

# 식물공장의 작물조건조절장치 개발(1)

- 작물조건조절장치의 제작 및 성능평가 -

## Development of a Row Spacing System for Plant Factory(1)

- Manufacture and Performance Test of Row Spacing System -

장유섭\*

정희원

Y. S. Chang

송현갑\*\*

정희원

H. G. Song

### 1. 서 론

식물공장은 1957년에 덴마크의 크리스텐센농장에서 처음 시작되었다. 이 농장에서는 농장에서는 채소의 일종인 크레스를 파종에서 수확까지 일괄 자동 생산한 것이 시초이다. 그 후, 유럽을 중심으로 식물공장에 관한 연구가 진행되었고, 1970년대에 들어서 미국에서 인공광을 이용하는 완전제어형 식물공장이 개발되었다. 1980년대에 들어서면서 미국에서 태양광을 이용하는 자동화된 대규모 식물공장이 실용화되었으며, 일본에는 1997년에 히다치의 중앙연구소에서 시작하여 1998년에 20여 개소에 설치 가동중에 있다.(박 등, 1997, 정 등 1998, 田本 등, 1998, 高辻 1997, )

식물공장에 필요한 이식, 수확 등 농작업기계, 광원, 배양액 등 작물의 지상부, 지하부의 환경제어 뿐아니라 작물의 조건조절장치가 매우 중요하며, 간단하고 제작이 용이한 시스템의 연구 개발이 필요하다. 국내에서는 최근에 식물공장에 관한 연구가 수행되고 있으나 작물의 조건조절장치는 작업장치에 관한 연구는 미진한 실정이다.(권 등, 1988, 홍 등, 1995)

따라서, 본연구에서는 외국에서 연구된 조건조절장치와 달리 구조가 간단하고 쉽게 제작이 가능한 체인켄베이어식 작물조건조절시스템을 개발하고 하였으며, 조건조절장치를 설계제작한 후 그 성능을 평가하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 조건조절장치의 설계 및 제작

##### (1) 구성 및 작동

조건조절장치는 그림 1에서 보는 바와 같이 전동기와 전자클러치로 구성된 구동부, 체인과 스프로킷으로 구성된 이송부, 체인과 스프로킷 조합으로 속도비에 의해 조건조절을 하는 조건조절부, 두쌍의 광센서의 감지신호에 의해 조건조절장치가 제어되는 제어부로 구성되어 있다. 조건조절장치는 재배홈통이 이송부와 조건조절부를 들어오고 나가는 것을 광센서로 감지하여 조건조절장치가 제어되는 시퀀스제어방식으로 설계 제작되었다. 조건조절장치의 작동은 전원이 연결되면 전동기가 구동된 상

+ 이 연구는 1996~1999년 농림부 농림기술관리센터 연구비로 수행된 것임

\* 농업기계화연구소 생물생산기계과, \*\* 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

태에서 재배흙통투입감지 광센서에 의해 재배흙통이 감지되면 전자클러치의 릴레이에 신호를 보내 전자클러치의 브레이크가 풀리면서 조간조절장치가 가동되어 재배흙통이 이송된다. 이송되는 동안 재배흙통은 조간조절부를 통과하면서 조간이 조절된다.

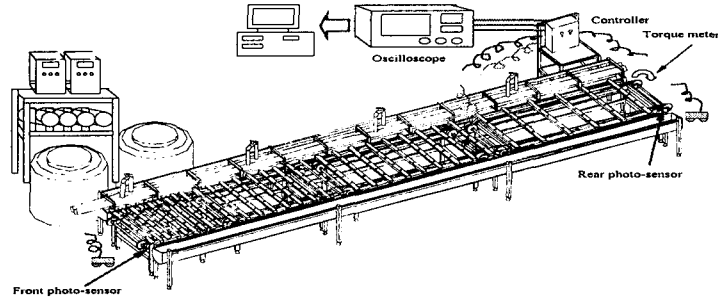


Fig. 1. Experimental apparatus of the row-spacing control system

## (2) 제어부

조간조절장치의 제어는 광센서(BMS200-DDTN)와 릴레이(SZR-MY2-1)를 출발점과 종착점에 각각 1개씩 설치하고, 전자클러치(KEB, combibox.10,370,90)와 전자클러치에 전원을 공급하는 전원공급장치(LN75-24)로 구성 제작되었다. 조간조절장치의 제어 흐름도는 그림 2에서 보는 바와 같이 재배흙통이 체인이송장치에 반입되면 구동전동기가 먼저 작동되며, 시작점에 위치한 광센서가 재배흙통을 감지하면, 재배흙통이 반출되면서 재배상 끝부위에 있는 광센서에 감지되고 전자클러치 내부에 설치된 브레이크가 작동되어 정지하게 된다.

### 다. 성능평가

#### (1) 실험장치

조간조절장치의 작동성능 평가를 하기 위하여 그림 1에서 보는 바와 같이 투입되고 반출되는 재배흙통을 감지하는 광센서와 전자클러치의 릴레이 단자에 오실로스코프의 단자를 연결하여 조간조절장치의 작동성능을 평가하였으며, 구동축에 토크미터를 설치하여 조간조절장치에 소요되는 구동축 토크를 측정하였다.

#### (2) 시험방법

조간조절장치의 성능을 평가하기 위하여 조간조절장치의 각단계별 이송속도와, 재배흙통의 투입반출 감지센서와 전자클러치의 작동특성, 조간조절성 등을 측정하였다.

조간조절장치가 작동되는 동안 12개의 재배흙통이 각 단계별로 출발점에서 종착점

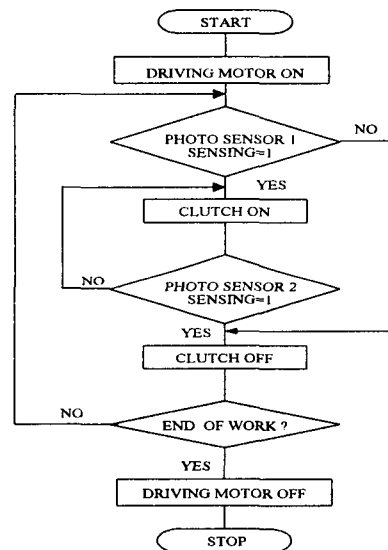


Fig. 2. Flow chart for the operation of the row spacing control system

으로 이송되는 동안 각단계마다 소요되는 시간을 측정하여 이송속도를 산출하여 설계속도와 비교하였다. 재배흙통이 투입되면 시작점의 광센서, 전자클러치, 및 종착점의 광센서의 릴레이에 그림 3과 같이 각 측정점의 릴레이에 오실로스코프의 단자를 접속하여 실시간의 작동상태의 전압변동을 검출하였다.

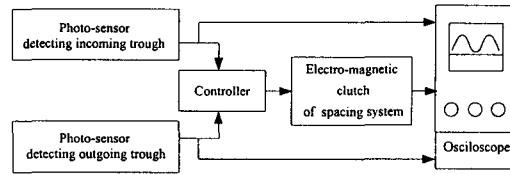


Fig. 3. Block diagram of the measurement system for testing the characteristics of the photosensors and electromagnetic clutch.

조간조절장치를 구동시키는데 소요되는 토크는 조간조절장치에 토크 측정장치를 부착하고 부하하중을 증대 시켜가면서 축토크를 실시간에 실측하고 산정된 토크값과 비교검토하였다. 조간조절장치에 재배흙통이 투입되고 반출되는 동안 재배흙통의 간격이 조절되는 것을 단계마다 재배흙통 중심간의 간격을 자로 10회 측정하고 평균하여 조간조절성을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 성장단계 설정

작물성장단계별 조간조절량을 설정하기 위하여 농가에서 조사한 성장속도와 성장단계를 그림 4에 나타내었다. 작물점유폭 식  $G(t) = 0.0035t^2 + 0.4477t + 4.5844$  재배기간을 대입하면 엽채류의 하루 성장량이 구해진다.

그림 4에서 보는 바와 같이 정식일부터 수확일까지의 작물성장정도를 나타내고 있으며, 성장단계는 정식과 수확계획에 의해 결정되므로 매주 수확하는 것으로 계획하여 정식후 14일, 21일, 28일, 35일마다 구간을 조절할 수 있도록 4단계로 설정하였다.

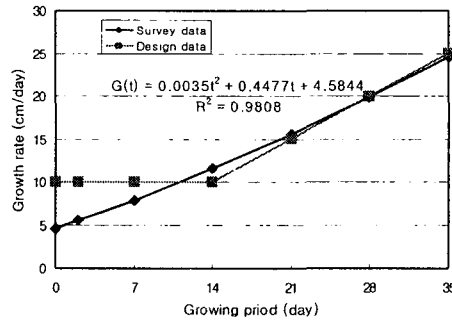


Fig. 4. Vegetable growth with growing date

#### 나. 이송부 조절량과

##### 재배상의 길이

작물조간조절량은 표 1에서 보는 바와 같이 작물의 조간 조절량은 엽채류의 평균 작물점유폭이 고려되어 단계별로 각각 101.6mm, 152.4mm, 203.2mm,

Table 1. Row-spacing distance with growing period.

Growing priod(day)	Row-spacing distance			
	14	21	28	35
Survey spacing (mm)	115.4	155.4	198.6	245.4
Adjusted spacing (mm)	100.0	150.0	200.0	250.0
Length of chain (mm)	101.6 (8ea)	152.4 (12ea)	203.2 (16ea)	254.0 (20ea)

\* Pitch of #40 chain : 12.7 mm

250.0mm로 설정하였다. 작물조간조절장치의 각 단계별 재배홈통은 60mm폭의 재배홈통이 10개로 하고, 조간조절장치에 사용된 체인은 40번으로 피치가 12.7mm인 점을 고려하여 주간을 조정하였다. 조간조절부 축간 거리는 19cm로 하였다. 각 단계별 재배상의 길이와 사용된 작물의 평균 작물 폭, 재배상길이, 이때에 소요되는 체인의 수, 길이 등은 표 2에 나타내었다.

Table 2. Design data for the row-spacing control system

Item	1st stage	2nd stage	3rd stage	4th stage	Total
Increase in leaf length per day(cm)	10	15	20	25	-
Space between plants(cm)	106.0	152.4	203.3	254.0	715.7
Length of growing bed(cm)	99.0	152.0	204.0	257.0	712.0
Number of chain(ea)	198	304	408	514	1424
Length of chain(cm)	251.46	386.08	518.16	652.78	1808.48

#### 다. 조간조절부의 속도비

조간조절장치의 속도는 감속형 전동기의 회전수 29rpm, 구동전동기가 설치된 3단계축의 회전수 14.5rpm로 하여 조간조절부의 속도비와 이송부의 속도를 분석하고 그결과를 표 3에 나타내었다. 표 3에서 보는 바와 같이 조간조절부의 속도비는 스프로킷의 피치, 잇수의 비에 따라 1- 2단은 0.64, 2-3단은 0.79, 3-4단은 1.29으로 분석되었으며, 각 단계별 이송속도는 각각 6.4, 9.6, 12.3, 15.8cm/s 였다.

Table 3. Speed of conveyer and speed ratio at the growing stages.

Item	1st stage	2nd stage	3rd stage	4th stage
No. of driving sprocket teeth	30	28	21	
No. of driven sprocket teeth	20	22	27	
Speed ratio of shaft	0.667	0.786	1.286	
Speed of conveyer(cm/sec)	6.4	9.6	12.3	15.8

※ Revolution per minute of motor : 29rpm,  
 Revolution per minute of 3rd stage (Driving shaft) : 14.5 rpm  
 Pitch circle of conveyer sprocket : 161.9mm

#### 다. 부하시의 속도변화

작물조간조절장치의 이송속도를 측정한 결과를 표 4에 나타내었다. 조간조절장치의 무부하시 속도변화는 1단계에서 4단계까지 각각 6.3cm/sec, 9.5cm/sec, 12.3cm/sec, 15.6cm/sec로 설계속도와 비슷하였으며, 부하시속도 변화는 1단계는 6.2cm/sec, 2단계는 9.3cm/sec, 3단계는 12.0cm/sec, 4단계는 15.3cm/sec로 다소 속도가 떨어지는 것으로 나타났으며, 진행저하율은 1.6~2.1% 였다.

#### 라. 조간조절장치 소

##### 요트크

작물이 심어진 재배홈통을 이송할 때 체인롤러와 가이드라인 마찰력, 작물과 재배홈통의 하중에 의해 조간조절장

Table 4. Comparison of the velocities of conveyer without load by growing stages

Item	1st stage	2nd stage	3rd stage	4th stage
Conveyer design velocity(cm/s)	6.4	9.6	12.3	15.8
Conveyer velocity without load (cm/s)	6.3	9.5	12.2	15.6
Conveyer velocity with load (131.4kg, cm/s)	6.2	9.3	12.0	15.3
Slippage (%)	1.6	2.1	1.6	1.9

치의 구동축에 가해지는 축토크가 분석되었고, 이론 분석값과 실측값을 비교한 결과를 그림 5에 나타내었다. 축에 가해지는 토크는 조건 조절장치에 17N~ 935N의 범위에서 작물이 심어진 재배홈통을 적재하여 가면서 토크미터로 실측한 결과, 작물조건조절장치에 소요되는 축토크는 무부하시 10.8N·m이었으며, 부가하중이 17N에서 935N까지 증가함에 따라 11.7N·m에서 33.3N·m까지 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

**마. 제어 특성**

오실로스코프에 의해 측정된 센서의 전압과 전자클러치의 자동전압 변동을 측정된 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 전자클러치는 마그네틱 브레이크를 작동하는 동안 전압이 24V를 유지하고, 투입측 센서는 5V가 유지되며, 반출측 센서는 전압이 0V에서 투입측 센서 작동한 후 1.2초후에 5V로 전압이 인가된다, 재배홈통이 투입측을 통과하면, 전자클러치의 마그네틱 브레이크가 풀리면서 조건조절장치가 구동되며, 이때에 투입측 센서는 2.24초 동안 전압이 차단된다.

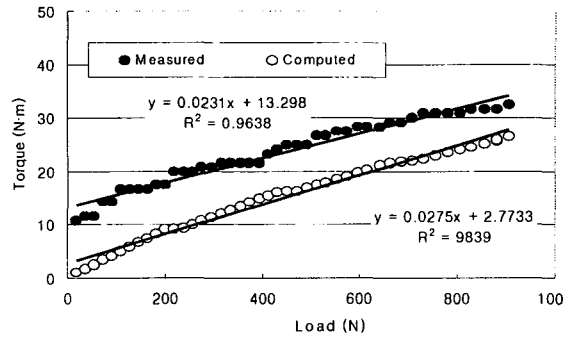
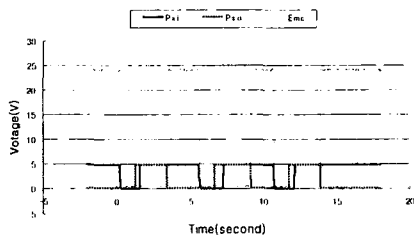
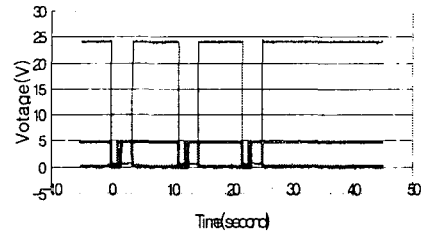


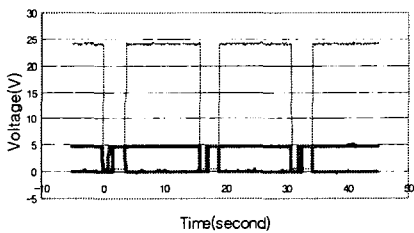
Fig. 5. Tongue versus load for the row-spacing control



(Interval of feeding trough : 5seconds)



(Interval of feeding trough : 10 seconds)



(Interval of feeding trough : 15 seconds)

Psi : Photosensor sensing signal of incoming trough  
Pso : Photosensor sensing signal of outgoing troughs  
Emc: Electro-magnetic clutch engaging or ds engaging signal

Fig. 6. Responses characteristics of photosensors and electro-magnetic clutch

반출측 센서가 반출되는 재배홈통을 감지하면 마그네틱 브레이크가 작동하여 조간조절장치는 멈추게되며 동시에 투입측 센서에 5V의 전압이 인가된다. 재배홈통이 센서를 통과하는 시간은 설계값이 2.26초이며, 실측값이 2.24초로 거의 일치하는 결과를 얻어 제어가 잘 되는 것으로 평가되었다.

**바. 조간 조절성**

작물조간조절장치는 1-2단, 2-3단, 3-4단에서 조간조절컨베이어에 의해 재배홈통의 조간이 조절된다. 조간조절은 1단 101.6mm 에서 2단의 152.4mm, 2단에서 3단으로 203.2mm로 넓혀지며, 3단에서 4단으로 254.0mm가 조절되어 작물간격이 넓혀 지게된다.

그림 7은 본 시스템의 조간을 조절하여 조간이 넓혀지는 과정을 보여주고 있으며, 그림 8은 각 단계별로 조간이 넓혀진 상태를 나타낸 것으로 조간조절이 매우 잘 되고 있는 것을 볼 수 있다.

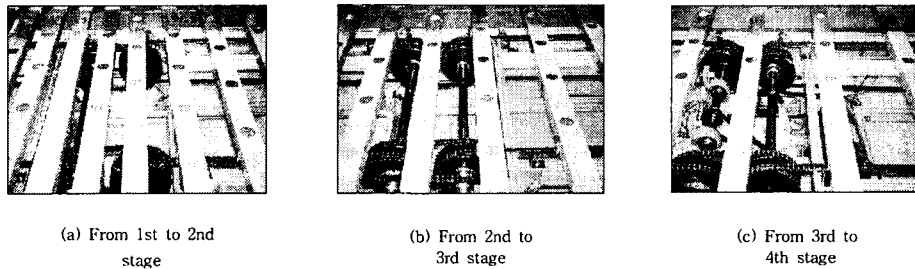


Fig. 8. Overview of Variation in row-spacing between stages

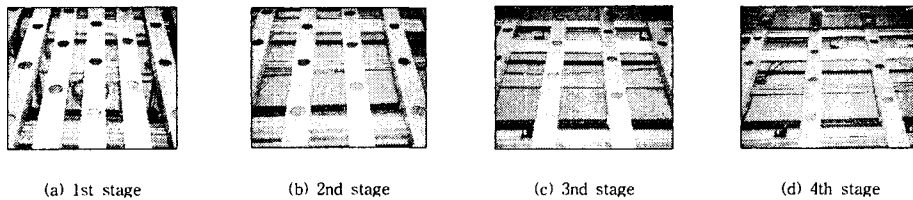


Fig. 9. Overview of row-spacing at stages

각 단계별로 조간조절장치에 의해 재배홈통의 조간 조절량을 측정한 결과를 표 5에 나타내었다. 각 단계별로 조간 조절량을 보면 1단계는 평균 102.3mm, 2단계는 151.7mm, 3단계는 203.5mm, 4단계는 253.2mm로 나타났다. 또한, 각 단계별로 재배홈통과 재배홈통사이의 간격을 보면  $\pm 5\text{mm}$  정도의 편차를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 이송체인컨베이어에 부착된 러그의 부착위치의 차이에 의해 나타나는 현상으로 어떤 단계에서 나타난 편차가 다음단계에서는 편차를 계속 유지하지는 않았으며, 작물의 조간조절이 잘 되는 것으로 판단되었다.

Table 5. Variation in row-spacing for stages (unit : mm)

Stage.	1st stage conveyer	timing conveyer	2nd stage conveyer	timing conveyer	3rd stage conveyer	timing conveyer	4th stage conveyer
designed space	101.6	100	152.4	152.4	203.2	203.2	254.0
Actual space between neighboring trough	1	0	97	150	153	205	207
	2	106	93	150	158	203	248
	3	104		152		203	260
	4	100		153		204	249
	5	109		156		204	254
	6	100		149		204	265
	7	97		153		203	254
	8	102		150		203	254
	9	102		155		206	248
	10	101		149		200	251
	11						255
Average	102.3	95.0	151.7	155.5	203.5	207	253.18

#### 4. 결 론

식물공장용 조간조절장치를 기존에 개발된 리그 간격에 의한 조간조절 방식과 겐트리시스템에 의한 조간조절장치와는 달리 타이밍체인과 체인컨베이어에 의해 재배 홈통이 조간조절되고 이송되는 체인컨베이어식 조간조절장치를 개발하여 성능시험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 작물성장단계를 설정하기 위하여 농가에서 조사된 성장곡선  $G(t)=0.0035t^2+0.4477t+4.5844$ 이 사용되었으며, 조간조절단계는 매주 수확하는 것으로 하여 4단으로 설정하였고, 조간조절량은 체인컨베이어의 체인피치를 고려하여 각각 101.6, 152.4, 203.2, 254.0mm로 설정하였으며, 작물이 재배되는 조간조절장치의 길이는 7,690mm로 제작하였다.
- 나. 조간조절장치의 3단계에 설치된 구동축 회전수는 14.5rpm으로 하였으며, 1-2단계, 2-3단계, 3-4단계의 회전 속도비는 각각 0.667, 0.786, 1.286으로 하였고, 각단계별 이송속도는 각각 6.4, 9.6, 12.3, 15.8cm/s로 제작하였다.
- 다. 작물조간장치장치 만 가동할 경우와 재배 부가하중 131.4kg을 이송할 때 속도변화를 측정된 결과 진행저하율이 1.6~1.9% 발생하였다. 이것은 체인과 체인가이드의 마찰에 의한 것으로 체인의 의한 시스템에서는 속도저하도 고려하여 장치가 설계되어야 할 것으로 판단 되었다.
- 라. 작물이 심어진 조간조절장치의 구동축 토크를 측정된 결과, 1단계에서 4단계로 작물이 이송는 작물과 재배홈통의 무게가 17N에서 935N로 증가함에 따라 구동축토크도 11.7~33.3N.m범위에서 증가하여 이론토크값보다 5.9~9.8N.m가 더 소요되는 것으로 나타나 설계시 보정이 필요하였다.
- 마. 조간조절장치에 재배홈통이 투입반출되는 동안 재배홈통 감지센서와 전자

클러치의 제어특성을 측정된 결과, 투입감지센서와 전자클러치 및 반출감지센서의 작동이 원활하였으며, 재배함통의 이동소요시간의 설계값이 2.26초이고 실측값이 2.24초로 잘 일치한 것으로 나타났다.

- 바. 조간조절성능은 조간 조절량이 설계된 값의 5%이내 범주에서 잘 조절되었으며, 전자클러치와 광센서의 작동도 원활하여 시스템이 안정적으로 나타나 식물공장용 조간조절장치로 체인컨베이어식 조간조절장치가 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

## 5. 참고문헌

- 1) 권영삼, 김광용, 박상근, 고관달. 1988. 공정생산에 의한 상추연속시험. 원예연구소 시험연구보고서, p184~187.
- 2) 도서출판 세화편집부역. 1997. 체인컨베이어, p49~83
- 3) 박권우. 1997. 공장형 원예산업 시대의 개막과 전망 II - 국내의 식물공장의 현황과 장애-. 호남작물연구소주관 제4회 국제공동세미나 자료집, p 8~25.
- 4) 장유섭. 1998. 작물이동식 자동주간조절장치. 특허출원 제50771호
- 5) 정선모, 황병구. 1996. 운반하역기계 -산업기계시리즈(I)-. 동명사, p221~261
- 6) 鄭淳桂, 張洪基. 1998. 차세대 식물생산시스템. 전남대학교 출판부, p167~177.
- 7) 洪淳昊. 1995. 植物工場의 生育環境 制御에 關한 研究. 서울大學敎 박사학위논문.
- 8) BEBOIT F. & CEUSTERMANS. 1994.4. FIRST FINDINGS WITH THE CONTINUOUS NFT-HEAD LETTUCE PRODUCTION SYSTEM IN SMALL PLASTIC POTS. 國際セミナー「世界を翔ぶ養液栽培-PARTⅡ」. 日本養液栽培研究會 大會資料, p14~24.
- 9) Van Henten E. J., and G. Van Straten. 1994. Sensitivity Analysis of a Dynamic Growth Model of Lettuce. J. agric. Engng Res, 59, p19~31.
- 10) 橋本 康, 高辻 正基. 1986. 植物工場システムは. 農業および園藝 61(1), p169-173.
- 11) 伊藤博通, 山下律也. 1999. 植物工場におけるレタス成長の解析 -レタス生体重経日変化の多変量解析-. 植物工場學會誌, 11(1), p50~58.
- 12) 丸尾 達. 1997. 北歐型植物生産システム. ハイドロポニックス 1997(1), p 3~8.
- 13) 圓藤勝義. 1998. 徳島縣にできた 植物工場「吉野ベジタフアーム」. 施設園藝 1998(1), 28~31.
- 14) 田本 均. 1998. 川鐵ライフ植物工場の 開發動向と 實施例 -KL式 AGRI・SYSTEMS. SHITA REPORT 14, p30~36
- 15) 高辻 正基. 1993. 植物工場における成長モデルの解析. 植物工場學會誌(SHITA JOURNAL) 4(2), p118~122.
- 16) 高辻正基 編. 1997. 植物工場ハンドブック. 東海大學出版會, p97~120.
- 17) 高辻正基. 1993. 植物工場における成長モデルの解析. 植物工場學會誌(SHITA JOURNAL) 4(2), p118~122.
- 18) 内田 徹. 1998. 植物工場 新技術の 展開. SHITA REPORT 14, p24~30
- 19) เซเน랄·มิลズ·อินคอร์पोเรเต็ด. 1980. 植物の成育法及び成育装置. 日本特許出願公開 昭55-24000.