



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0085075
(43) 공개일자 2025년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 29/24 (2006.01) G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01) G01N 33/08 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 29/2437 (2013.01)

G01N 29/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0173939

(22) 출원일자 2023년12월05일

심사청구일자 2023년12월05일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

조병관

대전광역시 유성구 학하로 33 학하리슈빌 학의뜰
아파트 103-701

김진우

경상남도 진주시 진주대로 501 경상대학교 456동
212호

노태균

대전광역시 유성구 대학로 99 충남대학교 농업생
명과학대학 2호관 2105호

(74) 대리인

이충한

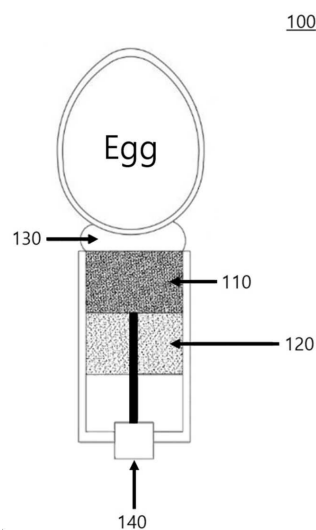
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환 장치

(57) 요약

본 발명은 계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 계란의 품질을 평가할 수 있도록 계란을 깨뜨리지 않고 계란의 난각 두께 및 계란의 신선도를 측정하는데 이용될 수 있는 표면적응형 초음파 변환 장치에 관한 것이다. 본 발명의 일양태에 따르면, 계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기가 제공된다. 초음파 변환기는, 초음파 변환기의 몸체를 형성하는 케이스; 상기 케이스 내의 선단 측에 배치되는 압전소자; 상기 압전소자의 이면에 상기 압전소자와 접촉되면서 케이스 내에 배치되는 후면재; 상기 압전소자의 표면측에 압전소자와 접촉되도록 케이스의 전방에 배치되는 전면 정합층; 및 상기 케이스의 후면에 배치되고 신호 송수신을 위한 커넥터를 포함하고, 상기 전면 정합층은 초음파 변환기의 내부측을 향해 불록한 형상을 갖도록 형성된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01N 29/221 (2013.01)

G01N 33/08 (2013.01)

G01N 2291/02483 (2013.01)

G01N 2291/02854 (2013.01)

G01N 2291/101 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711192845
과제번호	00165981
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	계란의 기계적 성질 평가를 위한 딥러닝 기반 표면적응형 초음파 변환기 개발
기 여 율	0.5/1
과제수행기관명	경상국립대학교 산학협력단
연구기간	2022.09.01 ~ 2025.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1545027187
과제번호	320001044HD050
부처명	농림축산식품부
과제관리(전문)기관명	농림식품기술기획평가원
연구사업명	농식품기술융합창의인재양성
연구과제명	특수대학원 교육훈련 및 스마트온실 기자재 호환성 확보를 위한 통신 변환기 개발
기 여 율	0.5/1
과제수행기관명	경상국립대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.29 ~ 2024.01.28

명세서

청구범위

청구항 1

계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기에 있어서;
초음파 변환기의 몸체를 형성하는 케이스;
상기 케이스 내의 선단측에 배치되는 압전소자;
상기 압전소자의 이면에 상기 압전소자와 접촉되면서 케이스 내에 배치되는 후면재;
상기 압전소자의 표면측에 압전소자와 접촉되도록 케이스의 전방에 배치되는 전면 정합층; 및
상기 케이스의 후면에 배치되고 신호 송수신을 위한 커넥터를 포함하고,
상기 전면 정합층은 초음파 변환기의 내부측을 향해 볼록한 형상을 갖는 것을 특징으로 하는
계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 전면 정합층의 두께는 4.5mm 내지 5.5mm의 범위 내에 있는 것을 특징으로 하는
계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 압전소자의 중심주파수는 3.5 MHz 내지 4.5 MHz의 범위에 있는 것을 특징으로 하는
계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 후면재는 텅스텐 파우더와 에폭시레진의 혼합물로 이루어진 것을 특징으로 하는
계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기.

청구항 5

제2항에 있어서,
상기 전면 정합층의 두께는 초음파 변환기와 계란 사이에서 음파의 완전 투과 조건과 파장(λ) 조건 이용하여
아래의 식:

$$t = \frac{2n-1}{4} \lambda, (n=1,2,3 \dots)$$

에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는
계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 계란을 깨뜨리지 않고 계란의 품질을 평가할 수 있도록 계란의 난각 두께 측정 및 계란의 신선도를 측정할 수 있는 표면적응형 초음파 변환 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 안전한 먹거리에 대한 소비자들의 관심이 높아지고 있는 상황에서 계란은 일반가정 및 학교급식 등에서 가장 많이 사용되는 식재료중 하나이다. 2017년 살충제 계란과동이후 정부는 계란의 안전한 유통망 구축을 위해 2019년 2월부터 산란일자 표시제도를 시행하고 있다. 계란의 신선도는 산란일자 확인을 통하여 가늠해 볼 수는 있지만 보관환경 이력에 대한 확인이 어려워 산란일자 경과만으로는 계란의 신선도를 단정하기는 어렵다.

[0005] 계란은 크기가 작고 일일 생산량이 많아서 품질평가 및 유통과정에서 파손 위험이 높으며, 또한 난각으로 인해 내부 품질 측정이 어렵다. 난각은 계란의 외부를 둘러싸고 있으며 외부 충격이나 오염으로부터 내부에 있는 난백과 난황을 보호하는 역할을 수행한다. 그리고 난각 안쪽에 있는 얇은 막(외난각막, 내난각막)은 계란의 내용물을 안전하게 유지시키는 역할을 수행하며, 이 막은 난각이 얇아수록 이와 비례하여 얇게 형성되는 특성이 있다.

[0007] 난각의 두께와 신선도는 계란 유통과정 및 저장과정에서 향후 계란의 품질 유지를 위한 중요한 인자로 작용한다. 난각이 얇으면 계란 내부의 신선도와 박테리아로부터 보호 기능이 저하될 수 있고, 계란의 신선도가 처음부터 좋지 않은 계란은 부패로 이어질 수 있기 때문에 품질 및 안전성 측면에서 산란 후 계란 등급판정시 난각 두께 측정과 계란의 신선도 측정은 필수적이다.

[0009] 하지만, 현재 시행되고 있는 계란 등급판정 방법은 계란의 중량을 측정한 후 깨뜨려서 농후난백의 높이를 측정하여 호우유닛(HU)값을 계산하는 파괴적인 검사 방법이 알려져 있다. 그러나 이와 같은 파괴적인 검사 방법은 계란을 깨뜨리는 과정에서 계란 손실비용이 발생하고 측정 시간이 오래 걸리며 자동화가 어렵다는 단점이 있으며, 또한 판정물량이 많을수록 손실비용이 비례해서 증가하는 문제점이 있다. 따라서 계란의 신선도와 난각 두께를 빠르고 정확하게 측정하여 제공할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 전술한 문제점에 기반하여 비파괴적인 방식으로 계란의 품질을 평가하기 위해 계란의 난각 두께 및 신선도를 측정하는데 이용될 수 있는 표면적응형 초음파 변환 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0012] 또한 본 발명은 비파괴적인 계란의 품질검사를 통해 종래 호우유닛 검사에서 발생하는 비용을 절감하고 소비자에게 계란품질에 대한 정확한 정보 제공을 통해 국내 유통 계란에 대한 신뢰성 증진하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 전술한 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일양태에 따르면, 계란의 품질 평가를 위한 표면적응형 초음파 변환기

가 제공된다. 초음파 변환기는, 초음파 변환기의 몸체를 형성하는 케이스; 상기 케이스 내의 선단측에 배치되는 압전소자; 상기 압전소자의 이면에 상기 압전소자와 접촉되면서 케이스 내에 배치되는 후면재; 상기 압전소자의 표면측에 압전소자와 접촉되도록 케이스의 전방에 배치되는 전면 정합층; 및 상기 케이스의 후면에 배치되고 신호 송수신을 위한 커넥터를 포함하고, 상기 전면 정합층은 초음파 변환기의 내부측을 향해 볼록한 형상을 갖도록 형성된다.

[0016] 전술한 양태에서, 전면 정합층의 두께는 4.5mm 내지 5.5mm의 범위 내에 있는 것이 바람직하다. 전면 정합층의 두께는 계란의 두께 측정시 초음파 변환기에서 자체적으로 발생하는 메인방(main bang)의 신호에 난각 신호의 관측이 불가능하기 때문에 충분한 지연선(delay line)을 두어 난각의 초음파 탐상이 가능하도록 설계한다.

[0018] 또한 전술한 양태에서 압전소자의 중심주파수는 3.5 MHz 내지 4.5 MHz의 범위에 있는 것이 바람직하다. 난각의 두께 측정의 경우 계란 신선도 평가를 위한 중요 파라미터 중 하나이기 때문에, 계란의 두께 측정을 할 수 있는 범위의 중심주파수가 설정되어야 한다. 일반적으로 중심주파수와 음파속도와의 관계를 이용한 두께 측정이 가능한 범위는 $1/4 \lambda$ (0.09 mm)이기 때문에, 난각의 두께(약 0.35 mm)를 고려하면 충분한 분해능을 제공하기 위해 3.5 MHz 내지 4.5 MHz의 중심주파수가 바람직하다.

[0020] 또한 전술한 어느 하나의 양태에서 후면재는 압전소자 후면에서 생성되는 진동 에너지를 감쇠시키고 초음파 변환기의 분해능을 조절하는 기능을 수행할 수 있도록 텅스텐 파우더와 에폭시레진의 혼합물로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0022] 또한 전술한 어느 하나의 양태에서 상기 전면 정합층의 두께는 초음파 변환기와 계란 사이에서 음파의 완전 투과 조건과 파장(λ) 조건 이용하여 아래의 식:

$$t = \frac{2n-1}{4} \lambda, (n=1,2,3 \dots)$$

[0023]

[0024] 에 의해 구해지는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0026] 본 발명에 따르면 비파괴적인 방식으로 계란의 품질을 평가하기 위해 계란의 난각 두께 및 신선도를 측정하는데 이용될 수 있는 표면적용형 초음파 변환 장치를 제공할 수 있으며, 이를 통해 종래 호우유닛 검사와 같은 계란 품질검사 과정에서 발생하는 비용을 절감하고 소비자에게 계란품질에 대한 정확한 정보 제공을 통해 국내 유통 계란에 대한 신뢰성을 증진할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 계란의 내부 구조를 나타내는 도면;

도 2는 본 발명에 따른 초음파 변환기의 구조를 개략적으로 도시한 도면;

도 3은 본 발명에 따른 초음파 변환기를 이용한 측정 시스템의 구성을 나타내는 도면;

도 4는 본 발명의 실시예에 따라 제작된 초음파 변환기와 이를 통해 측정된 펄스-에코 파형을 나타내는 도면; 및

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 초음파 변환기를 통해 측정된 초음파 펄스-에코 파형과 종래의 초음파 변환기를 통해 측정된 초음파 펄스-에코 파형을 비교하는 도면을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되는 실시예를 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이다.
- [0031] 본 명세서에서 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 그리고 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 따라서, 몇몇 실시예들에서, 잘 알려진 구성 요소, 잘 알려진 동작 및 잘 알려진 기술들은 본 발명이 모호하게 해석되는 것을 피하기 위하여 구체적으로 설명되지 않는다.
- [0033] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다. 그리고, 본 명세서에서 사용된(언급된) 용어들은 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 또한, '포함(또는, 구비)한다'로 언급된 구성 요소 및 동작은 하나 이상의 다른 구성요소 및 동작의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0035] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 정의되어 있지 않은 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0037] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명하도록 한다. 도 1은 계란의 구조를 설명하기 위한 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이 계란은 크게 껍질, 노른자위, 흰자위로 구성되어 있으며, 계란의 겉면은 단단한 껍데기인 난각으로 싸여 있고, 난각 내부에 2층의 속껍질(외난각막 및 내난각막)이 존재하며, 속껍질 안에는 흰자위(난백)이 존재하고, 난각과 노른자위(난황) 주위에는 묽은 흰자위(내수양난백, 외수양난백)이 존재하고, 그 중간에 농후 난백이 더 존재한다.
- [0039] 계란의 외부 구조는 외적으로 침단부와 둔단부로 구분되며, 내부 구조는 난각(계란 껍질), 난각막, 난백(흰자), 그리고 난황(노른자)으로 구성되어있다. 내부 구조는 난각, 난각막, 난백, 난황으로 구성된다. 난각은 계란의 외부를 둘러싸고 있으며 외부 충격이나 오염으로부터 내부에 있는 난백과 난황을 보호하는 역할을 한다. 난각막은 난각과 난백 사이에 위치하는 얇은 막으로, 외난각막과 내난각막으로 나뉘며 이 사이에는 공기 주머니(기실)가 형성된다. 이러한 구조들은 계란의 내부 성분을 보호하고 올바른 환경을 제공하는 역할을 하며, 계란의 신선도와 보존을 도와주는 역할을 한다. 이러한 계란의 주요 구성요소는 계란 품질을 결정하는 주요 변수이며, 닭의 사육환경, 유통, 저장 조건에 따라 변화될 수 있다.
- [0041] 초음파 탐상에 의한 계란 품질 평가는 계란 내부로 투과되는 초음파 속도 변화를 측정하여 수행되고 있다. 저장 기간이 늘어나고 저장온도가 높아질수록 계란을 투과하는 초음파 속도는 느려지는 경향이 있다. 또한 계란 기실은 저장 기간이 증가함에 따라 수분이 증발하고, 이산화탄소가 배출되고 함께 외부공기가 유입되어 부피가 증가한다. 또한 난각 두께는 산란계의 주령이 적을수록 두껍고 튼튼한 경향이 나타난다. 따라서 초음파 시스템을 계란 품질평가에 사용하기 위해서는 무엇보다 계란 내부에 안정적인 초음파 에너지의 송·수신이 필수적이다.
- [0043] 이를 위해, 평평한 전면 정합층을 갖는 초음파 변환기를 사용하는 경우 굴곡진 계란의 표면에서 효과적으로 초음파 에너지를 전파하기 매우 어려운 단점이 나타나게 된다.
- [0045] 본 발명은, 초음파를 계란 내부에 효과적으로 전달하기 위해, 난각의 기하학적 형태에 잘 접촉될 수 있는 부드

러운 재질의 전면 정합층이 선정되어야 하고 초음파 탐상을 위한 압전소자 및 후면재를 선정하여 계란 신선도 및 난각 두께를 측정할 수 있는 초음파 변환기를 설계·제작하였다.

[0047] 이를 위하여 계란 신선도 평가용 초음파 변환기의 최적 설계 조건 구명하였으며, 특히 계란과 압전 사이에 위치하여 직접 초음파 에너지를 송·수신 하는 전면 정합층의 제원 도출에 중점을 두었다.

[0049] 또한 계란의 내부구조와 초음파 투과 경로를 고려하여 초음파 변환기의 위치 및 초음파 송·수신 방법을 결정하였다. 최종적으로 제작된 초음파 변환기를 사용하여 계란 내부 투과 신호와 난각의 껍질의 두께를 측정하였으며, 제작된 초음파 변환기의 성능평가를 위해 제작된 초음파 변환기의 계란 초음파 신호와 일반적인 상용 초음파 변환기와의 초음파 신호의 송·수신 감도를 비교하였다.

[0051] 초음파 변환기는 초음파를 생성하고 감지하는 장치로서 전기에너지를 초음파 에너지로 변환시킴과 동시에 수신된 초음파 에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치를 의미한다. 초음파 변환기의 개발에는 초음파 주파수, 파형, 그리고 전파 방향과 관련하여 초음파 에너지의 형태를 고려해야 한다.

[0053] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 계란 탐상을 위한 초음파 변환기(100)의 예시적인 실시예를 나타낸 도면이다. 계란 품질평가를 위해 계란의 초음파 속도의 측정이 필수적인데, 이는 난백 및 난황의 초음파 속도가 저장 환경(저장기간 및 온도)에 따라 변화하기 때문이다. 따라서 본 발명에서는 계란의 초음파 탐상 위치는 난백 및 난황이 동시에 위치하고, 난각의 초음파 신호를 뚜렷하게 알 수 있는 계란의 둔단부로 결정하였다. 추가적으로, 기실은 산란 후 외부 노출 후 냉각 및 수축에 의해 기실이 넓어지기 시작하며 이는 내부 수분이 증발하고 내용물은 수축하기 때문에 그 공간(기실)으로 인하여 난각의 두께와 난백 및 난황의 초음파 신호를 보다 정확하게 구분하여 측정 가능하다. 본 발명에서는 계란의 둔단부 초음파 측정 방법으로 계란의 난각과 신선도를 동시에 측정하기 위해 최적의 조건으로 설계하였다.

[0055] 초음파 변환기

[0056] 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 초음파 변환기(100)는 케이스 내에서 케이스의 선단측에 배치되는 압전소자(110); 압전소자(110)의 이면에 접촉되도록 케이스 내에서 배치되는 후면재(120); 압전소자(110)의 표면측에 접촉되도록 케이스 전방에 배치되는 전면 정합층(130); 및 케이스의 후면에 배치되는 커넥터(140)를 포함한다.

[0058] 1. 압전소자

[0059] 일반적으로, 우수한 초음파 송·수신 효율을 달성하기 위해, 압전소자(110)의 음향임피던스와 압전특성을 나타내는 압전상수(piezo-electric constant) 중 전기-기계 에너지 변환효율을 나타내는 전기-기계결합 상수 k_t 와 초음파 발생 능력을 나타내는 압전변형상수 d_{33} 값이 높은 압전소자를 선택해야 한다.

[0061] 압전소자의 음향임피던스(Acoustic impedance, $\text{kg/m}^2\text{s}$)는 수신 신호의 해석이 용이하도록 짧은 펄스 길이를 갖게 하여, 응답 주파수 도메인이 광대역(broadband) 특성을 갖도록 설정하였다. 이는 후면재(120)의 음향임피던스가 압전소자와 가까워질수록 광대역 특성이 구현될 수 있다. 본 발명에서 개발된 초음파 변환기는 두께측정기와 마찬가지로 초음파 반사(혹은 투과)신호의 주파수 스펙트럼이 60% 이상(광대역 특성)이 도출된다면 계란 신선도 평가를 위한 적절한 조건이라 판단하였다.

[0063] 계란의 경우 낮은 음향임피던스($1.95 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$)를 갖고 있기 때문에 다른 압전소자와 비교하여 상대적으로 음향임피던스가 낮은 압전소자가 선택되어야 한다. 압전소자의 중심주파수(Operating frequency)는 3.5MHz 내지

4.5MHz 사이에 있고, 가장 바람직하게는 4 MHz인 것이 좋다. 이는 일반적인 비파괴검사용 초음파 탐촉자의 공진 주파수인 1~10 MHz를 고려하였다.

[0065] 또한 난각의 두께 측정은 계란 신선도 평가를 위한 중요 파라미터 중 하나이기 때문에, 계란의 두께 측정을 할 수 있는 범위의 중심주파수를 설정하였다. 일반적으로 중심주파수와 음파속도와의 관계를 이용한 두께 측정이 가능한 범위는 $1/4 \lambda$ (0.09 mm)이기 때문에, 난각의 두께(약 0.35 mm)를 고려하면 충분한 분해능을 갖고 있다고 판단하였다. 필요에 따라 압전소자의 두께를 가공하여 원하는 주파수로 조절할 수 있다.

[0067] 표 1은 본 발명에서 고려한 압전소자 후보군의 제원을 나타내고 있으며, 최종적으로 낮은 음향임피던스($9.3 \times 106 \text{ kg/m}^2\text{s}$)와 높은 압전변형상수(d_{33})를 갖는 5C10 $\times$ 10S-WAuSpa가 압전소자로 선정되었다. 이는 일반적인 압전소자의 음향임피던스($30\sim35 \times 106 \text{ kg/m}^2\text{s}$) 보다 월등히 낮은 수치이다. 1-3 composite 형태의 압전소자는 작은 사각 기둥모양으로 압전소자를 절단한 후 압전소자 사이를 에폭시로 채워 제작하였기 때문에 밀도가 낮아져 일반 압전소자에 비해 낮은 음향임피던스를 갖는다.

[0068] [표 1] 계란 품질 평가를 위한 초음파 변환기에 이용되는 3개의 PZT의 스펙

Properties	PZTC-62	1-3 composite (2C10 $\times$ 10S-WAuSpa)	1-3 composite (5C10 $\times$ 10S-WAuSpa)
Acoustic impedance (kg/m ² s)	35	9.3	9.3
Density (kg/m ³)	7583	4350	4560
Sound velocity (m/s)	4615	7750	7500
Strain constant (d ₃₃)	500	440	680
Voltage constant (g ₃₃)	24.4	2020	1960
Curie temperature (°C)	210	310	250
Coupling factor (k _t)	0.52	0.48	0.51

[0069]

[0071] 2. 전면 정합층

[0072] 전면 정합층(130)은 초음파 탐상간 압전소자를 보호하는 역할(weat plate)과 탐상체와 압전소자 사이의 음향임피던스를 정합하여 압전소자와 탐상체간의 음향임피던스 차이로 인한 에너지 손실을 최소화하는 역할을 한다. 따라서 전면 정합층(130)의 설계는 높은 초음파 송수신 에너지 전달 효율을 갖는 적절한 음향임피던스 도출과 탐상체의 표면에 초음파 에너지 누설 없이 접촉하도록 하는 것이 중요하다. 위의 조건을 만족시키기 위한 전면 정합층(130)의 음향임피던스 Z_2 는 음파의 완전 투과 조건을 이용하여 식(1)과 같이 정의될 수 있다. 여기서, 난각의 음향임피던스 Z_3 은 $1.95 \times 106 \text{ kg/m}^2\text{s}$, 압전재료의 음향임피던스 Z_1 은 $9.3 \times 106 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 이다. 전면 정합층의 두께(t)는 초음파 변환기와 계란 사이에서 음파의 완전 투과 조건과 파장(λ) 조건(식(2))를 이용하여 도출하였다.

$$Z_2 = Z_1 \times Z_3 \quad (1)$$

$$t = \frac{2n-1}{4} \lambda, (n=1,2,3 \dots) \quad (2)$$

Where,

Z_1 : Acoustic impedance of piezoelectric materials
(kg/m²s)

Z_2 : Acoustic impedance of front matching layer
(kg/m²s)

Z_3 : Acoustic impedance of eggshell (kg/m²s)

t : Thickness of front matching layer (mm)

λ : Wavelength

[0073]

[0075] 따라서 전면 정합층(120)의 음향임피던스 Z2는 약 $4.26 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 로 결정되었으며, 전면 정합층(120)의 두께는 식 (2)로부터 초음파 변환기와 계란 사이의 거리를 고려하여 4.5 mm 내지 5.5 mm 사이의 범위, 특히 5 mm인 것이 가장 바람직하다.

[0077] 전면 정합층(120)의 두께를 두껍게 한 이유는 계란의 두께 측정시 초음파 변환기에서 자체적으로 발생하는 메인 방(main bang)의 신호에 난각 신호의 관측이 불가능하기 때문이다. 따라서 충분한 지연선(delay line)을 두어 난각의 초음파 탐상이 가능하도록 설계하였으며, 볼록한 형태로 설계하여 계란의 껍질에 충분히 접촉할 수 있도록 여유를 두었다. 최종적으로 2310 m/s의 초음파 전파 속도를 갖는 유연한 고분자 재료의 전면 정합층(120)을 선정하였다.

[0079] 3. 후면재

[0080] 후면재(120)는 압전소자의 후면에 위치하여 압전소자 후면에서 생성되는 진동 에너지를 감쇠시키는 댐퍼(Damper) 역할을 하여 초음파 변환기의 분해능을 조절하는 역할을 한다. 본 발명에서는 텅스텐 파우더(Tungsten powder 25 μm , Good fellow, England)와 에폭시레진(Araldite GY509, Huntsman, US)를 1:6으로 배합하여 탄성 에너지 감쇄를 위한 산란 역할을 위한 후면재($6 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$, 03 dB/mm)를 제작하였다.

[0082] 제작 과정에서 산란에 방해되는 공기 입자를 제거하기 위해 진공 챔버를 이용하여 내부의 기포를 제거하였으며, 최종적으로 상온에서 24시간 경화시켰다. 최종적으로, 개발된 계란 신선도 평가용 초음파 장치의 퍼포먼스 측정을 위한 초음파 시스템을 도 3와 같이 구성하였다.

[0084] 구성된 초음파 시스템은 펄스/리시버(DPR300, JSR Ultrasonics, USA), 오실로스코프(T3DS01204, Teledyne LeCroy, USA), 제작된 초음파 변환기, 및 탐상 시료인 계란으로 구성하였으며, 투과법(through transmission)을 이용하여 계란의 초음파 전파 속도 및 주파수 스펙트럼을 측정하였다. 펄스-에코법(pulse-echo)을 사용하지 않은 이유는 계란 내부의 형상이 구(spherical)형태이기 때문에 계란 내부에서 정반사 되어 수신된 초음파 에너지의 양이 매우 적었기 때문이다. 이후 전통적인 방식의 상용 초음파 변환기와 본 발명에서 개발된 초음파 변환기를 동일한 실험 조건하에 계란의 초음파 전파 속도를 측정하고 수신 파형을 비교·분석 하였다. 이와 반대로, 난각 두께 측정은 펄스-에코법을 사용하였으며, 투과법으로는 난각의 기하학적 구조상 측정이 불가하기 때문이다.

[0086] 전술한 바와 같이 초음파 변환기(100)의 제작을 위해 선정된 압전소자는 1-3 composite(5C10 $\times$ 10S-WAuSpa)이며 지름 12.7 mm, 두께 0.94 mm, 전면 정합층은 케이스의 내측방향으로 볼록한 형태로 도 4의 (a)와 같다. 초음파 변환기의 성능 평가를 위해 30 mm 깊이의 수조에서 반사신호를 획득하였으며, 반사신호로부터 Fast Fourier Transform (FFT)를 수행하여 개발된 초음파 변환기의 대역폭을 계산하였다.

[0087] 도 4의 (a)와 같이 제작된 초음파 변환기(100)와, 계란에 펄스-에코법을 이용한 반사 신호 파형이 도 4의 (b)에 도시된다. 초음파 변환기(100)의 외부 케이스 재질은 스테인리스 스틸이다. 획득한 펄스-에코 수신 파형으로부터, 최대 감도(V_p)는 약 3 V를 획득하였으며, 주파수 스펙트럼 분석결과 중심주파수(4 MHz), -6 dB 지점의 대역폭은 약 50%로 도출되었다. 이는 설계 주파수 및 분해능(60%) 보다 낮은 대역폭을 보여주지만, 이는 대역폭 조절을 위한 LC(인덕턴스-커패시턴스) 튜닝으로 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 초음파 변환기의 LC 튜닝을 통해 감도 및 대역폭을 10~20% 정도 조절이 가능하다. 본 발명에서는 계란의 기하학적 형상에 대응할 수 있는 전면 정합층을 갖으며 효과적으로 계란 내부를 투과할 수 있는 초음파 변환기를 설계·제작하는 것이기 때문에 전기적 튜닝은 배제하였다. 이는 향후 센서 및 시스템 고도화를 통해 보완할 예정이다.

[0089] 상용 초음파 변환기와의 성능 비교

- [0090] 본 발명의 실시예에 따른 표면적응형 초음파 변환기의 성능 시험을 위해 평평한 전면 정합층을 갖는 전통적인 방식의 상용 초음파 변환기를 이용하여 도 3과 같은 실험셋으로 동일한 조건의 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 계란의 횡단면 직선 길이는 48 mm이다. 초음파 변환기의 탐사를 위해 물(H₂O)을 커플런트(couplant)로 사용하였으며, 개발된 초음파 변환기의 표면적응형 전면 정합층이 온전히 계란 표면에 접촉함을 육안으로 확인하였다.
- [0092] 도 5는 본 발명에 따른 표면적응형 초음파 변환기의 수신파형(A, 붉은색)과 상용 초음파 변환기(B, 파란색)의 수신 파형을 동시에 나타내는 도면이다. 도 5에서 최대 크기를 갖는 지점의 시간은 0.74 μ sec이다. 전술했던 바와 같이, 본 발명에서 사용된 전면 정합층의 초음파 전달 속도는 2310 m/s로서, 투과법을 수행 하였을때 총 10mm 길이의 전면 정합층으로 이루어진 지연선을 통과한다. 따라서, 투과법으로 계란 내부를 투과시 약 4.32 μ sec 만큼 지연시간이 발생하며, 최종 초음파 투과시간은 약 3.14 μ sec로 도출된다. 따라서, 계란 투과한 초음파 속도는 상온(25℃)에서 약 1530 m/s로 계산되었다.
- [0094] 난각의 두께 측정
- [0095] 난각은 생산 환경, 사육 방식, 저장기간, 온도 등에 따라 변하기 때문에, 난각 두께는 계란의 품질과 통계적으로 매우 유의미한 관계가 있다. 난각의 주성분은 탄산칼슘(CaCO₃)으로서 사육 환경에 따라 약 1850~2000 m/sec의 범위를 갖으며, 일반적으로 계란의 영계의 난각 두께가 노계보다 두꺼운 경향이 나타난다. 또한, 계란은 둔단부의 난각 부분으로 수분과 이산화탄소가 날아가고 박테리아가 출입하기 때문에 둔단부의 난각조직이 치밀하고 두께가 두꺼울수록 계란의 신선도가 오래 유지된다. 따라서 계란의 둔단부 초음파 측정 방법으로 초음파 변환기 최적 설계조건에 따라 제작된 초음파 변환기를 이용하여 계란껍질 두께 측정을 진행하였다.
- [0097] 난각 두께는 투과법으로 측정할 수 없기 때문에 펄스-에코법으로 수행되었다. 펄스-에코법을 사용하였기 때문에, 계란의 기실이 위치하고 있는 둔면부에서 측정하였으며, 이는 기실이 공기로 구성되어 있기 때문에 난백으로 이루어진 부위에 비하여 초음파의 반사 신호를 더욱 잘 수신할 수 있었다.
- [0099] 본 발명에 따르면 비파괴적인 방식으로 계란의 신선도 및 난각의 두께를 측정할 수 있고, 따라서 비파괴적인 계란 신선도 측정을 통해 계란품질검사 과정에서 발생하는 비용을 절감하고 소비자에게 계란품질에 대한 정확한 정보 제공을 통해 국내 유통 계란에 대한 신뢰성을 증진할 수 있다.
- [0101] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0103] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively)처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처

리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장매체 또는 장치에 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0105] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0107] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

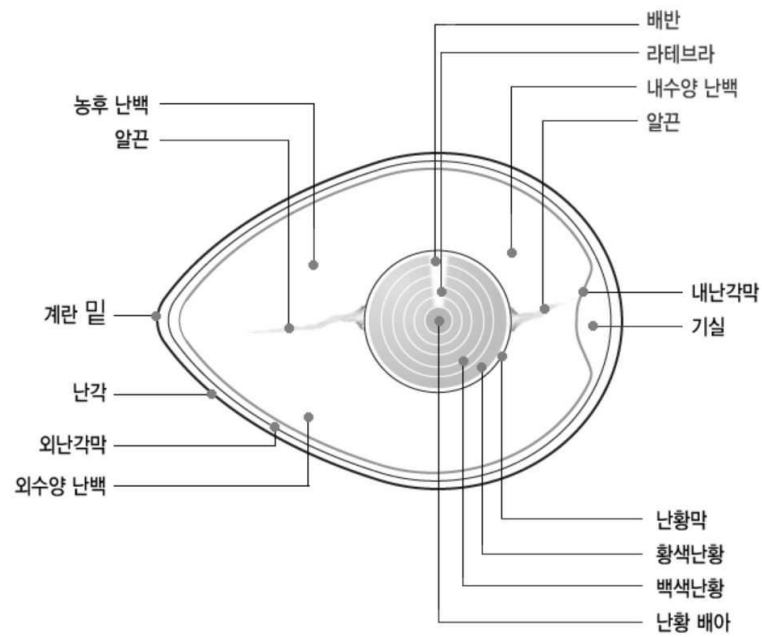
[0109] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속하는 것으로 해석되어야만 한다.

부호의 설명

[0111] 100: 초음파 변환기 110: 압전소자
120: 후면재 130: 전면 정합층
140: 커넥터

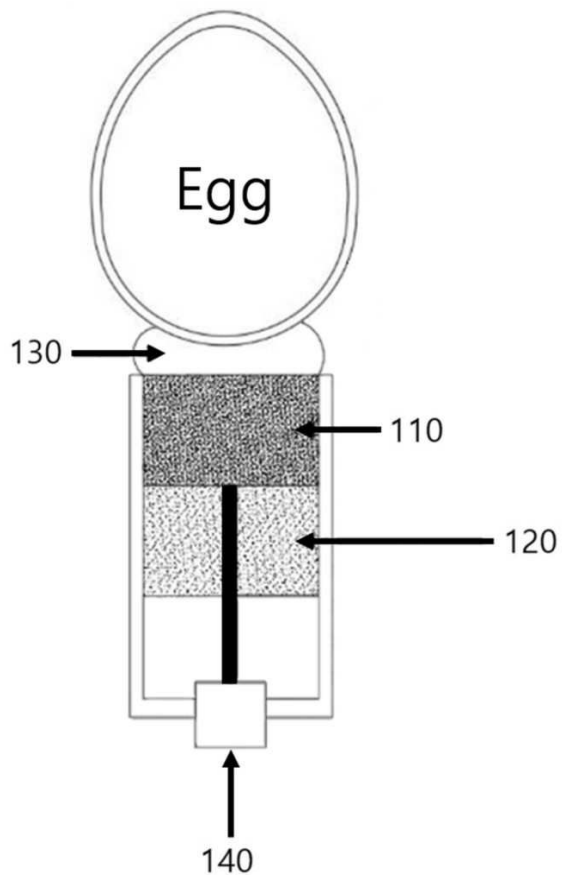
도면

도면1

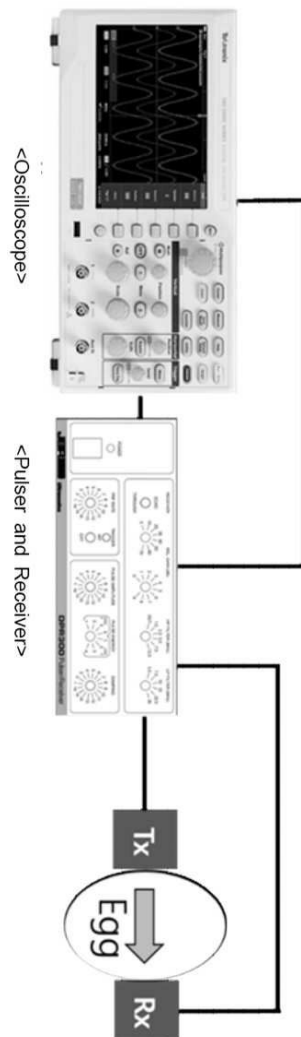


도면2

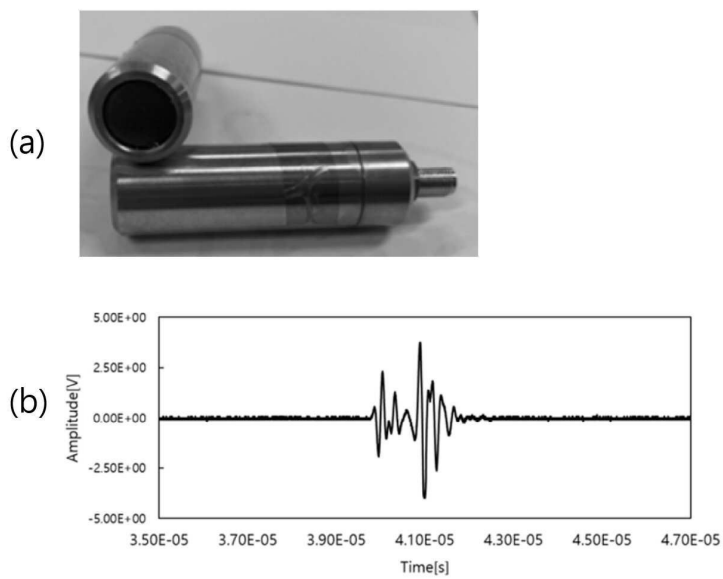
100



도면3



도면4



도면5

