

식물조직 배양용기의 자동세척장치 개발(II) - 시스템 개발 및 경제성 분석 -

Development of Automatic washing device of vessel for plant tissue culture (II)

이용범*	최홍기*	강창호*	김상철*	임동혁*	한길수*	김시찬*
Y.B. Lee	H.G.Choi	C.H.Kang	S.C.Kim	D.H.Lim	K.S.Han	S.C.Kim

1. 서 론

생명공학기술 중 실용화가 가장 앞선 분야가 식물의 조직배양기술이다. 하지만 이 조직배양기술이 부분적으로 실용화가 많이 진전되었다 하더라도 보급 확산을 도모하고 채산성을 제고하기 위해서는 인력에 의존하고 있는 다양한 작업공정들을 자동화하여 편이성과 작업비용을 줄여나가야 할 것이다.

본 연구에서는 식물조직 배양공정에서 주로 작업자가 인력에 의존함으로써 작업의 정밀도가 떨어지고 시간이 많이 걸리는 작업공정인 배양용기의 세척작업을 자동화하는 것으로 배양용기에 남아있는 이물질과 잔여배지를 자동으로 세척할 수 있는 장치를 개발하는 것이다.

먼저 1차적으로 시스템의 주요장치별 설계인자에 대해 요인시험을 거쳐 최적유형을 선별하고 물세척, 부러쉬 세척, 행굼, 말림 공정을 한 시스템으로 하여 손쉽게 배양용기를 세척할 수 있는 장치를 개발하였다. 1편에서 요인시험결과 중심으로 기술하였기에 여기서는 시스템의 구성과 성능시험, 경제성 분석 등을 중심으로 소개하고자 한다.

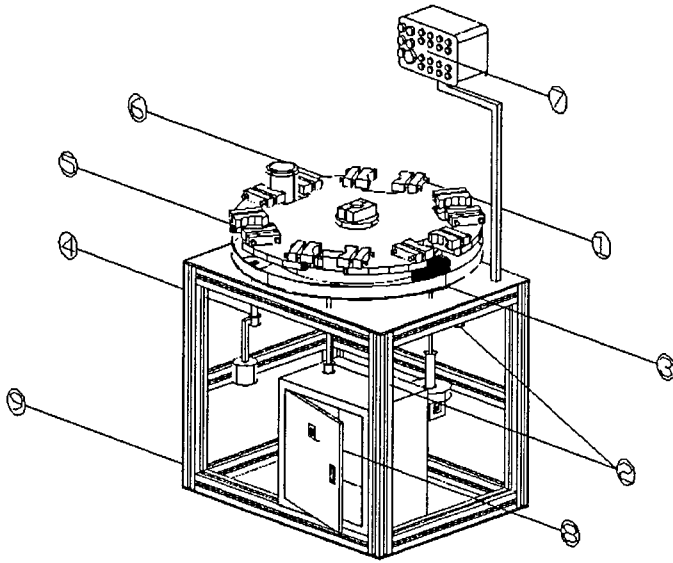
2. 시스템의 구성

세척장치의 동작은 턴테이블(Turn Table)의 정해진 각도만큼 회전에 의하여 1차로 수압에 의해 잔여찌꺼기를 세척 한 후 2차로 회전브러쉬에 의하여 용기 내부를 닦아주고 3차 수압으로 행굼을 한 후 마지막단계로 에어분사에 의하여 용기 내부의 남은 물방울을 말려주는 공정으로 구성하였다. 장치는 세척수가 노즐을 통하여 분사되어 세척을 하도록 제어하는 솔레노이드 밸브, 회전테이블을 일정한 각도 만큼 돌려주어 다음공정으로 이동시켜주는 구동모터, 실린더를 작동시키는 에어솔레노이드, 위치를 감지하는 리미트 스위치, 실린더 위치센서, 타이머, 릴레이 등으로 구성하였다.

그림 1과 같이 용기를 잡아주는 홀더, 물 펌프에서 전달된 수압을 분사시켜주는 노즐, 용기의 안쪽을 회전하며 닦아주는 브러쉬부, 행굼후의 남은 물방울을 제거하는 에어노즐부, 그리고 배양용기의 위치를 파악하여 제어하는 리미트스위치 등이 있다. 그리고 배양용기를 다음공정으로 회전시키는 턴테이블, 자동세척장치의 동력을 on/off하고 각각의 동작을 수동조작하는 스위치, 회전테이블의 회전속도를 제어하는 볼륨형스위치 그리고 장치를 부착시킬 수 있는 프레임 등으로 구성되어 있다. 아래 그림 1은 원형배양병 세척장치의 구조이며 삼각플라스틱은 세척도중 용기가 위로 이탈하지 않도록 지지하는 스톱퍼만 더 부착되어 있고 기본시스템은 같다.

그리고 장치의 주요부분 제원은 아래 표 1과 같다.

* 농촌진흥청 농업공학연구소 메카트로닉스연구실



- ① 홀더 ② 수압 분사노즐
- ③ 브러쉬부 ④ 에어노즐부
- ⑤ 리미트스위치 ⑥ 턴테이블
- ⑦ 수동조작 스위치
- ⑧ 볼륨형스위치 ⑨ 프레임

그림 1. 식물조직 배양용기 자동세척장치 구조도

표 1. 세척장치 주요 제원

	삼각플라스틱(실험실용)	원형병(농원용)
규격 (mm)	665(L)×650(W)×1,325(H)	800×700×1,500
주축 회전모터	220V 90W	220V 60W
브러쉬 모터	220v 25W	220V 40W
솔레노이드밸브	220V 6W,오리피스Φ3	220V 8W ,오리피스Φ3
물 펌프	18ℓ/min, 320W	18ℓ/min, 320W

3. 시스템의 동작특성

그림 2는 제어시스템 구성도이다. 작업공정은 모든 공정의 릴레이, 센싱 등을 초기화 한 후 각부의 구동조건에 따라 2가지 경로로 작동된다. 턴테이블의 1차 세척위치로 테이블이 회전하면 리미트 스위치에 의해 용기가 있음을 감지하고 1차 물분사를 위해 솔레노이드를 작동시켜 노즐을 통하여 물을 분사한다. 용기가 없음을 감지할 때는 1차 물분사 없이 턴테이블이 회전하여 브러쉬 모터가 있는 공정으로 회전된다. 나머지 브러쉬공정, 2차 행굼공정, 말림공정 등도 마찬가지로 각 공정마다 용기의 유무를 감지하여 작업을 수행하고 다음공정으로 이동하게 된다. 이때에도 용기가 없음을 감지할 때는 각부의 작업수행 없이 다음공정으로 턴테이블이 회전하는 기능이다.

그림 3은 제어 흐름도이다. 전원을 연결하고 턴테이블의 회전시간을 타이머로 설정후 용기를 공급하면 1차 세척위치에서 리미트 스위치에 의해 용기가 존재함이 인식되면 PLC에서 제어하여 급수탱크에서 펌프를 통하여 올라온 세척수는 1차 물분사노즐 솔레노이드를 열어 용기를 씻어주게 된다.

다음공정은 브러쉬 세척으로 턴테이블이 회전하면 (13)위치의 리미트 스위치가 용기를 감지하

여 브러시가 달려있는 모터를 실린더의 승강 장치를 이용하여 용기의 내부 안으로 브러시가 진입하도록 실린더를 상승시키고 그와 동시에 브러쉬 축에 연결된 모터를 구동시켜 브러쉬에 회전을 주어 용기를 닦아준다.

이때 용기가 (13)위치의 리미트 스위치에 감지되지 않으면 회전테이블은 다음공정을 위하여 브러쉬의 회전이나 실린더의 상승 없이 곧 바로 회전테이블이 회전을 한다.

회전 브러쉬에 의하여 닦아진 용기는 다음공정의 행굼인 (14)위치의 리미트 스위치에 감지되면 2차 물분사노즐 솔로노이드를 열어 물을 분사 행굼을 한다.

이때에도 용기가 감지되지 않으면 회전테이블에 부착된 선회모터에 의하여 다음공정으로 회전된다. 행굼을 끝낸 용기가 회전하여 마지막 건조공정위치로 오면 리미트 스위치로 용기를 감지하여 에어분사노즐 솔로노이드를 열어 실린더의 끝단에 있는 노즐을 통하여 에어를 분사하여 말려주는 공정을 한다.

이때 실린더는 노즐을 용기내부의 위쪽으로 밀어 올린후 위쪽부분에서부터 에어를 분사하며 아래쪽으로 실린더가 내려와서 물방울을 끌고 내려오는 역할을 한다. 이와 같은 4가지 공정을 다 끝내면 종료되는 흐름도이다.

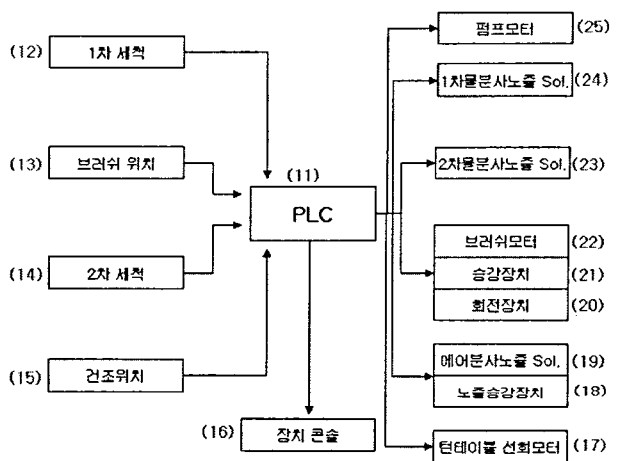
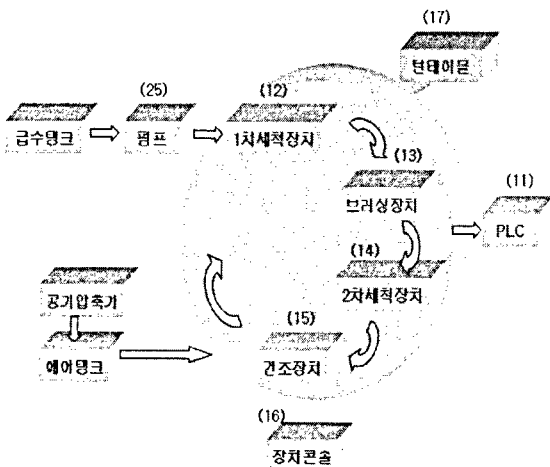
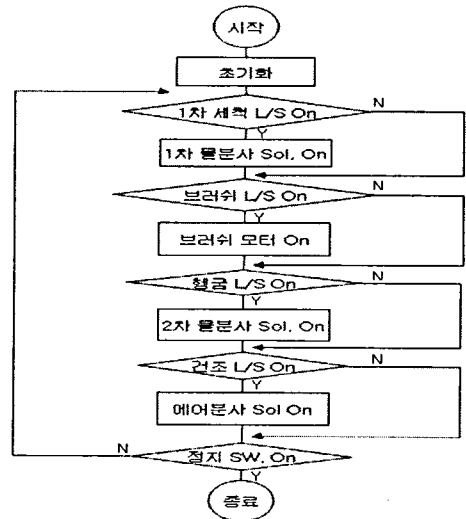


그림 2. 자동세척장치 제어시스템 구성도



3. 자동세척장치 제어 흐름도



그림

4. 성능시험 및 경제성 분석

가. 성능시험

실험실에서 주로 이용하는 삼각플라스틱 세척장치는 턴테이블이 배양용기를 투입하여 1차 세척부터 탈수공정을 거쳐 배출될 때 까지 1회전하는데 1분 6초가 소요되어 시간당 327개의 배양용기를 세척할 수 있어 기존의 인력대비 3.6배의 작업성능을 나타내었다. 또 농원에서 주로 이용하는 원형배양병의 경우 턴테이블이 1회전하는데 1분 25초가 소요되어 시간당 254개의 배양

용기를 세척할 수 있어 기존의 인력대비 2.5배의 작업성능을 나타내었다. 그리고 세척정밀도는 물세척 공정의 경우 센터 ϕ 1.5mm 1홀과 상부에 ϕ 1.0mm 4홀을 뚫은 노즐을 이용하고, 브러쉬공정의 경우 삼각플라스크는 타이렉스나이론0.3mm에 실을 복합한 브러쉬를, 원형병은 타이렉스나이론 0.08mm 브러쉬를 형상에 맞게 제작한 브러쉬를 설치하였으며, 탈수공정에서는 센터 ϕ 1.5mm 1홀과 측면 ϕ 1.0mm 6홀을 10°하부경사를 준 노즐을 설치하여 시험하였으며 작업정도는 요인시험에서 나타난 결과와 같이 깨끗한 세척이 가능하였다.

나. 경제성 분석

본 배양용기의 세척장치는 구조가 간단하고 비용도 저렴하며, 숙련되지 않은 작업자도 손쉽게 세척작업을 수행할 수 있도록 고안되어 농원, 실험실 등 식물조직배양을 하는 곳에서는 어디서나 손쉽게 세척작업을 할 수 있을 것으로 기대된다. 경제성분석에 있어 연간이용시간은 조직배양 대상 및 규모에 따라 용기의 세척량이 달라지기 때문에 기준을 설정하기가 어렵지만 본 연구에서는 일주일에 한번씩 배양용기를 모아서 세척하는 것으로 하여 연간이용시간을 417시간으로 하였다. 그리고 인력작업시간은 본 장치의 연간세척량에 해당하는 작업량을 기준으로 산정하였다. 그 결과 삼각플라스크 세척장치는 56%가, 그리고 원형병 세척장치는 37% 정도의 비용이 절감되는 것으로 나타났다.

표 2. 식물조직 배양용기 자동세척장치 경제성 분석

구 분		인력(관행)		배양용기 자동세척장치		비고
		플라스크	원형병	플라스크	원형병	
구입가(천원)		-	-	8,000	8,000	부대시설 포함
소계(천원)		-	-	8,000	8,000	
내구연한(년)		-	-	8	8	
연간이용시간		1,500	1,042	417	417	
연간고정비 (천원)	감가상각비	-	-	1,000	1,000	
	수리비	-	-	560	560	
	이자	-	-	200	200	
	소계	-	-	1,760	1,760	
시간당고정비(원/시간)		-	-	4,220	4,220	
시간당에너지소모량(kw)		-	-	0.81	0.80	
연간유동비 (천원)	인건비	11,031	7,663	3,067	3,067	
	전력비	-	-	12	12	
	소계	11,031	7,663	3,079	3,079	
시간당유동비(원)		7,354	7,354	7,383	7,383	
연간총비용(천원)		11,031(100)	7,663(100)	4,839(44)	4,839(63)	

(주) 감가상각비 : 직선법, 내구연한 8년, 수리비계수 7%, 인건비 : 남 58,834원/일
 이자율 : 5%, 전기료 : 농사용 36.1원, 소모전력 : 삼각플라스크 0.81kw, 원형병 0.80kw

5. 결론 및 요약

본 연구는 식물의 조직배양 후 배양용기의 재이용을 위해 물 및 브러쉬 세척, 행균, 말림 공정을 한 시스템으로 자동화한 장치 개발로서 그 주요결과를 요약하면 다음과 같다

- 배양용기의 공급과 배출은 수동, 배양용기의 이송·세척·탈수는 자동식으로 수행할 수 있는 세척장치를 구상하고, 공급되는 배양용기를 홀더가 파지한 상태에서 회전하면서 한 공정씩 수행되는 방식의 구조로 하였으며 물에 의한 1차 세척, 브러쉬에 의한 2차 세척, 물 분사에 의한 3차 세척, 공기분사에 의한 탈수 등의 과정으로 세척작업이 수행되게 개발하였음
- 성능시험에서는 삼각플라스크 세척장치(실험실용)가 327개/hr로 인력의 3.6배, 원형배양병 세척장치(농원용)가 254개/hr로 인력의 2.5배로 나타났으며 경제성은 삼각플라스크 세척장치는 56%, 그리고 원형병 세척장치는 37%가 인력대비 절감되는 것으로 나타났음.

6. 참고문헌

- 강창호. 2001. 식물조직 대량증식공정의 기계화기술 개발과제. 농기계연 세미나자료
- 농촌진흥청 농업기계화연구소. 2002. 농업기계화 시험연구보고서