

고품질 천일염 생산공정의 실증연구

한재웅¹, 김훈², 김웅¹, 이효재^{1*}

¹공주대학교 생물산업공학부, ²한국식품연구원 소비안전연구단

Empirical Study of High Quality Solar Salt Production System

Jae Woong Han¹, Hoon Kim², Woong Kim², Hyo-Jai Lee^{1*}

¹Department of Bio-industry mechanical engineering, Kongju National University

²Research Group of Consumer Safety, Korea Food Research Institute

요약 본 연구는 고품질의 천일염을 생산하기 위한 제조공정의 실증연구를 위해 수행되었다. 이전의 연구에서 구명한 제조공정 설계기준을 실제 천일염 제조시스템에 적용하여 그 성능을 평가하였다. 본 연구에 적용된 설계인자는 건조열풍 온도와 세정수의 온도이였으며, 설계기준은 각각 100 ℃이하, 10 ℃이하이였다. 공정의 성능평가기준은 천일염의 국제 식품기준 (I)(염도 95 %이상, 수분 4 %이하)과 고품질 천일염제조를 위한 품질기준 (II)(염도 97 %이상, 수분 2 %이하)의 두 가지를 적용하였다. 주요 품질평가 항목은 수분, 염도이였으며, color 특성도 측정하였다. Color 특성은 L*, a*, b* 값과 백도를 측정하였고, 측정결과는 $p < 0.05$ 수준에서 유의하였다. 천일염의 제조공정은 총 5단계(원료, 건조 전, 건조 후, 냉각 후, 최종제품)로 구분되며, 각 공정별로 품질의 변화를 측정하였다. 측정된 품질은 3단계 공정부터 국제품질기준 (I)을 만족하였다. 또한, 품질측정 결과는 4단계 공정부터는 고품질 천일염 제조기준 (II)을 만족하였다. 따라서 이러한 결과는 제시된 천일염 제조시스템의 성능이 적합한 것으로 나타내었다. 또한, 향후에 높은 수준의 제조기준을 적용한 고품질 천일염 제조기술을 통해서 국제 시장에서의 품질 경쟁력을 확보할 것으로 기대된다.

Abstract This study was conducted to demonstrate the manufacturing process for producing high-quality solar salt. The design criteria of the manufacturing process, which was studied in a previous study, was applied to an actual manufacturing system to evaluate its performance. The design factors applied were the drying air temperature and the temperature of the washing water. They were 100°C or less and 10°C or less, respectively. Two standards were applied to the process performance evaluation. Standard (I) was the international food standard for solar salt, and standard (II) was the quality standard for high-quality solar salt production. The main quality evaluation items were the moisture content and salinity, and the color characteristics were also measured ($p < 0.05$). The manufacturing process of solar salt consisted of five steps, and the quality change was measured for each step. The measured quality was appropriate to the standard (I) from the third-step process. In addition, the quality of the high-quality solar salt was suitable for the standard (II) from the fourth-step process. Therefore, the performance of the proposed solar salt production process met international standards. The improvements in the production of high-quality solar salt will improve international competitiveness in the future.

Keywords : Salinity, Moisture Content, Design Criteria, High Quality, Demonstrate System

본 논문은 공주대학교 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyo-Jai Lee(Kongju National Univ.)

email: leehjai@kongju.ac.kr

Received July 17, 2020

Revised August 28, 2020

Accepted September 4, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

천일염은 해수를 저류지로 유입하여 자연을 이용하여 건조한 후 얻은 소금을 말한다[1]. 이러한 천일염은 다양한 미네랄 조성을 가지고 있고, 영양의 균형적 측면에서 중요성이 재인식되고 있다[8]. 국내에서 제조 판매되는 소금은 크게 천일염과 정제염으로 나누어지고, 정제염은 기계염과 가공염으로 분류된다[2]. 식염으로써 천일염의 국제식품(CODEX)규격은 염도 기준은 95 % 이상, 수분은 4 %이하로써, 식염으로 제조하기 위해서는 기준에 적합한 제조공정을 구성해야 한다[4]. 천일염의 일반적인 제조공정은 간수가 제거된 원염의 반입공정, 이물질질을 제거하기 위한 세정공정, 세정 후 탈수공정, 건조공정 등으로 구성된다[10]. 각 제조공정 중 특히 세정공정과 건조공정의 조건에 따라 생산되는 천일염의 품질이 달라지게 된다. 세정공정의 경우, 천일염 표면에 붙어 있는 불용분이나 사분과 같은 불순물을 제거하기 위해서 대부분의 국내산 소금은 물로 세척하여 오염물질을 제거하고 있다[3]. 이때 천일염의 수율 손실이 발생한다[6]. 한 등(2019)은 이러한 손실을 방지하기 위해서 다양한 세정수의 온도조건에서의 실험을 수행하였으며, 세정수의 최적 온도조건은 약 10 ℃라는 연구결과를 발표하였다[9].

또한, 건조온도에 따라서 건조 중 유해물질이 발생한다고 보고하였고, 특히 고온에서 건조하는 경우, 중금속, 이산화황(SO₂)과 환경호르몬이 발생한다고 보고되고 있다[3]. 일부 연구결과에서는 건조온도가 100 ℃이하의 온도를 이용하는 것이 효율적인 건조방법이라고 보고하였다[2].

이러한 연구결과들은 실험실 스케일의 연구결과로써 실증연구를 통한 검증이 필요하다. 수율의 손실을 최소화하고, 불순물을 빠르게 제거할 수 있다면, 소금의 품질 향상과 제조시간의 단축으로 가격 경쟁력 향상에도 큰 도움이 될 것이다[6].

본 연구는 국제규격에 맞는 안전한 천일염을 제조하기 위한 제조공정의 실증연구를 수행하였다. 세정조건과 건조조건을 연구결과를 실제 천일염 제조공정에 적용하여 공정별 품질변화를 측정하였고, 국제 품질기준과 비교하여 제조공정조건에 성능을 분석하였다.

2. 본론

2.1 재료 및 방법

2.1.1 시료 샘플링

공정별 천일염 시료를 채취하기 위해서 본 연구진은 전라남도 신안군에 위치한 천일염 제조공장을 직접 방문하였다. 그리고 각 공정별 샘플을 채취한 후 실험실에서 품질기준인 염도, 수분, color 특성을 측정하였다.

천일염 샘플링 위치는 세정 전 원료염(#1), 세정 후 건조 전(#2), 건조 후(#3), 냉각 후(#4), 최종제품(#5)으로 총 5단계에서 샘플을 채취하였다.(Fig. 1) 시료는 시료 균분기(Boerner divider, Burrows, USA)를 사용하여 3회 반복 분배하여 준비하였다.

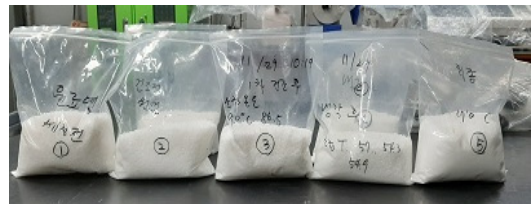


Fig. 1. Samples form 5 steps of production system.

2.1.2 건조 온도 측정

건조공정에서의 천일염의 표면온도는 적외선 온도 측정기(805i, Testo, Germany)를 이용하여 측정하였고, 측정 위치는 건조기 내부의 가열중인 천일염 표면과 샘플링한 천일염의 표면온도를 측정하였다. 냉각공정 이후의 시료도 샘플링하여 표면온도를 측정하였다.(Fig. 2)



Fig. 2. Measuring temperature of the dried solar salt.

외기온도는 무선온습도계(176P1, Testo, Germany)를 이용하여 측정하였고, 천일염 건조기의 표면온도 및 내부온도를 측정하기 위해서 열화상 카메라(868, Testo, Germany)를 사용하였다.

2.1.3 천일염 수분 측정

천일염의 수분함량 측정은 오븐법 135 ℃ - 4시간- 5

g법을 이용하여 측정하였다[7]. 수분은 세정처리한 천일염을 드라이오븐(SACO-30-1, San-Cheon Tech-Ind. Co., Korea)을 이용하여 135 ℃에서 4시간 건조한 후 데시게이터에서 약 30분 동안 항량한 다음 건조 전후의 무게를 측정하여 아래의 Eq. (1)을 이용하여 환산하였다.

$$MC = (b - c) / (b - a) \times 100 \quad (1)$$

Where, MC : moisture content (%)

a : weight of tray (g)

b : denotes weight of tray with sample (g)

c : denotes constant weight of sample (g)

2.1.3 염도 측정

염도는 한국산업표준규격 천일염 품질기준 분석법과 식품의약품안전청 고시 제 2008-6호에 의거하여 염도계(PAL-ES2, ATAGO, Japan, Resolution; 0.1 %(3.0 to 10.0 %))를 이용하여 시료 1 mL을 넣어 측정하였으며, 산출된 함수율을 이용하여 소금에 남아있는 수분량을 환산한 후, 측정값과 계산 값을 비교하여 소금의 염도를 아래 식(2)~(7)과 같이 계산하였다[9].

$$SS = MS / CS \times 100 \quad (2)$$

$$WS = WW \times MC / 100 \quad (3)$$

$$WT = WD + WS \quad (4)$$

$$WSW = WS - WW \quad (5)$$

$$WTS = WT + WSW \quad (6)$$

$$CS = WSW / WTS \times 100 \quad (7)$$

Where, SS : salinity of salt (%)

MS : measured values of salinity (%)

CS : calculated value of salinity (%)

WW : weight of water from salt (g)

WS : weight of input salt (g)

MC : moisture content (%)

WT : weight of total water (g)

WD : weight of distilled water (g)

WSW : weight of salt removed water (g)

WTS : weight of total salt water (g)

2.1.4 Color 특성 측정

색도는 뚜껑이 있는 투명샬레(Φ×H, 25×12.5 mm)를 이용하여 시료를 넣은 후, 색차계(CR 200, Minolta, JAP)를 이용하여 L*(Lightness, black[0] to light[100]), a*(redness, red[60] to green[-60]), b*(yellowness,

yellow[60] to blue[-60]) 값을 측정하였고, 총 5회 측정하여 최대 및 최소 값을 제외한 후 나머지 값의 평균값을 사용하였다[8].

백도는 건조실험 후 소량을 채취하여 백도계(C-600, Kett, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 총 5회 측정하여, 최대 및 최소값을 제외한 후 나머지 값의 평균값을 사용하였다.

실험 분석 결과에 대한 통계처리는 SAS(Statistical Analysis System)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

2.2 실험결과

2.2.1 건조온도 및 샘플온도

천일염 건조장치 내부 열풍의 온도는 약 117 ℃로 측정되었으나, 채취한 샘플의 표면 온도는 약 86.5 ~ 90.0 ℃로 측정되었다. 이는 건조온도 조건인 100 ℃이하를 만족하는 조건으로 건조공정을 수행한 것이다. 냉각 후 샘플의 온도는 54.3 ~ 57.0 ℃까지 감소하였다. 이때 외기온도는 평균적으로 약 32.3 ~ 41.8 ℃의 범위를 나타내었다.

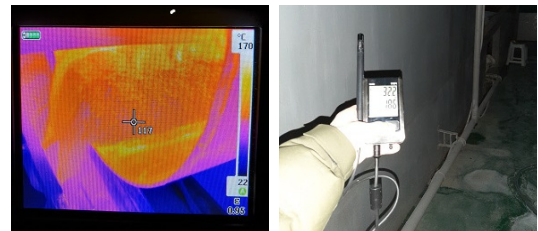


Fig. 3. Measuring temperature of the drying system (left: inside, right: outside).

2.2.2 공정별 수분변화

각 공정별로 채취한 샘플의 수분을 측정하였으며, 측정결과 수분은 공정이 지날수록 점점 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 초기 원료염(#1)의 수분은 평균 12.4 %이었고, 세정 및 탈수 후(#2)에는 6.8 %로 감소하였으며, 건조공정 후(#3)에는 2.1 %, 이후 냉각 후(#4)에는 1.4 %, 최종제품(#5) 수분은 약 2.0 %로 약간 증가하였다. 이는 냉각 시 감소한 수분이 이후 상온에서 흡습이 발생하여 약간 증가한 것으로 판단되었다. 이러한 수분 기준은 국제 품질 기준에 적합하였다.

2.2.3 공정별 염도변화

Fig. 5는 공정별 천일염의 염도 변화를 나타낸 것이다. 염도는 공정이 지날수록 점점 증가하는 경향을 나타내었다. 초기 원료염(#1)의 염도는 약 85.24 %이었고, 세정 및 탈수 후(#2)에는 93.58 %로 증가하였으며, 건조 공정(#3) 이후에는 95.47 %, 이후 냉각 후(#4)에는 103.03 %로 증가하였다. 최종제품(#5)의 염도는 다시 감소하여 98.15 %로 나타났다.

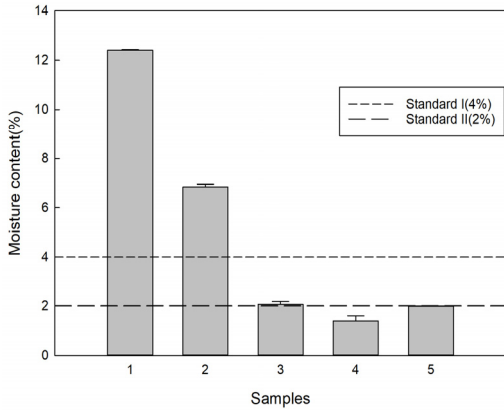


Fig. 4. Measured moisture contents of samples from each step.

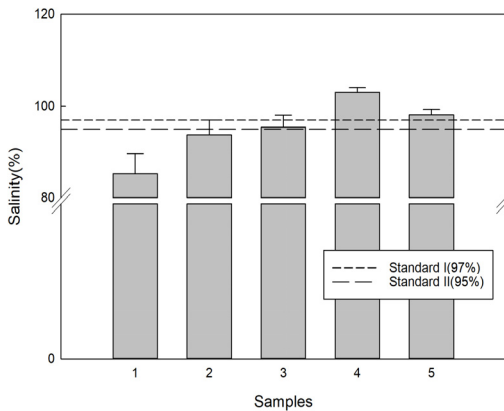


Fig. 5. Measured salinity of samples from each step.

냉각 시 염도가 증가하였으나, 최종제품으로 제조되는 과정에서 흡습이 발생하여 염도가 감소한 것을 알 수 있었다. 또한, 이러한 염도 기준은 국제 품질기준에 적합하였다.

2.2.4 공정별 Color 특성변화

Table 1은 공정별 천일염의 color 특성 중 색도의

변화를 나타낸 것이다. 색도 중 L*값은 초기에 66.54에서 점차 증가하여 82.05로 나타났고, a*값은 초기에 -0.42에서 증가하여 -0.23으로 측정되었다. b*값은 0.77에서 점차 증가하여 2.16으로 나타났다. 샘플별 각 칼라 특성은 p<0.05의 수준에서 유의성을 나타내었다. Fig. 7은 color 특성 중 백도의 변화를 나타낸 것이다. 백도값은 초기에 62.98에서 점차 증가하여 82.63으로 측정되어 더 하얀색에 가까워져 나타났다. 이러한 측정결과로 천일염의 명도와 백도가 증가하는 것을 알 수 있었고, b*값의 증가로 황색도가 증가한 것을 알 수 있었다.

Table 1. Values of L, a, b, and whiteness of solar salt from each step.

No.	Color properties ^{a1)}			
	L	a	b	whiteness
1	66.54 (±0.13)	-0.42 (±0.01)	0.77 (±0.13)	62.98 (±2.16)
2	73.14 (±0.81)	-0.42 (±0.03)	0.68 (±0.06)	70.21 (±0.34)
3	77.65 (±0.13)	-0.36 (±0.00)	1.48 (±0.01)	73.24 (±0.44)
4	78.77 (±0.42)	-0.34 (±0.06)	1.84 (±0.13)	74.33 (±1.62)
5	82.05 (±1.84)	-0.23 (±0.03)	2.16 (±0.11)	82.63 (±0.12)

^aSignificant at p<0.05.

¹⁾Mean (± Standard Deviation).

2.2.5 제조공정 실증평가

본 연구에서는 천일염 제조공장의 생산시스템을 생산 조건(건조온도 : 100 ℃ 이하, 세정수 온도 : 10 ℃이하)을 수정한 후 각 공정별 샘플을 채취하여 품질을 측정하였다. 측정된 품질정보와 국제 표준기준과 비교하여 실증평가를 수행하였다. 또한 본 연구에서 제시하는 고품질 천일염 제조를 위한 품질기준(II)(염도 97 %이상, 수분 2.0 %이하)에는 어느 정도 만족하는지에 대해서도 평가를 수행하여, 향후 국내의 고품질 천일염 제조공정의 가능성에 대해서 예측해 보았다(Table 2). 품질기준 (I)에 의한 성능 평가결과는 제조공정 #3 단계부터 기준에 만족하는 결과를 나타내었다. 품질기준 (II)에 의한 성능평가결과는 제조공정 #4 단계부터 만족하는 것으로 나타나 더 높은 품질기준을 적용하는 것이 충분히 가능한 것으로 판단되었다.

Table 2. Performance evaluation results of standard I and II.

No.	Quality factors	Measured value(%)	Performance evaluation results	
			St. I(%)	St. II(%)
1	SA	85.24	89.7	87.8
	MC	12.4	32.2	16.1
2	SA	93.58	98.5	96.4
	MC	6.8	58.8	29.4
3	SA	95.47	100	98.4
	MC	2.1	100	95.2
4	SA	103.03	100	100
	MC	1.4	100	100
5	SA	98.15	100	100
	MC	2.0	100	100

SA : Salinity(%), MC : Moisture content(%), St. : Standard.

3. 결론

천일염의 제조 공정의 실증평가를 위해서 각 공정별 (원료염 #1, 세정 후 건조 전 #2, 건조 후 #3, 냉각 후 #4, 최종제품 #5) 샘플을 채취하여 국제 품질기준에 적합한 정도를 분석하였다. 또한 고품질 천일염 제조를 위한 품질기준을 결정하여 이에 대한 적합도도 분석하였다. 주요 분석 항목은 염도, 수분, color 특성 등 이었다.

1. 건조공정 증 열풍의 최고온도 약 117 ℃이었고, 표면 온도는 86.5 ~ 90 ℃의 범위를 나타내었다.
2. 각 공정별 천일염의 수분은 점차 감소하는 경향을 나타내었으며, 초기 수분은 12.4 %이었고, 최종 수분은 2.0 %로 국제기준을 만족할 만한 수준이었다.
3. 염도는 초기 원료염에서는 평균 85.24 %이었고, 최종 제품에서는 98.15 %로 점차 증가하는 경향을 나타내었고, 수분과 마찬가지로 국제기준을 만족하였다.
4. Color 특성은 색도와 백도를 측정하였으며, 색도는 모든 값이 증가하였고, 백도도 증가하여 최종제품에서는 82.63으로 더 하얀색에 가깝게 나타났다.
5. 전술한 바와 같이 국제품질 기준에 적합하기에 대한 성능평가결과는 염도 95 %, 수분 4 %의 기준을 #3 단계 공정부터 만족하였고, 본 연구진이 설정한 고품질 천일염제조를 위한 기준인 염도 97 %, 수분 2 %는 #4 단계 공정부터 만족하는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 설정한 제조공정의 설계인자인

건조온도와 세정수의 온도조건을 적용한 결과, 국제 품질 기준을 만족하였다. 더욱이, 고품질 천일염 제조를 위한 높은 품질기준도 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 실제 제조공정의 설계에 반영하여 고품질 천일염의 제조를 실현하고, 이로 인한 국제적 경쟁력 확보가 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] S. H. Hwang, "A study on the heavy metal contents of common salts in Korea", *J Environmental Health Sci*, Vol.14, No.1, pp.73-86, 1988.
- [2] J. O. Ha, K. Y. Park, "Comparison of mineral contents and external structure of various salts", *J Korean Soc Food Sci Nutr*, Vol.27, No.3, pp.413-418, 1998.
- [3] E. J. Jo, D. H. Shin, "Study on the Chemical Compositions of Sun-dried, Refined, and Processed Salt Produced in Chonbuk Area", *J Food Hyg Saf*, Vol.13, No.4, pp.360-3643, 1998.
- [4] Codex Alimentarius Commission. Codex Standard: Standard for food grade salt. CX STAN 150-Amend. 2-2001. Codex Alimentarius Commission. Joint FAO/WHO Food Standards Program, Rome, 2001.
- [5] O. W. Kim, H. Kim, D. C. Kim, S. S. Kim, "Determination of whiteness condition for efficient Milling in rice processing complex", *J Biosystems Eng*, Vol.30, No.4, pp.242-248, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2005.30.4.242>
- [6] Y. K. Lee, S. D. Kim, "Recrystallization Characteristics of Solar Salt After Removing of Bittern and Impurities", *J Korean Soc Food Sci Nutr*, Vol.37, No.2, pp.203-209, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.3746/ikfn.2008.37.2.203>
- [7] H. Kim, J. W. Han, "Low temperature drying simulation of rough rice", *J Biosystems Eng*, Vol.34, No.5, pp.351-357, 2009.
- [8] J. H. Lee, H. K. Kim, I. C. Kim, "Physicochemical quality properties of mudflat solar salt and roasted salt", *J Korean Soc Food Sci Nutr*, Vol.43, No.7, pp. 1048-1054, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.3746/ikfn.2014.43.7.1048>
- [9] J. W. Han, W. Kim, J. Y. Maeng, H. J. Lee, "Cleaning properties of solar salt", Proceeding of the KSAM & ARCs Autumn conference, *Korea Soc Agri. Machi*, Vol.24, No.2, pp.112-112, 2019.
- [10] J. W. Han, W. Kim, H. J. Lee, "Feasibility of Applying Conductive Heat and Convective Heat to the Drying Process of Safe Solar Salt", *J Biosystems Eng*, Vol.44, No.4, pp.236-244, 2019.

한 재 웅(Jae Woong Han)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2010년 2월 : 성균관대학교 연구조교수
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 생물산업공학부 교수

<관심분야>

농산가공, 바이오에너지

이 효 재(Hyo-Jai Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 성균관대학교 대학원 바이오메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 충북대학교 대학원 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2020년 4월 ~ 현재: 공주대학교 생물산업공학부 (연구교수)

<관심분야>

스마트팜, ICT 융합기술, 농식품 가공시스템

김 훈(Hoon Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 성균관대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2003년 3월 : 성균관대학교 전임연구원
- 2010년 4월 ~ 현재 : 한국식품연구원 책임연구원

<관심분야>

식품 및 농산가공

김 웅(Woong Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 성균관대학교 생물기전공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 2006년 3월 : 성균관대학교 연구교수
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 생물산업공학부 교수

<관심분야>

농업시설자동화, 스마트팜, 농업용로봇