

## 압출성형물의 두께 측정을 위한 In-line 영상처리 시스템

원치선·이승주\*·한 억\*\*·목철균\*\*

동국대학교 전자공학과, \*식품공학과, \*\*한국식품개발연구원

### In-line Image Processing System for Measurement of Extrudate Thickness

Chee Sun Won, Seung Ju Lee\*, Ouk Han\*\* and Chulkyoon Mok\*\*

Department of Electronic Engineering

\*Department of Food Science and Enigineering, Dongguk University

\*\*Korea Food Research Institute

#### Abstract

This paper presents a computer image processing system, which measures the thickness of the food extrudate on a real-time basis. The image processing system was established with a CCD camera, an image grabber, and a 486 PC. The image obtained by the system was analyzed by a devised C-program, specially designed for the real-time thickness measurement of the extrudate. Experimental results showed that the proposed computer algorithm yielded an accurate measurement of the thickness of the food extrudate within 1 second.

Key words: image processing, algorithm, extrusion

## 서 론

컴퓨터를 이용한 디지털 영상처리 기술이 최근 여러 분야에서 광범위하게 이용되고 있는데 일반적으로 컴퓨터 영상처리의 잇점으로 공정의 자동화, 제품의 품질 관리 향상의 효과를 들 수 있다. 컴퓨터 영상처리란 대상물의 외관적 특징을 분석하여 물리적 성질과 상호관련시켜, 일반적인 외관적 측정 변수인 크기, 모양, 표면 텍스처 등을 신속히 측정 및 분석하는 시스템을 의미한다<sup>(1-3)</sup>.

식품압출성형물의 품질분석을 위한 영상처리 기법이 시도되었다<sup>(4,5)</sup>. 즉, 압출물의 기하학적 요소(길이, 면적, 직경, 둘레, 부피 등)를 off-line 영상처리의 소프트웨어를 사용하여 수치적으로 분석하였는데, 이는 컴퓨터에 의한 수치 해석을 함으로써 단순한 외형 비교나 현미경 관찰을 통한 기하학적 품질 평가에서 파생될 수 있는 주관적인 해석을 최대한 방지할 수 있었다. 그 밖의 식품분야에서도 컴퓨터 영상처리 시스템이 광범위하게 적용되었다. 즉 오징어 암컷과 수컷의 분리공정에서 단시간에 성별간 모양을 식별할 수 있는 시스템<sup>(6)</sup>, 외관이 불량한 식빵을 단시간에 식별할 수 있는 시스템<sup>(7)</sup> 등이 개발되었다.

한편 식품가공기술인 압출성형 공정의 자동화는 일반적으로 피드백 제어 시스템으로 이루어지고 있는데, 실

시간(real-time) 측정변수로서 압출물의 외관을 대상으로 하는 제어 시스템은 개발된 바 없다<sup>(8, 10)</sup>. 그러므로 압출성형 가동중 압출물의 외관을 실시간에 측정할 수 있는 센서 시스템의 개발이 우선적으로 요구된다.

따라서 본 연구에서는 압출성형기에 컴퓨터 영상처리 시스템을 구축하고, 임의의 시간에 압출물의 두께를 실시간 측정하는 영상처리 알고리즘을 개발하므로써 압출성형기용 영상 in-line 센서 시스템을 개발하였다.

## 재료 및 방법

### 압출성형

시중에서 구입한 옥수수 그리트를 수분함량 14, 16, 18%로 조절하여 시료로 사용하였다. 본 실험에 사용된 단축압출성형기의 스크류 직경은 53.7 mm, 스크류 길이는 305 mm, 스크류 압축비는 5 : 1, 스크류 형태는 puffing형, 토출구의 직경 3 mm, 바렐 직경이 55.8 mm이었다. 작업 예열온도는 85°C로 하고 토출구의 온도를 120°C로 제어하면서 스크류 회전속도는 120~250 rpm의 범위에서 압출성형하였다.

### 영상처리 시스템

압출성형기의 토출구 측면에 Fig.1과 같이 CCD 카메라(Pulnix TM-745E)와 486 PC를 설치하였다. 토출구에서 나오는 압출물을 CCD 카메라로 영상을 취할 때 입력된 영상이 수평을 이룰 수 있도록 토출구 정면에는 압출물의 지지대를 갖추고, CCD 카메라에는 줌렌즈를

Corresponding author: Seung Ju Lee, Department of Food Science and Engineering, Dongguk University, 26, Pil-dong, 3-Ga, Chung-Ku, Seoul 100-715, Korea

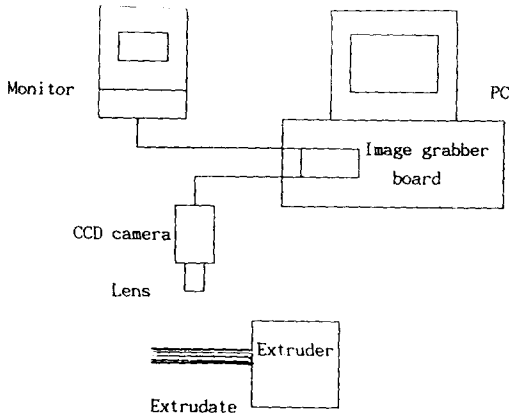


Fig. 1. Block diagram of the computer imaging system

설치하였다.

영상 내에서의 압출물의 두께는 영상의 최소 단위인 픽셀(pixel)의 개수로 측정하고 이로부터 실제 압출물의 두께를 길이 단위인 mm로 환산하였다. 압출성형기와 CCD 카메라 간의 거리와 줌렌즈의 배율은 픽셀 개수당 두께 길이가 0.165 mm/pixel이 되도록 일정하게 고정하였다. 작업환경에 따라 조명이 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 조명에 민감하지 않은 두께 측정 알고리즘을 개발하여 사용하였다.

렌즈로부터 받은 영상이 CCD 카메라를 통해 486 PC내에 장착된 영상취득기(image grabber, Oculus-300)로 전달되면 디지털화된 프레임 영상이 얻어지는데, 본 실험에서는 512×512 픽셀 영상을 초당 30프레임 정도 취득하는 흑백 영상취득기를 사용하였다. 영상취득기의 RAM에 저장된 영상데이터를 픽셀 또는 라인 단위로 PC의 하드디스크에 입력시키고, 2차원 영상 어레이(array)로 저장된 영상을 제안된 알고리즘으로 분석하여 두께를 산출하였다. 이와같은 영상취득/두께측정의 연속 과정이 C-프로그램에 의하여 자동으로 in-line 작동되게 하였다.

#### 압출물의 실시간 두께 측정 알고리즘

취득된 영상으로부터 압출물의 두께를 가능한한 최소의 시간에 측정하는 알고리즘이 필요하므로 본 연구에서는 두께 측정을 위한 영상 공간의 탐색 영역을 최소화하고, 압출물과 배경을 분할하는 한계치(threshold)를 주어진 영상에서 측정하는 적응적(adaptive) 특성이 있는 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서는 알고리즘의 개발을 위해 영상의 취득시 다음의 조건이 만족된다고 가정하였다. 첫째, 주어진 영상에서 배경의 그레이 레벨(gray-level, 밝기의 세기)의 범위(최소치  $G_{min}$ 과 최대치  $G_{max}$  사이)는 압출물의 그레이 레벨의 범위와 겹치지 않는다. 둘째, 압출물의 위치는

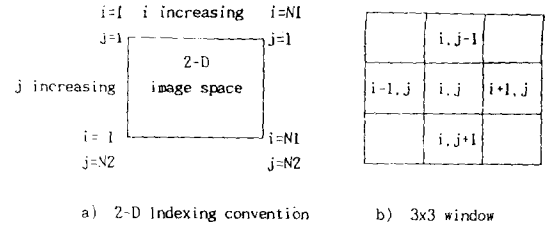


Fig. 2. Spatial indexing on a 3×3 window

2-D 영상공간( $N1 \times N2$ )내에서 대략 가운데 위치한다고 가정하였다.

위의 두 조건이 만족되었을 때 Fig.2의 3×3창(window)을 영상의 맨위와 맨아래의 임의의 점에서 시작하여 창내의 9개 점의 그레이 레벨이 배경의 범위 내의 값인지 확인하여 9개 점 중에 대다수가 배경이면 그 창의 국부 영역은 배경으로 판단하고, 반대로 대다수가 압출물이면 해당 국부 영역을 압출물로 결정하는 다수표결(majority voting) 개념을 도입하였다. 이때 3픽셀 간격으로 맨위의 창은 위에서 아래로, 맨아래의 창은 아래에서 위로 이동하면서 그레이 레벨이 배경에서 압출물로 바뀌는 위와 아래의 경계점을 찾아내고 이 두 지점의 위치 차이로부터 압출물의 두께가 산출된다.

배경의 그레이 레벨이 일정하면  $G_{min}$ 과  $G_{max}$ 의 값이 항상 일정하지만 대개의 경우 압출성형기의 가동 기간 중 주위의 환경과 공정변수의 변화 등으로 배경의 그레이 레벨이 변할 수 있으므로 본 실험에서는  $G_{min}$ 과  $G_{max}$ 을 주어진 영상으로부터 얻는 적응적(adaptive) 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 가정으로부터 영상의 맨위와 맨아래의 부분은 배경이 위치하는 공간이므로 이 부분의 영상 일부로부터  $G_{min}$ 과  $G_{max}$ 의 값을 측정하여 사용하였다. 또한 배경이나 압출물의 그레이 레벨이 모든 위치에서 일정하지 않고 약간씩 변하므로 주어진 영상 내 M개의 수직 위치상에서 각각 두께를 측정하고 최종 출력되는 압출물의 두께는 그들의 중위수(median)로 나타내었다. 부가적으로 평균치(mean)를 산출하여 중위수와 비교하였다. 이상의 알고리즘을 Fig.3의 흐름도로 요약하였다.

#### 결과 및 고찰

압출물의 두께 측정은 자, caliper 등을 사용하여 수동적으로 행하여 왔기 때문에 압출성형기 가동을 종료한 후 수집된 압출물의 두께 측정이 가능하고 그 작업 또한 번거롭고 장시간을 요했으나, 개발된 영상처리 시스템에 의하여 압출성형기의 가동 중 사출되는 압출물의 두께를 즉석에서 측정할 수 있었다.

여러 공정변수의 조건 중에서 수분함량 16%, 스크류 회전속도 120 rpm, 온도 120°C에서의 압출물의 영상을 Fig.4에 나타내었다. Figure 4-a) 영상은  $N1=N2=512$ 의

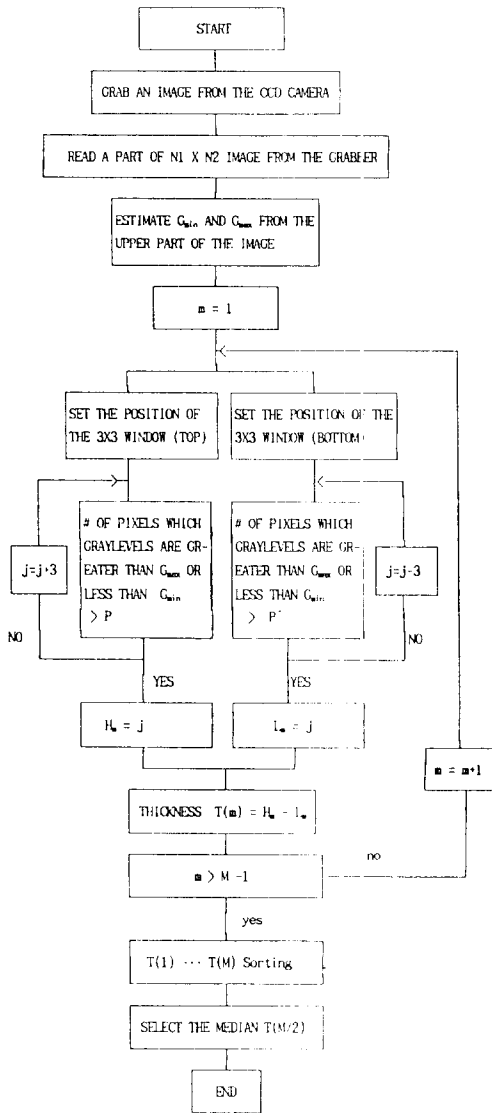


Fig. 3. A flow chart for the proposed algorithm

크기를 갖는데 배경보다 압출물이 차지하는 공간이 훨씬 넓고, 압출성형기의 토출구도 영상내에 포함되어 있어 실제 본 논문에서 제안된 두께측정 알고리즘은 Fig. 4-b)와 같이 각 영상의 중심 좌표에서  $N1=N2=225$ 의 부영상만을 취하여 사용하였다. 두께 측정 부위의 총 갯수 (M)를 11로 하고  $P=3, 5$  및 7의 조건으로 처리한 압출물의 영상이 Fig. 5에 각각 제시되었다. 여기서 P는  $3 \times 3$  창내 9개의 픽셀중 압출물로 판단된 픽셀 갯수의 한계치를 나타낸다. 영상중 수직의 검은 선들이 통과한 낮은 그레이 레벨의 부위는  $3 \times 3$  창의 제적중에 배경으로 판단된 부위이며 검은 선의 종단점(밝은 네모)에 높은 그레이 레벨의 부위는 압출물로 판단된 최초의 국부 영역이다. Figure 5에서와 같이 대부분의 경우에 제안된 알고리즘이 배경과 압출물의 아래와 위의 경계에서 멈추어 압출물의 두께를 측정하지만, Fig. 5-a)의 일부 측정은 실제의 압출물과 배경의 경계에 도달하기 전에 배경의 영역에서 압출물로 잘못 판단한 경우이다. 즉, 이것은  $P=3$ 인 경우로 창내의 9개의 픽셀중 3개만 배경의 그레이 레벨의 범위를 넘기면 되는 경우이며, Fig. 5-b)나 5-c)인 경우( $P=5$ 와 7일 때)에는 그 현상이 소멸되었다.  $P=7$ 에서는 배경과 압출물의 경계 측정이 압출물의 내부 깊숙한 부분까지 파고 드는 경향이 있는데

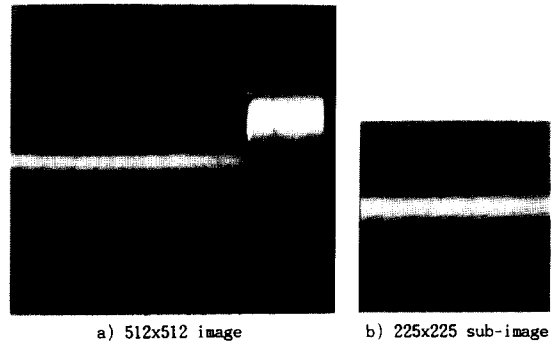


Fig. 4. Original images of extrudate

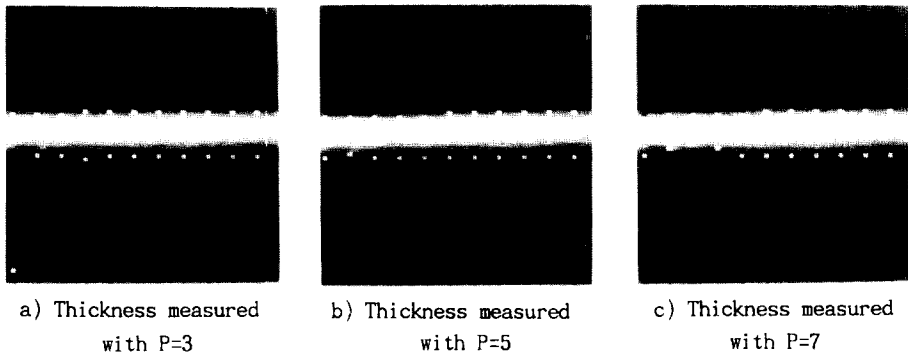


Fig. 5. Thickness measured images (225×225) of extrudates

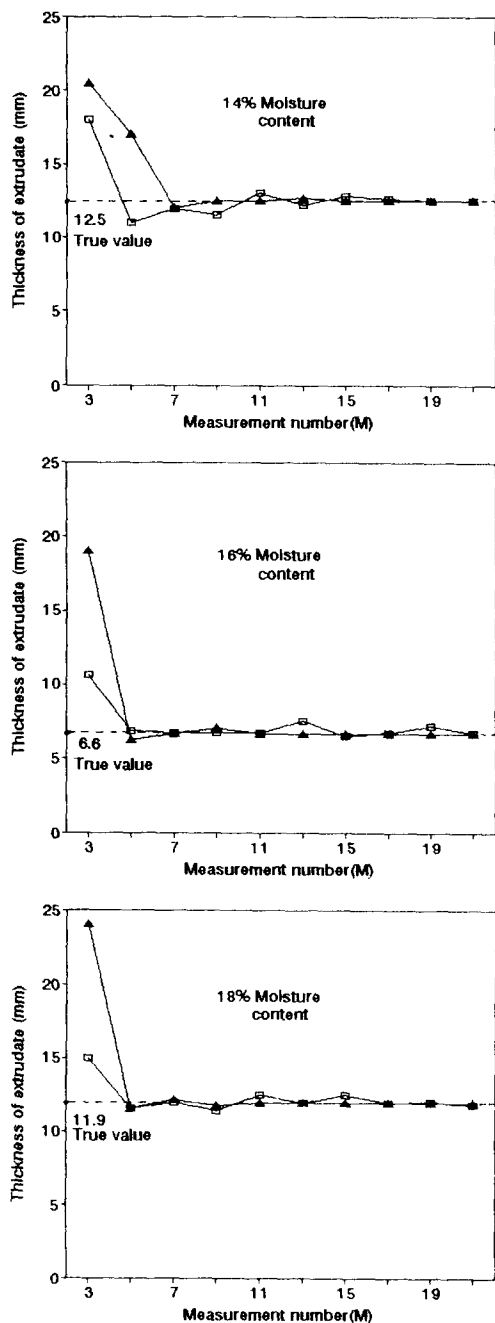


Fig. 6. Effect of measurement number(M) on the measurement accuracy in an image with P=5. (Extrudates at 120 rpm, 120°C)

▲—▲; Median, □—□; Mean

대체로 P=5 정도에서 압출물과 배경의 경계가 정확히 인식되었다. M값의 변화에 대한 측정 결과의 성능 변화는 Fig.6에 제시되어 있는 바와 같이 M값이 클수록

측정값의 증위수와 평균치 모두 실제의 두께 값(수집된 압출물의 두께를 caliper로 측정된 값)에 수렴하였고 정확도는 증위수가 평균치보다 더 우수하게 나타났다. M값이 커지면 그만큼 계산량도 증가하여 실시간 처리에 제한을 주며, M값이 작으면 빠른 시간에 두께를 측정할 수 있으나 Fig.5-a)와 같은 비정상적인 측정이 발생하는 경우 왜곡된 최종 측정 값을 얻을 수 있다.

순간적으로 영상을 취득하여 영상내의 압출물의 두께를 측정하는 것은 모두 PC내에서 자동적으로 이루어지면서 하나의 영상을 처리하는데 1초 이내의 시간이 소요되었다.

영상처리로 가능한 그 밖의 측정변수로는 질감, 색상 등이 있는데 이들의 측정에서도 본 연구결과와 유사한 방법을 활용하면 용이하게 수행될 수 있을 것이다. 결론적으로 본 연구로부터 외관적 특성의 in-line 측정이 가능하게 되어 이를 토대로 압출물의 성질을 직접 측정하면 피드백 자동제어할 수 있는 새로운 시도가 가능해질 것이다.

### 요 약

압출물의 두께를 실시간 측정할 수 있는 컴퓨터 영상처리시스템이 제시되었다. 영상처리시스템은 CCD 카메라, 영상 취득기, 486 PC로 구성되었다. 시스템에 들어온 영상은 실시간 측정을 위해 작성된 C-프로그램에 의하여 분석되었다. 제한된 컴퓨터 알고리즘을 이용하여 정확한 압출물의 두께 측정이 실시간 내에 가능하였으며 처리 시간은 1초 이내였다.

### 감사의 글

이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로써 이에 감사드리는 바입니다.

### 문 헌

1. Gotoh, T., Toriu, T., Sasaki, S. and Yoshida, M.: A flexible vision-based algorithm for a book sorting system. *IEEE Trans. on PAMI*, 10, 393(1988)
2. Gordon, S.J. and Seering, W.P.: Real-time part position sensing. *IEEE Trans. on PAMI*, 10, 373(1988)
3. Jain, A.K.: *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1989)
4. 한 여: 화상해석에 의한 압출성형물의 품질 측정. 1991 식품 Extrusion 기술 하계강좌, 한국식품 Extrusion 연구회, p.203(1991)
5. Smolarz, A., Hecke, V. and Bouvier, J.M.: Computerized image analysis and texture of extruded biscuits. *J. Texture Studies*, 20(2), 223(1989)
6. Singh, R.P. and Smith, N.: A digital imaging system to sort squid by sex and size. In *Proceedings of the*

- International Symposium on the Automatic Control and Optimisation of Food Processes*, Paris, France, 12-13 November, p.59(1986)
7. Castelli, E. and Rovetta, A.: Automatic pattern recognition in a line of bread products. In *Proceedings of the International Symposium on the Automatic Control and Optimisation of Food Processes*, Paris, France, 12-13 November, p.49(1986)
  8. O'connor, C.: *Extrusion Technology for the Food Industry*, Elsevier Applied Science, London, p.62(1987)
  9. Linko, P. and Harper, J.M.: *Extrusion Cooking*, American Association of Cereal Chemists, USA (1989)
  10. Wiedmann, W. and Strecker, J.: Process control of cooker-extruders. In *Proceedings of the International Symposium on the Automatic Control and Optimisation of Food Processes*, Paris, France, 12-13 November, p. 201(1986)
- 

(1994년 4월 30일 접수)