

천일염 자동화 공정설계를 위한 물리적특성 분석

*, **, *, ***

Physical Properties Analysis for Automated Process Design of Solar Salts

Hoon Kim*, Woong Kim**, Hyo-Jae Lee*, Jae-Woong Han***

요약 본 논문은 천일염의 기계화·자동화 생산모델 설계에 필요한 입자크기, 산물밀도, 마찰계수 및 안식각 등 설계인자를 구명하기 위하여 천일염의 함수율 5수준(16.5, 13.2, 8.2, 4.9 및 3.7%, w.b.)에서 실험을 수행하였다. 입자크기는 함수율 3.7%에서 1.98mm이었으며, 함수율 8.2%까지는 감소하는 경향이었고, 이후는 다시 증가하는 경향이였다. 산물밀도는 함수율 3.7%에서 643.5~675.3kg/m³이었으며, 이후 급격히 증가하여 함수율 4.9 및 8.2%에서 672.3~702.8 및 705.4~723.1kg/m³으로 나타났다. 산물밀도는 함수율이 증가할수록 증가하는 경향이였으며, 입자의 크기보다는 함수율의 영향이 크게 나타났다. 정지마찰계수의 측정된 결과 재질에 따라 스테인레스에서 0.76~1.04로 가장 높게 나타났고, ABS수지, 아크릴 순으로 낮게 나타났다. 정안식각 측정은 함수율 8.2% 이하에서 거동이 발생하였으며, 함수율이 증가함에 따라 배출 안식각은 증가하고 퇴적 안식각은 감소하는 것으로 나타났다.

Abstract In this paper, the particle size, bulk density, friction coefficient and angle of repose were measured for the automatic processing of solar salt, which was classified with 5 levels of moisture content (16.5, 13.2, 8.2, 4.9, 3.7%). Average diameter was 1.98~1.60mm according to moisture content, and bulk density increased with increasing moisture content. As a result of measuring the coefficient of dynamic friction, the maximum value was shown in the stainless steel plate according to the material, and ABS plate and acrylic plate were lower in the order. Movement occurred at the moisture content of 8.2% or less, and the empty angle of repose was increased and the filling angle of repose was decreased as the moisture content increased.

Key words : Bulk density, particle size, physical properties, repose angle, solar salt

1.

소금은 사람이 생명을 유지하기 위한 주요 물질 중에 하나이며, 주로 음식과 함께 섭취 한다[1]. 식용 소금으로는 오래전부터 간수를 제거한 암염, 정제염 및 재제염 등을 주로 소비해 왔다. 천일염은 바닷물을 이용하여 증발지에서 염도가 높은 염수를 제조 후 결정지에서 햇볕과 바람을 이용하여 결정 및 채렵하여 생산된다. 국내 천일염의

생산량은 계속적으로 증가하고 있어 2013년에 32만톤이 생산되었다[2]. 그러나 우리나라는 지난 45년간 천일염이 광물로 취급되어 식품으로써 필요한 생산설비, 운영기술 및 표준모델 등 생산 및 공정에 대한 기술이 발전하지 못하였다[2]. 특히, 최근에 식품에 대한 안전성이 사회적으로 큰 문제로 제기되면서 국내에서도 안전한 천일염 생산을 위해 자동화 설비도입과 ICT 기반의 생산품질이력 모

This study was supported by grant 20130290 to the Solar Salt Research Center of Mokpo, National University, from the Ministry of Oceans and Fisheries and Main Research Program(E0187302) of the Korea Food Research Institute(KFRI) funded by the Ministry of Science and ICT, Korea.

*Division of food safety, distribution and standard, Korea Food Research Institute

**Major in Bio-Mechanical Engineering, Kongju National University

***Corresponding Author : Major in Bio-Mechanical Engineering, Kongju National University(hanwoong@kongju.ac.kr)

Received August 01, 2018

Revised August 06, 2018

Accepted August 16, 2018

텔의 개발이 진행되고 있다. 식품은 상품성을 높이고, 안전한 유통을 위해서는 생산, 가공, 선별, 저장, 포장 및 품질관리 등 매우 다양한 공정이 필요하다. 이러한 식품제조공정에 적합한 설비를 설계하기 위해서는 재료의 크기, 무게, 형상, 표면적, 밀도, 마찰계수 및 안식각 등 물리적 특성이 매우 중요한 설계인자이다[3,4,5,6].

천일염의 기계화·자동화 생산이 가능한 공정설계를 위해서는 함수율, 입자크기, 산물밀도, 정지마찰계수 및 안식각 등이 중요한 설계인자이다[7,8,9]. 천일염의 입자크기는 정상 천일염과 이물질들을 기계적 또는 광학적으로 선별하기 위한 선별인자이며, 산물밀도는 이송, 저장 및 포장 공정 등을 구성하는 설비에 필요한 설계인자이다. 또한 마찰특성에는 정지한 물질을 움직이게 하는 힘의 정도인 정지마찰계수 및 입상 재료간의 움직이게 하는 힘의 정도인 안식각 등이 있다. 정지마찰계수와 안식각은 자동화를 위한 이송 및 저장시설의 중요한 설계인자이다. 천일염에 대한 연구는 주로 구성성분, 성분과 인체의 유해성에 관한 연구가 대부분이며, 기계화·자동화 생산과 이를 위한 기초연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내산 천일염의 함수율에 따른 입자크기, 산물밀도, 정지마찰계수 및 정안식각 등 물리적 특성을 분석하여 천일염 기계화·자동화 모델 설계에 필요한 설계인자를 제공하는데 목적이 있다.

2.

2.1

전남 신안지역에서 생산된 천일염을 1년간 상온상태의 음지에서 보관하여 간수를 제거하였다. 시료의 초기함수율은 16.5%, w.b.(이하 %)이었으며, 55℃이하에서 열풍 건조기(INBD-1505, Hansung, Korea)를 이용하여 함수율을 16.5, 13.2, 8.2, 4.9 및 3.7% 등 5수준으로 조절하여 공시하였다.

2.2

함수율은 재료의 전체중량에 대한 수분중량의 비로 나타내는 습량기준 함수율을 사용하였다. 135℃의 건조오븐(HK-DO135F, Hankuk S&I Co., Korea)에 시료 5g을 4시간 건조하여 전자저울(GF-6000, AND, Japan)을

이용하여 무게를 측정하고, 식(1)을 사용하여 계산하였다 [10].

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d} \dots\dots\dots (1)$$

M_w : wet-basis moisture content(dec.)

W_w : Weight of water in the material

W_d : Weight of dry matter in the material

2.3

0.84~3.36mm 범위의 표준체(Testing sieve, Chunggye Ind. MFG. Co., Korea)를 이용하여 천일염 시료 100 g을 상단 체에 투입한 후 로탑체진동기(RX-29, Tyler, Taiwan)를 이용하여 5분간 진동 후 각각의 체위에 남은 중량을 측정하였으며, 3회 반복 측정하였다.

2.4

산물밀도는 미국농무성(USDA) 방법으로 그림 1의 산물밀도측정장치(Weight per bushel test apparatus, Seeburo Equipment Co., USA)를 이용하여 상부직경 240mm, 하부직경 32mm, 높이 140mm의 스테인레스제 질의 호퍼에 천일염을 채우고 하부에 있는 체적 1,000ml의 시료용기에 50mm로 자유 낙하시키고 균평 후 중량을 측정하였으며, 3회 반복 측정하였다. 시료용기의 체적을 시료용기에 담긴 천일염의 중량비로 계산하였다[10,11].

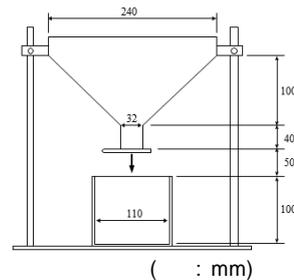


Fig. 1. Apparatus for bulk density(unit: mm)

2.5

정지마찰계수는 접촉면의 면적, 미끄럼속도 및 압력과 무관하고 접촉면의 성질과 관계가 있다. 따라서, 0~70° 범위에서 1°단위로 조절이 가능한 측정장치에서 스테인

레스, 아크릴 및 ABS수지 등 3종 재질에서의 정지마찰계수를 측정하였다. 천일염 시료를 경사각 0°를 유지하는 3종 재질의 시료대(220×220mm)에 각각 올려놓고 경사각을 높이면서 1/2정도 미끄러지는 순간의 마찰각을 측정하였으며, 3회 반복 측정하였다. 측정된 각을 식(2)와 같이 계산하였다[12].

$$(\mu_s) = \tan(\Phi) \dots\dots\dots (2)$$

where, Φ : friction angle(°)

2.6

정안각은 재료의 마찰로 인하여 퇴적층의 자유표면이 수평면과 이루는 각도로서, 천일염 시료를 스테인레스재질 시료상자(700×400×900, L×W×H, mm)에 채운 후 500mm 높이에서 자유 낙하시키면서 배출 및 퇴적층의 각도를 3회 반복 측정하였으며, 식(3)~(4)로 계산하였다[13].

$$\theta_s = \tan^{-1}\left(\frac{y}{s-x}\right) \dots\dots\dots (3)$$

where, x : The radial distance until the container side along the hole circumference created in the upper part of the sample pile, y : height of the sample sediment, s : radius from the edge of the discharge opening to the cylindrical wall.

$$\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{2H}{D}\right) \dots\dots\dots (4)$$

where, H : Height, D : diameter of the bottom surface of the sample sediment.

3.

3.1

표 1에서와 같이 천일염의 함수율 5수준에서 입자크기는 1.60~1.90mm로 나타났다. 함수율 3.7%에서 평균직경은 1.98mm이었으며, 함수율이 증가할수록 감소하여 함수율 8.2%에서 1.60mm로 나타났다. 이후 함수율이 증가하면서 입자직경은 증가하는 경향이였다. 함수율 8.2% 이하에서는 함수율이 낮을수록 입자직경이 크게 나타났는데 이는 입자가 큰 천일염이 건조과정에서 수분이동으로 2~3개의 입자로 파쇄되고 파쇄된 입자는 재결정되면서

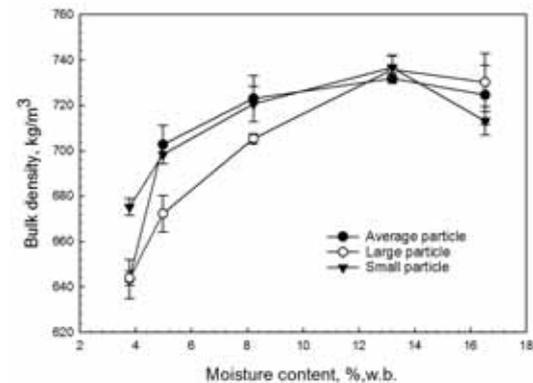
입자직경이 증가하였다. 생산과정에서 함수율이 일정하지 않은 천일염을 크기별로 상품을 구분하거나, 이물질 등과의 선별을 위해서는 선별체를 크기별로 3~4단계로 복수로 설치하는 것이 필요하였다.

1. Table 1. Moisture content the average particle size of the Solar salt particles

Moisture content(%)	Average particle size(mm)
16.5	1.90
13.2	1.80
8.2	1.60
4.9	1.77
3.7	1.98

3.2

그림 2에서와 같이 천일염의 함수율이 증가할수록 산물밀도는 증가하는 경향이였다. 함수율 3.7%에서 산물밀도는 643.5~675.3kg/m³ 이었으며, 이후 급격히 증가하여 함수율 4.9 및 8.2%에서 672.3~702.8 및 705.4~723.1 kg/m³으로 나타났다.

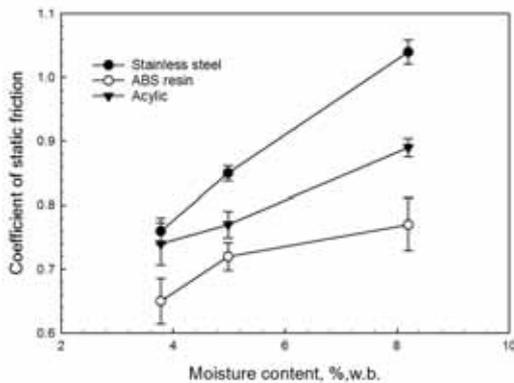


2. Fig. 2. The variations and prediction amount of Solar salt bulk density

이후로는 함수율이 증가하여도 완만하게 증가하는 경향이였다. 산물밀도는 입자간의 공극률에 따른 영향은 크지 않았으며, 함수율에 따른 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 함수율 8.2%까지는 재결정으로 인한 공극률의 증가로 인하여 산물밀도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

3.3

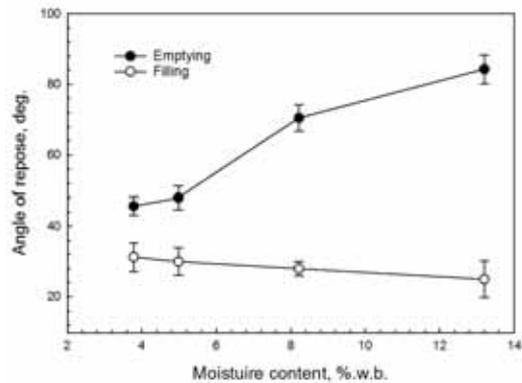
그림 3은 함수율 및 재질에 따른 정지마찰계수를 나타낸 것이다. 정지마찰계수는 함수율 3.7%에서 스테인레스는 0.76, 아크릴은 0.65, ABS수지는 0.74이었으며, 함수율 4.9%에서는 스테인레스는 0.85, 아크릴은 0.72, ABS수지는 0.77이었다. 또한, 함수율 8.2%에서는 스테인레스는 0.65, 아크릴은 0.72, ABS수지는 0.89이었다. 함수율 8.2% 이상에서는 시료표면의 점착력이 크게 증가하여 측정이 불가능하였다. 따라서, 정지마찰계수는 함수율이 증가할수록 3종의 재질에서 모두 증가하는 경향이었고, 아크릴이 다른 2종에 비해 낮게 나타났다. 재료에 따라 천일염을 배출하거나 이송하는 공정에서는 최소 47° 이상의 기울기가 필요하였으며, 함수율 8.2% 이상의 천일염을 이송할 경우 자유낙하에 의한 이동보다는 스크류컨베이어나 진동을 이용한 기계적 이송이 필요하였다.



3. Fig. 3. The coefficient of static friction measurements of Solar salt

그림 4는 천일염의 함수율에 따른 정안식각을 나타낸 것이다. 배출 안식각은 함수율 3.7%에서 45.7°, 함수율 4.9%에서 48.0°, 함수율 8.2%에서 70.5°, 함수율 13.2%에서 84.3°로서 함수율이 증가할수록 증가하는 경향이였다. 퇴적 안식각은 함수율 3.7%에서 31.3°, 함수율 4.9%에서 30.0°, 함수율 8.2%에서 28.0°, 함수율 13.2%에서 25.0°로서 배출 안식각과는 다르게 함수율이 증가할수록 낮아지는 경향이였다. 또한, 배출에 비해 퇴적시 안식각이 낮게 나타났다. 함수율 13.2% 이상에서는 정지마찰계수의 측정과 유사하게 표면의

점착력 증가로 인해 측정이 불가능하였다. 일반적으로 곡물과 같은 재료에서는 배출시 안식각이 퇴적시 안식각보다 크게 나타나는데 천일염의 경우도 동일하게 나타났다. 천일염을 저장 및 배출할 경우 배출 안식각이 매우 높으므로 배출구의 각을 높게 하거나 진동을 주어 배출할 필요성이 있으며, 저장탱크의 배출각이 매우 크므로 균일한 배출을 위해서는 퇴적시 균분기를 이용하여 균평하게 퇴적하는 것이 필요하였다.



4. Fig. 4. Emptying angle of repose, filling angle of repose of Solar salt

4.

본 연구는 천일염의 기계화·자동화 생산모델 설계에 필요한 입자크기, 산물밀도, 정지마찰계수 및 안식각 등의 설계인자를 제공하기 위하여 천일염의 함수율별 5수준(3.7, 4.9, 8.2, 13.2, 16.5%)에서 실험을 수행하였다. 천일염의 평균직경은 함수율 3.7%에서 1.98mm이었으며, 함수율이 증가할수록 감소하여 함수율 8.2%에서 1.60mm로 나타났다. 이후 함수율이 증가하면서 입자직경은 증가하는 경향이였다. 함수율 8.2% 이하에서는 입자가 큰 천일염이 건조과정에서 수분이동으로 2~3개의 입자로 파쇄되고 파쇄된 입자는 재결정되면서 입자직경이 증가하였다. 생산과정에서 함수율이 일정하지 않은 천일염을 크기별로 상품을 구분하거나, 이물질 등과의 선별을 위해서는 선별체를 크기별로 3~4단계로 복수로 설치하는 것이 필요하였다. 산물밀도는 함수율이 증가할수록 증가하는 경향이였다. 함수율 3.7%에서 산물밀도는 643.5

~675.3kg/m³이었으며, 이후 급격히 증가하여 함수율 4.9 및 8.2%에서 672.3~702.8 및 705.4~723.1kg/m³으로 나타났다. 정지마찰계수는 스테인레스는 0.76~1.04로 가장 높게 나타났고 ABS수지는 0.74~0.89, 아크릴은 0.65~0.77 순으로 나타났다. 재료에 따라 천일염을 배출하거나 이송하는 공정에서는 최소 47° 이상의 기울기가 필요하였다. 배출 안식각은 함수율이 증가할수록 높아지는 경향이었고, 퇴적 안식각은 이와는 반대로 낮아지는 경향이였다. 또한, 배출에 비해 퇴적시 안식각이 낮게 나타났다. 천일염을 저장 및 배출할 경우 배출 안식각이 매우 높으므로 배출구의 각을 높게 하거나 진동을 주어 배출할 필요성이 있으며, 저장탱크의 배출각이 매우 크므로 균일한 배출을 위해서는 퇴적시 균분기를 이용하여 균평하게 퇴적하는 것이 필요하였다.

REFERENCE

- [1] S. E. Oh, "The Evaluation and Analysis of Characteristics according to Manufacturing Method of Pure Salt", PhD Diss., Hoseo graduate school of venture, Department of Health Venture, Seoul, Korea. 2012.
- [2] Published in November 2017 Statistical Yearbook of Maritime Affairs & Fisheries Publisher : Ministry Of Oceans and Fisheries, Republic of Korea Edi. tor. : Information Management Team Printed : Cree Communication. 2017.
- [3] J. H. Han, B. O. Choi, "Policy Issues of Sea Salt Industry", Research reports, Korea rural economic institute. 2010.
- [4] P. J. Lawton, "Coefficients of Friction between Cereal Grain and Various Silo wall Materials", Journal of Agricultural Engineering Research, 25, 1, pp. 75-86, 1980.
- [5] N. N. Mohsenin, "Physical Properties of Plant and Animal Materials, seconded", New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1986.
- [6] A. P. Milani, "Determination of the Stored Products Properties for Silo Pressures and Flow Design", PhD Diss., Engineering School of Sao Carlos, University of Sao Paulo, Sao Carlos, S P. Brazil, 1993.
- [7] E. M. Santalla, R. H. Macheroni, "Physical Properties of High Oleic Sunflower Seeds", Food Science and Technology International, 9, 6, p p. 435-442, 2003.
- [8] E. A. Baryeh, "Physical Properties of Millet", Journal of Food Engineering, 51, 1, pp. 39-46,

2001.

- [9] J. O. Ha, K. Y. Park, "Comparison of Mineral Contents and External Structure of Various Salts", Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 27, 3, pp. 413-418, 1998.
- [10] L. A. Duc, J. W. Han, S. J. Hong, H. S. Choi, Y. H. Kim, D. H. Keum, "Physical Properties of Rapeseed(I)", Journal of Biosystems Engineering, 33, 2, pp. 101-105, 2008.
- [11] S. H. Suthar, S. K. Das, "Some Physical Properties of Karingda Seeds", Agricultural Engineering Research, 65, 1, pp. 15-22, 1996.
- [12] M. S. Kim, "Physical and Engineering Properties of Biological Materials", Munundang Publishers, Seoul, Korea, pp. 149-167, 2006.
- [13] S. J. Park, M. H. Kim, "Some Physical Properties of Chopped Rice Straw", Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, 23, 6, pp. 583-590, 1998.

(Hoon Kim)

[]



- 2004 2 : ()
- 2003 3 ~ :

< > , Simulation

(Woong Kim)



- 2003 8 : ()
- 2006 4 ~ :

< > ICT, Robot&Vision System

(Hyo-Jai Lee) []



- 2013 8 : ()
- 2010 4 ~ :

< > ICT, , u-RPC

(Jae Woong Han) []



- 2007 2 : ()
- 2010 3 ~ :

< > 가 ,