이름이다. 이 방법은 모든 인접요소가 레이블링 될 때 까지 현재 관심화소의 주변 인접화소를 차례로 검사하면서 레이블링 하는 방법이다.

화소의 연결은 영상처리에서는 화소의 인접성에 대한 표현이다. 화소의 인접선은 4-Connection 또는 8-Connection을 이용한다. 4-Connection 화소는 그림 17에서 X로 표시된 관심화소의 주위에 인접한 4개의 화소를 의미하고, 8-Connection 화소는 그림 11 에서 관심화소에 인접한 8개의 화소를 말한다.



(a) 4-Connection (b) 8-Connection

Fig. 17 Connection for labeling

그림 18은 실제 레이블링 과정을 나타낸 그림이다.

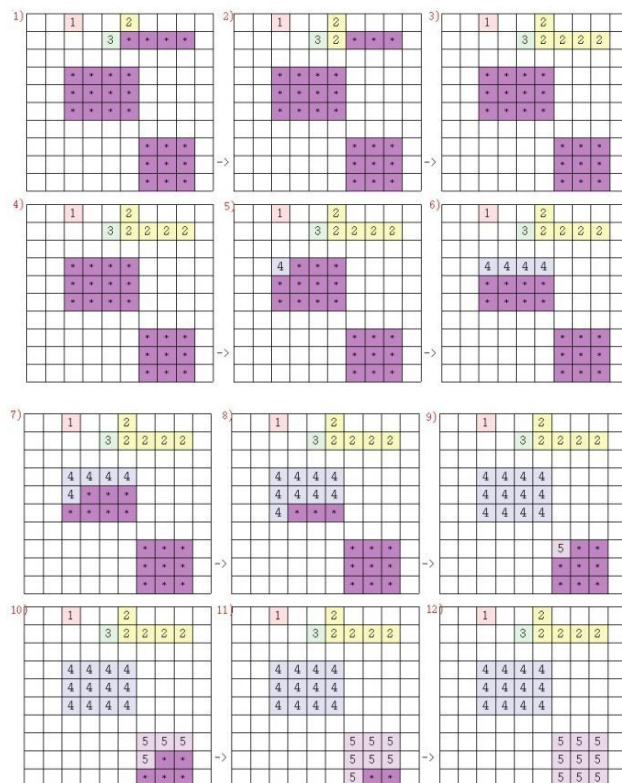


Fig. 18 Labeling process

1) 왼쪽에서 오른쪽으로 스캔하는 방식으로 상단 좌측에서 픽셀 스캔을 시작한다.

첫 번째 만나는 픽셀을 1이라고 지정한다.

- 2) 다음 만난 픽셀을 2라고 지정하고, 두 번째 라인으로 내려와 스캔을 한다. 인접한 픽셀이 없기 때문에 3으로 지정한다.
- 3) 다음 픽셀은 이전 픽셀인 3과 바로 위에 있는 2와 인접해 있다. 이 경우 낮은 숫자를 지정한다.
- 4) 인접한 픽셀이 2이기 때문에 2로 지정한다.
- 5) 인접한 픽셀이 없기 때문에 4로 지정한다.
- 6) ~ 8) 인접한 픽셀이 4이기 때문에 4로 지정한다.
- 9) ~ 12) 인접한 픽셀이 없기 때문에 5로 지정한다.

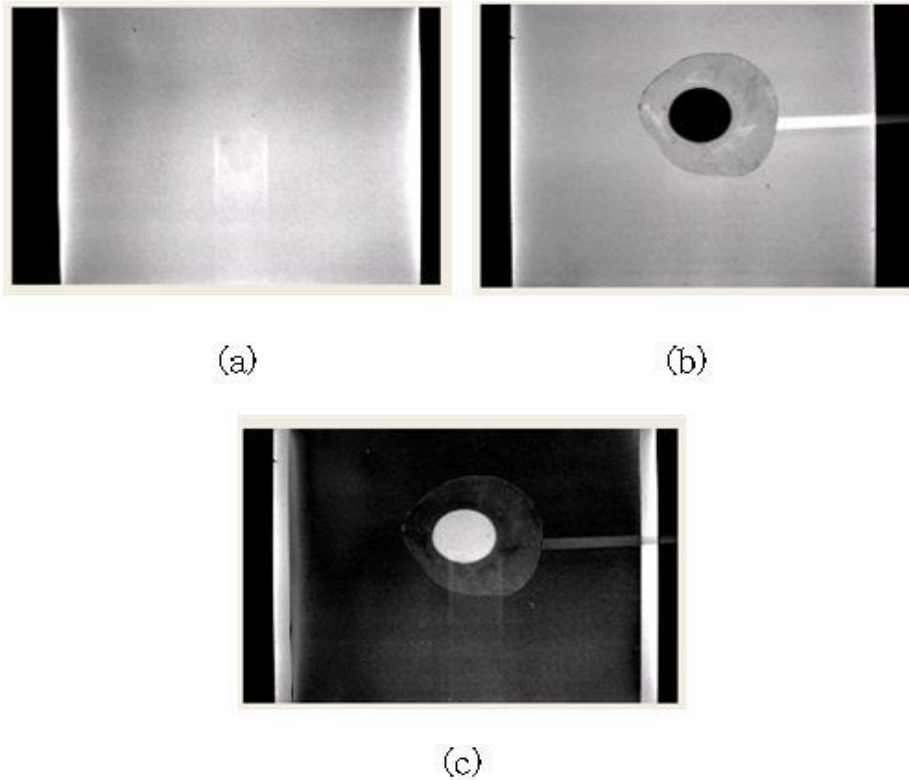
바. 차이 연산

차이 연산은 두 입력 연산에 대하여 뺄셈 연산을 수행한 후, 그 결과 값에 절대 값을 이용하여 결과 영상을 생성하는 연산이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$h(x,y) = |f(x,y) - g(x,y)|$$

일반적으로 뺄셈 연산의 경우 순서에 영향을 받기 때문에 뺄셈을 당하는 영상의 밝기가 전반적으로 어두워진다. 그러나 차이 연산은 순서에 상관없이 두 영상의 차이점을 그대로 나타낼 수 있는 장점이 있다. 그렇기 때문에, 차이 연산은 두 영상의 변화된 부분을 찾는 용도로 적합하다.

그림 19는 계란 시스템의 윗면 카메라에서 바라본 영상이다. (a) 그림은 계란이 없는 기준 영상이고 (b)는 계란 모형이 놓인 그림이다. 이 두 영상의 차이 연산을 수행후 계란의 난황 영역만을 추출하기 위해 이치화(Threshold)한 화면이다.



(a) Reference image (b) Input image (c) Difference operations
 Fig. 19 Difference operations of the egg

사. 허프 변환

허프 변환(Hough transform)은 영상에서 직선, 원, 또는 다른 간단한 모양을 찾는 방법이다. 본래 허프 변환은 직선 변환이었으며, 이는 이진 영상에서 직선을 비교적 빠르게 찾는 방법이다. 이후 단순한 직선뿐만 아니라 다른 일반적인 모양을 찾는 용도로도 사용되었다. 계란 계측 시스템에서는 측정 모드 중 자동 측정 모드에서 계란의 유/무를 판단하기 위해 허프 변환을 사용하였다. 이때 허프 원 변환을 통해 난황을 찾는 것을 그림 20에서 확인 할 수 있다.

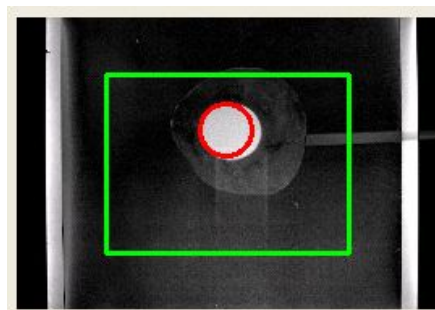


Fig. 20 Hough Circle Transform

아. 외곽선 검출

외곽선 추적은 객체의 외곽선을 따라 이동하여 외곽선 픽셀의 위치정보를 알아낸 것이다. 그림 21은 특정 픽셀 위치에서 이동할 수 있는 이웃 픽셀을 보여준다. 8-이웃 연결성을 사용하기 때문에 모두 8개의 이동 가능한 방향이 존재한다. 번호는 픽셀의 오른쪽에 있는 픽셀이 0부터 시작하여 시계방향으로 이동하면서 7까지 증가한다.

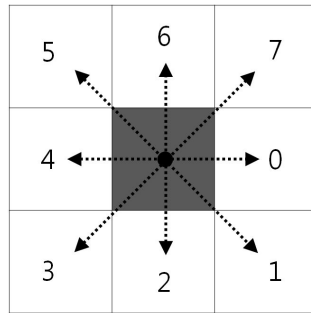


Fig. 21 Pro direction of outline tracing considering 8-directional connectivity

외곽선 추적을 위해서 첫 번째 객체 외곽선 좌표를 찾은 후, 외곽선 추적 진행 방향을 시계 방향으로 변환시키면서 외곽선을 찾는다. 전체 외곽선 픽셀을 모두 지나 다시 시작 좌표로 돌아오면 외곽선 추적은 종료한다. 그림 22에서 외곽선 추적을 수행하는 과정을 나타내었다.

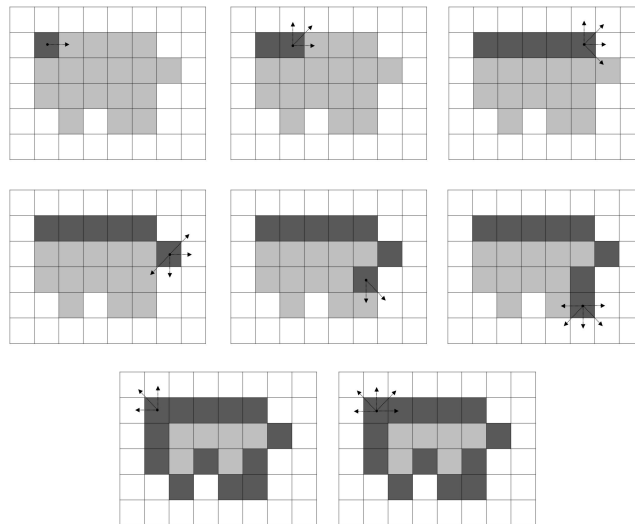


Fig. 22 Process of outline tracing

제 2 절 계란 측정 시스템의 구성 및 사양

1. 전제구성

그림 23은 본 연구에서 개발 될 시스템의 기본 구성도이다. 계란의 난황, 농후 난백의 높이를 정밀하게 측정하기 위해서는 진동에 강해야 하고, 수평 유지가 매우 중요하다. 그러므로 본 시스템에서는 3점지지 및 진동 억제를 위한 정반을 기초로 하여 이곳에 장치들을 설치 운영하며, 또한 정밀 수평 계를 설치하여 수시로 수평 유지를 할 수 있도록 하였다.

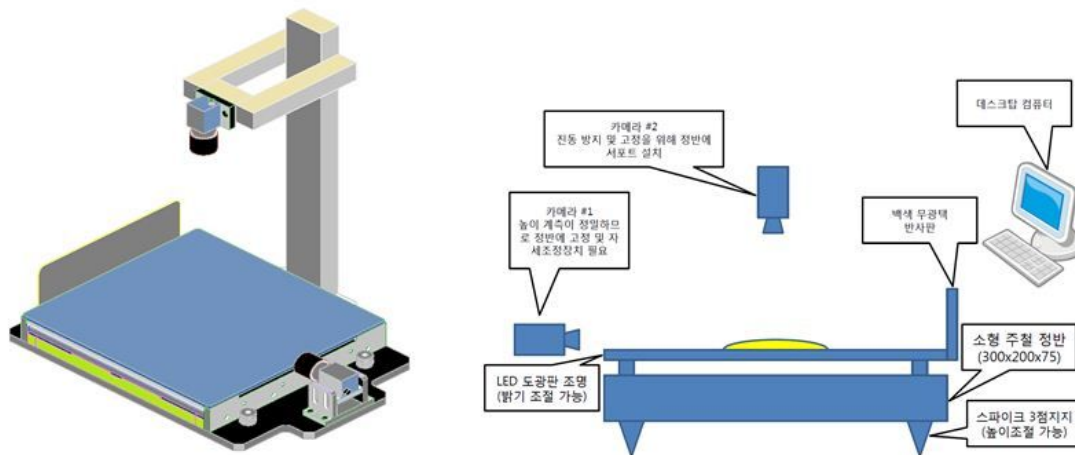


Fig. 23 Egg of the system configuration

그림 24는 본 연구에서 개발한 시스템으로 2대의 카메라 중 옆면에 설치되는 카메라는 난황 및 농후난백의 높이 및 시간에 따른 변화를 정밀 계측하기 위하여 고해상도 카메라가 사용되며, 상단에 설치된 카메라는 난황의 면적, 농후난백의 색상, 면적, 계란의 위치를 판단하게 된다. 옆면 카메라의 특성상 난황 및 난백의 위치에 따라 측면 계측시 측도가 변화된다. 그러므로 계란의 중심의 위치정보가 매우 중요하다.

조명 시스템은 난황 및 난백의 내부에 존재할 수 있는 혈흔 등의 오염물질을 찾고자 배면 조명을 사용한다. 조명의 균일성 및 충분한 광량을 얻고자 도광 판을 사용한 LED Back light를 사용했다. 그리고 주변광의 간섭을 최소화 하고자 시스템 상단부에 사각 박스형 차단막을 설치했다. 또한 조명 시스템 위에 강화 유리로 측정 판을 설치하여 할란의 신속한 측정 및 폐기를 할 수 있도록 한다. 이 강화유리판은 측정시 기준이 되는 수평판과 폐기시 밀대와 같은 기구로 신속하게 처리할 수 있도록 측면에 폐기통과 연계되는 경사 유도 판으로 구성된다. 배면 조명을 이므로 강화 유리면은 영상처리시 반사에 의한 영향을 최소한으로 받는다. 계란은 난각 내부에 두 층의 속껍질이 있으며, 그 안에 난백과 중앙에 난황이 있다.

난백은 시간이 경과함에 따라 난백의 수양화 현상으로 농후 난백이 수양난백으로 바뀐다. 즉 할란 했을 때 난황 주변에 농후난백이 나타나는데 품질이 나쁠수록 농후 난백이 물처럼 넓게

퍼지는 경향이 있다. 본 논문에서는 계란 신선도의 평가 기준인 농후난백의 수양화 정도를 영상처리를 통하여 농후난백의 높이를 계측함으로써 그 값을 얻고자 한다.



(a) Egg system front (b) The side of Egg system

Fig. 24 Egg of the system

2. 영상 획득부

영상 획득부는 가격적인 측면을 보완하기 위해 고정밀도를 요하는 측면 카메라와 상대적으로 덜한 상부 카메라가 다른 두 개의 카메라로 구성된다. 옆면 카메라는 입출력이 간단한 USB2.0 인터페이스를 사용하며 상부 카메라는 1394-A타입 카메라를 사용하여 별도의 1394-A 타입 카드가 필요하다.

가. 카메라

본 논문에 사용되는 컴퓨터 영상처리 시스템은 영상 입력부, 카메라 인터페이스부, 영상처리에 사용되는 컴퓨터, 그리고 영상 출력부, 조명장치로 구분된다. 측정하고자 하는 계란의 2차원 정보를 입력하는 센서로 사용하는 영상 수신 장치는 그림 25에 나타낸 카메라와 같다. 카메라를 통해 저장된 영상정보를 입력받아 컴퓨터로 처리하여 컬러 모니터에 화면으로 출력하는 동시에 계산된 정보를 실시간으로 보여주는 작업을 수행한다. 측면카메라는 난황과 난백의 높이 뿐만 아니라 난황의 색도 판별하므로 흑백 카메라가 아닌 컬러 카메라를 사용하였다.



Fig. 25 DFK 72BU02 camera

Table 1 Specifications of DFK 72BU02 camera

Model Name	ImagingSource DFK 72BUC02
Pixel Size	2.2um x 2.2um
Array Format	2,592H x 1,944V
Imaging Area	5.70mm x 4.28mm
Color Filter	RGB Bayer color filters
Optical Format	1/2.5 inch
Frame Rates	12 fps @ full resolution 30 fps @ 1080p resolution (1,920H x 1080V)
ADC	12-bit, on-chip
Scan Mode	Progressive
Shutter	Electronic rolling shutter(ERS), global reset release (GRR)
Exposure Time	10μs - 32s; Bulb
Maximum Data Rate	96 megapixels per second
Connection	USB2.0 (A-Mini)

또한 고정밀도를 요구하므로 2,592H x 1,944V 해상도를 지니는 컬러 CMOS 카메라를 사용하였다. 상세 제원은 표 1과 같다. 상부 카메라는 상대적으로 고정밀 카메라를 요구하지 않기 때문에 그림 26처럼 영상 저장 속도가 빠른 1394-A타입 카메라를 사용하여 처리 속도를 높였으며 상세 제원은 표 2와 같다.



Fig. 26 IMB-15FT CCD camera

Table. 2 Specifications of IMB-15FT CCD camera

Features(IMB-15FT)	
Image Sensor Type	1/3-inch Interline CCD (Sony ICX204AL)
Effective pixels	800,000 pixels 1034(H) x 779(V)
Picture Size	1024x768, 800x600, 640x480, 320x240
Cell Size(um)	4.65x4.65
Lens Mount	C Mount
Scanning System	Progressive System
Binning	Not supported
Format7	Partial Scan (Unit: 4x4)
Strobe	Active High, Support Normal Mode or Trigger Mode.
Multi-camera auto sync	-144 us ~ +144 us at 30,15,7.5 frame rate
Memory Save/Load	16 Channels(0:factory, 1~4:feature, 5~15:mode/feature)
One-shot/Multi-shot	65535 Shots
Control Functions	Brightness, Sharpness, Gamma, Auto-Exposure, Shutter, Gain, Pan/Tilt, High speed up trigger frame rate
SIO(RS-232)	IIDC v1.31 version : Path through or IMI-Tech Command
Frame Delay from Read-out	Min. 70us
Digital Interface / Transfer Rate	IEEE 1394 1 port(6pin) / 400Mbps
Gain	0 ~ 27 dB (Manual or Auto)
Shutter Speed	1 usec ~ 3600 sec (Manual or Auto)
Data Depth	12 bit
S/N Ratio	56dB or better
Supply Voltage & Power	Less than 2 Watts (@ 12 V DC)
External Dimension / Weight	29(W) x 29(H) x 39(D) mm / Approx 63g

나. 조명장치

광원으로는 LED BAR 4개(길이 30cm)가 사용되었다. 사용한 LED BAR는 DC전압을 사용하므로 AC를 DC전압으로 변환할 수 있는 인버터(그림 28)이 사용되었다. 계측용 유리평판 4개의 모서리에 각각 그림 27와 같이 설치하여 빛을 고르게 분포시킴으로써 집중광을 방지하였다. 또한 LED조광기를 이용하여 사용자가 손쉽게 조도를 조절 할 수 있도록 하였다.



Fig. 27 Lighting devices



Fig. 28 Inverter

다. 방사왜곡 보정 판넬

영상 왜곡 보정 시 이미지 보정판의 평균 밝기 값을 임계값으로 사용하여 이진화를 한 후 코너를 찾기 때문에 검은색 흰색의 배열을 갖게 된다. 따라서 10개의 가로 코너(Corner)와 7개의 세로 코너(Corner)를 가진 각변의 길이가 24mm인 사각 모자이크 보정판을 사용했다.

보정판넬이 정사각형인 경우 판넬의 회전에 대해 회전 방향을 판단하기 어렵기 때문에 직사각형 모양의 판넬을 사용한다.

그림 29는 왜곡 보정 실험과정에 쓰인 이미지 보정판이다.

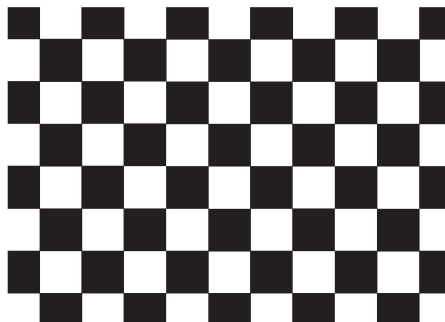


Fig. 29 Compensation Panel

3. 중량 측정

로드셀(Load Cell)은 힘(Force)이나 하중(Load)등의 물리량을 전기적 신호로 변환시켜 힘이나 하중을 측정하는 하중감지센서(Transducer)이다. 물체는 힘이나 하중에 의하여 이에 비례하는 변형이 발생하며 단위길이당 발생하는 변형량을 변형률(Strain)이라고 한다. 이 때 발생하는 변형률은 힘이나 하중의 크기에 직선적으로 변화하는 특징을 가지고 있다.

변형률의 측정을 위해 개발된 측정소자(Sensor)가 스트레인 게이지이다. 스트레인 게이지는 물체의 전기 저항 값은 “길이와 단면 변화에 의하여 변화한다는 원리”를 기초로 한다. 로드셀은 힘이나 하중에 대하여 구조적으로 안정된 변형을 발생시키는 탄성 변형체(Elastic Strain Member)의 수감부에서 발생하는 물리적 변형을 스트레인 게이지를 이용하여 전기저항 변화로 변환시키고 Wheatstone Bridge라는 전기회로를 구성하여 정밀한 전기적 신호로 변환시켜 무게를 측정한다.

계란 시스템에서는 4개의 로드셀(한진데이터 HD-Lcell-01, 그림 30)이 사용되었으며 영상처리 측정 시간을 줄이기 위해 제이씨넷 사의 8bit MCU인 Atmega128를 탑재한 모듈(JMOD-128) 그림 31을 이용하여 로드셀의 중량을 측정 부분을 따로 분리하여 처리하도록 설계하였으며 상세 제원은 표 4과 같다. 그리고 로드셀의 정밀도를 증가하기 위해 그림 31와 같이 고정밀의 24bit ADC (Analog-to-Digital Converter)인 한진데이터사의 EPX4XM8A를 4개 사용하였다.



Fig. 30 HD-Lcell-01

Table. 3 Specifications of HD-Lcell-01

HD-Lcell-01					
용량(Kg)		1	3	5	10
중합오차(%F.S)	0.05	출력온도영향(%F.S/10도)		≤ 0.15	
감도(mV/V)	1.0±0.1	정격출력(mV/V)		+/-0.1	
비직진성(%F.S)	0.05	입력간 저항(Ω)		1000±50	
반복성(%F.S)	0.05	출력간 저항(Ω)		1000±50	
(%F.S)	0.05	절연저항(MΩ)		≥ 2000(100VDC)	
크리프(%F.S/3min)	0.05	인가전압(V)		5~10	
제로벨런스(%F.S/1min)	0.05	허용온도범위(℃)		-10~+50	
제로온도영향(%F.S/10℃)	0.2	과부하능력		150	

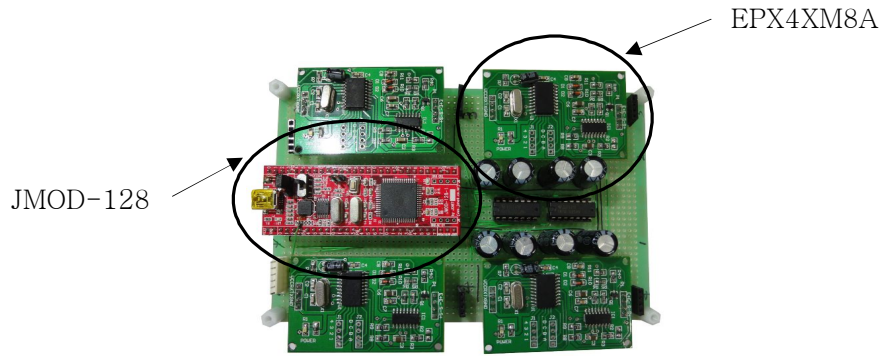


Fig. 31 EPX4XM8A

Table. 4 Specifications of JMOD-128

항 목	내용
MCU	AVR 마이크로컨트롤러, ATmega128A-AU,16Mhz
ISP	ISP 다운로더 내장, USB-mini 커넥터
UART(RS232C)	USB-to-Serial(RS232C) 변환기 내장,CP2102
외부 인터페이스	2x29(58핀)2.54mm 핀헤더,53개 GPIO 핀 전체 지원
무선 모듈 지원	상용 무선 모듈(Zigbee, Bluetooth) 연결용 8핀 인터페이스 지원
전원	5V(USB케이블 공급)또는 3.3V~5V(외부 VEXT 핀 공급)
크기	274mm X 762 mm (가로 x 세로)

제 3 절 계란 시스템의 측정 알고리즘

계란의 신선도 및 품질 계측용 소프트웨어는 Microsoft Visual Studio 2008의 C# 언어를 이용하여 개발하였으며 영상처리용 라이브러리로서 Intel사의 Opencv 와 MVTec 사의 HALCON 10.0을 사용하였다. 신선도 및 품질 계측용 영상처리 소프트웨어는 단일 영상과 연속 영상 획득의 두 가지 모드로 나누어 계측할 수 있도록 하였으며, 시간에 따른 난백의 퍼짐을 연속으로 측정할 수 있도록 하였다.

신선도를 포함하여 계란의 여러 품질인자들을 측정하기 위하여 개별 소프트웨어 모듈을 개발하였다. 난백과 난황의 높이측정에 필요한 수평 기준선 설정 모듈, 계란을 깬 후 흰자와 노른자의 중량을 4개의 로드셀을 이용하여 측정하는 데 요구되는 영점 보정 모듈, 측면 영상에 의한 높이 측정에 있어서 카메라와 대상체 간의 거리에 따른 산출높이의 오차를 보정하는 모듈, 카메라 렌즈에 의한 방사왜곡과 접선왜곡을 보정하는 모듈, 표준 색지 템플레이트를 등록하고 난황의 색을 표준 Lab 색좌표로 변환하는 모듈을 포함하고 있다. 난황의 색상은 측면 영상으로부터 Lab값으로 산출하였다.

1. 각 모드별 화면

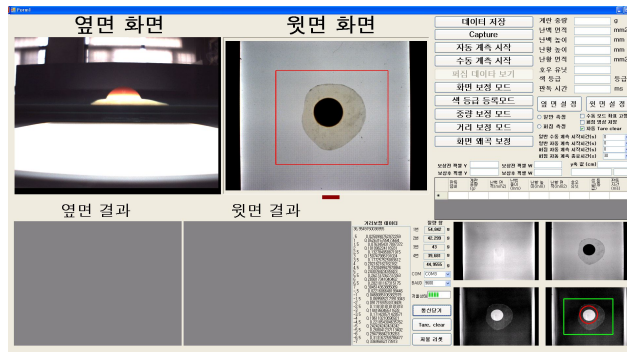


Fig. 32 The main screen of Measurement System of Egg Quality

그림 32는 계란 품질 측정 시스템의 메인 화면으로 2대의 카메라로부터 얻는 영상 정보를 출력하는 출력창과 계란의 유무와 손의 유무를 자동으로 판단하는 과정을 보여주는 영상 정보 출력창, 4개의 로드셀의 중량 정보 보여주는 출력창, 측정부 결과를 나타내는 출력창 등 시스템에 포함된 모든 기능을 사용자가 한눈에 쉽게 파악할 수 있도록 설계 하였다.

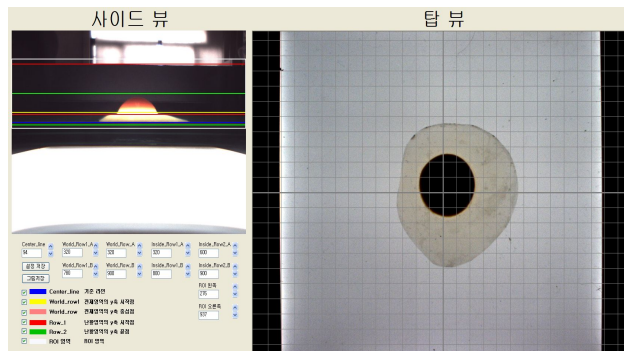


Fig. 33 Screen calibration window

그림 33은 화면 보정 모드로 Halcon 10.0으로 영상처리 하는 과정에서 내부 프로그램의 기준 선들을 사용자가 쉽게 설정 할 수 있도록 하는 모드이다.

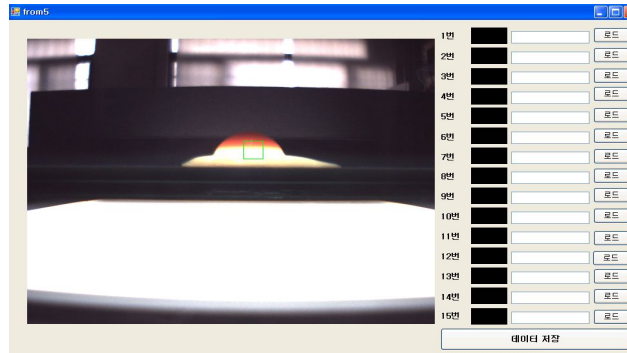


Fig. 34 Color grading window



Fig. 35 Yolk Color Fan

그림 34는 색 등급 모드로 옆면 카메라를 통해 난황의 색을 판단할 때 그 기준 데이터를 LAB색으로 데이터화 하여 등록하는 창이다. 기준 데이터는 그림 35와 같이 Switzerland 에서 제공하는 Yolk Color Fan을 사용하였다.

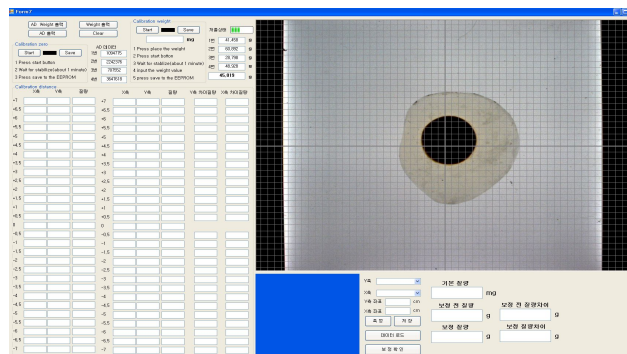


Fig. 36 Weight calibration window

그림 36은 중량 보정 모드로 PC와 로드셀을 제어하는 마이크로프로세서(ATMEGA128)간에 RS232 통신 방식을 사용해 상호 데이터를 입출력한다. 또한 PC에서 중량 보정 명령을 전송하여 무게의 기준값을 새로 설정 할 수 있는 창이다.

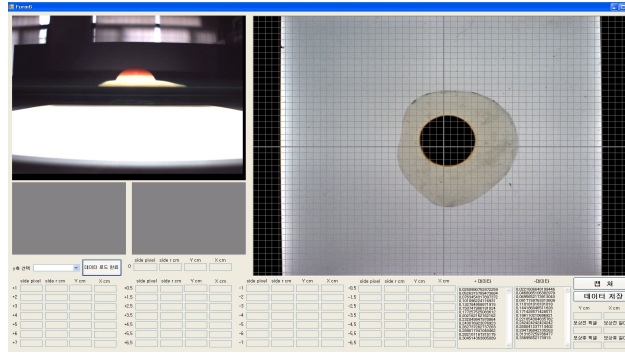


Fig. 37 The side camera calibration window

그림 37은 거리 보정 모드로 측면 영상 측정 시 대상체와 옆면 카메라의 거리에 따라 높이의 오차를 보정하기 위해 윗면카메라의 위치 정보에 따른 옆면 카메라의 픽셀의 오차를 저장하고 이를 통해 오차 정도를 계산해 데이터화 하는 모드이다.

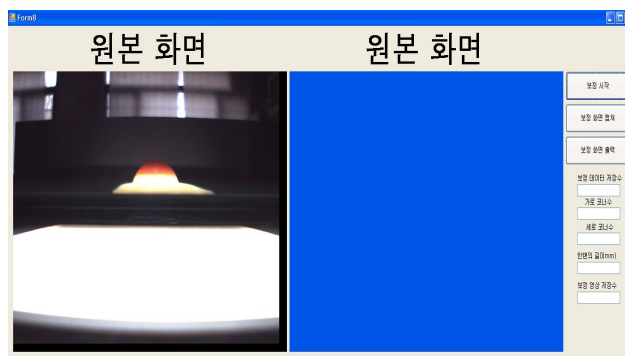


Fig. 38 Distortion Correction window

그림 38는 왜곡 보정 모드로 렌즈에 의해 발생 할 수 있는 방사 왜곡과 접선 왜곡을 보정하기 위한 모드이다.

2. 측정 알고리즘

이미지 프로세싱에 사용한 라이브러리는 MVtec에서 제공하는 Halcon 10.0을 사용하였으며 난황의 유무와 손의 유무를 판단하여 자동으로 측정하는 알고리즘 부분의 영상처리 라이브러리는 Intel사에서 제공하는 OpenCV를 사용하였다. 두 가지 영상처리를 라이브러리를 사용한 이유는 Halcon 10.0 라이브러리는 영상처리 속도면에서 빠르지만 소프트웨어의 용량이 크기 때문에 중요한 부분을 차지하는 난황과 난백에 높이 측정 부분에만 사용되었다. 그림 39는 계란 측정 시스템의 전체 Flow Chart 이다.

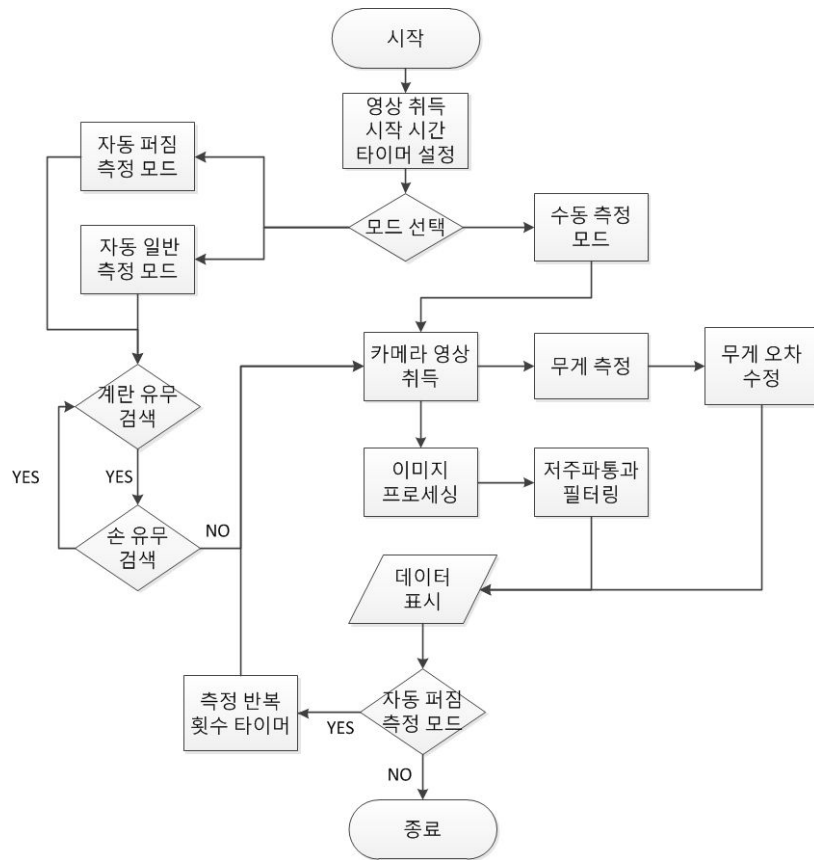


Fig. 39 Flow Chart of Measurement System of Egg Quality

가. 난황과 난백의 높이 측정 알고리즘

측면 카메라는 현재 사용하고 있는 신선도 인자인 호우 유닛을 측정하기 위해 난백의 높이를 측정한다. 호우 유닛은 계란의 중량과 난백의 높이를 인자로 받는다. 그렇기 때문에 난백을 측정하는 측면 카메라는 윗면 카메라에 비해 고해상도 카메라를 사용한다. 그러므로 영상처리 과정에서 많은 시간을 소모한다. 이점을 보완하기 위해 MVtec의 HALCON 10.0 영상처리 라이브러리를 사용해 영상처리 속도를 높였다. 그림 40은 난황과 난백 측정 프로그램 알고리즘에 이다.

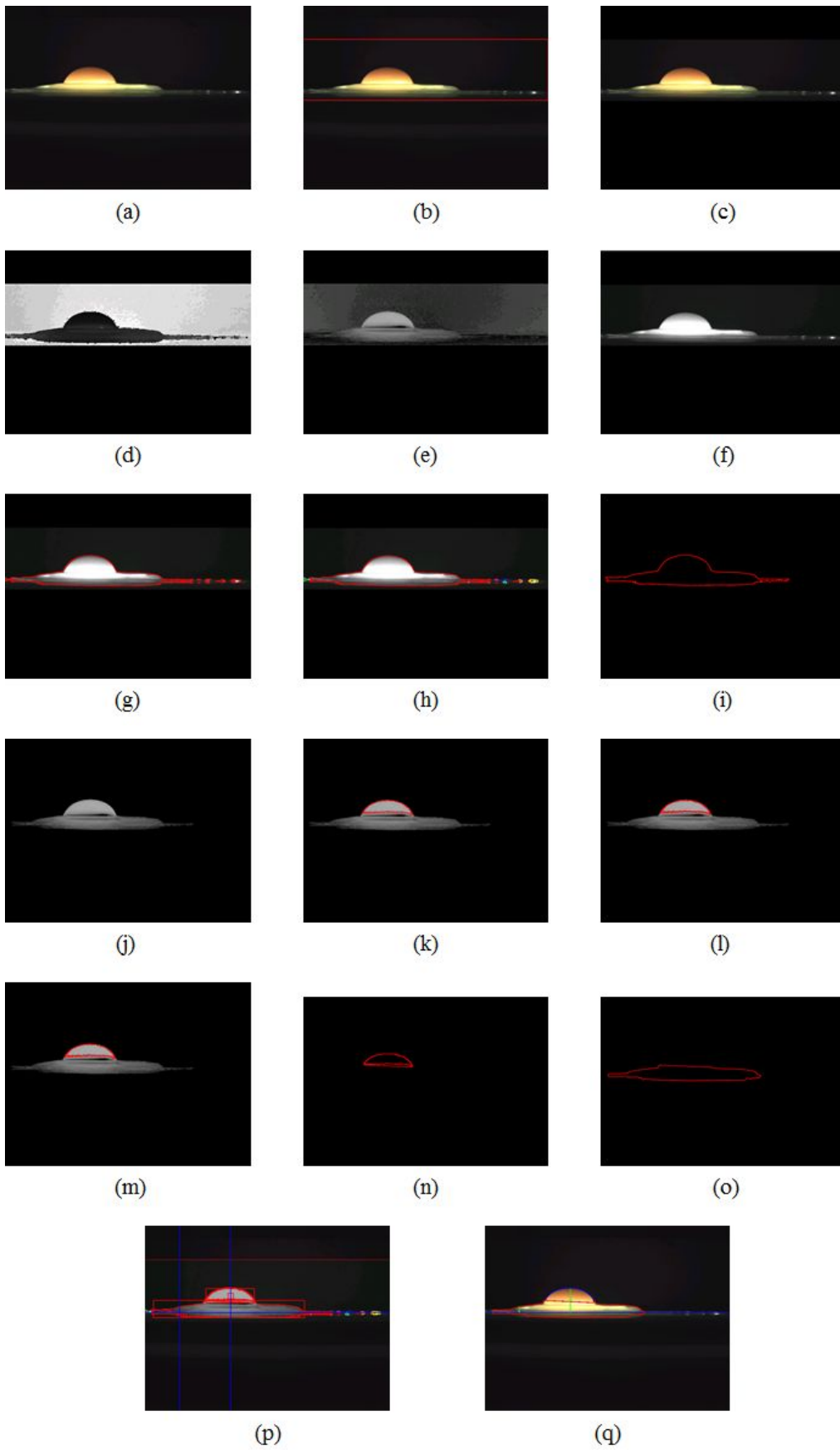


Fig. 40 Height measuring algorithm

- (a) : 무보정 상태의 영상 이미지로 이미지 사이즈는 2592 x 1944 사이즈 이다.
- (b) : 2592 x 1944의 높은 해상영역을 모두 영상 처리 할 경우 높은 사양의 프로세싱이 필요하다. 하지만 계란이 놓이는 영역이 항상 일정하므로 ROI 영역을 지정해 그 부분만을 영상처리 한다.
- (c) : 원본영상에서 ROI영역으로 영상을 자른 영상이다. Reduce_Domain 명령어로 ROI 사각형 영역으로 원본영상을 자를 경우 영상처리 해야 할 픽셀 수는 5038848에서 2272000으로 55% 가량 줄어들고 속도 또한 이론상 55%가량 올라간다.
- (d) : RGB영역의 색상 좌표를 HSI(Hue Saturation Intensity) 영역으로 변환시킨다. HSI는 색조, 채도, 명암으로 색 평면으로 분리한 영상 중에 명암 이미지이다.
- (e) : e 이미지는 채도영역이다. 채도는 색의 맑음 정도를 나타내는 것으로 난황과 난백을 비교 하면 상대적으로 빛의 포화도가 높은 난황영역이 난백영역 보다 밝게 나와 난황과 난백을 구분할 때 채도를 이용 할 수 있다
- (f) : f 이미지는 명암 영역이다. 명도는 색깔의 밝고 어두운 정도를 나타낸다. 주위 영역보다 난황과 난백 모두 명암이 높기 때문에 전체 영역을 검출할 때 사용한다.
- (g) : 백그라운드 영역과 계란 영역을 분리하기 위해 HSI중 명암영역에서 threshold 이용하여 특정영역의 밝기를 가지는 픽셀만 선택한다. 그 후 opening_circle 을 이용해 원형구조 보다 작은 영역은 제거 하고 경계선을 부드럽게 한다. 원형구조에서 원의 파이는 3.3이다.
- (h) : connection 명령어를 통해 한 개의 영역으로 묶여있던 픽셀을 근접 영역픽셀끼리 묶어 분리한다. 이러한 라벨링을 통해 계란의 전체 영역과 아닌 영역을 분리 할 수 있다.
- (i) : connection 명령어로 분리된 영역들 중에 select_shape 명령어를 통해 특정 범위 안에 들어 있는 영역만을 선택한다. 여기에서 사용한 범위 값은 area, row1, row 이다. Area는 영역의 픽셀 총 개수이고 row는 영역이 시작되는 y축값 row는 영역의 중심 y축 값이다.
- (j) : 난황과 난백 영역을 분리하기 위해 reduce_Domain을 이용하여 채도 채널 영역으로 자른다.
- (k) : 채도영역에서 상대적으로 난백보다 채도가 높은 난황영역을 threshold 명령어를 통해 영역을 선택한다.
- (l) : opening_circle 명령을 사용하여 원형구조 보다 작은 영역은 제거 하고 경계선을 부드럽게 한다. 원형구조에서 원의 파이는 3.3이다.
- (m) : connection을 통해 근접한 픽셀끼리 묶어 라벨링을 한다.
- (n) : select_shape 명령어를 통해 특정 범위 안에 들어 있는 영역만을 선택한다. 여기에서 사용한 범위 값은 area, row1, row2 이다. Area는 영역의 픽셀 총 개수이고 row1는 영역이 시작되는 y축 값이고 row2는 영역이 끝나는 y축값이다.

(o) : 계란의 전체 영역에서 난황 영역을 제거한 영역이 난백 영역이므로 difference 명령어를 사용하여 전체 영역에서 난황영역을 제거한다.

(p) : 난황영역과 난백영역에서 가장 높은 좌표의 x축 좌표에 수직으로 선을 그리고 Intersection 명령어를 통해 난황 영역과 난백 영역의 교차지점의 픽셀 수를 얻어 카메라의 실제 이미지센서의 픽셀당 길이를 곱해 실제 길이로 환산한다. 길이로 환산하는 과정 중 계란의 놓이는 위치에 따라 같은 길이의 물체라도 픽셀수가 달라지므로 윗면의 카메라를 통해 난황과 난백의 중심 좌표를 영상처리를 통해 구한 후 거리에 따른 픽셀 값을 보정한다.

(q) : 모든 영역을 지우고 난황과 난백 영역의 그리고 측정된 거리를 dip_line 명령어를 통해 디스플레이 한다.

나. 난황의 면적, 난백의 면적 측정 알고리즘

상단 카메라는 난황의 면적, 난백의 면적을 측정한다. 그림 41은 측정 알고리즘에 대한 설명이다.

(a) : 무보정 상태의 영상 이미지로 이미지사이즈는 1024x768사이즈 이다. 측면 카메라와는 다르게 상대적으로 호우 유닛에 중요한 영향을 주지 않는 상부 카메라는 낮은 해상도의 카메라를 사용하였다.

(b) : 사이트의 카메라 알고리즘과 마찬가지로 RGB영역의 색을 HSI(Hue Saturation Intensity)영역으로 변환 시킨다. 왼쪽 그림은 색조 영역이다.

(c) : HSI영역중 채도 영역이다. 윗면에서 바라본 계란의 채도 영역은 옆면에서 바라본 채도 영역과 마찬가지로 빛의 포화도가 높은 난황영역이 투명한 난백영역보다 밝게 나온다. 이점을 이용하여 난황과 난백의 영역을 분리 할 수 있다.

(d) : 명도는 색깔의 밝고 어두운 정도를 나타내는데 윗면 카메라는 조명을 정면으로 바라보기 때문에 난황영역은 다른 주위 영역에 비해 상대적으로 어두운 영역으로 나온다. 이 점을 이용하여 난황영역을 검출 할 수 있다.

(e) : 명도 영역에서 threshold를 통해 검은색 부분인 난황 영역을 검출한다.

(f) : opening_circle 을 이용해 원형구조 보다 작은 영역은 제거 하고 경계선을 부드럽게 한다. 원형 구형구조 보다 작은 영역은 제거되기 때문에 그보다 작은 노이즈 구간을 영상에서 제거 할 수 있다. 원형구조에서 원의 파이는 30이다.

(g) : 난황 영역만을 분리하기 위해 connection 명령어를 통해 하나로 된 영역을 각각 분리된 영역으로 만든다.

(h) : select_shape 명령어를 통해 특정 범위 안에 들어 있는 영역만을 선택한다. 여기에서 사용한 범위 값은 Area, Circularity 이다. Area는 영역의 픽셀 총 개수이고 circularity 원형 모형의 파이 이다. 두 가지 특징으로 난황영역만을 전체 영역에서 선택할 수 있다.

(i) : Dilation_circle 명령어를 통해 난황영역과 닭음 꼴의 원을 만들고 이 영역을 ROI 영역으로 사용할 수 있다. HSI 영역 중 채도영역으로 난황과 난백을 분리 할 수 있으며 ROI를 통해 이미지 프로세싱할 영역을 줄일 수 있다.

(j) : Dilation_circle을 통해 난황의 중심에서 닭음 꼴의 원을 그린 그림이다. 원형으로 ROI를 하는 이유는 난백영역은 난황을 중심으로 퍼져 있기 때문이다. 그렇기 때문에 난황을 중심으로 닭음꼴의 원을 만들면 난백 영역도 모두 포함 하는 ROI영역을 쉽게 만들 수 있다.

(k) : reduce_domain명령어를 통해 Dilation_circle 영역을 기준으로 채도 영역을 자른 그림이다.

(l) : `gray_closing_shape`를 통해 작은 그레이 픽셀을 주위의 그레이 픽셀과 비슷한 색상으로 평균화 시킬 수 있다. 이 과정을 통해 주위영역의 그레이 값을 비슷한 영역으로 바꿔 영상의 영역을 분리하기 쉽게 만들 수 있다.

(m) : `threshold` 명령어를 이용해 특정 그레이 값을 가지고 있는 픽셀 영역들을 분리한다.

(n) : `connection` 명령어를 통해 하나의 영역으로 묶여 있던 영역을 각기 다른 영역으로 분리한다.

(o) : `select_shape` 명령어를 통해 특정 범위 안에 들어 있는 영역만을 선택한다. 여기에서 사용한 범위 값은 `Area` 이다. `Area`는 영역의 픽셀 총 개수이다. 분리된 다른 영역은 난백영역보다 상대적으로 작은 픽셀을 가진 영역이므로 `Area`를 통해 난백 영역만 선택 할 수 있다.

(p) : `closing_circle` 은 특정 반경을 가진 원보다 작은 영역을 제거해 경계를 부드럽게 한다. `Threshold`로 인해 생긴 영역의 경계 면을 부드럽게 하기 위해 사용된다. 여기에 사용된 원의 크기는 300이다.

(q) : `fill_up` 명령어를 통해 닫혀있는 큰 영역에 상대적으로 작은 영역을 제거한다.

이 과정을 통해 난백영역의 안에 들어 있는 작은 빈 공간을 제거 할 수 있다.

(r) : 난백영역만의 면적을 구하기 위해 전체 계란 영역에서 난황영역을 `difference` 명령어를 통해 제거한다.

(s) : 카메라의 중심 좌표와 난황의 중심 좌표간의 차이를 구해 난황의 중심이 카메라의 중심으로부터 얼마나 떨어져 있는지를 구하고 `area_center` 명령어를 통해 난황의 픽셀 수와 난백의 픽셀 수를 구한다. 그 후 카메라의 실제 이미지센서의 한 픽셀의 실제 길이를 곱해 실제 길이로 환산하여 표시한다.

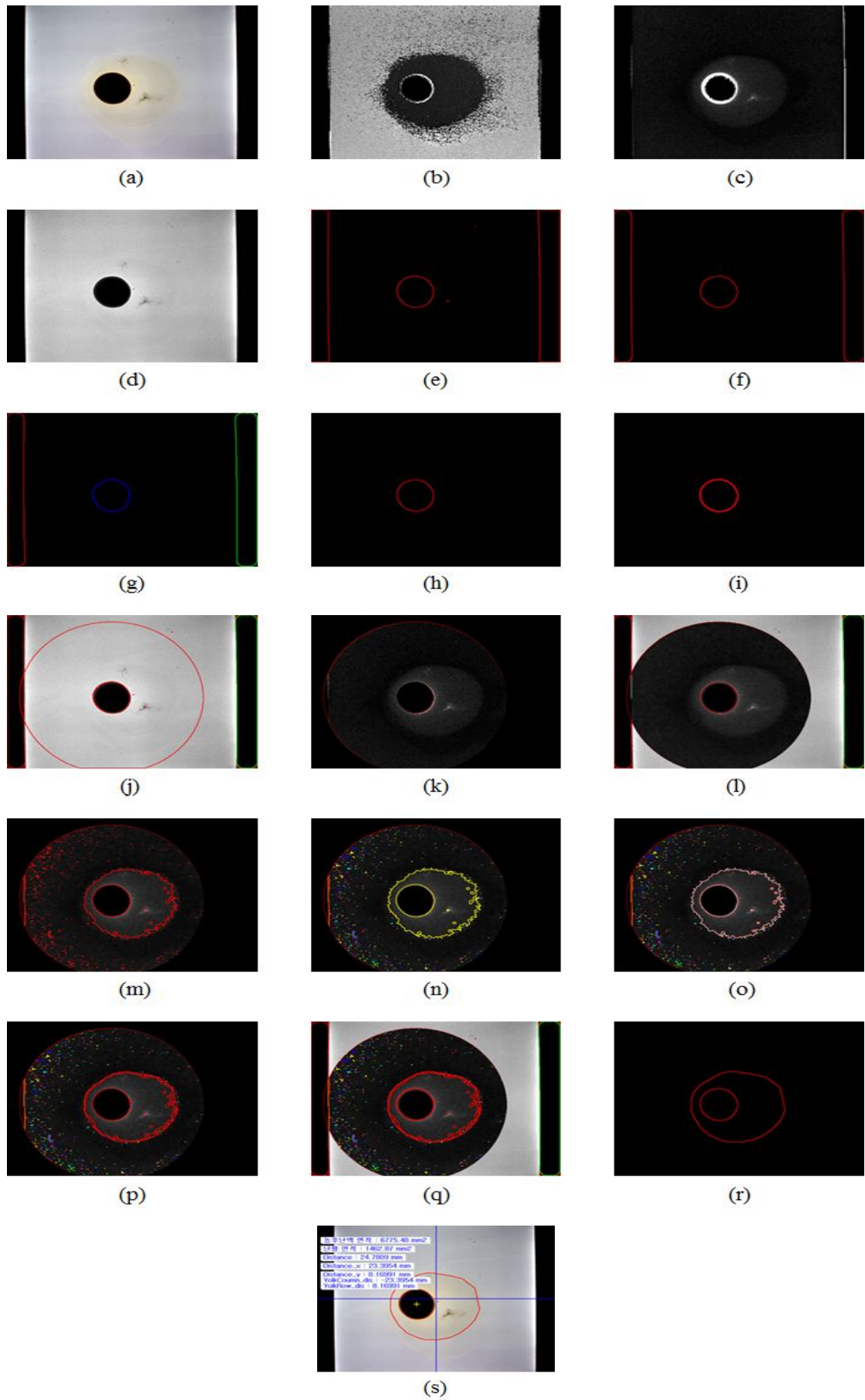


Fig. 41 Area measuring algorithm

다. 로드셀 측정 알고리즘

로드셀을 이용한 무게 측정에서 프로그램적 알고리즘은 무게 보정 작업을 통하여 얻어진 제로, SPAN 두 점으로 중량을 계산 한다. 무게 보정 작업 시 로드셀에서 측정된 ZERO 계측값과 SPAN 계측값을 선형 식을 만들어 무게 값을 표시 하게 된다. 로드셀을 이용한 알고리즘 식은 다음과 같이 표현된다.

$$Y = A * X + B$$

$$Y(\text{중량}) = ((\text{SPAN중량} - 0) / (\text{SPAN 시 계측값} - \text{ZERO시 계측값})) * X(\text{계측값}) + B$$
$$B = -((\text{SPAN중량} - 0) / (\text{SPAN 시 계측값} - \text{ZERO시 계측값})) * \text{ZERO시 계측값}$$

위 식을 사용한 예로 실제로 보정 작업시 SPAN 중량을 1000으로 설정하였다면 다음과 같다.

$$A = (1000 - 0) / (921.940 - 368.776) = 1000 / 553.164 = 0.001807782$$
$$B = -0.001807782 * 368.776 = 666$$

위 식에 의해 AD변환 값을 대입하여 무게 값으로 환산한다.

$$Y = 0.001807782 * 921.940 - 666 = 1000$$
$$Y = 0.001807782 * 368.776 - 666 = 0$$

라. 자동 측정 알고리즘

계란은 시간에 따라 수양화 난백의 높이와 난황이 높이가 낮아진다. 하지만 사용자가 직접 측정 버튼을 누르는 시간이 측정 할 때 마다 다르기 때문에 오차가 발생한다. 그림 42에서 자동 측정 모드는 이점을 보완하기 위해 측정 시점을 프로그램 내부에서 일정한 시간이 지난 후 측정한다. 수동측정 모드 시 사용자가 직접 수동측정 버튼을 누르기 때문에 손의 유무를 판단할 필요는 없다.

하지만 자동측정 모드와 퍼짐 측정 모드 시에는 기기가 자동으로 측정을 하기 때문에 기기 안에 손이 들어와 있는 상태에서 측정하면 올바른 측정을 할 수 없습니다. 이것을 방지하기 위해 영상처리를 통해 계란을 깨는 단계에서 손이 기기 안으로 들어와 있다면 측정을 하지 않고 대기 상태를 유지하고 손이 없고 계란만 있을시 측정을 한다. 또한 개발된 계란 측정기기에는 두 가지 자동 측정 모드가 있다.

하나는 일반적으로 한 번만 측정 하는 일반 자동 측정 모드와 일정 시간을 두고 여러 장을 반복적으로 측정 하는 퍼짐 측정 모드 두 가지가 있다. 사용자의 편의를 위해 각각의 측정 모드에는 몇 초 후에 측정할 것 인가를 선택할 수 있으며 퍼짐측정 모드 시에는 몇 초 동안 측정할 것인가를 설정할 수 있다.

예를 들어 사용자가 0초부터 20초 까지 반복적으로 측정시간을 선택한다면 0 초부터 20초간 0.5s 간격으로 반복으로 영상을 취득한 후 높이와 면적을 측정하고 그래프화한 다음 사용자에게 디스플레이한다.

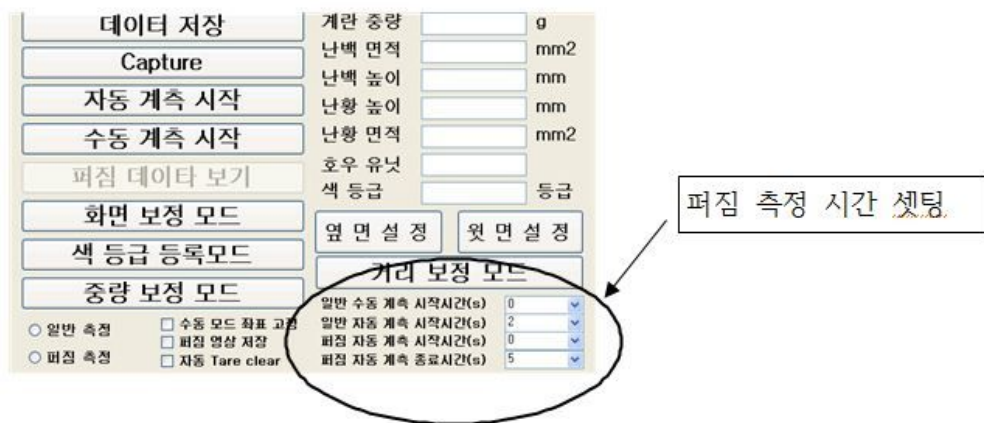


Fig. 42 Measurement time set

제 4 절 실험 방법

일반적으로 카메라는 렌즈를 통해 들어오는 빛을 이미지 센서를 통해 색을 전기적 신호로 바꿔 영상처리를 통해 영상을 저장한다. 이미지센서 반도체는 일정한 크기를 가지고 있으며 얼마나 많은 화소수를 가지고 있는냐에 따라 해상도를 결정한다. 사이드 카메라의 해상도는 2592×1944 화소를 가지며 한 개의 화소의 실제 길이와 높이는 카메라의 사양에 따라 다르다.

옆면에 사용한 카메라의 한 개의 Cell 크기는 $2.2\mu\text{m}$ 이다. 영상처리를 통해 얻어진 물체의 높이와 카메라의 한 픽셀의 실제 길이를 곱해도 이는 실제 물체의 길이와 같지 않다. 그 이유는 렌즈가 광원이냐 망원이냐에 따라 같은 물체라도 크기가 달라지기 때문이다. 이를 보정하기 위해서 실제 길이가 명확한 그림 46처럼 3cm 정육면체를 상부 카메라를 통해 중심에 위치한 후에 사이드 카메라로 찍어 수직선의 픽셀 수를 구하고 이미지 센서의 픽셀길이를 곱한 후 그 값이 3cm가 아닐 경우 $3\text{cm} = (\text{이미지 센서의 픽셀길이} * \text{수직선의 픽셀 수})\text{cm} * X$ 의 수식을 통해 X를 값을 구한다. 구한 값 X는 렌즈를 통해 들어오는 물체의 오차를 보정하기 위한 값이면 최종적으로 $(\text{이미지 센서의 픽셀길이} * \text{수직선의 픽셀수}) * X$ 가 물체의 실제 길이가 된다.

기존에 개발 되어있는 계란 계측기의 경우 계란이 놓이는 위치가 정해져 있다. 이는 사용자로 하여금 항상 고정된 위치에 계란을 할란해야만 하는 단점을 가진다. 이점을 보완하기 위해 본 논문에서 개발된 계측기는 사용자로 하여금 기존에 개발된 계측기보다 넓은 영역인 정해진 사각형 박스 안에 계란을 할란할 수 있도록 개발했다.

이 과정에서 옆면 카메라를 통해 계측할 시 옆면 카메라와의 거리에 따라 같은 물체라 할지라도 그 크기가 달라지는 단점이 생긴다. 이 점을 보완하기 위해 상부 카메라를 이용해 물체가 어디에 놓이는지를 영상처리를 통해 좌표 값을 얻는다. 그 좌표에 따라 같은 물체가 놓이는 위치에 따라 얼마나 오차가 나는지 데이터 테이블을 만들어 오차를 더하거나 빼주는 방법을 사용하여 옆면 카메라로 부터 생기는 오차길이를 보정한다.

윗면 카메라 역시 렌즈에 따라 Cell 크기를 곱해도 실제 거리가 나오지 않기 때문에 그림 44과 같이 Squared sheet를 이용해 실제 길이를 구한다. 로드셀의 경우 중심 지점에서 바깥으로 벗어날수록 무게가 변한다. 측정 영역에서 얼마나 오차가 생기는지 알아보기 위해 그림 43와 같이 무게가 정해진 물체를 좌표별로 이동하여 측면 카메라의 오차 보정방법과 마찬가지로 좌표에 따른 오차 무게를 데이터베이스화하여 오차를 보상한다.



Fig. 43 Cube object

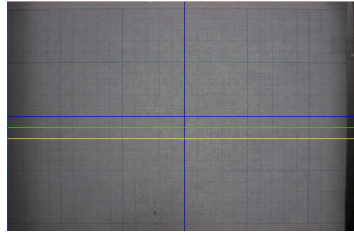


Fig. 44 Squared sheet

1. 윗면 카메라 보정 방법

카메라의 경우 이미지센서의 Cell당 실제 가로 세로 길이를 알고 있다 하더라도 이 길이는 실제 길이와 같지 않다. 렌즈에 의해 초점 거리가 달라지고 그로 인해 실제 길이가 달라지기 때문이다. 이 점을 보완하기 위해 보상값을 구해야 하는데 이 방법으로 그림 45와 같이 Squared sheet를 이용해 픽셀 당 얼마나 이동하는가를 확인했다.

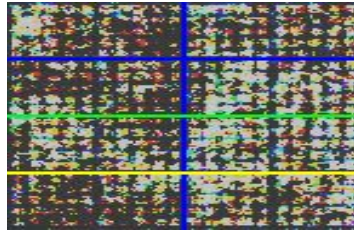


Fig. 45 Pixel calibration value

2. 측면 카메라 보정 방법

옆면 카메라는 그림 47에서 보는 바와 같이 실제 같은 물체라 할지라도 거리에 따라 물체의 픽셀 값이 달라진다. 픽셀의 변화를 확인하기 위해 실제 그림 43과 같이 한 모서리가 3cm로 레이저 커팅 된 정육면체 모델(3cm x 3cm x 3cm)을 사용하여 측정하였다.

픽셀의 변화는 상하좌우 방향으로 달라지지만 좌우 방향의 픽셀 변화가 거의 없었다. 그러나 상하 방향에서 큰 폭으로 픽셀의 변화가 생겼다. 이러한 픽셀 변화를 보정하기 위해 0.5mm 단위로 -7 에서 +7 구간에 픽셀값의 변화를 구해 줄어든 픽셀만큼 보상해주는 방식으로 거리에 따라 달라진 픽셀 값을 보정했다.

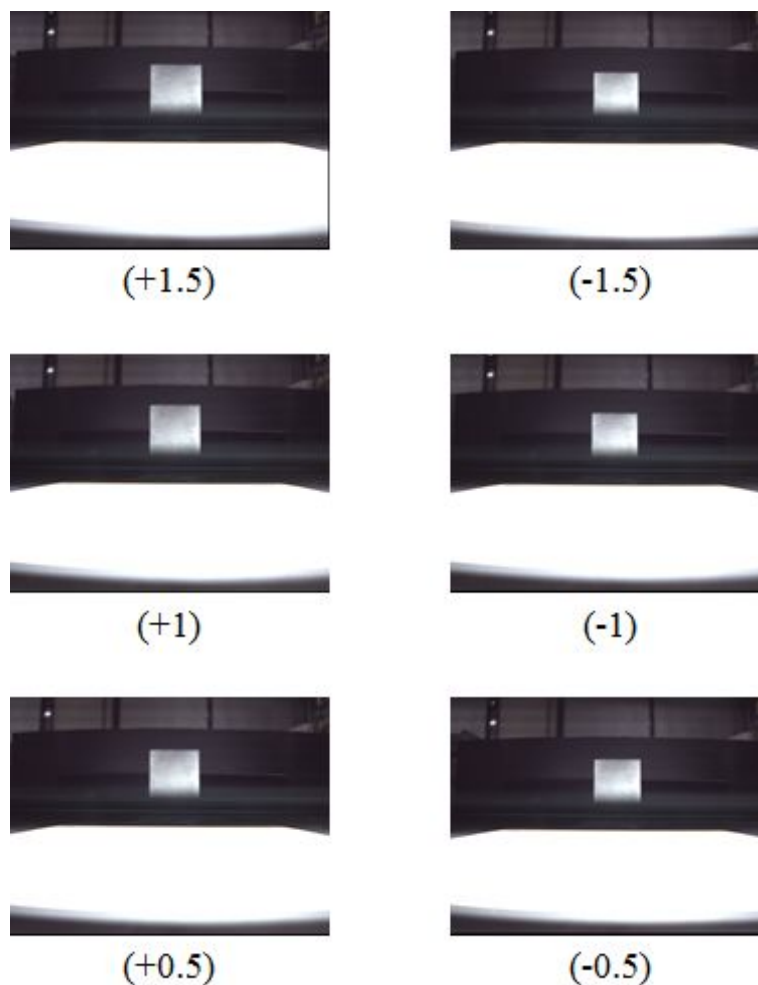


Fig. 46 The object changes according to the distance of the side of the camera

표 5는 옆면 카메라와의 거리에 따른 픽셀 과 실제 모델의 길이에 대한 변화표이다. 식 7은 측면 카메라의 보정 알고리즘 공식이다.

$$E \times \left(1 - \left(\left(\frac{A-B}{A} \right) \times D \right) \right) \quad (7)$$

- A : y축좌표(-7 ~ +7)에 해당하는 pixel 값
- B : y축 좌표가 중심에 있을 때 pixel 값
- C : A pixel값에 해당하는 y좌표
- D : 윗면 카메라를 통해 얻어진 y축 좌표
- E : 보정하고 싶은 pixel값

Table. 5 Pixels change according to the position of the side of the camera

Y축 위치	pixel	side 길이(cm)	Y축 위치	pixel	길이(cm)
1	395.00	3.21	0.5	384.00	3.12
2	415.00	3.37	1.5	405.00	3.29
3	443.00	3.60	2.5	428.50	3.48
4	466.00	3.79	3.5	452.00	3.67
5	495.50	4.03	4.5	480.50	3.91
6	531.00	4.32	5.5	512.00	4.16
7	559.00	4.54	6.5	544.50	4.43
-1	358.00	2.87	-0.5	366.50	2.94
-2	342.50	2.74	-1.5	349.50	2.80
-3	325.00	2.60	-2.5	333.00	2.67
-4	313.50	2.51	-3.5	319.00	2.56
-5	300.00	2.40	-4.5	306.00	2.45
-6	286.50	2.30	-5.5	292.50	2.34
-7	275.00	2.20	-6.5	281.50	2.26

3. 로드셀 보정 방법

로드셀의 경우 같은 물체라 할지라도 놓이는 위치에 따라 중량이 달라진다. 이유는 로드셀은 물체의 단위 면적당 압력을 측정 하는 센서로 현재 개발한 측정 기기에는 계란을 놓는 유리판의 양 쪽짓점에 4개의 로드셀이 달려 있다. 물체가 이동함에 따라 4개의 로드셀에 걸리는 압력이 중점에 있을 때와는 달라지기 때문에 중량에 변화가 있다.

로드셀의 자체적인 오차를 보정하기 위해서는 정밀한 로드셀을 사용하여 오차를 보정하는 방법이 있지만 물체의 이동에 대해 오차를 제거하기 위해 계란의 옆면을 측정하였을 때 거리에 따라 물체의 픽셀 값이 달라지는 오차를 보정하는 알고리즘을 이용하여 보정방법을 사용하였다.

윗면에 장착 되어있는 카메라를 이용하여 물체가 놓이는 위치에 따라 무게의 변화를 좌표 따라 저장한 후에 그 좌표에 따른 질량 오차를 더하거나 빼주는 방법을 사용하여 물체의 이동에 따른 오차를 보정하였다. 표 6은 물체의 이동에 따라 달라진 질량이다. 기준 질량은 그림 47와 같이 정밀도 ± 0.01 인 저울로 측정하였으며 보정에 사용한 물체의 무게는 213.13g 이다.



Fig. 47 Precision Scale

Table. 6 Weight change according to the position

Y축 방향	질량	질량차이	X축방향	질량	질량차이
7.00	207.64	5.58	7.00	212.84	0.38
6.50	207.96	5.26	6.50	213.48	0.26
6.00	208.82	4.40	6.00	213.26	0.04
5.50	208.94	4.28	5.50	213.49	0.27
5.00	209.67	3.55	5.00	213.41	0.19
4.50	209.40	3.82	4.50	213.34	0.12
4.00	209.94	3.28	4.00	213.72	0.50
3.50	210.39	2.83	3.50	213.66	0.44
3.00	210.59	2.63	3.00	213.80	0.58
2.50	210.59	2.63	2.50	213.94	0.72
2.00	211.67	1.55	2.00	214.02	0.80
1.50	212.16	1.06	1.50	214.05	0.83
1.00	212.68	0.54	1.00	213.87	0.65
0.50	213.52	0.30	0.50	213.90	0.68
0.00	213.97	0.75	0.00	214.15	0.93
-0.50	213.72	0.50	-0.50	213.84	0.62
-1.00	214.50	1.28	-1.00	214.15	0.93
-1.50	214.78	1.56	-1.50	214.11	0.89
-2.00	215.07	1.85	-2.00	214.16	0.94
-2.50	215.73	2.51	-2.50	214.39	1.17
-3.00	215.62	2.40	-3.00	214.48	1.26
-3.50	216.32	3.10	-3.50	214.28	1.06
-4.00	216.84	3.62	-4.00	214.10	0.88
-4.50	217.59	4.37	-4.50	214.36	1.14
-5.00	217.77	4.55	-5.00	214.19	0.97
-5.50	218.28	5.06	-5.50	213.64	0.42
-6.00	217.67	4.45	-6.00	214.21	0.99
-6.50	219.10	5.88	-6.50	214.25	1.03
-7.00	219.47	6.25	-7.00	214.13	0.91

제 5 절 결과 및 고찰

1. 측면 측정 정확도

표 3-7은 물체가 측면 카메라로 부터 멀어 지고 가까워지는 정도에 따라 픽셀이 얼마나 달라지는가를 나타낸다. 픽셀의 크기를 이용해 구하는 실제 거리 또한 픽셀의 변화에 따라 달라지게 된다. 이점을 보정하기 위해 거리에 따른 픽셀의 오차를 데이터 베이스화 하여 오차만큼 보상해주는 방식으로 보정을 하였다.

보정 전의 픽셀과 보정 후 길이 역시 표 7과 같이 평균 오차를 0.8%로 줄어들었음을 알 수 있다.

Table. 7 Pixels error after calibration

거리	보정 전 픽셀	보정 전 길이(mm)	보정 후 픽셀	보정 후 길이(mm)	오차율 (%)	픽셀 차 (pixel)	거리차이 (mm)
7.00	552.50	43.68	365.05	29.86	0.48	175.50	0.14
6.50	534.50	42.25	367.80	30.07	0.25	157.50	0.07
6.00	513.50	40.59	362.07	29.62	1.26	136.50	0.38
5.50	499.50	39.49	364.52	29.82	0.61	122.50	0.18
5.00	484.00	38.26	363.47	29.73	0.89	107.00	0.27
4.50	470.50	37.19	365.07	29.86	0.47	93.50	0.14
4.00	452.50	35.77	364.08	29.78	0.73	75.50	0.22
3.50	438.00	34.62	361.82	29.60	1.32	61.00	0.40
3.00	429.00	33.91	362.98	29.69	1.02	52.00	0.31
2.50	421.50	33.32	366.60	29.98	0.06	44.50	0.02
2.00	409.50	32.37	371.20	30.34	1.15	32.50	0.34
1.50	397.00	31.38	368.12	30.10	0.33	20.00	0.10
1.00	388.50	30.71	370.60	30.30	0.99	11.50	0.30
0.50	378.00	29.88	370.83	30.31	1.05	1.00	0.31
-0.50	360.50	28.50	371.06	30.33	1.11	-16.50	0.33
-1.00	351.50	27.79	378.18	30.34	1.14	-25.50	0.34
-1.50	343.00	27.11	369.77	30.23	0.77	-34.00	0.23
-2.00	336.50	26.60	371.81	30.39	1.30	-40.50	0.39
-2.50	328.00	25.93	370.12	30.26	0.86	-49.00	0.26
-3.00	321.50	25.42	372.30	30.43	1.44	-55.50	0.43
-3.50	313.00	24.74	370.64	30.30	1.00	-64.00	0.30
-4.00	307.50	24.31	369.16	30.18	0.61	-69.50	0.18
-4.50	300.50	23.75	370.30	30.27	0.91	-76.50	0.27
-5.00	294.00	23.24	369.53	30.21	0.70	-83.00	0.21
-5.50	289.00	22.85	367.82	30.08	0.25	-88.00	0.08
-6.00	283.00	22.37	367.43	30.05	0.15	-94.00	0.05
-6.50	277.50	21.94	369.73	30.23	0.76	-99.50	0.23
-7.00	274.00	21.66	270.53	30.29	0.98	-103.00	0.29

2. 윗면 측정 정확도

윗면 측정 정확도는 계란의 면적과 난황의 중심의 정확도와 연관성이 있다. 정확도를 개선하기 위해 특정물체의 면적과 얼마나 차이가 나는지를 구해 오차율을 계산하였다. 렌즈의 초점 거리에 의해 픽셀당 실제 거리가 카메라의 실제 Cell 크기 와 픽셀 수의 곱으로는 나타낼 수 없기 때문에 이를 보정하기 위한 보정값을 구해야 한다. 보정값을 구하기 위해 정형화된 물체를 사용하여 보정값을 구하였다.

여기서 사용된 물체는 4가지 원형 물체이고 그림 48와 같다. 왼쪽부터 차례로 원의 지름이 21.6 [mm] 22.86 [mm] 24 [mm] 26.5 [mm] 이다. 또한 윗면 카메라 역시 옆면 카메라와 같이 같은 물체라 할지라도 놓이는 위치에 따라 다른 픽셀 값을 보여 주기 때문에 그에 대한 오차률도 측정하여 표 3-8 ~ 3-32 와 같이 표시 하였으며 영상처리를 이용하기 위한 물체의 픽셀 값과 보정 값을 곱한 면적이 실제 모델의 면적과 얼마나 오차가 나는지도 표 3-8 ~ 3-32에 표시하였다.

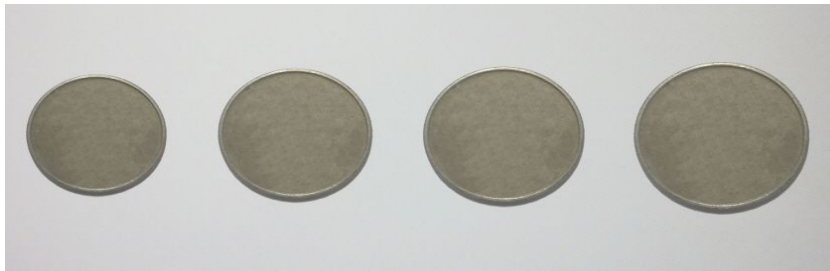


Fig. 48 The top of the camera calibration models

다섯 개의 정형화된 물체 21.6 [mm], 22.86 [mm], 24 [mm], 26.5 [mm] 의 원형 물체를 순차적으로 그림 49 ~ 72같이 각각 다섯 포인트에서 측정하였다. 다섯 포인트는 계란을 측정공간에서 가장 먼 지점이므로 가장 큰 오차가 발생한다. 최대 오차가 나는 지점을 측정하므로 측정에 대한 최대 오차율을 측정 할 수 있다. 표 8 ~ 31 같이 실제 면적과 측정 오차률이 5%이하의 정확성을 가진다는 것을 알 수 있다.



Fig. 49 The center screen of model 1

Table. 8 The center of the measurement results of model 1

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
83.96	83.79	21.67	21.62	0.07	0.02	367.62	1.18	0.32
83.93	83.78	21.66	21.62	0.06	0.02	367.62	1.18	0.32
83.91	83.76	21.65	21.61	0.05	0.01	367.59	1.15	0.31
83.89	83.80	21.65	21.62	0.05	0.02	367.58	1.14	0.31
83.92	83.81	21.65	21.63	0.05	0.03	367.53	1.09	0.30

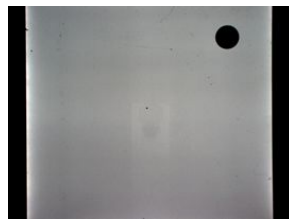


Fig. 50 The right of the top screen of the model 1

Table. 9 The top of the right side of the measurement results of model 1

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
85.10	84.65	21.96	21.84	0.36	0.24	376.80	10.37	2.83
85.10	84.66	21.96	21.85	0.36	0.25	376.84	10.40	2.84
85.06	84.59	21.95	21.83	0.35	0.23	377.71	11.28	3.08
85.08	84.62	21.95	21.84	0.35	0.24	376.78	10.34	2.82
85.12	84.67	21.96	21.84	0.36	0.24	376.82	10.38	2.83



Fig. 51 The top of the left side of model 1

Table. 10 The top of the left side of the measurement results of model 1

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
84.22	84.41	21.73	21.78	0.13	0.18	371.93	5.49	1.50
84.18	84.39	21.72	21.78	0.12	0.18	371.92	5.48	1.50
84.24	84.40	21.74	21.78	0.14	0.18	371.97	5.54	1.51
84.21	84.39	21.73	21.78	0.13	0.18	371.97of	5.53	1.51
84.19	84.36	21.73	21.77	0.13	0.17	371.91	5.48	1.49



Fig. 52 The bottom of the left of model 1

Table. 11 The bottom of the left of the measurement results of model 1

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
84.25	84.29	21.74	21.12	0.14	0.48	371.33	4.90	1.34
84.31	84.24	21.76	21.74	0.16	0.14	371.47	5.03	1.37
84.31	84.27	21.76	21.75	0.16	0.15	371.33	4.90	1.34
84.23	84.32	21.73	21.76	0.13	0.16	371.56	5.12	1.40
84.27	84.24	21.75	21.74	0.15	0.14	371.36	4.92	1.34



Fig. 53 The bottom of the right of model 1

Table. 12 The bottom of the right of the measurement results of model 1

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
85.15	84.50	21.97	21.81	0.37	0.21	375.74	9.31	2.54
85.11	84.60	21.96	21.83	0.36	0.23	375.89	9.46	2.58
85.15	84.54	21.97	21.81	0.37	0.21	375.87	9.44	2.57
85.15	84.57	21.97	21.82	0.37	0.22	375.83	9.39	2.56
85.20	84.60	21.99	21.83	0.39	0.23	375.91	9.47	2.58



Fig. 54 The center screen of model 2

Table. 13 The center of the measurement results of model 2

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
89.26	89.08	23.03	22.99	0.17	0.13	416.47	6.04	1.47
89.23	89.04	23.06	22.98	0.20	0.12	416.46	6.03	1.47
89.28	89.09	23.04	22.99	0.18	0.13	416.47	6.03	1.47
89.27	89.05	23.04	22.98	0.18	0.12	416.49	6.06	1.48
889.29	89.10	23.04	22.99	0.18	0.13	416.49	6.05	1.47



Fig. 55 The right of the top screen of the model 2

Table. 14 The top of the right side of the measurement results of model 2

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
90.48	90.11	23.35	23.25	0.49	0.39	426.24	15.81	3.85
90.43	90.10	23.34	23.25	0.48	0.39	426.09	15.66	3.82
90.45	90.09	23.34	23.22	0.48	0.36	426.03	15.60	3.80
90.47	90.06	23.34	23.24	0.48	0.38	426.11	15.68	3.82
90.45	90.11	23.34	23.25	0.48	0.39	426.04	15.60	3.80



Fig. 56 The top of the left side of model 2

Table. 15 The top of the left side of the measurement results of model 2

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
90.14	90.10	23.26	23.25	0.40	0.39	423.81	13.38	3.26
90.07	90.17	23.24	23.27	0.38	0.41	423.81	13.37	3.26
90.02	90.08	23.23	23.25	0.37	0.39	423.76	13.33	3.25
90.08	90.12	23.24	23.25	0.38	0.39	423.99	13.55	3.30
89.93	90.07	23.21	23.24	0.35	0.38	423.82	13.38	3.26

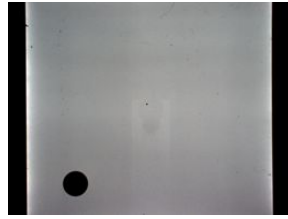


Fig. 57 The bottom of the left of model 2

Table. 16 The bottom of the left of the measurement results of model 2

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
90.36	90.48	23.32	23.35	0.46	0.49	426.08	15.65	3.81
90.35	90.46	23.31	23.34	0.45	0.48	425.81	15.37	3.75
90.40	90.46	23.33	23.34	0.47	0.48	425.96	15.53	3.78
90.34	90.46	23.31	23.34	0.45	0.48	425.91	15.48	3.77
90.39	90.48	23.33	23.35	0.47	0.49	426.22	15.79	3.85



Fig. 58 The bottom of the right of model 2

Table. 17 The bottom right of the measurement results of model 2

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
91.23	90.68	23.56	23.40	0.70	0.54	431.59	21.16	5.16
91.28	90.72	23.55	23.41	0.69	0.55	431.61	21.18	5.16
91.23	90.62	23.54	23.39	0.68	0.53	431.40	20.96	5.11
91.18	90.70	23.53	23.40	0.67	0.54	431.31	20.88	5.09
91.26	90.67	23.55	23.40	0.69	0.54	431.30	20.87	5.09

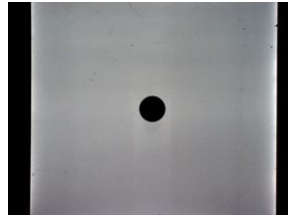


Fig. 59 The center screen of model 3

Table. 18 The center of the measurement results of model 3

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
93.27	93.14	24.07	24.03	0.07	0.03	454.57	2.18	0.48
93.27	93.06	24.07	24.01	0.07	0.01	454.49	2.10	0.46
93.31	93.12	24.08	24.03	0.08	0.03	454.65	2.27	0.50
93.24	93.10	24.06	24.02	0.06	0.02	454.70	2.31	0.51
93.27	93.09	24.07	24.02	0.07	0.02	454.65	2.26	0.50



Fig. 60 The right of the top screen of the model 3

Table. 19 The top of the right side of the measurement results of model 3

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
94.26	93.89	24.32	24.27	0.32	0.27	462.93	10.54	2.33
94.31	93.90	24.34	24.23	0.34	0.23	463.18	10.79	2.38
94.38	93.87	24.35	24.22	0.35	0.22	463.59	11.20	2.48
94.35	93.85	24.35	24.22	0.35	0.22	463.55	11.16	2.47
94.38	93.95	24.35	24.24	0.35	0.24	463.01	10.62	2.35

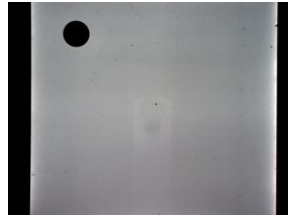


Fig. 61 The top of the left side of model 3

Table. 20 The top of the left side of the measurement results of model 3

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
94.40	94.07	24.36	24.27	0.36	0.27	463.98	11.59	2.56
94.40	94.02	24.36	24.26	0.36	0.26	463.87	11.48	2.54
94.40	93.99	24.36	24.25	0.36	0.25	463.85	11.46	2.53
94.43	94.08	24.37	24.28	0.37	0.28	463.92	11.53	2.55
94.38	94.04	24.36	24.27	0.36	0.27	463.89	11.50	2.54

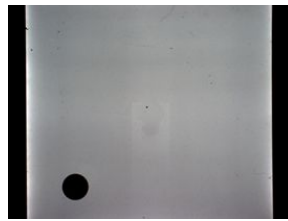


Fig. 62 The bottom of the left of model 3

Table. 21 The bottom of the left of the measurement results of model 3

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
93.81	93.99	24.21	24.25	0.21	0.25	461.41	9.02	1.99
93.83	94.07	24.21	24.27	0.21	0.27	461.52	9.14	2.02
93.85	94.02	24.22	24.26	0.22	0.26	461.61	9.22	2.04
93.82	94.05	24.21	24.27	0.21	0.27	461.57	9.18	2.03
93.86	94.04	24.22	24.27	0.22	0.27	461.57	9.18	2.03

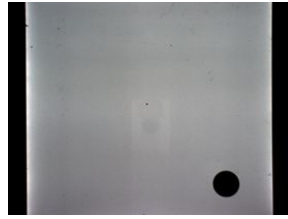


Fig. 63 The bottom of the right of model 3

Table. 22 The bottom of the right of the measurement results of model 3

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
93.89	93.11	24.23	24.19	0.23	0.19	460.55	8.16	1.80
93.97	93.67	24.25	24.17	0.25	0.17	460.65	8.26	1.83
93.86	93.69	24.22	24.18	0.22	0.18	460.67	8.28	1.83
93.94	93.67	24.24	24.17	0.24	0.17	460.78	8.39	1.86
93.91	93.65	24.23	24.17	0.23	0.17	460.70	8.31	1.84

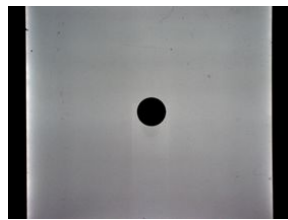


Fig. 64 The center screen of model 4

Table. 23 The center of the measurement results of model 4

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
102.82	102.90	26.53	26.55	0.03	0.05	552.72	1.18	0.21
102.83	102.88	26.53	26.55	0.03	0.05	552.70	1.15	0.21
102.83	102.85	26.53	26.54	0.03	0.04	552.75	1.21	0.22
102.87	102.85	26.55	26.54	0.05	0.04	552.73	1.19	0.22
102.83	102.81	26.53	26.54	0.03	0.04	552.72	1.17	0.21

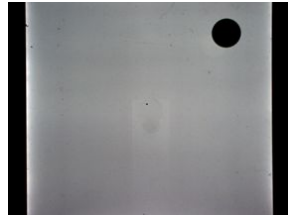


Fig. 65 The right of the top screen of the model 4

Table. 24 The top of the right side of the measurement results of model 4

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
104.36	103.96	26.93	26.83	0.43	0.33	566.20	14.66	2.66
104.34	103.90	26.93	26.81	0.43	0.31	566.21	14.67	2.66
104.31	103.94	26.92	26.82	0.42	0.32	566.24	14.69	2.66
104.38	103.96	26.94	26.82	0.44	0.32	566.38	14.84	2.69
104.40	103.93	26.94	26.82	0.44	0.32	566.50	14.95	2.71

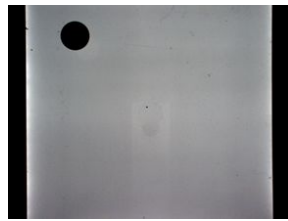


Fig. 66 The top of the left side of model 4

Table. 25 The top of the left side of the measurement results of model 4

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
104.01	103.55	26.99	26.72	0.49	0.22	562.16	10.62	1.92
104.65	103.58	27.00	26.73	0.50	0.23	561.91	10.36	1.88
104.60	103.56	26.99	26.72	0.49	0.22	561.99	10.45	1.89
104.69	103.54	27.02	26.72	0.52	0.22	561.98	10.44	1.89
104.66	103.53	27.01	26.71	0.51	0.21	562.02	10.48	1.90

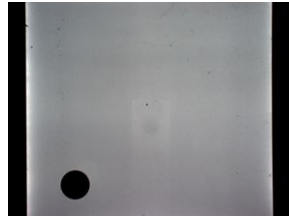


Fig. 67 The bottom of the left of model 4

Table. 26 The bottom of the left of the measurement results of model 4

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
103.67	103.74	26.75	26.77	0.25	0.27	561.55	10.00	1.81
103.79	103.68	26.78	26.75	0.28	0.25	561.41	9.86	1.79
103.72	103.64	26.76	26.74	0.26	0.24	561.39	9.84	1.78
103.72	103.64	26.76	26.74	0.26	0.24	561.39	9.84	1.78
103.71	103.62	26.76	26.74	0.26	0.24	561.46	9.91	1.80

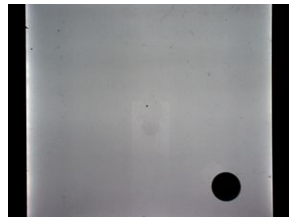


Fig. 68 The bottom of the right of model 4

Table. 27 The bottom of the right of the measurement results of model 4

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
104.31	103.56	26.92	26.72	0.42	0.22	566.25	14.71	2.67
104.35	103.55	26.93	26.72	0.43	0.22	566.47	14.92	2.71
104.25	103.62	26.90	26.74	0.40	0.24	566.29	14.74	2.67
104.36	103.72	26.93	26.76	0.43	0.26	566.54	14.99	2.72
104.37	103.67	26.93	26.75	0.43	0.25	566.91	15.36	2.79

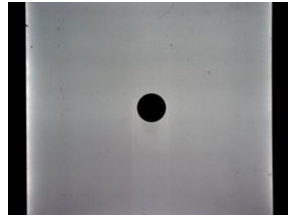


Fig. 69 The center screen of model 5

Table. 28 The center of the measurement results of Model 5

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
102.82	102.90	26.53	26.55	0.03	0.05	552.72	1.18	0.21
102.83	102.88	26.53	26.55	0.03	0.05	552.70	1.15	0.21
102.83	102.85	26.53	26.54	0.03	0.04	552.75	1.21	0.22
102.87	102.85	26.55	26.54	0.05	0.04	552.73	1.19	0.22
102.83	102.81	26.53	26.54	0.03	0.04	552.72	1.17	0.21

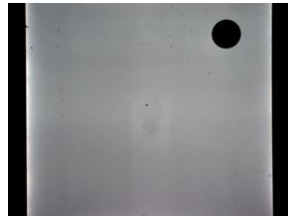


Fig. 70 The right of the top screen of the model 5

Table. 29 The top of the right side of the measurement results of Model 5

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm ²	mm ²	%
104.36	103.96	26.93	26.83	0.43	0.33	566.20	14.66	2.66
104.34	103.90	26.93	26.81	0.43	0.31	566.21	14.67	2.66
104.31	103.94	26.92	26.82	0.42	0.32	566.24	14.69	2.66
104.38	103.96	26.94	26.82	0.44	0.32	566.38	14.84	2.69
104.40	103.93	26.94	26.82	0.44	0.32	566.50	14.95	2.71

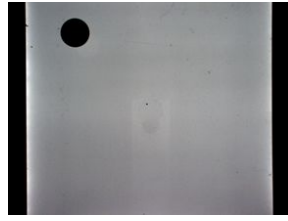


Fig. 71 The top of the left side of model 5

Table. 30 The top of the left side of the measurement results of Model 5

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
104.01	103.55	26.99	26.72	0.49	0.22	562.16	10.62	1.92
104.65	103.58	27.00	26.73	0.50	0.23	561.91	10.36	1.88
104.60	103.56	26.99	26.72	0.49	0.22	561.99	10.45	1.89
104.69	103.54	27.02	26.72	0.52	0.22	561.98	10.44	1.89
104.66	103.53	27.01	26.71	0.51	0.21	562.02	10.48	1.90

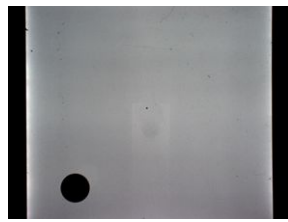


Fig. 72 The bottom of the left of model 5

Table. 31 The bottom of the left of the measurement results of model 5

픽셀		길이(mm)		길이오차(mm)		측정 면적	면적 오차	면적 오차
가로	세로	가로	세로	가로	세로	mm2	mm2	%
103.67	103.74	26.75	26.77	0.25	0.27	561.55	10.00	1.81
103.79	103.68	26.78	26.75	0.28	0.25	561.41	9.86	1.79
103.72	103.64	26.76	26.74	0.26	0.24	561.39	9.84	1.78
103.72	103.64	26.76	26.74	0.26	0.24	561.39	9.84	1.78
103.71	103.62	26.76	26.74	0.26	0.24	561.46	9.91	1.80

3. 로드셀 정확도

로드셀의 정확도를 높이기 위해 측면 측정과 같은 방법을 사용하였다. 윗면 카메라를 이용하여 물체가 놓이는 좌표를 얻은 다음 위치에 따른 오차 질량 값을 통해 보상을 해주었다. 보상 공식은 식 8과 같으며 보정된 중량 값의 측정 결과는 표 32 와 같다. 또한 실제 계란을 이용하여 중량을 측정한 결과는 표 33와 같다.

$$E \times \left(1 - \left(\left(\frac{A-B}{-C} \right) \times D \right) \right) \quad (8)$$

A : x, y축 좌표(-7 ~ +7)에 해당하는 중량차 값

B : x, y축 좌표가 중심에 있을 때 중량값

C : A pixel값에 해당하는 x, y좌표

D : 윗면 카메라를 통해 얻어진 x, y축 좌표

E : 보정 전 중량 값

Table. 32 Weight according to the direction of the calibration results

Y축 방향	보정 전 중량(g)	Y축 보정 전 중량 차이(g)	보정 후 중량(g)	Y축 보정 후 중량 차이(g)	X축 방향	중량(g)	X축 보정 전 중량 차이(g)	보정 후 중량(g)	X축 보정 후 중량 차이(g)
7.0	207.64	5.58	212.97	0.16	7.0	212.84	0.38	213.31	-0.18
6.5	207.96	5.26	213.38	-0.25	6.5	213.48	0.26	213.21	-0.08
6.0	208.82	4.40	213.99	-0.86	6.0	213.26	0.04	213.23	-0.10
5.5	208.94	4.28	213.38	-0.25	5.5	213.49	0.27	213.30	-0.17
5.0	209.67	3.55	213.36	-0.23	5.0	213.41	0.19	213.26	-0.13
4.5	209.40	3.82	213.99	-0.86	4.5	213.34	0.12	213.17	-0.04
4.0	209.94	3.28	213.85	-0.72	4.0	213.72	0.50	213.08	0.05
3.5	210.39	2.83	213.40	-0.27	3.5	213.66	0.44	213.04	0.09
3.0	210.59	2.63	213.92	-0.79	3.0	213.80	0.58	213.00	0.13
2.5	210.59	2.63	213.92	-0.79	2.5	213.94	0.72	212.73	0.40
2.0	211.67	1.55	212.79	0.34	2.0	214.02	0.80	212.94	0.19
1.5	212.16	1.06	213.50	-0.37	1.5	214.05	0.83	213.32	-0.19
1.0	212.68	0.54	213.03	0.10	1.0	213.87	0.65	213.17	-0.04
0.5	213.52	0.30	213.01	0.12	0.5	213.90	0.68	213.11	0.02
0.0	213.97	0.75	213.21	-0.08	0.0	214.15	0.93	213.30	-0.17
-0.5	213.72	0.50	213.15	-0.02	-0.5	213.84	0.62	213.44	-0.31
-1.0	214.50	1.28	213.41	-0.28	-1.0	214.15	0.93	213.57	-0.44
-1.5	214.78	1.56	213.80	-0.67	-1.5	214.11	0.89	213.61	-0.48
-2.0	215.07	1.85	213.28	-0.15	-2.0	214.16	0.94	213.58	-0.45
-2.5	215.73	2.51	213.70	-0.57	-2.5	214.39	1.17	213.23	-0.10
-3.0	215.62	2.40	213.64	-0.51	-3.0	214.48	1.26	213.40	-0.27
-3.5	216.32	3.10	213.78	-0.65	-3.5	214.28	1.06	213.21	-0.08
-4.0	216.84	3.62	214.01	-0.88	-4.0	214.10	0.88	213.09	0.04
-4.5	217.59	4.37	214.01	-0.88	-4.5	214.36	1.14	213.85	-0.72
-5.0	217.77	4.55	214.01	-0.88	-5.0	214.19	0.97	213.12	0.01
-5.5	218.28	5.06	213.70	-0.57	-5.5	213.64	0.42	213.57	-0.44
-6.0	217.67	4.45	213.73	-0.60	-6.0	214.21	0.99	213.28	-0.15
-6.5	219.10	5.88	213.17	-0.04	-6.5	214.25	1.03	213.68	-0.55
-7.0	219.47	6.25	213.68	-0.55	-7.0	214.13	0.91	213.48	-0.35

Table. 33 Weighing scales and measuring results

	왕란(70g이상)			특란(70~60g)			대란(60~54g)		
	저울	계측기	무게차이(g)	저울	계측기	무게차이(g)	저울	계측기	무게차이(g)
1	70.64	71.25	0.61	62.38	62.85	0.47	53.60	53.83	0.23
2	67.79	68.65	0.86	62.91	63.74	0.83	57.16	57.27	0.11
3	67.23	67.62	0.39	65.22	66.02	0.80	56.48	56.87	0.39
4	67.97	68.15	0.18	60.93	61.76	0.83	55.27	55.64	0.37
5	68.08	67.85	0.23	60.62	61.21	0.59	57.03	57.08	0.05
6	71.82	71.87	0.05	59.34	60.30	0.96	56.48	56.91	0.43
7	68.64	68.31	0.33	65.41	66.50	1.09	56.14	56.76	0.62
8	70.89	70.85	0.04	62.76	63.75	0.99	57.66	58.15	0.49
9	68.60	68.65	0.05	62.93	63.98	1.05	56.64	56.83	0.19
10	74.53	75.17	0.64	61.97	62.74	0.77	56.11	56.56	0.45
11	70.34	71.53	1.19	61.10	61.92	0.82	55.38	55.93	0.55
12	68.85	69.47	0.62	62.45	62.71	0.26	57.69	58.37	0.68
13	68.37	68.71	0.34	60.89	61.67	0.78	56.97	57.44	0.47
14	68.37	68.44	0.07	65.68	66.66	0.98	57.56	57.70	0.14
15	68.28	68.71	0.43	60.11	60.69	0.58	56.69	57.30	0.61
왕란 평균무게(g)			69.36	왕란 무게오차(g)			0.40		
특란 평균무게(g)			62.31	특란 무게오차(g)			0.79		
대란 평균무게(g)			56.46	대란 무게오차(g)			0.39		
왕란과 특란 무게차이(g)			7.05	특란과 대란 무게차이(g)			5.86		

4. 시간에 따른 난황과 난백의 면적, 높이 변화

계란은 시간이 지남에 따라 수양화 현상이 진행된다. 수양화 현상으로 인해 난황과 난백에 높이와 면적이 변하게 된다. 난황과 난백의 면적은 호우유닛에 영향을 미치지 않지만 높이는 호우유닛의 값을 결정하는 인자로 사용되므로 난백과 난황이 얼마 후에 안정화 단계가 되는지는 정확한 신성도 측정에서 중요한 요인이 된다. 그림 73 ~ 76은 다른 4개의 회사에서 같은 그룹의 계란을 샘플로 30초 동안 0.5s 간격으로 60번 측정된 것이다.

각각 난백의 높이, 난황의 높이, 난백의 면적, 난황의 면적을 나타낸다. 그림에서 나타난 것과 같이 처음 시작점에서 난황과 난백의 높이가 높다. 다른 객체보다 높다 하더라도 시간에 지남에 따라 안정화 단계에 들어오면 높이가 낮아지는 경우도 생긴다. 이러한 현상으로 인해 현재 신성도 판정에서 오류가 발생된다.

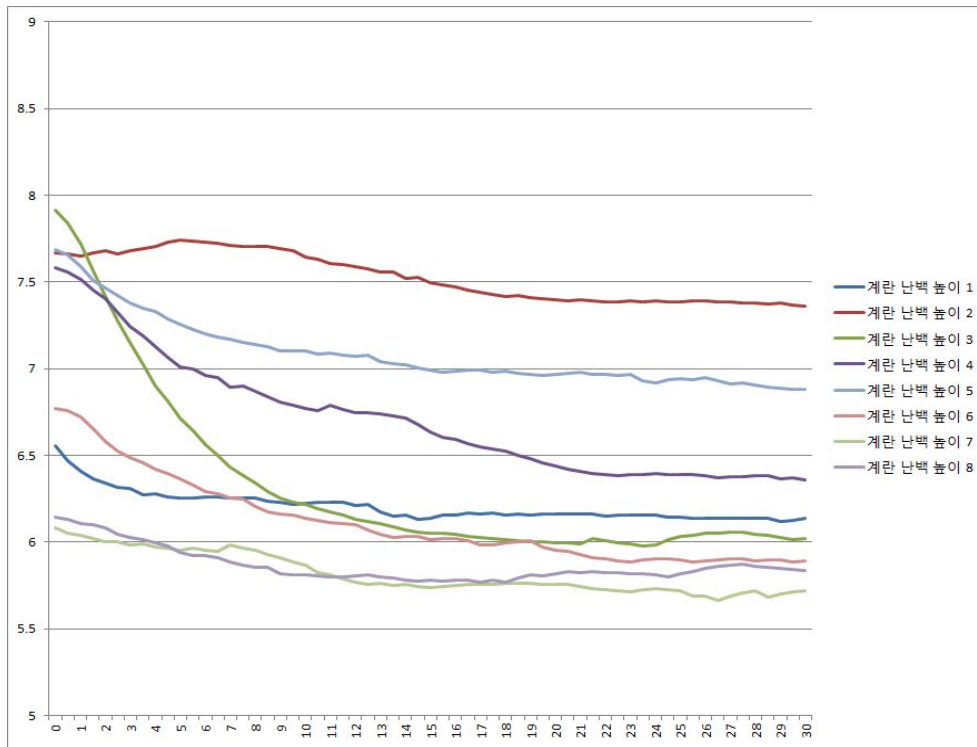


Fig. 73 Changing the height of the Egg White

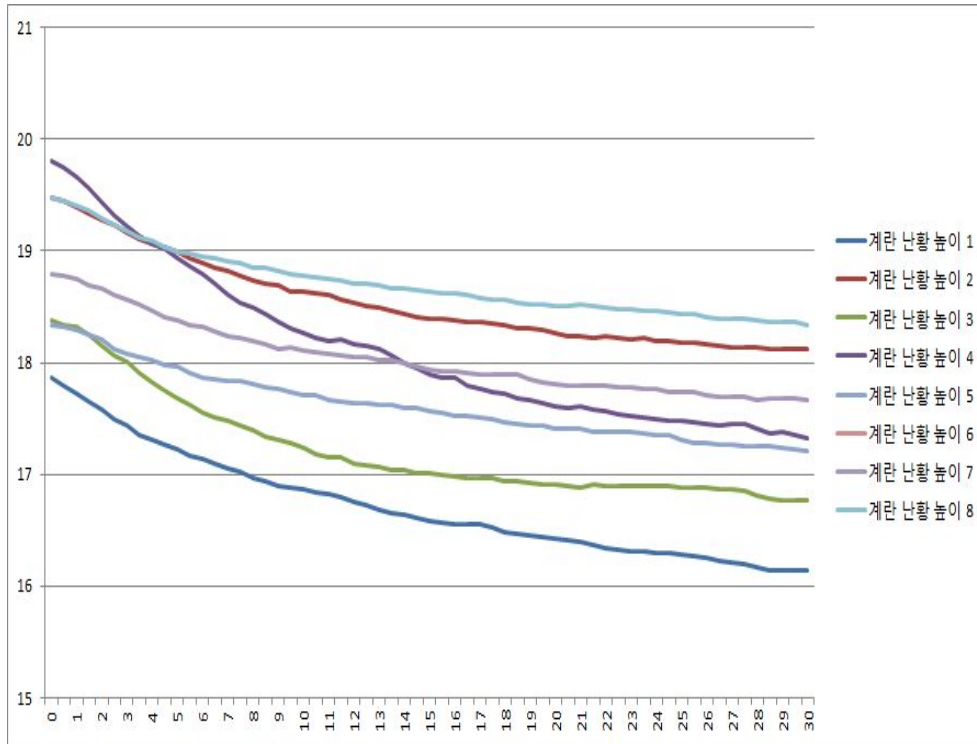


Fig. 74 Changing the height of the egg yolk

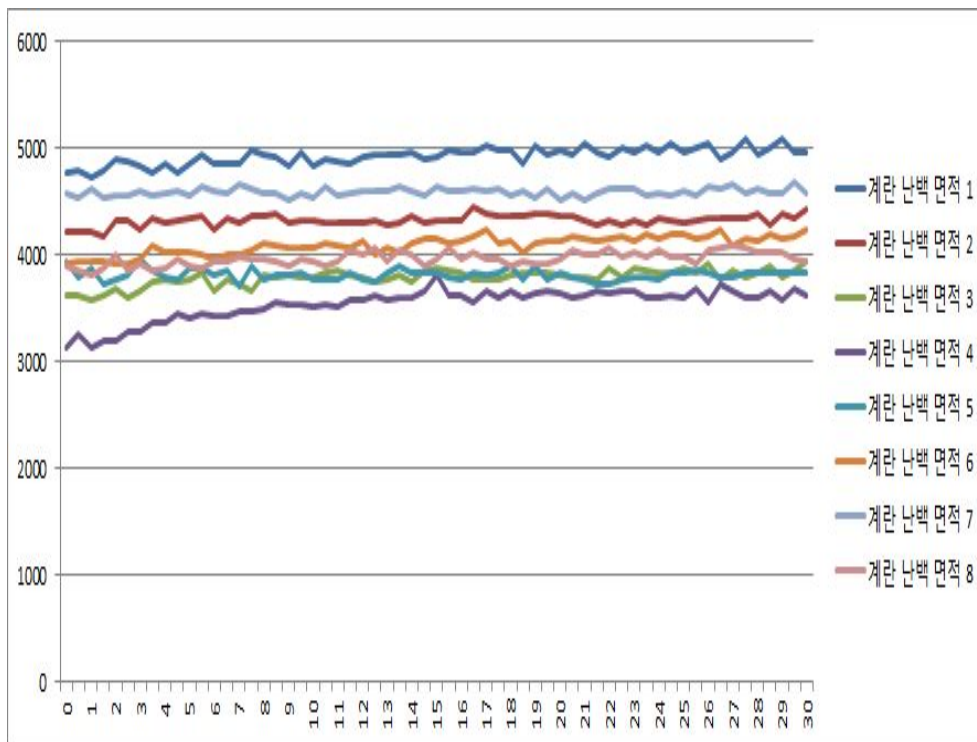


Fig. 75 Changes in the area of the Egg White

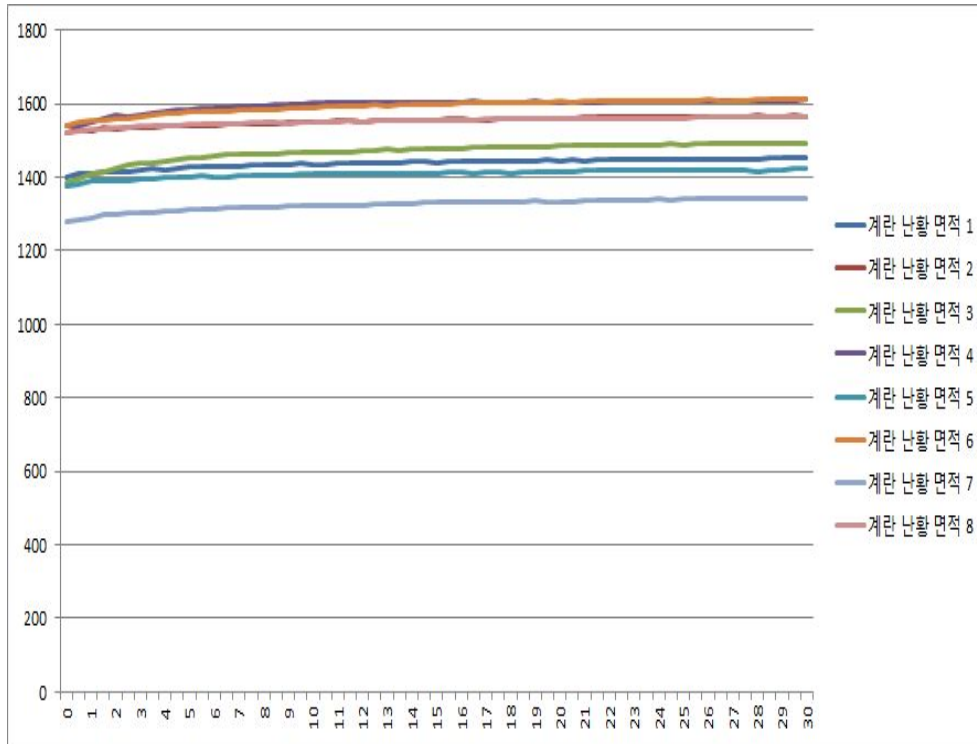


Fig. 76 Changes in the area of the egg yolk

제 6 절 35℃ 저장 기간에 따른 품질인자와 신선도 상관관계 규명 및 최적인자 선정

1. 연구 목적

상온보다 높은 온도인 35℃에서 계란을 저장함으로써 계란의 품질인자인 무게감소율, 난황과 난백의 pH, 점도와 신선도 상관관계에 대한 규명을 단기간동안 확인함으로써 최적인자를 선정하여 추후 저장실험의 방향성을 제시한다.

2. 연구 방법

가. 시료 준비

본 연구에서 사용된 계란 시료는 대형 매장에서 구매하여 랜덤화 시료채취를 하였으며, 35°C로 설정된 인큐베이터에서 27일간 저장하는 동안 저장일 0, 3, 6, 9, 14, 17, 20, 23, 27일에 시료를 채취하여 품질인자를 측정하였다.

계란에 대한 품질인자로서는 저장 기간에 따른 무게 감소율, 난황과 난백의 pH 변화, 난황과 난백의 점도의 변화를 측정하였다.

나. 무게 측정

분해 능력이 0.1mg인 정밀전자저울(HM-200, AND, Tokyo, Japan)을 이용해 측정하였다.

다. pH의 측정

측정 범위(0-14)이며 분해 능력(0.005pH)인 pH 센서인 Vernier pH Sensor(PH-BTA, Vernier, Beaverton, Inc.USA)를 사용하여 난황, 난백의 pH를 측정하였다. Standard pH buffers인 citric acid-sodium phosphate buffer (pH 4.0-6.0), Tris-HCl buffer (pH 7.0-9.0)을 사용하여 각각 pH 4와 7의 값을 하였다.

라. 점도(viscosity)의 측정

저장 기간에 따른 수양 난백의 점도 측정은 LV DV-II Pro(Brookfield engineering laboratory, Middleboro, Inc.USA)를 이용하여 SC4 sample chamber에 시료 6.7ml를 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다.

난황의 점도 측정은 RV DV-II Pro Cone and Plate(Brookfield engineering laboratory, Middleboro, Inc.USA)를 이용하여 standard cup인 CPE-44Y에 시료 0.5ml를 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다.

CPE-51 스펀들을 사용하였으며 CPE-51의 Coefficient는 4800이며 이 Rheometer의 허용 RPM 범위인 0-200rpm에서 측정하였다.

점성 계수 측정 장치는 측정하는 동안 온도를 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 항온 시스템과 데이터를 보다 정확하게 얻기 위하여 Rheocal V3.2 Build 47-1 software(Brookfield engineering laboratory, Inc.USA)를 설치한 컴퓨터에 점도계를 연결하여 점도를 측정하였다.

Shear rate 구간은 저장 기간에 따라 최대 측정 구간이 증가하므로 torque값을 기준으로 하여 80%인 shear rate를 최대 수치 기준으로 소프트웨어를 사용하여 20개의 구간으로 나누

어서 3초 간격으로 측정하였다. 이렇게 구한 난백 구간 65-255, 난황 구간 0-300 shear rate에 따른 shear stress를 여러 점도 모델(Newtonian)에 적용하여 피팅하였다.

마. 통계 분석

본 연구에서 제시된 계란의 품질 변수인 무게는 5개의 계란의 분석 결과 평균을 나타낸 것으로 계란의 저장 기일에 따른 품질 비교는 Excel(Microsoft office Excel 2010, Microsoft Corp., Redmond, Inc.USA)을 이용하여 검정하였다.

3. 연구 결과

가. 35℃에서의 저장 기간에 따른 무게 감소율

저장기간 27일 동안 35℃에서 저장한 계란의 무게변화는 그림 77에 나타내었다. 저장 기간이 지남에 따라 선형적으로 감소하는 것을 나타내었다. 또한 이러한 무게 감소의 원인은 저장 과정 중에 계란 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분과 CO₂ 유출에 의하여 무게가 감소하였다.

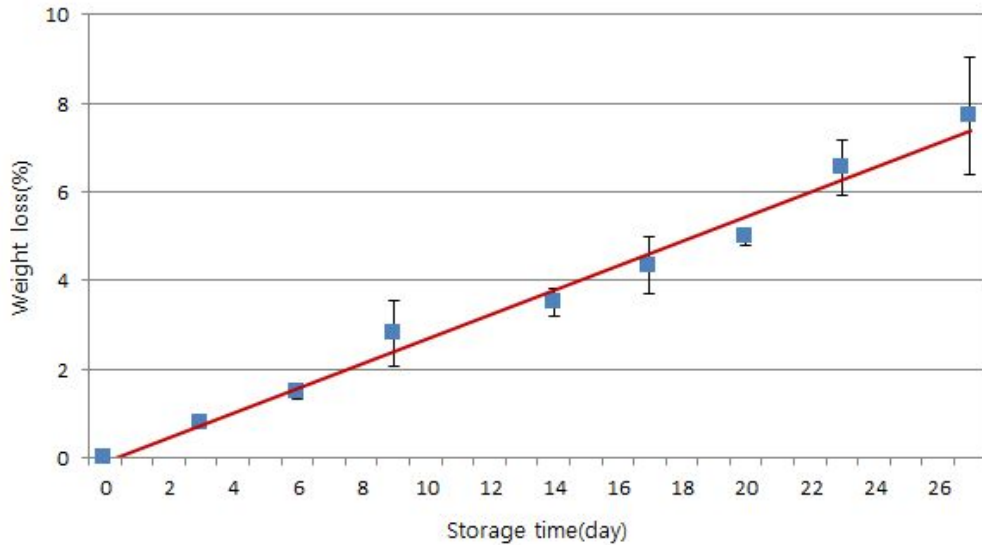


Fig. 77 Weight loss according to the store period for eggs stored at 5℃

나. 문헌 비교

그림 78은 Pietro Rocculi et al.(2009) 논문에 대한 실험 결과 그래프이다. 본 논문에서의 컨트롤인 시료의 조건이 본 실험에서의 조건과 저장 온도를 제외한 모든 부분이 동일하나 실험결과상에서 저장 온도가 더욱 높은 본 실험에서 무게 감소율이 더욱 높은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 저장 온도에 의하여 계란의 저장 기간 중 무게 감소에 영향을 미치는 호흡에 의한 수분과 CO₂ 유출이 더욱 높은 저장 온도에 의하여 더욱 활발히 일어난 결과임을 확인할 수 있다.

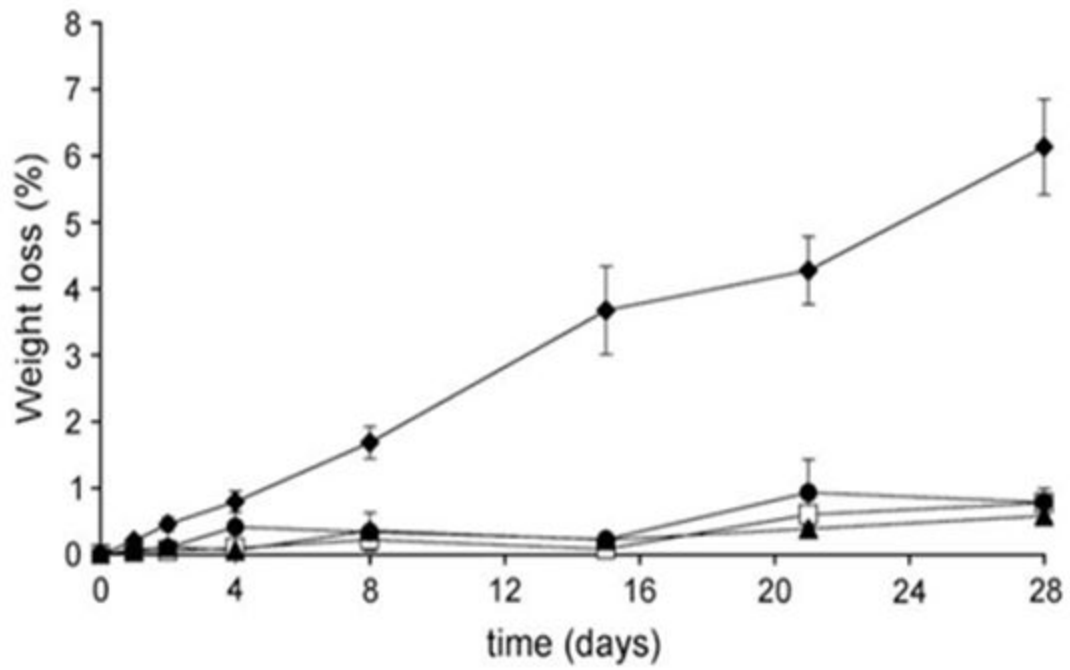


Fig. 78 Weight loss values(5) of shell egg samples during 28 days of storage at 25°C. Control(◆):not packed; Air(□):packed in air; N2(●):packed in 100% N2; CO2(▲):packed in 100% CO2

[Rocculi et al.(2009)]

다. 35°C에서의 저장 기간에 따른 난백 pH 변화

저장기간에 따른 난백의 pH의 변화는 그림 79에 나타내었다. 저장 초기에서부터 6일까지 급격하게 증가하였으나, 이후 점차적으로 pH가 증가하였으며, 20일차에서 pH 보정 용액을 새 것으로 교체하는 과정에서 pH가 급격히 낮아져 추후 23일차에서는 pH센서의 파손으로 인하여 대체 pH 측정 기기로 교체하여 기존에 사용하던 pH 보정용액으로 실험을 이어서 실시한 결과 pH의 급격한 증가를 확인하였다. 이러한 pH의 증가는 난백에 녹아있던 CO₂가 난각을 통해서 방출됨에 따라서 나타나는 현상이다. 20일차 이후의 실험 데이터 값은 실험 조건상의 변동 사항이 많아 패턴 분석에 용이하지 않으므로 추후 저장실험을 통하여 확인할 예정이다.

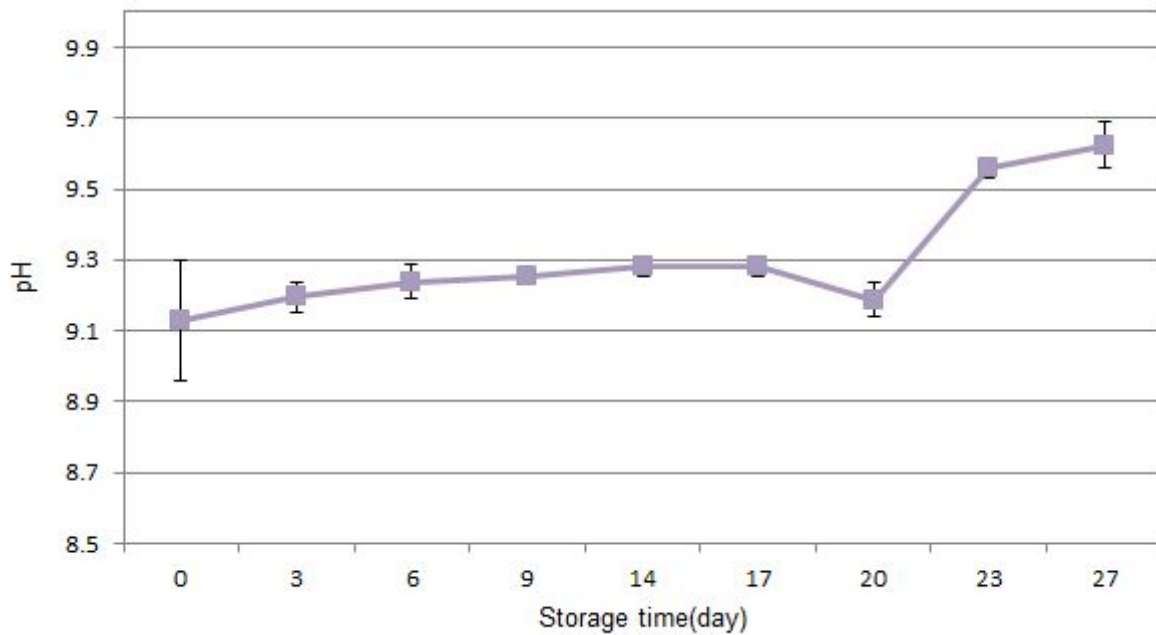


Fig. 79 Egg albumen pH according to the store period for eggs stored at 35°C

라. 문헌비교

그림 80은 Pietro Rocculi et al.(2009) 논문에 대한 실험 결과 그래프이다. 본 논문에서의 컨트롤인 시료의 조건이 본 실험에서의 조건과 저장 온도를 제외한 모든 부분이 동일하나 실험결과상에서 저장 기간이 증가함에 따라 내부의 pH가 동일하게 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 이러한 pH 증가는 계란 내부의 용해된 CO₂의 감소로 인한 pH 감소이다. 또한 이번 실험에서 20일차 이후 실험 조건상의 변동으로 인하여 pH값이 낮아진 후 급격하게 올라갔는데 이는 측정 기기의 변경으로 인하여 신뢰도가 떨어지는 값으로 사료된다.

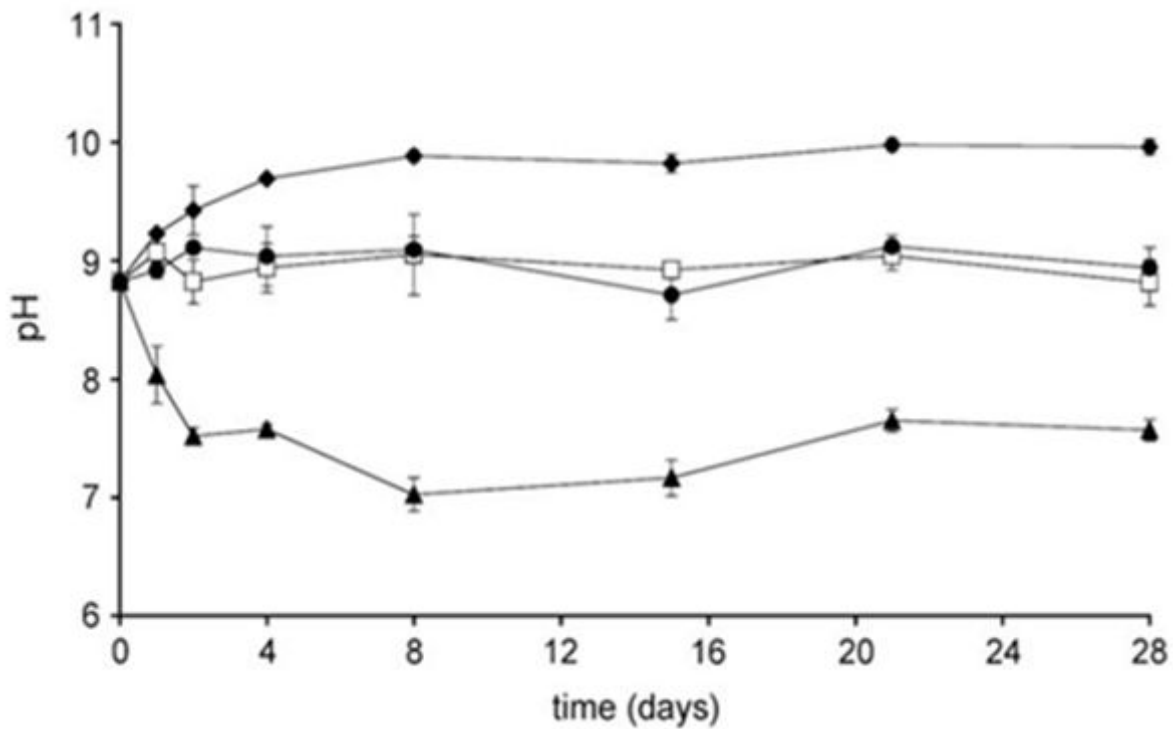


Fig. 80 pH values of shell egg samples during 28 days of storage at 25 °C (Control(◆):not packed; Air(□):packed in air; N2(●):packed in 100% N2; CO2(▲):packed in 100% CO2 [Rocculi et al.(2009)]

마. 35°C에서의 저장 기간에 따른 난황 pH 변화

저장 기간에 따른 난황의 pH의 변화는 그림 81에 나타내었다. 난황의 경우 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 패턴을 나타내었다. 이는 난백 내 또는 난백과 난황 사이에서도 부위별 수분함량이 각각 다르기 때문에 삼투압의 작용으로 고농도에서 저농도로 수분이 이동하게 된다. 저장 중에 난백의 수분이 난황으로 이동하고, 반대로 난황성분이 난백으로 이동한다. 이러한 과정에서 저장 기간에 따른 pH가 증가된 난백이 난황으로 유입됨으로 인해서 난황의 pH도 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 pH가 증가하게 된다.

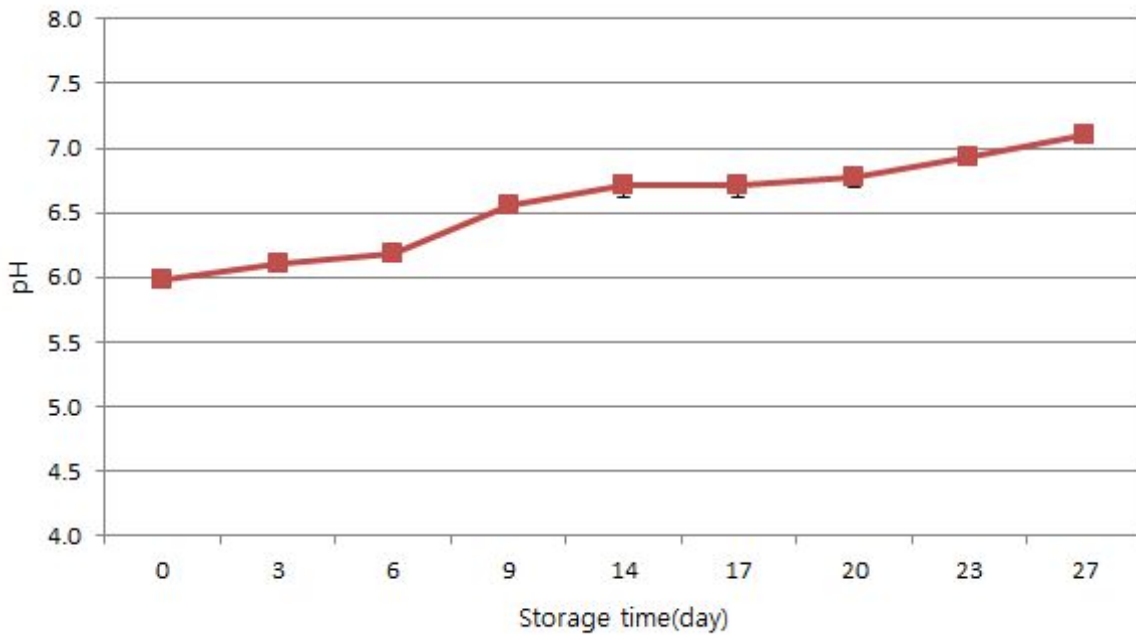


Fig. 81 Egg yolk pH according to the store period for eggs stored at 35°C

바. 문헌 비교

그림 82는 Libor Severa et al.(2010)의 논문에서의 저장 기간에 따른 난황의 pH 변화를 조사하였다.

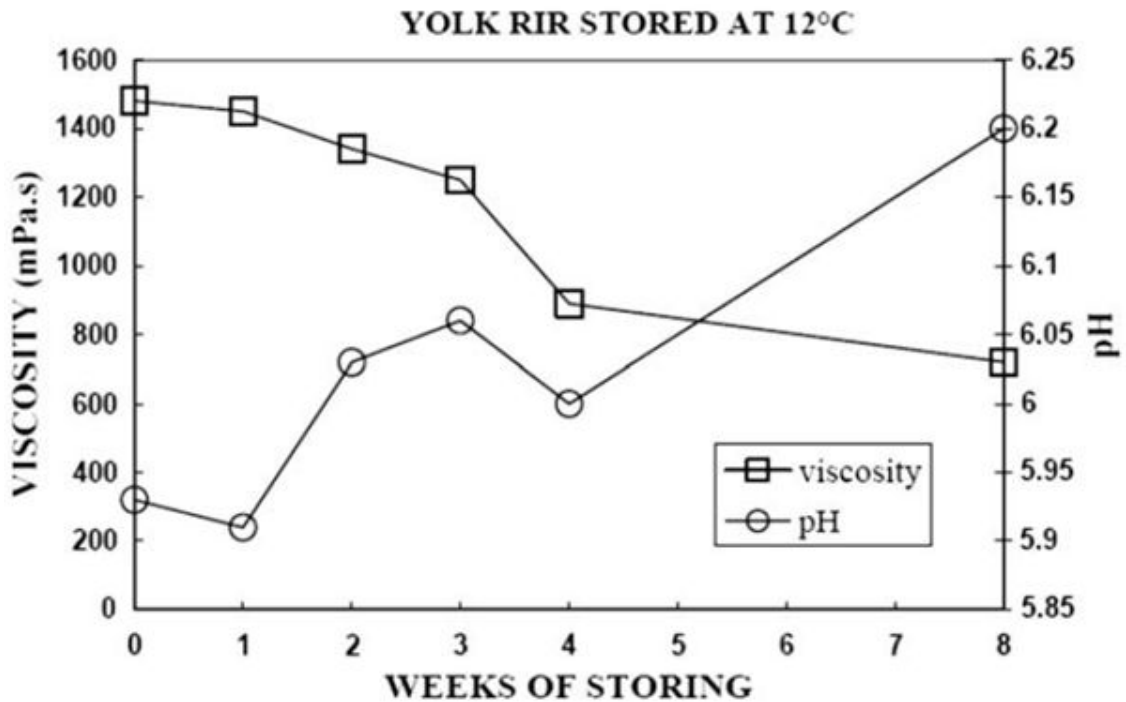


Fig. 82 Viscosity and pH values varying with storing time.

[Severa et al.(2010)]

저장 기간에 따른 난황의 pH의 변화는 난백과 난황 사이에서도 부위별 수분 및 성분 함량이 각각 다르기 때문에 삼투압의 작용으로 고농도에서 저농도로 수분이 이동하게 된다. 저장 중에 난백의 수분이 난황으로 이동하고, 반대로 난황성분이 난백으로 이동한다.

이러한 과정에서 저장 기간에 따른 pH가 증가된 난백이 난황으로 유입됨으로 인해서 난황의 pH도 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 pH가 증가하게 되는데 본 참고문헌에서는 저장 온도가 12°C이나 본 실험에서는 저장 온도가 35°C이므로 삼투압에 의한 확산 현상이 저장 온도에 영향을 받아 35°C에서의 저장이 더욱 높은 온도이므로 온도에 의한 확산 속도로 인해서 난황의 pH가 더욱 빠른 속도로 증가한 것으로 보인다.

사. 35℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 난백의 점도

그림 83은 35℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 수양 난백의 점도로 저장 기간에 따른 수양난백의 점도 변화는 초기 점도 수치가 매우 낮으며 저장 기간에 따른 점도 수치의 변화가 미미하여 계란의 품질인자로서 측정하기 힘들다.

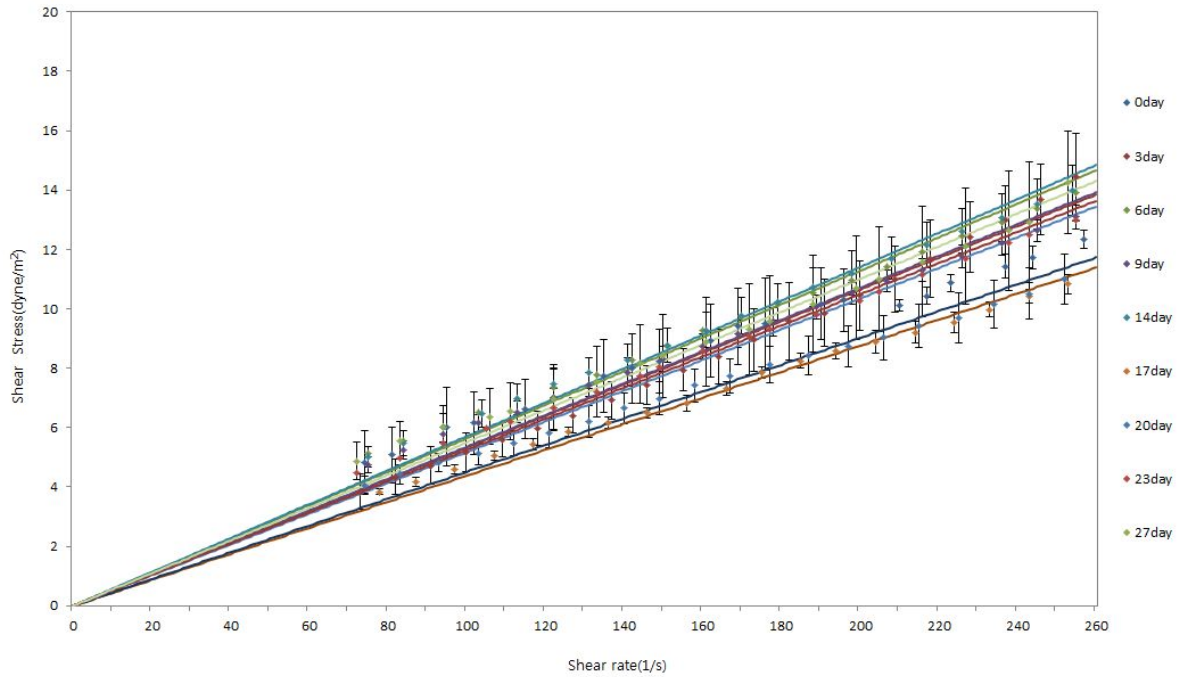


Fig. 83 Viscosity of thin albumin according to the store period for eggs stored at 35℃

그림 84는 농후 난백과 수양 난백을 모두 함께 점도를 측정시에는 농후난백으로 인하여 점도가 일정하지 않게 측정되었다. 이러한 이유로 인해 M. Rossi et al.(1996) 논문에서는 농후 난백을 전처리 함으로서 저장 기간에 따른 점도의 변화를 확인하려 하였으나, 이러한 방법도 실험한 결과 실험 시료간에 편차가 극심하여 저장 기간에 따른 품질인자로 사용하기 힘들었다.

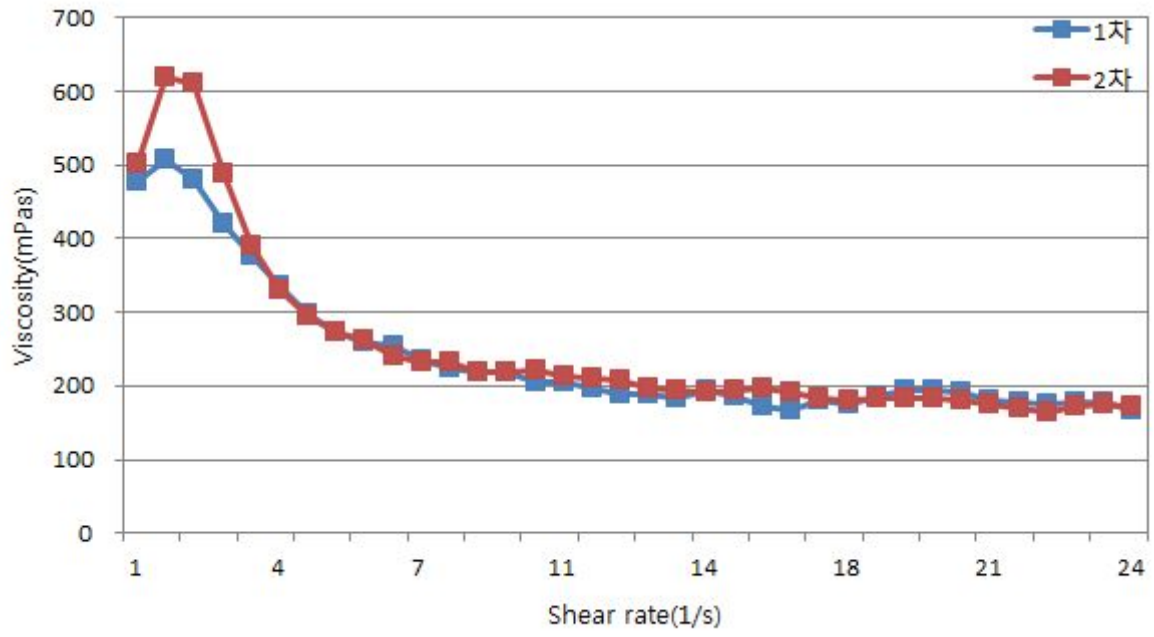


Fig. 84 Total Egg Albumen of thin albumin according to the store period for eggs stored at 35°C

아. 문헌비교

B. J. Kemps et al.(2010)에서는 저장 기간에 따른 농후난백과 수양난백의 점도를 전처리를 통해 조사하였다. 위 그림 85, 86은 저장 기간에 따른 난백에 대한 점도 측정 데이터로서 첫 번째 그림과 두 번째 그림의 차이는 전처리로서 균질화에 따른 패턴의 균일성을 확인한 실험이었다. 본 논문을 참고하여 저장기간에 따른 균질화된 난백에 대한 점도를 확인하였으나, 참고문헌에서와 같이 시료마다 편차가 극심하여 저장 기간에 대한 품질인자로서 사용하기 적절하지 않았다.

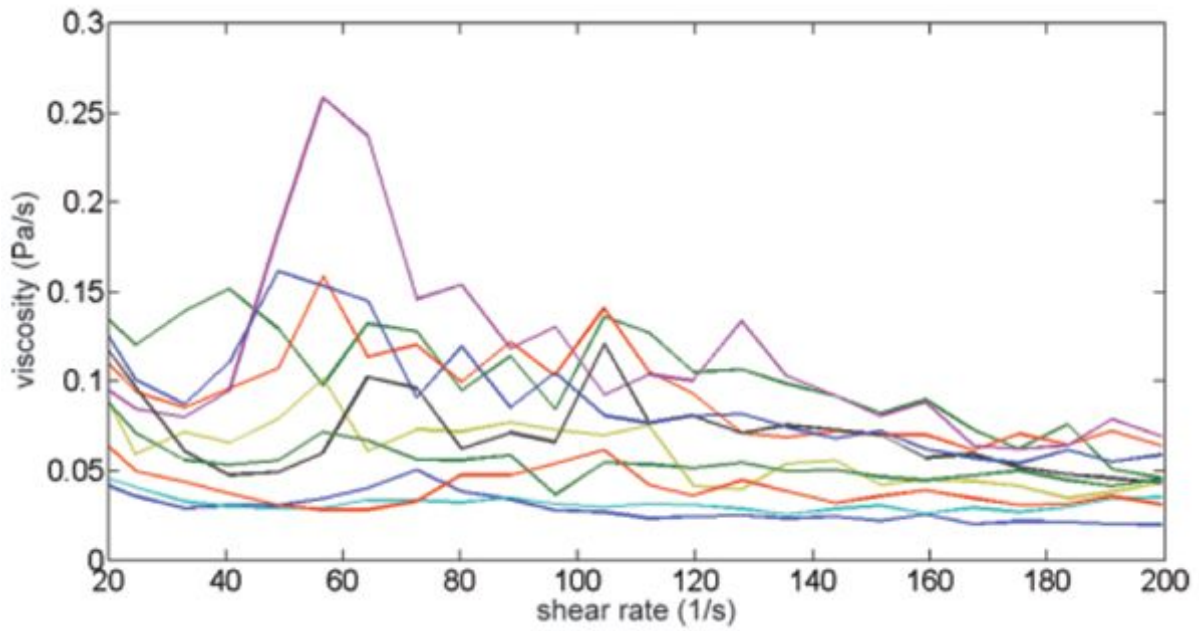


Fig. 85 Evolution in the viscosity of fresh albumen with increasing shear rate.

[Kemps et al.(2010)]

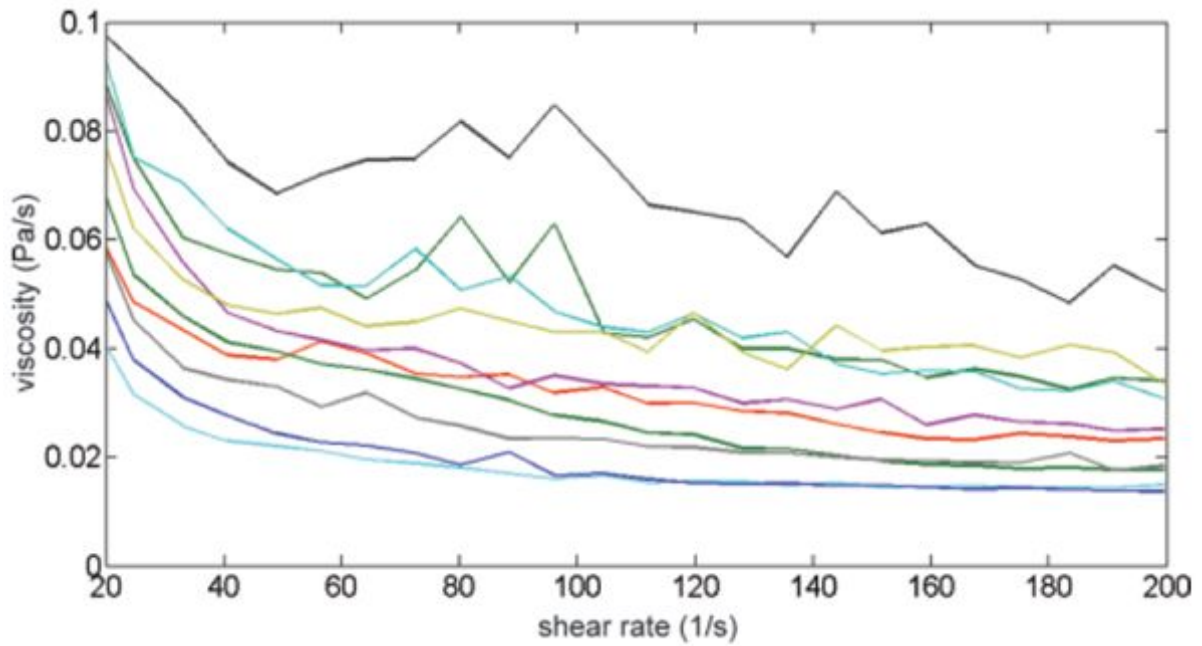


Fig. 86 Evolution in the viscosity of mixed albumen with increasing shear rate.

[Kemps et al.(2010)]

35°C에서 저장 기간에 따른 난황의 점도의 변화는 그림 82에 나타내었다. 난황의 점도의 변화는 난백 내 또는 난백과 난황 사이에서도 부위별 수분함량이 각각 다르기 때문에 삼투압의 작용으로 고농도에서 저농도로 수분이 이동하면서 저점도의 난백이 난황으로 유입됨으로서 난황의 점도 또한 감소하게 된다. 이러한 점도의 감소는 저장 기간 동안 지속적으로 일어나며, 이로 인하여 저장 기간 동안 난황의 점도는 지속적으로 감소하게 된다.

자. 35°C에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 난황의 점도

저장 기간에 따른 난황에 점도는 그림 87에 나타내었다. 난황의 점도는 저장 기간에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 난황과 난백의 삼투압에 의한 각각의 성분 농도차로 인해 확산으로 난백의 지속적인 유입으로 인한 현상이다. 난황에 비해 상대적으로 점도가 낮은 난백이 지속적으로 유입됨에 따라서 저장 기간이 증가함에 따라 지속적인 난백의 유입으로 인하여 난황의 점도가 감소한다.

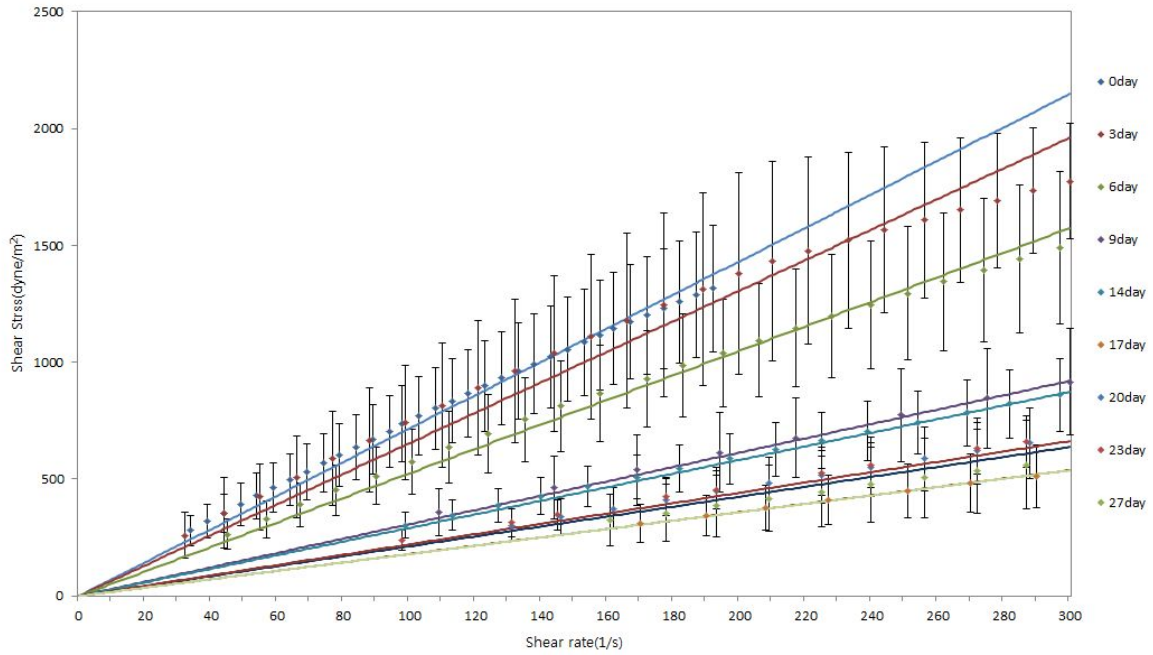


Fig. 87 Viscosity of egg yolk according to the store period for eggs stored at 35°C

카. 문헌비교

그림 88은 Libor Severa et al.(2010)에서의 저장 기간에 따른 난황의 점도 변화를 조사하였다. 4°C 저장온도에서 저장 기간에 따른 난황의 주차별점도는 저장 기간이 증가함에 따라 난백의 유입으로 인하여 난황의 점도가 지속적으로 감소하는 패턴을 나타내었으며 이는 본 실험에서도 동일한 패턴을 확인하였다.

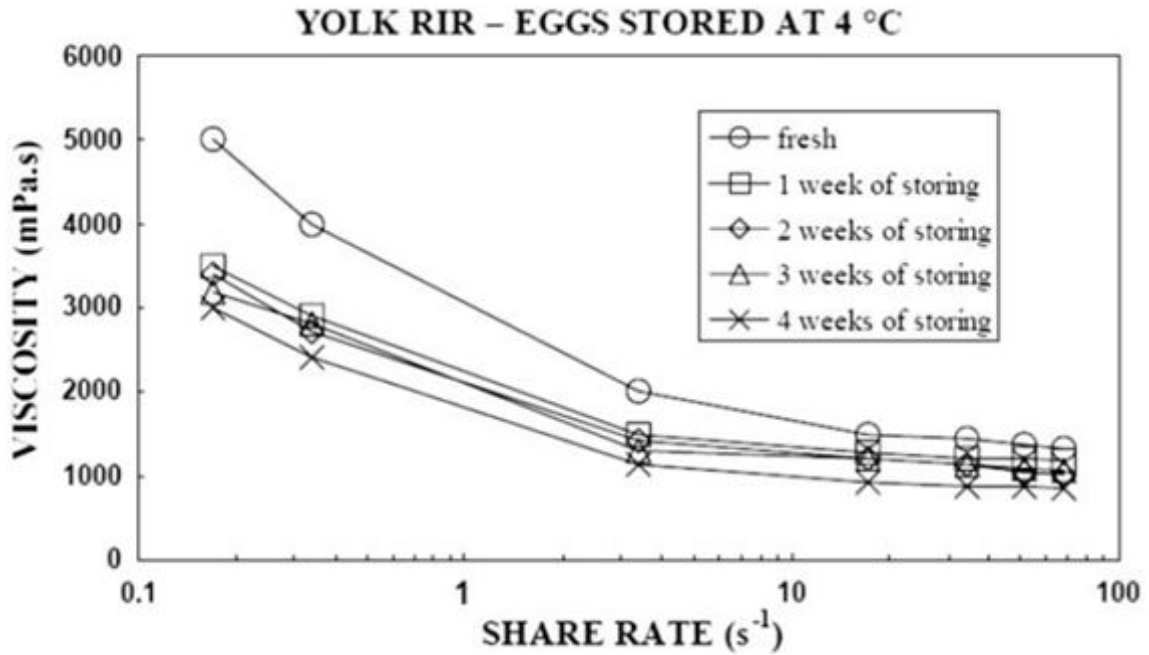


Fig. 88 Effect of storage time on the viscosity of a yolk as function of shear rate. [Severa et al.(2010)]

제 7 절 사유에 따른 계란 품질 및 측정 기기 평가

1. 연구 목적

본 저장 실험에 앞서 영상분석을 통한 신선도 평가를 수행하는 기기에 대한 각도별 오차에 대한 고찰하고 사유에 따른 계란 품질인자의 변화를 확인

2. 연구 방법

가. 시료 준비

본 연구에서 사용된 계란 시료는 대형 매장과 양계장에서 각각 150개의 시료를 구입하였다.

나. 퍼짐도 측정

기기 내부품질 판정 시스템중 퍼짐도측정을 통하여 할란시 계측되는 다양한 각도별로 0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-90도에서 각 각도 범위에 해당하는 측정치를 20개씩 획득하여 각도에 대한 오차를 확인하였다.

※퍼짐도 측정 방법: 계란을 할란이후 계측 화면 내에서 계란을 제외한 기타 물체(ex. 손)이 촬영되지 않는 시점을 기준으로하여 30초간 계측을 0.5초 단위로 난백의 높이를 측정하며 총 60개의 데이터를 획득한다.

3. 연구 결과

그림 89는 양계장, 그림 90은 대형할인 마트에서 공수한 120개의 계란에 대하여 할란시 계측되는 각도별로 0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-90도에 대하여 분류를 실시하였으며, 각 분류군별로 퍼짐도 측정에 대한 유의차를 확인하였다. 평균적인 퍼짐도에 대한 난백높이는 할인 마트에 비하여 양계장에서 공수한 난백의 높이가 더욱 높았다. 하지만 각각의 시료에 대한 각도별 측정시 발생하는 오차에 대한 데이터는 각 시료에 대한 편차가 극심하여 분석하기 난해하였다.

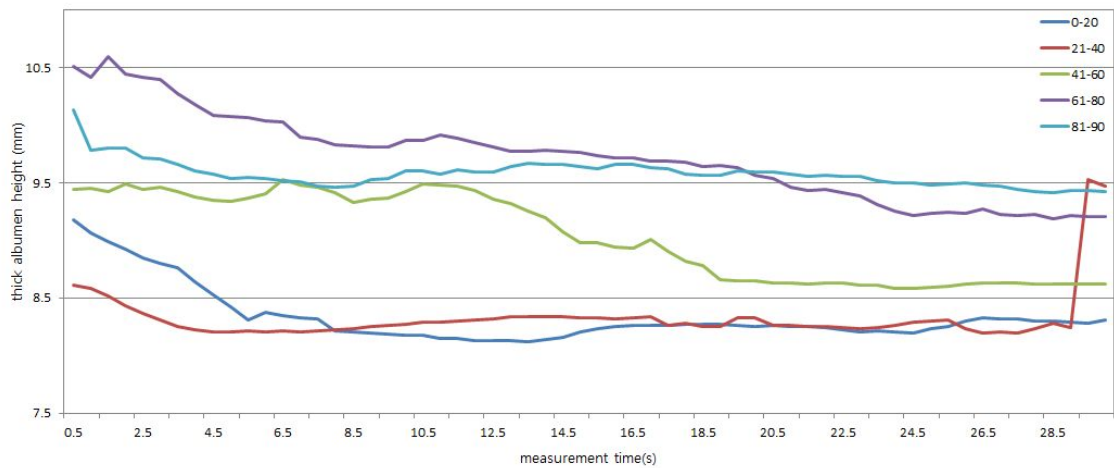


Fig. 89 Angular spread measurements for egg in a poultry farm

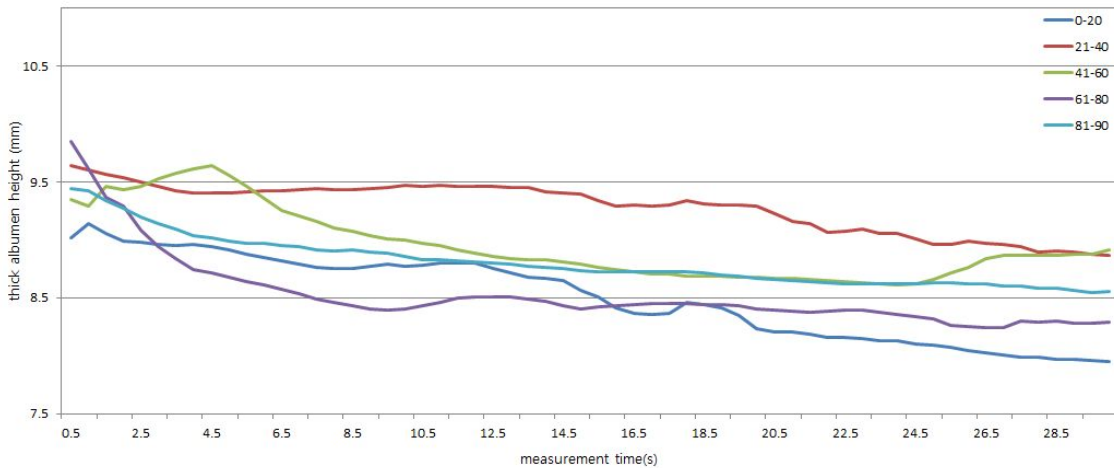


Fig. 90 Angular spread measurements for egg in a discount stores

제 8 절 20℃에서 저장 기간에 따른 신선도 평가

1. 연구 목적

상온과 유사한 온도인 20℃에서 계란을 저장시 계란의 품질인자를 통한 신선도의 변화를 측정

2. 연구 방법

가. 준비

본 시험에 이용된 공시시료는 2012년 8월 26일 대한민국 강원 원주의 양계 농가에서 생산된 특급 계란을 이용하였다. 계란의 신선도 평가를 위하여 시료 150개를 기준으로 20℃ 인큐베이터에서 저장 실험을 실시하였다. 저장기간 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30일에 대하여 5일 간격으로 계란 샘플을 채취하여 각각의 저장 기일에 대하여 5개의 영상분석 퍼짐측정 및 난백 높이 측정을 통한 농후난백의 높이가 측정될 때까지 시료 샘플을 측정하였으며, 그에 대한 저장 기간별 무게 감소율, 호우유닛, 농후·수양 난백과 난황에 대한 pH, 점도를 측정하여 신선도 평가를 비교하였다.

나. 무게 측정

분해 능력이 0.1mg인 정밀전자저울(HM-200, AND, Tokyo, Japan)을 이용해 측정하였다.

다. pH의 측정

측정 범위(0-14)이며 분해 능력(0,005pH)인 pH 센서인 Vernier pH Sensor(PH-BTA, Vernier, Beaverton, Inc.USA)를 사용하여 난황, 난백의 pH를 측정하였다. Standard pH buffers인 citric acid-sodium phosphate buffer (pH 4.0-6.0), Tris-HCl buffer (pH 7.0-9.0)을 사용하여 각각 pH 4와 7의 값을 하였다.

라. Haugh unit 측정

Haugh unit의 측정은 영상분석 측정 장치를 이용하여 농후난백의 높이 및 직경의 수치를 측정하여 식을 사용하여 측정하였다.(Rocculi et al, 2009)

$$HU=100\log(H-1.7w0.37+7.6)$$

여기서 H는 농후난백의 높이(mm)이고, w는 계란의 질량(g)이다. H값은 영상 분석 측정 기기로 측정한 값을 사용하였다.

마. 영상처리시스템

계란 자동 신선도 측정기기 시스템에서는 2대의 저조도(0.2 lux), 고해상도 셔터 속도 조절 기능(1/60~ 1/100,000s)을 가진 NTSC color camera 방식의 CCD 카메라(GC-435N24G, Honeywell, Louisville, Inc. USA)를 사용하였고, 획득한 영상을 디지털 영상으로 만들기

위해 프레임그래버(Meteor II , Matrox, Quebec, Canada)와 450 MHz CPU를 장착한 컴퓨터를 사용하였다. 영상처리장치의 광원으로는 20 W 3파장 형광램프를 사용하였다. 계란 신선도 평가 알고리즘과 프로그램이 내장되어 있는 컴퓨터와 컴퓨터로부터 전송받아 배출부에 신호를 전송하는 제어장치와 결과를 나타낼 수 있는 모니터로 구성되어 있다.

마. 농후난백 높이 측정 알고리즘

계란의 품질 변화의 지표가 되는 난백의 높이 측정을 위하여 배경제거, 난백 및 난황의 윤곽선 추출, 차영상을 통한 농후난백 윤곽선 추출, 좌표 추출 및 기준선 설정의 과정을 통하여 농후난백의 정확한 높이를 측정하였다. 농후난백의 높이를 측정하여 얻은 결과와 계란의 무게를 이용하여 HU를 통한 등급 판정이 이루어지도록 하였고, 원본 영상에서 관심 영역 이미지 검색 시스템을 이용하여 관심영역이라는 임의 영역 설정을 제외한 이미지를 제외하였다. 관심영역은 노이즈 제거 이후 RGB 영역의 색을 HSV(Hue Saturation Value)영역으로 변환하여 H(색조), S(채도), V(명암)으로 분리한 색모델로 나타내었다. 채도영상은 난황과 난백 간의 상대적인 빛의 포화도 차이를 이용하여 난황과 난백을 구분하는데 사용하였다. 명암영상은 배경과 난황 및 난백 간의 명암도 차이를 이용하여 전체 영역을 검출하는데 사용하였다. 순서도는 그림 91에 보였다.

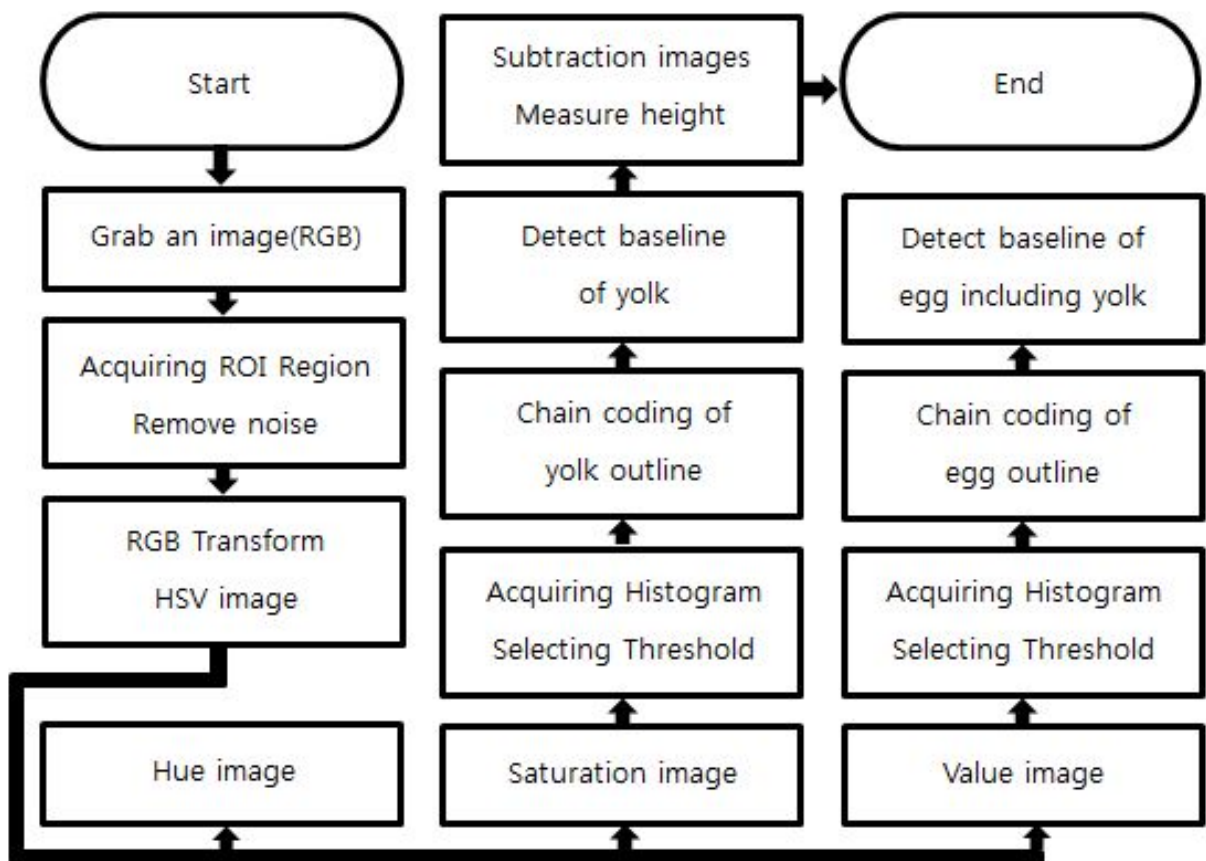


Fig. 91 Egg Albumen height measurement algorithm flowchart through image analysis

사. 점도(viscosity)의 측정

저장 기간에 따른 수양 난백의 점도 측정은 LV DV-II Pro(Brookfield engineering laboratory, Middleboro, Inc.USA)를 이용하여 SC4 sample chamber에 시료 6.7ml를 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다. 난황의 점도 측정은 RVDV-II Pro Cone and Plate(Brookfield engineering laboratory, Middleboro, Inc.USA)를 이용하여 standard cup인 CPE-44Y에 시료 0.5ml을 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다. CPE-51 스피들을 사용하였으며 CPE-51의 Coefficient는 4800이며 이 Rheometer의 허용 RPM 범위인 0-200rpm에서 측정하였다.

점성 계수 측정 장치는 측정하는 동안 온도를 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 항온 시스템과 데이터러를 보다 정확하게 얻기 위하여 Rheocal V3.2 Build 47-1 software(Brookfield engineering laboratory, Inc.USA)를 설치한 컴퓨터에 점도계를 연결하여 점도를 측정하였다.

Shear rate 구간은 저장 기간에 따라 최대 측정 구간이 증가하므로 torque값을 기준으로 하여 80%인 shear rate를 최대 수치 기준으로 소프트웨어를 사용하여 20개의 구간으로 나누어서 3초 간격으로 측정하였다. 이렇게 구한 난백 구간 65-255, 난황 구간 0-300 shear rate에 따른 shear stress를 여러 점도 모델(Herschel-Bulkely, Power Law, Newtonian)들에 적용하여 correlation을 구하였고 그 model에 따른 상수값의 변화를 구하였다.

아. 통계 분석 및 모델링

본 연구에서 제시된 계란의 품질 변수인 무게는 5개의 계란의 분석 결과 평균을 나타낸 것으로 계란의 저장 기일에 따른 품질 비교는 Excel(Microsoft office Excel 2010, Microsoft Corp., Redmond, Inc.USA)을 이용하여 검정하였다. 또한 비파괴적인 방법에 의한 계란의 신선도 평가 가능성을 살펴보고자 영상분석에 의한 자료와 물리적 방법에 의한 측정치간의 상관관계를 추정하였다.

난황의 저장 기간이 지남에 따라 유변학적 특성의 변화 및 점도의 변화에 대해 확인하기 위하여 Herschel-Bukley model, Power-law model, Newtonian model에 대해서 측정된 데이터와 각 모델의 적합성을 확인하기 위하여 커브 피팅 응용 프로그램인 MATLAB(MathWorks, Massachusetts, Inc.USA)을 사용하였다.

3. 연구 결과

가. 영상분석 알고리즘 적용 결과

(1) 관심영역 추출

실시간 프로세싱을 위하여 대략적으로 객체가 존재하는 후보영역을 얻고, 그 후보 영역에서 세분화된 프로세싱을 수행하고자 원 영상의 1/2 해상도의 영상을 이용하여 대략적인 후보영역을 추출하였다. 후보 영역을 얻기 위하여 낮은 해상도의 영상에서 계란의 색도좌표 영역과 배경에 대하여 이치화하여 경계에 해당하는 윈도우를 관심영역으로 설정하였다. 그림 92는 (a)는 원영상이며, (b)는 관심 영역 추출을 통해 얻은 영상이다.

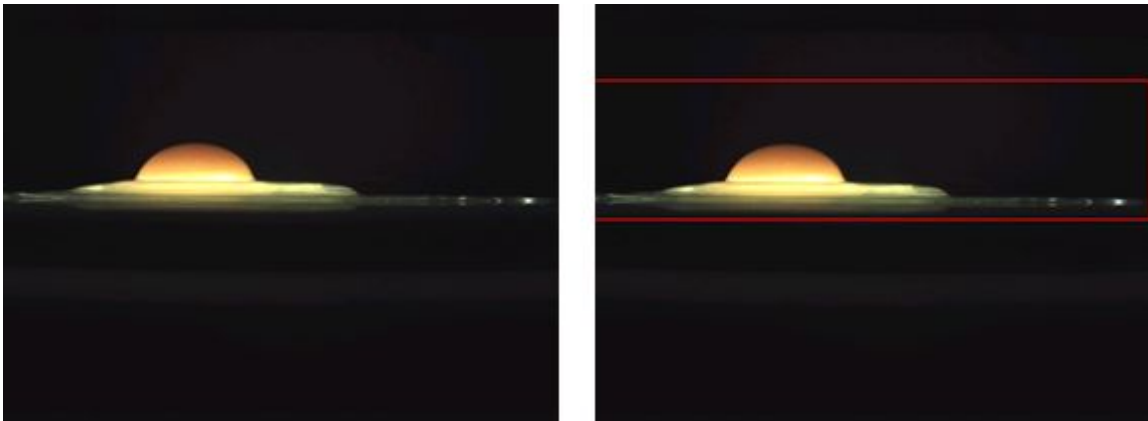


Fig. 92 Original image (left) & the region of interest image (right)

(2) 색좌표 변환 및 영상 분할

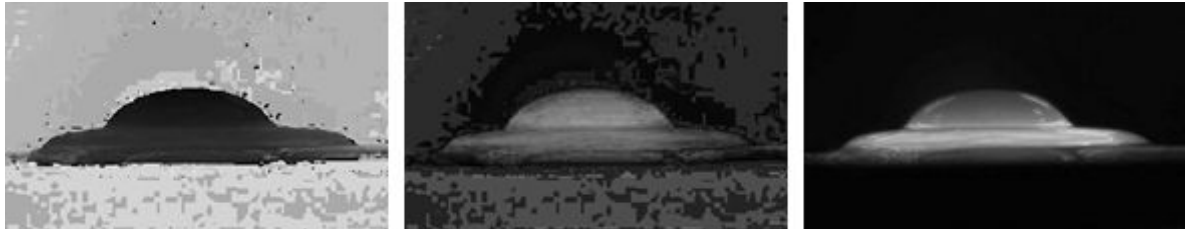
광환경의 밝기 변화에 대하여 색도 및 채도의 변화가 적고, 배경과 계란, 난백과 난황간의 색도, 채도 및 명도 히스토그램 정보를 얻기 위하여 카메라의 RGB 영상을 식 (9), (10), (11)을 이용하여 HSV 영상으로 변환하였다.

$$V = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (9)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)] \quad (10)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}(R - G) + (r - B)}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \quad (11)$$

HSV으로 변환된 영상에 대해서 각각 H(색조), S(채도), V(명암) 영상으로 분할하였다. 분할 영상의 결과는 그림 93에 나타내었다.



Hue Image Saturation Image Contrast Image

Fig. 93 RGB image from the switch to the HSV image

(3) 채도 및 명암 기반 영상을 통한 농후난백 높이 측정

그림 94는 (a)는 채도 영상에 대한 히스토그램이다. 히스토그램을 활용하여 색도 영상에 대해 구간 이치화를 실시하였다. (b)는 채도 영상에 대한 구간 이치화를 실시한 결과 영상이다. 채도에 대하여 103 - 160 구간을 붉은색으로, 그 외의 구간을 회색영상으로 표현하였다.

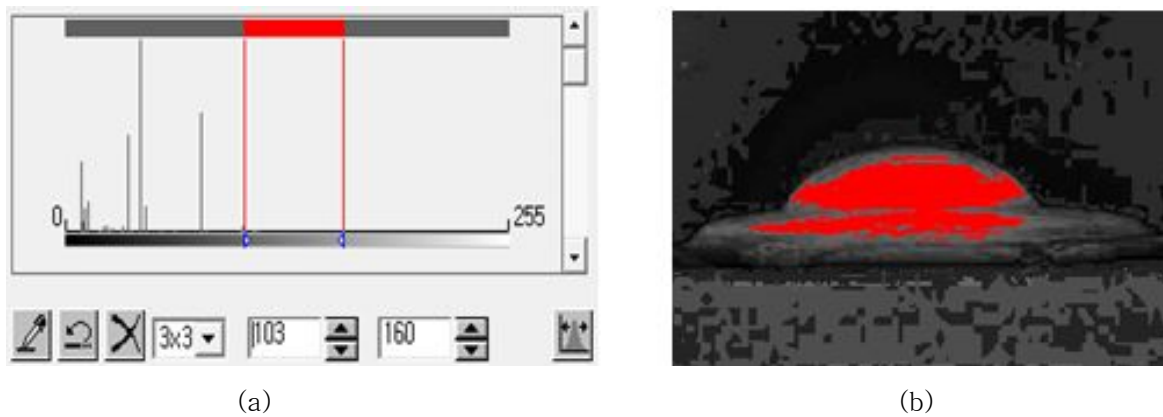


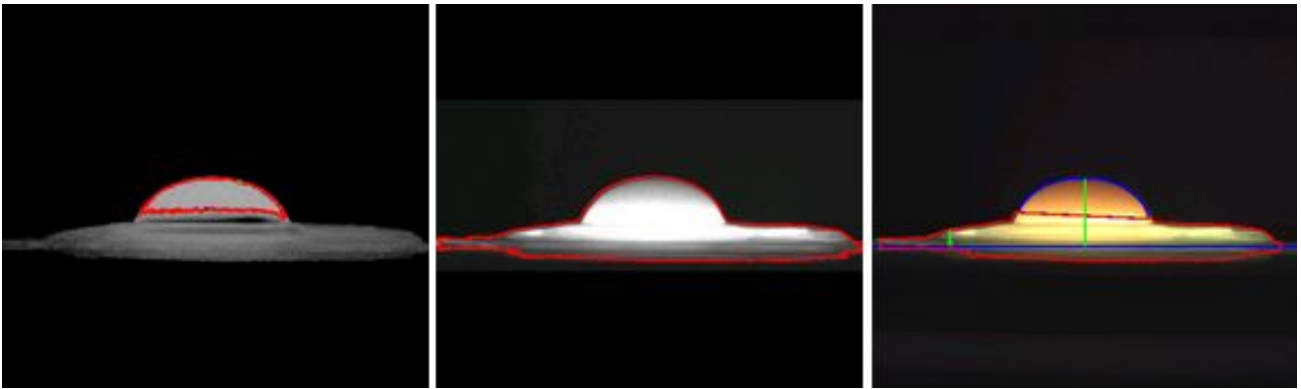
Fig. 94 Saturation histogram of the image(a) & Thresholding images (b)

이 영상을 통하여 원 영상에서 배경과 난백 부위가 제거하였다. 이후 윤곽선 추출은 체인 코딩에 의한 윤곽선 검출 방법을 사용하여 계란의 영상 윤곽에 대한 좌표와 방향을 분석할 수 있게 하였다. 추가적으로 opening circle 명령어를 사용하여 작은 영역은 제거하고 경계선을 부드럽게 한다. 결과 영상은 그림 95 (a)에 나타나 있다.

명암에 대한 이치화는 그림 95의 (b)와 같이 전체 히스토그램 분포에 대하여 70을 기준으로 배경부위를 흑색으로 처리 하였으며, 결과 영상을 통하여 배경의 일부를 제외하고 대부분이 제거되었음을 알 수 있다. 이후 채도 영상 처리방법과 동일한 방법으로 외각선을 추출하였다. 그림 95의 (a)와 (b)의 영상을 통하여 명암 영상에서 추출된 외각선은 계란의 전체 부위를 나타내고, 채도 영상에서 추출된 외각선은 난황부위를 나타내는 것을 알수있다.

그러므로 농후난백 외각선을 추출하기 위해서 두 영상에 대하여 논리곱셈을 수행하여 그림 95의 (c) 와 같은 결과를 얻었다. 이 결과 영상에서 농후난백이 완전하게 분리되었음을 알 수 있었다. 분리된 농후난백의 외각선을 활용하여 row 명령어를 활용하여 영역이 시작되는 y 축 값과 끝나는 y 축 값의 차를 이용하여 두 값의 차이를 활용한 해당 픽셀 값을 통하여 농후

난백의 높이를 측정하였다.



Saturation Image

Contrast Image

Logical subtraction images

Fig. 95 Saturation & Contrast extracting outlines of images of the two images and image subtraction logic

나. 20℃에서의 저장 기간에 따른 무게 감소율

저장기간 30일 동안 20℃에서 저장한 계란의 무게변화는 그림 96에 나타내었다. 저장 기간이 지남에 따라 선형적으로 감소하는 것을 나타내었다. 또한 이러한 무게 감소의 원인은 저장 과정 중에 계란 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분과 CO₂ 유출에 의하여 무게가 감소하였다.

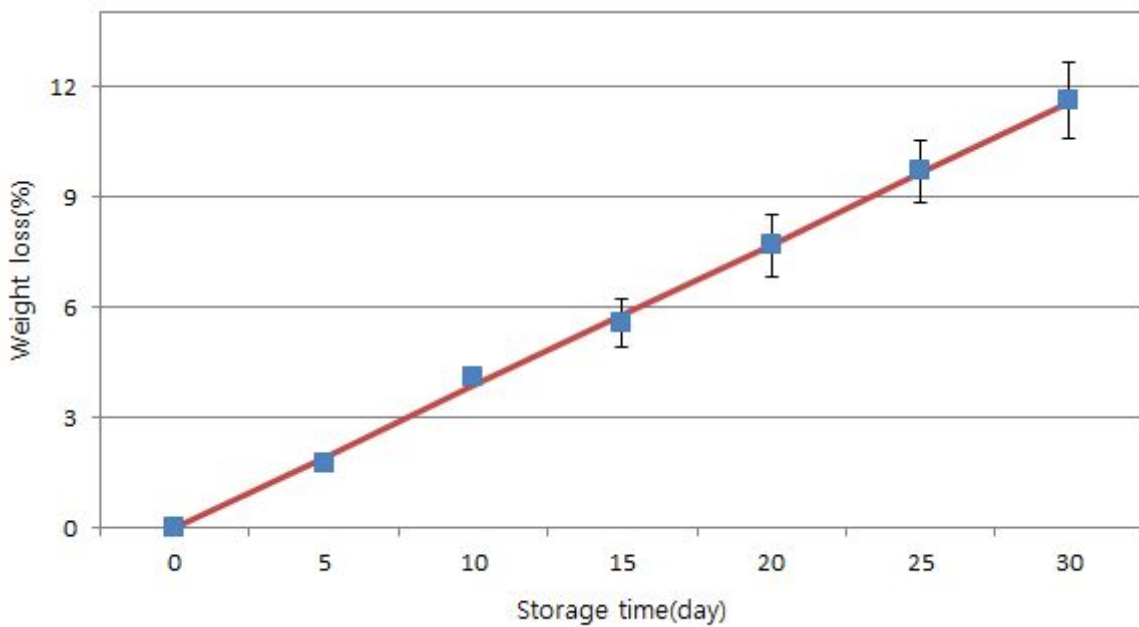


Fig. 96 Weight loss according to the store period for eggs stored at 20℃

다. 문헌비교

그림 97은 Hamilton and Thompson.(1981) 논문에 대한 실험 그래프이다. 본 실험과 동일하게 저장 기간동안 계란의 무게가 지속적으로 무게가 감소한다. 이러나 무게 감소의 원인은 저장 기간 동안 수분의 증발에 의한 기실 크기의 증가로 인한 무게 손실이다.

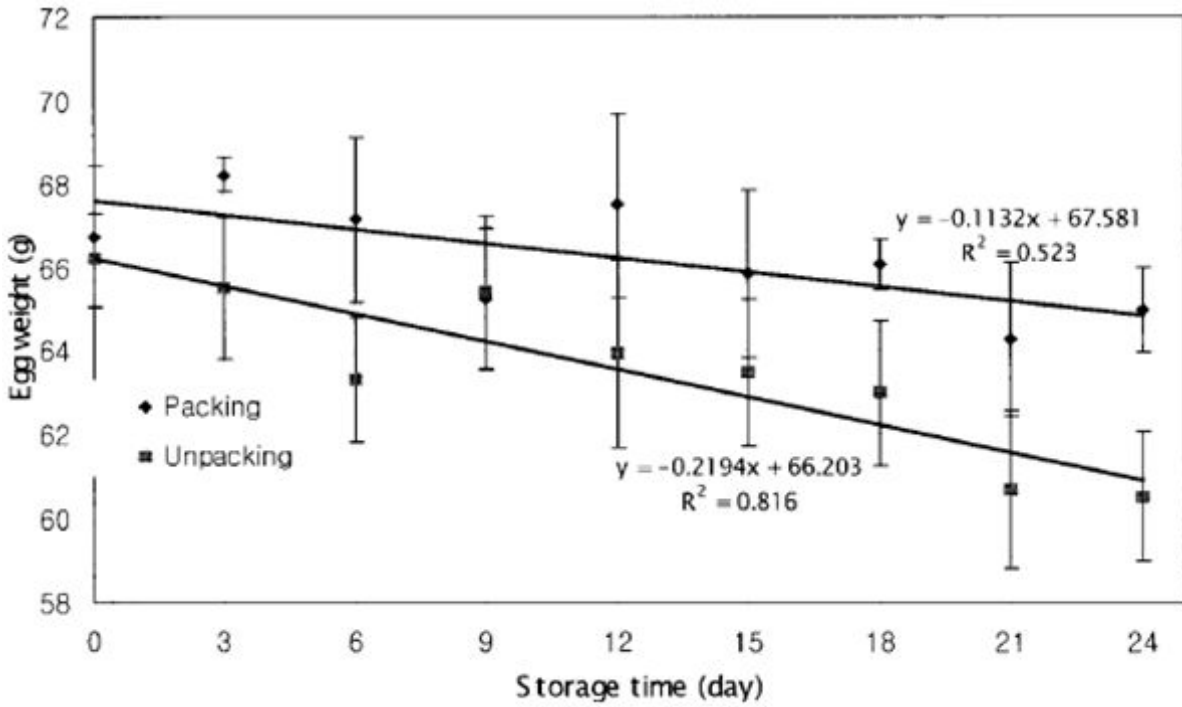


Fig. 97 Changes in egg weight during storage under packing and unpacking conditions.
[Hamilton and Thompson.(1981)]

라. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 난백과 난황 pH

저장기간에 따른 난백의 pH의 변화는 그림 98에 나타내었다. 저장 초기에서부터 5일까지 급격하게 증가하였으나, 이후 조금씩 지속적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 pH의 증가는 난백에 녹아있던 CO₂가 난각을 통해서 방출됨에 따라서 나타나는 현상이다.

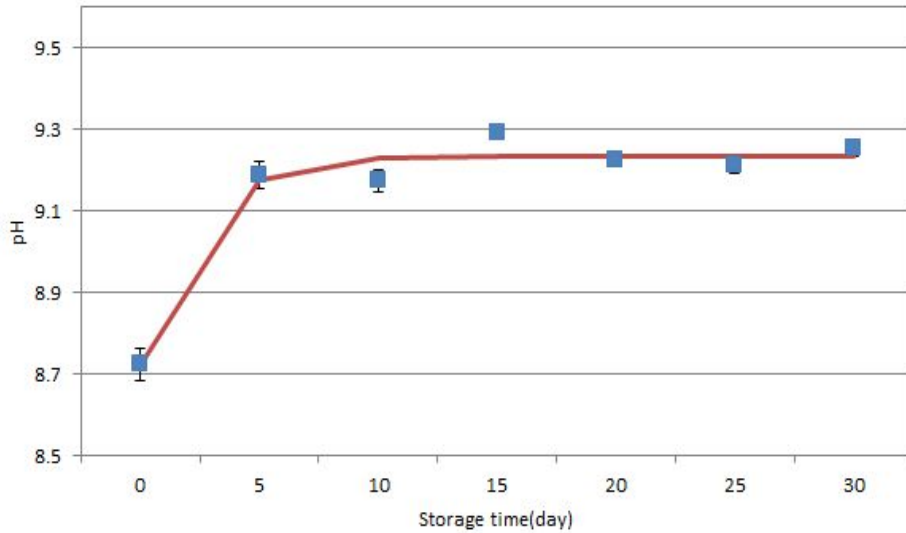


Fig. 98 Egg Albumen pH according to the store period for eggs stored at 20℃

저장 기간에 따른 난황의 pH의 변화는 그림 99에 나타내었다. 난황의 경우 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 패턴을 나타내었다. 이는 저장 기간에 따른 pH가 증가된 난백이 난황으로 유입됨으로 인해서 난황의 pH도 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 pH가 증가하게 된다.

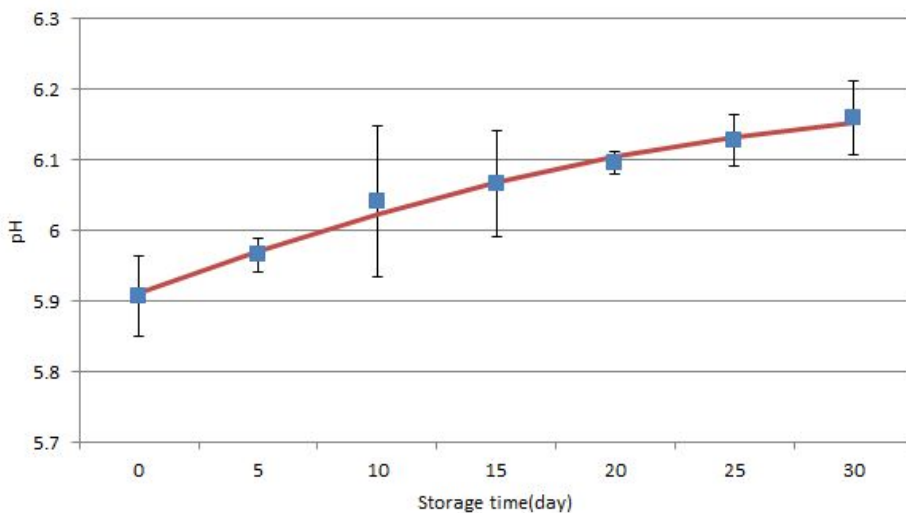


Fig. 99 The yolk pH according to the store period for eggs stored at 20℃

마. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 농후난백 높이

그림 100은 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 농후난백 높이를 측정한 그래프이다. 초기 5일 동안에 매우 급격하게 난백 높이가 변화하는 것을 확인하였다. 이는 저장 기일이 증가함에 따라서 농후 난백의 수양화로 인하여 농후 난백의 비율이 감소하며, 농후 난백의 겔 구조는 응집력의 약화로 인하여 전체적인 농후 난백의 높이가 감소한 결과로 추론된다.

이러한 농후 난백의 변화는 저장 기일 20일까지 지속적으로 이루어졌으며, 20일 이후에는 난백 높이의 변화가 크게 감소하는 것을 확인하였다.

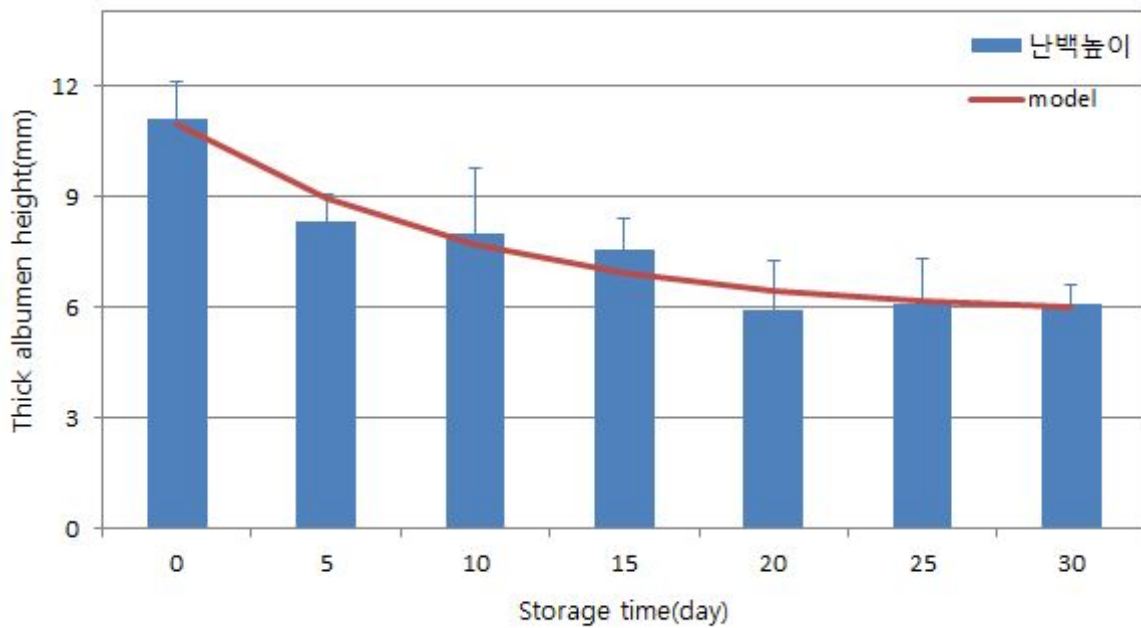


Fig. 100 Egg Albumen height according to the store period for eggs stored at 20℃

바. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 호우유닛

그림 101는 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 호우유닛의 결과 그래프이다. 저장 0일차인 가장 신선한 계란에 대한 호우유닛이 103으로 측정되었는데 이는 Caner(2005)의 실험값과 유사하였다. 저장 기간이 지남에 따라서 호우 유닛이 초기 0일차에 비하여 급격하게 낮게 계측이 되는데 이는 호우 유닛의 수치가 농후 난백의 높이와 계란의 무게와 연관되기 때문이다. 저장 기간이 증가함에 따라서 농후 저장 초기 기간동안 농후 난백의 높이가 급격하게 감소하고 무게에 관해서는 선형적으로 지속적으로 감소하기 때문에 이에 따른 호우 유닛 또한 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다.(Jones et al., 2002)

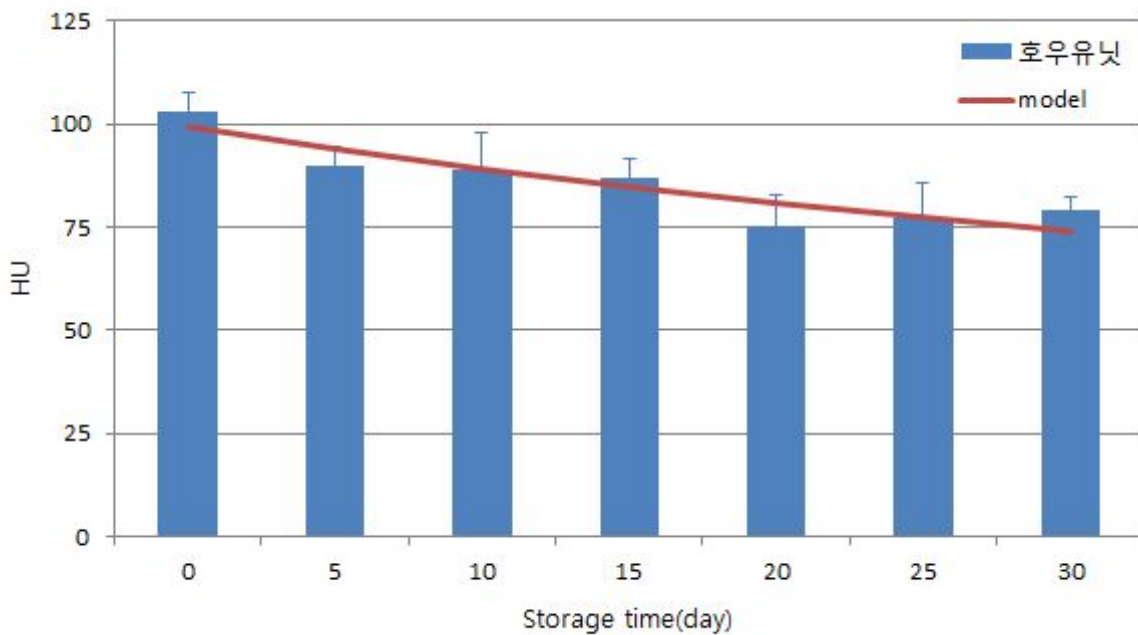


Fig. 101 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 20℃

이러한 현상에 대해서는 저장 기간이 증가함에 따라서 pH가 증가하고 이에 따른 오보뮤신-라이소자임 복합체가 분리됨에 따라 오보뮤신의 탄수화물 함량이 감소하는 등 다양한 가설들이 제시되고 있다.(Thesmar and Kerr, 2005) 이러한 원인으로 인한 호우 유닛을 통한 신선도 평가 지표는 grade A, HU >55; B, 31 < HU < 54; C <30 을 기준으로 측정하고 있다.(Caner, 2005) 20℃ 저장 기간에 따른 신선도 등급의 변화는 저장 기간 20일차 시기부터 등급이 B등급으로 감소였다. 이는 0-20일 기간 사이에서 급격한 신선도 변화가 일어나는 것이다.

사. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 퍼짐측정

저장 기간별로 영상 분석이 측정된 5개의 샘플에 대해서 할란 시점으로부터 30초간 0.5초 간격으로 농후 난백의 높이의 변화를 조사하였다. 저장기일별 퍼짐 측정된 결과는 그림 102에 나타나내었다.

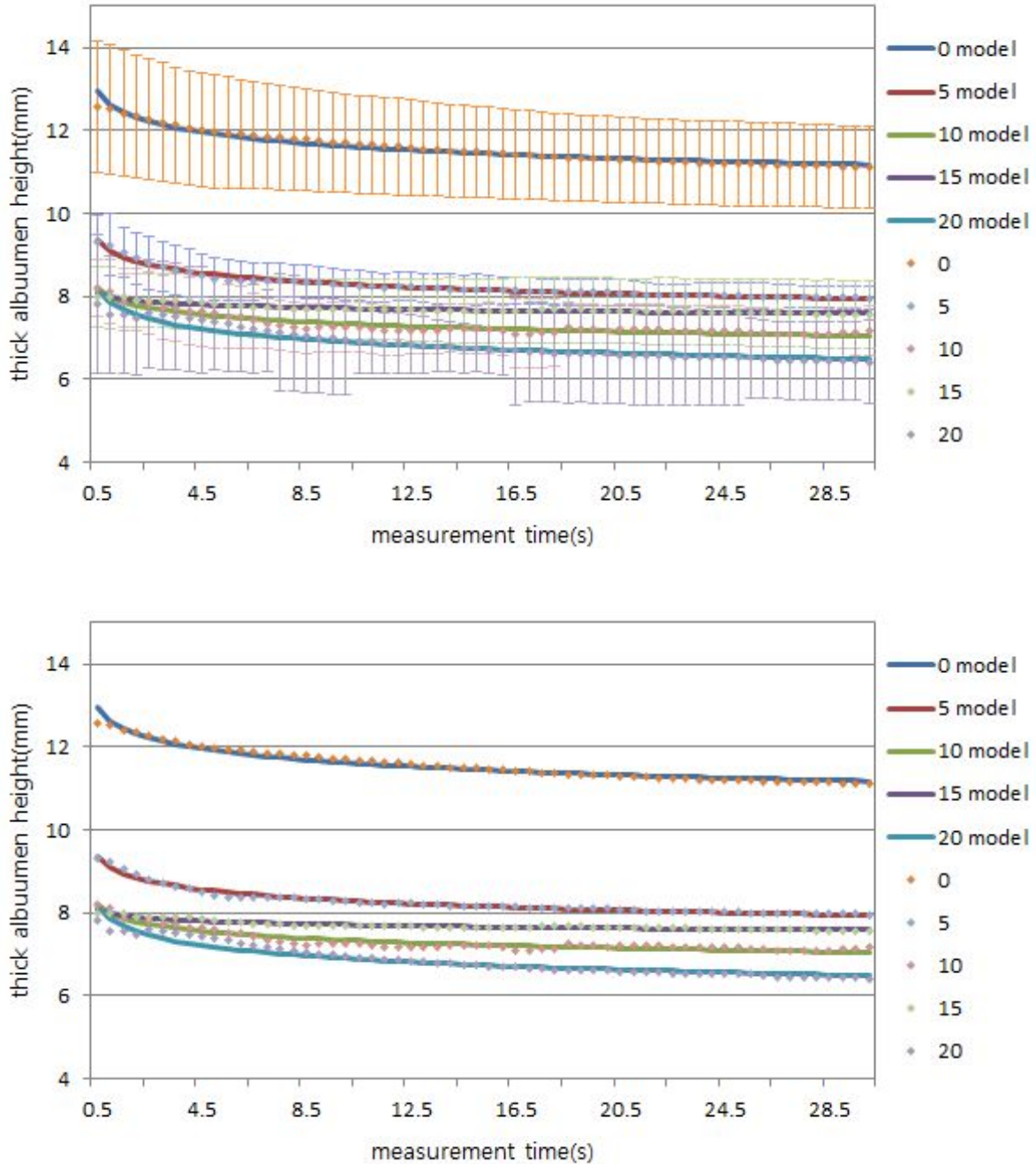


Fig. 102 Spread measure according to the store period for eggs stored at 20℃

0일차 시료에서는 초기 난백 높이가 가장 높게 측정되었으며, 이러한 초기 난백 높이는 할란시의 계란 내부의 농후난백의 비율을 나타내는 지표로서 농후난백은 오보뮤신과 라이소자임

과의 상호작용에 의해서 농후 난백을 형성하나 저장 기간동안 기질을 통한 난백 내부에 용해된 CO₂의 배출로 인한 pH의 증가로 인해 농후 난백의 수양화가 진행되어 농후 난백의 비율이 감소하게 된다. 저장 0일차의 높은 초기 농후 난백 높이는 높은 농후 난백 비율로 인한 것으로서 저장 0-5일차 사이에서 발생하는 난백의 급격한 pH의 변화는 이러한 농후 난백의 비율을 급격하게 감소시킨다. 따라서 5일차 초기 농후 난백 높이가 0일차에 비하여 낮아지는 것이다.

또한 측정시간에 따른 농후 난백의 퍼짐 현상은 겔 형태의 농후 난백의 응집력의 차이에 의해서 퍼짐 정도가 다르게 나타난다. 저장 기간이 증가함에 따라 농후 난백의 수양화로 인하여 농후 난백을 이루고 있는 오보뮤신-라이소자임 복합체의 S-S결합(disulfide bond)이 해리되어 농후 난백의 겔이 분해되어 그 사이에 존재하는 수분이 유리되면서 분획물이 용해되어 농후 난백의 비율이 감소된다. 이에 따라 농후 난백의 높이가 감소하고, 농후 난백의 응집력이 감소하게 된다. 따라서 저장기간 동안 퍼지는 정도가 증가한다.

각각의 저장 기일에 따른 농후 난백의 퍼짐현상에 대한 값을 $f(x) = ae^{-bx}$ 식에 피팅한 결과는 표 34에 나타내었으며, 최소 R²값이 0.91로 매우 높은 값을 나타내었다. 본 식에서 a값은 초기 측정시간, 즉 0초일때의 농후 난백의 높이를 나타내는 값이다. 측정 초기 농후 난백의 높이에 대한 저장 기일별 변화는 저장 초기 구간이 0에서 5일 사이에서 가장 큰 변화가 나타난 것을 확인하였다.

이는 저장 기일에 따른 난백 높이의 변화에서와 같이 초기 저장 기간중에 농후 난백의 수양화가 가장 급속히 진행되는 것으로 인한 결과이다. 저장 20일차 이후에는 퍼짐 측정이 불가능하였는데 이는 농후난백의 높이 변화를 측정하는 기기적인 민감도가 낮아 측정이 불가능한 것으로 생각된다.

Table. 34 Power model coefficients for Egg Albumen spread values

Storage day	a value	b value	R-square
0	12.62	-0.04	0.97
5	9.10	-0.04	0.98
10	8.00	-0.04	0.91
15	7.99	-0.02	0.94
20	7.86	-0.06	0.92

아. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 난백 및 난황 점도

그림 103는 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 수양난백 점도를 측정된 결과 값이다. 저장 기간에 따른 수양난백의 점도 변화는 초기 점도 수치가 매우 낮으며 저장 기간에 따른 점도 수치의 변화가 미미하여 계란의 품질인자로서 측정하기 힘들다. 이러한 이유로 인해 Rossi et al.(1996) 논문에서는 농후난백을 전처리 함으로서 저장 기간에 따른 점도의 변화를 확인하려 하였으나, 이러한 방법도 실험한 결과 실험 시료간에 편차가 극심하여 저장 기간에 따른 품질인자로 사용하기 힘들었다.

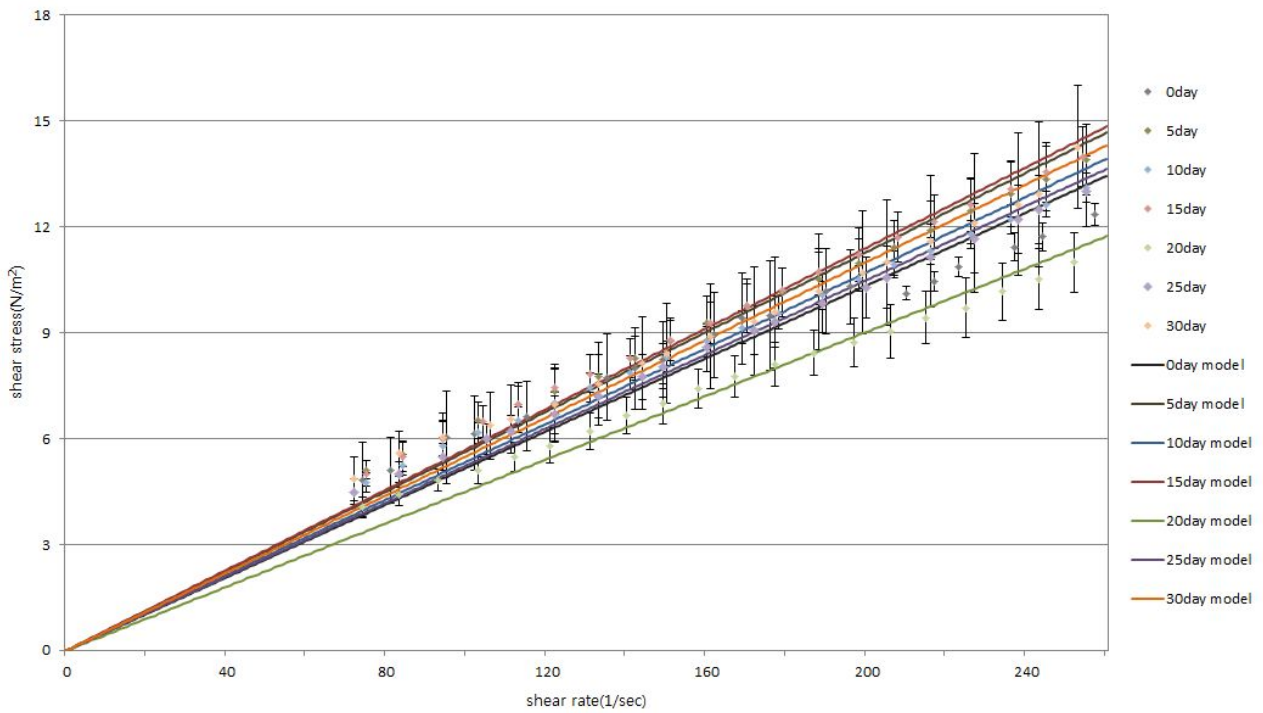


Fig. 103 Viscosity of thin albumin according to the store period for eggs stored at 20℃

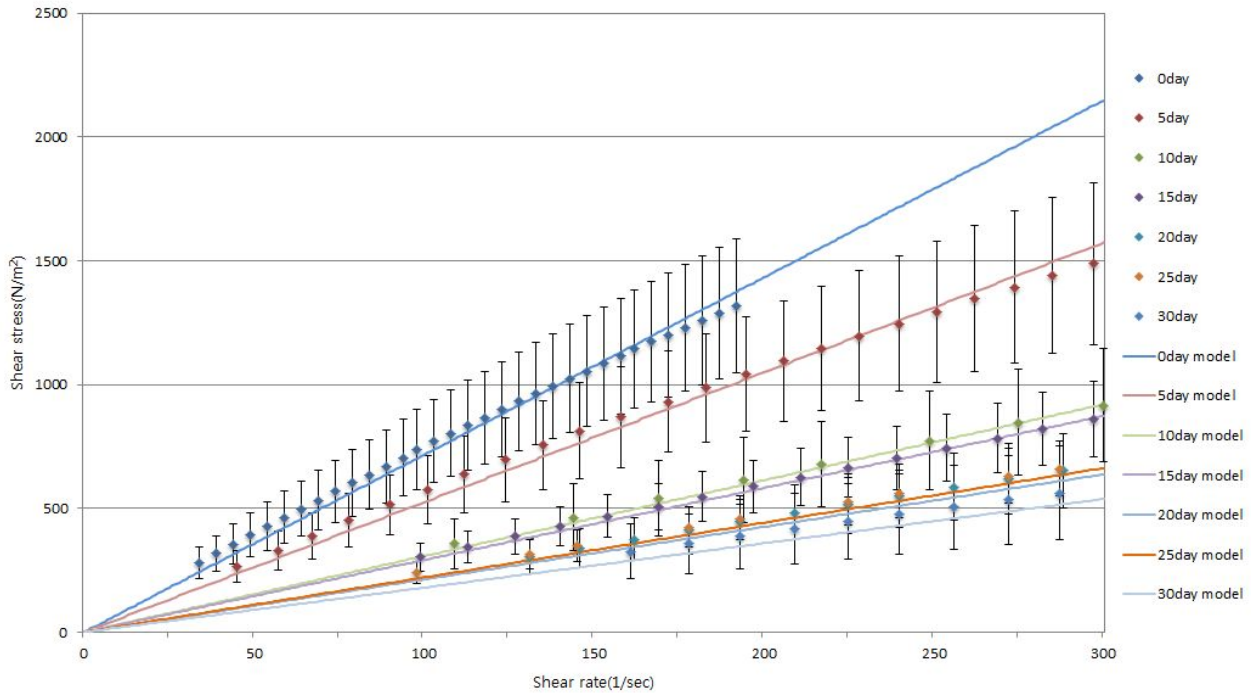


Fig. 104 Viscosity of egg yolk according to the store period for eggs stored at 20°C

그림 104는 저장 기간에 따른 난황의 점도의 변화를 shear rate 구간별 shear stress의 변화를 조사하였다. 신선한 난황의 경우 비뉴턴 유체로서 항복응력(yield stress)이 존재하는 Herschel-Bukley model을 따른다(Steffe, 1996). 이 모델은 비뉴턴 유체에 가장 널리 사용되고 있다.

저장 기간에 따른 난황의 점도의 변화는 shear rate 구간별 shear stress의 변화에 대해서 조사하였으며 shear rate는 34-300구간에서 실험을 실시하였다. 실험 결과 데이터를 기반으로 하여 Matlab을 통한 커브 피팅을 통해 각각의 모델에 대하여 얻어진 유변학적 매개변수들을 표 35에 정리하였다. 실험 결과에 대해서 Herschel-Bukley 모델은 매우 높은 적합도를 나타내었다. 하지만 실제 실험 및 모델링을 통하여 확인한 항복응력 수치는 매우 낮았으며, 이를 근거하여 Power-law 모델을 적용하였다. 표 37에서 저장기간별 유동지수 수치는 0.9 이상의 매우 높은 수치를 기록하였다. 이러한 데이터를 기반으로 하여 Newtonian model에 실험 데이터를 적용한 결과 R2값이 모두 0.95이상의 수치를 나타내었다.

이는 실제 난황은 비뉴턴 유체의 유변학적 거동을 나타내지만 이는 거의 뉴턴유체의 거동과 유사하다는 것을 나타낸다. 또한 이러한 Newtonian model에서 저장 기간에 따른 점성 계수의 변화는 초기 0-10일 동안 매우 급격하게 감소하였으며 추후 지속적으로 감소하는 패턴을 나타내었다.

Table. 35 Viscosity model coefficients of egg yolk

Model	Herschel-Bulkely				Power law			Newtonian	
Storage time (day)	K	n	σ_0	r ²	K	n	r ²	K	r ²
0	12.59	0.89	0.00	1.00	12.67	0.88	1.00	7.16	0.99
5	9.66	0.89	0.00	1.00	9.52	0.89	1.00	5.25	0.99
10	4.91	0.92	0.00	1.00	5.44	0.90	1.00	3.07	0.99
15	4.28	0.93	0.00	1.00	4.28	0.93	1.00	2.91	1.00
20	3.97	0.90	0.00	1.00	3.97	0.90	1.00	2.12	0.99
25	3.84	0.91	0.00	1.00	4.01	0.90	1.00	2.21	0.99

제 9 절 5℃, 20℃, 35℃에서 저장 기간에 따른 신선도 평가

1. 연구 목적

세가지 조건 온도인 5, 20, 35℃에서 계란을 저장시 품질인자를 통한 신선도 측정

2. 연구 방법

가. 시료 준비

본 연구에서 사용된 계란 시료는 대형 매장에서 구매하여 랜덤화 시료채취를 하였으며, 5, 20, 35℃로 설정된 인큐베이터에서 30일간 저장하였다.

계란에 대한 품질인자로서는 저장 기간에 따른 무게 감소율, pH 변화, 난황과 난백의 점도의 변화를 측정하였다.

나. 무게 측정

분해 능력이 0.1mg인 정밀전자저울(HM-200, AND, Tokyo, Japan)을 이용해 측정하였다.

다. pH의 측정

측정 범위(0-14)이며 분해 능력(0,005pH)인 pH 센서인 Vernier pH Sensor(PH-BTA, Vernier, Beaverton, Inc.USA)를 사용하여 난황, 난백의 pH를 측정하였다. Standard pH buffers인 citric acid-sodium phosphate buffer (pH 4.0-6.0), Tris-HCl buffer (pH 7.0-9.0)을 사용하여 각각 pH 4와 7의 값을 하였다.

라. Haugh unit 측정

Haugh unit의 측정은 영상분석 측정 장치를 이용하여 농후난백의 높이 및 직경의 수치를 측정하여 식을 사용하여 측정하였다.(Rocculi et al, 2009)

$$HU=100\log(H-1.7w^{0.37}+7.6)$$

여기서 H는 농후난백의 높이(mm)이고, w는 계란의 질량(g)이다. H값은 영상 분석 측정 기기로 측정한 값을 사용하였다.

마. 농후난백 높이 계측 알고리즘

계란의 품질 변화의 지표가 되는 난백의 높이 측정을 위하여 배경제거, 난백 및 난황의 윤곽선 추출, 차영상을 통한 농후난백 윤곽선 추출, 좌표 추출 및 기준선 설정의 과정을 통하여 농후난백의 정확한 높이를 측정하였다. 농후난백의 높이를 측정하여 얻은 결과와 계란의 무게를 이용하여 HU를 통한 등급 판정이 이루어지도록 하였고, 원본 영상에서 관심 영역 이미지 검색 시스템을 이용하여 관심영역이라는 임의 영역 설정을 제외한 이미지를 제외하였다. 관심영역은 노이즈 제거 이후 RGB 영역의 색을 HSV(Hue Saturation Value)영역으로 변환하여

H(색조), S(채도), V(명암)으로 분리한 색모델로 나타내었다. 채도영상은 난황과 난백 간의 상대적인 빛의 포화도 차이를 이용하여 난황과 난백을 구분하는데 사용하였다. 명암영상은 배경과 난황 및 난백 간의 명암도 차이를 이용하여 전체 영역을 검출하는데 사용하였다. 순서도는 Fig. 9에 보였다.

마. 통계 분석

본 연구에서 제시된 계란의 품질 변수인 무게는 5개의 계란의 분석 결과 평균을 나타낸 것으로 계란의 저장 기일에 따른 품질 비교는 Excel(Microsoft office Excel 2010, Microsoft Corp., Redmond, Inc.USA)을 이용하여 검정하였다. 또한 비파괴적인 방법에 의한 계란의 신선도 평가 가능성을 살펴보고자 영상분석에 의한 자료와 물리적 방법에 의한 측정치간의 상관관계를 추정하였다.

3. 연구결과

가. 20℃에서의 저장 기간에 따른 무게 감소율

저장기간 20일 동안 5, 20, 35℃에서 저장한 계란의 무게변화는 그림 105에 나타내었다. 저장 기간이 지남에 따라 선형적으로 감소하는 것을 나타내었으며 저장온도에 따라 저온에서는 무게 감소율이 감소하고 고온에서는 무게 감소율이 증가하였다. 이러한 무게 감소의 원인은 저장 과정 중에 계란 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분과 CO₂ 유출에 의하여 무게가 감소하는데 저장 기간 동안의 온도가 이러한 호흡속도에 영향을 미친 것으로 사료된다.

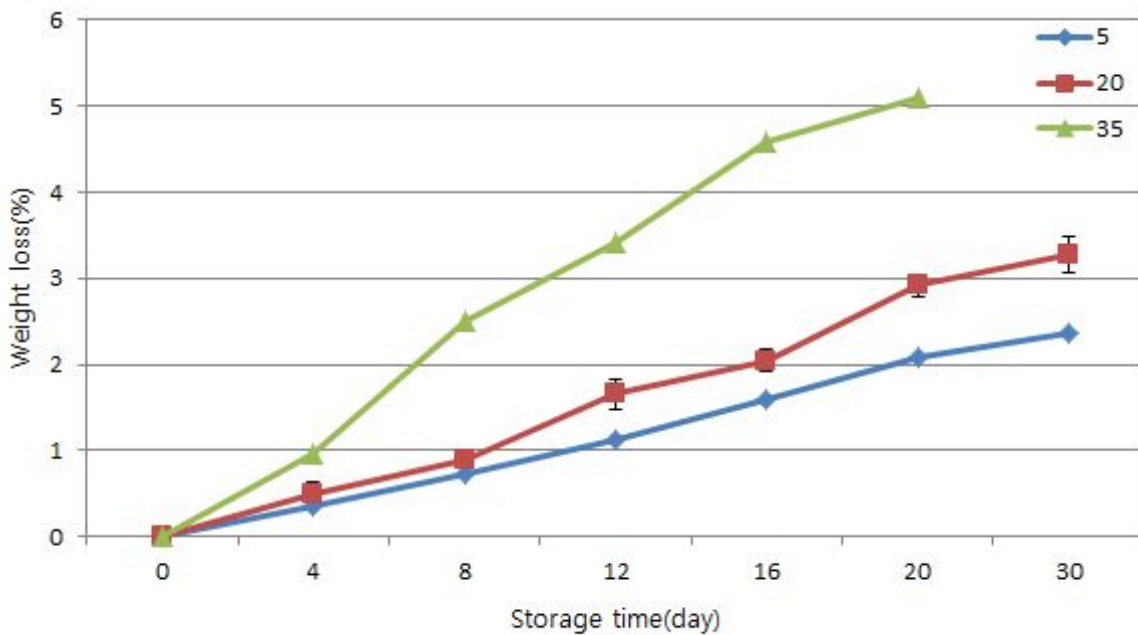


Fig. 105 Weight loss according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35℃

나. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 난백과 난황 pH

저장기간에 따른 난백의 pH의 변화는 그림 106에 나타내었다. 저장 초기에서부터 5일까지 급격하게 증가하였으나, 이후 조금씩 지속적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 pH의 증가는 난백에 녹아있던 CO₂가 난각을 통해서 방출됨에 따라서 나타나는 현상이다. 저장 기간 동안 난백의 pH변화를 저장 온도에 따라 비교시 저장 온도가 감소함에 따라 난백의 pH 변화가 줄어드는 것을 확인하였다.

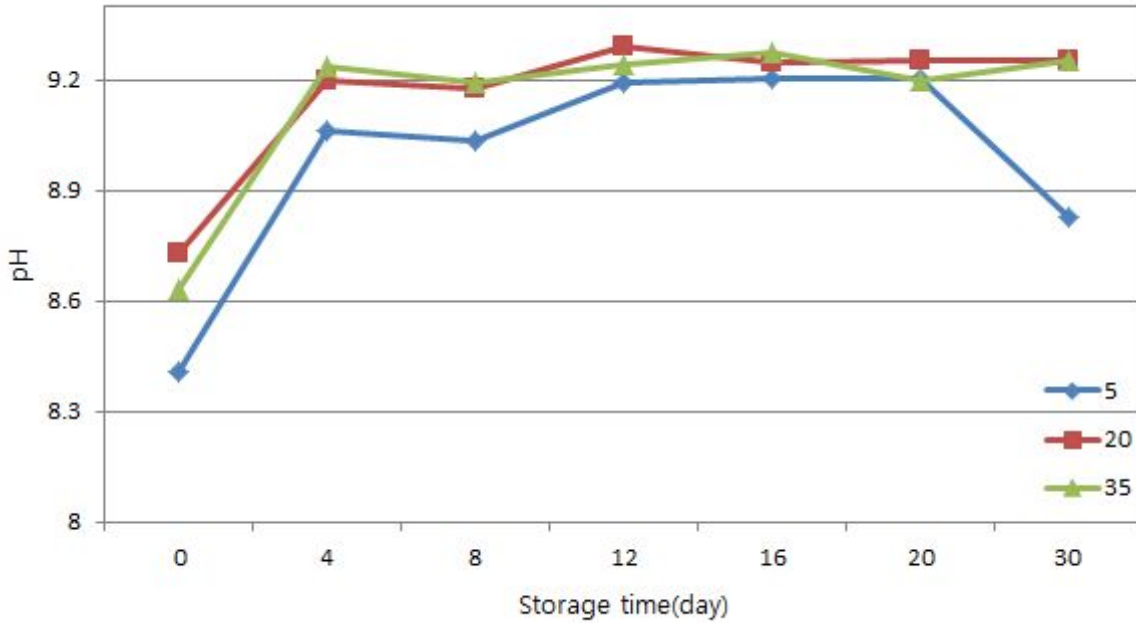


Fig. 106 Egg Albumen pH according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35℃

이는 난백 pH를 증가시키는 난백에 녹아있던 CO₂가 저장 온도가 낮아짐에 따라 이산화 탄소에 대한 용해도도 높아지며 외부로 난각을 통해 배출되는 속도또한 낮아짐으로서 저장 온도 감소에 의해서 영향을 받아 저장 기간동안 난백의 pH 증가속도가 낮아졌다. 반대로 저장 온도가 증가함에 따라서는 난백의 pH가 다소 증가하는 것을 확인하였다.

저장 기간에 따른 난황의 pH의 변화는 그림 107에 나타내었다. 난황의 경우 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 패턴을 나타내었다. 이는 저장 기간에 따른 pH가 증가된 난백이 난황으로 유입됨으로 인해서 난황의 pH도 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 pH가 증가하게 된다.

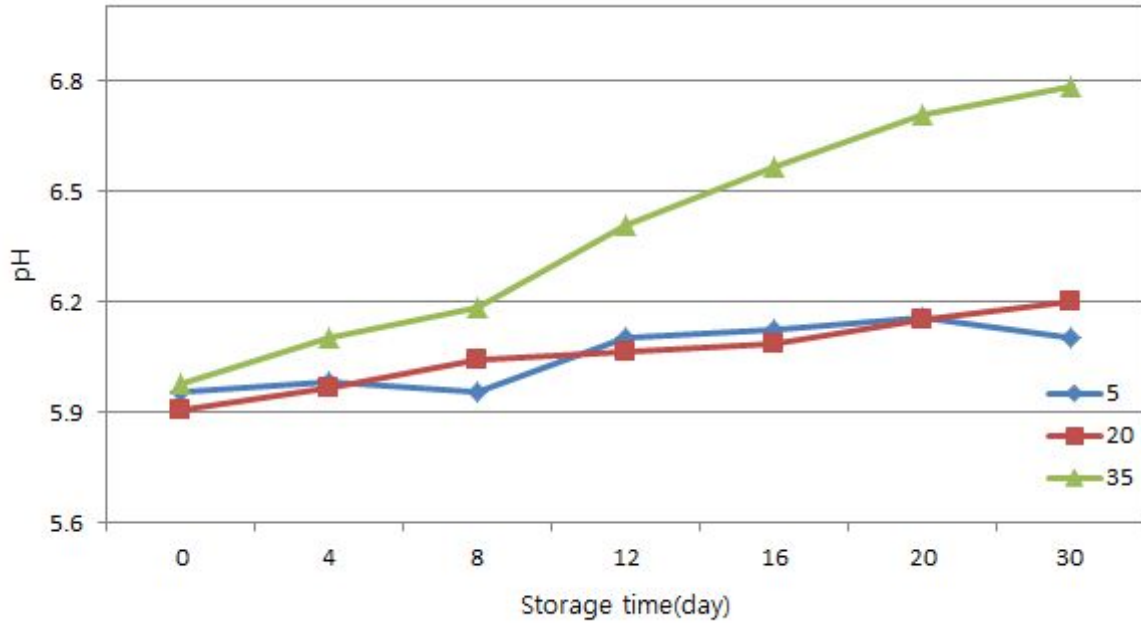


Fig. 107 Egg yolk pH according to the store period for eggs stored at 5, 20, 35°C

이러한 난황의 pH증가는 삼투압에 의한 난백의 유입과 확산에 의한 확산속도에 의해서 난황의 pH가 변화한다. 저장 기간동안의 저장 온도의 영향에 의해서 저장 온도를 감소시킬수록 난백의 pH가 크게 감소하나 난황에서는 난백 pH 변화량만큼 크게 변화하지 않는 이유는 난황의 pH의 변화가 확산에 의한 분자운동과 연관이 있어 서로간의 원인이 상이하기 때문이다.

다. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 퍼짐측정

저장 기간별·온도별로 영상 분석이 측정된 5개의 샘플에 대해서 할란 시점으로부터 30초간 0.5초 간격으로 농후 난백의 높이의 변화를 조사하였다. 저장기일별·온도별 퍼짐 측정된 결과는 그림 108, 109, 110에 나타나있다.

0일차 시료에서는 초기 난백 높이가 가장 높게 측정되었으며, 이러한 초기 난백 높이는 할란시의 계란 내부의 농후난백의 비율을 나타내는 지표로서 농후난백은 오보뮤신과 라이소자임과의 상호작용에 의해서 농후 난백을 형성하나 저장 기간 동안 기실을 통한 난백 내부에 용해된 CO₂의 배출로 인한 pH의 증가로 인해 농후 난백의 수양화가 진행되어 농후 난백의 비율이 감소하게 된다.

저장온도 5℃에서는 저장 30일 동안 신선도가 지속적으로 유지되었다. 또한 저장 온도 20℃에서는 저장 0일차의 높은 초기 농후 난백 높이가 측정되었으나 저장 기간이 증가함에 따라 이러한 난백 높이는 지속적으로 감소하였다.

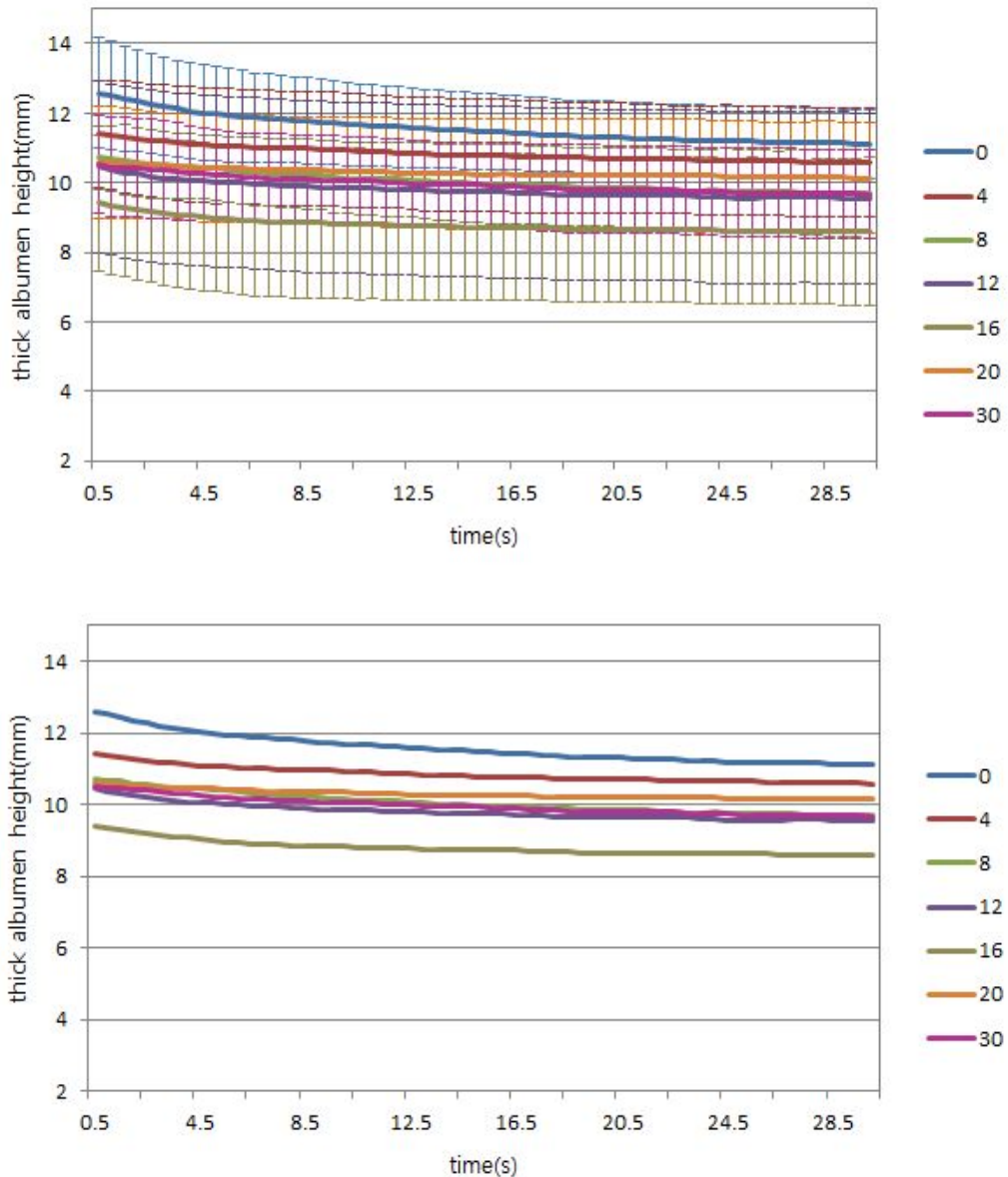


Fig. 108 Spread measure according to the store period for eggs stored at 5°C

이는 높은 농후 난백 비율로 인한 것으로서 저장 0-4일차 사이에서 발생하는 난백의 급격한 pH의 변화는 이러한 농후 난백의 비율을 급격하게 감소시킨다. 따라서 4일차 초기 농후 난백 높이가 0일차에 비하여 낮아지는 것이다.

또한 측정시간에 따른 농후 난백의 퍼짐 현상은 겔 형태의 농후 난백의 응집력의 차이에 의해서 퍼짐 정도가 다르게 나타난다. 저장 기간이 증가함에 따라 농후 난백의 수양화로 인하여 농후 난백을 이루고 있는 오보뮤신-라이소자임 복합체의 S-S결합(disulfide bond)이 해리되어 농후 난백의 겔이 분해되어 그 사이에 존재하는 수분이 유리되면서 분획물이 용해되어 농후 난백의 비율이 감소된다.

이에 따라 농후 난백의 높이가 감소하고, 농후 난백의 응집력이 감소하게 된다. 저장 20일차

이후에는 퍼짐 측정이 불가능 하였는데 이는 농후난백의 높이 변화를 측정하는 기기적인 민감도가 낮아 측정이 불가능한 것으로 생각된다.

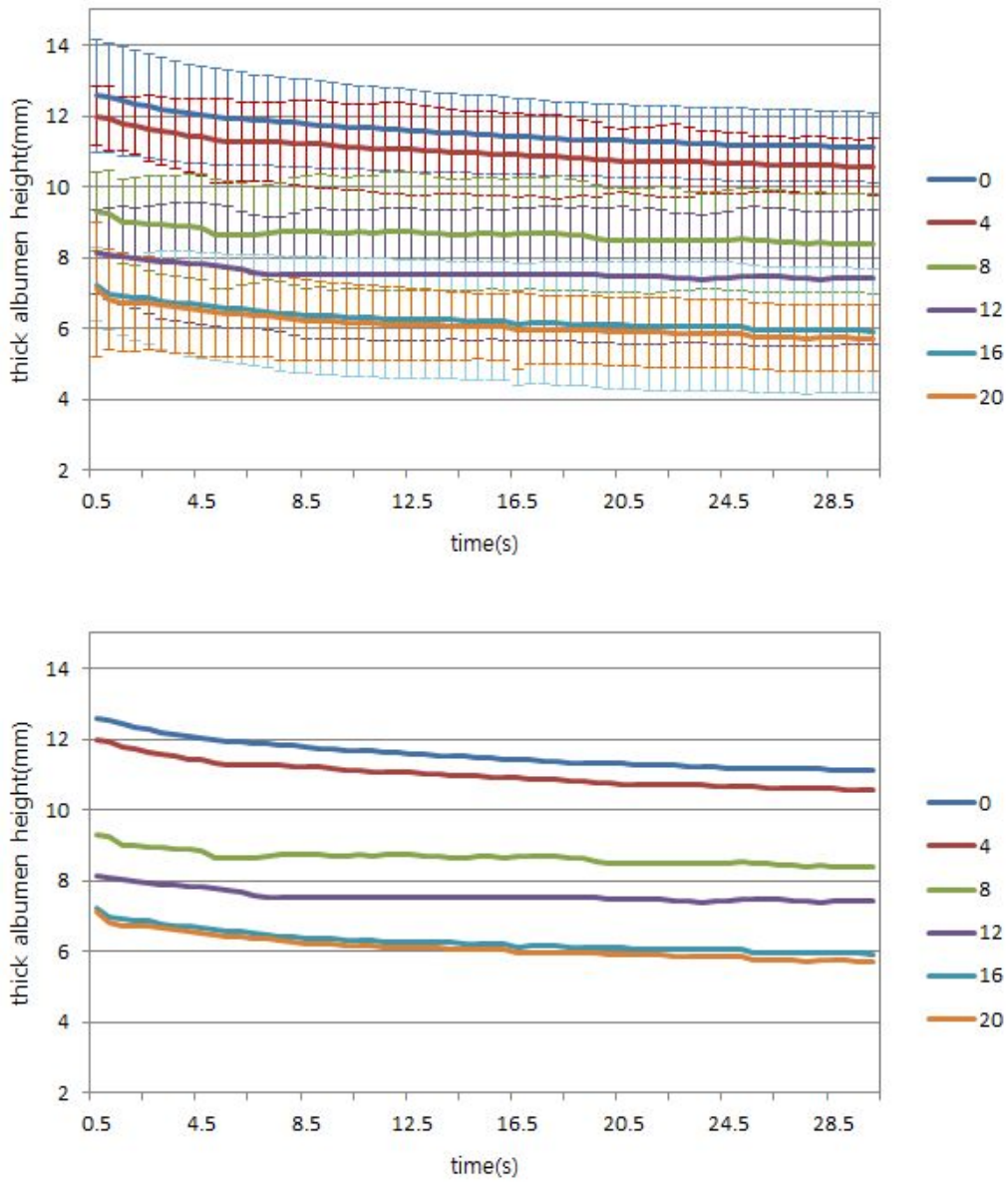


Fig. 109 Spread measure according to the store period for eggs stored at 20°C

저장 온도 35°C에서는 20°C에 비하여 신선도가 급격히 낮아지는 것을 확인하였다. 초기 난백높이를 기준으로 5°C에서는 저장 기간동안 높은 신선도를 지속적으로 유지하였으나, 저장 온도가 증가함에 따라 신선도가 급격하게 떨어지는 것을 확인하였다.

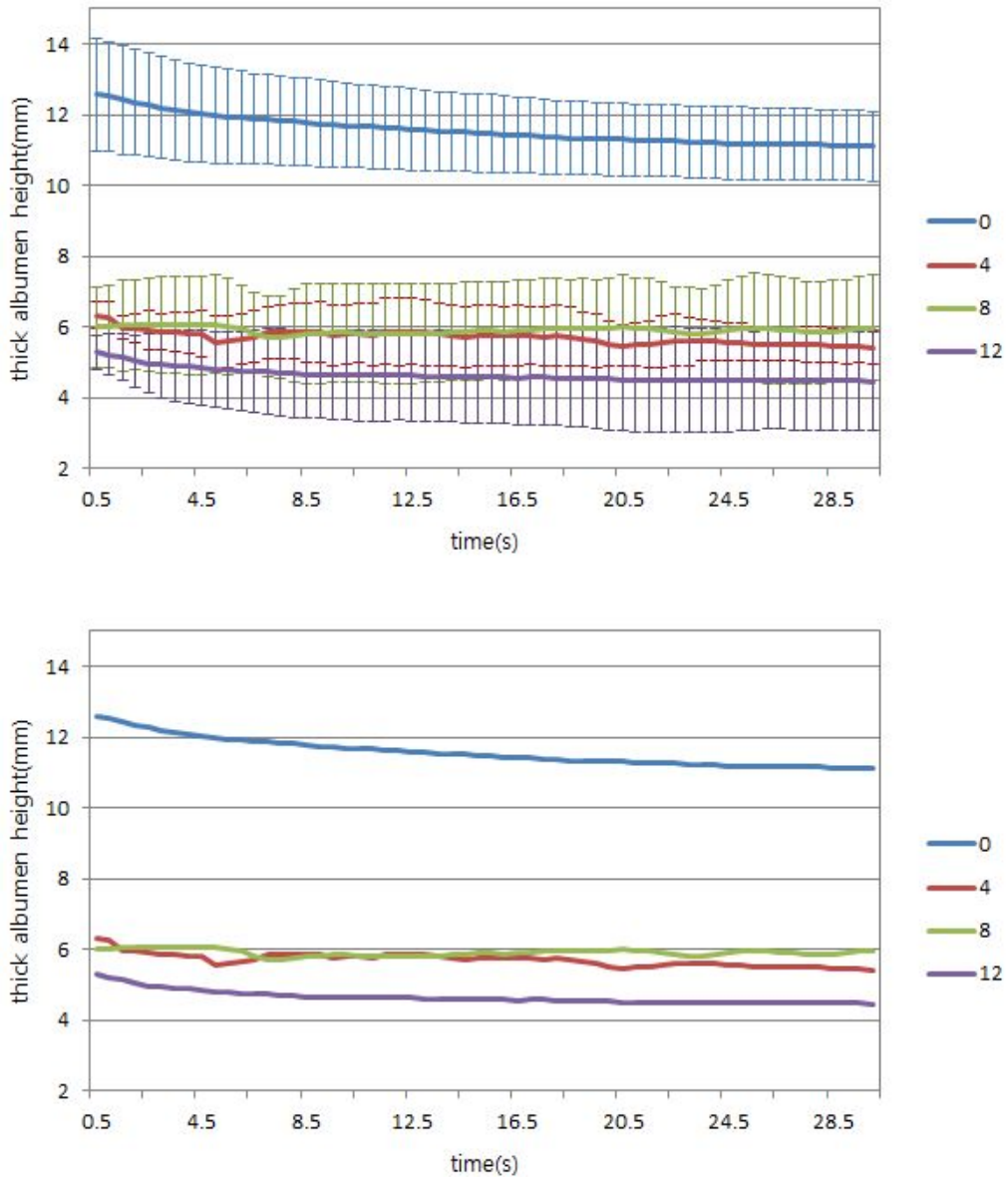


Fig. 110 Spread measure according to the store period for eggs stored at 35°C

특히 35°C에서는 20°C에 비하여 측정이 불가능한 저장 기일이 20일에서 12일로 낮아졌다. 이는 고온 저장으로 인한 신선도 변화가 더욱 빠르게 진행되어 난백높이가 기기적으로 측정할 수 없는 난백높이에 해당하는 신선도까지 신선도 감소가 빠르게 진행되어진 결과이다.

라. 20℃에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 따른 호우유닛

저장 0일차인 가장 신선한 계란에 대한 호우유닛이 103으로 측정되었는데 이는 Caner(2005)의 실험값과 유사하였다.

그림 111는 저장 온도 5℃에서는 저장 기간동안 HU이 높게 측정되었는데, 이는 저장 기간 동안 호우 유닛에 영향을 미치는 무게와 농후 난백높이의 감소가 낮은 저장온도로 인하여 감소 속도가 낮아짐에 따라서 신선도가 오랜 저장 기간동안 높은 호우유닛을 유지할 수 있었다.

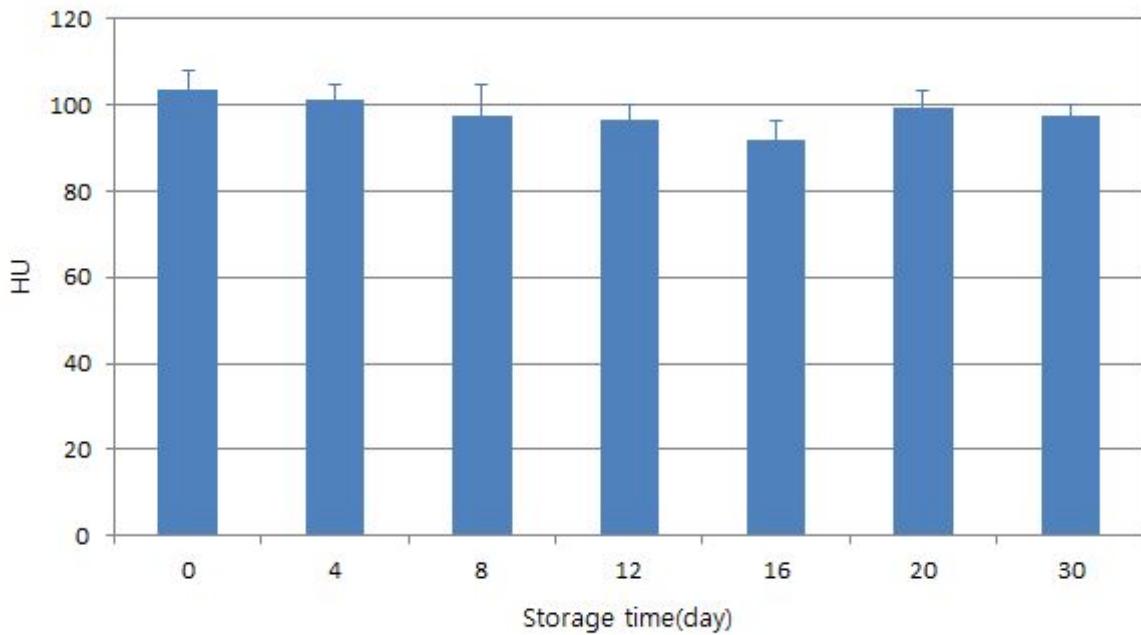


Fig. 111 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 5℃

그림 112은 저장 온도 20℃의 경우 서서히 호우유닛이 감소되었는데 이는 5℃에서 저장한 계란에 비하여 저장 기간이 증가함에 따라 더욱 낮은 수치를 나타내었지만 35℃에 비해서는 비교적 높은 수치를 기록하였다.

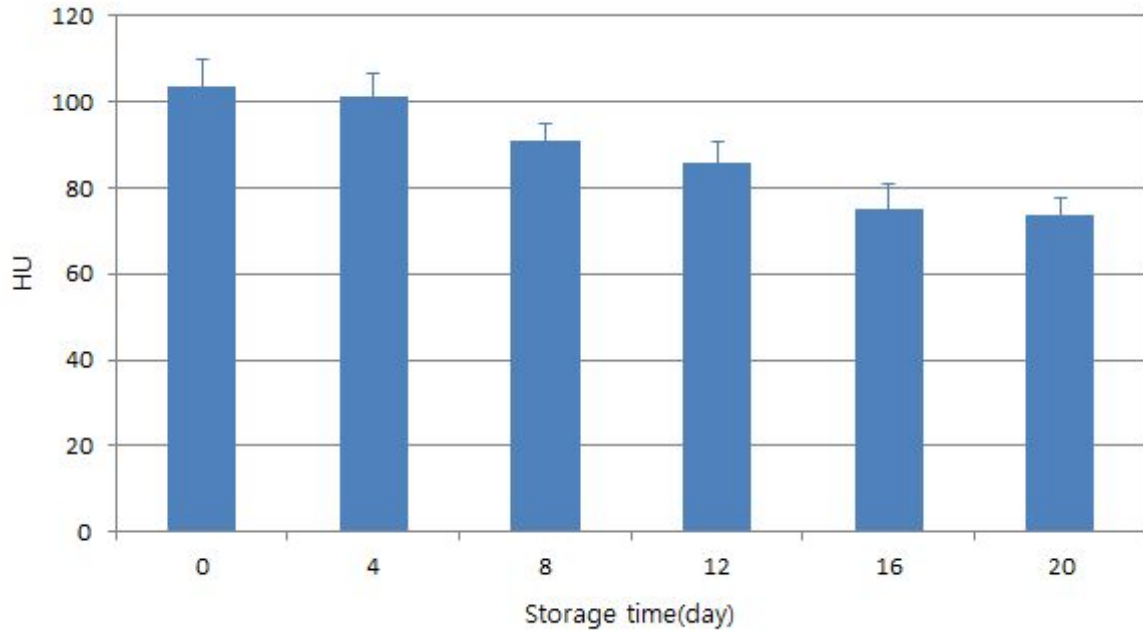


Fig. 112 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 20°C

그림 113은 35°C에서 저장한 계란에 대한 저장기간에 호우유닛을 측정된 그래프이다. 35°C에서의 저장시에는 저장 기간이 지남에 따라서 호우 유닛이 초기 0일차에 비하여 급격하게 낮게 측정되는데 이는 호우 유닛의 수치가 농후 난백의 높이와 계란의 무게와 연관되기 때문이다.

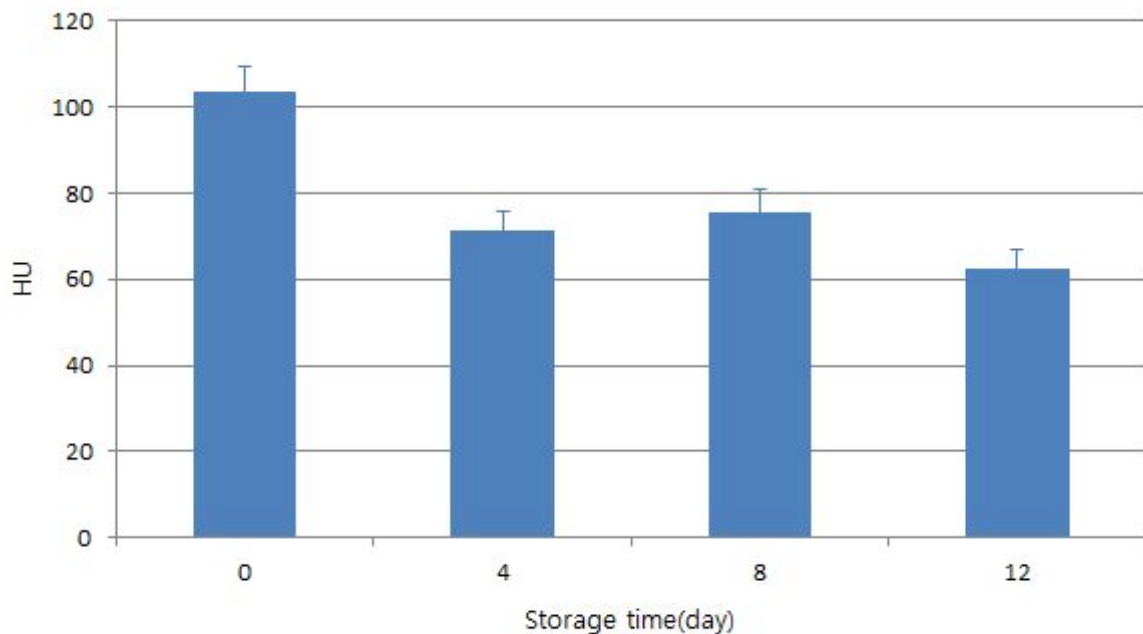


Fig. 113 Haugh unit according to the store period for eggs stored at 35°C

저장 기간이 증가함에 따라서 농후 저장 초기 기간동안 농후 난백의 높이가 급격하게 감소

하고 무게에 관해서는 선형적으로 지속적으로 감소하기 때문에 이에 따른 호우 유닛 또한 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다.(Jones et al., 2002)

이러한 현상에 대해서는 저장 기간이 증가함에 따라서 pH가 증가하고 이에 따른 오보뮤신-라이소자임 복합체가 분리됨에 따라 오보뮤신의 탄수화물 함량이 감소하는 등 다양한 가설들이 제시되고 있다.(Thesmar and Kerr, 2005)

이러한 원인으로 인한 호우 유닛을 통한 신선도 평가 지표는 grade A, $HU > 55$; B, $31 < HU < 54$; C < 30 을 기준으로 측정하고 있다.(Caner, 2005) 35℃ 저장 기간에 따른 신선도 등급의 변화는 저장 기간 12일차 시기까지 A등급으로 측정이 되었다. 온도별 저장 기간에 따른 신선도 등급 측정치는 5℃의 경우 저장 기간 30일까지 A등급으로 측정되었으며, 20℃의 경우 측정이 가능한 20일차까지 A등급으로 측정되었으나 호우유닛 값은 지속적으로 감소하였다. 또한 35℃의 경우 측정이 12일까지 가능하였으며 20℃와 동일하게 호우유닛 값은 지속적으로 감소하였으며 초기 0일차와 4일차의 호우유닛값이 가장 급격히 감소하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구 목표 및 달성도

연도별 연구 목표 및 평가 착안점에 입각한 연구 목표의 달성도를 정리하면 다음 표와 같다.

(1) 주관연구기관(제1세부: 성균관대학교)

계란 품질의 결정인자들에 대한 정량화 계측 알고리즘 및 시스템 개발 구축

구분	연도	세부연구개발 목표	달성도(%)	내용
1차년도	2011	- 계란 품질 정량화 자동계측 시스템 개발	100 %	<ul style="list-style-type: none"> - 중량 측정 데이터 인터페이스 개발 - 프로그래시브 칼라컴퓨터시각 시스템이용한 계측기 개발 - Bar를 이용한 조명 시스템 개발 - 계란 투입 및 제거 유리판 - 계측 정밀도 +/- 0.25mm - 반복 정밀도 +/- 0.04mm - 계측속도 3초 이내측정 가능
		- 계란 품질인자의 정량화 자동 계측 알고리즘 개발	100 %	<ul style="list-style-type: none"> - 난황의 투영면적, 높이, 색상, 시간에 따른 변화율 측정 알고리즘 개발 - 농후난백의 투영면적, 높이, 색깔, 시간에 따른 변화율 측정 알고리즘 개발 - 실측 보정 알고리즘 개발
		- 품질인자의 측정 정밀도	100 %	<ul style="list-style-type: none"> - 농후난백, 난황의 높이 정밀도 (+/- 0.5mm) 이내 - 농후난백, 난황의 색상 (ΔE 0.1) - 농후난백, 난황의 투영면적 (+/- 16mm²)

(2) 협동연구기관(제1협동연구기관 : 강원대학교)

계란의 품질계측을 위한 최적인자 선정 및 품질 인자와 신선도의 상관관계 규명

구분	연도	세부연구개발 목표	달성도(%)	내용
1차년도	2011	- 계란의 품질인자와 신선도 상관관계 규명 및 최적인자 선정	100 %	- 계란 품질인자에 대해 저장기간 동안 변화 패턴 확인 - 이미지분석을 통한 난백높이 측정으로부터 호우유닛 측정완료 - 저장 기간에 따른 난백높이 하강 원인 규명
		- 유통품질 기준 확립에 있어서 시간에 따른 품질인자의 변화 조사	100 %	- 저장 시간에 따른 농후난백 높이, 난백의퍼짐도(탄성), 난황 색상 측정 완료 - 난황높이, 크기(체적), 난백 색상은 소프트웨어 미지원으로 측정불가
		- 기존 수입 계측 장치와의 성능 비교.	100 %	- 기존 계측 장치(점도계)와의 성능비교 완료
		- 개발 시스템의 축산물품질평가원에서의 적용 가능성 검증.	100 %	- 반복적인 저장 실험을 통하여 검증 완료 - 동일 시료 반복 계측: 오차범위 ± 최소 0.03 최대 0.06으로 계측 가능 - 동일 저장 조건 시료 계측: 오차범위 ± 최소 0.32 최대 2.51mm로 계측 가능

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 실용화·산업화 계획

1. 실용화 계획

기존에 상용화된 계란 품질 시스템을 개선을 하여 품질 규격화, 유통 및 안전성 확보를 통하여 유통체계를 합리화하고 소비자의 고품질 구매욕구와 선택 구매욕을 충족시킬 수 있다. 품질 판정 받은 원료란에 대해 생산자 번호와 계군번호 등을 기재한 등급판정확인서를 발급하고, 납품처별 공급수량과 구매한 액란의 생산이력을 추적할 수 있도록 축산물 검수 시스템을 보완하는 등 품질등급 표시를 통해 소비자가 계란을 구입할 때 계란의 품질등급과 판매가격을 비교하여 합리적인 판단을 할 수 있도록 정보를 제공함에 중점을 두었다.

2. 제품화 계획

- 1) 참여업체인 (주)중앙IT&T가 주도하여 컬러 컴퓨터시각을 이용한 품질 정량화 자동계측시스템을 제품화 및 시제품 출시 할 계획임.
- 2) 균일 LED 배면 평면 조명 시스템 개발
- 3) 할란 계측의 편이 및 정밀성 확보를 위한 계측 유리면 개발
- 4) 멀티 고해상도 컬러 카메라를 이용한 평면/측면 경계 영상 획득 시스템 개발
- 5) 외부 조명 배제를 위한 Curtain Wall 구축

3. 사업화 계획

본 과제에는 참여업체인 (주)중앙IT&T가 주도하여 컬러 컴퓨터시각을 이용한 품질 정량화 자동계측시스템을 제품화 및 시제품 출시 할 계획이며 제품 출시를 위해 균일 LED 배면 평면 조명 시스템 개발과 할란 계측의 편이 및 정밀성 확보를 위한 계측 유리면 개발 그리고 멀티 고해상도 컬러 카메라를 이용한 평면/측면 경계 영상 획득 시스템 개발 마지막으로 외부 조명 배제를 위한 Curtain Wall 구축 등이 포함되어있다.

- 1) 사업화 수준의 시스템 개발을 위하여 실제 축산물 등급 판정소에서 기존 시스템과 병행하여 적용성 시험을 수행하며, 기존의 시스템의 단점을 보완하는 개발체계를 구축
- 2) 시스템의 개발이 완료되고 계측시스템을 이용하여 계란 품질등급 결정에 필요한 최적의 품질인자가 선정되면 추가로 기술표준원 사업을 통하여 별도의 표준화 사업을 수행할

예정

- 3) 관련 학회 및 박람회 등을 통해 전체 시스템 개발과 성능에 관한 홍보
- 4) 개발한 시스템은 (주)중앙IT&T가 제품화하여 축산물품질평가원 및 국내 계란유통 관련 업체와 연구기관에 시판(50대/년) 공급할 예정
- 5) 중국으로 개발 시스템에 대한 수출 계획을 추진 및 과제 완료 즉시 제품 상용화 추진.
- 6) 계란 품질 계측 시스템 기술은 국내·국제 특허를 통해 보호

제 2 절 교육·지도·홍보 등 기술확산 계획 등

- 기존에 상용화된 계란 품질 시스템을 개선하여 품질 규격화, 유통 및 안전성 확보를 통하여 유통체계를 합리화하고 소비자의 고품질 구매욕구와 선택 구매욕을 충족한다.
- 품질판정 받은 원료란에 대해 생산자 번호와 계군번호 등을 기재한 등급판정확인서를 발급하고, 납품 처별 공급수량과 구매한 액란의 생산이력을 추적할 수 있도록 축산물 검수 시스템을 보완하는 등 품질등급 표시를 통해 소비자가 계란을 구입할 때 계란의 품질등급과 판매가격을 비교하여 합리적인 판단을 할 수 있도록 정보를 제공한다.
- 관련 학회 및 박람회 등을 통해 전체 시스템 개발과 성능에 관한 홍보를 한다.
- 시스템 개발의 완료를 통해 계측시스템을 이용하여 계란 품질등급 결정에 필요한 최적의 품질인자가 선정되면 추가로 기술표준원 사업을 통하여 별도의 표준화 사업을 수행할 예정이다.
- 기존 외산 장비 대처로 수입대체 효과를 극대화 하고 외산 장비의 사후관리의 문제점을 해결하여 계측기로 인해 소모 되는 비용과 시간을 줄인다.

제 3 절 특허, 연구 등 지식재산권 확보계획

1. 논문

카메라 렌즈에 간섭필터(501.6mm)가 부착된 고해상도 카메라를 이용하여 계란의 기실 크기를 측정하여 계란의 신선도 평가를 한다. 본 연구에서는 계란의 난황, 농후난백, 수양난백, 이물질, 호우단위 등에 필요한 영상계측정보를 획득하는 고정밀 컬러컴퓨터시각계측시스템을 개발한다.

또한 기존의 방법과 달리 할란하지 않고 비파괴적으로 측정할 수 있는 근적외선 분광 분석법을 이용하여 호 계란의 신선도 인자인 호우 유닛(HU) 값으로 측정하였다. 본 연구에서는 근적외선 분광 분석법을 이용하지 않고, 고정밀 컬러컴퓨터시각계측시스템을 개발하여 계란의 신선도 측정하는 알고리즘을 Biosystems Engineering Research 저널에 통해 발표할 계획이다.

투고 연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012		김남균	윤원병	황헌 고경철 반상형 홍윤기 조성호 이동구	산업식품 공학		국내	학진 등재지

2. 특허

기존 국내특허는 두 대의 카메라를 이용하여 할란 평면을 측정을 하여 난황과 난백의 높이를 측정하는 시스템으로서 본 연구진이 기술 이전한 특허이다. 기존 알고리즘의 개선 보완을 통한 측정 정밀도 향상 및 시간에 따른 난백과 난황의 변화율 측정 및 난배과 난황의 상관성을 측정하여 계란의 신선도와 관계를 규명 및 난백 이물질 여부, 시간에 따른 난백의 퍼짐도(탄성), 혈반이나 잔반, 알끈에 의해서 난백의 높이변화 오차를 보정하는 알고리즘을 개발하여 특허를 출원을 할 계획이다.

출원기관	보유 방법론, S/W 및 H/W명	출원일	특허출원 등록 여부	특허출원 · 등록일자	용 도
성균관 대학교	계란 품질 정량화 자동계측 시스템 개발	2012.12.13	출원	10-2012-014563 2	품질측정 시스템

제 4 절 추가연구, 타연구에 활용 계획 등

1. 추가 연구계획

- 정밀도 향상을 위한 단위 계측모듈의 교체 및 조명 시스템 구축
 - 상부(Top-View) 영상의 정밀도 향상을 위해 Auto-focus 기능이 추가된 고해상도 칼러 프로그래시브 카메라 적용.
 - 측면영상의 정밀도 향상을 위해 Auto-focus 기능이 추가된 고해상도 칼러 프로그래시브 카메라 적용.
 - 외부 조명의 간섭을 최소화하기 위한 상단부 조명 시스템 구축, 하단부 조명 보완 및 ON/OFF 인터페이스 개발.
(Bar형 LED를 이용한 간접 주사형 조명시스템)
 - 카메라 렌즈 보호 박스 구축
- 계란의 부피 및 중량 정밀측정 시스템 구축
 - 고 정밀계측용 로드셀(± 0.05 gram) 4세트를 이용한 시스템 구축.
 - 십자형 구조광 설치를 통한 계란 위치시스템 구축과 ON/OFF 인터페이스 개발.
 - 부피, 중량, 및 밀도 측정용 소프트웨어 모듈 개발
계란 전체, 난각, 난황 및 난백.
- 시스템 기능의 통합 및 경제성 확보
 - 난황 난백의 퍼짐을 측정.
 - 호우 유닛 측정(농후 난백의 높이와 계란의 중량).
 - 난황과 농후 난백의 표준 색상계측.
 - 기하학적 보정 Template, 색상 보정 Template 구축
 - 측정 영상과 계측값의 데이터베이스화.
 - 1,500만원~1,800만원 범위의 시스템 판매가격.
- 산란계의 사양 관리를 위한 시스템의 적용성 연구
- 신선도 측정을 위한 다양한 계측인자의 표준화 연구

2. 타연구에 활용 계획

- 해당 사항 없음 -

제 6 장 참고문헌

1. Hao Lin, Jiewen Zhao, Li Sum, Quansheng Chen, Fang Zhou. (2011). Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis, 12 ,182-186
2. Ande Liu, Yibn Ying, Aiguo Ouyang, Yanbin Li. (2007). Measurement of internal quality in chicken eggs using visible transmittance spectroscopy echnology, 18 ,18-22
3. L. Ragni; P. Gradari; A. Berardinelli A. Giunchi; A. Guarnieri, (2006). Predicting Quality Parameters of Shell Eggs using a Simple Technique based on the Dielectric Properties, 94, 255-262
4. V.G. Narushin¹, T.A. van Kempen², M.J. Wineland², V.L. Christensen, (2004). Comparing Infrared Spectroscopy and Egg Size Measurements for predicting Eggshell Quality, 87,367-373
5. M.M. Gongora-Nieto a, P.D. Pedrow b, B.G. Swanson c, G.V. Barbosa-Canovas a, Energy analysis of liquid whole egg pasteurized by pulsed electric fields, 57, 209-216
6. Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods. Digital Image Processing.
7. S. H. Lee. 2000. Machine Vision System for On-Line Extraction and Quantification of Appearance Quality Factors of Apple, 박사학위논문
8. K. M. Kim, D, W. Seo, and J. K. Chun, 1996. Image Processing System for Color Analysis of Food, Korean J. Food SCI. Technol. Vol 28, No. 4, pp. 786-789
9. Chen 2002. Machine vision technology for agricultural applications, Computers and Electronics in Agriculture 36, pp. 173-191
10. Kitchen, P. W. and A. Pugh. 1981. Processing of Binary Images, Robot vision
11. K. M. Kim, 1996. Analysis of Food Storage and Process with Computer Image Processong System, 박사학위논문
12. 김상호 외 7명, 2005. " 근적외선 분광법을 이용한 새로운 비파괴적 계란 신선도 측정방법의 개발에 관한 연구" , 동덕여자대학교 약학과,
13. 박 찬원, 안광희, 1995. " 로드셀 중량센서용 A/D 인터페이스의 개발." , 강원대학교 전기공학과.
14. 권오정, 1992. " 무게 측정에 의한 원료 정량 투입 제어 방법." , 서강대학교 화학공학과.
15. 김현태 외 5명, 2007. "계란의 신선도 결정과 영상분석을 이용한 내부품질 측정." , 바이오시스템공학.

16. Pietro Rocculi, Urszula Tylewicz, Agata Pekoslawska, Santina Romani, Federico Sirri, Valentina Siracusa, M. D Rosa. 2009. MAP storage of shell hen eggs, Part 1: Effect on physico-chemical characteristics of the fresh product. *Food Science and Technology* 42:758-762
17. Libor Severa, Sarka Nedomova, Jaroslav Buchar. 2010. Influence of storing time and temperature on the viscosity of an egg yolk. *Journal of Food Engineering* 96:266-269
18. M. Rossi et al. 1996. Evolution of chemical and physical albumen characteristics during the storage of shell eggs. *Food Chem.* 44:1235-1240.
19. B. J. Kemps, F. R. Bamelis, K. Mertens, E. M. Decuyper, J. G. D. Baerdemaeker, B. D. Ketelaere. 2010. The assessment of viscosity measurements on the albumen of consumption eggs as an indicator for freshness. *Poultry Science* 89:2699-2703
20. FAO. 2003. Egg marketing-A guide for the production and sale of eggs. pp. 29-93.
21. Silverside, F. G. and P. Villeneuve. 1994. Is the Haugh unit correction for egg weight valid for eggs stored at room temperature. *Poult. Sci.* 73:50-55.
22. Baker, R. C. and D. V. Vadehra. 1972. Comparison of candling eggs with other methods of determining internal egg quality. *Poult. Sci.* 51(3):991-994.
23. Hamilton, R. M. G and B. K. Thompson, 1981. The effects of storage duration on nondestructive deformation, quasi-static compression strength, impact fracture strength, and specific gravity of eggs from white leghorn hens. *Poult. Sci.* 60:517-522.
25. Eisen, E. J. and B. B. Bohem. 1963. Some problems in the evaluation of egg albumen quality. *Poult. Sci.* 42:74-83.
26. Arafa, A. S., R. H. Harms, R. D. Miles, R. B. Christmas and J. H. Choi. 1982. Quality characteristics of eggs from different strains of hens as related to time of oviposition. *Poult. Sci.* 61(5):842-847.
27. H. T. Kim, H. J. Ko, K. Y. Kim, K. Kato, Y. Kita, T. Nishizu. 2007. Determination of egg freshness and internal quality measurement using image analysis. *Journal of Biosystems Engineering.* 32(3):166-172
28. D. J Song. 2006. *Monthly poultry.* January:136-137
29. Caner, C. 2005. The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 85:1897-1902.
30. D. R. Jones, J. B. Tharrington, P. A. Curtis, K. E. Anderson, K. M. Keener, F. T. Jones. Effects of cryogenic cooling of shell eggs on egg quality. *Poultry Science.* 81:727-733

주 의

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