

GOVP1199909136

6375

L2937

최 종  
연구보고서

자동 검란 시스템의 핵심기술 개발

Development of Core Technology for an Automatic  
Egg Inspection System

연 구 기 관

충 북 대 학 교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자동 검란 시스템의 핵심기술 개발”에 관한 연구과제의  
최종 보고서로 제출합니다.

1998. 12. 31.

주관연구기관명 : 충북대학교

총괄연구책임자 : 조 한 근

연 구 원 : 장 영 창

최 완 규

백 진 하

김 찬 수

서 일 환

이 현 동

복 진 삼

김 정 필

이 승 규

협동연구기관명 : 충남대학교

협동연구책임자 : 김 기 대

# 요 약 문

## I. 제 목

자동 검란 시스템의 핵심기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

계란의 파손 여부를 검사하여 파란을 분류하는 일은 유통과정 중 계란의 상품성 및 안전성 유지를 위하여 매우 중요하다. 그러나 현재 파란의 검사는 인력에 의한 육안검사에 의존하고 있어 기계화가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 파란을 자동으로 검사하기 위한 방법으로 음향반응을 이용한 검란 방법을 제시하였고, 이의 효율성 분석 및 자동 검란 장치의 설계기준을 제시하려고 한다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

1. 자동 검란 시스템을 설계하기 위해서 먼저 기 개발된 검란장치의 개발에 관한 국내외 연구자료 및 관련 기술현황을 조사 분석한다.
2. 자동화의 기초 자료로 사용하기 위하여 국내에서 생산되는 계란의 물리적 특성을 조사한다.
3. 검란 자동화 장치의 설계 기준으로써 음향 충격반응을 이용한 검란 방법을 제시하고 이의 효율성 분석을 실시한다.
4. 한 개의 정지계란에 대한 검란장치 및 판별 알고리즘을 개발한다.
5. 이송 중 복수개의 계란을 동시에 검사할 수 있는 복란 검사장치 및 검란을 위한 핵심기술을 개발한다.
6. 이송되는 계란의 검사를 위해서 자동 이송장치를 설계 제작한다.
7. 검란 장치에 의해 판별된 계란을 분리하는 분리장치를 개발한다.
8. 검란, 이송, 분리 장치를 결합하여 시스템의 성능을 평가한다.

#### IV. 연구개발 결과

1. 자동 검란 방법으로 기 연구되고 있는 영상처리 방법의 대체방법으로 음향충격반응을 이용한 검란 방법을 채택하고, 이 방법에 대한 타당성 조사 및 기초실험을 통해서 검란 가능성을 확인하였다.
2. 계란의 타격, 이송 및 선별 시 발생하는 계란의 손상을 막고 검란장치 개발의 기초 자료로 사용하기 위해서 난각 파괴강도 측정장치를 개발하여 난각 파괴강도를 측정하였다. 그 결과 정상란의 난각파괴강도는 대부분이 3~5kgf이었고 파란의 난각파괴강도는 0.3~5kgf로 나타났다. 또한 계란의 파손형태와 파손위치를 조사하여 파란의 종류별 파손 분포를 구하였다.
3. 로터리형 슬레노이드에 세라믹 볼을 달아 계란의 침부와 둔부를 자동으로 타격하는 계란 타격장치를 개발하였으며, 타격에 의해 발생한 음향신호를 소형 콘덴서형 마이크로폰으로 감지하고 프리앰프에서 증폭한 후 증폭된 신호를 디지털 신호처리 보드에서 분석·처리하는 시스템을 개발하였다.
4. 검란 알고리즘을 구하기 위해서 계란을 타격한 시간영역 신호에 대한 파워스펙트럼을 이용하였으며, 검란을 위한 주요 인자로서 파워스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진주파수와 피크의 크기를 선정하고 이를 이용하여 정상란과 파란을 선별하는 알고리즘을 개발하였고, DSP 프로그램과 C언어를 이용한 제어 소프트웨어를 개발하였다.
5. 파란 분리 방법으로 계란의 구름특성과 계란 분리대를 이용하여 계란이 검란부를 거쳐 이송장치 끝에 도달했을 때 계란의 진행을 방해하여 정상란과 파란으로 분리하는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 파란분리

컨베이어, 파란 분리대 및 제어부로 구성되었다. 파란분리 컨베이어는 벨트 4개로 구성되어 각각 2개의 벨트 위에 정상란과 파란이 놓여 분리·이송되며, 파란 분리대는 슬레노이드에 장착된 4절링크의 상하운동을 이용하여 계란이 이송장치에서 파란분리 컨베이어 상으로 굴러 내려올 때 정상란과 파란을 분리하도록 하였다.

6. 검란부와 파란분리장치부를 결합하여 계란이 이송장치에 의해 1열로 연속적으로 진행하면서 침단부와 둔단부를 각각 한 번씩 타격하고, 각각의 음향 신호를 검란 알고리즘에 적용한 후 파란 신호를 파란 분리장치로 출력하여 파란을 분리하는 복란 검란 시스템을 개발하였다.
  
7. 최종적으로 구성된 복란 검란 시스템의 성능을 평가한 결과 검란부의 경우 정상란을 파란으로 판별하는 오차가 200개중 8개로 96%의 판별율을 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 오차는 200개중 22개로 89%의 판별율을 나타내었다. 파란 분리부의 성능평가 결과에서는 정상란의 경우는 100% 모두 분리를 했으며, 파란의 경우는 200개의 계란 중 4개에 대해서 오동작을 해서 98%의 분리성능을 나타내었다. 계란이 1열로 진행할 경우 분당 처리 계란수는 최대 65개 정도로 병렬로 확장한다면 일반 양계장에서 실용화가 가능할 것으로 사료된다.

# SUMMARY

## I. The Title of Research

Development of Core Technology for an Automatic Egg Inspection System

## II. The importance and objective of research

It is very important to inspect and select cracked eggs before circulating fresh eggs in order to retain their quality to customers. However, because the inspection of eggs has manually been performed by human eye and is very arduous, an automatic inspection method of eggs should be necessary. This study suggested an automatic inspection method for selecting cracked eggs based on an acoustic approach and its related design considerations, and analyzed the performance of prototype inspection system.

## III. The results of research

1. The research adopted an inspection method of eggs based on an acoustic approach because conventional computer vision approaches required a lot of image processing time to obtain useful information for differentiating cracked eggs from the images. The fundamental experiments on the acoustic method showed the feasibility that the approach could differentiate cracked eggs from fresh ones.
2. A system for measuring cracking strength of egg shell was constructed to develop an inspection system avoiding certain damages

probably occurred when hitting, transporting and grading of eggs. Based on the measuring system, cracking strengths of eggs shell were measured as basic factors in designing an inspection system. Also, the distributions of cracks on egg shell were obtained and categorized by investigating the shape and position of cracks in the study.

3. An egg shell stroke equipment that hits the sharp and dull edges of an egg was developed by using a rotary type solenoid and a ceramic ball. The solenoid was operated by a combination of a proximity switch and a photo sensor that detects whether an egg existed in a specific location. The inspection system included an egg shell stroke equipment, few microphones sensing the sounds generated by hitting the egg shell, a signal amplifier and a DSP board analyzing and processing the amplified signal.
4. Algorithms for distinguishing cracked and normal eggs and controlling the inspection system were developed by using the area, the geometric centroid and the resonance frequency of power spectrum of the amplified signal generated by hitting egg shell.
5. A separating system was developed by using the rolling characteristic of egg and the geometric properties of separator. The strategy was that after inspected eggs was transferred at the end of inspection line, blockers prevent cracked eggs from a further horizontal movement while allow normal eggs to horizontally move further. With the concept, cracked eggs were separated successfully. The constructed

separator was consisted of a separating unit, a conveyor and a control unit. The conveyor has four belts of a two belt combination for each of cracked and normal eggs. The separating unit functions based on the signal from the inspection system control unit and a blocker in the separating unit moves up and down by means of 4-bar linkage.

6. In the study, a comprehensive inspection system was constructed by combining the inspection and the separating unit. When entering serially into the inspection line of one row, eggs are hit twice, once against the sharp and the dull edge of an egg. The sounds are fed into the inspection algorithm, and then cracked eggs are recognized and the inspection system sends the related signal to the separator control unit.
  
7. The developed automatic inspection system could separate cracked and normal eggs successfully with the performance of 92.5% based upon the results of performance tests. In particular, the separator showed almost perfect performance of 99% in separating cracked eggs. In case of one line inspection of eggs, the capacity of the system was the maximum 65 eggs per min so that the system be very feasible in poultry farm as a inspection system when the number of inspection line would be extended in the future.



# CONTENTS

Table Contents .....	12
Figure Contents .....	13
Chapter 1. Introduction .....	16
Section 1. Research Background .....	16
Section 2. Review .....	18
Section 3. Objectives .....	22
Chapter 2. Physical Properties of Eggs .....	23
Section 1. Introduction .....	23
Section 2. Damaged Position in Cracked Eggs .....	23
Section 3. Measurement of Eggshell Breakage Strength .....	25
Section 4. Results and Discussion .....	26
Chapter 3. Egg Inspection by Acoustic Response .....	31
Section 1. Introduction .....	31
Section 2. Materials and Method .....	31
Section 3. Results and Discussion .....	35
Chapter 4. Egg Inspection System .....	43
Section 1. Introduction .....	43
Section 2. Egg Inspection System for Single Egg .....	43
Section 3. Egg Inspection System for Multiple Egg .....	48
Section 4. Signal Processing and Control Software .....	54

Section 5. Results and Discussion .....	57
Chapter 5. Cracked Egg Separation System .....	80
Section 1. Introduction .....	80
Section 2. System Construction .....	80
Section 3. Design of Cracked Egg Separation System .....	88
Section 4. Results and Discussion .....	91
Chapter 6. Total Automatic Egg Inspection System .....	95
Section 1. Introduction .....	95
Section 2. System Construction .....	95
Section 3. Performance Evaluation .....	101
Section 4. Results and Discussion .....	104
Chapter 7. Conclusions and Summary .....	107
References .....	109
Appendix .....	114

# 목 차

표목차 .....	12
그림목차 .....	13
제 1 장 서 론 .....	16
제 1 절 연구의 필요성 .....	16
제 2 절 연구사 .....	18
제 3 절 연구목적 .....	22
제 2 장 계란의 물리적 성질 .....	23
제 1 절 서 설 .....	23
제 2 절 파란의 파손 위치 .....	23
제 3 절 난각파괴강도 측정 .....	25
제 4 절 결과 및 고찰 .....	26
제 3 장 음향반응에 의한 검란 .....	31
제 1 절 서 설 .....	31
제 2 절 재료 및 방법 .....	31
제 3 절 결과 및 고찰 .....	35
제 4 장 검란 장치 .....	43
제 1 절 서 설 .....	43
제 2 절 단란용 검란 장치 .....	43
제 3 절 복란용 검란 장치 .....	48
제 4 절 신호처리 및 제어 소프트웨어 .....	54

제 5 절 결과 및 고찰 .....	57
제 5 장 파란 분리장치 .....	80
제 1 절 서 설 .....	80
제 2 절 시스템 구성 .....	80
제 3 절 파란 분리장치 설계 기준 .....	88
제 4 절 결과 및 고찰 .....	91
제 6 장 종합 검란 시스템 .....	95
제 1 절 서 설 .....	95
제 2 절 시스템 구성 .....	95
제 3 절 시스템의 성능평가 .....	101
제 4 절 결과 및 고찰 .....	104
제 7 장 결론 및 요약 .....	107
참고문헌 .....	109
부록 .....	114

## 표 목 차

Table 2-1 Statistics of width and height of eggs (Unit : mm) .....	27
Table 2-2 A number of cracked eggs in each position (Unit : Ea) .....	27
Table 2-3 Results of eggshell breakage strength of normal and cracked eggs (Unit : kgf) .....	29
Table 3-1 Specifications of test equipment .....	33
Table 4-1 Specification of main parts in single egg inspection system .....	46
Table 4-2 Specification of main parts in multiple egg inspection system ..	50
Table 4-3 Specification of TMS320C31 and ADC on PC31 .....	55
Table 4-4 List of parameters to inspect crack in eggs .....	64
Table 4-5 Results of crack inspection .....	66
Table 4-6 MUX channel selector values .....	72
Table 4-7 Programmable gain amplifier .....	73
Table 4-8 Input range vs. programmable gain .....	73
Table 4-9 A/D converter trigger sources .....	74
Table 4-10 Reset and interrupt vector table .....	75
Table 5-1 Major factor of design .....	88
Table 5-2 Result of successful ratio by each position of cracked Egg separation unit (I) .....	92
Table 5-3 Result of successful ratio by each position of cracked Egg separation unit (II) .....	92
Table 5-4 Result of successful ratio by width of egg separation bar of cracked egg separation unit .....	93
Table 5-5 Result of successful ratio by inclination of separation conveyer	94
Table 6-1 Performance evaluation of egg inspection part .....	106
Table 6-2 Performance evaluation of cracked egg separation part .....	106

## 그림 목 차

Fig. 2-1 Shapes of cracked eggs .....	24
Fig. 2-2 Geometries for cracked eggs representation .....	24
Fig. 2-3 Schematic diagram of measuring system for eggshell strength ...	25
Fig. 2-4 Damaged positions in each shape of cracked eggs .....	27
Fig. 2-5 Eggshell breakage strength of normal and cracked eggs .....	28
Fig. 2-6 Schematic of instrument for measuring eggshell breakage strength .....	30
Fig. 2-7 An instrument for measuring eggshell breakage strength .....	30
Fig. 3-1 Schematic diagram for acoustic response measurement of eggshell .....	32
Fig. 3-2 Impact and sensor location in egg .....	34
Fig. 3-3 Effects of impact materials on power spectrum .....	35
Fig. 3-4 Effects of pendulum angle on power spectrum .....	36
Fig. 3-5 Effects of egg seat materials on power spectrum .....	37
Fig. 3-6 Effects of distances between sensor and egg on power spectrum	38
Fig. 3-7 Effects of sensor location on power spectrum .....	40
Fig. 3-8 Sound response(left) and power spectrum(right) of normal eggs	41
Fig. 3-9 Sound response(left) and power spectrum(right) of cracked eggs	42
Fig. 4-1 Schematic diagram of single egg inspection system .....	45
Fig. 4-2 Front view of the single egg inspection system .....	46
Fig. 4-3 Normalized power spectrum of acoustic impact in normal and cracked egg. ....	47
Fig. 4-4 Schematic diagram of multiple egg inspection system .....	49
Fig. 4-5 Circuit diagram of the solenoid driving unit .....	52

Fig. 4-6 Circuit of microphone pre-amplifier .....	53
Fig. 4-7 Circuit of microphone pre-amplifier with high pass filter .....	53
Fig. 4-8 Flow chart for TMS320C3x/C4x software development .....	56
Fig. 4-9 Mean values of area vs. difference between maximum and minimum values among six values of area in power spectrum for both normal and cracked eggs .....	58
Fig. 4-10 Close-up view of boundary between normal and cracked eggs in Figure 4-9 .....	59
Fig. 4-11 Coordinates of average values of centroids in both normal and cracked eggs .....	60
Fig. 4-12 Coordinates of differences between maximum and minimum values among the four or six centroids in both normal and cracked eggs .....	61
Fig. 4-13 Distribution of average of four or six values of peak resonant frequencies in both normal and cracked eggs .....	63
Fig. 4-14 Distribution of differences between maximum and minimum values among four or six peak resonant frequencies in both normal and cracked eggs .....	64
Fig. 4-15 Flow chart for crack detection algorithm .....	65
Fig. 4-16 Mean vs. difference between maximum and minimum among two values of area in normalized power spectrum .....	67
Fig. 4-17 Difference of two values of centroid coordinates in normalized power spectrum .....	68
Fig. 4-18 Distribution of average of two values in peak resonant frequency .....	69
Fig. 4-19 Distribution of difference between maximum and minimum values in peak resonant frequency .....	69

Fig. 4-20 Normalized power spectrum of cracked egg .....	70
Fig. 4-21 Analog input circuit .....	71
Fig. 4-22 Flow chart of interrupt service routine .....	76
Fig. 4-23 Recorded signal in buffer .....	78
Fig. 5-1 Egg array and transfer conveyer for 6 lanes .....	81
Fig. 5-2 Cracked egg separation conveyer .....	81
Fig. 5-3 Action of cracked egg separation system .....	83
Fig. 5-4 Cracked egg separation system of solenoid driving type .....	84
Fig. 5-5 Circuit diagram of variable speed motor .....	85
Fig. 5-6 Circuit diagram of cracked egg separation system .....	86
Fig. 5-7 Flow chart of control software .....	87
Fig. 5-8 Major factor of design .....	89
Fig. 5-9 Action order of cracked egg separation system .....	89
Fig. 6-1 Picture of automatic egg inspection system .....	96
Fig. 6-2 Top view of automatic egg inspection system .....	96
Fig. 6-3 Top view of egg inspection part .....	98
Fig. 6-4 Front view of egg inspection part .....	98
Fig. 6-5 Front view of egg supply part .....	99
Fig. 6-6 Side view of cracked egg separation part .....	100
Fig. 6-7 Top view of cracked egg separation part .....	100
Fig. 6-8 Total flow chart of automatic egg inspection system .....	103
Fig. 6-9 A section of automatic egg inspection software .....	104



# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 필요성

우리나라 양계는 1996년 말 현재 약 3천 2백만수로, 여기서 생산되는 계란은 연간 약 82억개이다. 이것은 국민 1인당 연평균 185개 이상의 계란을 소비하는 수치로 계란은 시장성과 국민 식생활에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 이렇게 계란 소비가 증가하고 있고, 소비자의 기호도 고품질과 저가의 상품을 원하는 추세에 있기 때문에 계란의 품질을 평가하는 것은 중요한 일이 되었다.

최근 규모가 큰 양계장에서는 첨단 양계 시설을 도입하여 집란, 이송, 세척, 포장 등 대부분의 양계시설을 자동화하고 있으나 계란의 파란 및 오란 검사는 대부분 기초 장비를 활용한 인력에 의한 육안 판별법에 의존하고 있다. 육안 검사 방법은 검사자의 숙련도를 필요로 하고, 검사자의 지속적인 주의 집중이 요구되기 때문에 피로에 의한 오판 가능성이 높다.

또 자동화 설비의 도입으로 계란의 생산에서 포장에 이르는 과정에서 계란에 가해지는 외부 충격량이 인력 생산의 경우에 비해 증대하기 때문에 계란의 파란을 또한 증가하고 있다. 이러한 파란이나 오란이 포함된 계란을 포장 수송하는 경우, 유통 과정에서 파손에 의한 동일 포장 상품의 품질 저하를 초래하게 된다. 따라서 파란의 조기 발견은 자동 선별에서 반드시 포함되어야 할 작업 과정이다.

최근에 영상처리를 이용해서 계란의 표면 결함을 검출하는 연구가 수행되었다. 이 방법은 기계시각에 의해서 결함 검출을 한다는 점에서 특기할 만한 일이지만, 영상처리에 의한 방법으로는 미세한 크랙의 검출이 어렵고, 검출에 소요되는 시간도 현실적으로 부합되지 않으며, 계란의 이상유무 뿐만 아니라 불필요한 결함의 위치 정보까지 제공하여 검색의 낮은 효율성을 갖는 문제점

을 가지고 있다(조와 권, 1995). 특히 부화용 계란의 경우는 미세한 표면 크랙이나 난각의 조직특성에도 민감하게 반응을 하기 때문에 검란 시 각별한 주의를 요한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 새로운 방안으로 음향 반응을 이용한 검란 방법을 제시하였다.

음향반응을 이용한 농산물의 품질평가에 대한 연구는 일부 과일이나 채소에 적용되어 연구되어 왔지만 계란의 품질평가에 적용한 학계의 연구보고는 없다. 하지만 일본의 Nabel, 미국의 Diamond System과 네델란드의 MOBA와 같은 기업체에서 음향반응과 전자기를 이용하여 파란 검출 장치를 개발하였다고 보고하고 있다. 그러나 국내에서는 자동 검란에 관한 연구가 전무해서 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 계란의 크랙을 자동으로 검사하는 자동 검란 장치의 핵심기술을 개발하기 위하여 제1세부과제에서 계란의 크랙유무를 검사하는 검란부에 관한 연구를 수행하였고, 제2세부과제에서는 검란부의 신호를 받아 크랙란을 분류하는 파란분리부에 관한 연구를 수행하였다.

## 제 2 절 연구사

### 1. 계란 및 농산물의 품질검사

농산물의 품질평가를 인간에 의하지 않고 기계에 의해 자동으로 수행하도록 하는 노력이 행해지고 있으며, 이에 따라 각광을 받게 된 것이 비파괴 품질평가 방법 중에 하나인 영상처리 기법이다.

영상처리를 이용하여 계란 표면의 결함을 검출하는 연구가 수 년전부터 국내외의 연구자들에 의해서 수행되어 왔다. 국외의 경우 Elster와 Goodrum (1991, 1992)이 영상처리를 이용하여 한 개의 고정된 계란에 대한 표면 크랙 검출에 관한 연구를 수행하여 113개 계란 샘플 중 96%의 검출율을 보였다. 이후 연속적으로 회전하는 계란을 검사한 결과 검출율이 90% 였다고 보고하였다. 또한 Han과 Feng(1994)은 계란의 크랙을 검사하기 위해서 주파수영역 해석 방법인 2차원 FFT 방법을 이용하여 계란 영상을 분석하였다. 그 결과 크랙 검출율이 88%였다고 보고하였다. 국내의 경우는 조(1995) 등이 컴퓨터 시각에 의한 계란 표면의 결함 검출에 관한 연구에서 300개 계란 샘플에 대한 크랙 검출율이 97.5% 였다고 보고하였다.

이와 같은 영상처리를 이용한 계란의 표면 결함 검출에 관한 연구 결과를 살펴보면, 기존의 영상처리 장치를 양계 자동화 시설의 검관과정에 투입하였을 경우 미세한 크랙의 검출이 어렵고, 검출에 소요되는 시간도 현실적으로 부합되지 않기 때문에 새로운 방법의 도입이 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응할 수 있는 방법으로 본 연구에서는 음향 반응을 이용한 검관 방법을 제시하였다.

음향반응에 의한 농산물의 품질 평가에 대한 연구는 초기에 진동장치나 낙하 충격에 의한 음파 진동공진법으로 시작해서 최근에는 타격에 의한 음향 충격 전파반응법으로 연구가 행해지고 있다. 전자의 경우 진동을 검출하기 위해 진동가속도계 같은 감지 장치를 농산물의 표면에 부착해야 한다. 그러나 후자의 경우는 진동가속도계 대신에 공기 중으로 전파하는 음향신호를 마이크로폰

으로 비접촉에 의한 감지를 할 수 있으며 불이 달린 진자가 진동 시스템을 대신한다.

Yamamoto 등은(1980) 과일의 음향특성을 기초로 해서 사과와 수박의 조직 특성을 비파괴적으로 측정하였다. 그들은 나무로 된 볼로 과일을 타격하고 타격에 의해 발생한 소리 신호를 푸리에 변환함으로써 손상되지 않은 과일의 고유주파수를 얻었다. 또한 사과와 수박의 공진주파수가 저장기간이 경과함에 따라 감소하며, 고유주파수와 견고함 지수가 과일의 견고함과 관계가 있다는 것을 보였다.

Armstrong 등(1990)은 사과에 순간적인 충격을 가했을 때 발생하는 음향 공진주파수로부터 사과의 탄성계수를 예측하여 사과의 견고함의 정도를 측정하였으며, 사과의 탄성계수를 예측하기 위한 탄성 구형 모델을 개발하였다.

Chen(1992) 등은 4개종에서 추출한 14개의 사과에 대한 소리의 고저 수준을 사람의 가청에 의해서 평가한 다음 실험장치에 의한 사과의 음향 반응 측정과 비교하였다. 그 결과 소리의 고저 수준이 사과의 첫 번째와 두 번째 공진주파수와 직접적인 상관이 있다는 것을 발견하였다. 또한 타격에 의한 음향 반응에서 타격하는 방법, 측정위치, 과일을 잡는 방법이 사과의 공진주파수에는 영향을 주지 않지만 진동의 진폭에는 영향을 미친다고 보고했다.

Huarang 등(1993)은 사과의 진동형태를 이론적 분석과 실험에 의해서 측정 비교하였다. 이 실험에서 사과에 충격을 가했을 때 발생하는 처음 세 개의 공진주파수와 관련된 진동형태를 조사하였다. 이때 충격파형을 측정할 경우 충격 지점과 180도 위치에서 측정하는 것이 가장 효과적이라고 보고했다.

Sugiyama(1994) 등은 음향 충격전파 반응을 이용하여 머스크 멜론의 품질을 평가하였다. 샘플의 적도 부분을 24등분해서 각각의 점에서 음향신호를 얻은 다음, 시간에 따른 소리의 강도를 분석한 결과 충격에 의해서 발생한 음파가 샘플의 적도면을 따라 일정속도로 전달되며, 이 전달속도는 성숙한 멜론일수록 더 느리다고 보고했다.

Hayashi(1995) 등은 몇가지 과일과 채소를 대상으로 음향 반응을 측정하였

다. 그 결과 과일과 채소의 종류에 따라서 충격에 의해 발생하는 음향 신호가 표면을 따라 전달되는 파, 내부적으로 전달되는 파, 조화 진동파 등 몇 개 형태의 음파로 분류된다고 보고하였다. 그리고 과일이나 채소의 음향전파 특성과 품질과의 관계를 설명하였다.

Stermer와 Kunze(1994)는 음향 반응에 의해서 쌀의 균열음을 탐지하였는데, 음향 변환기로서 압전 수정을 사용하였고 음향신호를 자동으로 탐지하고 카운트하기 위해서 높은 이득을 갖는 증폭필터를 사용하였다. 이로부터 백미, 현미, 벼에서 수분 흡착으로부터 발생하는 균열의 70~100%가 탐지되었다.

이처럼 음향 반응을 이용해서 농산물의 품질을 평가하는 연구는 일부 곡물과 과일이나 채소 등에 국한되어 있으며, 음향 충격 전파 특성을 이용한 계란의 품질 평가에 대한 연구는 미비한 실정이다.

## 2. 계란의 선별 및 물성

현재 국내에서 농산물을 선별하는 선별기는 대부분 크기, 무게, 색깔, 외형 등에 의한 선별이 이루어지고 있다. 사과와 배 등은 무게에 의한 선별이 이루어지는데 그 원리는 사과나 배가 접시 위에 올려지면 접시 하단의 스프링이 압축되어 무게를 재고 접시가 이동하면서 정해진 위치에 농산물을 떨어뜨리는 것이다. 귤의 선별은 크기에 의한 선별로서 크기가 다른 홈이 있는 원통을 지나면서 분류가 이루어진다. 또한 토마토와 같이 색깔에 의해 성숙도가 표시되는 것은 이미지 센서에 의해 색깔별로 분류가 이루어지며, 오이의 경우는 무게에 의한 선별뿐 아니라 오이의 굵은 정도에 따라 등급이 다르므로 영상처리를 이용하여 분류가 이루어지고 있다.

위와 같은 농산물을 선별할 때에는 농산물 자체가 외부충격에 약하므로 선별기 제작 시 충격을 최대한 줄이는 방향으로 설계되어야 한다. 특히 계란은 외부 충격에 매우 민감하고 파손시 상품성 및 작업성이 저하될 수 있으므로 계란 선별 방법에 신중을 기해야 한다.

현재 국내의 경우 계란의 선별은 중량선별에 의하여 특란, 대란, 중란, 소란, 경란으로 분류하고 있다. 중량선별은 크게 로드셀에 의한 전자식선별과 자중에 의한 선별로 크게 나눌 수 있다. 로드셀에 의한 무게선별은 분류작업 전에 로드셀로 계란의 무게를 측정하고, 솔레노이드를 이용하여 측정된 계란을 각각 정해진 등급별로 분리한다. 자중에 의한 선별은 한 줄로 계란이 진행하면서 균형추가 있는 선별 위치에 도달하면 계란의 자중에 의하여 아래로 내려놓도록 되어 있다.

계란의 물성 중 난각강도와 관련된 연구 보고를 살펴보면, Roland(1978, 1981, 1984)는 미세 균열란(Body-Checked)의 주된 원인은 난각의 조직특성에 있다고 보고하였고, 임의의 농장에서 수집한 B등급의 계란을 조사한 결과 50%가 미세 균열란이었고 미세 균열란은 대부분 아침 일찍 생산된 계란에서 많이 발견된다고 보고하였다.

Carnarius 등(1996)은 정상란과 비정상란을 대상으로 난각의 미세구조에 따른 난각강도를 측정하였다. 그 결과 평균적으로 정상란은 35.3N(3.59kg), 금이 간 계란은 30.4N(3.1kg), 그리고 내용물이 썩 정도로 파손이 큰 계란은 28.4N(2.89kg)에서 파손이 일어난다고 보고하였다. 이 실험에서 정상란의 평균 난각두께는 0.38mm, 금이 간 계란의 난각 두께는 0.36mm 그리고 내용물이 새는 계란의 난각 두께는 0.35mm였다.

Toledo 등(1982)은 난각강도와 난각의 미세 구조와의 관계에 대하여 연구하였다. 난각이  $0.356 \pm 0.56\text{mm}$ (HES)인 계란과  $0.307 \pm 0.006\text{mm}$ (LES)인 계란의 난각강도를 반정적하중으로 측정한 결과 난각이 두꺼운 HES 계란은  $3.36 \pm 0.12\text{kg}$ 에서 파손 되었고 난각이 얇은 LES 계란은  $2.09 \pm 0.11\text{kg}$ 에서 파손되었다고 보고하였다.

### 제 3 절 연구목적

계란의 생산, 유통, 판매 과정에서 계란에 발생한 외부적 결함을 조기에 발견하는 일은 계란의 고품질 유지를 위해서 중요한 과정 중에 하나이다. 따라서 본 연구는 계란의 집란, 이송과정에서 발생할 수 있는 파란을 자동으로 검사하는 자동 검란 장치의 핵심기술을 개발하기 위한 목적으로 수행되었으며 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 1) 기 개발된 검란장치의 개발에 관한 국내외 연구자료 및 관련 기술현황을 조사 분석한다.
- 2) 자동화의 기초 자료로 사용하기 위하여 국내에서 생산되는 계란의 물리적 성질을 조사한다.
- 3) 검란 자동화 장치의 설계 기준으로써 음향 충격반응을 이용한 검란 방법을 제시하고 이의 효율성 분석을 실시한다.
- 4) 한 개의 정지계란에 대한 검란 기술 및 판별 알고리즘을 개발한다.
- 5) 이송 중 복수개의 계란을 동시에 검사할 수 있는 복란 검사장치 및 검란을 위한 핵심기술을 개발한다.
- 6) 이송 중의 계란을 검사하기 위하여 자동 이송장치를 설계한다.
- 7) 검란 장치에 의해 판별된 계란을 분리하는 분리장치를 설계한다.
- 8) 검란, 이송, 분리 장치를 결합하여 시스템의 성능을 평가한다.

## 제 2 장 계란의 물리적 성질

### (제2세부과제)

#### 제 1 절 서 설

계란은 양계장에서 이송장치에 의해 이송되면서 모서리나 벽 등에 부딪쳐 파란이 발생하며 처리과정에서 파손될 수도 있다. 파란이 계란 처리과정에서 파손되면 작업이 지체되고 이에 따라 작업효율이 저하되므로 검란 전에 파란을 우선적으로 제거해야 한다. 또한 파란은 정상란 보다 쉽게 깨질 수 있으므로 검란 및 선별 작업효율을 향상시키기 위해서 계란의 물성, 파손형태 및 파손위치에 대한 정보가 필요하다.

본 조사에서는 대표적 파란인 대 균열란(Impact Cracked), 흠형 파란(Toe-Punched) 및 미세 균열란(Body Check)의 3종류에 대하여 계란의 부위별 파손위치를 조사한 후 통계분석을 통하여 종류별 파손분포를 구하였다.

#### 제 2 절 파란의 파손 위치

##### 1. 파란의 종류

파란에는 여러 형태가 있으나 대표적인 파손형태(그림 2-1)인 대 균열란(Impact Cracked), 흠형 파란(Toe-Punched), 미세 균열란(Body Check)으로 분류하여 조사하였다. 대 균열란(Impact Cracked)은 계란표면에 선 모양으로 금이 간 것이고, 흠형 파란(Toe-Punched)은 계란이 흠 형태로 움푹 패인 것이다. 미세균열란(Body Check)은 거미줄 형태로 한 곳을 중심으로 사방으로 금이 간 계란이다.



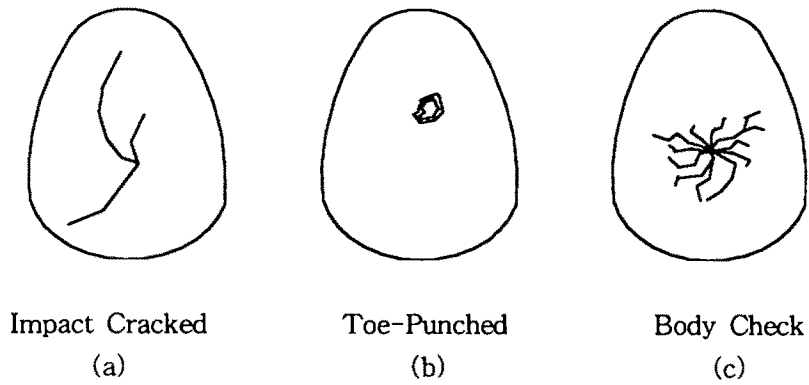
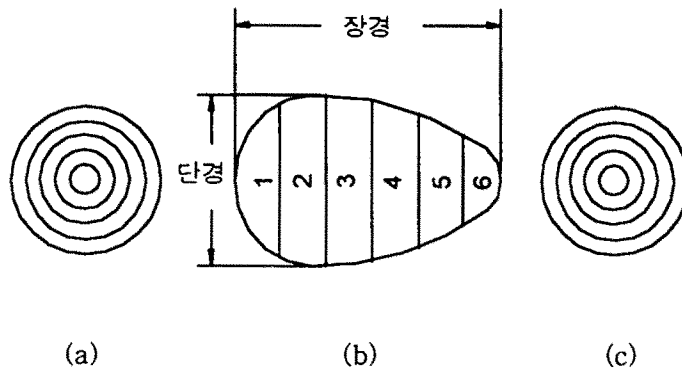


Fig. 2-1 Shapes of cracked eggs

## 2. 파란의 형태별 파손위치

파란의 형태별 파손위치를 그림 2-2와 같은 둔부 측면도, 평면도 및 첨부 측면도 3가지 도형으로 표시하였으며, 단경과 장경의 측정은 버어니어 캘리퍼스를 이용하였다. 파손의 형태와 위치는 육안에 의하여 위치표시를 하였으며 경우에 따라서 적도부에 파손이 발생한 경우 파손의 크기에 따라 측면도와 평면도 모두에 파손이 표시되는 경우도 있었고, 모두 표시가 되지 않는 경우도 있었으며, 한쪽 측면도에만 표시되는 경우도 있었다.



(a) side view from hip edge (b) front view (c) side view from sharp edge

Fig. 2-2 Geometries for cracked eggs representation

### 제 3 절 난각파괴강도 측정

자동 검란장치의 검란부와 선별부에서 외부 충격에 의한 계란의 파손을 최소화하기 위해서는 난각파괴강도에 대한 정보가 필요하다. 파괴강도의 측정을 위해서 충남대학교 농업기계공학과에 보유하고 있는 육묘보식용 로봇을 개조하여 난각파괴강도 측정장치 및 분석 프로그램을 개발하였다.

#### 1. 실험재료

실험에 사용된 계란은 임의로 선정된 K농장에서 구입한 계란으로 정상란의 경우 중량선별기를 거쳐 나온 왕란, 대란 및 중란을 이용하였고, 파란은 중량선별기를 거치기 전에 인력에 의해 선별한 것을 6가지 파란 형태와 연란으로 구분하여 이용하였다. 이때 파란의 개수는 형태별로 6개씩 총 42개를 이용하였고, 정상란은 8개씩 총 24개를 이용하였다.

#### 2. 난각파괴강도 측정 및 분석

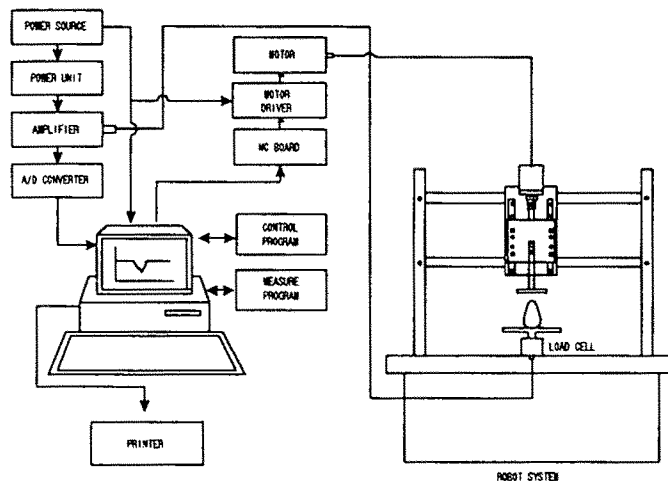


Fig. 2-3 Schematic diagram of measuring system for eggshell strength

그림 2-3은 난각파괴강도 측정시스템의 개략도이다. 자료의 수집은 난각강도측정기를 일정한 속도로 하강시키면서 계란을 압축하면 로드셀에서 계란이 파괴되기까지의 자료를 컴퓨터로 전송한다. 입력된 자료는 분석 프로그램에 의해 처리되어 모니터로 난각 파괴강도를 출력한다.

로드셀로부터 입력된 값은 계란을 받치고 있는 그릇과 계란의 무게를 포함하고 있으므로 난각파괴강도 출력시 이들 무게를 제외시켰다.

## 제 4 절 결과 및 고찰

### 1. 파란의 파손위치

표 2-1은 파손위치 조사를 위해 사용된 계란의 장경과 단경의 길이에 대한 통계를 나타내며, 표 2-2는 파란의 파손 위치와 파손 형태별 파손량을 조사한 결과이다.

표 2-2의 결과를 살펴보면, 파손 형태별로는 Toe-Punched 형태의 파란이 다른 형태의 파란보다 많은 것으로 나타났고, 파손 위치별로는 둔부 쪽보다 첨부 쪽이 파손량이 많은 것으로 나타났다.

파란의 파손 형태와 파손 위치별 조사 결과를 그림 2-4에 나타내었다. (a)는 Impact Cracked 형태의 파란으로 3번 위치에 파손이 많았다. (b)와 (c)는 표면이 움푹 패인 Toe-Punched 형태의 파란으로서 파손위치는 둔부의 중앙부분(1번)과 첨부의 끝부분(6번)에서 약간 벗어난 부분에 분포하였다. (d)에서 (f)는 Body Checked 형태의 파란으로 둔부 또는 첨부의 양쪽 끝 중앙을 제외한 약간 벗어난 위치에 파손이 많았고, (f)와 같이 첨부의 끝 정중앙에 분포하는 것도 많았다.

Table 2-1 Statistics of width and height of eggs (Unit : mm)

Width		Height	
Average	45.05	Average	69.78
Maximum	56	Maximum	77
Minimum	41	Minimum	48
Variation	3.46	Variation	10.10
Standard Deviation	1.86	Standard Deviation	3.18

Table 2-2 A number of cracked eggs in each position (Unit : Ea)

Position \ Kind	Impact Cracked	Toe-Punched	Body Check	Sum
Blunt end	84(32%)	123(47%)	55(21%)	262(100%)
Side	153(27%)	253(44%)	164(29%)	570(100%)
Point end	92(27%)	134(39%)	115(34%)	341(100%)
Sum	329(28%)	510(44%)	334(28%)	1173(100%)

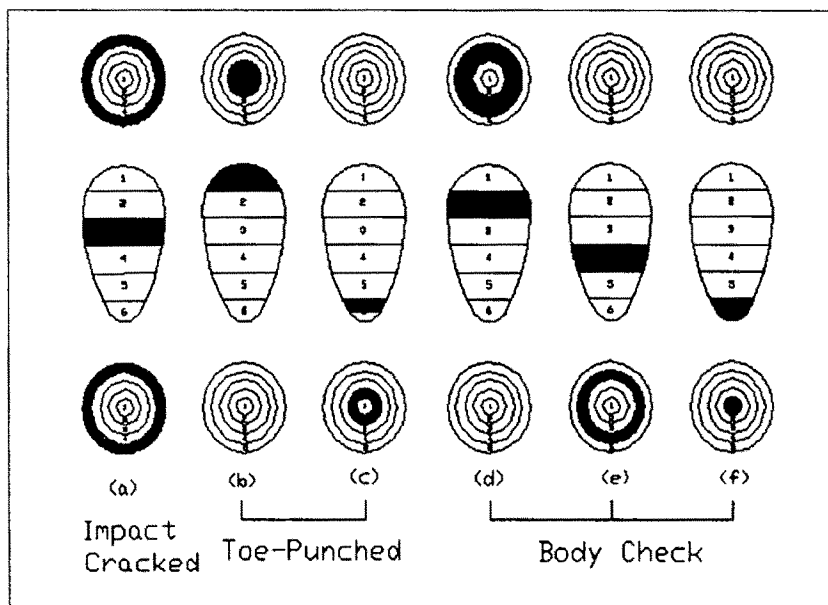


Fig. 2-4 Damaged positions in each shape of cracked eggs

## 2. 난각파괴강도

개발된 난각파괴강도 측정기를 이용하여 정상란과 파란의 난각강도를 측정하였고, 그 결과를 그림 2-5와 표 2-3에 나타내었다.

정상란의 경우 계란이 클수록 난각파괴강도가 작게 나타났고, 둔부와 첨부를 서로 바꾸어 실험할 경우 둔부를 위로 했을 때 약 0.5kgf 정도 난각파괴강도가 크게 나타났다.

파란의 난각파괴강도는 약 80% 정도가 1~2kgf로 정상란의 난각파괴강도보다 약 45% 정도 작게 나타났고, 첨부를 상부로 했을 경우 난각파괴강도가 더 큰 것으로 나타났다. 파란 중 가장 작은 난각파괴강도를 나타낸 것은 Toe-Punched (b) 형태였고, 다음으로 Body Check와 Impact Cracked 순으로 파손이 적을수록 난각파괴강도가 큰 것을 알 수 있다. 연란의 경우는 파란보다 난각파괴강도가 크게 나타났다.

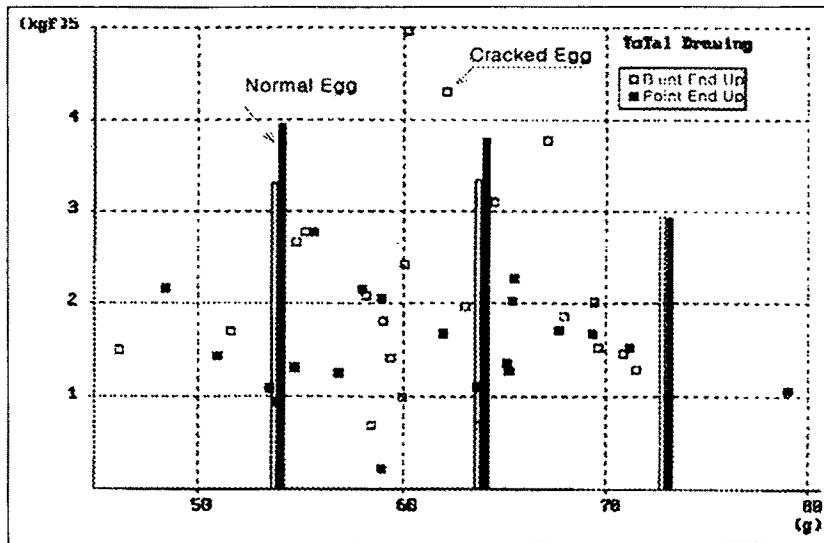


Fig. 2-5 Eggshell breakage strength of normal and cracked eggs

Table 2-3 Results of eggshell breakage strength of normal and cracked eggs (Unit : kgf)

Kind of eggs		Method of eggshell break		Average
		Point end to up	Blunt end to up	
Cracked Egg	Impact Cracked(a)	2.66	1.90	2.28
	Toe-Punched (b)	1.23	1.18	1.21
	Toe-Punched (c)	2.91	1.35	2.13
	Body Check (d)	1.54	1.30	1.42
	Body Check (e)	2.57	1.41	1.99
	Body Check (f)	1.38	1.46	1.42
	Soft Shell (g)	2.72	2.20	2.46
	Average	2.14	1.54	1.84
Normal Egg	Middle Egg	3.31	3.95	3.63
	Large Egg	3.35	3.80	3.57
	Jumbo Egg	2.93	2.91	2.92
	Average	3.20	3.54	3.37

### 3. 보급형 난각파괴강도 측정기

그림 2-6과 같은 난각파괴강도 측정기가 제작되었고, 그림 2-7은 난각파괴강도 측정 모습을 보여준다. 보급형 난각파괴강도 측정기의 작동 원리는 손잡이를 시계방향으로 돌려 압축판을 상부로 이동시킨 다음 계란을 올려놓고 손잡이를 천천히 반시계방향으로 돌리면 압축판이 하강한다. 압축판이 계란에 닿은 후 손잡이를 계속해서 반시계방향으로 돌리면 압축판은 움직이지 않고 스프링이 늘어나면서 힘이 스프링 저울의 눈금바늘에 표시된다. 조금 더 계란에 힘을 가하면 결국 계란이 파괴되면서 상부의 눈금바늘이 따라 내려오다가 멈춘다. 이때의 눈금값이 계란의 난각파괴강도이다.

난각파괴강도 측정기의 제작에는 외국에서 수입되는 난각파괴강도 측정기에 비하여 적은 비용이 소요되었으며, 성능에도 큰 차이가 없었다. 이 측정기가 일반 양계농가에 보급될 경우 저렴한 가격으로 계란의 난각파괴강도 측정이 가능하여 계란의 품질을 높일 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

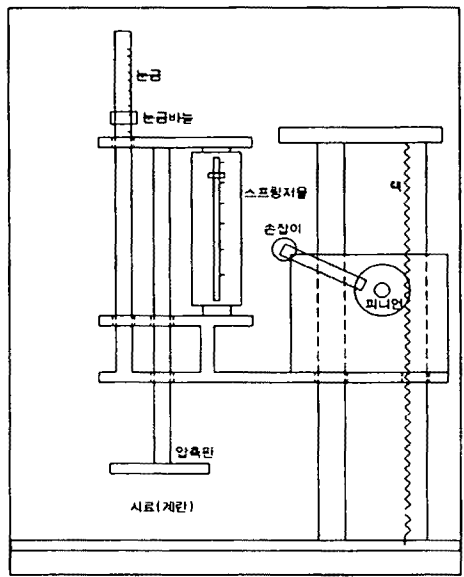
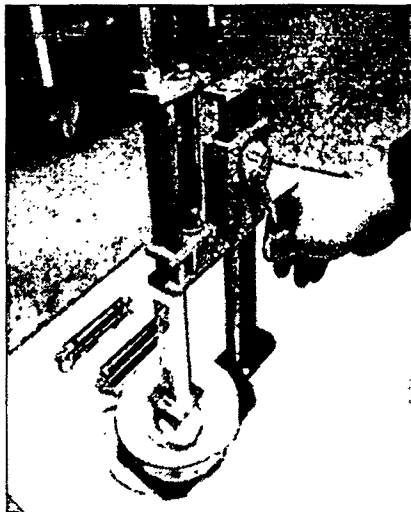
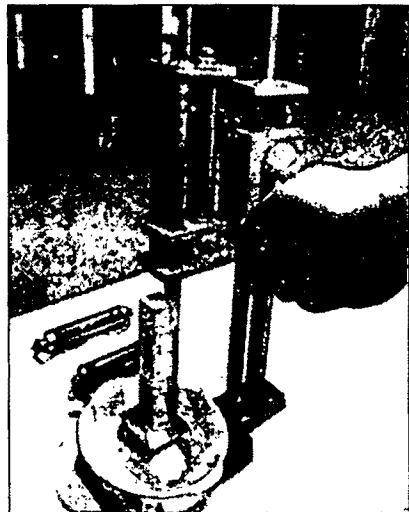


Fig. 2-6 Schematic of instrument for measuring eggshell breakage strength



(a) before



(b) after

Fig. 2-7 An instrument for measuring eggshell breakage strength

## 제 3 장 음향반응에 의한 검란

(제1세부과제)

### 제 1 절 서 설

자동 검란장치를 개발하기 위하여 계란 표면의 자동검사 방법으로 음향반응을 이용한 검란 방법을 제시하고, 음향반응에 의한 검란 가능성에 대한 기초 조사를 실시하였다. 그 기초 연구로서 난각의 음향반응에 영향을 미치는 인자들을 계란의 타격방법, 타격부위, 센서의 위치, 계란을 고정시키는 방법 등으로 선정하고 이것들이 음향신호에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 계란 음향신호의 파워 스펙트럼 분석을 통해서 계란의 결함이 가장 잘 구별될 수 있는 조건을 조사하여 정상란과 파란의 분류 가능성을 조사하였다.

### 제 2 절 재료 및 방법

#### 1. 공시재료

일반 상점과 계란 도매상에서 구입한 왕란, 특란, 대란, 중란, 소란을 임의로 섞어 정상란과 파란으로 구분하고, 또 임의로 계란의 집란 및 이송과정에서 발생하는 크랙과 유사한 크랙을 만들었다. 이때 임의 크랙 중 대균열란(Impact Cracked)은 폭  $10\mu\text{m}$ 이하, 길이  $15\sim 40\text{mm}$ 이하로 만들었고, 홈형파란(Toe-Punched)은 직경  $5\sim 10\text{mm}$ 이하, 미세균열란(Body Check)은 폭  $10\mu\text{m}$ 이하, 길이  $15\sim 30\text{mm}$  이하로 만들었다. 단, 홈형파란 중 계란에 커다란 손상이 있는 것은 제외시켰다.



## 2. 시스템 구성

난각의 음향반응을 측정하기 위해서 그림 3-1과 같이 실험용 검사 시스템을 구성하였으며, 그 사양은 표 3-1과 같다.

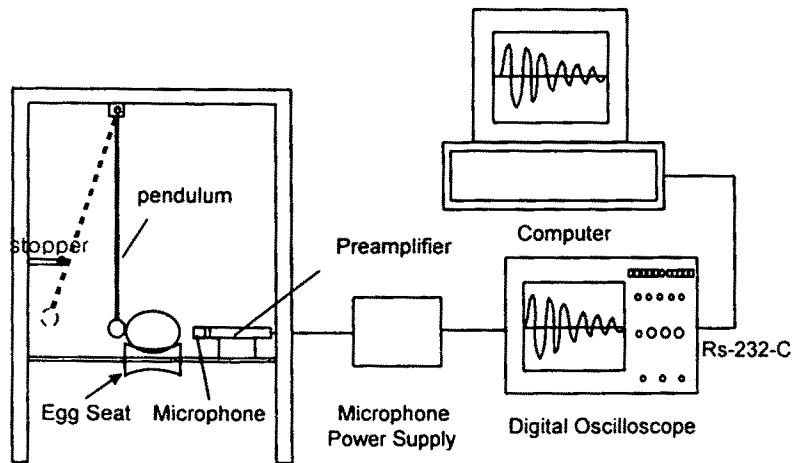


Fig. 3-1 Schematic diagram for acoustic response measurement of eggshell

실험장치의 작동은 먼저 볼이 달린 진자를 이용하여 계란이 깨지지 않을 정도로 타격하고, 타격에 의해 발생한 음향신호를 5Hz~20kHz의 주파수 반응을 측정할 수 있는 콘덴서형 마이크로폰(Brüel & Kjør 4165)에 의해 감지한다. 마이크로폰에 의해서 감지된 미세한 전기적 신호는 프리앰프(Brüel & Kjør 2669)에서 증폭된 후 마이크로폰 전원 공급장치(Brüel & Kjør 5935)를 거쳐 100MS/s의 샘플링율을 갖는 디지털 오실로스코프(Tektronix 2232)에 파형이 기록된다. 오실로스코프에 기록된 시간영역 파형의 주파수 특성을 알아보기 위해서 RS-232-C 직렬 인터페이스를 이용하여 오실로스코프에 저장되어 있는 파형 데이터를 PC(IBM-AT 486 DX2 66MHz)로 보내 MATLAB의 FFT(Fast Fourier Transformation) 함수를 이용하여 주파수 분석을 하였다.

타격으로 인한 계란의 손상을 막기 위해 정상란의 난각파괴강도 3.37kgf  
파란의 난각파괴강도 1.84kgf를 고려하여 타격강도를 조절하였다.

Table 3-1 Specifications of test equipment

Item	Type	Feature
IBM-PC	486DX2-66MHz	RAM 8Mb
Digital Storage Oscilloscope	Tektronix 2232	Frequency bandwidth 100MHz
Condenser Microphone	Brüel & Kjær 4165	Frequency Response 5Hz~20kHz
Microphone Preamplifier	Brüel & Kjær 2669	Frequency Response 3Hz~200kHz
Dual Microphone Supply	Brüel & Kjær 5935	Frequency Response 0.5Hz~100kHz

### 3. 실험 방법

계란의 음향 반응에서 표면에 크랙이 있는 계란과 없는 계란의 주파수 특성을 가장 잘 나타내 주는 실험조건을 찾기 위해서 계란의 음향반응에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 타격구의 재질, 충격력, 계란을 고정하는 받침대의 재질, 계란과 마이크로폰 사이의 거리 및 계란의 타격부위와 마이크로폰의 위치로 선택하고 그 인자들을 변화시켜 가면서 실험을 실시하였다.

구의 재질은 알루미늄, 세라믹, 플라스틱 및 나무를 선택하였으며, 봉의 길이는 200mm로 고정하고, 구의 재질에 따른 영향을 조사하였다. 충격력의 영향을 알아보기 위해서 타격진자의 각도를 수직위치에서 25°, 20°, 15° 및 10°로 변화시켰으며, 봉과 볼의 자중에 의해 계란을 타격 하였다. 받침대의 재질은 알루미늄, 고무, 나무로 변화시켰으며, 기존 양계 자동화 시설의 계란 이송 장

치에 사용하고 있는 것과 동일한 모양과 크기로 제작하였다. 계란과 마이크  
폰 사이의 거리는 10mm, 20mm, 30mm로 변화시켰다.

또한 그림 3-2와 같이 계란의 타격부위와 마이크폰의 위치를 변화시켜  
가면서 계란의 음향반응을 측정하였다. 먼저 계란의 첨단부를 타격하고 마이크  
폰의 위치를 타격지점에서 180°, 90°, 45°로 변화시켜 가면서 파형을 관찰  
하였다. 다음으로 계란의 둔단부를 타격하고 위와 같은 실험을 반복했으며, 마  
지막으로 계란의 적도부위를 타격하고 위의 실험을 반복하였다. 적도부위 타격  
시 90° 지점에서는 둔단부와 첨단부 두 군데를 측정하여 파형을 비교하였다.

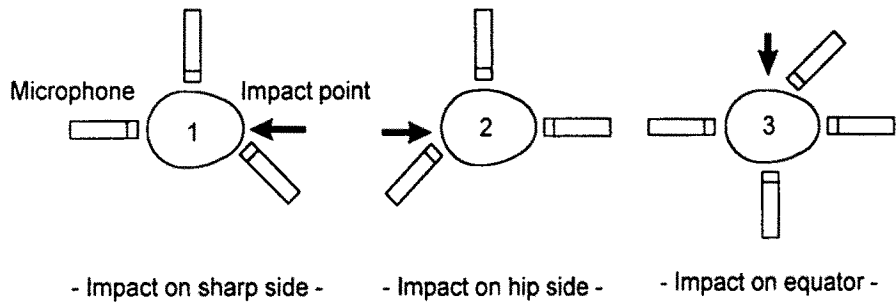


Fig. 3-2 Impact and sensor location in egg

위의 실험 결과를 통하여 계란의 음향반응을 가장 잘 나타내주는 인자들을  
선택하고, 그 인자들을 적용하여 정상란과 파란의 음향반응을 측정하였다.

## 제 3 절 결과 및 고찰

### 1. 타격구의 재질에 따른 영향

계란을 타격하는 구의 재질을 알루미늄, 세라믹, 플라스틱 및 나무로 변화시켜 가면서 정상란과 파란의 음향 반응을 측정하고, 얻어진 파형에 대해서 FFT 분석을 실시한 결과 그림 3-3의 파워 스펙트럼에서 보듯이 세라믹에서 정상란과 파란을 구별하기에 좋은 파형을 얻을 수 있었다. 알루미늄의 경우 계란에 무리한 타격을 할 경우 깨질 우려도 있고, 파형도 깨지는 듯한 파형을 보였으며, 나무의 경우는 탄성이 약해서 파형이 약간 미약하였다. 이후 실험은 직경 15mm의 세라믹 구로 고정하여 실시하였다.

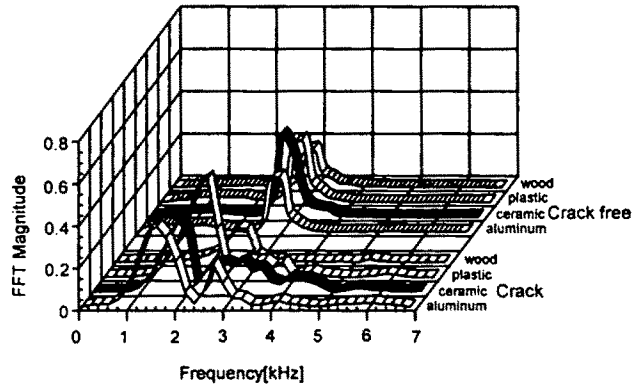


Fig. 3-3 Effects of impact materials on power spectrum

### 2. 충격력에 따른 영향

충격력의 영향을 알아보기 위해서 진자의 타격각도를 변화시킨 결과 정상란의 경우 그림 3-4에서 보듯이 진자의 타격 각도에 따라 파워 스펙트럼의 크

기에는 영향을 미치지, 그 침두치에 해당하는 공진 주파수의 변화는 거의 없었다. 즉 충격력이 크면 파워 스펙트럼의 크기도 커지고, 충격력이 작으면 파워 스펙트럼의 크기 또한 작아지는 경향을 나타내었다. 그러나 음향신호의 공진주파수는 진자의 타격각도에 관계없이 거의 일정했다.

파란의 경우에는 정상란의 두드러진 특성과는 달리 진자의 타격 각도에 따라서 공진 주파수의 변화가 생겼다.

위의 사항을 고려해 볼 때 정상란만을 생각하면 충격력에 따른 영향을 고려하지 않아도 되지만, 파란을 같이 고려한다면 적당한 충격력을 찾는 것이 중요한 일이다. 실험결과 진자의 각도가 25°일 경우에는 계란에 무리한 충격을 가하며, 20° 미만일 경우에는 공진주파수의 크기가 작아서 정상란과 파란의 구별이 확실치 않기 때문에 진자의 타격 각도를 20°로 선택하였다. 이때 진자의 길이는 200mm이고, 타격 높이는 7mm였다.

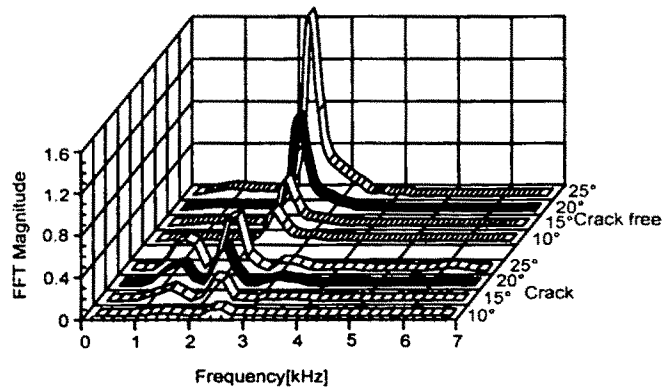


Fig. 3-4 Effects of pendulum angle on power spectrum

### 3. 받침대의 재질에 따른 영향

계란을 고정하는 받침대의 재질을 알루미늄, 고무, 나무로 변화시켜 가면서

파형의 변화를 관찰한 결과 그림 3-5에서 보듯이 공진 주파수의 크기에만 약간의 차이가 있을 뿐 받침대의 재질은 계란의 음향반응에 크게 영향을 미치지 않는 것이 확인되었다. 고무의 경우 알루미늄이나 나무보다 공진주파수의 크기가 작게 나타났지만 그 차이는 극히 작았고, 알루미늄과 나무의 경우는 계란을 확실하게 고정하지 못하고 타격시 흔들리는 경향이 있었다. 따라서 계란을 확실히 고정 시켜줄 수 있는 고무 받침대를 선택하였다.

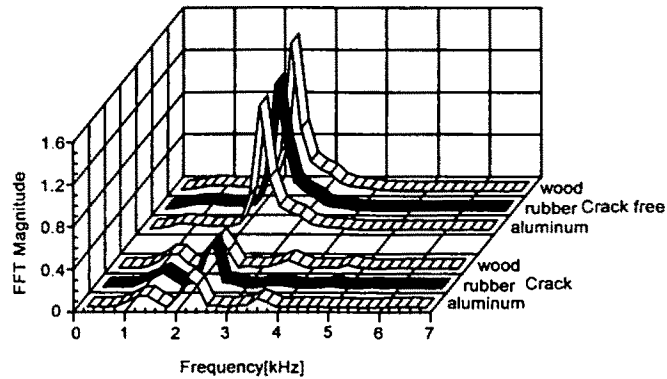


Fig. 3-5 Effects of egg seat materials on power spectrum

#### 4. 계란과 마이크로폰 사이의 거리에 따른 영향

그림 3-6은 계란과 마이크로폰 사이의 거리를 10mm, 20mm, 30mm로 변화시켜 가면서 파형의 변화를 관찰한 것이다. 그 결과 계란과 마이크로폰 사이의 거리는 진동의 진폭에만 영향을 미치고 공진 주파수에는 영향을 주지 않았으며, 10mm이내에서 측정시 정상란과 파란을 가장 잘 구별할 수 있는 파형을 얻을 수 있었다. 음향반응 측정시 계란과 마이크로폰이 접촉할 경우나 30mm 이상에서 측정할 경우에는 원하지 않는 파형이 나오는 것이 확인되었다.

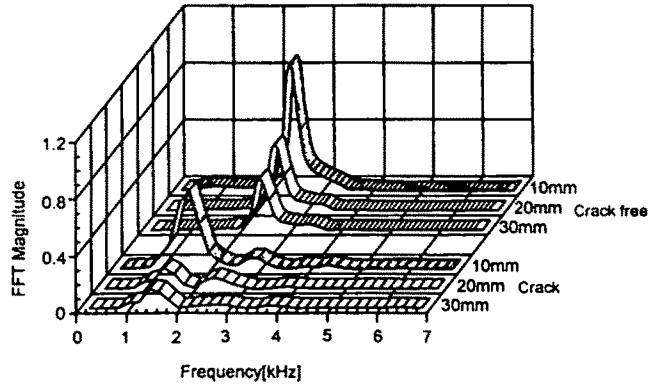


Fig. 3-6 Effects of distances between sensor and egg on power spectrum

## 5. 타격 부위 및 센서의 위치에 따른 영향

### 가. 침단부 타격

계란의 침단부를 타격하고 마이크론을 타격지점을 기준으로  $45^\circ$ 에서 측정할 때 시간영역의 파형은 타격시 타격음을 직접 받아들이기 때문에 다른 부위에서 측정할 때보다 초기 진폭이 크고 진동의 감소는 비교적 일정하게 오래 지속되었다. 그러나 초기 진폭이 크기 때문에 파워 스펙트럼에서는 두 개 이상의 첨두치를 나타내었다.  $90^\circ$ 에서 측정시에는 어느정도의 주파수 특성이 나타났지만 파워 스펙트럼의 크기가 그림 3-7(a)에서 보듯이  $45^\circ$ 나  $180^\circ$ 에 비해 아주 작게 나타났다.  $180^\circ$ 에서 측정시에는 시간영역에서 진동의 감쇠가 다른 경우와 비교해서 일정하게 오래 지속되며 파워 스펙트럼에서는 하나의 높은 첨두치를 가지기 때문에 공진주파수와 그 크기의 구별이 확실하게 나타났다.

### 나. 둔단부 타격

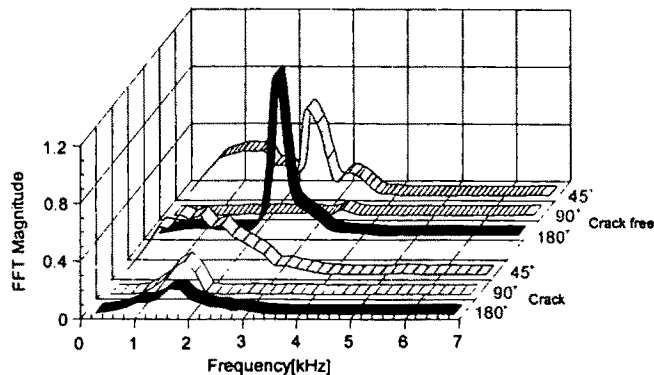
침단부를 타격할 때와 거의 같은 양상을 나타내지만 둔단부를 타격할 경우

시간영역의 파형은 진동이 빨리 감소되며 주기 또한 침단부를 타격할 때와 비교해서 일정하지 않다. 파워 스펙트럼에서도 45°일 때 파워 스펙트럼의 크기가 상대적으로 매우 높았으며 90°일 때는 거의 구별할 수 없을 정도로 작았다. 180° 지점에서 측정시 어느정도의 계란의 주파수 특성이 나타나지만 두 개의 침두치가 생기는 경우가 있었으며, 또 두 침두치의 크기 차이가 그림 3-7(b)에 나타난 바와 같이 분명하지 않았다.

#### 다. 적도부위 타격

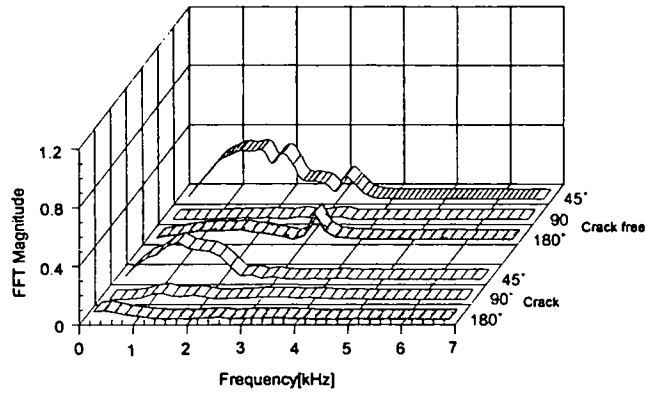
적도부위를 타격할 경우 시간영역의 파형에는 잡음이 많이 섞여 나왔으며 진동의 감소 또한 일정하지 않았다. 파워 스펙트럼에서는 그림 3-7(c)에서 보듯이 90° 지점에서 측정시에는 파워 스펙트럼의 크기가 아주 작아서 특정 주파수를 구별하기가 힘들었다. 45°와 180° 지점에서 측정시 2~3개 이상의 침두치가 생기며 공진주파수도 수시로 변해서 구별하기가 어려웠다.

이상에서 계란의 타격부위는 침단부를 타격하고, 마이크론의 측정위치는 타격지점을 기준으로 180° 지점에서 측정하는 경우를 선택하였다.

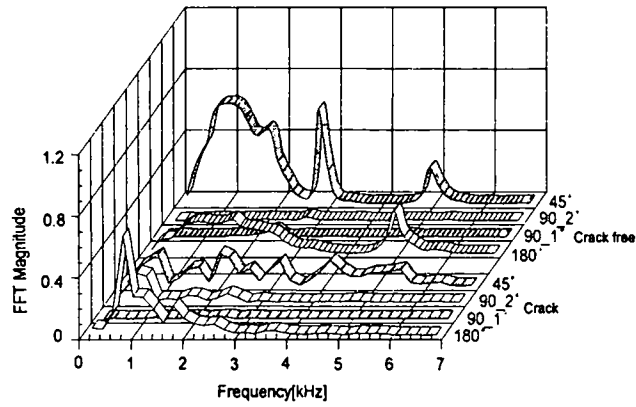


(a) Impact on sharp side





(b) Impact on hip side



(c) Impact on equator

Fig. 3-7 Effects of sensor location on power spectrum

## 6. 난각의 음향반응

위의 결과로부터 계란을 타격하는 볼의 재질은 세라믹으로 하고, 진자의 타격 각도는  $20^\circ$ , 받침대는 고무로 고정했으며, 계란과 마이크로폰과의 측정거리는 10mm 이내, 그리고 계란의 타격부위는 첨단부, 측정위치는 타격지점과  $180^\circ$  지점으로 선택하여 난각의 음향 반응을 측정하였다.

그림 3-8과 그림 3-9는 각각 정상란과 파란의 전형적인 음향신호와 파워스펙트럼을 나타낸다. 각 음파로부터 총 1024개의 데이터 점이 얻어졌으며, 이 1024 데이터를 가지고 FFT를 실시하였다. 정상란의 경우 그림 3-8에서 보듯이 시간의 변화에 따른 음향반응은 파형에 잡음이 거의 없고, 주기가 일정하며 지수함수적으로 감소하는 파형을 보였다. 또 파워 스펙트럼에서는 단 하나의 첨두치를 나타내었으며, 다른 첨두치들은 거의 무시할 만큼 작았다. 그림 3-9의 파란의 시간영역 파형에서는 파형에 잡음이 많이 섞여 있으며, 주기 또한 일정하지 않고 파워 스펙트럼에서도 여러개의 첨두치를 나타내었다.

이상의 결과로부터 계란을 타격함으로써 발생하는 음향신호의 파워스펙트럼을 분석함으로써 정상란과 파란을 분류할 수 있으리라 사료된다.

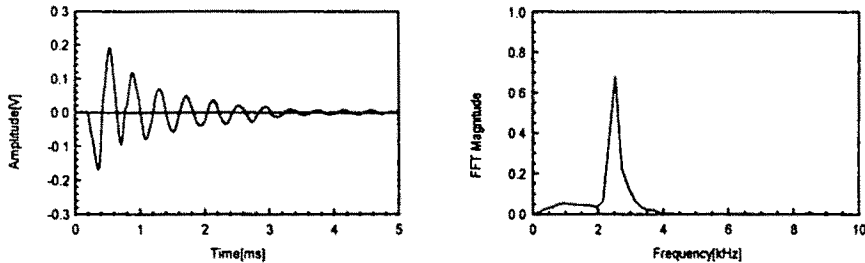


Fig. 3-8 Sound response(left) and power spectrum(right) of normal eggs

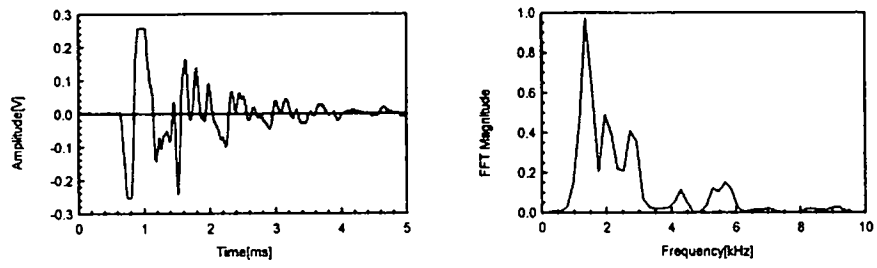


Fig. 3-9 Sound response(left) and power spectrum(right) of cracked eggs

## 제 4 장 검란 장치

(제1세부과제)

### 제 1 절 서 설

검란 장치는 계란의 크랙 유무를 검사하는 부분으로서 음향반응을 이용한 검란 방법을 채택하고 있다. 음향반응을 이용한 검란 가능성과 계란의 음향반응을 측정함에 있어 영향을 미칠 수 있는 인자들에 대해서는 3장에서 확인하였으며, 이것들을 기초로 한 개의 정지 계란을 검사할 수 있는 단란용 검란 장치 및 검란 알고리즘을 개발하였다.

단란용 검란 장치에서 얻은 검란 알고리즘 및 시스템 구성을 기초로 이송 장치에 의해 연속적으로 이동하는 계란을 검사할 수 있는 복란용 검란장치를 구성하였고, 디지털신호처리 보드로 다 채널의 신호를 입력받아 신호처리를 거친 후 판별알고리즘을 적용하여 파란 분리장치로 판별신호를 출력하는 제어 소프트웨어를 개발하였다.

### 제 2 절 단란용 검란 장치

#### 1. 단란용 검란 장치의 개요

단란용 검란 장치는 복란용 검란 장치를 구성하기 위한 기초 단계로서 정지된 한 개의 계란에 있는 표면 결함을 검사하기 위한 장치이다. 3장에서 연구된 음향반응에 의한 검란 가능성 조사에서 밝혀진 내용을 기초로 하여, 단란용 검란 장치를 구성하였다. 단란용 검란 장치는 신호발생장치, 신호측정 및 처리 장치, 신호수집장치, 신호표시장치 및 신호분석장치로 구성하였다. 다음은 각

장치 별 주요 기능 및 역할이다.

#### 가. 신호발생장치

신호발생장치는 검사에 필요한 음향을 발생하는 장치로서 계란을 타격하기 위한 구동부와 구동봉으로 구성된다. 구동부로는 솔레노이드를 선택하였으며, 구동봉은 작은 막대 끝에 세라믹 볼을 부착시켜 제작하였다. 솔레노이드의 종류와 세라믹 볼의 크기는 계란에 파손을 최소화하는 범위 내에서 충분한 신호를 발생할 수 있는 것으로 선택하기 위하여 많은 기초실험을 통하여 최선의 조합을 선택하였다.

구동부는 가변 직류 전원을 사용하여, 적절한 전압을 선택할 수 있도록 하였으며, 스위치에 의해 작동되도록 하였다. 구동부에 사용된 솔레노이드는 여러 제조회사의 다양한 모델을 수집하여 기초실험을 하여 최적의 모델을 선택하였다.

#### 나. 신호측정 및 처리장치

신호측정장치는 계란 타격에 의해 발생한 음향을 측정하기 위한 장치로서 저렴한 소형 콘덴서형 마이크로폰을 사용하였다. 신호처리장치는 센서에서 나오는 미약한 신호를 증폭하기 위한 장치로서 프리앰프를 사용하였다.

#### 다. 신호수집장치

신호수집장치는 신호의 해석 및 저장을 위해 신호를 수집하기 위한 장치로서, 실시간 온라인화를 위하여 DSP(Digital Signal Processing) 보드를 사용하였다.

#### 라. 신호표시장치

신호표시장치로는 컴퓨터 모니터로서 수집되는 음향자료의 시간 및 주파수 파형을 나타내도록 하였다.

### 마. 신호분석 장치

신호분석장치는 수집된 신호를 개발된 알고리즘에 적용하여 계란의 크랙유무를 자동으로 판정해주는 장치로서 하드웨어로는 개인용 컴퓨터가 사용되고, 소프트웨어로는 C언어로 작성된 프로그램이 사용되었다.

## 2. 단란용 검란 장치 구성

단란용 검란 장치의 구성 요소로서 저렴한 콘덴서형 마이크로폰, 간단한 회로로 제작된 프리앰프, 전원공급장치, 솔레노이드 구동 방식 세라믹 타격봉, DSP 보드, 컴퓨터, 회전형 계란 받침 및 회전각 조절장치, 및 전체 케이스를 구매 또는 제작하여 구성하였다. 그림 4-1은 단란용 검란 장치의 개략도를 보여주며, 그림 4-2는 최종적으로 구성된 단란용 검란 장치의 전체 사진을 보여준다. 표 4-1은 주요 부품의 사양을 나타낸다.

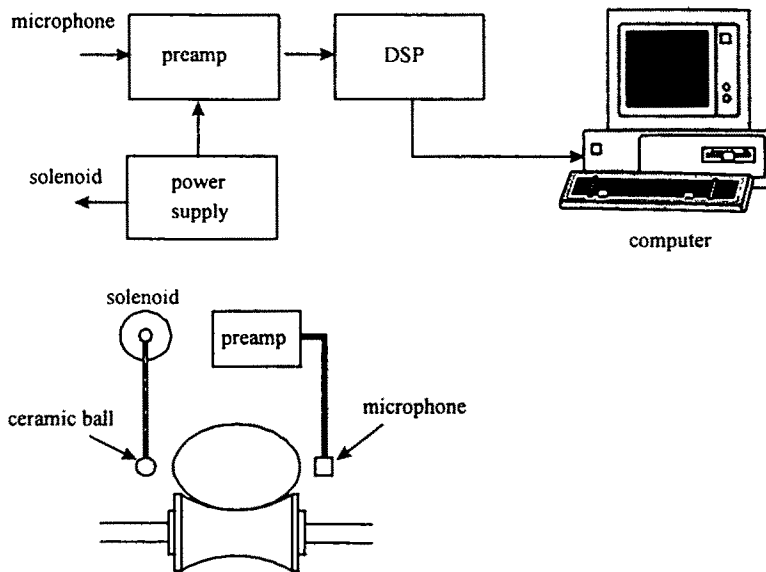


Fig. 4-1 Schematic diagram of single egg inspection system

Table 4-1 Specification of main parts in single egg inspection system

Part	Specification	Manufacturer
Microphone	2Hz-20kHz Condenser type	National, Japan
Pre-Amplifier	2Hz-20kHz, 1A	Laboratory Made
Power supply	0-24V, 1A	Hanil, Korea
Solenoid	Rotary type, 45degree	Shindengen, Japan
DSP board	40MHz, 16bit a/d	Ariel, USA
Computer	IBM PC 486 Dx2	Compatible, Korea

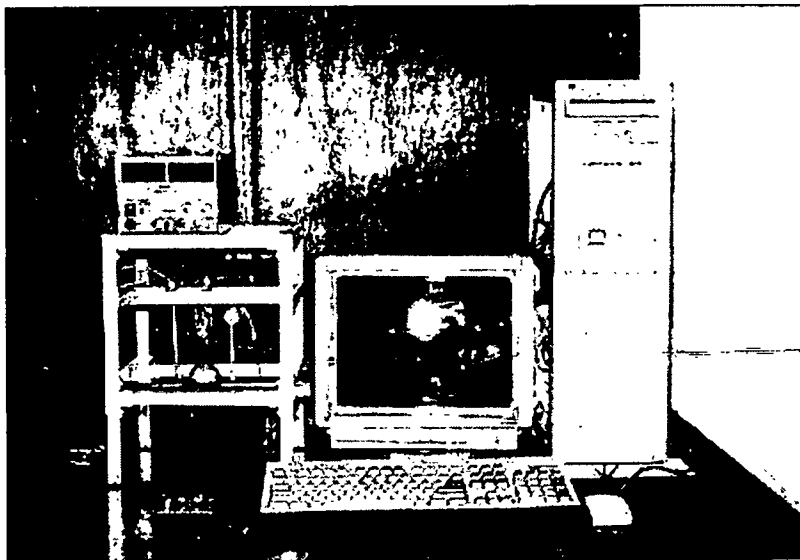


Fig. 4-2 Front view of the single egg inspection system

### 3. 단란용 검란 알고리즘의 주요인자

계란의 측부를 타격 함으로써 발생한 음향신호에 대한 파워 스펙트럼(그림 4-3) 분석을 통해서 검란 알고리즘의 주요 인자로 정규화 된 파워 스펙트럼의

면적, 도심의 위치, 최대 공진 주파수 등을 선정하였다. 이때 주요 인자에 대한 수식은 다음과 같다.

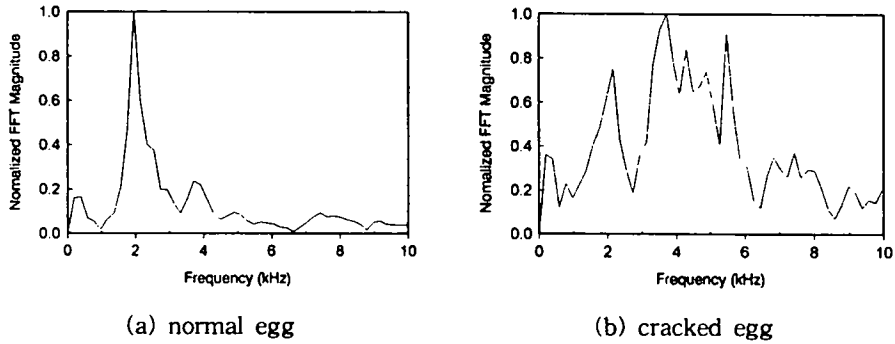


Fig. 4-3 Normalized power spectrum of acoustic impact in normal and cracked egg.

가. 파워 스펙트럼 면적

$$S = \sum_{i=0}^n P_i \quad (4-1)$$

여기서  $P_i$  : 파워 스펙트럼의 진폭

나. 파워 스펙트럼 도심

$$C_x = \frac{\sum_{i=0}^k P_i \cdot f_i}{\sum_{i=0}^k P_i} \quad (4-2)$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=0}^k P_i \cdot \left(\frac{P_i}{2}\right)}{\sum_{i=0}^k P_i} \quad (4-3)$$

여기서  $C_x, C_y$  : 도심의 좌표,  $f_i$  : 주파수



#### 다. 최대 공진 주파수

$$f_{res} = f(P_{i, max}) \quad (4-4)$$

#### 4. 단란 검란 알고리즘 개발

검란 알고리즘을 구하기 위하여 양계장으로부터 구한 등급별 20개씩을 임의로 추출한 정상란 100개를 시료로 이용하였다. 각 계란을 회전시키고 90도 간격으로 4세트의 신호를 측정하였는데, 침부를 타격하고 둔부에서 측정한 신호 2세트와 둔부를 타격하고 침부에서 측정한 신호 2세트를 수집하였다. 또한 정상란 100개에 임의의 크랙을 만들어 파란에 대해서도 정상란과 같은 방법으로 신호를 수집하였다. 따라서 정상란의 경우 계란 당 모두 4세트의 신호 즉 계란 100개에서 추출한 400세트의 신호가 수집되며, 파란의 경우도 마찬가지로 400세트의 신호가 수집된다.

수집된 신호를 이용하여 위에서 선정한 정규화 된 파워 스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 신호간 최대 최소값의 차이를 판별 인자로 가정하고 각각의 판별 능력을 비교하였다. 이를 위하여 정상란과 파란의 차이가 두드러지게 나타나는 0~6.25 kHz 주파수 범위 내의 값들을 이용하였으며, 침부와 둔부를 각 2회씩 타격 하는 경우(4회 타격)와 각 3회씩 타격 하는 경우(6회 타격)로 나누어서 그 결과를 비교하였다.

### 제 3 절 복란용 검란 장치

#### 1. 복란용 검란 장치의 개요

복란용 검란 장치는 여러 개의 계란을 연속적으로 검사하는 장치를 의미하며 실제의 양계장 적용이 가능한 것이다. 단란용 검란 장치를 수정하여 연속적으로 이동하는 계란을 검사할 수 있도록 하였다. 검란 장치에 투입될 계란의

이송은 기존 양계시설 업체에서 제작 판매하는 이송장치를 활용하였다. 검란 장치에 투입되는 계란의 이송속도는 검란 속도에 비례하도록 하여 계란의 이송속도에 따라 검란 구동부가 작동하도록 하였고, 계란이 누락된 경우에는 검란 작업을 생략할 수 있도록 설계하였다. 설계된 검란 장치는 일렬로 주입되는 계란을 검사할 수 있으며, 필요 처리량에 따라 증설이 가능하다.

## 2. 복란용 검란 장치 구성

그림 4-4는 복란 검란 장치의 개략도이고, 표 4-2는 장치에 사용된 주요부의 사양이다.

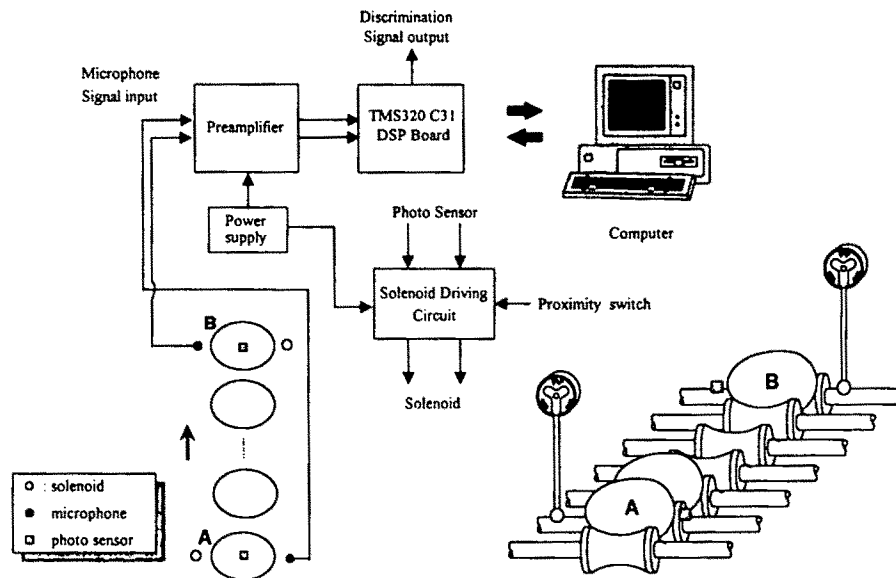


Fig. 4-4 Schematic diagram of multiple egg inspection system

Table 4-2 Specification of main parts in multiple egg inspection system

Part	Specification	Manufacturer
Microphone	2Hz-20kHz Condenser type	National, Japan
Pre-Amplifier	2Hz-20kHz, 1A	Laboratory Made
Power supply	+5V 2A, $\pm 12V$ 0.3A	Fine Suntronix, Korea
Solenoid	M30131142R, Rotary type	Shindengen, Japan
Photo sensor	BRP100-DDT	Autonics, Korea
Proximity switch	PS17-5DP	Autonics, Korea
DSP board	50MHz, A/D(200kHz)	Innovative Int., USA
Computer	Industrial, Pentium 233MHz	Compatible, Korea

시스템의 흐름은 계란이 이송장치에 의해 일렬로 진행하면서 계란의 유무 및 타격위치를 감지하는 광센서와 근접스위치의 조합에 의해 솔레노이드가 작동해서 계란을 타격하고, 타격에 의한 음향신호를 마이크로폰으로 감지하여 프리앰프에서 증폭한 후 디지털신호 처리보드로 보내져 신호처리를 수행하여 판별신호를 파란분리장치로 출력한다.

이때 타격장치는 침부 한 번과 둔부 한 번을 타격 할 수 있도록 두 세트를 설치하였다.

#### 가. 솔레노이드 작동의 자동화

단란용 검란 장치에서는 계란을 타격 하는 솔레노이드를 수동으로 작동하였다. 그러나 전 시스템의 자동화를 위해서 계란의 위치 및 존재유무를 결정하는 센서에 의해서 솔레노이드의 동작 유무를 제어하려고 한다.

즉, 이송장치에서 정렬된 계란은 검란 장치로 투입되는데 때로는 계란이 빈채로 이송되는 경우가 있으며, 이때는 계란을 타격 하는 솔레노이드의 작동이 무의미하게 된다. 이를 해결하기 위해서 타격 위치에서의 계란의 유무를 판단할 수 있는 직접 반사형 광센서를 계란의 상부에 설치하였으며, 계란이 정확한

타격지점에 도착했는가를 검출하기 위해서 이송 컨베이어의 구동축에 근접스 위치를 부착하였다.

솔레노이드는 스위칭 신호에 의해 외부에서 5V의 전원이 입력됨으로써 작동된다. 이때 스위칭 신호는 광센서와 근접스위치 양방의 신호를 동시에 만족할 때, 즉 계란이 이송되면서 타격지점에 도착해 있고 그 지점에 실제 계란이 있을 경우에만 트랜지스터 스위칭 회로가 도통되어 솔레노이드가 작동된다.

이때 광센서와 근접스위치의 동시만족은 AND 게이트가 4개 내장되어 있는 TTL IC 7408을 사용하였고, 동시 만족신호에 의해 솔레노이드가 계란을 타격할 때 타격접촉시간을 조절하기 위해서 멀티바이브레이터가 내장되어 있는 CMOS IC 4528을 사용하였다. 이때 타격접촉시간은 식(4-5)에 의해서 설정하며, 10kΩ 가변저항에 의해 솔레노이드의 강도를 조절하도록 하였다.

그림 4-5는 한 개의 솔레노이드에 대한 동작회로이다.

$$\begin{aligned}
 T_c &= 0.26 \cdot R_x \cdot C_x \cdot \ln V_{DD} \\
 &= 0.26 \times 1000000 \times 0.000000267 \times \ln 5 \\
 &= 0.1117 \text{ sec}
 \end{aligned}
 \tag{4-5}$$

여기서  $T_c$  : 타격 접촉시간 [sec]

$R_x$  : 저항 [ $\Omega$ ]

$C_x$  : 콘덴서 [F]

$V_{DD}$  : 솔레노이드 입력전압[V]

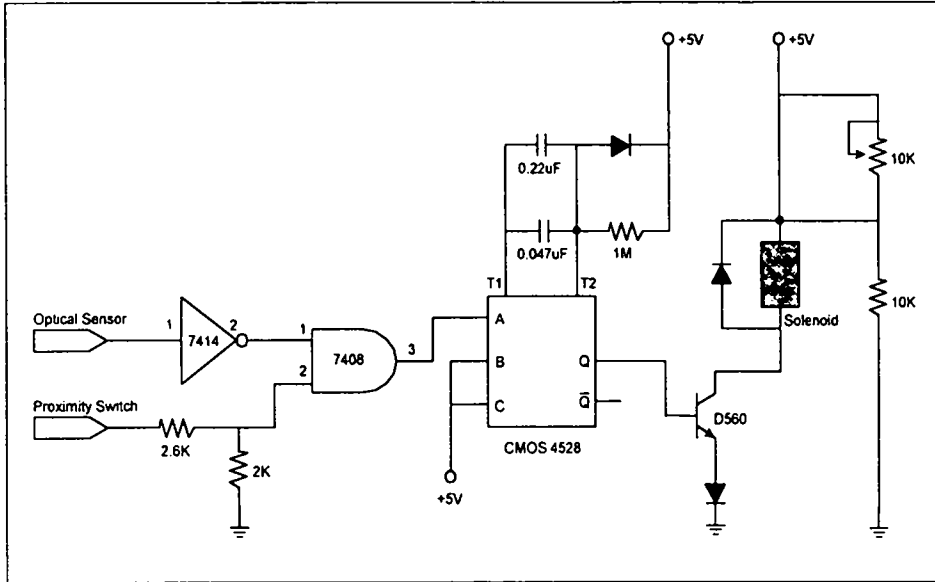


Fig. 4-5 Circuit diagram of the solenoid driving unit

#### 나. 마이크로폰 증폭 회로

계란 타격음을 감지하는 마이크로폰은 전화기에 많이 사용하는 소형 콘덴서형을 사용하였다. 마이크로폰의 출력신호는 아주 미세하기 때문에 이를 증폭하지 않으면 신호처리에 이용할 수가 없다. 따라서 신호증폭을 위해서 증폭회로인 프리앰프 회로를 제작하였다. 그림 4-6은 프리앰프 회로를 나타낸다.

프리앰프는 +12V 전원을 사용하며 100kΩ의 가변저항에 의해 이득을 조절할 수 있게 하였다. 프리앰프의 처리 주파수 대역은 2Hz~20kHz의 범위이다.

#### 다. 잡음제거 필터가 내장된 증폭회로

마이크로폰의 신호입력시 전기적인 저주파 노이즈와 컨베이어의 노이즈를 제거하기 위해 그림 4-7과 같은 10Hz~1kHz 범위를 차단할 수 있는 2차 버터워스 고역통과 필터가 첨가된 프리앰프 회로를 제작하였다. 이때 차단주파수의 범위는 조절이 가능하며, 필터의 감쇠특성은 12dB/oct 정도로 하였다.

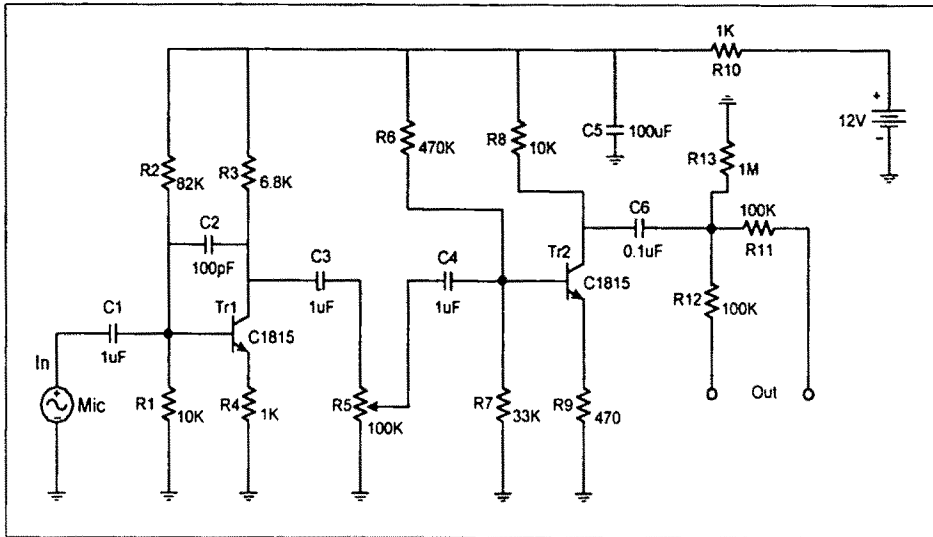


Fig. 4-6 Circuit of microphone pre-amplifier

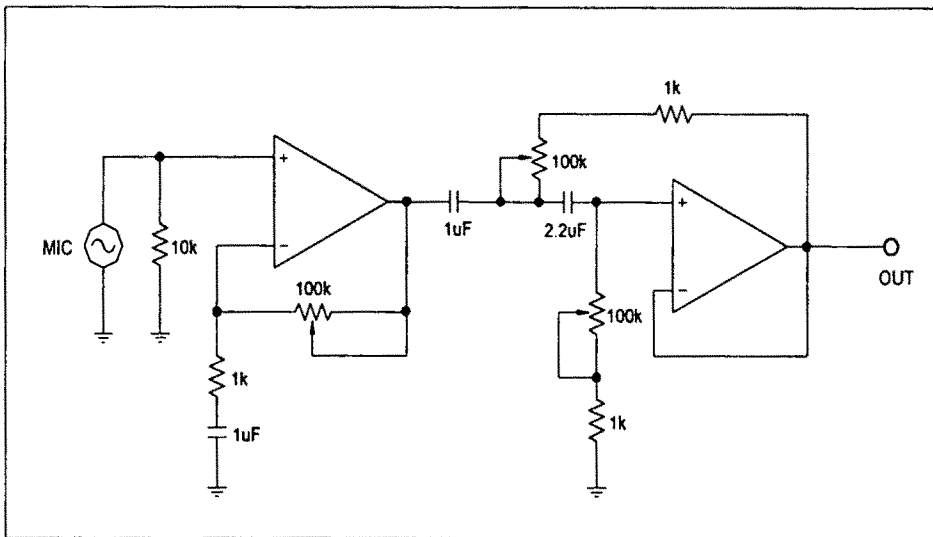


Fig. 4-7 Circuit of microphone pre-amplifier with high pass filter

### 3. 복란 검란 알고리즘 개발

복란 검란 알고리즘은 단란 검란 알고리즘을 기초로 개발되었다. 정지 상태의 계란에서 구해진 단란 검란 알고리즘을 연속적으로 이동하는 계란의 검사에 적용하기 위해서는 알고리즘의 수정 및 보완이 필요하다.

따라서 양계장으로부터 구한 정상란 200개, 파란 200개를 개발된 복란 검란 장치에 적용하여 음향 데이터를 수집하였다. 이때 각 계란에 대하여 침부를 타격한 데이터 한 세트와 둔부를 타격한 데이터 한 세트를 수집하였다.

수집된 신호를 이용하여 단란 검란 알고리즘 개발시 선정된 정규화 된 파워 스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 신호간 최대 최소값의 차이를 구하였으며, 복란 검란 알고리즘에 이 값들의 적용 여부를 조사하였다.

## 제 4 절 신호처리 및 제어 소프트웨어

복란 검란용 소프트웨어 개발을 위해 TMS320C31 디지털 신호처리를 탑재하고 있는 디지털 신호처리보드(PC31)를 사용하였다.

PC31은 200kHz의 샘플링이 가능한 2개의 A/D 변환기를 가지고 있으며, 멀디플렉싱을 통해서 1개의 A/D 변환기 당 8개의 채널을 이용할 수가 있다. 따라서 2개의 A/D 변환기를 모두 사용한다면 총 16개의 채널을 이용할 수가 있다. 본 연구에서는 타격신호 입력을 위해서 A/D 변환기 A와 B에서 각각 2개의 채널씩 총 4개의 채널을 사용하였으며 각 채널의 샘플링 주파수는 50kHz의 샘플링 주파수를 갖도록 설정하였다. PC31에 탑재되어 있는 TMS320C31과 ADC(analog digital converter)의 주요 사양은 표 4-3과 같다.

Table 4-3 Specification of TMS320C31 and ADC on PC31

Digital Signal Processor	Texas Instruments TMS320C31 32 bit floating point DSP optimized Instruction set for DSP
Memory	32K × 32 standard(zero wait state)
Dual Port Memory	2K × 32 bits
Host PC Interface	ISA 14-bit
Digital I/O	48 bits TTL input, output, or bidirectinal
Timers	32 bit timers in DSP
Serial Ports	3 ports total - one on DSP chip (sync. serial), two offchip ports
A/D Converter 2 Channels	Dual ADC chip converters as stereo pair with simultaneous conversions
Number of Channels	16 single-ended or 8 differential
Resolution	16 bit
Analog Input Range	+/- 10 V
Input Impedance	10,000 MΩ    3 pF
Conversion Timing Sources	DSP memory mapped access; timers; external TTL source

그림 4-8은 TMS320 floating-point C 컴파일러를 이용하여 소프트웨어를 개발하는 과정으로서 음영처리 부분이 소프트웨어 개발의 전형적인 과정이며, 다른 부분은 필요에 따라 선택 가능한 과정이다.

C 컴파일러를 이용하여 C 소스코드를 TMS320C3x/C4x 어셈블리어 소스코드로 변환하며 어셈블러를 이용하여 기계어로 이루어진 Common Object File Format (COFF)의 목적(object)파일을 생성한다. 링커를 이용하여 COFF 목적 파일과 라이브러리를 병합하여 에뮬레이터 환경하에서 실행 가능한 COFF 목적파일을 생성함으로써, TMS320C3x/C4x 타겟 시스템에서 실행 가능한 모듈이 만들어진다. 만들어진 모듈의 테스트는 윈도우 95 환경에서 타겟 시스템을 에뮬레이트할 수 있는 Terminal Emulator에 다운로드 하여 테스트하였다.



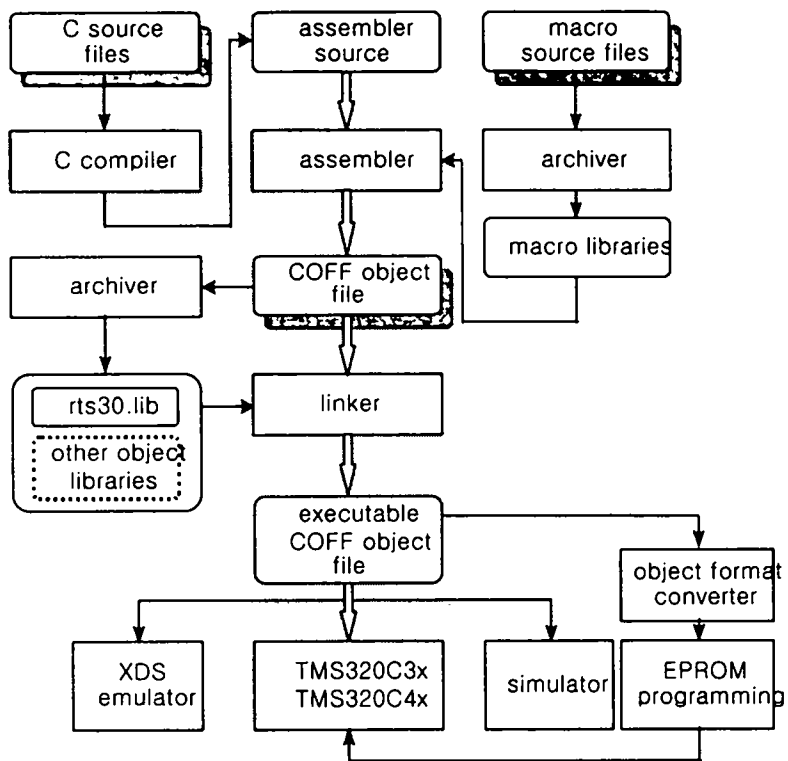


Fig. 4-8 Flow chart for TMS320C3x/C4x software development

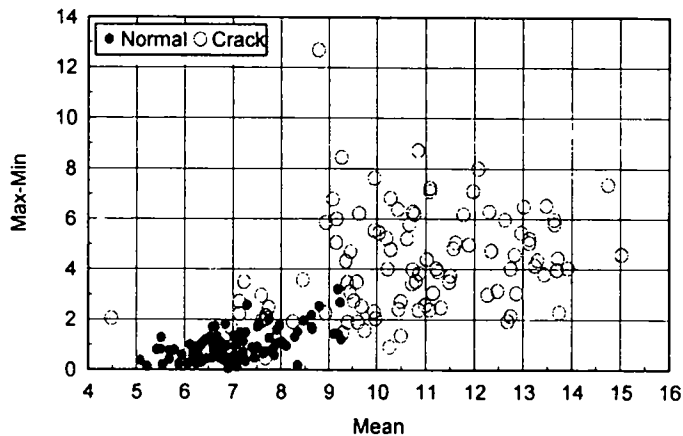
## 제 5 절 결과 및 고찰

### 1. 단란용 검란 알고리즘

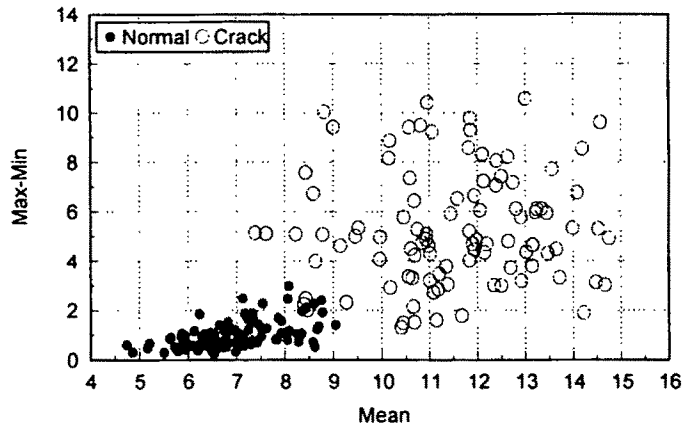
단란용 검란 장치에 적용할 검란 알고리즘을 구하기 위하여 계란 음향신호에 대한 파워 스펙트럼의 면적, 도심 및 최대 공진주파수를 검란 인자로 선정하고 각 인자의 적용 가능성을 조사하였다.

#### 가. 파워 스펙트럼 면적

그림 4-9는 정상란과 파란의 파워 스펙트럼의 면적에 대한 평균값과 차이값을 보여준다. 정상란의 경우 평균이 대부분 10 보다 작고, 차이가 4보다 작은 값을 보여주고 있다. 따라서 면적의 평균과 차이값을 이용하여 정상란과 파란을 구별할 수 있음을 확인하였다. 그림 4-10은 경계부분을 확대한 그림으로서 평균이 9.3 이상이고, 차이가 2.8 이상인 계란을 파란으로 간주하였을 때, 정상란을 파란으로 간주할 오차는 0이 됨을 알 수 있다.

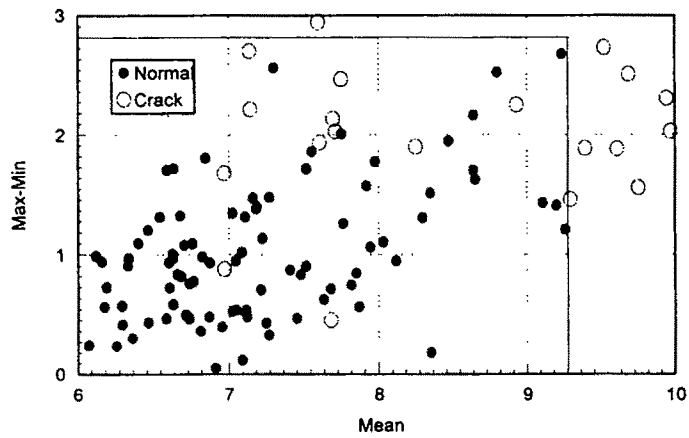


(a) case of four times impact

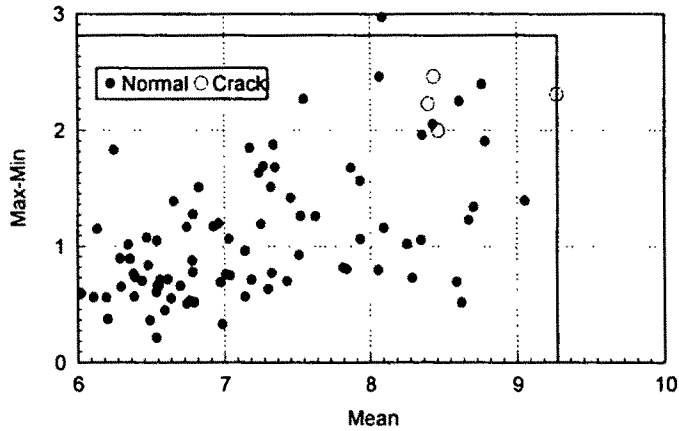


(b) case of six times impact

Fig. 4-9 Mean values of area vs. difference between maximum and minimum values among six values of area in power spectrum for both normal and cracked eggs



(a) case of four times impact



(b) case of six times impact

Fig. 4-10 Close-up view of boundary between normal and cracked eggs in Figure 4-9

#### 나. 파워 스펙트럼 도심

그림 4-11은 정상란과 파란의 파워 스펙트럼의 도심에 대한 주파수 축과 진폭 축의 좌표의 평균값을 보여준다. 그림에서 보듯이 도심 값으로는 정상란과 파란의 차이를 구별하기에 적합하지 않음을 알 수 있다. 그림 4-12는 도심에 대한 주파수 축과 진폭 축 좌표의 차이값을 보여준다. 이들 값들은 정상란과 파란의 차이 구별이 어느 정도 가능한 것으로 확인되었다.

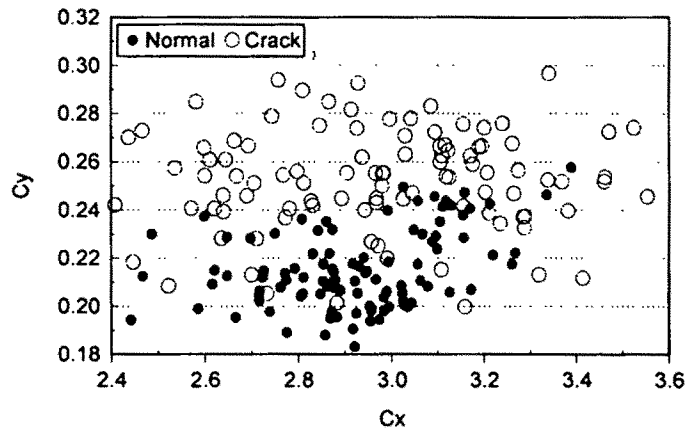
그림 4-12로부터 정상란과 파란을 구별하는 경계선에 대한 식을 구하면 다음과 같다.

$$C_{y,diff} \geq -0.08571 \cdot C_{x,diff} + 0.06 \quad (4-6)$$

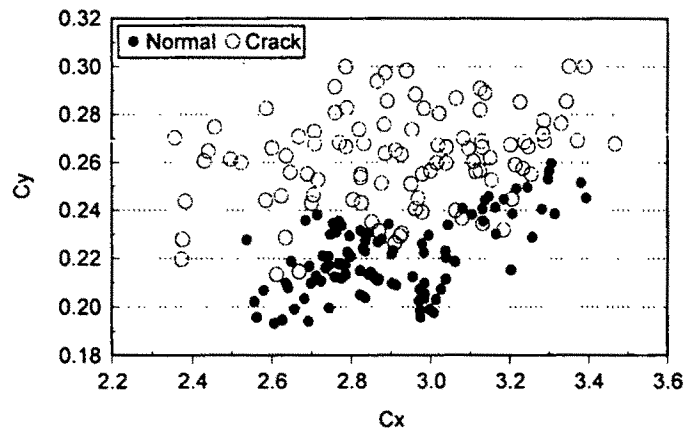
여기에서  $C_{y,diff}$  : 도심  $C_y$  의 편차

$C_{x,diff}$  : 도심  $C_x$  의 편차

위 식(4-6)을 사용하였을 때, 정상란을 파란으로 판정할 오차는 100개중 2개로 나타났고, 파란을 정상란으로 판정할 오차는 100개중 16개로 나타났다.

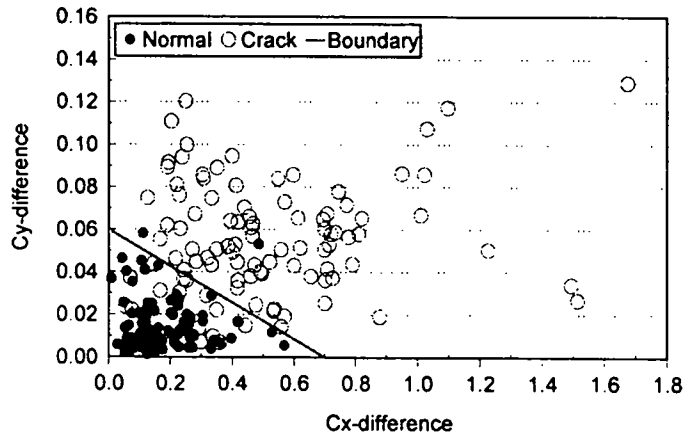


(a) case of four times impact

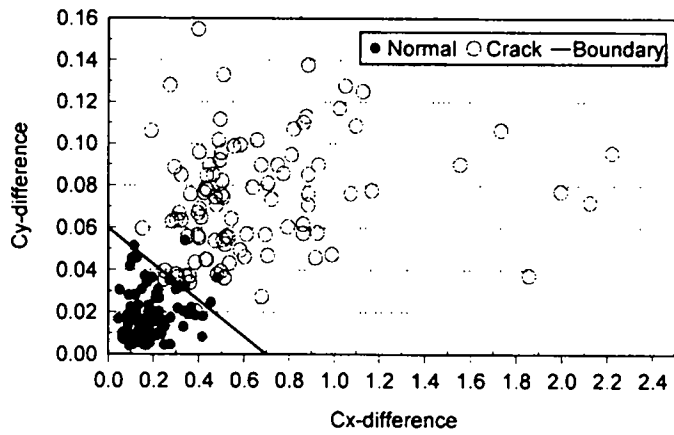


(b) case of six times impact

Fig. 4-11 Coordinates of average values of centroids in both normal and cracked eggs



(a) case of four times impact



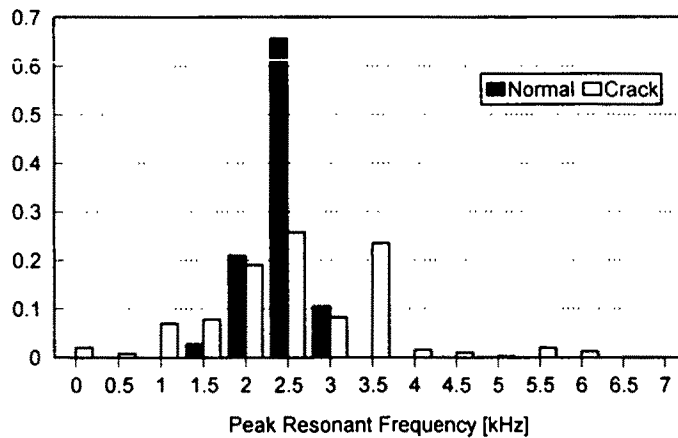
(b) case of six times impact

Fig. 4-12 Coordinates of differences between maximum and minimum values among the four or six centroids in both normal and cracked eggs

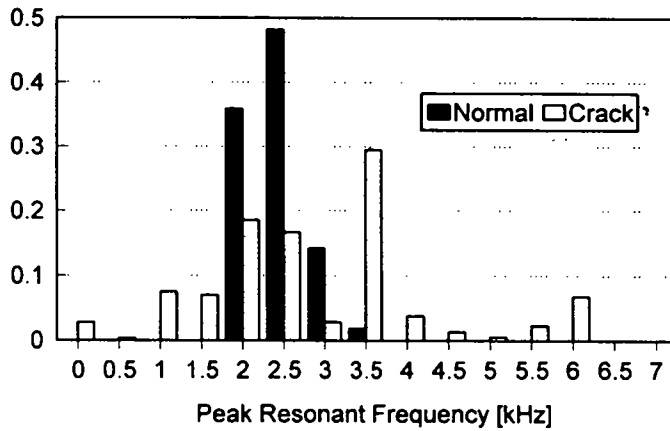
#### 다. 최대 공진 주파수

그림 4-13은 계란의 최대 공진주파수의 신호간의 평균값이 분포할 빈도를 백분율로 표시하여 나타내고 있다. 그림 4-13에서 파란의 최대공진 주파수는 비교적 넓게 분포하고 있고, 정상란의 최대 공진 주파수는 1.5~3.0 kHz에 분포하는 특징을 보여 주고 있어 정상란과 파란의 차이를 보여준다. 판별 경계 주파수로서 2~2.5 kHz의 범위를 고려한다면, 정상란을 파란으로 판정할 오차는 100개중 15개가 되며, 파란을 정상란으로 판정할 오차는 100개 중 45개가 되어 기준으로 사용하기에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

그림 4-14는 최대 공진주파수의 신호간 차이가 분포할 빈도를 백분율로 표시하여 나타내고 있다. 정상란의 경우 편차가 아주 작게 나타나고, 파란의 경우는 편차가 크게 나타났다. 기준을 0.1 kHz로 고려한 경우, 정상란을 파란으로 판정할 오차는 100개 중 6개가 되고, 파란을 정상란으로 판정할 오차는 100개중 26개가 되어 편차의 경우는 판별기준으로 사용하기에 적합함을 알 수 있다.

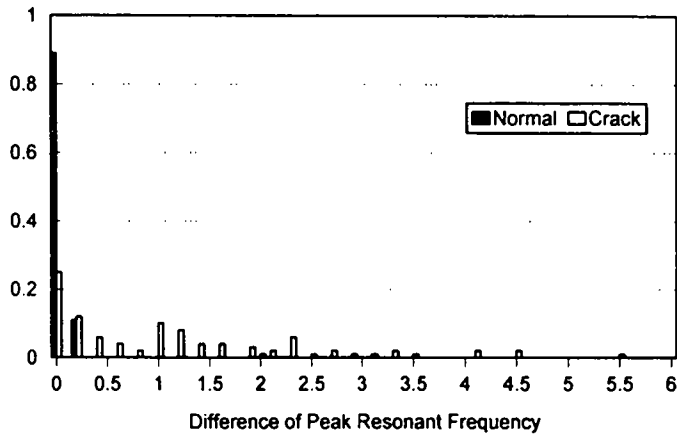


(a) case of four times impact



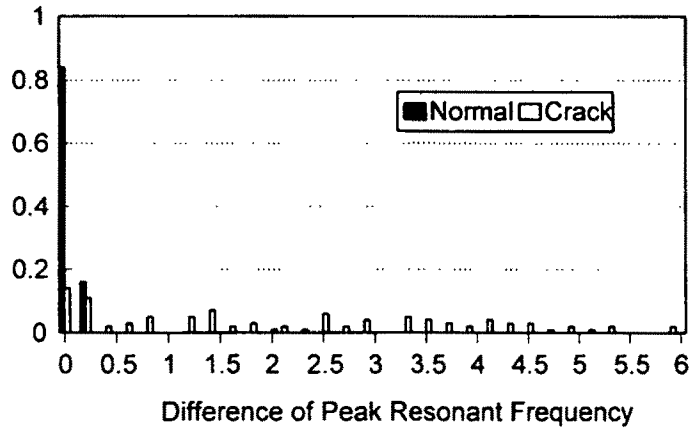
(b) case of six times impact

Fig. 4-13 Distribution of average of four or six values of peak resonant frequencies in both normal and cracked eggs



(a) case of four times impact





(b) case of six times impact

Fig. 4-14 Distribution of differences between maximum and minimum values among four or six peak resonant frequencies in both normal and cracked eggs

라. 알고리즘 요약

Table 4-4 List of parameters to inspect crack in eggs

Parameters in power spectrum	Conditional equation to be crack
Area	Average > 9.3 or Difference > 2.8
Difference of centroids	Magnitude > $-0.08571 * \text{Frequency} + 0.06$
Peak resonant frequency	Difference > 0.1

이상과 같은 방법으로 단란 검란 알고리즘을 개발하였다. 표 4-4는 크랙판별을 위한 요인들의 수식을 나타내며, 그림 4-15는 검란 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 이 흐름도는 C 프로그램 언어로 작성되어 신호수집 프로그램과 함

계 알고리즘 검정에 사용되었다. 계란 시료를 올려놓는 일은 손으로 처리하고, 타격작업은 스위치 작동으로 처리하였고, 판별 작업은 컴퓨터 프로그램에 의해 자동으로 처리되도록 하였다.

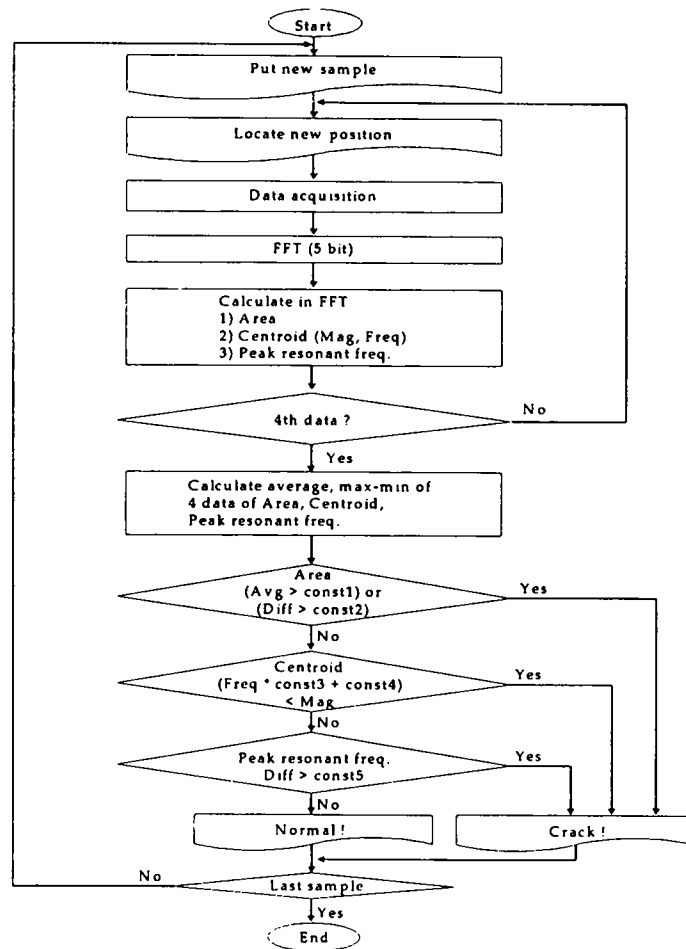


Fig. 4-15 Flow chart for crack detection algorithm

#### 마. 알고리즘 검정

알고리즘의 검정을 위하여, 새로운 정상란 시료를 100개 구하여, 이중 50개에 임의의 크랙을 가하고, 4회 및 6회 타격방법을 비교하여 실험을 실시하였다. 표 4-5는 검정결과를 보여준다. 타격횟수가 4회인 경우 정상란을 파란으로 판정할 오차가 50개중 2개로 나타났고, 파란을 정상란으로 판정할 오차 역시 50개중 2개로 나타났다. 그리고 타격횟수가 6회인 경우 정상란을 파란으로 판정할 오차가 50개중 6개로 나타났고, 파란을 정상란으로 판정할 오차 역시 50개중 6개로 나타났다.

6회 타격의 경우가 4회 타격의 경우보다 판정오차가 크게 나타난 원인은 알고리즘의 기본이 타격간의 신호 차이를 이용하는 속성 때문에 많이 타격을 할수록 차이가 크게 나타나서 정상란을 크랙으로 판정하는 경우가 증가하였기 때문인 것으로 추정된다.

Table 4-5 Results of crack inspection

Status	Number of eggs	
	Normal	Crack
Actual	50	50
Estimated (4 impact)	48	52
Estimated (6 impact)	44	56

## 2. 복란용 검란 알고리즘

복란 검란 알고리즘을 구하기 위하여 단란 검란 알고리즘에서 사용한 검란 인자인 파워스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진 주파수 및 이들 값들의 최대 최소값의 차이를 구하여 정상란과 파란의 분리 성능을 조사하였다.

그림 4-16은 정상란과 파란 각각에 대하여 2번 타격 했을 경우 두 신호의 파워 스펙트럼의 면적에 대한 평균값과 최대 최소값의 차이값을 보여준다.

그림에서 평균이 8.7 이상이고, 차이가 2.8 이상인 계란을 파란으로 간주하였을 때, 정상란을 파란으로 간주할 오차는 200개중 5개이고, 파란을 정상란으로 간주하는 오차는 200개중 32개로 나타났다.

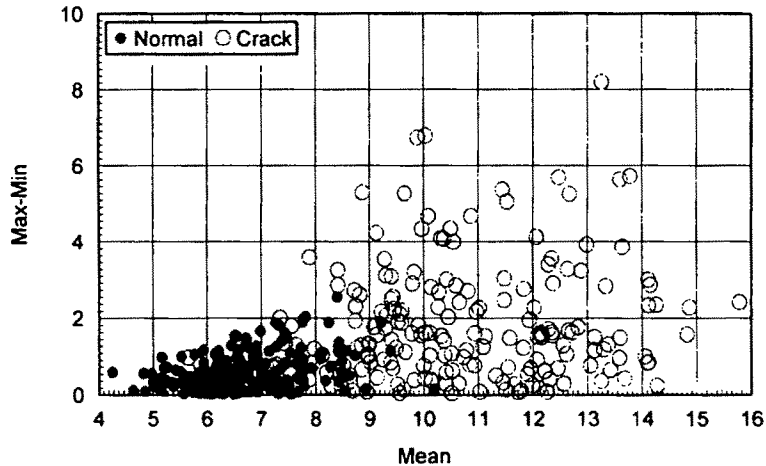


Fig. 4-16 Mean vs. difference between maximum and minimum among two values of area in normalized power spectrum

그림 4-17은 정상란과 파란의 파워 스펙트럼의 도심에 대한 주파수 축과 진폭 축의 좌표의 차이값을 보여준다. 그림에서 보듯이 정상란의 경우 도심의 차이값이 대체로 왼쪽 하단에 분포하지만 파란의 경우도 200개중 70개 이상이 정상란과 같은 위치에 분포하기 때문에 도심의 차이값으로는 정상란과 파란의

차이를 구별하기에 적합하지 않았다.

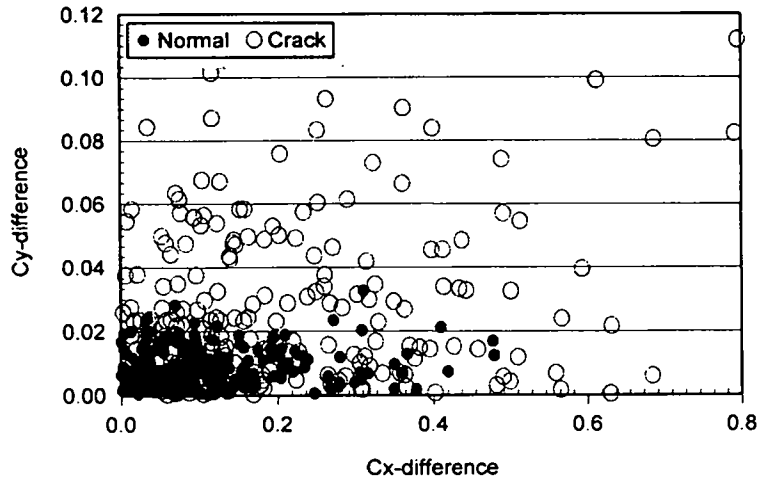


Fig. 4-17 Difference of two values of centroid coordinates in normalized power spectrum

그림 4-18은 계란의 최대 공진주파수의 두 신호간의 평균값이 분포할 빈도를 표시한 것이다. 그림 4-18에서 파란의 최대공진 주파수는 비교적 넓게 분포하면서 2~3kHz의 주파수대에 많이 분포하고, 정상란의 경우도 최대 공진 주파수가 넓게 분포하면서 3~3.5kHz에 주로 분포하는 것을 알 수 있다. 따라서 최대 공진 주파수로는 정상란과 파란을 구별하기에 적합하지 않음을 알 수 있다.

그림 4-19는 최대 공진주파수의 신호간 차이가 분포할 빈도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 정상란과 파란의 경우 모두 최대 공진주파수의 두 신호간의 차이가 크게 나타나 판별기준으로 사용하기에 적합하지 않음을 알 수 있다.

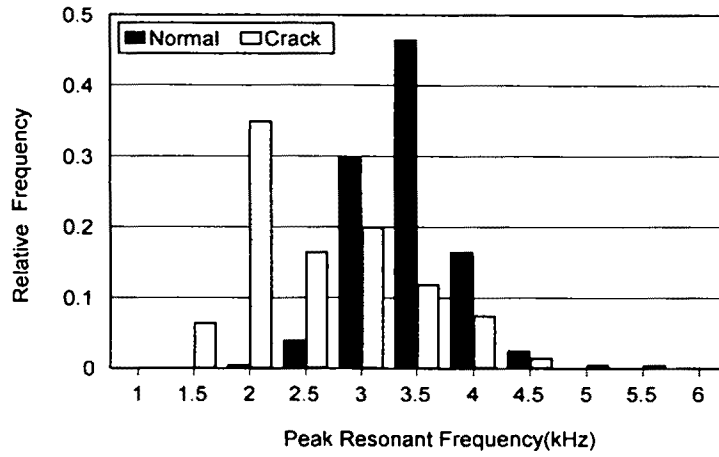


Fig. 4-18 Distribution of average of two values in peak resonant frequency

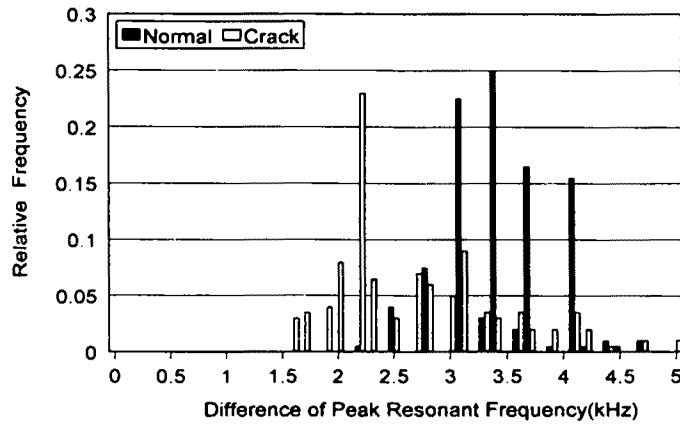


Fig. 4-19 Distribution of difference between maximum and minimum values in peak resonant frequency

이상의 결과에서 보듯이 단란 검란 알고리즘에서 검란 인자로 사용하였던 파워스펙트럼의 면적, 도심 및 최대 공진주파수와 이들 값들의 신호간의 최대 최소값의 차이를 이용하여 정상란과 파란의 분리성을 평가한 결과 파워스펙트럼의 면적을 제외하고는 연속적으로 이동하는 계란을 검사하기 위한 복란 검란 알고리즘에는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

이와 같은 오차의 원인은 단란 검란 장치에서는 타격장치, 마이크 및 프리앰프를 각각 하나씩만 사용하여 정지 계란에 대해서 알고리즘을 만든 반면, 복란 검란 장치에서는 이동 중의 계란을 취급하기 때문에 이송장치의 소음, 두 개의 타격장치간의 충격력의 차이, 그리고 마이크와 프리앰프의 응답특성의 차이 때문인 것으로 판단된다.

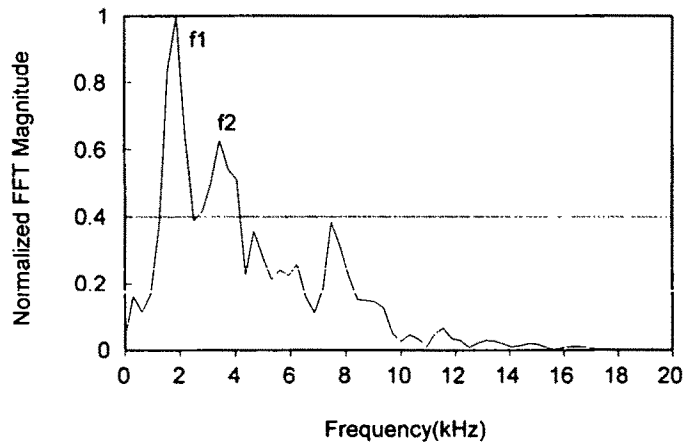


Fig. 4-20 Normalized power spectrum of cracked egg

따라서 복란 검란 알고리즘의 검란 인자로 파워스펙트럼 면적의 두 신호간의 평균이 8.7 이상이고, 최대 최소값의 차이가 2.8 이상인 경우를 파란으로 판정하는 것을 첫 번째 검란 인자로 선정하였고, 이를 보완하기 위하여 그림 4-20과 같이 파워스펙트럼의 피크의 크기를 비교하였다. 파란의 경우 정상란과 비교해서 피크의 개수가 많고, 제 2피크의 크기도 크기 때문에 제 1피크에

대한 제 2피크의 상대적인 크기를 비교하여 40%이상인 경우를 과란으로 판정하였다.

### 3. 신호처리 및 제어 소프트웨어

#### 가. 타격신호 입력

그림 4-21은 계란 타격에 의해 발생한 아날로그 신호가 PC31로 입력되는 과정을 보여준다.

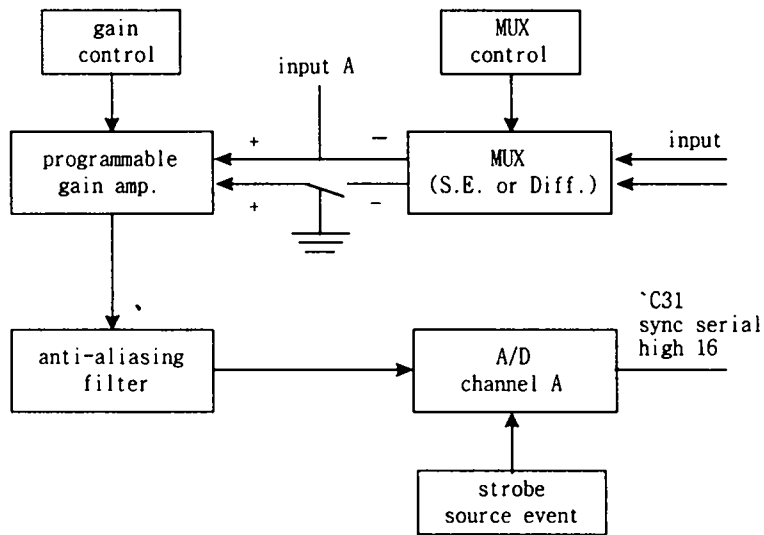


Fig. 4-21 Analog input circuit

계란 타격시 발생된 아날로그 신호는 가장 먼저 DSP 보드의 멀티플렉서(MUX)에서 채널 선택이 이루어진다. 멀티플렉서의 설정은 표 4-6에 나타난 채널선택값을 0xffffa80(MUX A)와 0xffffac0(MUX B)의 메모리 주소에 할당해 줌으로써 A/D 컨버터와 연결하기 위한 입력채널을 지정할 수 있다.

멀티플렉서에서 채널선택이 이루어진 후 계인 증폭기에서 신호의 증폭작업이 이루어진다. PC31에 탑재된 증폭기는 PGA205와 PGA204로 하드웨어 점퍼



(JP54)의 세팅에 의해 사용하고자 하는 이득 증폭기를 선택할 수 있다. 이득 설정은 표 4-7의 0xffc00(CH. A)나 0xffc40(CH. B)에 이득값을 할당해줌으로써 가능하다.

이득을 설정함으로써 실제로 입력받는 신호의 범위를 변경할 수 있다. 표 4-8에 각 이득에 대한 입력범위를 나타내었다.

Table 4-6 MUX channel selector values

MUX A Selector Value	DG528(S.E.) Output	DG529(Diff) Output
0	IN0	IN0 (+), IN8 (-)
1	IN8	IN1 (+), IN9 (-)
2	IN1	IN2 (+), IN10 (-)
3	IN9	IN3 (+), IN11 (-)
4	IN2	
5	IN10	
6	IN3	
7	IN11	

MUX B Selector Value	DG528(S.E.) Output	DG529(Diff) Output
0	IN4	IN4 (+), IN12 (-)
1	IN12	IN5 (+), IN13 (-)
2	IN5	IN6 (+), IN14 (-)
3	IN13	IN7 (+), IN15 (-)
4	IN6	
5	IN14	
6	IN7	
7	IN15	

Table 4-7 Programmable gain amplifier

Write Value to 0xfffc00	PGA205 Gain	PGA204 Gain	Write Value to 0xfffc40	PGA205 Gain	PGA204 Gain
0	1	1	0	1	1
1	2	10	1	2	10
2	4	100	2	4	100
3	8	1000	3	8	1000

Table 4-8 Input range vs. programmable gain

Gain	Unipolar Input Range	Bipolar Input Range
1	0V ~ +10V	±10V
2	0V ~ +5V	±5V
4	0V ~ +2.5V	±2.5V
8	0V ~ +1.25V	±1.25V
10	0V ~ +1V	±1V
100	0V ~ +100mV	±100mV
1000	0V ~ +10mV	±10mV

증폭기에서 이득 설정 후 아날로그 신호는 통과대역이 380kHz인 안티 에일리어싱(anti-aliasing) 필터를 경유하여 A/D 컨버터에서 디지털신호로 변환된다. A/D 컨버전 스트로브 소스는 8254 타이머, 내부타이머, 그리고 메모리주소 액세스 등으로 구성되어 있고 사용자는 표 4-9에 주어진 하드웨어 점퍼(JPADC)를 세팅하여 이들 중에 한가지 방법을 선택한다.

본 연구에서는 인터럽트 서비스 루틴(이하 isr)이 호출될 때마다 입력값을 확인하여 작업을 분기하고 isr의 종료시점에서 A/D 컨버전 명령을 수행하기 때문에 하드웨어 점퍼 7-8번을 세팅하여 메모리 주소(0xff940)를 액세스하는 방법을 이용하였다.

Table 4-9 A/D converter trigger sources

JPADC	Conversion Trigger Source
1-2	8254 TMR0
3-4	8254 TMR1
5-6	Internal 'C3x TCLK1
7-8	Write to 0xffff940

A/D 컨버터는 바로 전의 컨버전 사이클에서 A와 B채널의 결과값을 32 비트값(채널 A: 상위 16비트, 채널 B: 하위 16비트)으로 바꾸어 PC31의 시리얼 포트를 통하여 전송한다. 결과값은 0x80804c 메모리 주소를 액세스하여 읽을 수 있다.

#### 나. 신호처리 및 제어

검란 시스템에 적용될 신호처리 및 제어 소프트웨어는 초기화 루틴, 메인 루틴, 인터럽트 서비스 루틴 및 파란선별 루틴의 4단계로 구성하였다.

##### 1) 초기화 루틴 (initialization routine)

프로그램이 실행되었을 때 가장 먼저 실행되는 루틴으로 아날로그 서브 시스템 및 포트를 초기화하고 신호처리 프로그램에서 상태 플렉스로 사용되는 모든 변수를 초기화하며 샘플링 주기 등을 설정한다.

##### 가) 아날로그 서브시스템 초기화

아날로그 서브시스템 초기화는 신호처리 시스템에서 아날로그 기능을 이용하기 위하여 반드시 필요한 작업으로 모든 멀티플렉서를 가장 낮은 채널로 설정하고, 이득 증폭기의 값을 최소값으로 설정하며 D/A 컨버터의 출력 전압을 0V로 설정한다. 또한 A/D 컨버터의 최초 컨버전을 수행한다.

## 나) 플래시 세팅

신호처리 시스템이 작동하는 동안 각종 변수와 상태 플래시의 세팅은 시그널 샘플링과 검란 과정에서 사용되는 버퍼를 포인트하기 위해 수행된다.

## 다) 샘플링 주기 설정

일정한 샘플링 주기를 설정하기 위하여 내부 타이머 인터럽트를 이용하였다. TMS320C31은 두개의 32비트 범용 타이머를 탑재하고 있으며, 타이머 제어 레지스터의 값을 설정하여 타이머를 제어할 수 있다.

내부 타이머 인터럽트가 발생될 때마다 프로세스는 표 4-10의 인터럽트 벡터 테이블의 0x9번지에 저장된 isr의 시작 주소로 점프하도록 하였다.

Table 4-10 Reset and interrupt vector table

Interrupt	Memory Location	Priority	Function
$\overline{\text{RESET}}$	0x0	0	External reset
$\overline{\text{INT0}}$	0x1	1	External interrupt 0
$\overline{\text{INT1}}$	0x2	2	External interrupt 1
$\overline{\text{INT2}}$	0x3	3	External interrupt 2
$\overline{\text{INT3}}$	0x4	4	External interrupt 3
XINT0	0x5	5	Serial port 0 transmit
RINT0	0x6	6	Serial port 0 receive
XINT1	0x7	7	Serial port 1 transmit
RINT1	0x8	8	Serial port 1 receive
TINT0	0x9	9	Internal interrupt generated by timer 0
TINT1	0x0A	10	Internal interrupt generated by timer 1
DINT	0x0B	11	Internal interrupt generated by DMA controller 0

## 2) 메인 루틴(main routine)

메인 루틴은 초기화 루틴을 수행하며, isr을 인터럽트 벡터 테이블에 등록

한 후 무한 루프 상태를 유지한다. 그리고 상태플래그에서 파란의 유무를 검사하여 세팅된 경우 디지털 출력 포트를 통하여 파란 신호를 출력한다.

### 3) 인터럽트 서비스 루틴(interrupt service routine)

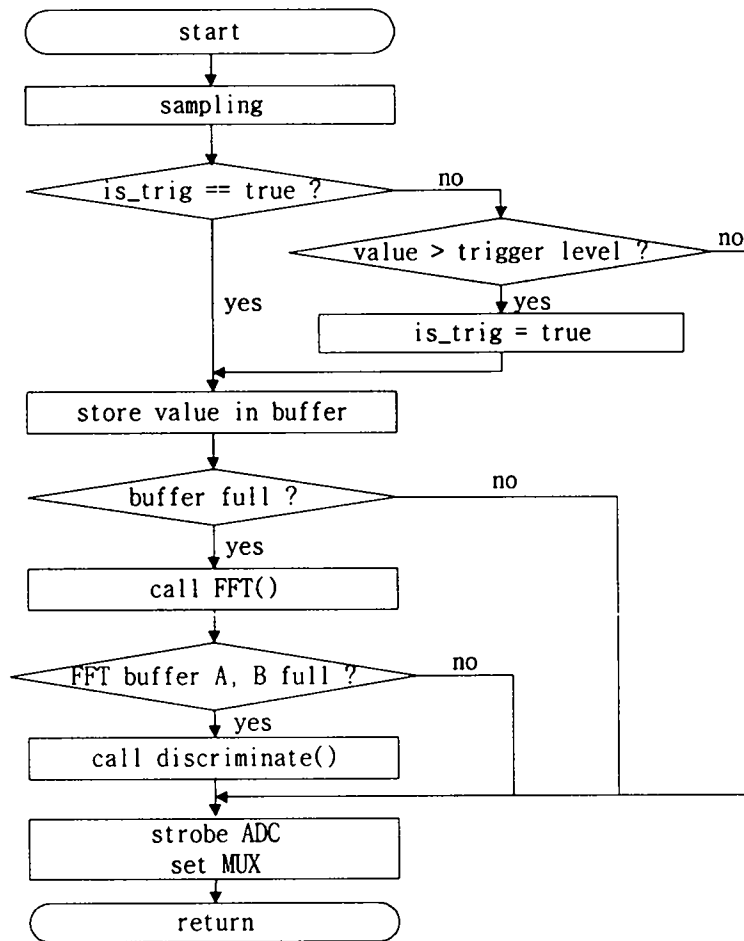


Fig. 4-22 Flow chart of interrupt service routine

isr은 100kHz의 샘플링 주기로 세팅된 타이머 인터럽트에 의해 실행된다

그림 4-22는 인터럽트 서비스 루틴의 흐름도이다. 루틴이 호출될 때마다 홀딩 레지스터에 저장되어있는 A/D 컨버전 값을 읽기 시작하여 버퍼가 모두 채워지면 타격신호의 파워스펙트럼을 구하기 위해 FFT를 수행한다. 연속적으로 작동하고 있는 계란 이송장치(그림 4-4)의 A위치에서 수집된 데이터는 B위치에서 수집된 데이터와 함께 검란 알고리즘에 이용하기 위해 FFT 버퍼 A에 계속 저장된다. 따라서 A 채널의 시그널을 저장하기 위해 사용된 버퍼는 5개의 메모리 블록을 할당했으며, 이 메모리 블록을 효율적으로 운용하기 위하여 자료구조의 여러가지 데이터운용 기법 중 순환형 큐(circular queue)를 이용하였다.

#### 가) 트리거 방법

아날로그 신호는 검란장치가 작동하고 있는 동안 마이크로폰을 통하여 연속적으로 입력된다. 본 연구에서 신호 샘플링시 사용한 트리거 방법은 내부트리거(internal trigger)로써 입력값이 양의 트리거 값(trigger level)을 넘어서거나 음의 트리거 값보다 작은 순간부터 데이터를 저장한다.

#### 나) 샘플링 주기 설정

분석하고자 하는 신호는 가청주파수 범위(20Hz~20kHz)의 타격음이기 때문에 샘플링시 신호왜곡(aliasing)을 방지하기 위해 샘플링 주파수를 40kHz로 설정하였다. 본 연구에서는 하나의 ADC에서 멀티플렉싱을 통해 2개의 채널로 샘플링이 이루어지기 때문에 40kHz의 샘플링 주파수를 얻기위해 isr은 10 $\mu$ s (100kHz)에 한번씩 호출하였다. 따라서 정상적인 동작을 위해서 isr은 반드시 다음 인터럽트가 발생하기 전에 모든 작업을 종료해야만 한다. 여기에서 사용된 신호처리 소프트웨어는 isr에서 많은 작업이 이루어지기 때문에 샘플링 주기를 작게 할수록 프로그램의 유연성이 제한된다. 이 외에 고려할 수 있는 것은 메모리의 크기로써 일정한 시간동안의 신호 데이터를 저장할 경우 샘플링 주기가 작을수록 필요한 버퍼의 양은 증가하게 된다. 그림 4-23은 40kHz의 샘

플링 주파수에서 3.125ms동안 128개의 데이터를 입력받아 도시한 것이다.

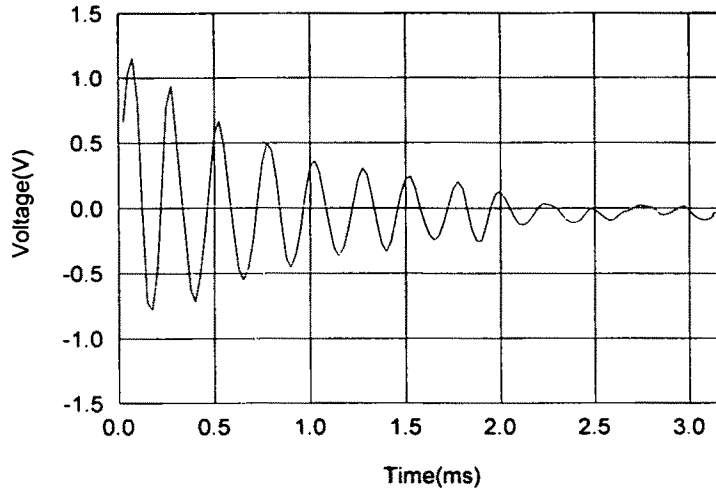


Fig. 4-23 Recorded signal in buffer

#### 4) 파란선별 루틴(crack discrimination routine)

파란 선별 루틴은 정상란과 파란을 판정하기 위한 검란 인자를 계산하는 부분으로 파워스펙트럼의 면적의 평균과 최대 최소값의 차이를 계산하고, 제 1 피크와 제 2피크의 크기를 계산하여 정상란과 파란을 판정한다. 판정결과는 상태플래그를 세팅하여 메인 루틴 내에서 판별결과를 출력할 수 있도록 하였다.

#### 다. 판별신호 출력

PC31은 ABITS(analog output bits)라는 4개의 디지털 출력회선을 가지고 있으며, 사용자가 디지털값을 출력할 수 있도록 레지스터(0xff900)에의 액세스를 허용하고 있다. 이 주소에 32비트 크기의 숫자를 할당하면 하위 4비트가 ABITS의 각 포트로 출력된다. 복수의 디지털 출력을 원하는 경우에는 각 비트의 논리합 연산을 수행하여 결과를 출력할 수 있다. 출력값은 계속 유지되므

로 원하는 만큼의 지연 시간을 가진 후 특정 비트에 0을 출력하여 디지털 출력을 중단시킬 수 있다.

신호처리 소프트웨어에서 판별신호 출력 루틴이 존재하는 부분은 isr로써 판별신호가 세팅되면 해당채널의 아날로그 입력루틴을 중단시키고, isr이 수행될 때 ABITS에 0x0f를 45ms동안 출력하여 파란선별 장치에서 감지할 수 있도록 프로그램하였다.



## 제 5 장 파란 분리장치

(제2세부과제)

### 제 1 절 서 설

파란 분리장치를 개발하기 위하여 시작기로 스텝핑 모터 구동용 파란 그립퍼를 개발하였으나, 선별속도가 빠르지 못한 문제점이 있었다. 이의 보완으로 두 번째 시작기인 수납장치를 이용한 파란 분리장치를 개발하였다. 그러나 파란 분리 중 파란에 가해지는 충격을 흡수하기 위한 정밀한 시스템의 제작이 어려웠다.

따라서 위의 두 방법이 아닌 계란의 구름특성과 계란 분리대를 이용하여 계란이 계란정렬 이송 컨베이어에서 파란 분리 컨베이어로 이동할 때 계란의 진행을 방해하여 분리가 이루어지는 파란 분리 시스템을 개발하였다.

### 제 2 절 시스템 구성

#### 1. 파란 분리 시스템의 하드웨어

##### 가. 계란정렬 이송 컨베이어

계란정렬 이송 컨베이어는 계란의 정렬 및 이송을 담당하는 부분으로 6열의 계란을 이송할 수 있다. 각 열의 간격은 계란이 이동시 옆 열의 계란과 충돌이 일어나지 않도록 계란 장경의 최대 크기인 65mm로 하였고, 앞뒤 간격은 계란의 최대 단경보다 큰 50mm로 하였다. 계란의 정렬은 이송시 계란 받침대가 회전하면서 동시에 계란을 회전시켜 정렬이 이루어진다.

그림 5-1은 본 실험에 사용한 6줄 계란정렬 이송 컨베이어이다.

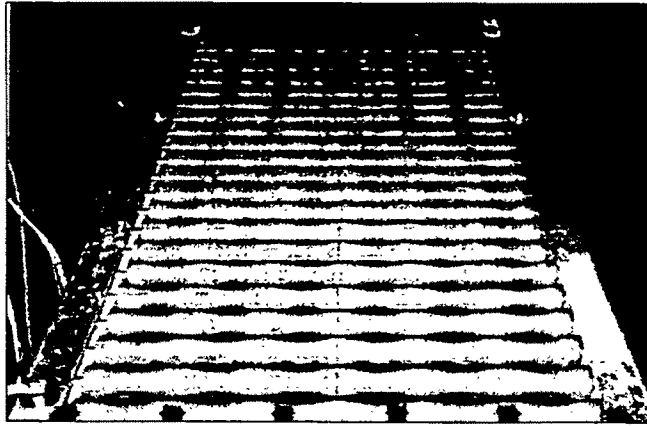


Fig. 5-1 Egg array and transfer conveyer for 6 lanes

#### 나. 파란 분리 컨베이어

파란 분리 컨베이어는 계란정렬 이송 컨베이어로부터 이송되어온 계란을 받아서 정상란과 파란으로 분리하는 부분이다. 정상란과 파란의 분리는 파란 분리 컨베이어 상에서 파란 분리대에 의해, 정상란은 그림 5-2의 오른쪽 두 벨트 사이에 놓이며 파란은 왼쪽의 두 벨트 사이에 놓여 분리된다.

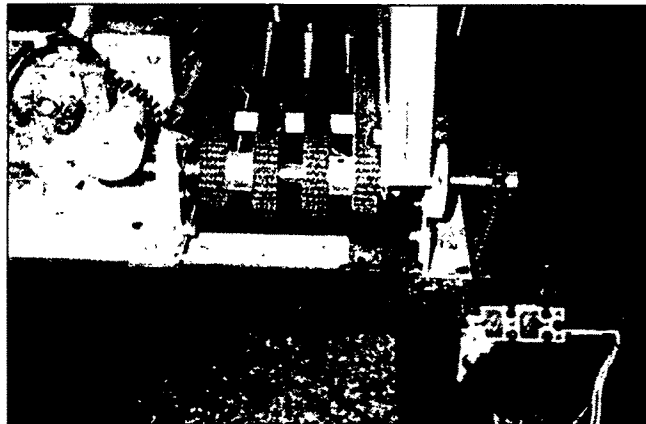


Fig. 5-2 Cracked egg separation conveyer

이때 계란의 최대 단경 60mm를 고려하여 각 벨트의 폭을 20mm, 벨트와 벨트사이의 간격을 20mm로 하여 계란이 벨트사이에 안정적으로 놓이도록 하였다.

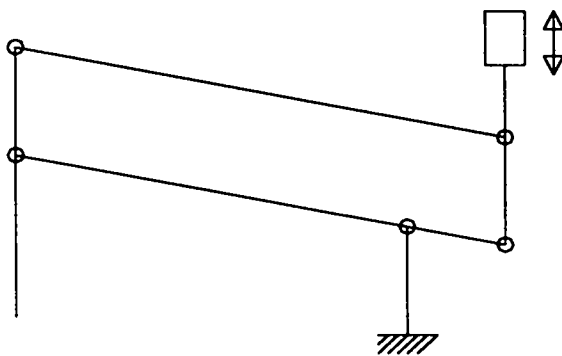
계란정렬 이송 컨베이어와 파란 분리 컨베이어의 연결시 파란 분리 컨베이어의 벨트 표면과 계란정렬 이송 컨베이어의 축의 높이를 수평으로 하였으며, 두 장치간의 동력전달은 워엄기어를 이용하였다. 이때 워엄기어의 구동축과 종동축의 회전비는 9:1로 하였고, 동력 전달률을 높이기 위하여 구동축 기어의 치 3개가 종동축 기어에 동시에 접촉하도록 하였다. 또한 파란 분리장치의 동작을 위한 근접 스위치를 그림 5-2에서 보는바와 같이 워엄기어의 종동축 기어에 설치하였다.

#### 다. 파란 분리 장치부

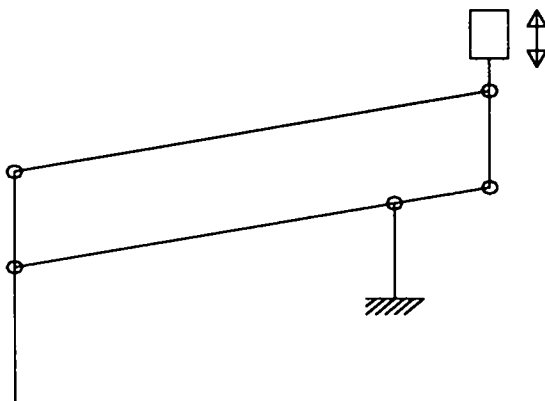
파란 분리 장치부는 계란이 계란정렬 이송 컨베이어에서 파란 분리 컨베이어 위로 굴러 내려올 때 파란 분리 장치의 분리대가 계란의 구름을 방해함으로써 정상란과 파란으로 분리하는 부분이다.

파란 분리 장치는 슐레노이드에 4절 링크를 부착하여 수직 상하운동을 하며, 슐레노이드의 작은 움직임을 확대하기 위하여 4절 링크 하단에 힌지 및 기대를 설치하여 1:4의 비율로 동작을 확대하였다. 그림 5-3은 파란 분리 장치의 동작 형태를 나타내고, 그림 5-4는 제작된 파란 분리 장치부의 전면부와 후면부를 나타낸다.

파란 분리 장치부의 동작은 파란 분리장치 제어부의 제어신호 출력에 의해 슐레노이드가 순간적으로 여자되면 분리대가 하부로 이동하여 계란을 분리하고, 전원이 끊기면 뒷 부분에 설치한 균형추에 의해서 분리대가 상부로 올라간다. 이때 분리대의 동작거리는 stopper에 의해 조절할 수 있도록 하였다.

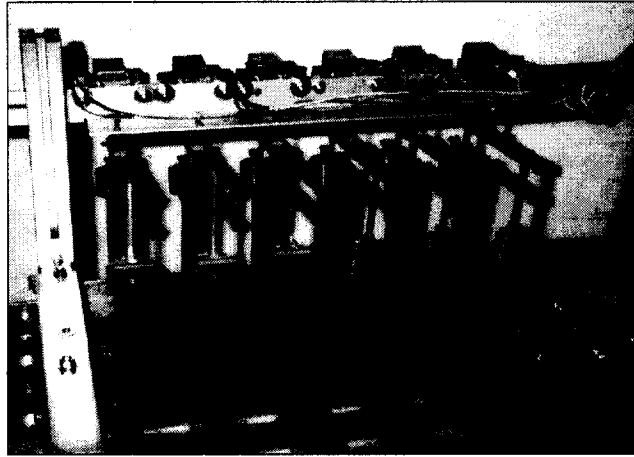


a) Before action

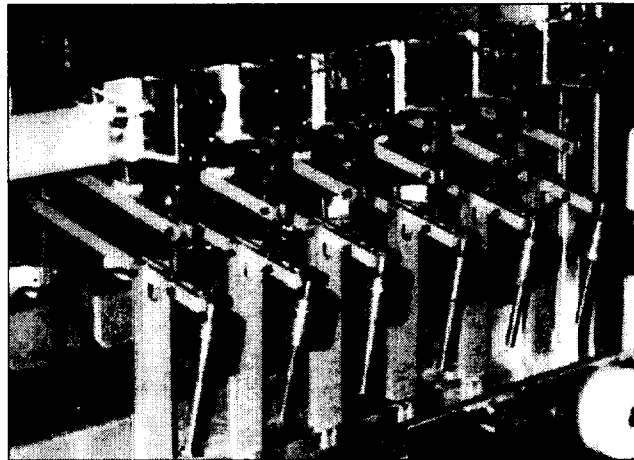


b) After action

Fig. 5-3 Action of cracked egg separation system



(a) Front view



(b) Rear view

Fig. 5-4 Cracked egg separation system of solenoid driving type

## 2. 파란 분리장치 제어부

### 1) 모터 제어

계란 선별시 계란의 개수나 작업자의 상태에 따라 선별속도는 수시로 변할 수 있다. 선별속도는 모터의 회전수로 제어로 조절할 수 있으므로 계란정렬 이송 컨베이어와 파란 분리 컨베이어의 속도를 한 개의 가변속도조절 모터를 사용하여 조절하였다. 그림 5-5는 모터 구동 회로이다.

모터는 외부전원 110V를 사용하고, 정역회전이 가능하며 가변 저항기에 의해 회전속도를 변화시킬 수 있다. 모터의 전원은 컴퓨터에 연결한 IO카드의 릴레이에 의해 ON/OFF할 수 있도록 하였고, 모터와 파란 분리 컨베이어 회전축의 연결은 타이밍 벨트를 이용하였다.

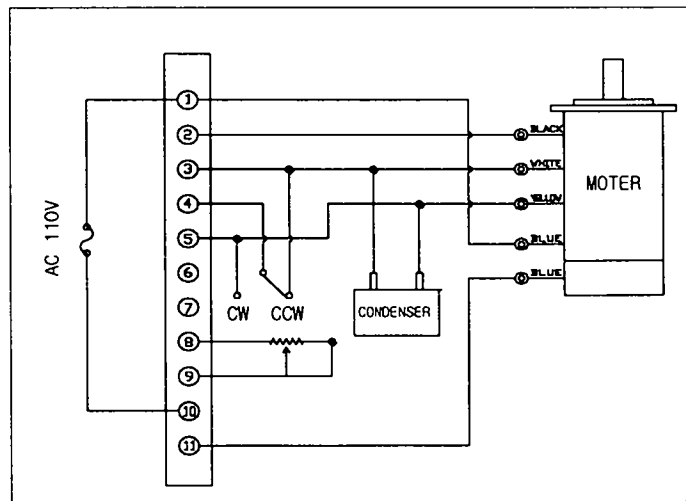


Fig. 5-5 Circuit diagram of variable speed motor

## 2) 파란 분리장치 제어

제어 시스템은 외부 입력 1채널, 솔레노이드 구동을 위한 출력 6채널 및 모터 ON/OFF를 위한 출력 1채널로 구성하였다. 이때 I/O Card는 ICP\_DAS의 P8R8DIO를 사용하였으며 5~36V까지의 입출력 전원에 의해 릴레이가 동작한다.

외부 신호는 계란정렬 이송 컨베이어의 속도 및 선별시기를 판정하기 위하여 계란정렬 이송 컨베이어의 구동축에 부착한 근접 스위치로부터 입력되며, 축의 1회전에 계란 3개가 진행하므로 3회의 신호를 입력하였다. 그림 5-7은 파란 분리 제어 시스템의 회로도이다.

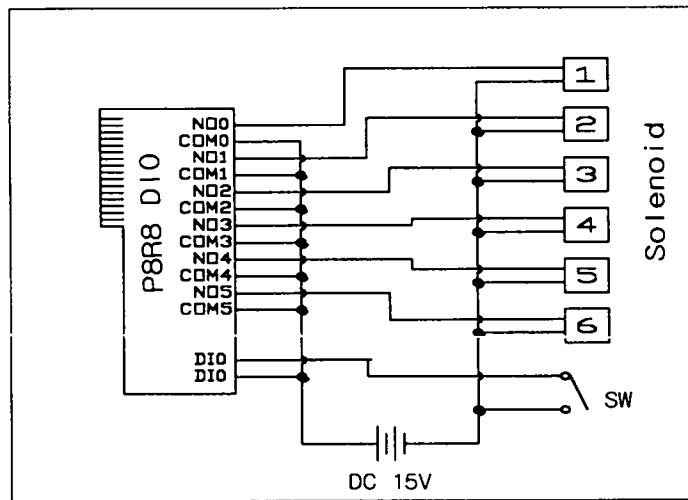


Fig. 5-6 Circuit diagram of cracked egg separation system

파란 분리장치 제어를 위해서 MS-Basic 7.0을 사용하여 제어 소프트웨어를 개발하였다. 그림 5-8은 제어 소프트웨어의 순서도이다.

개발된 소프트웨어에서는 검란부에서 출력되는 파란 신호를 난수를 사용하여 임의로 발생시켰다. 이때 검란부의 파란 신호 출력은 파란 분리부에서 일정

거리 떨어진 곳에서 이루어지는 것을 가정하였고, 거리의 변동을 변수로 하였다.

파란 분리장치의 솔레노이드는 근접스위치의 신호를 입력받아 동작을 하며, 한 번 동작시 0.5초 동안만 자화가 되고 전원이 차단되어 다음 동작을 준비할 수 있도록 하였다.

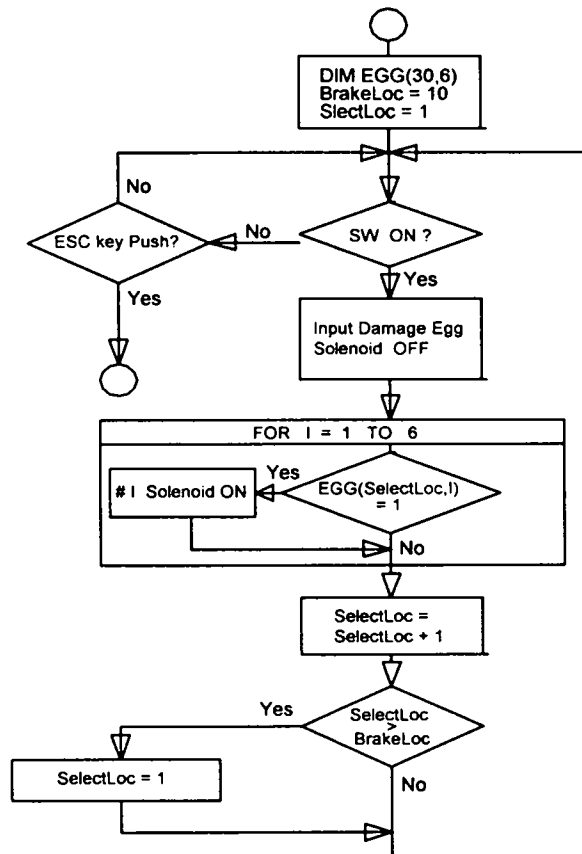


Fig. 5-7 Flow chart of control software

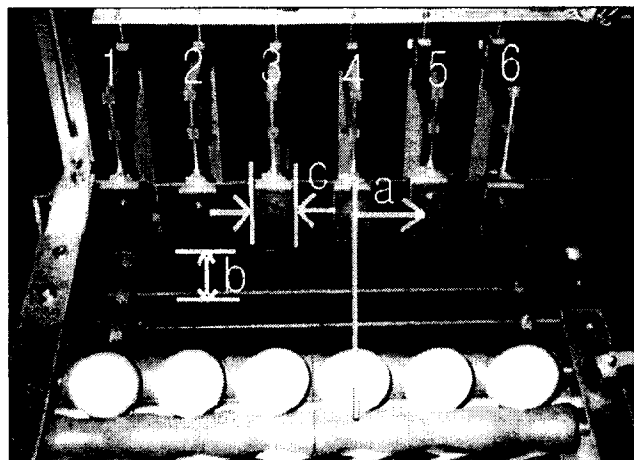


### 제 3 절 파란 분리장치 설계 기준

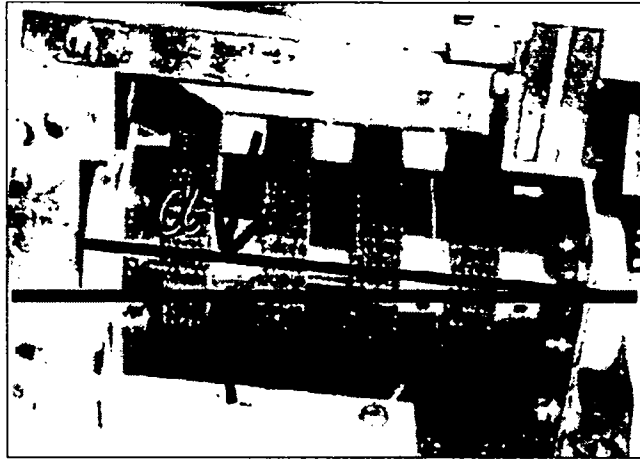
파란 분리장치의 적정 설계 기준을 찾기 위해서 표 5-1과 같은 인자를 고려하였고, 그림 5-8에 인자들을 표시하였다. 그림 5-9는 파란 분리장치의 동작 순서의 한 예를 나타낸다. 설계 인자를 결정하기 위해서 컨베이어의 속도는 시간 당 만2천란을 처리할 수 있는 속도로 고정하였다.

Table 5-1 Major factor of design

Major factor of design
Position determination of cracked egg separation unit(a)
Path of end point of eggs
Movement distance for cracked egg separation bar(b)
Width for cracked egg separation bar(c)
Inclination of cracked egg separation conveyer( $\alpha$ )



(a)



(b)

Fig. 5-8 Major factor of design

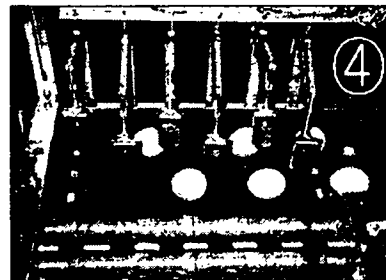
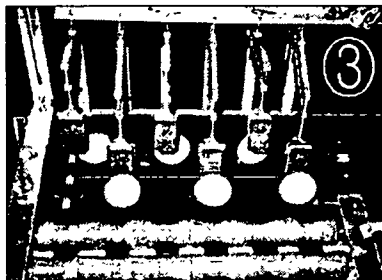
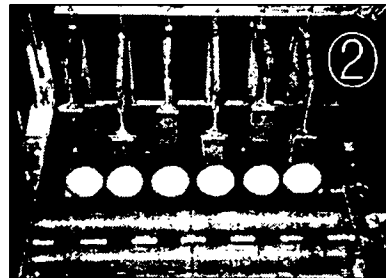
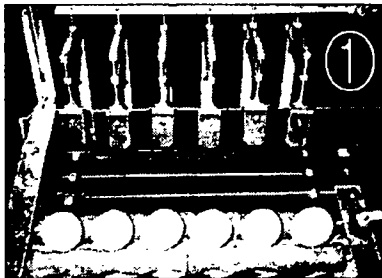


Fig. 5-9 Action order of cracked egg separation system

## 1. 파란 분리대의 적정위치 및 계란의 방향

계란이 계란정렬 이송 컨베이어에서 파란 분리 컨베이어로 구를 때 컨베이어의 속도와 계란의 방향에 의해 구름방향이 변할 수 있다. 따라서 계란이 구르는 위치와 컨베이어의 속도를 고려하여 파란 분리장치부의 적정위치(그림 5-8(a)의 변수 a)를 결정해야 한다. 이를 위해서 파란 분리대의 폭을 30mm로 고정하고, 분리대간의 거리를 65mm로 한 상태에서 분리대의 위치를 0, 10, 20, 30mm로 변화시키고, 또 침부의 방향을 변화시켜 가면서 적정위치를 찾았다.

계란이 분리대를 양쪽에 두고 분리대 사이를 빠져나가는 확률을 조사하기 위하여 3개의 분리대 중 가운데를 상부로 하고 양쪽을 내린 상태에서 실험을 실시하였고, 또 계란이 분리대에 걸려 성공적으로 분리될 확률을 조사하기 위해서 양쪽을 상부로 하고 가운데를 내려 실험을 실시했다.

## 2. 파란 분리대의 적정 폭

파란 분리대의 폭(그림 5-8(a)의 변수 c)은 계란 선별시 해당 영역의 계란을 분리하는 것 뿐만 아니라 옆줄의 계란 구름에도 영향이 없도록 설계되어야 한다. 따라서 비디오 분석을 통해 파란 분리 컨베이어의 속도별 계란의 구름특성을 조사하였으며, 파란 분리대의 적정 폭을 결정하기 위해 분리대의 폭을 20, 30, 40, 50, 60mm로 교체하면서 반복 실험을 실시하였다.

## 3. 파란 분리대의 동작거리

파란 분리 컨베이어에서 계란을 분리할 때 파란의 경우에만 분리대가 하부로 이동하여 분리가 이루어지고, 정상란의 경우는 분리대에 접촉하지 않고 분리가 이루어져야 한다. 따라서 최소의 동작거리로 최대의 효과를 얻기 위해서는 파란을 분리하기 위해서는 분리대가 하부로 이동하는 최소높이 및 정상란을 분리하기 위해 분리대가 상부로 올라가는 최대 높이를 결정해야 한다.

#### 4. 파란 분리 컨베이어의 기울기

파란 분리 컨베이어가 수평으로 놓여있을 경우 계란이 계란정렬 이송 컨베이어에서 파란 분리 컨베이어로 굴러떨어질 때 벨트 사이에 걸려 선별작업에 문제가 생길 수 있다. 따라서 그림 5-3(b)에서 처럼 파란 분리 컨베이어의 기울기  $\alpha$ 를 0~3도까지 0.5도 간격으로 변화시켜 가면서 가장 적당한 파란 분리 컨베이어의 기울기를 찾았다.

### 제 4 절 결과 및 고찰

#### 1. 파란 분리대의 적정위치 및 계란의 방향

파란 분리대의 적정위치 및 계란의 방향을 결정하기 위하여 첨부를 파란 분리 컨베이어 이동방향과 같은 방향과 반대방향으로 바꾸고, 파란 분리대를 상하로 교체하면서 계란이 분리대를 통과하거나 분리대에 걸리는 확률을 조사하였다. 또한 파란 분리장치부의 위치를 0, 10, 20, 30mm로 이동하면서 분리대의 적정위치를 조사하였다. 실험결과를 표 5-2에 나타내었다.

실험결과 첨부를 파란 분리 컨베이어의 이동방향과 같은 방향으로 정렬하고, 파란 분리장치부의 위치  $a$ 를 30mm하였을 경우와, 첨부를 파란 분리 컨베이어의 이동방향과 반대방향으로 놓고 파란 분리장치부의 위치  $a$ 를 0mm로 할 경우가 성공률이 가장 높았다. 두 가지 경우의 성공률은 각각 90%, 100%와 90%, 90%로 다른 경우의 성공률 보다 높았지만, 두 경우의 성공률 차이가 거의 없었으므로 두 경우에 대하여 30회씩 재 실험을 실시하였다. 재 실험결과는 표 5-3과 같다.

재 실험결과 파란 분리장치부의 위치  $a$ 를 0mm로 하고 첨부를 파란 분리 컨베이어의 이동방향과 반대방향으로 했을 경우 성공률이 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 5-2 Result of successful ratio by each position of cracked Egg separation unit (I)

Items		Successful ratio (%)			
Fixed position of egg separation unit (a)	Direction of point end	Same direction with moving direction of separation conveyer		Opposite direction with moving direction of separation conveyer	
	Separation bar	Open	Close	Open	Close
0 mm		70	90	<b>90</b>	<b>90</b>
10 mm		40	100	40	100
20 mm		80	100	20	70
30 mm		<b>90</b>	<b>100</b>	10	20

Table 5-3 Result of successful ratio by each position of cracked Egg separation unit (II)

Fixed position of egg separation unit (a)	30 mm		0 mm	
	Same direction with moving direction of separation conveyer		Opposite direction with moving direction of separation conveyer	
Direction of point end	Open	Close	Open	Close
Separation bar	Open	Close	Open	Close
Successful ratio (%)	83.33	100	93.33	100

## 2. 파란 분리대의 적정 폭

파란 분리장치부의 위치를 0mm로 고정하고 침부의 방향은 파란 분리 컨베이어의 이동 방향과 반대방향으로 놓고 분리대의 적정 폭을 조사하였다. 표 5-4는 실험결과이다.

실험 결과 분리대를 상부로 하였을 경우 가장 높은 성공률은 분리대 폭을 30mm로 한 경우였으며, 분리대를 하부로 하였을 경우는 모든 계란이 분리되었다. 따라서 파란 분리장치부의 분리대의 적정 폭은 30mm로 선정하였다.

Table 5-4 Result of successful ratio by width of egg separation bar of cracked egg separation unit

Width of separation bar (c)	Successful ratio (%)	
	Open separation bar	Close separation bar
20 mm	90.00	100
30 mm	<b>100</b>	<b>100</b>
40 mm	93.33	100
50 mm	80.00	100
60 mm	73.33	100

## 3. 파란 분리대의 동작거리

계란 단경의 최소 크기는 약 30mm이고 최대 크기는 약 60mm이다. 파란 분리대에 의해서 파란을 선별할 경우 파란 분리대가 하부로 내려와 계란의 적도부에 접촉하게 되므로 분리대의 최소 높이는 계란의 최소 단경 크기의 1/2인 15mm보다 작은 10mm로 하였으며, 최대 높이는 단경의 최대 크기 60mm보다 큰 70mm로 하였다. 따라서 파란 분리대의 상하 이동거리는 60mm로 결정하였다.

#### 4. 파란 분리 컨베이어의 기울기

파란 분리장치부 위치 a는 0mm, 파란 분리대의 상하이동거리 b는 60mm, 파란 분리대의 폭 c는 30mm, 그리고 첨부의 방향은 파란 분리 컨베이어의 이동방향과 반대방향으로 놓고 파란 분리 컨베이어의 적정 기울기를 조사하였다.

표 5-5는 파란 분리 컨베이어의 기울기별 분리성능 실험결과이다.

Table 5-5 Result of successful ratio by inclination of separation conveyer

Inclination angle of separation conveyer (degree)	Successful ratio(%)
0	96.66
0.5	96.66
1.0	99.17
1.5	97.50
2.0	95.83
2.5	95.66
3	95.83

실험결과 분리컨베이어의 기울기가 1° 일 경우 99.17%로 가장 높은 성공률을 나타내었다. 분리컨베이어의 기울기가 1° 미만인 경우는 계란이 계란정렬이송 컨베이어에서 분리 컨베이어 상으로 이동할 때 파란 분리 벨트와 정상란 분리 벨트사이에 걸려 정상란이 계속 진행하지 못하는 경우가 있었으며, 분리 컨베이어의 기울기를 1° 이상으로 하였을 경우는 정상란 및 파란이 분리대에 걸려 파란 분리 컨베이어 상에서 잘 빠져나가지 않았다. 따라서 다음 단계의 계란이 아직 빠져나가지 않은 계란과 충돌하여 2차 파손이 발생하였으며, 파란이 정상란 벨트 상으로 넘어가는 경우도 발생하였다.

## 제 6 장 종합 검란 시스템

### 제 1 절 서 설

본 연구에서 개발하려고 하는 자동 검란 시스템은 계란을 타격 함으로써 발생하는 음향신호를 분석하여 정상란과 파란으로 분류하는 시스템이다. 이를 위해서 검란부와 파란 분리부로 세부과제를 나누어 연구를 수행하였다.

제 1세부과제의 자동 검란 장치에 관한 연구에서는 음향반응에 의한 검란 방법을 이용하여 계란의 크랙 유무를 자동으로 검사하는 검란 장치 및 제어 소프트웨어를 개발하였으며, 제 2세부과제에서는 솔레노이드의 수직 상하운동을 4절 링크로 연결된 계란 분리대에 전달하여 계란이 이송 컨베이어에서 파란 분리 컨베이어로 굴러 떨어질 때 계란의 진행을 방해하여 정상란과 파란으로 분리하는 파란 분리장치를 개발하였다.

개발된 검란 장치와 파란 분리장치의 자세한 작동원리와 설계방법에 관해서는 4장과 5장에 설명하였으며, 본 장에서는 검란 장치와 파란 분리장치를 하나의 시스템으로 결합한 전체 시스템의 동작과 성능평가에 대한 내용을 기술하였다.

### 제 2 절 시스템 구성

최종적으로 개발된 검란장치와 파란분리장치를 결합한 시스템의 전체 외형을 그림 6-1에 나타내었고, 그림 6-2는 검란부와 파란분리부 만을 나타낸 평면도이다.



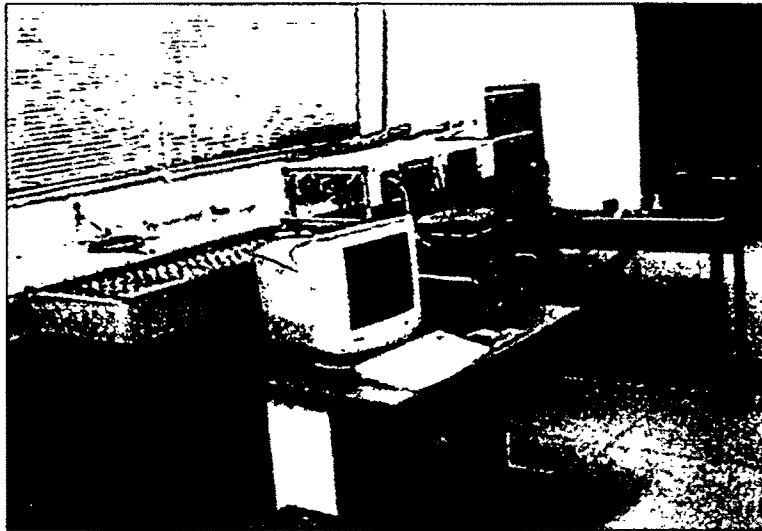


Fig. 6-1 Picture of automatic egg inspection system

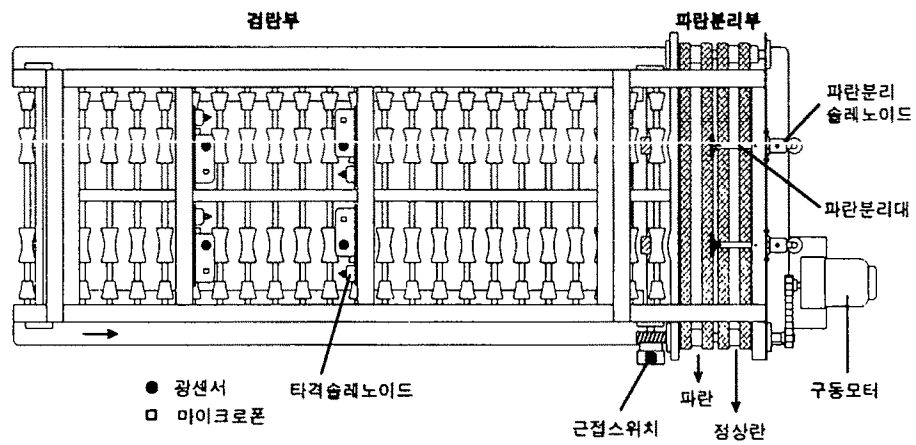


Fig. 6-2 Top view of automatic egg inspection system

## 1. 검란부

검란부는 계란의 크랙 유무를 검사하는 부분이다. 검란의 기본원리는 계란을 타격하고 타격신호 대한 파워스펙트럼을 분석하여 정상란과 파란을 판별하는 것이다. 최종적으로 구성된 시스템에서는 4장에서 연구된 복란 검란 시스템을 2열까지 확장하여 설계하였다. 검란부에 사용된 주요 구성품의 사양은 표 4-2와 같다.

시스템의 흐름은 계란이 이송장치에 의해 2열로 이송되면서 계란의 유무를 감지하는 광센서와 타격위치를 감지하는 근접스위치의 조합에 의해 솔레노이드가 작동되어 계란을 타격하고, 타격에 의한 음향신호를 마이크로폰으로 감지하여 프리앰프에서 증폭한 후 DSP 보드로 보내져 신호처리를 수행하여 정상란과 파란의 유무를 판별하고, 판별신호를 파란분리장치 제어부로 출력한다.

이때 첫 번째 타격은 침부를 타격하며, 두 번째 타격은 둔부를 타격하도록 했으며, 각 타격장치간의 신호 간섭을 최소화하기 위해서 그림 6-3에서 보는 바와 같이 첫 번째 타격장치와 두 번째 타격장치의 간격을 6칸으로 설정하였다. 또한 마이크로폰 프리앰프의 이득과 필터의 이득을 계란의 타격음만 감지하도록 조절하였고, DSP보드로의 신호입력시 트리거 레벨을 계란 타격음 수준으로 조절하여 설정레벨이 되어야만 신호가 입력되도록 하였다.

그림 6-3은 2열로 진행하는 계란을 검사할 수 있는 검란부를 위쪽에서 본 그림이며, 그림 6-4는 정면도를 나타낸다.

그림 6-5는 검란부로 계란을 공급하는 모습을 보여준다. 이때 침단부가 왼쪽에 위치하도록 계란을 정렬하여 공급한다. 침단부가 왼쪽에 위치하도록 정렬하는 이유는 5장의 이송시 계란의 방향결정에 관한 연구 결과에서 보고된 침단부를 파란분리컨베이어의 이동방향과 반대방향으로 했을 경우, 즉 그림 6-5의 왼쪽방향으로 했을 경우 파란분리 성공률이 가장 높았기 때문이다.

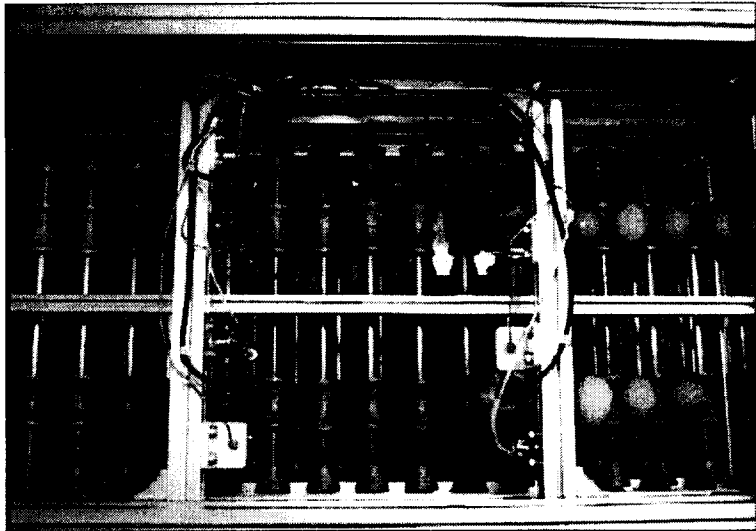


Fig. 6-3 Top view of egg inspection part

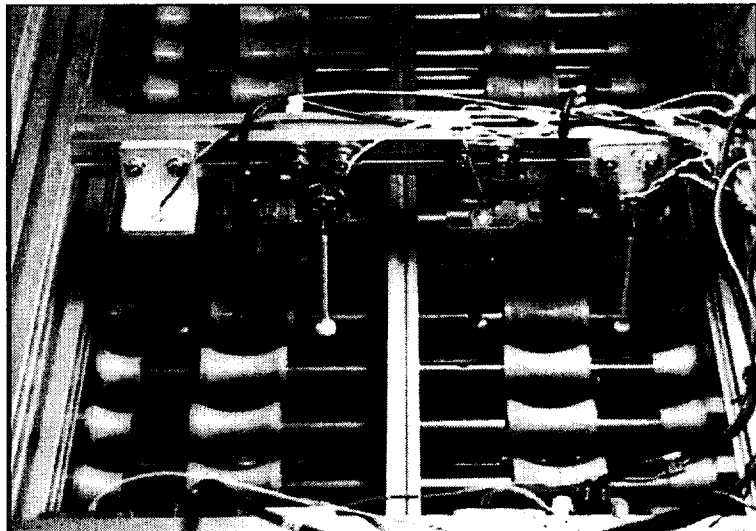


Fig. 6-4 Front view of egg inspection part

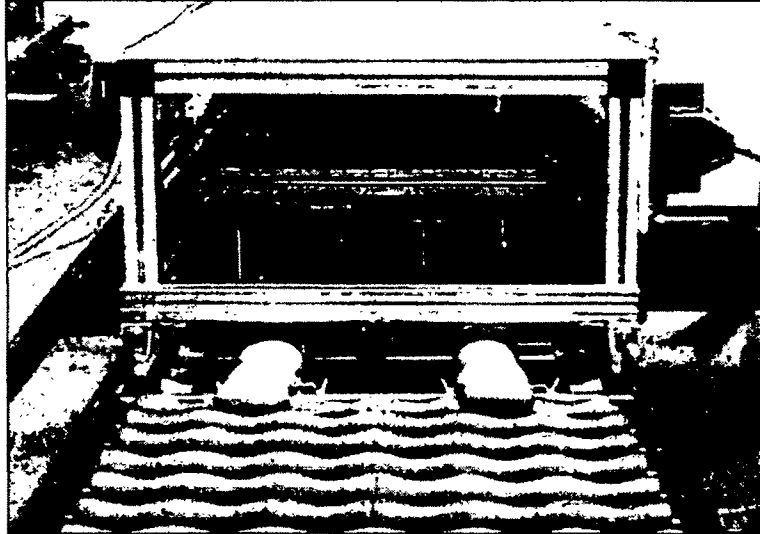


Fig. 6-5 Front view of egg supply part

## 2. 파란분리부

파란 분리부는 검란부에서 판별된 계란을 분리하는 부분으로서 DSP 보드의 출력신호에 의해 파란분리장치의 제어부가 작동을 해서 솔레노이드를 구동하도록 되어있다. 최종적으로 구성된 시스템은 검란부가 2열로 진행되는 계란을 검사하게 되어 있으므로 파란 분리장치도 2열로 진행되는 계란을 분리하기 위해 2개를 설치하였다. 그림 6-6은 파란 분리장치의 측면 그림이며, 그림 6-7은 위쪽에서 본 그림이다. 파란분리장치의 자세한 작동원리에 관해서는 5장을 참고하기 바란다.

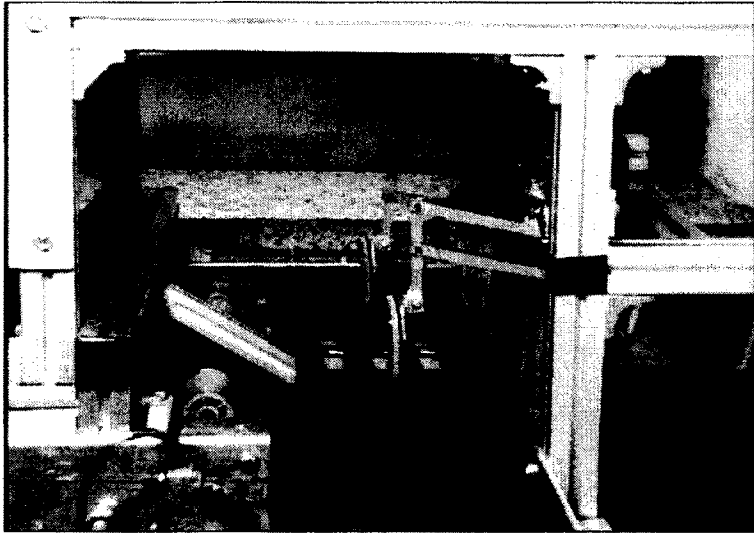


Fig. 6-6 Side view of cracked egg separation part

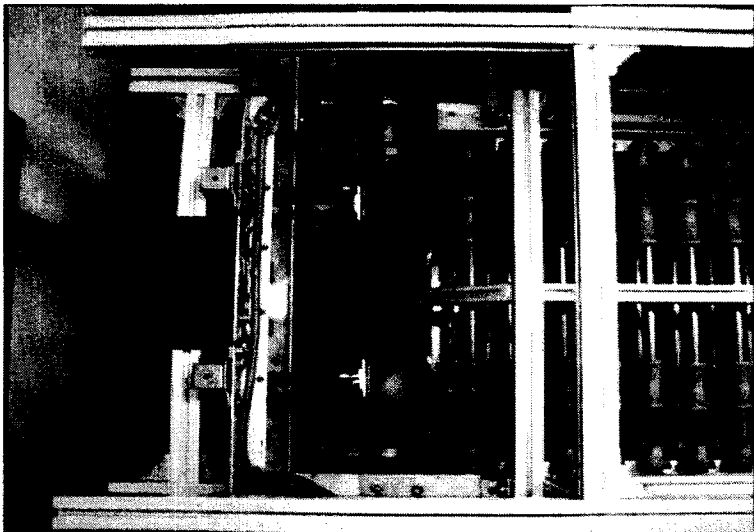


Fig. 6-7 Top view of cracked egg separation part

## 제 3 절 시스템의 성능평가

### 1. 공시재료

검란, 이송, 분리장치를 결합한 전체 시스템의 성능을 시험하기 위해서 자동화된 양계장에서 수집한 정상란 200개와 파란 200개를 시료로 이용하였다. 정상란의 경우 특란이 50%, 대란이 30%, 왕란, 중란, 소란이 20% 되도록 준비하였다. 파란의 경우 종류별 구성비는 미세 균열란을 50%, 대균열란 40%, 흠형파란 10% 이었다.

### 2. 자동 검란 시스템의 흐름도

계란을 타격하고 신호를 수집·분석하여 분리장치에 의해 정상란과 파란이 분리되기까지의 시스템 전체의 흐름도를 그림 6-8에 나타내었다.

시스템의 흐름은 계란이 검란부로 투입되면 검란부의 첫 번째 타격장치인 A 위치에서 광센서와 근접스위치의 신호를 점검하여 계란이 타격위치에 존재하는가를 조사한다. 만약 계란이 존재하지 않는다면 솔레노이드가 작동을 하지 않고 다음 계란이 오기를 기다리고, 존재한다면 A 위치의 타격 솔레노이드가 작동하여 계란을 타격하고 DSP보드의 A채널로 신호를 입력받아 신호처리를 수행한 후 정보를 유지한다.

그리고 B 위치에서도 동일한 동작을 수행한 후 A채널에서 처리한 신호와 조합하여 판별 알고리즘에 적용한 후 크랙의 유무를 판단한다. 만약 크랙이 없다면 아무 신호도 출력하지 않고 처음 A 위치로 돌아가며, 크랙이 있다면 DSP보드의 출력포트를 통하여 파란분리장치 제어부인 P8R8DIO 보드로 디지털 신호를 보낸다.

이때 P8R8DIO 보드는 근접스위치와 DSP 보드로부터의 입력신호를 감시하고 있다가 이송컨베이어의 동력전달 축에 붙어 있는 근접스위치에서 신호가 입력될 때마다 버퍼를 계속 쉬프트(shift)하고, DSP 보드로부터 파란 신호가

입력되면 쉬프트 하던 버퍼에 파란 신호를 저장한다. 이 파란은 파란신호를 저장하고 이동하다가 파란분리장치 바로 앞에 도착하면 도착신호와 함께 파란분리 솔레노이드가 작동을 해서 파란을 분리하게 된다.

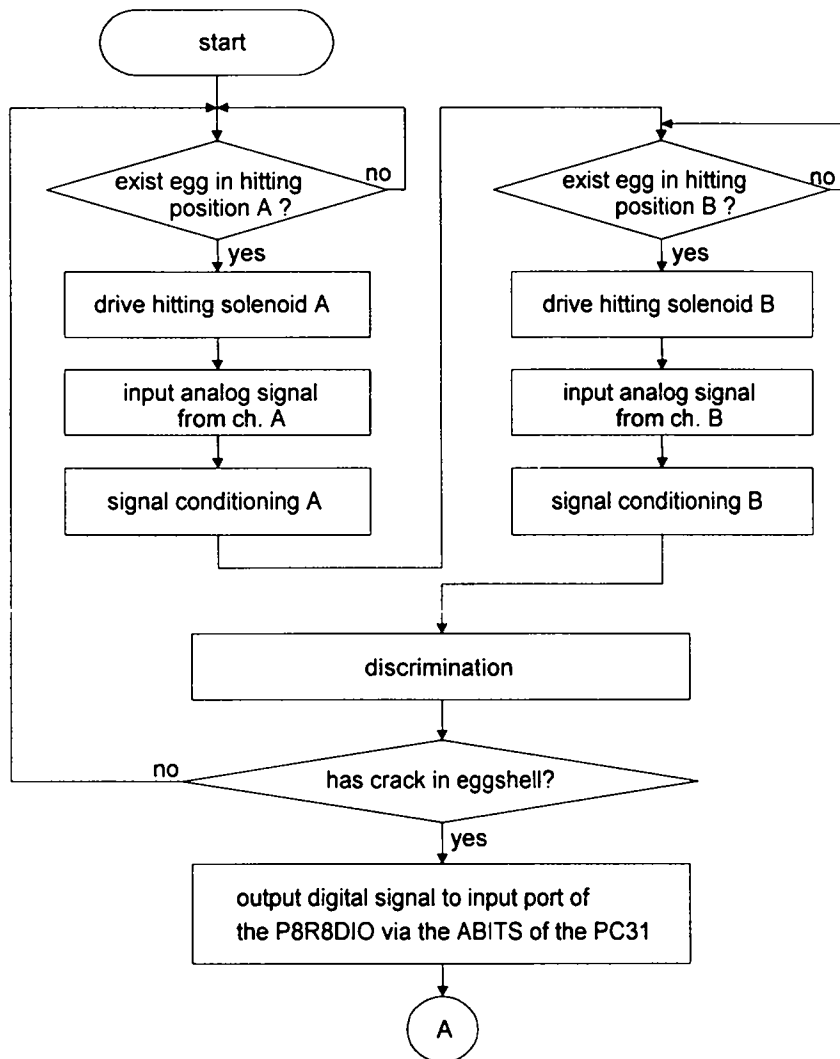


Fig. 6-8 Total flow chart of automatic egg inspection system (continue)

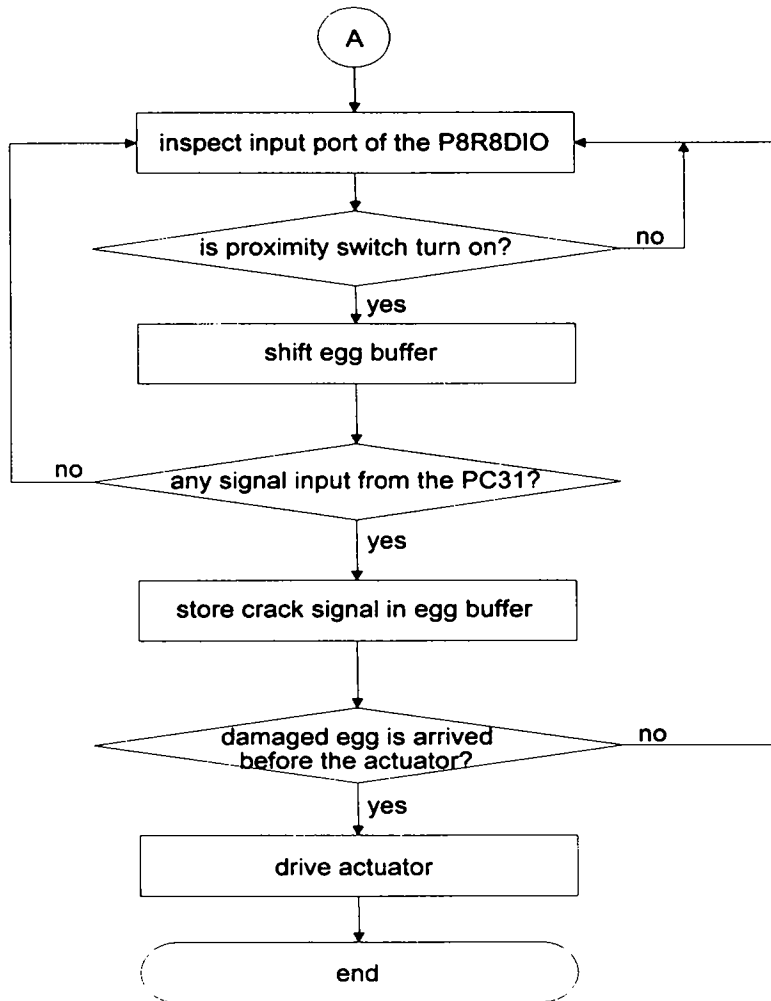


Fig. 6-8 Total flow chart of automatic egg inspection system



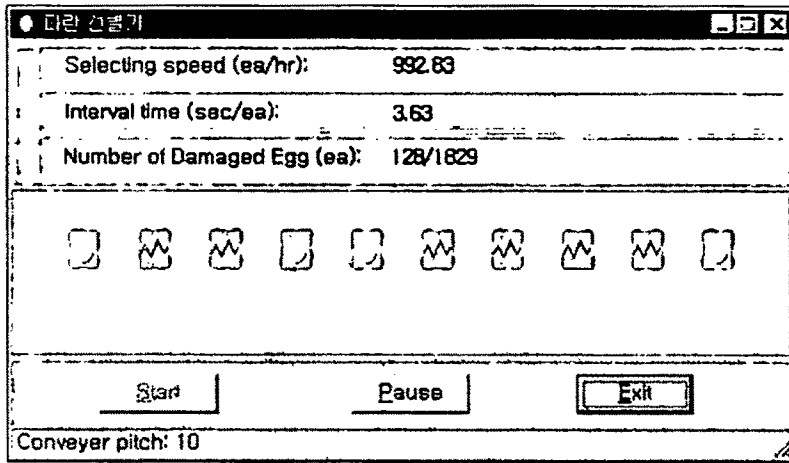


Fig. 6-9 A section of automatic egg inspection software

그림 6-9는 검란 과정을 시각적으로 보여주는 소프트웨어의 일부분을 보여 준다. 두 번째 타격이 이루어진 후 첫 번째 타격신호와 비교하여 파란의 유무를 판별하게 되며, 파란인 경우 그림 6-9의 맨 왼쪽 계란에 파란 표시를 하고 오른쪽으로 이동하다가 맨 오른쪽에 도착하면 잠시 후 파란분리대가 작동을 해서 파란을 분리한다. 계란이 일렬로 진행되는 경우 분당 처리 계란 수를 최대 65개로 설정하여 이송장치의 속도를 조절하였으며, 시간당 처리 계란 수 및 파란의 개수를 표시하도록 하였다.

#### 제 4 절 결과 및 고찰

개발된 자동 검란 시스템에 정상란 200개, 파란 200개를 적용하여 검란부와 파란분리부의 성능을 평가하고, 그 결과를 표 6-1과 표 6-2에 나타내었다.

표 6-1의 검란부의 성능평가 결과에서 보면 정상란을 파란으로 판별하는

경우가 200개중 8개로 4%의 오차를 나타내어 96%의 판별율을 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 경우는 200개중 22개로 11%의 오차를 나타내어 89%의 판별율을 나타내었다. 따라서 검란부는 전체적으로 92.5%의 판별성능을 나타내었다.

이와같은 오차의 원인을 분석해 보면, 검란 알고리즘이 정상란과 파란의 특성을 잘 반영하지 못한 이유도 있겠지만 타격부위의 난각이 다른 부위와 비교해서 얇거나 두꺼운 경우, 기형란인 경우는 정상란 일지라도 파란의 특성을 나타낼 수 있다. 또 한 개의 계란에 대해 두 번 타격 한 음향신호를 수집하고 그 차이를 이용하여 이상유무를 판별하기 때문에 두 개의 타격장치간에 충격력의 차이가 있거나 마이크와 프리앰프의 응답특성이 조금이라도 차이가 나면 이 차이가 계란의 음향신호에 영향을 미쳐 오차가 생길 수가 있다. 따라서 오차를 줄이기 위해서는 검란 알고리즘의 보완, 타격장치의 정밀도 향상 및 마이크와 프리앰프의 특성 차이를 최소한으로 줄여야만 한다.

표 6-2의 파란 분리부의 성능평가 결과에서는 정상란의 경우는 100% 모두 분리를 했으며, 파란의 경우는 200개의 계란 중 4개에 대해서 오동작을 해서 98%의 분리성능을 나타내었다. 따라서 파란 분리부는 전체적으로 99%의 판별성능을 나타내었다.

이때 파란에서 4개의 계란에 대한 오차의 원인을 살펴보면, 파란분리 장치의 분리대는 파란일 경우에만 동작을 하고 정상란일 경우는 동작을 하지 않는다. 따라서 검란부의 두 번째 타격장치에서 파란 신호가 출력되면 그 계란은 파란 신호를 유지하면서 이동하다가 이송장치의 끝부분에서 파란분리부로 굴러 떨어지는데 이때 떨어지는 타이밍과 파란분리대의 동작이 맞아야만 성공적인 분리가 이루어진다. 그러나 계란이 떨어지는 순간 파란분리대가 먼저 동작하거나 혹은 나중에 동작하는 약간의 시간차에 의해서도 오차가 생길 수가 있다. 성능평가 시 생긴 오차도 여기에서 기인한 것으로 추정되며 오차를 줄이기 위해서는 시스템의 정밀도를 보완하는 것이 필요하다.

Table 6-1 Performance evaluation of egg inspection part

Class	No. of Samples	Correct Classification(%)	Error ratio(%)*	
			Type I	Type II
Good	200	96.0	4.0	11.0
Cracked	200	89.0		
Total	400	92.5	7.5	

\* Type I : classifying crack-free eggs as cracked

Type II : classifying cracked eggs as crack-free

Table 6-2 Performance evaluation of cracked egg separation part

Class	No. of Samples	Correct Classification(%)
Good	200	100
Cracked	200	98.0
Total	400	99.0

본 연구에서 개발된 자동 검란 시스템은 실험실 규모로 제작된 실험용 시스템이며, 자동 검란장치 개발을 위한 핵심기술을 제공하기 위한 것이다. 따라서 실제 양계장에 적용하기 위해서는 양계장 규모와 환경에 맞는 시스템의 보완이 필요하며, 시스템의 정밀도와 내구성 또한 고려해야 할 것이다. 산란닭의 품종, 주령 및 사양방법에 따른 파란 판별 인자를 분석할 필요가 있다.

## 제 7 장 결론 및 요약

계란의 파손 여부를 검사하여 파란을 분류하는 일은 유통과정 중 계란의 상품성 및 안전성 유지를 위하여 매우 중요한 과정 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 계란의 집란, 이송과정에서 발생하는 파란을 자동으로 검사하기 위해서 음향반응을 이용한 검란 방법을 제시하고 검란장치 및 파란 분리장치의 핵심기술을 개발하였다. 구체적인 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 자동 검란 방법으로 기 연구되고 있는 영상처리 방법의 대체방법으로 음향충격반응을 이용한 검란 방법을 채택하고, 이 방법에 대한 타당성 조사 및 기초실험을 통해서 검란 가능성을 확인하였다.
2. 계란의 타격, 이송 및 선별 시 발생하는 계란의 손상을 막고 검란장치 개발의 기초 자료로 사용하기 위해서 난각 파괴강도 측정장치를 개발하여 난각 파괴강도를 측정하였다. 그 결과 정상란의 난각파괴강도는 대부분이 3~5kgf이었고 파란의 난각파괴강도는 0.3~5kgf로 나타났다. 또한 계란의 파손형태와 파손위치를 조사하여 파란의 종류별 파손 분포를 구하였다.
3. 로터리형 솔레노이드에 세라믹 볼을 달아 계란의 첨부와 둔부를 자동으로 타격하는 계란 타격장치를 개발하였으며, 타격에 의해 발생한 음향신호를 소형 콘덴서형 마이크로폰으로 감지하고 프리앰프에서 증폭한 후 증폭된 신호를 디지털 신호처리 보드에서 분석·처리하는 시스템을 개발하였다.
4. 검란 알고리즘을 구하기 위해서 계란을 타격한 시간영역 신호에 대한 파

위스펙트럼을 이용하였으며, 검란을 위한 주요 인자로서 파워스펙트럼의 면적, 도심, 최대 공진주파수와 피크의 크기를 선정하고 이를 이용하여 정상란과 파란을 선별하는 알고리즘을 개발하였고, DSP 프로그램과 C 언어를 이용한 제어 소프트웨어를 개발하였다.

5. 파란 분리 방법으로 계란의 구름특성과 계란 분리대를 이용하여 계란이 검란부를 거쳐 이송장치 끝에 도달했을 때 계란의 진행을 방해하여 정상란과 파란으로 분리하는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 파란분리 컨베이어, 파란 분리대 및 제어부로 구성되었다. 파란분리 컨베이어는 벨트 4개로 구성되어 각각 2개의 벨트 위에 정상란과 파란이 놓여 분리·이송되며, 파란 분리대는 솔레노이드에 장착된 4절링크의 상하운동을 이용하여 계란이 이송장치에서 파란분리 컨베이어 상으로 굴러 내려올 때 정상란과 파란을 분리하도록 하였다.
6. 검란부와 파란분리장치부를 결합하여 계란이 이송장치에 의해 1열로 연속적으로 진행하면서 첨단부와 둔단부를 각각 한 번씩 타격하고, 각각의 음향 신호를 검란 알고리즘에 적용한 후 파란 신호를 파란 분리장치로 출력하여 파란을 분리하는 복란 검란 시스템을 개발하였다.
7. 최종적으로 구성된 복란 검란 시스템의 성능을 평가한 결과 검란부의 경우 정상란을 파란으로 판별하는 오차가 200개중 8개로 96%의 판별율을 나타내었고, 파란을 정상란으로 판별하는 오차는 200개중 22개로 89%의 판별율을 나타내었다. 파란 분리부의 성능평가 결과에서는 정상란의 경우는 100% 모두 분리를 했으며, 파란의 경우는 200개의 계란 중 4개에 대해서 오동작을 해서 98%의 분리성능을 나타내었다. 계란이 1열로 진행할 경우 분당 처리 계란수는 최대 65개 정도로 병렬로 확장한다면 일반 양계장에서 실용화가 가능할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) Abbott J. A., G. S. Bachman, R. F. Childers, J. V. Fitzgerald, and F. J. Matusik, 1968, Sonic Techniques for measuring texture of fruits and vegetables, *Food Technology* 22 : 101-112.
- 2) Abbott J. A., H. A. Affeldt, and L. A. Liljedahl, 1992, Firmness measurement of stored 'Delicious' apples by sensory methods, Magness-Taylor, and sonic transmission, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(4) : 590-595.
- 3) Abbott J. A., D. R. Massie, B. L. Upchurch, W. R. Hruschka, 1995, Nondestructive sonic firmness measurement of apples, *Trans. of the ASAE*, 38(5) : 1461-1466.
- 4) Armstrong P., H. R. Zapp, G. K. Brown, 1990, Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination, *Trans. of the ASAE*, 33(4) : 1353~1359.
- 5) Baerdemaeker J. D., L. Lemaitre, R. Meire, 1982, Quality detection by frequency spectrum analysis of the fruits impact force, *Trans. of the ASAE* :175-178.
- 6) Brooks, J. and H. P. Hale. 1959. The mechanical properties of the thick white of the hen's egg. *Biochim. Biophys. Acta.* 32, 237~250.
- 7) Carnarius. K. M., K. M. Conrad., M. G. Mast. and J. H. Macneil. 1996. Relationship of eggshell ultrastructure and shell strength to the soundness of shell eggs. *Poultry Sci.* 75:656~663.
- 8) Chen H. and J. D. Baerdemaeker, 1993, Effect of apple shape on acoustic measurements of firmness, *J. agric. Engng Res.* 56 : 253-266.
- 9) Chen H. and J. D. Baerdemaeker, 1995, Total least square technique for estimating the vibration parameters of the apple from the time domain impulse response signal, *J. agric. Engng Res.* 61 : 283-290.
- 10) Chen P., Z. Sun, L. Huarng, 1992, Factors affecting acoustic responses

- of apples, *Trans. of the ASAE*, 35(6) : 1915~1920.
- 11) Cooke J. R., 1972, An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables, *Trans. of the ASAE* : 1075-1080.
  - 12) David A. and Sr. Roland. 1977. The Extent of uncollected eggs due to inadequate shell. *Poultry Sci.* 56:1517~1521.
  - 13) Dipen N. Shinha, 1992. Acoustic Resonances in Chicken Eggs. *Biotechnol. Prog.* 8 : 240~243.
  - 14) Elster R. T. and J. W. Goodrum, 1991, Detection of cracks in eggs using machinevision, *Trans. of the ASAE*, 34(1) : 307~312.
  - 15) Frank, F. R., M. H. Swason. and R. E. Burger. 1964. The relationships between selected physical characteristics and the resistance to shell failure of gallus domesticus egg. *Poultry Sci.* 43:1228~1235.
  - 16) Finney E. E. and J. A. Abbott, 1978, Methods for testing the dynamic mechanical response of solid foods, *J. of Food Quality* 2 : 55-74.
  - 17) Friesen T. L., G. H. Brusewitz, R. L. Lowery, 1988, An acoustic method of measuring moisture content in grain, *J. agric. Engng Res.* 39 : 49~56.
  - 18) Garlich, J. D., C. R. Parkhurst. and H. R. Ball. 1975. The comparison of rough, normal and translucent egged with respect to shell strength and calcification. *Poultry. Sci.* 54:1574~1580.
  - 19) Goodrum J. W. and R. T. Elster, 1992, Machine vision for crack detection in rotating eggs, *Trans. of the ASAE*, 35(4) : 1323~1328.
  - 20) Han Y. J. and Y. Feng, 1994, Egg shell inspection using global image analysis, *Trans. of the ASAE*, 10(1) : 109~114.
  - 21) Harrenstein A. and G. Brusewitz, 1986, Sound level measurements on flowing wheat, *Trans. of the ASAE*, 29(4) : 1114~1117.
  - 22) Hayashi S., J. Sugiyama, K. Otobe, 1995, Nondestructive quality evaluation of fruits and vegetables by acoustic transmission waves, *Proceedings of ARBIP95 (JSAM) Vol(1)* : 227~234.
  - 23) Huamg L., P. Chen, S. Upadhyaya, 1993, Determination of acoustic

- vibration modes in apples, *Trans. of the ASAE*, 36(5) : 1423-1429.
- 24) Innovative Integration, Inc., 1997. PC31 Development Package Software Manual. Innovative Integration.
  - 25) Innovative Integration, Inc., 1997. PC31 Hardware Manual. Innovative Integration Third Edition.
  - 26) James, P. E. and H. J. Retzer. 1967. Measuring egg shell strength by beta backscatter technique. *Poultry Sci.* 46:1200~1203.
  - 27) Kepler, H. B. 1960. Basic graphical kinematics. McGraw-Hill, Inc.
  - 28) Kimmel E., K. Peleg, S. Hinga, 1992, Vibration modes of spheroidal fruits, *J. agric. Engng Res.* 52 : 201-213.
  - 29) Liljedahl L. A. and J. A. Abbott, 1994, Changes in sonic resonance of 'Delicious' and 'Golden Delicious' apples undergoing accelerated ripening, *Trans. of the ASAE*, 37(3) : 907-912.
  - 30) Misra M. K., B. Koerner, A. Pate, C. P. Burger, 1990, Acoustic properties of soybeans, *Trans. of the ASAE*, 33(2) : 671-677.
  - 31) Paul M. Embree, Bruce Kimble, 1991. C Language Algorithms for Digital Signal Processing. Prentice-Hall, Inc.
  - 32) Petersen, C. F. 1965. Factors influencing egg shell quality - a review. *World's Poultry Sci.* 21:110~138.
  - 33) Robert L. Kruse, Bruce P. Leung, Clovis L. Tondo, 1991. Data Structures and Program Design in C. Prentice-Hall, Inc. : 68~97.
  - 34) Roland, D. A. 1978. The incidence of body-checked and misshapen eggs in relation to the number of hens per cage and time of oviposition. *Poultry Sci.* 57:1705~1709.
  - 35) Roland, D. A. 1981. Crack down on cracked eggs. *Poultry International* 20:38~53.
  - 36) Roland, D. A. 1984. Eggshell quality 1: the body-checked egg. *World's Poultry Sci.* 40:250~254.
  - 37) Sandor, G. N. and A. G. Erdman. 1984. Advanced mechanism design : analysis and synthesis. Prentice-Hall, Inc.



- 38) Stadelman, W. J. and O. j. Cotterill. 1977. Egg science and technology. AVI Pub. Co. 29~64.
- 39) Stermer R. A. and O. R. Kunze, 1994, Acoustical detection of fissures in rice, *Applied Engineering in Agriculture*, 10(2) : 267~271.
- 40) Sugiyama J., K. Otobe, S. Hayashi, S. Usui, 1994, Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission, *Trans. of the ASAE*, 37(4) : 1235~1241.
- 41) Talbot, C. J. and C. Tyler. 1974. A study of the fundamental case of natural translucent areas in eggshells. *British Poultry Sci.* 15:197~204.
- 42) Talbot, C. J. and C. Tyler. 1974. A study of the fundamental case of artificial translucent areas in eggshells. *British Poultry Sci.* 15:205~215.
- 43) Toledo. B. VAN., A. H. Parsons. and G. F. Combs, JR. 1982. Role of ultrastructure in determining eggshell strength. *Poultry Sci* 61:569~572.
- 44) Tyler, C. and J. R. Coundon. 1965. Apparatus for measuring shell strength by crushing, piercing or snapping. *British Poultry Sci.* 6: 327~330.
- 45) Wells. R. G. and C. G. Belyavin. 1987. Egg quality - current problems and recent advances. *Poultry Sci. Sympo.* 20:131~156.
- 46) Wilson, C E, J. P Sadler. and W J. Michels. 1983. Kinematics and dynamics of machinery. Harper & Row. 1~280.
- 47) Ymamoto H., M. Iwamoto and S. Haginuma, 1980, Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluation of apples and watermelons, *J. of Texture Studies* 11 : 117-136.
- 48) Zhang X., M. L. Stone, D. Chen, N. O. Maness, G. H. Brusewitz, 1994, Peach firmness determination by puncture resistance, drop impact, and sonic impulse, *Trans. of the ASAE*, 37(2) : 495-500.
- 49) 김기대 외 3인. 1996. 육묘상자 취급을 위한 로봇핸드의 개발. *충남대학교 농업과학연구소* 23(2).
- 50) 김만수 외 5인. 1996. 프리그 묘 생산을 위한 로봇시스템의 개발. *충남대학*

교 농과대학 : 54~91.

- 51) 김찬수. 1994. 유묘보식용 로봇핸드 개발. 충남대학교 대학원
- 52) 박귀태, 이상락, 1995. C 언어로 쉽게 쓰는 TMS320C31. 대영사.
- 53) 반전훈구 외 2인. 1996. 스이가收穫گریッパの개발. 일본농업기계학회지 58(3) : 19~26.
- 54) 서일환, 김기대, 복진삼, 이승규, 1998, 파란의 기계적 분리 시스템의 개발, 한국농업기계학회 1998 동계학술대회 논문집 3(1) : 407~413.
- 55) 월간 자동화기술 편집부. 1987. 메카트로닉스를 이용한 최첨단 제어용 모우터. 도서출판 성안당 : 13~39, 117~133.
- 56) 임승원. 1993. 인터페이스 기초. 연학사
- 57) 자동화기구연구회. 1995. 자동화 기구 300선. 기전연구사
- 58) 전재승 역. 1986. 센서 인터페이싱 NO.2. 기전연구사. : 41~43.
- 59) 정화영. 1994. DSP를 이용한 DC 모터 서보제어기의 구현. 충남대학교 전자공학과 석사학위 논문.
- 60) 조한근, 권양, 1995, 컴퓨터 시각에 의한 계란 표면의 결함 검출, 한국농업기계학회지 20(4) : 368~375.
- 61) 조한근, 최완규, 1997, 난각의 음향반응에 영향을 주는 인자, 한국농업기계학회지 22(1) : 41~48.
- 62) 조한근, 최완규, 백진하, 1998, 음향반응에 의한 계란의 크랙검출에 관한 연구, 한국농업기계학회지 23(1) : 67~74.
- 63) 천희영 편저. 1991. 로봇공학. 청문각. : 1~23, 244~276.
- 64) 허임숙. 1996. 계란등급 개선 필요하다. 현대양계 11: 97~99
- 65) 황동혁. 1995. DSP를 이용한 로봇 제어기 개발에 관한 연구. 충남대학교 전자공학과 석사학위 논문.

## 부록. 자동 검란장치 소프트웨어

### A. 검란 소프트웨어

C source code of the Signal processing and control software

```
#include "string.h"
#include "time.h"
#include "stdio.h"
#include "periph.h"
#include "values.h"
#include "math.h"
#include "constant.h"

#define GAIN                2
#define SAMPLE_SIZE        128
#define SAMPLE_RATE        40           // kHz
#define FFT_SIZE           128
#define HALF_FFT_SIZE      (FFT_SIZE/2)
#define LOG2_SIZE          7
#define BITREV              1
#define VALID_SPECTRUM     32
#define BUF_SIZE            5
#define CHANNELS            2
#define DUMMY_TIC           3200        // 80ms in 40kHz Sampling
rate

#define false                0
#define true                 (!false)

typedef struct {
    float real, imag;
} COMPLEX;

// Prototypes
void DoAcq();
void enable_analog_interrupt();
void disable_analog_interrupt();
void TitlePage();
```

```

void InitDSP();
void Discrimination(volatile float *, volatile float *);
float Area(volatile float *, int);
void Centroid(volatile float *, int, float *, float *, float);
float Diffrence(float *);
int getPeakIndex(volatile float *, int);
void NormalizeSig(COMPLEX *, int);
void fft(COMPLEX *, int, int);
void normalize_spectrum(COMPLEX *, int, int);
float hypot(float, float);

float T_LEVEL;
volatile float  bufa[BUF_SIZE][SAMPLE_SIZE+1],
                bufb[SAMPLE_SIZE+1],
                *buf[CHANNELS];

// Queue index for 'bufa'
// Queue 운용방법:
// front: 크랙판별시 참조하며, 판별후 Queue의 다음 멤버를 인덱스한다.
// rear: Signal sampling과 fft시에 참조한다. fft후 다음 Queue를 인덱스한다

volatile int front, rear;

volatile int ptix[CHANNELS],
            is_trig[CHANNELS],
            is_rdy[CHANNELS],
            tic[CHANNELS],
            HasCrack;

extern volatile mux_a;

void main()
{
    TitlePage();
    InitDSP();
    DoAcq(); // Test Analog I/O ports

    for(;;true;){ // Infinite loop
        if(true == HasCrack){ // Inspect 'HasCrack' flag
            HasCrack = false;
            printDSM_ABITS();
        }
    }
}

```

```

        }
    }

void InitDSP()
{
    int i;

    front = rear = 0;                // initialize 'front' & 'rear'
    ptix[0] = ptix[1] = is_trig[0] = is_trig[1] = false;
    is_rdy[0] = is_rdy[1] = true;
    tic[0] = tic[1] = 0;
    HasCrack = false;

    enable_cache();
    enable_interrupts();

    MHZ = ICLK;
    enable_clock();                // Sets up for 1 kHz timebase on
    enable_analog();
}

void TitlePage()
{
    enable_monitor();
    put_str(15, 1, "<< Crack discrimination in Egg-Shell >>");

    put_str(2, 4, "Trigger level(0.??): ");
    scanf("%f", &T_LEVEL);
    T_LEVEL *= 32767.;
    cursor(OFF);
    printf("\n\n");
}

/*-----
*   Test A/D and DACs
*
*   Toggle the analog bits latch, showing its shadow register.
*   Calculate a sine wave to 16 bit precision enable an ISR which
*   outputs the waveform on each DAC channel continuously.

```

```

* Display ISR-driven A/D readings on console.
-----*/
void DoAcq()
{
    set_gain_a(GAIN);
    *MUX_A = mux_a = 1;
    *ADC;

    enable_analog_interrupt();
}

void NormalizeSig(COMPLEX *sptrm, int ch)
{
    int i;
    long mean = 0;

    for(i = 0; i < SAMPLE_SIZE; i++)
        mean += buf[ch][i];

    mean /= SAMPLE_SIZE;

    for(i = 0; i < SAMPLE_SIZE; i++)
        buf[ch][i] -= mean;

    for(i = 0; i < FFT_SIZE; i++){
        sptrm[i].real = buf[ch][i];
        sptrm[i].imag = 0.;
    }
}

/*-----*/
* Analog I/O interrupt routine
*
* Each execution of the ISR, the A/Ds are sampled.
* Results of conversion are stored into array  bufa[][], bufb[]
* By sampling ADCs at high rate, excessive mux settling time and/or
* channel crosstalk are identified.
-----*/
void c_int09()
{
    volatile int highWord;

```

```

static COMPLEX sptm[CHANNELS][FFT_SIZE];

highWord = *SER_RD>>16;           // get previous conversion

if (mux_a == 1){                  //.. ch. 1
    if (is_rdy[mux_a] == true){
        if (is_trig[mux_a] == true)
            bufa[rear][ptix[mux_a]++] = highWord;
        else
            if
((highWord>T_LEVEL)||((highWord<(-1.*T_LEVEL))))
                is_trig[mux_a] = true;

        if (ptix[mux_a] > SAMPLE_SIZE){
            is_trig[mux_a] = false;
            is_rdy[mux_a] = false;
            ptix[mux_a] = 0;

            printf("#%d...\n", mux_a);

            buf[mux_a] = bufa[rear];

            NormalizeSig(sptm[mux_a], mux_a);
            fft(sptm[mux_a], mux_a, LOG2_SIZE);

            rear = (rear+1) % BUF_SIZE;
        }
    } else {
        if (tic[mux_a]++ > DUMMY_TIC){
            is_rdy[mux_a] = true;
            tic[mux_a] = 0;
        }
    }

    mux_a = 0;
} else {                            //.. ch. 2
    if (is_rdy[mux_a] == true){
        if (is_trig[mux_a] == true)
            *(bufb+ptix[mux_a]++) = highWord;
        else
            if((highWord>T_LEVEL)||

```

```

(highWord<(-1.*T_LEVEL)))
        is_trig[mux_a] = true;

        if (ptix[mux_a] > SAMPLE_SIZE){
            is_trig[mux_a] = false;
            is_rdy[mux_a] = false;
            ptix[mux_a] = 0;

            printf("#%d...\n", mux_a);

            buf[mux_a] = bufb;

            NormalizeSig(sptrm[mux_a], mux_a);
            fft(sptrm[mux_a], mux_a, LOG2_SIZE);
            Discrimination(bufa[front], bufb);

            front = (front+1) % BUF_SIZE;
        }
    } else {
        if (tic[mux_a]++ > DUMMY_TIC){
            is_rdy[mux_a] = true;
            tic[mux_a] = 0;
        }
    }
    mux_a = 1;
}
*ADC;
*MUX_A = mux_a;
}

/*-----
* InitDSPialize analog interrupts
*
* Setup internal timer 0 to act as a timebase for the above ISR.
*
* Timer is clocked at H1/2 (either 10 Mhz for 40 Mhz ICLK
* or 8.25 Mhz for 33 Mhz ICLK). This is #DEFINED in stdio.h as
* PIT_CLOCK
*
* Interrupt (signaling) rate f is:
*

```



```

*   f = (H1/2)/(Period Register)
*
*   when clock/pulse mode control bit (bit 8 in TIM0_GC) is 0, as below.
-----*/

void enable_analog_interrupt()
{
    timer(4, 0);
    install_int_vector(c_int09, 9);
    enable_interrupt(8);           // Enable timer interrupt
    timer(4, (CHANNELS*SAMPLE_RATE)*1000);
}

/*-----*/
*   Disarm analog interrupts
*
*   Disables the TINT0 ISR.
-----*/

void disable_analog_interrupt()
{
    disable_interrupt(8);         // Disable timer interrupt
    deinstall_int_vector(9);
}

/* ----- */
/*   Discriminating Routine   */
/* ----- */

float Area(volatile float *pt, int cnt)
{
    int i;
    float result = 0.;

    for(i = 0; i < cnt; i++)
        result += *(pt+i);

    return result;
}

void Centroid(volatile float *pt, int cnt, float *centrdMag, float *centrdFreq,
              float area)

```

```

{
    int i;
    float sumCm, sumCf, freq;

    sumCm = sumCf = 0.;
    for(i = 0; i < cnt; i++){
        freq = ((float)SAMPLE_RATE/((float)HALF_FFT_SIZE)*i; // kHz

        sumCf += *(pt+i) * freq;
        sumCm += *(pt+i) * (*(pt+i)/2.);
    }

    *centrdFreq = sumCf / area;
    *centrdMag = sumCm / area;
}

float Diffrence(float *var)
{
    float result;
    result = *var - *(var+1);
    return ((result>0.) ? result : -1.*result);
}

int getPeakIndex(volatile float *pt, int cnt)
{
    float max;
    int i, index;

    max = *pt;

    for(i = 1, index=0; i < cnt; i++)
        if(max < *(pt+i)){
            max = *(pt+i);
            index = i;
        }

    return index;
}

void Discrimination(volatile float *one, volatile float *another)
{

```

```

float area[2], avArea, DiffArea, avPeak;
float CrkCrimEq, NmlCrimEq;
int is_crack = false;

avArea = avPeak = 0.;

//=====
//= processing the First Impulse signal =====
avArea = area[0] = Area(one, VALID_SPECTRUM);
// 스펙트럼값중 앞부분 32개만 계산
avPeak = getPeak(one, VALID_SPECTRUM);

//- processing the Second Impulse signal -----
avArea += area[1] = Area(another, VALID_SPECTRUM);
// 스펙트럼값중 앞부분 32개만 계산
avPeak += getPeak(another, VALID_SPECTRUM);

//=====

avArea /= 2.;
DiffArea = Diffrnce(area);
avPeak /= 2.;

if ((avArea > 8.7 && DiffArea > 2.8))
    is_crack = true;
if((getSecondaryPeak(one, VALID_SPECTRUM)+gctSecondaryPeak
(another, VALID_SPECTRUM))/2. > 0.4)
    is_crack = true;

if (is_crack == true)    // 크랙란
    HasCrack = true;

put_ch(5, 7, 'N');
}

void fft(COMPLEX *sptm, int ch, int m)
{
    static COMPLEX *w;        // used to store the w complex array
    static int mstore = 0;    // stores m for future reference
    static int n = 1;        // length of fft stored for future

```

```

COMPLEX u,temp,tm;
COMPLEX *xi,*xip,*xj,*wptr;

int i,j,k,l,le,windex;
double arg,w_real,w_imag,wrecur_real,wrecur_imag,wtemp_real;

if(m != mstore) { // free previously allocated storage and set new m

    if(mstore != 0)
        free(w);
    mstore = m;

    if(m == 0)
        return;    // if m=0 then done

    // n = 2**m = fft length
    n = 1 << m;
    le = n/2;

    w = (COMPLEX *) calloc(le-1,sizeof(COMPLEX));

    if(!w) {
        printf("\nUnable to allocate complex W array\n");
        monitor();
    }

    // calculate the w values recursively

    arg = 4.0*atan(1.0)/le;          // PI/le calculation
    wrecur_real = w_real = cos(arg);
    wrecur_imag = w_imag = -sin(arg);
    xj = w;

    for (j = 1 ; j < le ; j++) {
        xj->real = (float)wrecur_real;
        xj->imag = (float)wrecur_imag;
        xj++;
        wtemp_real = wrecur_real*w_real - wrecur_imag*w_imag;
        wrecur_imag = wrecur_real*w_imag + wrecur_imag*w_real;
        wrecur_real = wtemp_real;
    }
}

```

```

}

// start fft
le = n;
windex = 1;
for (l = 0 ; l < m ; l++) {
    le = le/2;

    // first iteration with no multiplies

    for(i = 0 ; i < n ; i = i + 2*le) {
        xi = sptm + i;
        xip = xi + le;
        temp.real = xi->real + xip->real;
        temp.imag = xi->imag + xip->imag;
        xip->real = xi->real - xip->real;
        xip->imag = xi->imag - xip->imag;
        *xi = temp;
    }

    // remaining iterations use stored w

    wptr = w + windex - 1;

    for (j = 1 ; j < le ; j++) {
        u = *wptr;
        for (i = j ; i < n ; i = i + 2*le) {
            xi = sptm + i;
            xip = xi + le;
            temp.real = xi->real + xip->real;
            temp.imag = xi->imag + xip->imag;
            tm.real = xi->real - xip->real;
            tm.imag = xi->imag - xip->imag;
            xip->real = tm.real*u.real - tm.imag*u.imag;
            xip->imag = tm.real*u.imag + tm.imag*u.real;
            *xi = temp;
        }
        wptr = wptr + windex;
    }
    windex = 2*windex;
}

```

```

// rearrange data by bit reversing
j = 0;
for (i = 1 ; i < (n-1) ; i++) {
    k = n/2;
    while(k <= j) {
        j = j - k;
        k = k/2;
    }
    j = j + k;
    if (i < j) {
        xi = sptm + i;
        xj = sptm + j;
        temp = *xj;
        *xj = *xi;
        *xi = temp;
    }
}

normalize_spectrum(sptm, ch, HALF_FFT_SIZE);
}

void normalize_spectrum(COMPLEX *sptm, int ch, int n)
{
    float max = 0., hyp;
    int i;

    for(i = 0; i < n; i++){
        buf[ch][i] = hypot(sptm[i].real, sptm[i].imag);

        if(buf[ch][i] > max)
            max = buf[ch][i];
    }
    for(i = 0; i < n; i++)
        buf[ch][i] /= max;
}

float hypot(float x, float y)
{
    return sqrt(x*x+y*y);
}

```

## B. 파란 분리 소프트웨어

```
//-----  
#include <vcl\vcl.h>  
#include <dos.h>  
#include <time.h>  
#include <stdio.h>  
#include <mem.h>  
#pragma hdrstop  
#include "unit1.h"  
#include "unit2.h"  
//-----  
#pragma link "TPort"  
#pragma resource "*.dfm"  
TForm1 *Form1;  
  
//-----  
void Lighting(TTimer *, int sec);  
  
// P8R8DIO 보드의 입출력을 위한 기본 주소(base address)  
int baseport = 0x300;  
  
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)  
    : TForm(Owner)  
  
//-----  
void Lighting(TTimer *OpenGate, int msec)  
// 액추에이터를 'msec' 동안 작동시켜 계란을 분리해낸다.  
{  
    OpenGate->Interval = msec;  
    OpenGate->Enabled = true;  
}  
  
int TForm1::InspectInport(TPort *DAS_DIO, int *value)  
// 근접스위치의 신호와 PC31로부터 출력된 파란신호를 감시한다  
//  
// Return value:  
// 0 = you can ignores this value  
// 1 = Proximity switch signal  
// 2 = Crack signal  
{
```

```

int new_val, ret = 0;
new_val = DAS_DIO->Input(baseport+1) & 0x03;
if((*value&0x01) < (new_val&0x01))
    ret |= 1;
if((*value&0x02) < (new_val&0x02))
    ret |= 2;
*value = new_val;
return ret;
}

//-----
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)
// 프로그램 종료
{
    Application->Terminate();
}
//-----
void TForm1::DriveActuator()
// 지정된 시간후에 액추에이터를 작동시킨다.
{
    CloseGate->Interval = EllapsedTime *(8./10.);
    CloseGate->Enabled = true;
}

void __fastcall TForm1::FormDestroy(TObject *Sender)
// 프로그램을 종료하기 위해 P8R8DIO를 리셋한다.
{
    DAS_DIO->Output(0x300, 0x00); // Open all gates.
    InspectDiscrimination->Enabled = false;
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
// 파란신호를 감지하여 액추에이터를 구동시키기 위해
// 사용자로부터 두 번째 타격장치로부터 액추에이터까지의 거리를 입력받는다
{
    TForm2 *Form2;

    Form2 = new TForm2(Application);
    Form2->ShowModal();
    delete(Form2);
}

```



```

Button1->Enabled = false;    // disable Start button
Button3->Enabled = true;    // enable Pause button

InspectDiscrimination->Enabled = true;
StatusBar1->Panels->Items[0]->Text = "Conveyor pitch: " +
                                     IntToStr(DelayCount);
DisplayEggs();
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
// 각종 변수를 초기화한다.
{
    // Initialize Some public members
    DelayCount = 10;
    memset(EggArray, '0', 20*sizeof(char));

    DamagedEgg = 0;
    TotalEgg = 0;
    tick1 = 0;
    EllapsedTime = 0;

    Button3->Enabled = false;
    isCracked = false;
}
//-----
void __fastcall TForm1::InspectDiscriminationTimer(TObject *Sender)
{
    int i;
    char strbuf[100];

    flag = InspectInport(DAS_DIO, &value);

    switch(flag){
    case 0:
        return;

    case 1:
        // signal from proximity switch
        EllapsedTime = ::GetTickCount() - tick1;
        Label5->Caption = FormatFloat("#.##", EllapsedTime/1000.);
        sprintf(strbuf, "%-5.2f", (1000.*60.*60.)/EllapsedTime);

```

```

Label4->Caption = strbuf;
tick1 = ::GetTickCount();

TotalEgg++;
//Egg shift
for(i = 0; i < DelayCount; i++)
    EggArray[i] = EggArray[i+1];

EggArray[DelayCount] = '0';

if(true == isCracked){
    DriveActuator();
    isCracked = false;
}

if(EggArray[0] == '1'){
    DamagedEgg++;
    isCracked = true;
}

break;
case 2:
    // signal from DSP board(PC31)
    EggArray[DelayCount-1] = '1';

    break;
case 3:
    // signal from proximity switch & DSP board(PC31)
    EllapsedTime = ::GetTickCount() - tick1;
    Label5->Caption = FormatFloat("#.##", EllapsedTime/1000.)
    sprintf(strbuf, "%-5.2f", (1000.*60.*60.)/EllapsedTime);
    Label4->Caption = strbuf;
    tick1 = ::GetTickCount();

    TotalEgg++;
    //Egg shift
    for(i = 0; i < DelayCount; i++)
        EggArray[i] = EggArray[i+1];

    EggArray[DelayCount] = '0';

```

```

        if(true == isCracked){
            DriveActuator();
            isCracked = false;
        }

        if(EggArray[0] == '1'){
            DamagedEgg++;
            isCracked = true;
        }

        EggArray[DelayCount-1] = '1';

        break;
    }
    DisplayEggs();

    sprintf(strbuf, "%ld/%-ld  ", DamagedEgg, TotalEgg);
    Label6->Caption = strbuf;
}

void TForm1::DisplayEggs()
// 윈도우에 계란의 이동을 시각적으로 처리한다.
{
    int wd = Form1->Width/(DelayCount+1), x, y;

    for(int i = 0; i < DelayCount; i++){
        x = wd*(i+1) - bmp_egg->Width/2;
        y = (Form1->Height)/2 - bmp_egg->Height;

        if(EggArray[DelayCount-1-i] == '0')
            Form1->Canvas->Draw(x, y, bmp_egg->Picture->Graphic);
        else
            Form1->Canvas->Draw(x, y, bmp_eggc->Picture->Graphic)
    }
}

//-----
void __fastcall TForm1::Button3Click(TObject *Sender)
{
    if(InspectDiscrimination->Enabled == true){

```

```

        InspectDiscrimination->Enabled = false;
        Button3->Caption = "&Resume";
    }
    else {
        InspectDiscrimination->Enabled = true;
        Button3->Caption = "&Pause";
        InspectDiscrimination->Enabled = true;
    }
}
//-----
void SetDelayCount(int cnt)
// 타격장치와 액추에이터와의 거리를 세팅한다.
{
    Form1->DelayCount = cnt;
}

int GetDelayCount()
{
    return Form1->DelayCount;
}

void __fastcall TForm1::OpenGateTimer(TObject *Sender)
// 액추에이터의 작동을 중단한다.
{
    DAS_DIO->Output(0x300, 0x00);
    OpenGate->Enabled = false;
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormPaint(TObject *Sender)
{
    if (false == Button1->Enabled)
        DisplayEggs();
}
//-----
void __fastcall TForm1::CloseGateTimer(TObject *Sender)
// 액추에이터를 작동시킨다.
{
    DAS_DIO->Output(0x300, 0x10);
    Lighting(OpenGate, 400);
    CloseGate->Enabled = false;
}
//-----

```