

# 조직배양체 이식을 위한 soft gripper의 개발(1)

- 조직배양체 줄기의 압축시험 -

## Development of soft gripper for transplanting tissue culture plants(1)

- The compression test of stem of tissue culture plants -

이 현동*	김 기대*	문 정기**
정회원	정회원	정회원
H. D. Lee	K. D. KIM	J. G. Moon

### 1. 서론

식물 조직배양이란 세포, 조직, 또는 기관 등을 식물체로부터 무균적으로 분리하여 적당한 조건하에서 배양하여 생육시키는 기술을 말한다. 이는 본래 대상 식물체의 형태형성, 대사생리 등을 제어하고 있는 메커니즘을 규명하기 위한 기초 연구로부터 발전되어 왔는데, 최근 그 이용 가치를 최대 한도로 높이기 위해 연구, 개발되고 있다. 화훼 분야에서 난, 카네이션, 국화, 장미 등과 같은 많은 원예식물들을 식물 조직배양에 의한 번식기술을 이용함으로써 종래의 실생묘 생산 및 삽수 생산 기술과 비교해 볼때, 보다 우수한 품질의 배양묘를 공급할 수 있게 되었다. 또한, 조직배양이 가능한 품종은 해마다 늘어나고 있고, 그 상업적 이용이 세계적으로 보급되고 있다. 따라서, 앞으로 식물 조직배양에 의한 묘생산은 화훼류 뿐만 아니라 채소, 과수분야에서도 이루어질 것이고, 농업의 전 분야, 특히 원예 분야에서 중요한 위치를 차지하게 될 것이다.

그러나 이런 잇점에도 불구하고 조직배양은 생산비가 높다는 단점이 있다. 그 이유는 작업자의 고임금, 증식과정에서의 낮은 성장속도, 순화과정에서의 낮은 생존율 등에 원인이 있기 때문에 배양묘 생산은 종래의 실생묘 생산, 또는 삽수묘 생산에 비하여 아직 생산비가 높다. 따라서, 농업분야의 주요작물이나 조림용 수목생산 등에는 활용이 되지 못하고 있는 실정이다. 조직배양에서 인건비를 절감하기 위한 방법으로는 관행의 작업자에 의한 이식이나 절단작업을 자동화하여 소요인력의 투입을 배제하는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 식물 조직배양의 생산비를 낮추기 위한 방법으로 조직배양체 이식을 위한 soft gripper를 개발하는데 목적을 두었고, 그 첫단계로 gripper와 직접 닿는 대상식물 줄기부의 물리적 특성인 줄기지름과 압축력을 부위별로 측정하여 실험, 분석하였다.

---

\* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

\*\* 한국기계연구원

## 2. 재료 및 방법

### 가. 대상작물

본 실험에서 사용한 대상작물은 조직배양으로 6주 경과된 인공 씨감자 배양체의 줄기부를 채취하여 실험하였다. 그림 1은 실험에 사용된 인공씨감자의 줄기부를 나타낸 것이다.

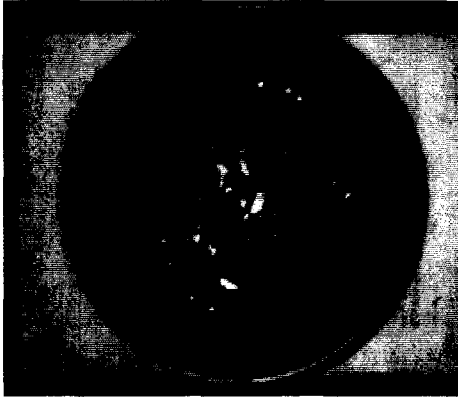


Fig. 1 The stem of potatoes by tissue culture

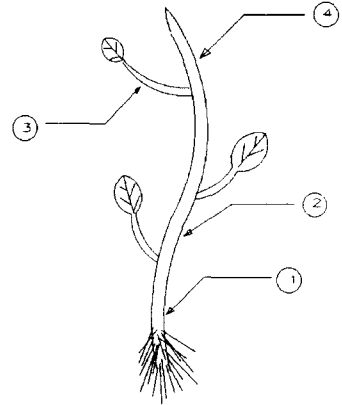


Fig. 2 The figure of plant by each position

인공 씨감자가 열리기 바로직전의 식물체를 배양용기에서 채취하여 배양액을 물로 씻은 후 실험에 사용하였다. 본 연구에서 사용된 인공씨감자 식물체를 부위별로 나타내면 ① 뿌리부 근처의 줄기, ② 중간 줄기부(가지와 가지사이), ③ 줄기에서 갈라진 가지, ④ 줄기 윗 끝부분(생장점 부분) 등 4부분으로 나누어질 수 있다. 그림 2는 줄기를 부위별로 나누어 나타낸 것이다. 보통 식물을 보면 뿌리부분이 굵고, 윗끝부분이 가늘지만 본 실험에서 사용한 인공씨감자 줄기의 굵기는 전체적으로 비슷했다.

### 나. 예비실험

본 연구에서는 본 실험을 수행하기 전에 식물의 압축력의 범위를 대략적으로 구하기 위하여 예비실험을 수행하였다. 측정할 식물줄기를 부위별로 선정하여 직경을 잴 후, 간단하게 제작한 실험대 위에 식물을 올려놓았다. 식물이 파손되기 직전까지 추를 올려놓고, 그 추의 무게를 측정하여 식물줄기가 압축될 때의 힘을 대략적으로 분석하여 본 실험에서 사용한 식물체의 대략적인 압축력의 범위를 확인하였다.

### 다. 본 실험

#### (1) 실험장치의 구성

본 연구에서는 예비실험에 준하여 스트레인 게이지가 장착된 로드 셀을 직접 설계, 제작하여 식물줄기의 압축력을 측정하였다. 그림 3은 본 실험에 쓰인 실험장치의 구성을 나타낸

것이다.

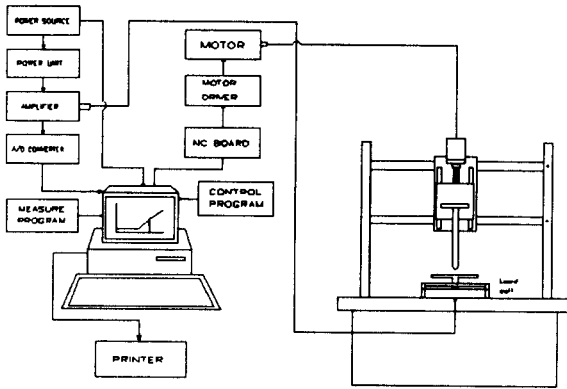


Fig. 3 The schematic diagram of experimental system

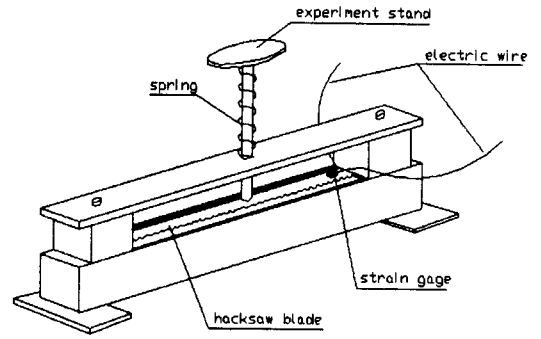


Fig. 4 The schematic diagram of load cell

실험에 쓰인 메인 컴퓨터는 IBM PC를 사용하였고, MicroSoft社의 Basic V7.1을 제어프로그램용 언어로 사용하였다. 식물을 압축할 때 쓰인 매니플레이터는 충남대학교 농업기계공학과에 기 보유하고 있는 직교좌표형 매니플레이터를 사용하였다. 계측을 할 수 있는 로드 셀의 측정자는 탄성이 강하고 주위에서 쉽게 구할 수 있는 합금 공구 강재(SKS)로 된 얇은 판을 이용하였으며, 판의 한쪽 끝에 스트레인 게이지를 부착하였다. 식물을 올려놓고 실험을 하기 위한 바(bar)가 판 위에 설치되게 하였고, 바에 외력이 가해지지 않을 때 바의 자중에 의한 외력이 판에 가해지지 않도록 스프링으로 지지되게 하였다. 판의 고정은 일단 고정 타단지기로하여 처짐을 원활히 하였다. 로드 셀로부터 오는 전기적 신호를 증폭하는 스트레인 앰프와 앰프에서 나오는 신호를 디지털 신호로 바꾸는 A/D 변환기를 사용하였다. 그림 4는 실험에 쓰인 로드 셀을 나타낸 것이다.

## (2) 실험방법

본 연구에서는 압축시의 속도를 스텝핑 모터를 이용하여 1mm/s로 일정하게 한 후, 직경을 쥘기의 각 부분을 계측장치(로드 셀)에 설치하고, 쥘기부를 매니플레이터로 압축할 때 그 힘의 전달을 제작한 로드 셀로 받았다. 로드 셀 내부의 측정자인 판 중앙에 하중이 가해질 때 판의 처짐에 의한 스트레인의 변환값을 앰프를 통하여 증폭시킨 후, A/D 변환기를 거쳐 게인값으로받아 캘리브레이션의 결과에 의해 가시값으로 변환시켜 메인 프로그램에 의한 압축력으로 환산하게 했다. 또한, 압축거리별 힘을 그래프로 나타내었고, 각각의 압축력을 측정하여, 쥘기의 직경과 부위에 따른 압축력의 상관관계를 그래프와 식으로 나타내었다. 압축력의 환산은 매니플레이터가 쥘기를 누를 때 식물이 파괴되기 시작하는 순간의 점을 포착하여 mm당 힘의 단위(g/mm)로 표현하였는데, 이는 그리퍼가 식물에 접촉하여 하중을 가할 때 접촉길이의 변화가 식물에 미치는 영향이 크므로 g/mm의 단위로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 예비실험 결과

예비실험을 통하여 나온 부위별 직경과 압축력은 표 1과 같다.

Table 1 diameter and compression force according to parts by basic experiment

parts	diameter (mm)			compression force (g/mm)		
	mean.	min	max.	mean	min.	max.
near root (1)	2.06	1.6	2.9	60.51	36.97	82.44
stem (2)	1.87	1.25	2.15	35.48	21.81	57.46
branch (3)	1.26	0.95	1.75	20.55	16.70	25.62
upper stem (4)	1.54	1.15	2	25.88	17.48	46.81

예비실험 결과, 식물체의 대략적인 압축력의 범위는 약 30 - 50 g/mm 로 나타났다.

#### 나. 캘리브레이션

A/D 변환기를 거쳐 컴퓨터로 들어온 신호는 전기적인 신호이기 때문에 이를 측도 설정에 의해 얻어진 계수들을 이용하여 힘으로 환산했다.

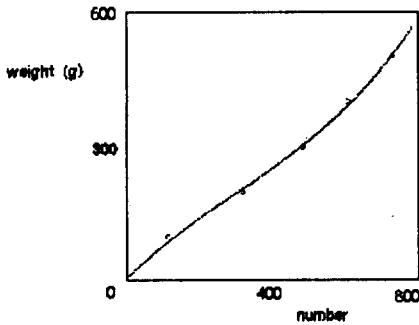


Fig. 5 The result of calibration

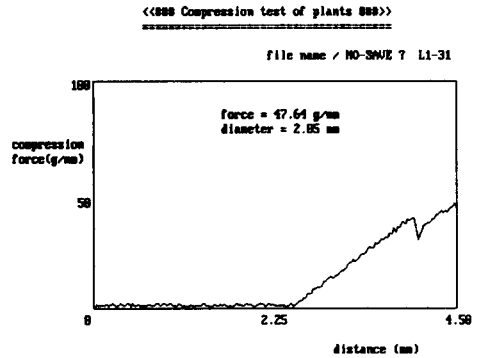


Fig. 6 The result of compression force according to compression distance

$$\begin{aligned}
 \text{여기에서, } W &= -8.32 + 0.85N - 9 \times 10^{-4}N^2 + 9.31 \times 10^{-7}N^3 \\
 W(\text{weight}) &= \text{Force (gf)} \\
 N(\text{number}) &= \text{Measured data}
 \end{aligned}$$

이미 무게를 알고 있는 분동을 로드 셀에 올려놓아 들어오는 전기적인 값을 보관후, 데이터를 읽어들이어 3차 회귀分析을 통하여 그래프로 표시하였으며, 회귀分析한 자료의 개수는 총 6개이다. 회귀분석의 결과는 그림 5와 같이 나왔다. 캘리브레이션 결과, 로드 셀에 하중

이 가해지지 않을 때 외력이 닿지 않도록 하기 위해서 식물을 올려놓는 부분과 계측부 사이에 스프링을 사용하였기에 캘리브레이션의 결과가 3차 회귀분포의 형태로 나온 것으로 사료된다.

#### 다. 압축거리별 힘

본 연구에서는 실험장치가 식물의 줄기를 압축해 들어갈 때 거리별 힘의 크기를 그래프로 나타내었고, 파괴되는 순간의 힘을 포착하여 그때의 힘을 측정하였다. 그림 6은 압축거리별 힘에 대한 데이터 분석결과의 한 예이다.

위 그림에서, 식물에 외력이 가해지지 않을 때 로드 셀에 가해지는 힘이 없다가 점차 식물에 바가 닿아서 외력이 식물에 가해질 때 압축력이 점차 올라갔다. 식물이 파괴되는 순간에 그 힘을 포착하여 결과치가 화면에 출력되도록 하는 형식이다.

#### 라. 부위별 직경과 압축력과의 상관관계

본 연구에서는 직경이 8mm인 테프론 바를 이용하여 식물의 압축력을 구하였다. 압축력은 매니퓰레이터가 줄기를 눌러 줄기가 파괴되는 순간의 힘을 g/mm단위로 표현하였다. 각각의 부위별 압축력의 분포를 그림 7에 나타내었다.

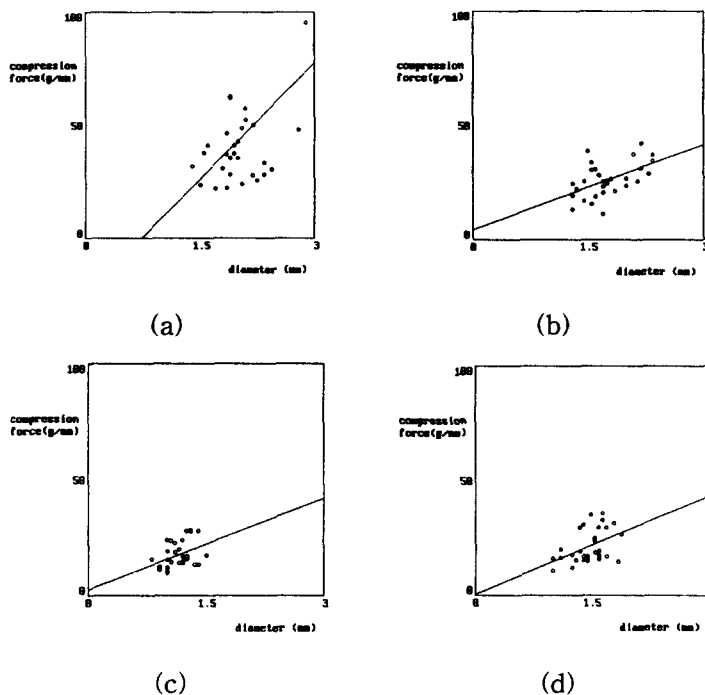


Fig. 7 The compression force according to parts  
 (a) the part of near root, (b) the part of stem,  
 (c) the part of branch, (d) the part of upper stem

그림 7. (a)에서 뿌리부분의 압축력은 직경이 증가할수록 증가하였다. 그러나 뿌리부의 압축력은 단단한 정도가 식물에 따라 매우 달랐기 때문에 편차가 크게 측정되었다. 로봇 그리퍼로 조직배양체를 잡을 때 대부분 뿌리부 근처의 줄기를 잡기 때문에 이 부분의 분석이 매우 중요하리라 사료된다. 뿌리부의 평균 직경은 2.03mm 이었고, 최소 직경은 1.40mm, 최대 직경은 2.90mm이었다. 또한 평균 압축력은 44.22 g<sub>t</sub>/mm이었고, 최소 압축력은 21.83 g<sub>t</sub>/mm, 최대 압축력은 95.56 g<sub>t</sub>/mm로 나타났다.

(b)에서는 가지와 가지사이의 줄기부를 나타낸 것으로 여기서는 직경이 증가할수록 압축력이 증가하는 경향을 나타냈다. 이 부분도 뿌리부와 마찬가지로 줄기와 압축력의 편차가 크게 측정되었다. 줄기부의 평균 직경은 1.76mm 이고, 최소 직경은 1.30mm, 최대 직경은 2.35mm로 나타났다. 또한 평균 압축력은 26.08 g<sub>t</sub>/mm이었고, 최소 압축력은 11.11 g<sub>t</sub>/mm, 최대 압축력은 38.79 g<sub>t</sub>/mm로 측정되었다.

(c)에서 보이는 그림은 가지부의 분석결과를 나타낸 것이다. 비록 가지부는 분석의 중요성이 적지만, 조직배양체의 물리적 특성을 알아보는 데는 적절한 방법이라 사료된다. 가지부 역시 뿌리부, 줄기부와 마찬가지로 직경이 증가할수록 압축력이 증가하였다. 하지만 가지부의 직경이 뿌리부와 줄기부 보다는 일정하므로 편차는 적게 측정되었다. 가지부의 평균 직경은 1.14mm이고, 최소 직경은 0.80mm, 최대 직경은 1.40mm로 나타났다. 또한 평균 압축력은 17.26 g<sub>t</sub>/mm이었고, 최소 압축력은 9.22 g<sub>t</sub>/mm, 최대 압축력은 28.09 g<sub>t</sub>/mm로 나타났다.

(d)부분은 가지 윗끝부분을 분석한 결과로 가지와 마찬가지로 분석의 중요성은 적지만 가지 윗끝부분이 조직배양의 증식과정에 쓰이는 확률이 높고, 증식이 되면 바로 이 부분이 식물체의 뿌리부가 되기 때문에 분석의 중요성이 있다고 사료된다. 윗끝 가지부의 평균 직경은 1.47mm 이고, 최소 직경은 1.00mm, 최대 직경은 1.90mm로 나타났다. 또한 평균 압축력은 21.17 g<sub>t</sub>/mm이었고, 최소 압축력은 14.47 g<sub>t</sub>/mm, 최대 압축력은 35.91 g<sub>t</sub>/mm로 나타났다.

따라서 인공 씨감자 줄기를 잡을 때 필요한 압축력은 20 g<sub>t</sub>/mm - 40 g<sub>t</sub>/mm의 범위가 가장 적당한 것으로 사료된다.

각 부위별 직경과 압축력과의 관계를 표 3에 나타내었다.

Table 3 The diameter and the compression force according to parts

parts	diameter (mm)			compression force (g <sub>t</sub> /mm)		
	mean	min.	max.	mean	min.	max.
near root (1)	2.03	1.40	2.90	44.22	21.83	95.56
stem (2)	1.76	1.30	2.35	26.08	11.11	38.79
branch (3)	1.14	0.80	1.40	17.26	9.22	28.09
upper stem (4)	1.47	1.00	1.90	21.17	14.47	35.91

## 4. 요약 및 결론

조직배양체를 증식하는 과정이나 포팅하는 과정에서 식물을 잡는 장치는 필수적인 요소다. 때문에 대상식물의 물리적 특성인 압축력을 알아야만이 그에 합당한 로봇 그리퍼나 엔드 이펙터를 설계할 수 있을 것이라 사료된다. 본 연구에서는 인공 씨감자 줄기의 압축력을 분석해 보았다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

인공 씨감자 뿌리부줄기의 직경은 2.03 mm 이고 압축력은 약 44.22 g<sub>f</sub>/mm , 가지와 가지 사이 줄기부의 직경은 1.76 mm 이고 압축력은 26.08 g<sub>f</sub>/mm , 가지부의 직경은 1.14 mm 이고 압축력은 17.26 g<sub>f</sub>/mm , 줄기 윗끝부의 직경은 1.47 mm 이고 압축력은 21.17 g<sub>f</sub>/mm 로 나타났다.

따라서 인공 씨감자 줄기를 잡을 때 그리퍼의 최대 열림 크기는 3mm 이상이고, 필요한 압축력은 20 g<sub>f</sub>/mm ~ 40 g<sub>f</sub>/mm 의 범위가 가장 적당한 것으로 사료된다.

본 연구가 앞으로 조직배양체의 줄기부 핸들링 연구시 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

## 5. 참고문헌

1. 김찬수. 1994. 幼苗補植用 로봇 핸드 開發. 충남대학교 대학원
2. 류관희 외. 1996. 생물생산을 위한 지능로봇 공학. 문운당
3. 조성화. 1997. 프러그묘용 로봇 핸드의 기초실험. 충남대학교 교육대학원
4. 허윤근. 1987. 수도의 역학적 및 리올러지 특성에 관한 연구. 충북대학교 대학원
5. Aitken-Christie, J. 1991. Micropropagation technology and application. Automation : 363-388
6. Compression test of food materials of convex shape. 1983. ASAE Standard S368.1
7. Deleplanque, H., P. B. Bonnetand. and J. G. Postaire. 1995. An intelligent robot system for *in vitro* plantlet production. Universite des sciences et techniques de Lille, France : 305-314
8. Lue de Bry. 1988. Prospects in the mating of robotics to plant culture and research.
9. Pictiaw Chen. et. al. 1987. Study of impact and compression damage on asian pears. ASAE Vol.30(4) : July-August, 1987
10. Ting, K. C. et. al. 1988. End-effect development for robotic transplanting of seedling. An ASAE meeting presentation. Paper No. 88-1544
11. Ting, K. C., G. A. Giacomelli, and P. P. Ling. 1992. Workabililty and production of robotic plug transplanting workcell *in vitro* cell. Dev. Biol. 28. January. 1992 : 5-10.