

Original Article

## Benefit Cost Analysis of Automatic Eggshell Crack Detection System

Qing-Long Lin<sup>1</sup> and Jun-Ho Yeo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agri-Forestry Economics and Management of Yanbian University, park Road 977 YanJi City, JiLin Province 133002, China

<sup>2</sup>Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, South Korea

### 계란 실시간 자동 파각란 검사시스템의 비용 편익분석

임청룡<sup>1</sup> · 여준호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>연변대학교 농림경제학과 전임강사, <sup>2</sup>경북대학교 농업생명과학대학 농업경제학과

Received: December 1 2014 / Revised: December 11 2014 / Accepted: December 15 2014

**Abstract** This study performed a benefit cost analysis of an automatic eggshell crack detection system. Based on various cost benefit analysis methods, including the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and benefit cost ratio (B/C Ratio), the automatic eggshell crack detection system was confirmed to have economic validity. The NPVs were 175,035,645 won at a 5% discount rate and 129,082,393 won at a 10% discount rate. Plus, the IRRs were 0.686 at a 5% discount rate and 0.660 at a 10% discount rate. Finally, the B/C ratios were 1.981 at a 5% discount rate and 1.900 at a 10% discount rate.

**Keywords:** benefit cost analysis, eggshell crack detection system, net present value, internal rate of return, benefit cost ratio

### 서 론

안전하고 청결하게 처리 및 가공된 고품질 축산물의 선호가 증가하고 있고, 이러한 필요성에 의해 영상처리나 음파를 이

용한 파각란을 검출하려는 연구가 행해졌지만 계란선별 시스템에 적용된 것은 음파를 이용한 것이 대부분이다.

Lee et al.(2009)은 영상처리 시스템의 경우 장치는 간단하지만 고가이고 이송라인 위에서 미세 파각란의 검출이 어려운 반면 음파를 이용한 파각란 검사기는 장치는 복잡하지만 영상처리시스템에 비해 저렴하고 미세 파각란의 검출을 가능하게 하는 장점을 확인할 수 있다고 설명했다. 우리나라는 일부 대형농가에서 음파발신기를 이용한 장비를 수입해서 쓰고 있는 실정이며 국내에서 개발·보급된 장비는 거의 없고, 특히 등급판정을 위한 소형화된 자동 파각란 검사장치는 그 필요성에도 불구하고 연구 개발이 미비하고, 실용화된 장비도 없다(Lee et al., 2009).

파각란을 검출하려는 연구는 영상처리와 음파반응 등을 이용하여 행해져 왔으며, 영상처리를 이용한 파각란 검출연구로는 Elster와 Goodrum(1991), Cho와 Kwon(1995), Lee et al.(2000)이 있다. 앞에서 설명한 연구에서는 검출 소요시간이 길고, 통상적인 영상처리방법으로 파각란의 미세 파각부분의 검출이 어려운 것으로 설명하였다. 위 문제점에 대해 Lawrence et al.(2008)은 압력조절 챔버에 계란을 넣고 대기압 상태의 계란 영상과 저기압 상태의 미세 파각부분 확장영상을 획득하고 두 영상을 비교하여 파각 유무를 판별하였다. 그 결과 98.75%의 판별률을 달성하였으며, 정상란의 경우는 100% 정확도를 보고하였다. 음파반응을 이용한 검사방법으로는 Ketelaere(2000)과 Cho et al.(2000)의 연구가 있다. Cho et al.(2000)은 난각 크랙의 검사를 위하여 계란의 침부와 둔부의 음파정보를 이용하였고, 면적, 도심, 최대공진주파수를 판별인자로 적용하는 경우 95%의 판별 성능을 보였다고 설명하였다.

Ketelaere(2000)은 적도부 타격 음파 신호의 주파수를 분석하여 난각의 크랙을 검출하였는데 계란을 4회 타격하여 얻은 신호들의 피어슨 상관계수를 판별인자로 적용하여 90%의 검출률을 보이는 것으로 나타났다.

\*Corresponding author: Jun-Ho Yeo  
Tel: 82-53-950-5767; Fax: 882-53-950-6773  
E-mail: jhyeo@knu.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2014 Institute of Agricultural Science and Technology, Kyungpook National University

**Table 1.** Eggshell crack detection tolerance range by quality grade

Quality grade <sup>1)</sup>	Eggshell crack detection tolerance range
1+	Lower than 7%
1	9%
2	12%
3	Excess 12%

Note: <sup>1)</sup>Eggshell crack detection examination criteria (sample number: Over minimum 2%).

Jindal(2003)등은 음파반응과 인공신경망을 이용한 검출 실험시스템을 도입하였고, 계란 적도부의 서로 다른 지점을 8회 타격하여 얻은 음파신호를 인공신경망에 입력한 분석결과를 바탕으로 검출률을 확인하였다. Jindal(2003)은 음파반응과 인공신경망을 통한 방법으로 98.7%의 판별성능을 제시하였다. 파각란의 기계적 검출에 대한 연구가 많지만, 우리나라 농가에선 반드시 금이 간 계란을 일일이 빛에 비춰 검사하고 선별하고 있는 실정이다. 등급판정소 역시 표본 추출된 계란들이 파각란 검사를 실시하여 각 품질등급별 파각란 허용범위에 따라 등급을 재조정하고 있고, 농가의 파각란 검사방법과 동일하게 계란에 빛을 투광시켜 검사하여 장시간 광에 노출될 경우 눈의 피로가 가중되어 오판 가능성과 미세파각 검출의 어려움을 가져오는 것으로 나타났다.

이에 본 연구의 목적은 “계란 파각란 자동 검사시스템” 시험연구사업의 비용편익분석을 통하여 현장활용도 측정을 목적으로 한다.

### 실시간 자동 파각란 검사시스템의 개요

#### 파각란 검사 시스템 특성

계란의 껍질에 파각(금)이 있을 경우 유통과정 중에 내부의 얇은 난각막이 손상되고 내부 물질이 누출되어 계란이 세균으로부터 쉽게 오염될 수 있으므로 파각란 검사는 선별과정에

서 매우 중요하다.

현재 등급판정사가 상주하고 있는 계란집하장(28개)에서는 생산되는 계란의 일부에 대해 암실에서 투광검사로 파각란의 비율을 측정해 계란 등급에 반영하고 있는 실정이다(Table 1). 시중 유통중인 계란의 대부분은 중량선별만 실시하고 있으며, 일부 현대화된 집하장에서는 작업자가 암실에서 이송 중인 다량의 계란을 투과한 빛을 보고 오염되거나 깨진 계란을 손으로 골라내고 있다. 인력에 의한 검사 및 선별 방법은 주간적인 견해가 반영되기 때문에 미세파각 검사 및 선별작업의 편이성 증대와 등급판정의 객관화를 위해 자동화 장비의 개발이 절실하다. 본 연구의 실시간 자동 파각란 검사 장치 구조는 아래와 같다

#### 실시간 파각란 검사 시스템의 특성

##### (1) 구조 및 성능

실시간 파각란 검사 시스템은 계란표면을 타격하여 발생하는 음파해석방법을 이용한다. 계란표면 타격에 의한 음파해석은 시간당 17,700개의 산출능력을 가지고 있으며 선별 정밀도는 1 cm이상 파각의 97%를 검출하는 것으로 나타났다(Lee et al., 2009). 계란의 이송방식은 회전 롤러에 의해 이송되며 롤러는 계란표면의 특성을 고려한 고무재질로 이뤄져 있으며 기계 마찰부위 최소화를 통해 소음이 감소되도록 설계되었다.

##### (2) 파각란 선별장치의 기대효과 및 활용방법

파각란 선별장치의 도입으로 일반 농가에서의 고품질 안전 계란 생산으로 계란 경쟁력 증대 및 부가가치 향상의 효과를 가져오는 것으로 나타났다. 부가가치 효과로는 등급란과 비등급란의 30~50%에 해당하는 가격상승효과를 가져오는 것으로 나타났으며, 고가의 수입산 금간 계란 선별기를 대체하여 저렴한 가격에서 선별장치 도입을 유도할 수 있다. 실제 개발품 판매가격이 1기당 5천 만원이며 이 가격은 수입산 대비 50%에 불과하여 국내 계란선별기의 수출증대에도 도움을 줄 것으로 보인다. 파각란 선별장치를 도입할 경우 기존 작업비용의

**Table 2.** Operating cost and price of eggshell crack grader

Section	Quality	Conditions
Purchase price (won)	50,000,000	
Durability time (year)	8	
Use time (hour)	1,980	6 hour×330 days
Annual fixed-cost (won/year)	6,250,000 3,000,000 1,250,000	1,600,000 480,000 200,000
Fixed costs per hour (won/hour)	10,500,000	2,280,000
Variable costs per hour (won/hour)	6,100 144 6,244	8,994 3,488 11,514
Costs per hour (won/hour)		11,547
Operating efficiency (unit/hour)		17,700
Required expenses (unit/hour)		0.65

Source: “Assessment of Economic Validity on Automatic Egg Washer”, Lin et al. (2014).

27.5%를 소요하여 효율화와 부가가치 증대에 긍정적 효과를 가져올 것으로 보인다 Lee et al.(2009).

## 연구방법

### 개발기술의 운영비

개발기술 운영비 산출을 위해 본 연구에서는 내구년수, 연간 사용시간, 연간고정비, 시간당 유동비, 시간당 고정비, 시간당 유동비용을 나타내었다(Table 2).

장비의 구입가격은 총 6조를 기준으로 하였고, 조당 가격은 1천만 원 수준이다. 감가상각비는 내구년수 8년을 기준 정액법을 적용하였고, 수리비계수는 구입가격의 6%, 연이율은 연5.0%, 인건비는 여성인건비를 적용하여 산출하였고 1인으로 운영을 기준으로 나타내었다. 관행대비 소요경비는 39.6%에 해당하며 이것은 60.4%의 운영비절감을 가져오는 것으로 나타났으며, 시작기를 이용할 때 검사정확도가 더 증가하는 것으로 나타났다.

### 계란세척기 자동 시스템 가치 평가

#### (1) 기술가치 평가방법

##### 1) 순현재가치(NPV, Net Present Value)

투자로 인하여 발생할 현재와 미래의 모든 화폐가치를 측정하여, 적절한 할인율(discount rate)로 할인하여 현재가치를 구하여 투자의 경제성을 평가하는 기법이다. 투자의 경제적 타당성을 평가하기 위한 기준으로는 순현재가치(NPV) > 0인 경우이다. 투자에 따른 현금유입액의 현재가치는 투자에 따른 현금지출액의 현재가치로 나타낸다(Chon, 2005).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}$$

CF: Cash Flow for operation at specific point of time

I: Investment

Table 3. Analysis of economic validity of eggshell crack grader (interest rate 5%)

Year purchased	Purchase price	Fixed cost	Variable costs	Cost of working by hand	Revenue
0	50,000,000				
1		10,500,000	12,363,120	57,681,043	34,817,923
2		10,500,000	12,363,120	57,681,043	34,817,923
3		10,500,000	12,363,120	57,681,043	34,817,923
4		10,500,000	12,363,120	57,681,043	34,817,923
5		10,500,000	12,363,120	57,681,043	34,817,923
B/C ratio			1.981		
NPV			175,035,645		

Note: <sup>1)</sup>Sum of depreciation cost, repair costs, and interest.

Fixed costs=6,250,000+3,000,000+1,250,000=10,500,000 (won)

<sup>2)</sup>Variable costs are sum of personnel expenses and electric charge for using egg washer.

Variable costs=12,078,000+285,120=12,363,120 (won)

<sup>3)</sup>Cost of working by hand means total cost before using egg washer.

Cost of working by hand=(12,200+144)×1,980×(17,700/7,500)=57,681,043 (won)

Revenue=57,681,043-10,500,000-12,363,120=34,817,923 (won)

r: rate of discount

n: service life in the Investment

### 2) 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return)

순현재가치(NPV)를 0으로 만드는 할인율을 나타낸다. 투자의 내용 연수 동안의 연평균 투자수익률의 의미를 가진다. 투자의 경제적 타당성 평가기준은 내부수익률(IRR)>할인율인 경우이다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

### 3) 편익/비용 비율(B/C Ratio)

투자로 인하여 발생하는 편익흐름의 현재가치를 비용흐름의 현재가치로 나눈 비율이다. 투자의 경제적 타당성 평가기준은 B/C ratio>1인 경우이다.

$$B/C \text{ Ratio} = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t}$$

## 결과 및 고찰

### 파라란 선별기 경제적 타당성 분석

구입가격 5,000천원을 기준으로 내구년수는 8년으로 적용되었다. 고정비용으로는 감가상각비와 수리비, 이자 등을 포함하고 있으며 5%의 이자가 적용될 때 10,500천원으로 나타났으며 이자율이 10%로 적용되었을 때는 11,750천원으로 제시되었다. 이자율에 따른 수익은 5%와 10%의 경우 각각 34,818천원과 33,568천원으로 계산되었다.

#### (1) 할인율 5% 적용기준

사회적 할인율 5%를 기준으로 하여 계산된 수익은 34,818천

**Table 4.** Analysis of economic validity of eggshell crack grader (interest rate 10%)

(unit: Won)

Year purchased	Purchase price	Fixed cost	Variable costs	Cost of working by hand	Revenue
0	50,000,000				
1		11,750,000	12,363,120	57,681,043	33,567,923
2		11,750,000	12,363,120	57,681,043	33,567,923
3		11,750,000	12,363,120	57,681,043	33,567,923
4		11,750,000	12,363,120	57,681,043	33,567,923
5		11,750,000	12,363,120	57,681,043	33,567,923
B/C ratio			1.900		
NPV			129,082,393		

**Table 5.** Effect of eggshell crack grader

(unit: ea/year, number of machines, one million Won)

Market share	Number of eggs	Number of washers needed	Effect of egg washer use
1%	136,602,829	4	891
2%	273,205,658	8	1,782
3%	409,808,488	12	2,672
4%	546,411,317	16	3,563
5%	683,014,146	19	4,454
6%	819,616,975	23	5,345
7%	956,219,805	27	6,236
8%	1,092,822,634	31	7,127
9%	1,229,425,463	35	8,017
10%	1,366,028,292	39	8,908
11%	1,502,631,122	43	9,799
12%	1,639,233,951	47	10,690
13%	1,775,836,780	51	11,581
14%	1,912,439,609	55	12,471
15%	2,049,042,439	58	13,362
16%	2,185,645,268	62	14,253
17%	2,322,248,097	66	15,144
18%	2,458,850,926	70	16,035
19%	2,595,453,755	74	16,926
20%	2,732,056,585	78	17,816

원이며, IRR은 68.6%, 편익비용비율은 1.981로 투자의 경제적 타당성 '1'보다 큰 값으로 나타났다(Table 3).

### (2) 할인율 10% 적용 기준

사회적 할인율을 10%로 제시되었을 때 계산된 수익은 33,568천원이며, IRR은 66.0%, 편익비용비율은 1.900로 투자의 경제적 타당성 '1'보다 큰 값으로 나타났으며, 순현재가치(NPV)의 경우는 할인율 5%와 비교하여 129,082천원으로 더 작은 값으로 나타났다(Table 4).

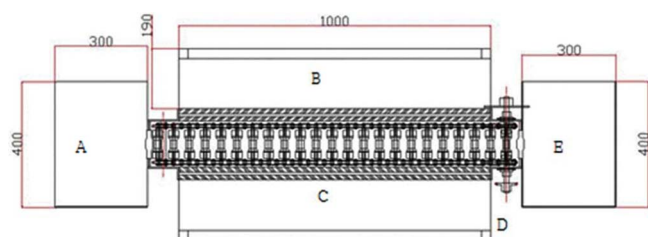
### (3) 파각란 선별기의 경제적 효과분석

일별 계란생산량 평균값은 2011년의 전체 일별평균값 32,129,267개를 적용하였고, 연도별 계란생산량을 도출하였다(Lin et al., 2014). 연간계란 작업가능개수는 시간당 파각란 선별개수 17,700개에 선별기작업시간 1,980시간(1일 6시간작업, 330일 기준)을 적용하여 1년동안 선별할 수 있는 35,046,000개로 계산되었다.

자동 파각란 선별기의 시장점유율 10%에서 처리되는 계란의 개수는 1,366백만 개이며, 이때 필요한 선별기수요대수는 39대로 나타났다. 또한 계란선별기의 시장점유율 10%시 선별기 도입효과는 8,908백만원, 20% 점유율에서는 17,816백만원으로 나타났다. 이것은 파각란선별기 78대가 계란 2,732,056,585개를 처리할 때의 도입효과를 나타낸다(Table 5).

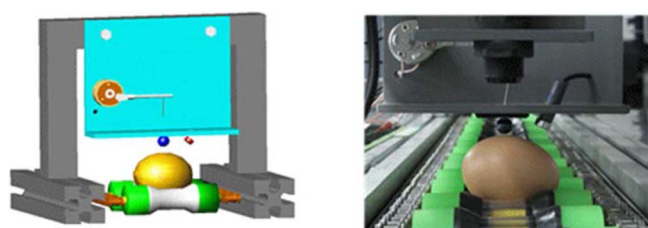
## 요 약

이 연구는 파각란 선별기 도입을 비용 편익분석 목적으로 수행되었다. 계란 파각란 선별기를 도입할 때의 총수입과 총비용 평가액의 추정결과는 다음과 같다. 총비용의 경우 구입가격, 고정비용 및 유동비용의 합계로 나타내었고, 할인율에 따라 5%, 10%일 때 각각 232,904천원과 242,904천원으로 산정되었다. 계란 파각란 선별기 평가액은 할인율에 따라 228,543천원(할인율 5%인 경우)과 218,543천원(할인율 10%인 경우)

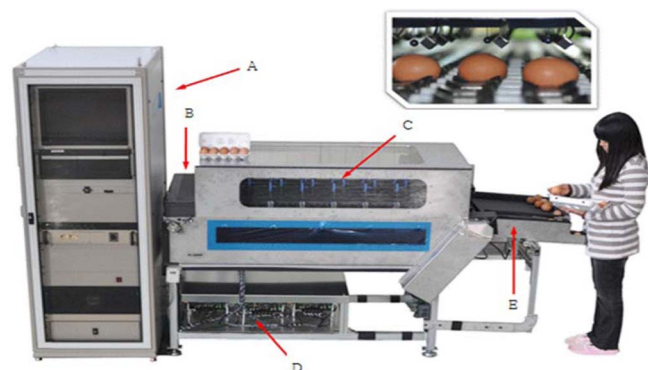


**Figure 1.** Transfer structure of real-time automatic eggshell crack detection device.

Note: A: Input part, B: Worktable, C: Transfer line, D: Motor, E: Output part. Source: “Development of new distribution model and improved technical of process for safe and reliable eggs”, Lee et al. (2009).



**Figure 2.** Hitting device and phonometer for eggs. Source: “Development of new distribution model and improved technical process for safe and reliable eggs”, Lee et al. (2009).



**Figure 3.** Field evaluation of eggshell crack grader. Note: A: Eggshell crack decision part, B: Input part, C: Hitting and sound wave measurement part, D: Signal treatment part, E: Output part.

으로 추정되었다(Table 6). 파각란 선별기 기술가치에 대한 평가는 B/C비율, 순현재가치(NPV), 내부수익율(IRR)의 값으로 판단되었고, 내부수익율 IRR의 값은 가정했던 할인율보다 훨씬

**Table 6.** Technology valuation of eggshell crack grader

(unit: Won)

Discount Rate	Total Income (A)	Total Costs (B)	Total Free Cash Flow (A-B) = Estimated amount of Technology Valuation
5%	461,448,346	232,904,960	228,543,386
10%	461,448,346	242,904,960	218,543,386

**Table 7.** Economic validity of eggshell crack grader

(unit: Won)

Discount Rate	Net Present Value (NPV)	IRR <sup>1)</sup>	B/C Ratio
5%	175,035,645	0.686	1.981
10%	129,082,393	0.660	1.900

Note: <sup>1)</sup> IRR- Internal Rate of Return Discount Rate.

높게 나타났고, 순현재가치도 0보다 큰 값으로 나타났으며, B/C비율도 1.0 이상으로 나타나 경제적 타당성을 가지는 것으로 판단되었다(Table 7).

**References**

Cho HK, Cho WK, Park JH (2000) Detection of surface cracks in shell eggs by acoustic impulse method. T ASAE 43: 1921-1926.  
 Cho HK, Kwon Y (1995) Detection of surface defects in eggs using computer vision. J Biosystems Eng 20: 368-375.  
 Chon DW (2005) A study on the methodology of technology valuation in agriculture.  
 Lee GJ, Hong SG, Jung H (2009) Development of new distribution model and improved technic of process about safety and reliable egg. National Academy of Agriculture Science 2009:1373-1411.  
 Lee SH, Cho HK, Choi WK (2000) Detection of surface cracks in eggshell by machine vision and artificial neural network. J Biosystems Eng 25: 409-414.  
 Elster RT, Goodrum JW (1991) Detection of cracks in eggs using machine vision. T ASAE 34: 307-312.  
 Lin QL, Yeo JH (2014) Economic feasibility of automatic egg washer. Curr Res Agric Life Sci 32: 165-169.  
 Lawrence KC, Yoon SC, Heitschmidt GW, Jones DR, Park BS (2008) Imaging system with modified-pressure chamber for crack detection in shell eggs. Sens Instrumen Food Qual 2: 116-122.  
 Ketelaere BC, Coucke P, Baerdemaekern JD (2000) Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis. J Agric Eng Res 76: 157-163.  
 Jindal VK, Sritham E (2003) Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks. ASAE Annual International Meeting: 036170.