

고함수 농산폐기물의 탈수과정에서 전기침투와 압력의 효과

The Effects of Electro-Osmosis and Compression on the Dewatering of Agricultural Wastes

김영중*	윤진하*	이운용*
정희원	정희원	정희원
Y.J.Kim	J.H.Yun	W.Y.Lee

ABSTRACT

In this study, the combined forces of electro-osmosis and compression were applied to cabbage dewatering and their effects were discussed. Nine treatments of combined forces consisting of three levels of voltage and compression were applied to chopped and macerated chinese cabbage placed in the experimental set-up consisted of cylinder-piston. The results showed that as both voltage and pressure increased the dewatering rates increased and the combined force of voltage and compression was a very effective means in the dewatering of chinese cabbage in which the largest dewatering rate difference, 72%, was found between the combined force of 30V with 68.2KPa and no voltage(0V) with 68.2KPa. However, no significant difference was found between the voltage of 0 and 10volts in 9.75KPa and the pressure of 68.2KPa and 126.7KPa in 30volts. The maximum and minimum dewatering rate were 82% in the combined force of 30 volts of 126.7 KPa and 8% in 0 volt of 9.75 KPa, respectively. Within the experimental trials, it appeared that the best treatment combination would be pressure of 68.2KPa and voltage of 30V producing dewatering rate of 80% in which the produced liquid contained about 1% solid. Employing this dewatering method as a pretreatment before drying process can contribute in considerable energy saving in agricultural wastes treatment.

주요 용어(Key Words) : 전기침투(electro-osmosis), 압축(compression), 탈수(dewatering)

1. 서론

최근 전기침투(electro-osmosis)에 대한 연구는 물질의 전기적 이동현상을 이용한 중금속에 오염된 토양환경의 개선, 토양수분의 이동에 의

한 건인에너지 감소 등 농업부문에 활발하게 이루어지고 있다. 염분을 함유하고 있는 토양의 염분 제거에 전기침투 이용 가능성을 조사한 바에 의하면 전기침투효과는 토양의 수분 함유정도에 따라 상당한 차이를 보였었고 굴삭작업에

* 농업기계화연구소

서는 굴삭기에 음(-)전극을 걸고 주위토양에 양(+)전극을 연결 함으로서 굴삭날에 수분을 유도하여 굴삭날의 토양관입저항을 감소시킬수 있었다고 보고하였으며 전기침투방법은 차 량의 바퀴에서 토양-바퀴간의 마찰력을 증가시키는 방법으로도 이용되어진다 (Hoenig and et al, 1993).

경운작업에서 전기침투의 이용은 쟁기의 토양 접촉부위에 수분을 유인시켜 마찰 손실을 줄임 으로서 마찰과 견인력을 감소시키는 방법으로서 보고된 바에 의하면 약 10%의 견인에너지를 감소시킬 수 있었으며 견인력 감소는 토양의 특성, 함수율, 경운속도와 밀접한 관계가 있었다고 하였다(Hoenig and et al, 1993). 근래에 유럽 또는 미국에서는 토양의 중금속제거 또는 차단연구에 전기침투를 이용하는 몇개의 프로젝트가 진행중 이다.

고함수 농산폐기물처리에서 전기침투의 이용 은 Lightfoot와 Raghavan(1994)이 해초의 일종 인 kelp의 건조작업시 전처리단계의 탈수처리에 압착과 병행하여 그 효과를 분석한 바 있다. 그 들은 프레스 압축시 전기침투의 도입은 ash와 carbohydrates양을 상당히 감소시켰고 대신 단 백질, 지방 및 uronic acids는 증가시킬 수 있었고 탈수작업이 가열건조작업전에 수행되어진다면 dried kelp의 생산비용을 매우 낮출 수 있었다고 보고하였다. 김 등(1994)의 압축탈수작업에 대 한 시험에 의하면 최고탈수율은 52%로서 압력 27.73MPa에서 발생하였고 배추의 탈수율은 압 력 20MPa 이하에서는 급격한 증가를 보였지만 20MPa 이상에서는 탈수율 증가가 뚜렷하지 못 했다고 보고했으며 탈수율과 압력과의 관계는 로그함수적으로 변화하였고 압축탈수의 문제점 으로는 탈수액에는 약 3%의 배추고형물이 포함 되어 있어서 폐기할 경우 별도의 정화처리방법 이 필요하고, 압력이 높을 수록 탈수액의 혼탁정 도가 심하다고 하였다. 사실 압축력만으로 식물 체를 효과적으로 탈수한다는 것은 한계가 있다 고 사료된다. 이는 압축이 너무 과대하면 식물체 는 대부분 파괴되어 스크린을 아무리 미세한 것

으로 사용하더라도 좁으로 같이 배출되어 버리 거나 스크린을 막아버려 스크린의 성능을 저하 시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 전기침 투를 병행한 탈수방법들이 여러 고액혼합체를 대상으로 시험되었다(Yoshida(1993), Lockhart (1992), Orsat and et al(1993), Lighfoot and et al.(1994)).

현재 채소쓰레기 등 고함수 농산폐기물은 대 부분 매립지에 폐기되고 있는 실정이다. 그러나, 매립처리를 위한 매립지의 확보는 점차 어려워 지고 있는 상황이며 또 주위환경을 오염시키고 있다. 한편 고함수 농산폐기물의 건조이용방법 은 지극히 비경제적 방법으로 사료된다. 그러나, 건조전 전처리에 효과적인 물리적 탈수처리방법 이 도입된다면 고함수 농산폐기물의 이용은 보 다 경제적이 될 수 있을 것이다. Fig. 1.은 고함 수 농산폐기물의 처리과정을 표시하였다.

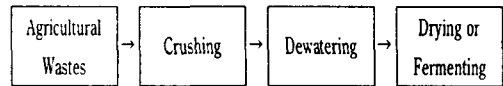


Fig 1. Schematic diagram of agricultural wastes treatment process.

이제까지 고함수 농산폐기물은 경제적 가치가 극히 미약한 관계로 그냥 방치되어온 상태지만 자원의 재활용 또는 환경오염에 대한 관심이 점 차 높아 가고 있는 이 시점에서 다소 처리비용이 소요되더라도 체계적 처리방법의 필요성이 점차 대두되고 있는 실정이다. 이에 본연구에서 고함 수 농산폐기물의 생력 저에너지탈수 처리방법을 개발하기 위해 압력과 전기침투를 동시에 이용 하여 그 효과를 검토하고자 한다.

2. 전기침투탈수 원리

전기침투(electro-osmosis)는 고액혼합체의 상하에 전기를 공급함으로써 액체가 이동하는 현상이다. 탈수작업에서 전기침투의 응용은 19 00년에 체코에서 처음 시도되었다. 체코에서의 전기침투 탈수방법은 롤러프레스에 진공(va-

cuum)과 전기장을 동시에 공급하는 시스템으로 peat와 clay를 탈수하고자 하였다. 고액혼합체에 DC 전압으로 대전시키면 Fig. 2.에서 보는 바와 같은 입자의 안팎에서 전기화학적 이중층(electrochemical double layer)이 형성된다.

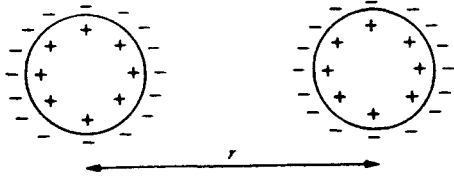


Fig 2. Double layer on two particles.

만일 두개의 인접한 입자가 이러한 이중층을 형성하지 않는다면 van der Waals의 힘에 의해 두개의 입자는 한개의 입자로 합쳐질 것이다. 그러나, 입자 주위에 전기장이 형성된다면 전기화학적 이중층이 형성되어 인접 입자는 서로 밀어 내려는 반발력이 존재하여 어떤 거리를 두고서 존재하게 된다. 따라서, 고액혼합체의 상하에 양(+), 음(-)전극을 걸어주면 입자는 고정상태(immobile phase)가 되고 입자 사이로 물의 이동을 야기시키는 전기침투 유동현상이 발생하며 이 때 물의 이동속도는 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다.

$$U_{eo} = \epsilon \xi E / \mu \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, U_x = the convective liquid velocity from electroosmosis
- ϵ = the permittivity of the solution
- μ = the viscosity of the solution
- ξ = the zeta potential of the surface
- E = the applied electric field strength

ξ potential은 전단면과 액체 사이의 포텐셜 차이로서 음극으로 대전된 전단면에서 멀어질수록 ξ potential은 작게 나타난다. 식 (1)에서 전기장 내에서 액체의 대류속도는 ξ potential 과 전기

장의 세기에 비례한다는 것을 알 수 있으며 ξ potential과 전기장의 세기는 액체가 함유하고 있는 이온농도와 pH에 따라 변화한다. 전기침투에 의한 고액혼합체 내의 전기화학적 현상은 Vijh (1995) 와 Castellan(1983)에 자세히 기술되어 있다.

3. 재료 및 방법

가. 탈수시험장치 및 시험방법

시험장치는 Fig. 2에 표시된 바와 같이 피스톤-실린더, DC 전원공급장치 및 하중으로 구성되었다. 전하가 슬러지만을 통하여 이동되게 하기 위해 실린더의 재질은 절연체(MC 파이프)로 제작하였다. 피스톤의 지름은 80mm이고 바닥부분에 두께 7.6mm의 황동판을 부착하였으며 실린더 하단부분에 같은 크기의 황동원판을 부착하였다. 실린더 내에는 지름이 10mm 이하 되는 절단된 배추를 투입하고서 전기를 침투시키기 위해 피스톤의 황동부분에 양(+)전극, 실린더 황동부분에 음(-)전극을 걸어주어 실린더 내의 물질이 대전되도록 하였으며 피스톤 상면에 하중을 놓고서 압축시켰다. 전압은 DC 전원공급장치(정우전자산업, 30volts, 10Amperes, 모델 JRP-3010A)로 공급하였으며 압축은 10kg 짜리 하중을 정해진 압력수준에 맞추어 사용하였다. 이때 전압과 하중은 탈수과정 동안 항상 일정하도록 하였으며 시험시작후 10분이 경과한 다음 전압과 하중을 제거하였다. 대전체를 통과하는 전류의 세기를 측정하기 위해 전류측정기를 직렬로 연결하였고 하중과 전압에 의해 발생하는 대전체의 두께를 측정하기 위해 디지털하이트메타(정밀도 0.01mm, Mitutoyo)을 사용하였다. 탈수액은 실린더 황동부분에 40개의 지름 3mm 짜리 구멍을 뚫어 밑으로 빠지도록 하였다. 탈수량은 시험전후의 시료의 증량차이로 계산하였으며 탈수율은 탈수량과 초기증량과의 비로서 100분율로 나타내었다. 또한, 탈수액이 함유하고 있는 고형물의 증량은 건조오븐에서 24시간 건조시켜

조사하였다.

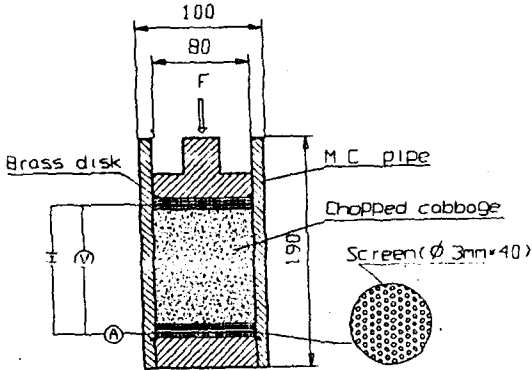


Fig. 3. Description of dewatering experimental set-up.

나. 시료

본 시험에 사용된 재료는 수확한 후 2-3일이 경과되었으며 절단과쇄된 배추(노랑봄배추)로서 크기는 지름 10mm 이하, 함수율은 습량기준으로 94%였다. 1회 시험에 사용된 시료량은 50g으로 손으로 쥐어 짜면 약간의 물이 추출될 정도였으며 하중 49N에서 시료두께는 13mm, 산물밀도 796Kg/m³으로 나타났다.

다. 실험설계

전기침투 및 압축의 효과를 시험하기 위해 3수준의 압력과 3수준의 직류전압을 정하여 9개 처리에 대하여 2반복 시험을 하였다. Table 1은 실험요인과 수준을 표시한다. 본 시험에 사용한 직류전원장치는 최대전압이 30V로 전압의 범위는 최대 30V로 한정되었다.

Table 1. Experimental variables and their levels

Variables	Levels	No. of levels
Pressure (KPa)	9.75, 68.2, 126.7	3
Voltage (V)	0, 10, 30	3

4. 결과 및 고찰

가. 압력과 전기침투의 효과

Fig. 4와 5는 압력과 전압수준에 따른 탈수율의 차이를 나타내고 있다. 전체적으로 압축과 전기침투방법을 병행한 처리방법이 압축만의 처리방법보다 우수했으며 탈수율차이는 최고 72%로 처리 30V 68.2KPa와 처리 0V 68.2KPa 사이에서 발견되었다. Fig. 4에서 보면 탈수율은 전압이 증가할수록 명확하게 증가되었지만 9.75 KPa와 126.7KPa에서 0와 10V의 결과는 비슷하였다. 또, 10V 전압 정도로는 저압과 고압(9.75와 126.7KPa)에서 아무런 탈수효과가 나타나지 않았지만 반면 68.2 KPa에서는 전압의 효과가 확실하게 나타났다. 이는 압력이 너무 작거나 너무 커서 전기침투의 효과가 나타나지 않았기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 5에서 보면 압력이 증가할수록 탈수율 또한 증가되었지만 0V의 9.75과 68.2KPa, 30V의 68.2과 126.7KPa에서의 차이는 없는 것으로 보여진다. 이것은 전압의 효과 때문에 처리간의 압력차이가 나타나지 않았기 때문인 것으로 여겨진다. 따라서, 본 시험조건에서 적정전압과 압력은 각각 30V, 68.2KPa 정도라고 할 수 있겠다. 최고탈수율은 82%로 126.7 KPa, 30volts에서 발생했지만 68.2KPa, 30V에서의 탈수율 79.8%와 비교한 결과 처리간의 유의성은 인정되지 않았으며 최저탈수율은 8%로 9.75KPa, 0Volts에서 발생하였다. 이러한 결과는 김 등(1994)의 시험조건(초기압력 27.73MPa에서 탈수시간 60초)에서의 최고탈수율 52%와 비교해 보면 매우 양호한 결과임을 알 수 있다. 이것은 전압을 압력과 동시에 사용하였기에 얻은 결과라 사료된다. 탈수액 또한 전 시험에 걸쳐 상당히 맑은 액체로 고형물 포함정도는 1% 이하로 조사되었으며 김 등(1994)의 3%에 비하여 매우 낮았고 스크린으로 시료가 빠져나오는 현상은 관측되지 않았다. 탈수후 실린더에 남아 있던 배추의 형상은 처리 30volts, 126.7와 68.2 KPa에서 케이크 상태로 발견되었다. 전기침투

가 시험장치에 미친 영향은 피스톤의 황동판에 파란 녹으로 부식현상을 발견할 수 있었으며 이는 배추가 품고 있던 물이 전기분해로 인해 즉, $H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e + 1/2 O_2$ 로 되어 O_2 가 황동판과 결합되어 산화작용이 진행되었음을 알수 있었다. 그러나, 전압이 없는 처리 즉, 0 V에서는 이러한 현상을 발견하지 못했다.

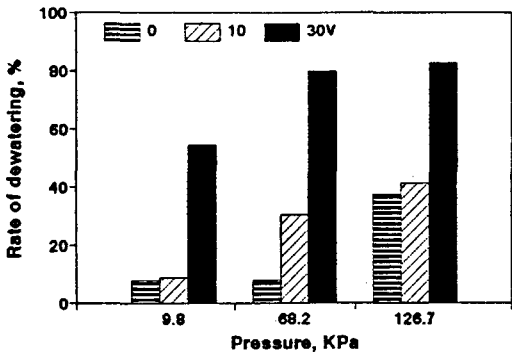


Fig 4. Dewatering rates of chinese cabbage in the three different pressure.

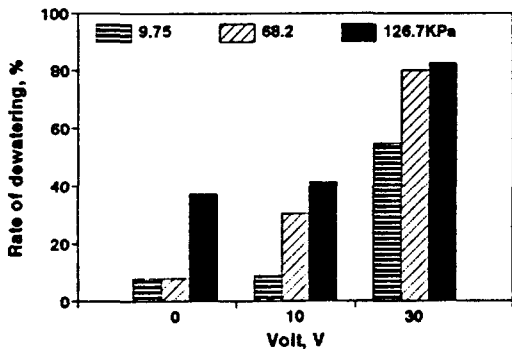


Fig 5. Dewatering rates of chinese cabbage in the different voltage.

나. 통계분석

압력과 전압이 탈수율에 미치는 영향을 규명하기 위해 다음과 같은 통계모형을 수립하여 SAS GLM 분석을 하였다 (Table 2).

$$(Y)_{ij} = (P)_i + (V)_j + (P \times V)_{ij} + E \quad \dots\dots(2)$$

where, (Y)_{ij}=dewatering rate, %

(P)_i=pressure, KPa

(V)_j=voltage, V

(P*V)_{ij}=pressure*voltage, interaction effect

E=errors from various sources

SAS PROC GLM 결과에 의하면 $R^2=0.995$, α 값 0.01에서 위 통계모형은 충분한 유의성이 있다고 나타났으며 전압과 압력 및 전압압력의 상호효과 요인이 탈수율에 미치는 영향도 α 값 0.01로 유의성 있게 나타났다.

Table 2. Statistical analysis of dewatering rate model, $(Y)_{ij} = (P)_i + (V)_j + (P*V)_{ij} + E$

Depen- variable : (Y) _{ij}					
dent					
Source	D.F.	S.S.	M.S.	F value	Pr>F
Model	8	13521.67	1690.21	236.78	0.0001
Error	9	64.24	7.13		
Corrected					
total	17	13585.92			
	R-sq	C.V.	Root MSE	(Y) _{ij} Mean	
	0.995	6.864	2.671	38.92	
Source	D.F.	Type I S.S.	M.S.	F value	Pr>F
P	2	2720.84	1360.42	190.58	0.0001
V	2	10294.21	5147.10	721.06	0.0001
P*V	4	506.63	126.65	17.74	0.0003

처리간의 유의성 검정을 위해 DUNCAN의 다중검정을 한 결과 α 값 0.05 수준에서 9.75KPa의 0, 10V 와 68.2 KPa의 0V 사이와 126.7KPa의 0과 10V 사이, 68.2 KPa 30V와 126.7KPa 30V 사이에서 처리간 유의성을 발견하지 못했다. 탈수율과 압력 및 전압사이의 관계를 살피기 위해 SAS PROC REG을 사용하여 회귀분석을 시도한 결과는 다음과 같다 (Table 3).

Table 3. Regression models between the de-watering rates (Y) and the pressures (P) and voltages (V) applied.

Model	a value	b value	c value	R-sq.
$Y=aP$	0.467			0.668
$Y=bV$		2.437		0.87
$Y=aP+bV$	0.230	1.809		0.92
$Y=aP+bV+C$	0.257	1.887	-3.805	0.934
$Y=a\text{Log}(P)+bV$	4.733	1.721		0.95
$Y=a\text{Log}(P)+bV+c(P*V)$	4.19	1.367	0.0064	0.963

Table 3의 회귀분석에서 전압은 R²가 0.87이고 압력은 0.668으로서 탈수율에 보다 영향을 미치는 요인은 전압이라는 것을 알 수 있었으며 이것은 Table 2에서 요인의 F 값, P=190.58, V=721.06을 비교함으로써 알 수 있었다. 또, 탈수율과 압력 및 전압사이의 관계를 가장 적합하게 나타낸 방정식은 압력의 로그값과 전압과 압력의 상호효과를 포함하는 $Y=4.19\text{Log}(P)+1.367V+0.0064(P*V)$ 로서 R²=0.963을 보이고 있다.

다. 전류의 세기

시험베드에서 탈수가 진행됨에 따라 전압크기와 수분의 함유정도에 따라 변하는 전류의 세기를 측정하였다(Fig. 6). 처리 10V에서의 탈수율은 8.1%~41.3%로서 30V에서의 탈수율, 54.3%~82.8%, 보다 낮았으며 이때 10V에서의 전류

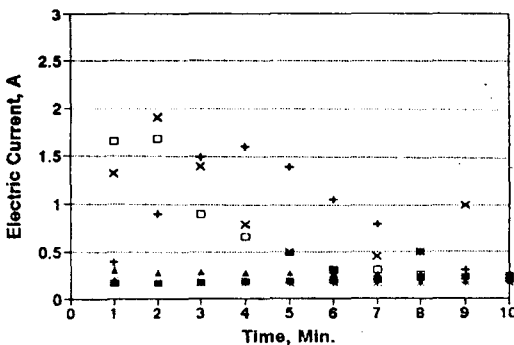


Fig 6. Changes of electric current in the different treatment.

의 세기는 전 시험구간에 걸쳐 0.2~0.3A 범위에 있었다. 이것은 0.2~0.3A 범위에서는 압력의 크고 작음에 관계없이 탈수가 원활히 진행되지 않는다는 것을 의미 한다고 하겠다. 반면, 30V에서의 전류는 압력에 따라 시차를 두고서 1.5A 정도까지 상승하였다. 이것은 적어도 시험베드 내를 통과하는 전류가 1.5A 정도가 되어야 탈수가 순조롭게 진행할 수 있다는 것을 의미한다.

라. 탈수에너지

각 처리의 탈수과정에서 소비된 에너지량을 계산하기 위해 다음과 같은 식으로 전기에너지 및 기계적에너지를 계산하였다 (Table 4).

$$We = fvidt \tag{3}$$

$$Wm = L \times D \tag{4}$$

We = Electrical energy, Joule

Wm = Mechanical energy, Joule

v = volts, i = Amperes, L = load, D = displacement, m, t = time, seconds

Table 4. Electrical and Mechanical Energy consumed in the different treatments

Pressure (KPa)	Voltage (Volts)	Current variation of (Ampere)	Displacement Bed Depth(m)	Electrical Energy (J)	Mechanical Energy (J)
9.75	0	0	0.96	0	0.047
68.2	0	0	1.02	0	0.349
126.7	0	0	1.2	0	0.764
9.75	10	0.16→0.24	2.48	2,980	0.121
68.2	10	0.15→0.2	5.15	2,730	1.766
126.7	10	0.21→0.3	5.47	2,570	3.487
9.75	30	0.2 →1.6	8.96	18,930	0.439
68.2	30	0.21→1.7	10.02	16,700	3.498
126.7	30	0.3 →4.9	10.25	13,250	6.529

Table 4를 보면 기계적에너지는 전기에너지에 비해 무시할 수 있을만큼 작다는 것을 알 수 있다. 기계적에너지는 압력차이에 따라 분명한 차이를 보였다. 전류의 변화는 저압력에서는 변동

폭이 고압력에 비해 상대적으로 적었고 안정되었지만 고압력에서는 변동폭이 매우 컸다. 이는 탈수가 진행됨에 따라 실린더 내 시료의 수분함유량이 급격히 감소되었기 때문이라고 사료된다. 그리고, 30V 및 10V에서 전기적에너지가 압력이 증가함에 따라 감소하는 현상은 탈수속도가 고압에서 빠르게 진행되어 시료가 함유하고 있는 수분이 감소되면서 전류값이 감소하기 때문인 것으로 사료된다. 결국 탈수율을 결정하는 결정적 요인은 적절한 압력에서의 전류의 세기이다. 그러나, 본 연구에서 전류를 일정하게 공급해 줄 수 있는 시스템을 구성하지 못했다. 이는 전류는 탈수시키고자 하는 물질의 저항에 따른 함수로 나타나기 때문이다. 이상의 탈수시험에서 가장 적합한 전기침투 탈수조건은 30V, 68.2 KPa에서 발생하였고 이때의 탈수율은 80%, 전류의 세기는 1A 부근인 것으로 나타났다. 또, 이러한 데이터에서 유추해 보건대 건조작업의 전 단계로 전기침투탈수방법을 사용한다면 에너지 사용량을 약 1/6수준으로 감소시킬 수 있을 것이다. 즉, 배추의 수분 1kg을 제거하는데 소요되는 에너지는 $417.5\text{KJ/Kg}(40\text{g의 물이 } 50\text{g의 배추 슬러지에서 제거, } (1,000\text{g}/40\text{g}) \times 16,700\text{J} = 417,500\text{J})$ 으로서 이상적 조건(열효율 100% 가정)에서 가열건조시의 에너지($1\text{kg의 물} \times 2,268\text{KJ/Kg}(100^\circ\text{C에서의 증발열}) + 4.2\text{KJ/Kg} \cdot \text{K} \times 80^\circ(\text{상온 } 20^\circ\text{C에서 } 100^\circ\text{C로 가열}) = 2604 \text{KJ/Kg}$), 2,604 KJ/Kg의 1/6이 소요됨을 알 수 있다.

4. 결론

고함수 농산폐기물의 탈수처리방법으로 전기침투압축탈수시험을 배추를 대상으로 실시하였다. 시험은 압력과 전압 각 3수준으로 하여 모두 9개의 처리를반복하였다. 시험장치는 피스톤-실린더로 이루어져 있으며 전기는 직류전원으로 최고 30 Volts, 압력은 최고 126.7KPa를 공급하였다. 시험결과에 의하면 압축과 전기침투방법을 병행한 처리방법이 압축만의 처리방법보다 우수했으며 탈수율 차이는 최고 72%로 처리 30

V 68.2KPa와 처리 0V 68.2KPa 사이에서 발견되었다. 그리고, 최고탈수율은 82%로 전압 30volts, 압력 126.7KPa에서 발생하였고 최저 탈수율은 8%로 0 volt, 9.75KPa에서 발생되었다. 시험범위 내에서 가장 적합한 탈수조건은 압력 68.2KPa, 전압 30V으로 나타났으며 탈수액의 고형물 함량은 1% 정도로서 비교적 투명했다. 전기침투탈수를 건조전 전처리단계로 이용한다면 대폭적인 에너지 절감효과가 있으리라 사료된다. 현재 전기침투압축탈수방법의 실용화방안이 탈수기 전문제조업체와 협의 중이다.

참고문헌

1. 김 영중, 이동현, 이용범. 1994. 배추의 압축탈수특성에 관한 연구. 한국농업기계학회지 제 19권 1호.
2. Castellan, G.W. 1983. Physical Chemistry. Third edition. Addison-Wesley Company, Inc. p : 432- 438.
3. Lockhart, N.C. 1992. Combined field dewatering : Bridging the science-industry gap. *Drying Technology*, 10(4) : 839-874
4. Lightfoot, D.G. and Raghavan G.S. 1994. Combined Fields Dewatering of Seaweed (*Nereocytis Luetkeana*). *Transactions of the ASAE* 37(3) : 899-906.
5. Hoenig, S.A., D.L. Larson and H.C. Clyma. 1993. Current Interest. *Agricultural Engineering*, July. p : 20-21.
6. Orsat, V., G.S.V. Raghavan and E.R. Norris. 1993. Food Processing Waste Dewatering By Electro-Osmosis. An ASAE Meeting Presentation, Paper No. 936556. ASAE. St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
7. Yoshida, H and Yasuda. 1992. Analysis of pressurized electro-osmotic dewatering of semi-solid sludge. In : *Drying'92* (A.S. Mujumdar, ed). Elsevier Science Publishers. p : 1814-1821.

8. Vijn, A.K. 1995. Electrochemical aspects of electroosmotic dewatering of clay suspensions. *Drying Technology*, 13(1&2) : 215-224.