

인공씨감자 생육상태 모니터링을 위한 화상처리 알고리즘 개발에 관한 연구

A Study of Vision Algorithm Development for Growth Monitoring of Potato Microtubers

최재완*	정광조*	임선종*	최성락*	정혁**	남호원***
	정회원			정회원	
J. W. Choi	G. J. Chung	S. J. Lim	S. L. Choi	H. Chung	H. W. Nam

ABSTRACT

The contribution of this paper is to provide the methods for the production automation of potato microtuber using the vision process in growth monitoring. The first method deals with computation for the growth density in the primary growth process. The second method addresses cognition process to identify the number and the volume of potato microtuber in secondary growth process. The third is to decide whether potato microtubers are infected by a virus or bacteria in growth process. The computation for the growth density in the primary growth process uses the method of Labeling. The second and third methods use template matching based on color patterns. With the developed method using vision process, this experiment is capable of discriminating weekly growth-rate in primary growth process, 85% cognition rate in secondary growth process and identifying whether there are infections. Therefore, we conclude that our experimental results are capable of growth monitoring for mass production of potato microtubers.

1. 서론

조직배양에 의한 인공씨감자의 생산은 기존의 실험실적인 방법으로는 만족할 만한 생산성이 보장되지 않아 실용화에 어려움을 겪다가 1986년도부터 KIST 부설 생명공학연구소에서 기존의 삼각 플라스크 대신 특별히 설계된 접시형의 납작한 투명용기에

특수 배양액을 넣고 감자의 줄기를 밀폐된 환경에서 생육의 조건을 적절히 조절하여 좁은 공간에서 고밀도로 배양함으로써 단위면적당 생산성을 크게 향상 시킴으로 실용화 가능성을 보여주었다.^{1,2)}

그러나 현재 이 방법은 개발초기의 실험실적 생산 환경을 그대로 유지하고 공정의 대부분을 수작업에 의존하고 있어서 기업화 및 수익성 보장에 한계가

* 한국기계연구원
 ** 한국생명공학연구소
 *** 영진공업전문대학

있다. 이러한 한계를 타파하는 것은 인공씨감자의 조직 배양과정을 실험실이 아닌 생산공장의 환경으로 전환시킴으로서 가능할 것이고 이것은 바로 기존의 여러 산업분야에서 활용되고 있는 첨단 자동화 기술의 도입으로 해결될 것이다.^{3,6)}

인공씨감자 생육상태 모니터링의 목적은 각 배양실 또는 공정 사이에 화상처리(image processing) 방법에 의한 검사 및 처리 station을 설치하여 각 배양실에서 인출된 모니터링 대상용기는 이 station에 옮겨져서 화상처리 및 생육도 판별 그리고 씨감자 형성률 인식 등의 판단과정을 통해, 정상적이고 미성숙된 용기는 되돌리고, 정상적으로 완전히 성숙된 용기는 다음 공정으로 넘기며, 오염되었거나 정상적인 생육결과가 기대되지 않는 용기는 폐기시키는 과정을 수행하게 된다. 이 때 인공씨감자의 생육상태 모니터링을 위한 공정은 잎과 줄기의 생육과정을 1차 배양공정이라고 하며, 인공씨감자의 형성과정을 2차 배양공정이라고 하는데 각각의 배양공정을 위한 적합한 화상처리 알고리즘의 개발은 대단히 필요하다.

본 논문은 인공씨감자의 생산공정의 무인화 기반을 구축하는데 필요한 요소기술 중 하나인 인공씨감자 생육상태 모니터링을 위한 화상처리 알고리즘을 개발하는데 그 의의가 있다.

본 연구에서 대상으로 하는 인공씨감자 조직 배양공정의 모니터링 과정은 크게 2가지의 공정으로 대별된다. 첫째는 생육 초기단계에서 잎과 줄기의 생육정도를 모니터링 하는 과정으로 생육화상의 밀도를 측정하기 위한 화상처리 방법으로 labeling 기법을 적용하는 것이 효과적이고, 그 다음 단계인 인공씨감자 형성 공정에서의 화상 모니터링은 각 대상 품종이나 환경의 미세한 차이를 분별할 필요가 있으므로 인공씨감자의 외관 색채 정보를 이용한 템플릿 정합법을 사용하는 쪽이 유리하다. 그리고 생육중에 발생하는 병소 감염(pathogenic contamination)에 대해서도 인공씨감자 형성공정에 이용된 화상처리 알고리즘을 활용하여 인식하는 기법을 연구하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

시료는 표 1과 같이 1차 배양실에서 1주에서 3주까지 1주일 단위로 성장된 2가지 품종(Atlantic, Daeji)의 용기를 선정하여 실험하였다. 또 2차 배양실에서 표 2와 같이 인공씨감자가 1주에서 6주 혹은 8주에서 9주까지 성장한 용기를 선정하여 실험하였다. 그리고 박테리아나 바이러스 같은 병소 감염 여부를 찾기 위한 실험으로 1차와 2차 배양과정에서 흰곰팡이와 푸른곰팡이가 발생된 용기를 표 3과 같이 선정하였다.

Table 1 Experiment object of the first growth process

sample	growth period (unit: week)		
	1	2	3
Atlantic	5	5	5
Daeji	5	5	5

Table 2 Experiment object of the second growth process

sample	growth period (unit: week)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
namsu	5	5	5	5	5	5	5	-	-
Atlantic	5	5	5	5	5	5	5	-	-
Desiree	-	-	-	-	-	-	-	5	5

Table 3 Experiment object for inspection of pathogenic contamination

cultivation process	pathogenic name	
	white mold	blue mold
1	5	5
2	5	5

나. 실험 장치

인공씨감자 1차 배양공정의 생육도를 계산하기 위한 실험장치는 흑백카메라와 전용 조명장치 그리고 image grabber가 내장된 PC로 구성된다. 특히, 생육도의 계산을 위해서는 화상 입력조건의 균일성이 보장되어야 보다 정확한 상대적 평가 및 인식기준을 수립할 수 있다. 이를 위하여 전용의 조명장치가 필요하게 되는데 생육도 판정을 위한 입력화상은 잎, 줄기 등 식물체와 투명 용기 재질이 적절한 역치값으로 확연히 구분될 수 있도록 후면조명이 가능하게 설계·제작하였다. 광원은 확산시 빛의 분포가 고른 형광등을 사용하였고, 광원의 밝기는 카메라, 대상 식물체의 상태에 따라 조정이 가능하고, 용기의 인입 인출이 쉽도록 설합식 구조로 되어 있고 항상 일정한 위치에 용기를 위치 시키고 화상을 입력할 수 있도록 위치 고정 jig 형태로 되었다.

2차 배양공정에서 인공씨감자 수와 크기를 인식하기 위해 이미 설계 제작된 전용 조명장치에 흑백 카메라 대신 컬러카메라를 부착하여 화상 입력장치로 이용할 계획이었으나, 실험 결과 화상의 최대 해상도가 약 90dpi 정도로 분해능이 떨어져 인식율을 저하시키는 문제점이 생겨 입력장치로 칼라카메라 대신 스캐너를 이용하여 그림 2와 같은 칼라 화상을

입력할 수 있도록 화상 입력장치를 구성하였고 이때 입력화상은 150dpi 해상도와 24bit 칼라 depth로 취득하였다. 그 결과 화상 입력장치의 구성가격을 1/2로 낮추면서도 해상도를 최고 2,400dpi로 높이고 색 분해능(48bit color)도 크게 높일 수 있어, 향후 자동 화상 쉽게 적용이 가능하다. 그러나 화상 취득시 스캐너와 배양용기 바닥에 인공씨감자 배양체의 중간에 공간으로 밀착이 안돼 어려움을 예상하였으나 실험결과 큰 문제점은 발생하지 않았고, 스캐너를 거꾸로 배치한 이유는 배양용기 안에 배양액의 누수를 방지하기 위해서 입니다. 스캐너는 화상 입력에 소요되는 시간이 길고 제어가 어렵다는 문제점이 있으나 입력시간은 본 연구에서 요구되는 시간(30초 이내)을 만족하므로 큰 문제는 없다고 생각된다. 또한 병소 감염여부 인식 실험에서도 역시 scanner로 칼라 화상을 입력받아 실험한 결과 2차 배양공정의 인공씨감자 인식과 마찬가지로 큰 문제점은 없었다.

다. Labeling Method 방법을 이용한 1차 배양공정의 화상처리 알고리즘

인공씨감자 1차 배양 용기에서 입력된 흑백 화상의 히스토그램(histogram)은 잎, 줄기 영역과 배경영역으로 분리되는 bimodal⁷⁾ 형태이다. 이때 조명 조건 등 화상입력 조건이 항상 같으므로 입력화상의 역치값(threshold value)은 거의 같다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x, y) \geq Th \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,
 f (x, y) : 그레이레벨 입력화상
 B (x, y) : 입력영상을 이진화한 화상

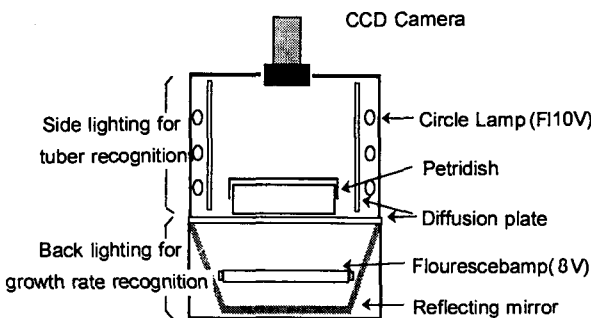


Fig. 1 Special illumination system.

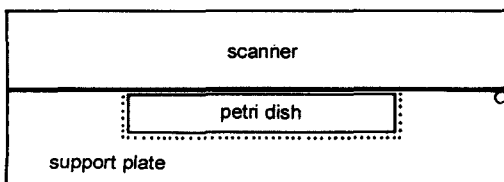


Fig. 2 Scanner input system.

입력된 화상으로 1차 배양공정의 생육 상태를 인식할 수 있는 모델을 구축하기 위해 입력화상을 분석해 보면 1차 배양공정 잎과 줄기의 성장이 왕성한 상태에서는 뿌리의 발육정도나 결가지의 수를 알아내는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 생육정도의 정량화가 가능한 잎과 줄기의 성장에 따른 잎과 줄기의 면적을 생육도 인식의 특징으로 선

택하였다. 생육도 인식의 특징값은 식(3)와 같이 표현할 수 있다.

그레이레벨 입력화상을 이진화 시키면 잎, 줄기가 있는 영역은 흑(black)으로 배양액만 존재하는 배경은 백(white)의 영역으로 분리된다. 이 때 잎, 줄기를 나타내는 영역은 A_L 로서 표현되고 상수인 배양 용기의 전면적으로 나누어 생육도를 계산한다.

$$A_L = \sum_{y=0}^{y=480} \sum_{x=0}^{x=512} B(x, y) \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha = \frac{A_L}{A} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

여기서,

- α : 생육도(%)
- A : 증식배지 면적내의 총화소수
- A_L : 잎과 줄기 영역내 화소수

1차 배양공정의 증식 용기안에서 잎과 줄기 영역을 쉽게 분리하기 위하여 후면조명(background lighting) 방법을 사용하였다. 이 조명 방법은 입력화상의 이진화시 잎 줄기 영역은 더욱 검게 나타나고 배양액만이 존재하는 투과영역은 더욱 희게 강조하여 두 영역 분리가 용이하도록 함으로써 잎줄기 면적에 대한 손실을 최소화 하였다.

위 (1)식을 이용하여 입력된 화상을 이진화하면 잎, 줄기 영역은 흑으로 배경영역은 백으로 분리된다. 이 때 잎, 줄기 영역을 찾기 위해서 labeling window⁹⁾를 이용하여 1차 경정배지 영역에서 잎, 줄기 영역들에 고유한 명칭을 부여하는 명칭화(Labeling) 작업을 한다.

라. 색채 모델 정합법을 이용한 2차 배양 공정의 화상처리 알고리즘

1) 개 요

화상으로부터 원하는 특징을 추출하는 방법으로는 크게 에지 추출법, 영상 분할법, 템플릿 정합(template matching: TP)법이 있다⁹⁻¹²⁾. 화상 입력장치를 이용하여 취득된 2차 배양 용기내의 인공씨감자 화상은 씨감자, 줄기 및 잎, 그리고 배양액들이 결합

된 복잡한 모양으로 이루어져 있기 때문에 씨감자의 형태에 해당하는 에지를 추출하거나 씨감자 영역을 분할하는 것은 거의 불가능하다. 그러나 인공 씨감자 영역내에서는 씨감자의 질감(texture), 즉 색정보 값에 근거한 씨감자 영역에 대한 정확한 질감 정보를 알고 씨감자의 생육상태를 판단하는 것은 어렵지 않다.

본 논문에서는 인공씨감자의 수와 크기를 판별하기 위해 템플릿 정합(TP)법을 사용하였다. 템플릿 정합법은 화상으로부터 특정한 특징(feature)을 추출하기 위한 간단한 방법이다. 즉 영상에서 이 씨감자 영역의 색정보 특징이 정확하게 알려져 있다면, 템플릿이라고 불리워지는 연산자를 통해 정합을 수행한 후 정합의 정도를 수식화하여 원하는 특징을 추출하는 것이 가능하고, 이 때 템플릿은 씨감자 영역을 나타내는 부화상(subimage)이다.

정합의 척도는 각 템플릿을 전체 화상에 대해 일정 간격으로 이동시키면서 비교할 때 화상 데이터와 템플릿이 얼마나 잘 정합되는가를 반영하기 위해 계산된다. 최대 정합의 수는 특징의 위치로부터 선택될 수 있다. 일반적으로 사용되는 정합의 척도로는 상관도(correlation)나 정규화된 상관도(normalized correlation)가 주로 사용된다. 화상의 밝기 값 $f(x)$ 와 템플릿 $t(x)$ 와의 가장 일반적인 유사성의 척도 d 는 다음 수식으로 표현된다.

$$d^2(\bar{Y}) = \sum_x (f(\bar{X}) - t(\bar{X} - \bar{Y}))^2 \dots\dots\dots (4)$$

이를 정리하여 상관 함수로 표현하면

$$R_p(\bar{Y}) = \sum_x (f(\bar{X}) \times t(\bar{X} - \bar{Y})) \dots\dots\dots (5)$$

본 연구에서도 TP를 위해 수식 (5)을 사용하였다. 씨감자의 배양 상태, 즉 인공 씨감자의 크기 및 위치 판단 알고리즘은 다음과 같다.

2) 알고리즘의 처리순서 및 씨감자 수와 크기 판별 방법

- ① 추출해야 할 특징에 해당하는 씨감자 템플릿을 씨감자 화상으로부터 추출하여 구성한다.
- ② 구성된 템플릿과 씨감자 영상과 정합을 수행

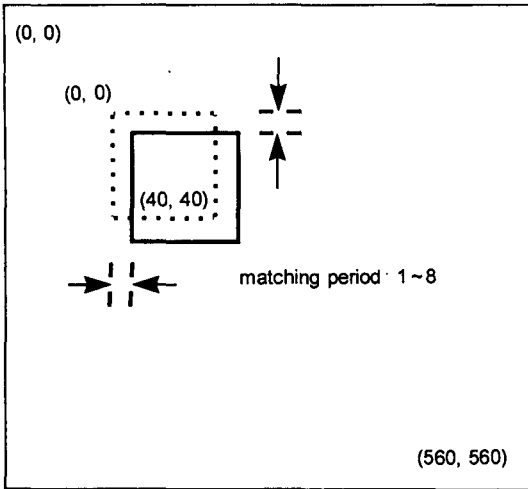


Fig. 3 Matching method of input image and subimage.

하여 화상의 각 위치에서 상관도를 구한다.

③ 구해진 각 위치에서의 상관도 값을 역치화 하여 씨감자로 판단되는 위치점들을 추출한다.

④ 정합간격에 따른 인공씨감자 영역 정보를 2차원 배열로 구성 탐색창을 이용 수와 크기 결정

인공씨감자 수와 크기를 판별하기 위한 입력 화상의 크기가 560 × 560 화소이고, 부영상의 크기가 40 × 40 화소일 때 부화상과 같은 모델의 색화상에서 RGB 각 성분 값 상관도와 유사성을 찾기 위한 정합 간격은 그림 3에서와 같이 1~8 간격으로 설정할 수 있다.

인공씨감자의 부화상으로 정합 후 그 결과를 이용 인공씨감자 수를 결정하는 방법으로 정합 간격에 따라 정합 결과를 2차원 배열로 구성하여 3 × 3 윈도우(window)를 이용하여 4-방향으로 연결점들을 탐색하여 씨감자의 수를 판별한다. 또한 인공씨감자의 크기는 크기가 다른 5개 씨감자 모델(model) 부화상과 정합시 모델의 크기와 상관도를 계산하여 분류하는 방식으로 각각의 크기를 근사적으로 결정 할 수 있다.

마. 인공씨감자 1, 2차 배양공정의 병소 감염 여부 인식 알고리즘

1) 개 요

인공씨감자 1차 2차 배양공정에서 용기 안에 발생되는 박테리아 및 바이러스의 종류가 많지만 본 논문에서는 흰 곰팡이에 오염된 용기를 대상으로 하였다. 대부분 박테리아, 바이러스가 발생한 영역에 고유한 색정보 패턴 질감정보가 있고, 이러한 박테리아나 바이러스의 색정보 모델을 만들어 상관도가 큰 영역을 찾는 방법을 사용하였다.

2) 알고리즘의 처리순서

① 특징에 해당하는 병소 템플릿을 병소 발생 씨감자 영상으로부터 추출한다.

② 템플릿과 씨감자 영상과 정합을 수행하여 영상의 각 위치에서 상관도를 구한다.

③ 구해진 각 위치의 상관도값을 역치화 하여 병소발생으로 판단되는 위치점들을 추출한다.

④ 정합간격에 따른 병소발생 영역 정보를 2차원 배열로 구성 탐색창을 이용 발생 여부와 면적을 계산

3. 실험 및 결과 고찰

가. 1차 배양공정의 생육도 실험 및 결과 고찰

실험대상으로 선정된 1차 배양공정의 배양용기를 대상으로 용기안에 성장된 잎과 줄기의 면적을 구하여 생육도를 판정하기 위한 실험으로 1차 배양공정에서 품종별로 1주부터 3주까지 성장된 각 10개씩의 용기를 임의로 추출하여 흑백카메라를 이용 화상 입력장치를 통해 입력을 받는다. 그리고 입력된 화상을 잎, 줄기 영역과 배경영역을 분리할 수 있는 역치값을 설정하여 변환하면, 흑백 이진화상을 얻는다. 이 때 변환된 흑백 그레이 화상을 이진화상으로 변환하기 위한 역치값은 히스토그램을 이용하여 설정하고, 각 주별 생육도를 판정하기 위한 면적의 최소값과 평균값, 최대값은 반복적인 실험을 통해 최적이라고 생각되는 값을 구하여, 향후 무인 자동 생산 공정에 응용하기 위해 통계적인 값으로 이용한다.

그림 4는 1차 배양공정의 각 주별 생육도를 구하는 실제 실험결과를 나타내고 있는데 실험과정에서 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 배양용기 안의 공간을 제외한 나머지 부분은 마스크로 처리하였다. 실

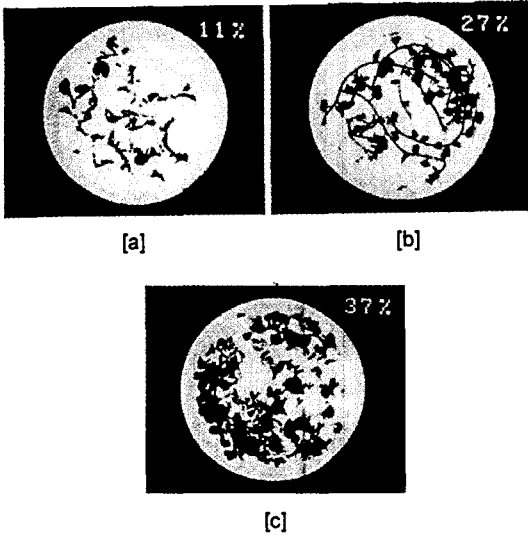


Fig. 4 Experiment result of the first growth process.

험결과 각 주별로 생육된 면적의 차이가 크지는 않았지만 각 주당 약 5~10% 정도의 차가 존재함으로써 생육도 판정이 가능함을 확인할 수 있었다. 본 실험은 생육기간의 변화에 따른 생육도의 차이가 있는지를 확인하기 위한 것이고 향후 실험에서는 동일용기를 선정하여 정확한 생육도를 계산할 계획이다.

나. 씨감자 인식실험 및 결과 고찰

2차 배양공정의 생육상태 판정을 위한 특징점으로 색정보 이용한 인공씨감자 인식 알고리즘은 먼저 인공씨감자의 특징을 모두 수용할 수 있는 5개의 모델들을 만들어 입력된 화상에 적용하여 2차 배양용기 안에 형성된 인공씨감자의 수와 크기를 인식하고 먼저 사람의 육안을 이용 조사된 기준값과 비교하여 생육상태를 판정한다. 본 연구에서 사용된 색정보 이용 인식 알고리즘의 핵심이 되는 정합 모델은 상용 화상분석 소프트웨어에 하나인 paint shop pro v4.0을 이용 먼저 한 개의 취득 화상내에 존재하는 여러 개의 인공씨감자 영역을 40 × 40 화소 크기의 부화상으로 분리 저장한다. 이 때 부화상 크기로 만들어진 수십 개의 모델 후보 인공씨감자 영역들중 최적의 모델을 찾기 위해 각 부화상들을 RGB 영역별 히스토그램으로 나타내어 평균, 표준편차, 분포

Table 4 A search result for optimal correlation

correlation value	experimental sample				
	DS91	DS92	DS93	DS94	DS95
130	9	4	5	4	6
140	19	10	11	7	12
150	22	15	12	14	16
160	24	16	12	16	16
170	27	16	14	17	17

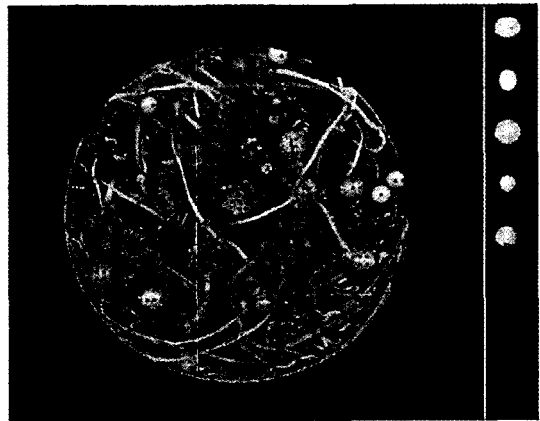


Fig. 5 Experiment result (at correlation value 170).

모양 등의 특징점을 분석하였을 때 RGB 상관도 값의 유사성이 큰 것을 모델로 선택하고, 이 때 모델의 유사성은 식 (5)와 같은 수학적 모델로 나타낼 수 있다. 먼저 최적의 상관도 역치값을 구하기 위한 실험으로 9주 성장된 Desiree 품종에 대해 위에서 설명한 과정을 거쳐 설정 모델을 제작하였고, 실험대상으로 선정된 품종의 5개 취득화상을 가지고 표 4와 같은 방법으로 실험하였다.

이 실험은 식 (5)에 의해 계산되는 상관도의 값은 10씩 변화시킬 때 설정된 모델들이 실제 취득화상에서 인공씨감자가 있는 영역에 정합되는 갯수와 인공씨감자 이외 영역에 정합되는 갯수를 비교하여, 최적의 상관도 역치값을 구하는 실험이다. 실험 결과 정합 갯수는 상관도값이 160, 170 일 때 많지만, 정

Table 5 Relation between the defined model and recognition rate

model	experimental sample				
	DS91	DS92	DS93	DS94	DS95
M1	9 (0)	6 (0)	2 (0)	3 (0)	5 (0)
M2	2 (0)	0 (0)	1 (0)	3 (0)	1 (0)
M3	12 (0)	7 (0)	3 (0)	6 (0)	7 (0)
M4	0 (0)	2 (0)	0 (0)	1 (0)	1 (0)
M5	12 (0)	10 (5)	10 (3)	8 (2)	13 (2)
M1, M3, M5	22 ()	13 ()	11 ()	12 ()	17 ()
M1, M2, M3, M4, M5	22 ()	12 ()	12 ()	14 ()	16 ()

Table 6 Experiment result for the recognized number of potato microtubers

sample	growth period	total number	recogn. number	recogn. rate
namsu	2	11.0	8.6	78.8
namsu	3	12.5	11.25	90.0
namsu	4	18.0	16.0	88.9
namsu	5	18.2	15.8	86.8
namsu	6	19.6	17.0	86.7
Atlantic	4	11.0	10.0	90.9
Atlantic	5	13.4	11.2	83.6
Atlantic	6	15.6	13.2	84.6
Desiree	8	24.4	20.0	82.0
Desiree	9	18.4	15.8	85.9

합 오차의 비율이 적은 상관도값 150이 더 적당하다고 판단된다.

두 번째 실험으로 각 모델에 따른 인식율과 모델수에 다른 인식율 차이를 알아보기 위해 표 5와 같은 실험을 하였다. 그 결과 1번부터 5번째 모델까지 각각의 모델간 인식율은 그 편차를 보임을 알 수 있고, 또한 모델의 수 보다는 각 모델의 성능에 따라 인식율에 영향을 미침을 알 수 있다.

세 번째 실험으로 최적의 상관도 값을 찾는 두 번째 실험에서 얻어진 결과인 남서(namsu)와 Atlantic 품종은 상관도 값을 170으로 Desiree 품종은 150으로 고정시키고 정합 모델수는 5개인 조건 아래 2차 배양공정에서 형성된 인공씨감자 수를 판정하기 위한 실험을 하였고, 실험 결과는 표 6에 나타내었다. 실

험결과를 분석해 보면 인공씨감자의 인식율은 대부분 85% 이상을 나타내고 있다.

다. 병소에 의한 오염 검색방법에 대한 실험 및 결과 고찰

1차, 2차 배양공정에서 발생하는 병소를 찾기 위해 표 4와 같은 배양공정중 흰곰팡이와 푸른곰팡이 포자가 발생된 것을 실험대상을 사용하였다.

이 때 인공씨감자를 인식하기 위한 방법과 동일하게 곰팡이가 발생된 영역에서 선택된 부화상의 모델을 가지고 정해진 정합간격(1~8)으로 실험한 결과 그림 6과 7에서와 같이 흰곰팡이가 발생된 초기와 말기영역에서 잘 인식함을 알 수 있다.

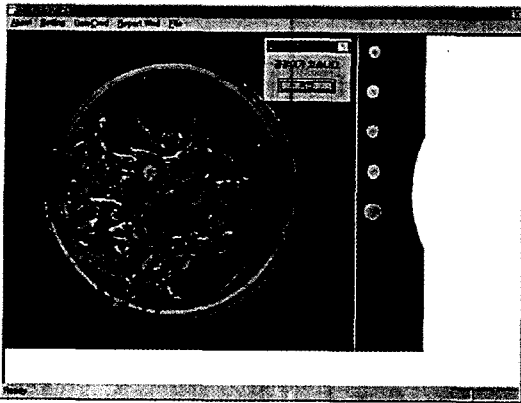


Fig. 6 Experiment result of white mold in initial stage of infection. (at the first growth process)

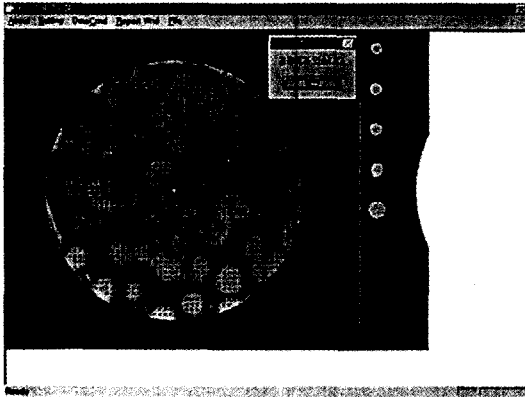


Fig. 7 Experiment result of white mold in last stage of infection. (at the first growth process)

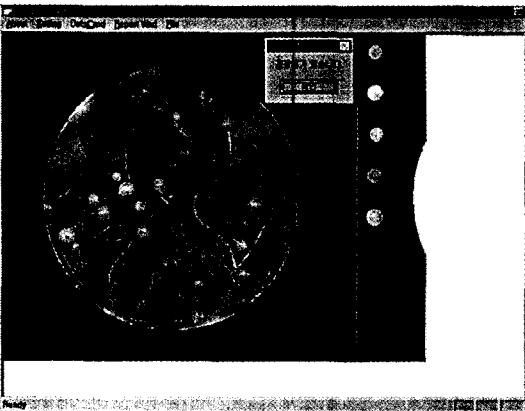


Fig. 8 Experiment result of white mold in initial stage of infection. (at the second growth process)

5. 결 론

1) 인공씨감자 무인생산 및 생산관리를 위한 핵심 요소기술로서 화상처리 방법을 이용 각 배양공정의 생육상태를 인식할 수 있는 방법을 연구한 결과는 다음과 같으며 향후 인공씨감자 무인 생산공장에 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2) 1차 배양공정의 생육도 판정을 위한 방법으로 배양용기 안에 잎과 줄기의 밀도를 계산하기 위한 labeling 방법을 이용한 화상처리 방법은 실험결과 각 주별 밀도 차가 10% 이상으로 주별 인식이 가능함을 확인할 수 있었다.

3) 2차 배양공정에서 형성되는 인공씨감자의 수와 크기를 인식하기 위해 색채정보를 이용한 템플릿 정합방법을 사용한 결과 85% 정도를 인식할 수 있었고, 향후 모델 설정방법을 개선하여 인식결과를 높일 필요가 있다. 또한 배양공정중에 발생할지도 모를 병소 감염여부를 알기 위한 방법으로 색채정보를 이용한 템플릿 정합방법을 적용한 결과 인식이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 정 렬, 유장렬, 홍주봉. 1992. 페트리디쉬를 사용한 새로운 배양기법에 의한 무병, 우량 인공씨감자의 급속대량 생산방법. 대한민국 특허.
2. Debergh, P. C. and R. H. Zimmerman. 1991. Micro-propagation Technology and Application. Kluwer Academic Publishers.
3. Ivins, J. D. and F. L. Milthorpe. The Growth of The Potato. London Butterworths.
4. Hawkes, J. G. 1989. The Potato Evolution, Biodiversity and Genetic Resources. Belhaven Press.
5. 농업진흥청. 1993. 감자재배. 농업진흥청.
6. 서정해, 백영관. 1986. 도해 식물조직 배양 입문. 전원문화사.
7. Gonzalez, R. C. and Paul Wintz. 1987. Digital Image Processing, Addison Wesley.
8. 홍원학. 1990. HVS기반 분할법에 의한 영상부호화. 경북대학교 석사학위논문.
9. Ballard, D. K. and C. M. Brown. 1982. Computer Vision. Prentice Hall.
10. Duda, R. O. and P. E. Hart. 1973. Pattern Classification and Scene Analysis. Willey-Interscience.
11. Pratt, W. K. 1978. Digital Image Processing. Willey-Interscience.
12. Haralick, R. M. and L. G. Shapiro. 1992. Computer and Robot Vision, Addison Wesley.