

국내 천일염의 무기질 균형지표 (Ca+K+Mg)/Na와 관리기준 제안

박선영 · 강정원[†] · 장요순 · 곽경윤 · 장 석

한국해양과학기술원

Mineral Balance Index (Ca+K+Mg)/Na of Domestic Solar Sea Salt and a Proposal for Management Criteria

Seonyoung Park · Jeongwon Kang[†] · Yo-Soon Jang · Kyeong Yoon Kwak · Seok Jang

Korea Institute of Ocean Science & Technology(KIOST)

(Received : 13 October 2025, Revised : 23 November 2025, Accepted : 23 November 2025)

요약

본 연구는 국내 천일염의 무기질 조성을 정량하고, 국내·외 시료 비교를 통해 해양치유자원 관리에 활용 가능한 무기질 균형지표((Ca+K+Mg)/Na)를 제안하였다. 국내 시료는 충남 태안, 전남 신안, 해남, 경기 안산 등에서 확보하였고, 일반 성분(NaCl, 수분), 무기질(Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn), 입도·표면구조를 분석하였다. 국내 천일염의 NaCl과 수분은 각각 평균 85.7%와 6.0%로 국내 품질기준을 충족하였다. 무기질 평균치는 Na(214,208 mg/kg) > Mg(7,010 mg/kg) > K(5,902 mg/kg) > Ca(1,283 mg/kg) > Fe(5.3 mg/kg) > Mn(1.8 mg/kg) 순이었고, Mg와 K는 국외 대비 각각 약 2.3배와 5.6배 높았다. 제안 지표인 (Ca+K+Mg)/Na는 국내에서 평균 4.6%로, 국외(평균 1.6%) 대비 유의하게 높았다. ROC 분석에서 AUC=0.94, Youden 임계값 2.53%가 도출되었으며, 2.5%로 보수 조정해도 판별 성능이 유지되었다. Clopper-Pearson 단측 95% 하한은 74%로, 기준의 보수적 신뢰성을 지지한다. 이에 (Ca+K+Mg)/Na 비율 2.5% 이상을 국내 천일염의 관리 기준(제안)으로 제시하며, 본 결과는 국내 천일염의 무기질 균형 우수성과 해양치유자원의 가능성을 뒷받침한다.

핵심용어 : 천일염, 무기질 조성, 기능-지표 성분, 해양치유자원, 관리기준

Abstract

This study quantifies the mineral composition of Korean solar sea salt and, through comparison with overseas products, proposes a mineral balance index ((Ca+K+Mg)/Na) for use in managing marine therapeutic resources. Domestic samples were collected from multiple production areas (Taean, Shinan, Haenam, and Ansan), and analyzed for principal constituents (NaCl, Water content), minerals (Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn), and grain-size/surface morphology. Mean NaCl and moisture contents of Korean sea salt were 85.7% and 6.0%, respectively, satisfying domestic quality standards. Average mineral contents followed the order Na (214,208 mg/kg) > Mg (7,010 mg/kg) > K (5,902 mg/kg) > Ca (1,283 mg/kg) > Fe (5.3 mg/kg) > Mn (1.8 mg/kg); notably, Mg and K were approximately 2.3-fold and 5.6-fold higher than those of overseas sea salts, indicating greater mineral richness in the Korean products. The proposed index, (Ca+K+Mg)/Na, averaged 4.6% in domestic samples and was significantly higher than that of overseas salts (1.6%). Receiver operating characteristic (ROC) analysis yielded an AUC of 0.94 with a Youden-optimal threshold of 2.53%; adjusting this cut-off to 2.5% preserved equivalent discrimination. A one-sided 95% lower confidence bound by the Clopper-Pearson method was 74%, supporting the conservativeness of the threshold. Accordingly, we propose (Ca+K+Mg)/Na ≥ 2.5% as a management criterion for Korean solar sea salt, substantiating its favorable mineral balance and potential for resource utilization in marine healing applications.

Key words : Solar sea salt, Mineral composition, Functional and indicator ingredients, Marine Healing resources, Management standard

[†]To whom correspondence should be addressed.

Korea Institute of Ocean Science & Technology(KIOST), Busan, Korea

E-mail : jwkhang7@kiost.ac.kr

- Seonyoung Park Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, Korea/M.S.(herosy2@naver.com)
- Jeongwon Kang Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, Korea/Ph.D(jwkhang7@kiost.ac.kr)
- Yo-Soon Jang Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, Korea/Ph.D(jangys@kiost.ac.kr)
- Kyeong Yoon Kwak Korea Institute of Ocean Science & Technology, Geoje, Korea/M.S.(kky3827@kiost.ac.kr)
- Seok Jang Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan, Korea/Principal Research Specialist(sjang@kiost.ac.kr)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

해양치유는 바다의 다양한 자원과 환경을 활용하여 질병 예방과 건강 증진을 도모하는 활동으로, 최근 국내에서도 해양 분야의 신산업으로서 해양치유산업이 도입되어 정책적·산업적 활성화가 추진되고 있다. 삼면이 바다인 우리나라는 해수, 염지하수, 머드, 피트, 천일염(소금), 해양생물, 해풍 및 경관 등 해양치유에 활용 가능한 다양한 자원을 풍부하게 보유하고 있으며, 이들 자원은 식품, 화장품, 관광, 치유 프로그램 등 다양한 산업 분야에서 활용될 잠재력을 지니고 있다(Lee et al., 2019; Kim et al., 2019). 최근 천연자원 기반 소재에 대한 사회적 수요가 증가하면서 해양치유자원의 가치가 더욱 주목받고 있으며, 특히 세계 5대 갯벌 중 하나인 서해안을 중심으로 대규모로 생산되고 있는 국내 천일염은 독특한 성분적 특성으로 인해 해양치유자원으로서 잠재력이 크다.

천일염은 염전에서 해수를 햇볕과 바람에 의해 자연 증발시켜 얻은 NaCl을 주성분으로 하는 결정체를 의미하며, 염전에 사용한 바닥소재에 따라 일반적으로 장판염, 토판염 그리고 타일염으로 구분된다(Jin et al., 2013). 장판염은 가소성 소재를 이용한 장판을 바닥으로 사용하며, 토판염은 갯벌을 단단하게 다져서 만든 바닥 위에서 생산된다. 타일이나 옹기 등을 바닥재로 사용한 경우에는 타일염으로 분류된다. 최근에는 미세플라스틱 등 오염물질의 영향을 최소화하고 기상 조건과 무관하게 생산 가능한 스마트 염전 시스템도 개발되었다(Kim and Han, 2022).

이러한 천일염은 NaCl 이외에도 Mg, K, Ca 등 다양한 무기질을 함유하고 있으며, 신경 및 근육 수축성 유지, 신진 대사 촉진, 체내 삼투압 조절, 산-알칼리 균형 등 인체의 생리기능에 중요한 역할을 한다(Ha and Park, 1998; Park et al., 2000; Heo et al., 2005; Jeong et al., 2009; Kim and Han, 2022). 또한 혈압조절(Lee et al., 2017), 항비만, 지질 대사 개선(Park et al., 2020), 호흡기 감염 증상 완화(Jiang et al., 2021) 등의 효과도 보고되었다.

국외에서는 천일염이 다양한 산업 분야에서 활용되고 있으며, 대표적으로 프랑스 게랑드 소금과 이스라엘 사해 소금이 있다. 프랑스 게랑드 소금은 전통적인 생산방식과 높은 미네랄 함량으로 유명하며, 스파와 테라피 프로그램에 활용되어 피로해소, 스트레스 감소, 피부 재생 등에 기여하는 것으로 알려져 있다. 사해 소금도 풍부한 미네랄 함량으로 류마티스 관절염, 건선, 습진 등 피부질환 완화 효과가 확인되었으며, 피부 보습 및 항염 작용을 바탕으로 다양한 화장품 원료로도 사용되고 있다(Proksch et al., 2005; Katz et al., 2012).

국내 천일염 관련 선행연구들을 살펴보면, 대부분 소금의 종류별 무기질 및 중금속 함량 분석(Jo and Shin, 1998; Park et al., 2000; Lee et al., 2013), 생산시기와 방식에 따른 무기질 조성 비교(Shin et al., 2005; Seo et al., 2012; Jin et al., 2013; Min et al., 2020) 등 성분 분석에 집중되

어 있으며, 이는 천일염의 식품학적 가치와 안전성 확보를 목적으로 수행된 경우가 많다. 그러나 기존 연구들은 해양치유자원으로서의 표준화된 기준을 마련하기에는 부족하다. 현재 식품의 기준 및 규격과 우수천일염의 품질관리 기준을 통해 천일염의 NaCl 함량과 수분함량에 대한 관리 지침은 존재하지만, 해양치유자원으로 활용하기 위한 별도의 품질 기준은 부재한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 천일염의 특성을 분석하고, 국내·외 천일염과 비교하여 해양치유자원으로서의 활용 가능성을 평가하고자 한다. 또한 해양치유자원의 관리기준을 제시하여, 향후 고부가가치 자원으로서의 활용을 위한 과학적 근거와 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 천일염 시료

본 연구에서는 천일염(소금)을 치유자원으로 활용하기 위한 효능성분 확인 및 자원 표준화를 목적으로 충남 태안, 전남 신안, 해남, 경기 안산 등 다양한 지역에서 생산된 천일염을 구입하여 활용하였다(Table 1). 시료는 장판식, 타일식, 토판식 등 다양한 생산 방식에 따라 확보하였으며, 일부 시료는 생산 연도별(2015~2022)로 수집하여 시계열적 특성을 고려하였다.

2.2. 천일염 특성 분석

천일염(소금)의 해양치유자원으로서의 효능성분을 확인하기 위해 수분함량, 염분, 무기물 및 중금속 함량을 분석하였으며, 각 항목의 세부 분석항목과 선정이유는 Table 2에 제시하였다. 무기물의 세부 항목은 천일염의 지표/기능 성분 특성을 반영하여 선정하였고, 중금속의 세부 항목은 '소금의 품질검사 기준 및 방법(소금산업 진흥법 시행규칙 별표3)' 및 '우수천일염 생산기준(국립수산물품질관리원고시 제2025-8호, 2025. 5. 12.)'을 참고하여 선정하였다.

일반성분 중 수분함량은 자동 수분함량측정기(SMART System 5, CEM Corporation, USA)를 사용하였고, 염분은 전기전도도 기반 염분분석기(SAT-500, Tsurumi Seiki Co., Ltd., Japan)로 정량 분석하였다. 무기물 및 중금속 함량을 측정하기 위해 시료 약 0.5 g에 초순도 질산 10 mL 첨가하여 가열 분해한 후 희석질산 용액을 첨가하였다. 주요 무기질 Na, Ca, K, Mg는 유도결합플라즈마 원자방출광도계(ICP-OES), 그리고 Mn, Fe는 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 이용하여 분석하였다.

2.3. 입도 및 표면구조 관찰

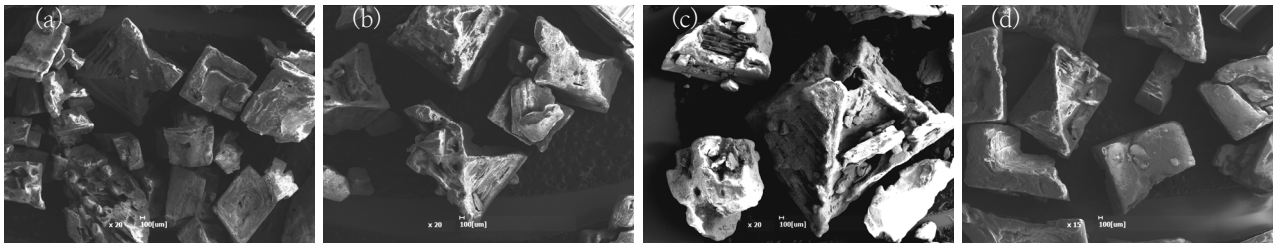
천일염 시료의 입도는 표준체(sieve)를 이용한 체질 분석 방법으로 평가하였다. 입자 크기에 따라 약 3~6 mL를 취하였으며, 망목(mesh size)이 5.6 mm, 4.0 mm, 2.8 mm, 2.0 mm, 1.4 mm, 1.0 mm, 0.71 mm인 표준체를 사용하였다.

Table 1. Metadata and composition of solar sea salt produced in Korea (NaCl (%), Water content (%))

No.	Sample	Location	Production year	Salt type	NaCl (%)	Water content (%)
1	TA_15	Taeon	2015	tile	84.62	8.76
2	TA_16	Taeon	2016	tile	87.30	6.60
3	TA_17	Taeon	2017	tile	89.20	2.99
4	TA_18	Taeon	2018	tile	87.33	6.34
5	TA_19	Taeon	2019	tile	88.94	5.01
6	TA_20	Taeon	2020	tile	86.30	6.13
7	TA_21	Taeon	2021	tile	81.15	8.28
8	TA_22	Taeon	2022	tile	79.95	9.73
9	DJ	Ansan	2019	tile	86.17	3.26
10	BK_21	Shinan	2021	vinyl	80.64	8.48
11	BK_22	Shinan	2022	vinyl	82.91	8.34
12	SAM	Shinan	2022	vinyl	84.54	5.17
13	TP_VY	Shinan	2018	vinyl	88.77	4.34
14	TP_EA	Shinan	2019	earthen	90.98	1.16
15	KIM	Haenam	2017	earthen	86.14	6.60
16	SOL	Shinan	2020	smart	85.61	4.15

Table 2. Summary of analytical parameters, and their explanation and methodology

Division	Parameter	Explanation	Methodology
General items	Salinity(NaCl)	To check sea salt standards	Electrical Conductivity
	Water content		Gravimetric Measurement
Minerals	Na, Ca, K, Mg, Mn, Fe	To check the indicators/ functional ingredients of solar sea salt	Wet digestion

Fig. 1. SEM images ($\times 20$) of solar sea salt types: (a) tile (TA-22), (b) vinyl (BK-21), (c) earthen (TP-EA), (d) smart (SOL)

체질 과정을 통해 크기 구간별로 분리된 시료는 무게를 측정하여 입도 분포를 산출하였다. 입자 표면 특성은 시료를 슬라이드 위에 올리고 이온코팅기로 gold coating 한 후 SEM(Scanning Electronic Microscopy, CX-200TM)을 사용하여 최저 배율($\times 20$)로 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 생산방식별 천일염의 미세구조와 입도 분포

주사전자현미경(SEM)을 이용하여 생산방식에 따른 천일염의 외형 및 표면구조를 확인하였다(Fig. 1). 모든 천일염 시료는 기본적인 정육면체(입방체) 결정 형태가 부분적으로 유지된 채, 다른 미네랄이나 이물질에 의해 복수의 결정핵

이 형성·적층되는 구조를 보였다. 이는 기존 연구 결과와도 일치하였다(Ha and Park, 1998; Jeong et al., 2009; Lee et al., 2013). 특히, 천일염의 표면구조는 생산방식에 따라 차이를 보였다. 타일염, 장판염 및 스마트염은 비교적 뚜렷한 입방 결정과 매끄러운 표면을 보였으며, 토판염은 불규칙한 형태, 다공성 표면, 미세균열이 관찰되었다.

Fig. 2는 국내 천일염 시료의 입자 크기 분포를 나타낸 것으로, 생산방식에 따라 타일염(tile), 장판염(vinyl), 토판염(earthen), 스마트염(smart)으로 분류하여 평균한 결과이다. 타일염과 장판염은 1.0~2.0 mm 구간에서 각각 35.0%와 37.4%, 2.0~2.8 mm 구간에서 각각 38.9%와 35.0%로, 입자가 주로 2.8 mm 이하의 미세한 크기에 집중된 분포를 보였다. 반면, 토판염은 2.8 mm 이상의 굵은 입자 비율이 전체의 67.9%(2.8~4.0 mm 35.7%, 4.0 mm 이상 32.0%), 스

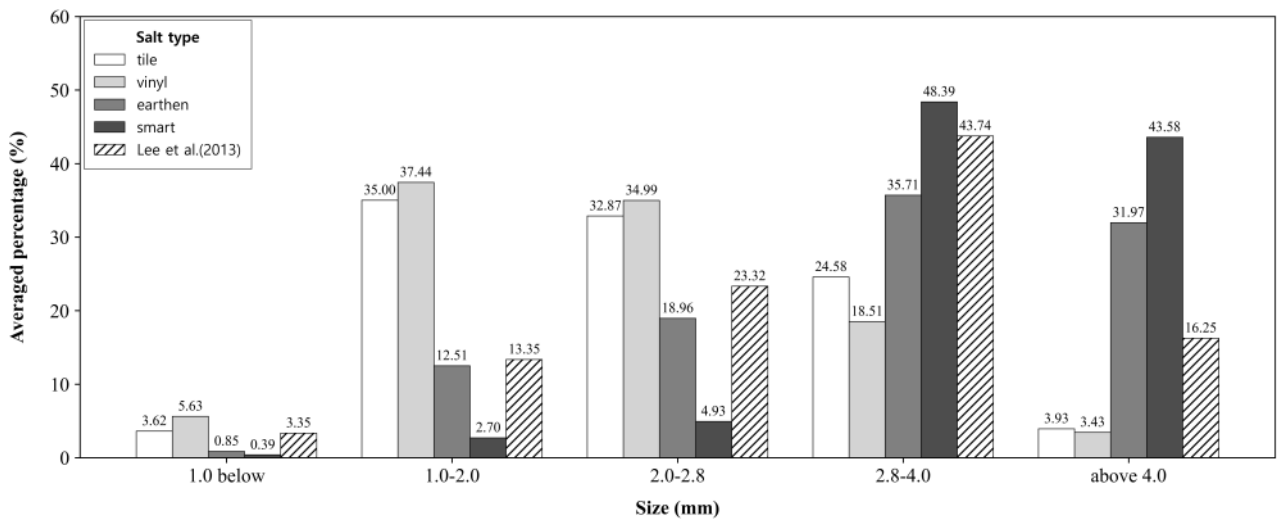


Fig. 2. Distributions of solar sea salt size by the production methods

Table 3. Particle - size ranges of solar sea salt reported in previous studies

No.	Title	Particle size	Reference
1	The Study about the Scalp Scaling Effect of Solar Salt and Indigo Pulverata Levis	0.8-1 mm	Lee et al., 2014
2	Scrub Cosmetic Composition Comprising Salt and/or Sugar	0.01-5.0 mm	KR 10-1117564*
3	Colored Salt For Scrub Composition And Manufacturing Thereof	0.1-2 mm	KR 10-2273659*
4	Cosmetic Composition containing Large Quantity of Salt	0.01-5.0 mm	KR 10-0149428*
5	Scrub Cosmetic Composition Comprising Solar Salt	0.01-3 mm, 1-5 mm	KR 10-1685686*

* registered patents in Korea

마트염은 2.8 mm 이상 구간 92.0%로, 현저히 굵은 입도가 나타나는 경향이 있었다. Lee et al.(2013)의 연구 또한 2.8~4.0 mm 43.7%, 4.0 mm 이상 16.3%의 높은 비율을 보고하여, 굵은 결정 중심의 입도 분포를 나타낸 바 있다.

이와 같은 입자 크기 분포 차이는 결정 생성 과정에 영향을 미치는 다양한 환경적 요인(바닷물 조성, 일조량, 기온, 바람 등)이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 천일염의 결정 형태 및 입도 분포는 자연조건에 따라 달라지며(Shin et al., 2005; Lee et al., 2007; Jeong et al., 2009), 염전 바닥재 또한 결정 형성 환경에 영향을 미친다(Kim et al., 2009). 장판염과 타일염은 평탄·매끄러운 바닥재를 통해 결정이 안정적으로 성장하면서 상대적으로 미세한 분포를 보이는 반면, 토판염은 갯벌을 다져 만든 불균일한 바닥재로 인해 결정 생성 환경의 균일성이 낮아져 굵은 입자가 형성되었을 가능성이 있다. 스마트염은 공정 전반을 모니터링하며 온도·증발 속도·증발량 등을 제어하는 방식으로 생산된다. 본 연구에 사용된 스마트염은 특정 용도를 고려해 균일하고 큰 결정 구조로 제조되어, 그 결과 2.8 mm 이상 입자 비율 92.0%에 달하는 매우 굵은 입도 특성이 관찰되었다. 다만, 본 연구에서 확보한 생산방식별 시료 수가 충분하지 않아 이러한 차이가 생산방식 자체의 특징으로 단정하기는 어렵다. 향후 생산방식별 시료를 확대하고, 지역·환경을 균

형 있게 포함한 대표성 있는 표본 구성을 통해 결과의 일반화 가능성을 높일 필요가 있다.

한편, 천일염은 각질·노폐물 제거, 수분 증발 억제, 염증·항균 등의 효과로 스크럽제·마사지 제품 원료로 활용되고 있다. 관련 임상연구나 특허에 따르면, 입자 크기 범위는 주로 0.1~2.0 mm 또는 0.01~3 mm, 일부 마사지 효과 등을 고려하여 최대 5 mm까지 사용하였다(Table 3). 이 기준과 비교하면, 타일염과 장판염은 2.8 mm 이하에 분포가 밀집되어 미세 자극이 필요한 용도에 적합할 가능성이 높으며, 토판염과 스마트염은 2.8 mm 이상 비율이 높아 물리적 자극이 강조된 고휘 스크럽·마사지 제품용 원료로의 활용이 고려될 수 있다. 특히 스크럽은 주로 등·발·팔꿈치 등 바디 부위에 사용되며, 이외에도 얼굴·두피 등 다양한 신체 부위에도 사용되므로 부위별 적정 자극 수준에 따라 입자 크기 선택의 폭이 필요하다. 국내 천일염의 다양한 입자 분포는 활용 목적에 따른 원료 선택 및 공정 간소화 가능성을 제시한다.

3.2. 천일염의 수분 및 NaCl 함량 분석

국내 천일염 시료 16개에 대한 NaCl 함량과 수분함량을 분석한 결과는 Table 1과 같다. NaCl 함량은 79.95~90.98% (평균 85.66%) 범위를 보였으며, 수분함량은 1.16~9.73%

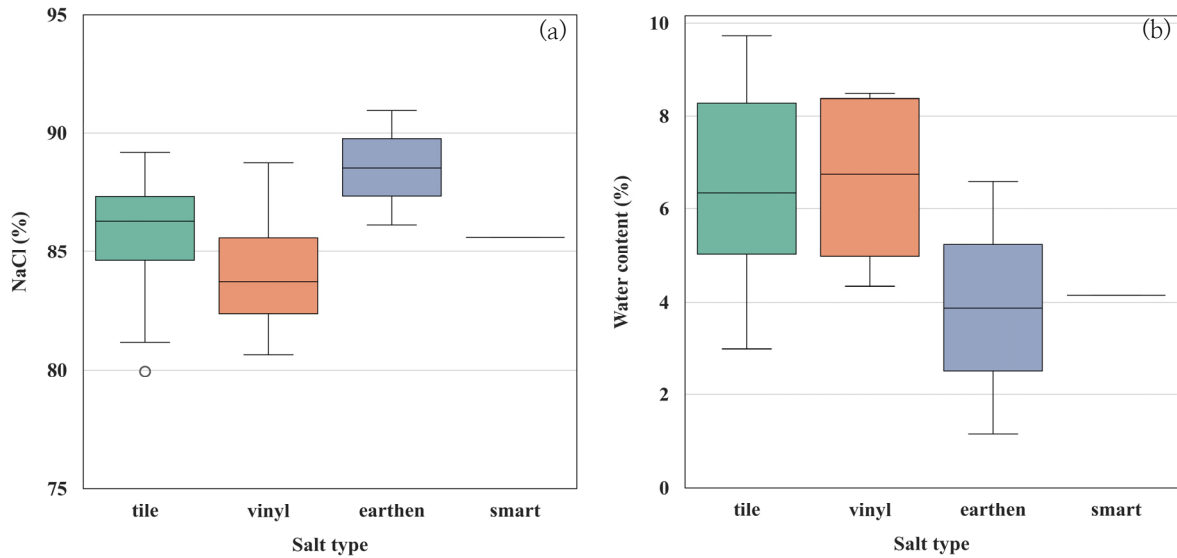


Fig. 3. General characteristics of solar sea salt types: (a) NaCl(%) and (b) Water content(%)

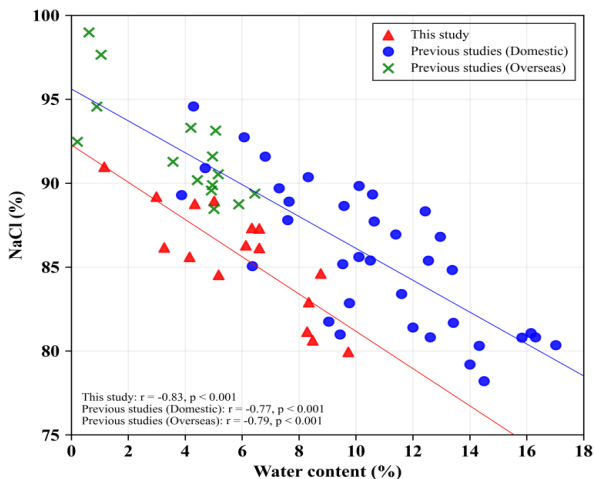


Fig. 4. Relationships between water content (%) and NaCl (%). The lines represent the linear regression fits for the this study (red) and previous domestic studies (blue)

(평균 5.96%)로 나타났다. 대부분의 시료는 「식품의 기준 및 규격」에서 정한 식염의 기준(NaCl 70.0% 이상, 수분 15.0% 이하)과 우수천일염의 품질관리기준(NaCl 83.0% 이상, 수분 11.0% 이하)을 충족하였으나, 일부 시료에서는 NaCl 함량이 우수천일염 기준보다 낮게 나타났다. 기존 연구에서 보고된 국내 천일염의 NaCl 농도(75~95%)와 비교했을 때, 본 결과는 유사한 수준이다(Ha and Park, 1998; Jo and Shin, 1998; Park et al., 2000; Shin et al., 2005; Heo et al., 2005; Lee et al., 2013; Geo et al., 2014; Min et al., 2020).

생산방식별로 살펴보면, 토판염은 평균 $88.56 \pm 3.42\%$ 의 높은 NaCl 함량과 평균 $3.88 \pm 3.85\%$ 의 낮은 수분함량을 보였고(Fig. 3), 장판염은 평균 $84.22 \pm 3.43\%$ 의 낮은 NaCl 함량과 평균 $6.58 \pm 2.14\%$ 의 높은 수분 함량을 보여 상반된 경향을 나타냈다. 타일염과 스마트염(n=1)의 NaCl 함량은

각각 평균 $85.66 \pm 3.23\%$ 와 85.61% 로 유사하였으나, 수분 함량(평균 $6.34 \pm 2.34\%$ vs 4.15%)에서 차이를 보였다. 특히 타일염은 저장기간 증가에 따라 수분함량이 감소하였고(예를 들어, 2017년산 대비 2022년산 수분 -69.3% 감소), 이에 반해 NaCl 함량은 증가하는 경향을 보였다. 이는 수분 감소와 NaCl 상대 농도 증가의 역관계를 시사한다.

전체 시료에 대해 상관관계 분석을 실시한 결과, 수분함량과 NaCl 함량 간에 유의한 음의 상관이 확인되었다($r = -0.83, p < 0.001$, Fig. 4). 이는 국내 보고치($r = -0.77, p < 0.001$)와 유사하며, 해외 천일염에서도 음의 상관($r = -0.79, p < 0.001$)이 확인되었다. 특히 해외 시료는 국내보다 높은 NaCl 함량(81.75~97.66%)을 보였는데, 이는 상대적으로 낮은 수분함량과 밀접하게 연관된다(Park et al., 2000). 이러한 수분 감소 현상은 천일염의 저장과정에서도 나타난다. 천일염을 장기간 보관하면 조해성이 높은 성분이 물과 함께 용출되어 수분이 감소하고, 이로 인해 소금의 조해성이 낮아지고 흡습성이 감소하여 오래 보관된 소금일수록 수분함량이 낮아지는 경향을 보인다(Shin et al., 2005). 따라서 NaCl 함량은 본질적으로 수분함량의 영향을 크게 받는다고 할 수 있다. 이러한 결과는 국내 천일염이 전반적으로 높은 NaCl 함량과 비교적 낮은 수분함량을 유지하며, 이는 법정 품질기준을 대체로 충족한다. NaCl 함량과 수분 수준은 제형의 삼투압·흡습·미생물 억제 등 치유 기능성·안정성과 직접적으로 연계되는 핵심 지표로, 향후 치유자원으로의 활용 가능성 평가에 중요한 기초자료가 될 것이다.

3.3. 천일염 무기질(Na, Mg, K, Ca) 조성 및 저장에 따른 변화

천일염에 함유된 무기질(미네랄)은 치유적 효과와 산업적 활용 가능성을 좌우하는 핵심 요소이다. 따라서 안전하고 효과적인 자원 활용을 위해 무기질 성분 함량을 규명하였다. 본 연구에서는 충남 태안에서 생산된 천일염 시료(TA15~22)

Table 4. Summary of mineral composition of solar sea salts in this study and previous studies

Division	Na (mg/kg)	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
This study	214,208.3 ± 8,999.0 (n=8)	1,282.5 ± 388.8 (n=8)	5,902.1 ± 2,559.0 (n=8)	7,010.0 ± 3,676.0 (n=8)	1.2 ± 1.3 (n=8)	5.3 ± 1.0 (n=8)
Previous studies (Domestic)	336,494.7 ± 27,486.3 (n=30)	1,782.0 ± 677.2 (n=38)	2,124.6 ± 1,597.8 (n=32)	9,768.8 ± 3,403.3 (n=38)	3.7 ± 2.1 (n=24)	13.9 ± 21.7 (n=21)
Previous studies (Overseas)	362,203.4 ± 26,335.4 (n=14)	1,606.3 ± 1,007.4 (n=19)	1,053.8 ± 891.8 (n=18)	3,007.0 ± 1,868.4 (n=17)	8.8 ± 15.0 (n=12)	56.7 ± 58.5 (n=11)

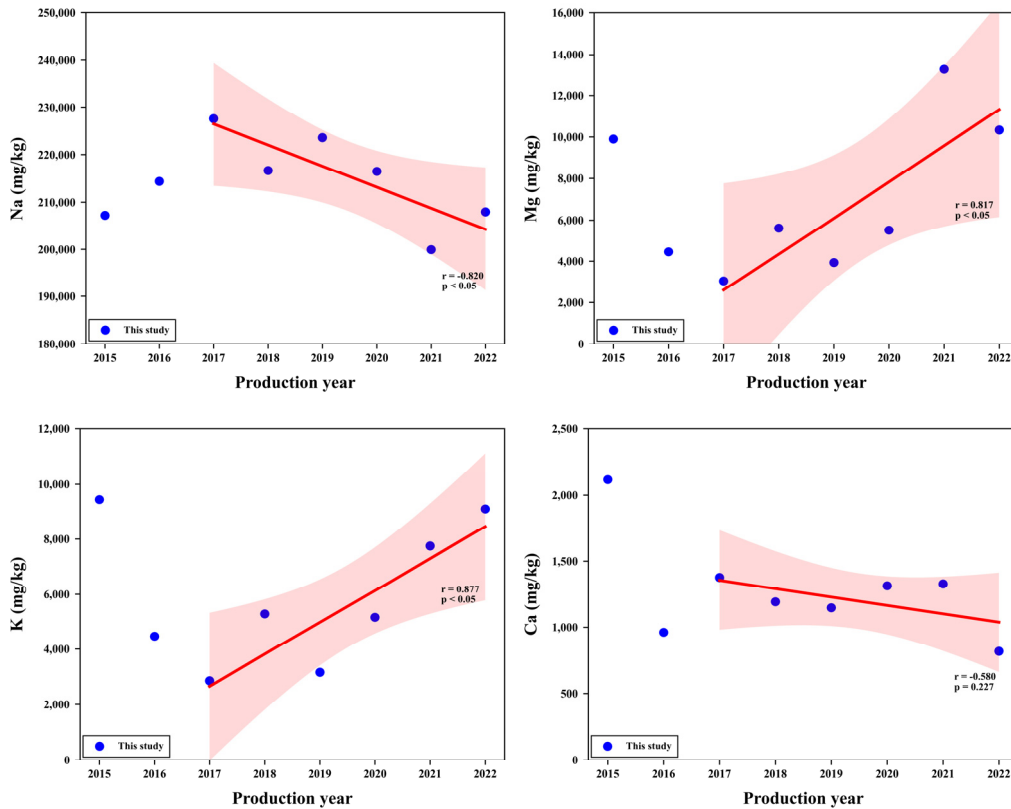


Fig. 5. Annual variation of mineral contents (Ca, K, Mg, Na) in solar sea salts. The lines and shaded areas represent the linear regression fits and 95% confidence intervals for 2017–2020 data

를 대상으로 분석하였다. 무기질 함량은 Na가 199,932.2~227,512.9 mg/kg(평균 214,208.3 mg/kg)로 가장 높았고, 다음으로 Mg 3,038.2~13,282.2 mg/kg(평균 7,010.0 mg/kg), K 2,859.2~9,437.5 mg/kg(평균 5,902.1 mg/kg), Ca 816.5~2,118.9 mg/kg(평균 1,282.5 mg/kg) 순이었다. 또한 Fe 3.60~6.31 mg/kg(평균 5.26 mg/kg), Mn 0.66~4.46 mg/kg(평균 1.81 mg/kg) 수준의 미량금속도 확인되었다(Table 4).

천일염의 생산년도(2015~2022년)에 따른 주요 무기질 함량은 연도별로 일정한 변동을 보였으나 뚜렷한 증가 또는 감소 경향은 확인되지 않았다. 다만, 2017년 이후 생산된 천일염에서는 일부 무기질에서 유의한 변화가 나타났다(Fig. 5). 저장 시간이 길수록 Na 함량은 유의하게 증가($r = 0.820, p < 0.05$), Mg와 K 함량은 각각 유의하게 감소(Mg: $r = -0.807, p < 0.05$, K: $r = -0.847, p < 0.05$) 하는 경향을 보였다. 이는 저장과정에서 간수와 함께 조해성이 높은 성

분인 K와 Mg가 용출되고, 상대적으로 NaCl 농도가 증가하는 메커니즘과 일치한다(Shin et al., 2005).

국내 선행연구 종합(Table 4)에 따르면, Na 284,400~386,132 mg/kg (평균 336,494 mg/kg), Mg 1,002~14,789 mg/kg (평균 9,769 mg/kg), K 74~5,783 mg/kg(평균 2,125 mg/kg), Ca 523~3,437 mg/kg(평균 1,782 mg/kg) 범위가 보고되었다. 또한 Fe과 Mn도 1.1~84.3 mg/kg(평균 13.9 mg/kg)과 0.7~7.7 mg/kg(평균 3.7 mg/kg) 수준으로 확인되었다.

국내 천일염 무기질 함량에 대한 초기 연구로는 Ha and Park(1998)과 Jo and Shin(1998)이 있다. Ha and Park(1998)은 서해안 시료를 대상으로 Na 362,000 mg/kg, Mg 10,266 mg/kg, K 3,701 mg/kg, Ca 1,037 mg/kg, Mn 4.5 mg/kg, Fe 2.6 mg/kg 등 주요 무기질을 제시하였고, Jo and Shin(1998)도 Ca·Mg 함량을 보고하며 국내 천일염 무

기질 조성의 기초자료를 제공하였다. 이들 연구에서 보고된 Ca와 Mg는 각각 1,540~2,860 mg/kg(평균 2,130 mg/kg), 7,690~13,970 mg/kg(평균 10,773 mg/kg)으로, 본 연구 결과보다 높은 수준이다. 한편, Min et al.(2020)은 서해안 천일염에서 Na 313,655 mg/kg, K 5,783 mg/kg, Mg 11,170 mg/kg, Ca 1,201 mg/kg을 보고하였다. 요컨대, 절대 함량 수준은 연구마다 다르지만, 선행연구와 본 연구 모두에서 K 높음-Ca 낮음 특성은 일관되게 관찰된다.

저장 영향에 관해서는 Shin et al.(2005)이 1~5년차 저장 시료를 분석하여 Na 316,348~373,936 mg/kg(평균 346,134 mg/kg), Mg 1,002~14,789 mg/kg(평균 7,193 mg/kg), K 1,062~3,411 mg/kg(평균 2,219 mg/kg), Ca 1,503~3,437 mg/kg(평균 2,292 mg/kg) 범위를 제시하였다. 저장기간이 늘어날수록 Na는 증가하고 K·Mg는 감소하는 경향이 확인되었으며, 이는 본 연구에서 2017년 이후 시료에서 관찰된 경향과도 부합한다(Fig 5).

동일 지역(태안)을 다룬 Heo et al.(2005)은 Na 386,132 mg/kg, Mg 14,065 mg/kg, K 4,949 mg/kg, Ca 903 mg/kg, Mn 1.47 mg/kg, Fe 1.08 mg/kg을 보고하였다. 본 연구 평균과 비교하면 Na와 Mg는 높고, K·Ca·Fe·Mn은 낮았다. 특히 Mg는 약 2배 높았고(14,065 mg/kg vs 7,010.0 mg/kg), Ca는 국내 선행연구 평균(1,782 mg/kg)과 본 연구 평균(1,283 mg/kg)보다 낮았다(Table 4). 이러한 차이는 분석 시기, 저장 조건, 생산 환경 변화 등에 기인할 수 있다(Shin et al., 2005; Heo et al., 2005; RDA, 2013).

종합하면, 본 연구에서 관찰된 무기질 함량은 선행연구(Ha and Park, 1998; Jo and Shin, 1998; Park et al., 2000; Shin et al., 2005; Heo et al., 2005; Jin et al., 2011; RDA, 2013; Kim et al., 2014; DOYOUNWON, 2017; Min et al., 2020)가 보고한 농도 범위와 상대적 구성 패턴과 대체로 부합한다. 다만 성분별 절대 함량의 차이는 생산지·생산연도·생산방식, 해수 조성의 계절성, 수확 시기·기온 등 환경·공정 요인으로 설명될 수 있다(Shin et al., 2005; Lee et al., 2007). 그럼에도 불구하고 주요 무기질의 범위와 K>Ca 등 상대적 구성 특성이 장기간 안정적으로 재현된다는 점은, 국내 천일염이 해양치유자원으로서의 신뢰성과 잠재력을 갖추었음을 시사한다. 즉, 생산 시기와 지역이 달라도 국내 천일염은 Mg, Ca, K 등 핵심 무기질을 일관되게 포함하는 공통적 특성을 보인다.

3.4. 국내 천일염의 무기질 균형지표((Ca+K+Mg)/Na) 기반 관리기준

국내 천일염은 주요 무기질 성분을 안정적으로 포함하고 있어 해양치유자원으로서의 활용 잠재력이 확인되었다. 다만 치유적 활용을 위해서는 단순한 성분 분석을 넘어 효능 검증과 관리 기준 설정이 요구된다. 현재 국내에는 갯벌 머드와 피드에 대한 활용·관리 기준(안)이 제시된 바 있으며(Park et al., 2023, Park et al., 2024), 천일염을 해양치유자원으로 규정하는 별도 기준이 부재하므로, 본 연구는 건강 기능식품의 기능성분/지표성분 개념을 참조하여 활용·관리

기준을 제안하였다. 이를 위해 국내외 선행연구 결과를 종합하고, 국내 시료 실측값과 국외 자료를 비교하였다.

국외 천일염과의 비교에서(Table 4), Na(312,350~422,659 mg/kg, 평균 362,203 mg/kg)와 Ca(349~3,817 mg/kg, 평균 1,606 mg/kg)는 국내 천일염의 범위와 대체로 유사하였다. 반면 K(14~2,843 mg/kg, 평균 1,054 mg/kg)와 Mg(57.6~6,264 mg/kg, 평균 2,843 mg/kg)는 본 연구의 평균값(K 5,902.1 mg/kg, Mg 7,010.0 mg/kg)에 비해 각각 약 5.6배, 약 2.3배 낮았으며, 그 차이는 통계적으로 유의하였다(K: $p < 0.001$, Mg: $p < 0.05$). 미량원소의 경우, Fe(1.8~208.6 mg/kg, 평균 56.7 mg/kg)와 Mn(0.1~55.7 mg/kg, 평균 8.8 mg/kg)은 국내 평균(Fe 5.3 mg/kg, Mn 1.2 mg/kg)과 차이를 보였지만, 국내 선행연구에서도 Fe 84.3 mg/kg(RDA, 2013), Mn 7.0 mg/kg(Shin et al., 2005) 등 국외 범위에 포함되는 상대적으로 높은 값이 보고된 바 있다. 이는 생성 환경 및 생산 조건에 따라 미량원소가 변동할 수 있음을 시사한다. 국내 천일염의 K·Mg가 상대적으로 풍부하다는 특징은 국외 천일염의 비교에서 뚜렷한 차별성으로 확인되며, 이는 국내 천일염의 독자적 품질 특성 및 해양치유자원으로서의 잠재력을 뒷받침한다.

프랑스 게랑드(Guérande) 천일염은 세계적으로 잘 알려진 제품으로, 식용·미용·생활용품 등 다양한 분야에서 활용된다(RDA, 2013). 게랑드 천일염의 무기질 조성 가운데 Na(평균 $345,502 \pm 22,333$ mg/kg)와 Ca(평균 $2,067 \pm 1,255$ mg/kg)는 본 연구 및 국내 선행연구에서 보고된 국내 범위와 대체로 유사하였다. 반면 K(평균 $1,536 \pm 760$ mg/kg)와 Mg(평균 $3,403 \pm 1,939$ mg/kg)는 본 연구의 국내 평균치(K 5,902.1 mg/kg, Mg 7,010.0 mg/kg) 대비 낮은 수준이었다. 미량원소의 경우, 게랑드 천일염의 Mn 18 ± 25 mg/kg과 Fe 84 ± 92 mg/kg은 일부 국내 선행연구에서 보고된 수치와 유사하거나 그 범위 내에 해당하였다. 이러한 비교 결과는, 무기질 다양성 측면에서 게랑드 천일염이 국내 천일염보다 제한적일 수 있음을 시사하며(RDA, 2013), 동시에 국내 천일염이 세계적으로 인정받는 제품과 비교하더라도 뒤처지지 않으며 K·Mg 측면에서는 오히려 강점을 가진다는 점을 보여준다. 따라서 이러한 성분적 장점은 체계적 검증과 표준화된 관리 지표를 통해 실증하고 관리할 필요가 있다.

기능성분은 원료에 존재하는 특정 성분이 나타내는 효능·기능에 근거에 따라 선정된다. Na, Ca, K, Mg 등의 무기질은 인체에 다양한 생리적 이점을 제공하는 것으로 널리 인정되며, 본 연구에서는 특히 국내 천일염에 K와 Mg가 상대적으로 풍부함을 확인하였다. 또한 Na, Ca, K, Mg, Mn, Fe는 각기 다른 생리 효능을 통해 인체에 긍정적 영향을 미치므로 기능성분으로서의 타당성이 있다. 다만, 기존 천일염 연구는 주로 NaCl 함량이나 개별 무기질의 절대 함량에 초점을 두어 왔으며(Shin et al., 2005; Lee et al., 2013), 이 경우 생산지·생산 방식·환경조건에 따른 변동성의 영향을 크게 받는 한계가 있다. 특히 Na는 천일염의 주성분으로 비중이 매우 높아, 함량 자체만으로 치유적 효능을 설명하는 데

에는 지표가 되기는 어렵다. 이에 본 연구는 무기질의 상대적 균형을 반영하고 외부 요인에 따른 절대치 변동성을 완화하기 위해, (Ca+K+Mg)/Na 비율을 품질관리 목적의 지표로 제안한다. 이 지표는 K·Mg의 상대적 풍부도와 전해질 균형을 동시에 고려할 수 있어, 천일염의 특성 비교·평가 및 관리에 보다 안정적이고 실용적인 기준을 제공한다.

무기질 Na, Ca, K, Mg는 전해질 균형과 밀접하게 연관되어 신경·근육 수축성 유지, 신진대사 촉진, 체내 삼투압 조절, 산-염기(산-알칼리) 균형 등 인체의 생리기능에 필수적으로 작용한다(Ha and Park, 1998; Park et al., 2000; Heo et al., 2005; Jeong et al., 2009; Kim and Han, 2022). 특히 K는 세포 내 삼투압 조절과 혈압 안정화에 중요하며, Mg는 300여 종 이상의 효소 반응에 관여한다. Ca는 뼈 대사뿐 아니라 근육 수축·신경 전달 등 항상성 유지의 핵심 요소로 알려져 있다(MOHW, 2022). 반면 Na는 체액 삼투압 조절에 필수적이지만, 과잉 섭취 시 고혈압, 체액 저류, 신장 기능 저하 등 부정적 영향을 유발할 수 있다(Shin et al., 2005). 따라서 Na 대비 Ca·K·Mg의 상대적 풍부도는 단순한 염분 특성을 넘어, 천일염의 치유자원 가치를 평가하는 핵심 지표로 기능할 수 있다.

본 연구에서 확인된 (Ca+K+Mg)/Na 비율은 3.2~11.2% (평균 6.7%)로, 국내 선행연구의 1.1~6.7%(평균 4.0%) 대비 높았고, 국외 천일염(0.1~2.4%, 평균 1.6%)과 비교하면 뚜렷하게 높은 수준이었다. 통계분석 결과, 국내 천일염은 국외 천일염과는 유의하게 구분되었다(Kruskal-Wallis, $p < 0.001$). 본 연구(평균 6.7%)와 국내 선행연구 전체 평균(4.0%)은 물론, 세부 지역별로도 신안(평균 $4.2 \pm 1.1\%$)과 영광(평균 $3.9 \pm 1.7\%$)이 유사한 값을 보여, 국내 천일염의 (Ca+K+Mg)/Na 비율이 지역 간 변동이 크지 않고, 비교적 균일하게 분포함이 확인되었다(Fig. 6). 반면, 국외 천일염은 프랑스(평균 $2.2 \pm 0.1\%$)와 중국(평균 $2.1 \pm 0.3\%$)이 유사한 수준을 보였으나, 이탈리아(1.0%)는 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 무기질 균형 측면에서 국내 천일염이 국외 천일염보다 안정적으로 형성되어 있음을 시사하며, 해양치유자원 관리기준 마련을 위한 과학적 근거를 제공한다.

이에 본 연구에서는 (Ca+K+Mg)/Na 비율이 국내 천일염과 국외 천일염을 구분하는 지표로서 타당한지를 검증하고, 최적 임계값(cut-off)을 산정하기 위하여 ROC(Receiver Operating Characteristic) 분석을 수행하였다. ROC 분석은 지표의 민감도(sensitivity, 국내 천일염을 국내로 올바르게 판별할 확률)와 특이도(specificity, 국외 천일염을 국외로 올바르게 판별할 확률)의 조합을 다양한 임계값 전 범위에서 평가하며, ROC 곡선 아래 면적(AUC, area under the curve)과 Youden 지수를 통해 종합적인 분류 성능을 평가한다. 특히 Youden 지수(민감도+특이도-1)는 민감도와 특이도 간의 균형을 고려하여 가장 효율적인 임계값을 산정할 수 있는 지표로 널리 활용된다(Fluss et al., 2005; Yang and Lee, 2022).

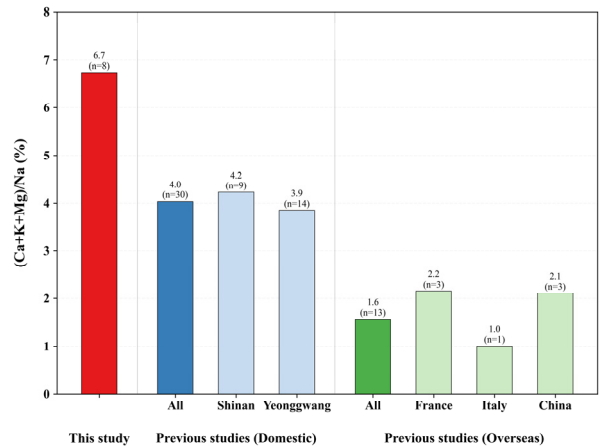


Fig. 6. Comparison of (Ca+K+Mg)/Na ratios in solar sea salts between this study and previous studies

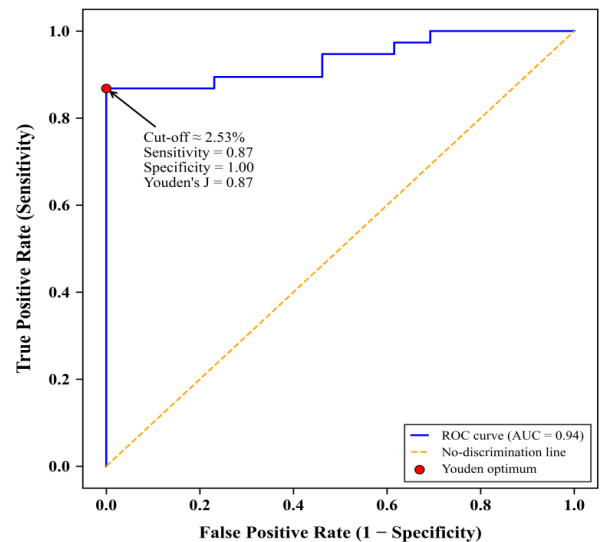


Fig. 7. ROC (Receiver Operating Characteristic) curve of (Ca+K+Mg)/Na ratios for discriminating domestic and overseas solar sea salts

ROC 분석 결과, (Ca+K+Mg)/Na 비율의 AUC는 약 0.94로 나타나, 본 지표가 국내 천일염의 조성 특성을 높은 신뢰도로 설명할 수 있음을 확인하였다(Fig. 7, Table 5). 일반적으로 AUC 값이 0.9 이상이면 우수한 판별력을 가진 것으로 간주된다. 또한 민감도(sensitivity)는 약 0.87, 특이도(specificity)는 1.0로 산출되어, (Ca+K+Mg)/Na 비율을 활용한 판별 기준이 국내 천일염을 높은 정확도로 식별하며, 국외 천일염과의 구분을 명확히 함을 보여주었다. 민감도와 특이도의 균형을 고려한 Youden 지수는 약 0.87이었으며, 최적 임계값은 약 2.53%로 도출되었다.

도출된 임계값(약 2.53%)의 통계적 신뢰성을 검증하기 위해 Clopper-Pearson의 정확 이항 신뢰구간(exact binomial confidence interval)을 산정하였다. 이 방법은 표본의 크기가 작거나 극단값이 존재할 때에도 안정적인 추정을 제공하고, 특정 기준 이상 값을 가지는 비율의 단측 하한(LCB, lower

Table 5. ROC and Clopper – Pearson analyses for determining the optimal cut - off value of the (Ca+K+Mg)/Na ratio(%)

Division	ROC analysis					Clopper – Pearson CI	
	AUC	Cut-off (%)	Sensitivity	Specificity	Youden index	Proportion ≥ cut-off (%)	95% Lower Bound (%)
ROC optimal (Youden-index)	0.9352	2.5268	0.8684	1.0	0.8684	86.8	74.3
Proposed standard	-	2.5	0.8684	1.0	0.8684	86.8	74.3

* ROC: Receiver Operating Characteristic; AUC: Area Under the Curve

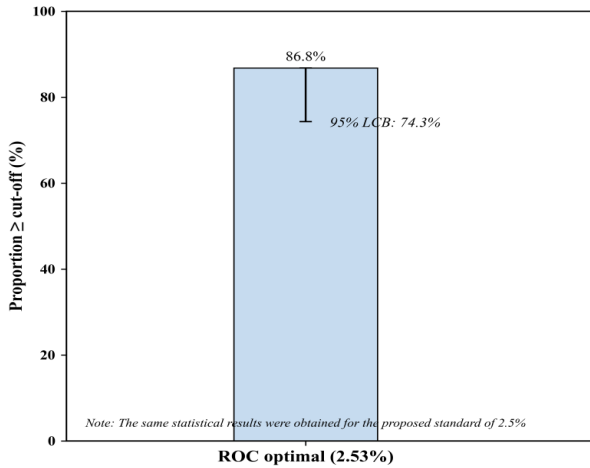


Fig. 8. Proportion(86.8%) of domestic samples exceeding the ROC-optimal cut-off (2.53%) with 95% one-sided lower confidence bound by Clopper – Pearson analysis

confidence bound)을 평가할 수 있다. 국내 시료에서 (Ca+K+Mg)/Na 비율이 2.53% 이상을 만족한 비율은 약 86.8% (33/38)로 나타났으며, 이에 대한 95% 단측 신뢰하한은 74.3%로 추정되었다(Fig. 8, Table 5). 이는 본 표본에서 관찰된 비율이 약 86.8%일 뿐 아니라, 동일한 표집 과정을 반복한다고 가정할 때 해당 비율이 최소 74% 이상일 것으로 보수적으로 보장된다는 것을 의미한다. 따라서 제시한 기준값은 국내 천일염의 분류·관리 기준으로서 통계적으로 충분한 하한 보장을 갖는다.

한편, ROC – Youden 분석에서 도출된 임계값 2.53%는 통계적으로 유의한 기준이지만, 해양치유자원으로서의 실제 활용성과 관리 측면에서는 세밀한 수치 기준보다 실용성과 적용 용이성이 중요하게 고려될 필요가 있다. 따라서 통계적 동등성(statistical equivalence)을 유지하면서도, 품질관리 및 현장 적용의 일관성을 고려하여 보수적 기준값인 2.5%를 추가 검토하였다. 그 결과, 기준값을 2.5%로 조정하더라도 ROC 통계 지표(AUC = 0.935, 민감도 = 0.868, 특이도 = 1.0, Youden 지수 = 0.868)와 Clopper – Pearson의 95% 단측 신뢰하한(74.3%)이 동일하게 유지되었다(Fig. 8, Table 5). 이는 두 기준값 간의 판별력 차이가 통계적으로 유의하지 않으며, 통계적으로 동등한 분류 성능을 제공함을 시사한다. 따라서 2.5%는 최적 기준값(2.53%)과 유사한 판별력을 유지하면서도, 국내 천일염의 자연적 조성 변

동성 범위를 반영하고, 현장 적용 및 제도화 측면에서 단순성과 일관성을 확보할 수 있는 보수적이면서 잠정적인 기준값(proposed standard)으로 제안된다. 향후 해양치유자원으로서의 과학적 관리 기준 설정에 기초 자료로 활용될 수 있음을 시사한다. 따라서 2.5% 이상을 충족하는 천일염은 전해질(Ca, K, Mg) 대비 Na의 상대적 균형이 양호한 것으로 해석될 수 있으며, 이는 전해질 균형 유지와 신경-근육계 기능 안정화 등 생리적 기능과 관련된 잠재적 효능을 간접적으로 시사한다. 다만, (Ca+K+Mg)/Na 2.5% 이상은 해양치유자원 후보 소재를 평가하기 위한 연구단계의 제안 지표로서 제시하는 값이며, 이 수치를 인체 치료·건강 효능의 직접적 근거 또는 기능성·치유 효과의 공식 인증 기준으로 해석하는 데에는 제한이 있다. 한편, 본 기준은 생산지·연도 등에 따른 조성 변동성을 일정 부분 관리 가능한 규격으로 수립시키고, 인체 생리와 직접 연관된 무기질 간 상대적 균형을 평가하는 객관적 지표로서 활용될 수 있다.

그러나, 본 연구에서 제안한 (Ca+K+Mg)/Na 2.5% 기준에는 몇 가지 한계가 있다. 첫째, ROC 분석에서 국내 (n=38) 및 국외(n=13) 표본 규모가 상이해 분류 성능 추정에 불균형이 개입했을 가능성이 있으며, 국외 시료는 일부 산지(프랑스, 중국, 이탈리아 등)에 제한되고 국내 시료 또한 특정 지역과 생산 조건에 편중되어 있어 전체 천일염을 대표하기에는 한계가 있다. 따라서, (Ca+K+Mg)/Na 2.5%는 본 연구 표본에 기반한 관리지표 후보값으로, 국내 전체 천일염에 확대 적용하기에는 제한이 있다. 둘째, 천일염의 무기질 조성은 생산 연도, 기후, 염전 생산 및 관리 방식 등에 따라 달라지므로 단일 연구로 절대적·보편적 기준을 확립하기는 어렵다. 또한 본 지표는 해양치유자원의 간접 지표일 뿐, 실제 인체 적용에서의 임상적 효과와의 인과성은 추가 검증이 필요하다. 향후에는 장기 모니터링, 임상·생리 지표 연계를 통해 기준의 적정 및 타당성을 보완할 필요가 있다.

4. 결론

1) 충남 태안, 전남 신안, 해남, 경기 안산 등 지역에서 생산된 천일염은 생산방식에 따라 결정형태와 입자크기에서 뚜렷이 달랐다. 대부분 정형의 입방 결정과 매끄러운 표면을 보였으나, 장판염은 다소 불규칙한 형태와 다공성 표면,

미세균열이 관찰되었다. 입자크기는 타일염과 장판염은 2.8 mm 이하가 주로 분포한 반면, 토판염과 스마트염은 2.8 mm 이상의 굵은 입자 비율이 높았다. 이는 스크립·마사지 등 목적별 원료 선택의 근거가 된다.

2) 국내 천일염의 무기질 조성은 $\text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Mn}$ 순으로 나타났고, 국내 선행연구 범위와 대체로 일치하였다. 특히 Mg와 K는 국외 천일염 대비 약 2.3배와 5.6배 높은 수준을 보여, 국내 천일염이 인체 전해질 균형과 대사 관련 중요 무기질을 안정적, 상대적으로 풍부하게 함유함을 확인하였다.

3) 인체생리(삼투압·신경·근육·뼈 대사 등)와 직접 연관된 Na, Ca, Mg, K를 기능성분으로 설정하고, 절대함량의 생산지/연도 변동성을 보완하기 위해 무기질 간 균형을 반영하는 $(\text{Ca} + \text{K} + \text{Mg}) / \text{Na}$ 를 관리지표로 제안하였다.

4) 국내 천일염의 해양치유자원 활용·관리 기준(안)으로 $(\text{Ca} + \text{K} + \text{Mg}) / \text{Na}$ 2.5% 이상을 제시한다. 본 기준값은 ROC 분석에서 도출된 Youden 임계값(2.53%)를 근거로 판별력, 실용성을 고려해 보수적으로 조정된 값이며, Clopper-Pearson 정확 이항법을 통해 통계적 신뢰성과 적용 가능성이 확인되었다. 본 기준은 국내 천일염의 조성 특성을 반영하는 객관적 관리지표로 활용될 수 있다. 다만, 본 기준값은 현재 법적·행정적 공식 기준이 아닌 연구단계의 과학적 후보 지표로 제안된 것으로, 향후 제도적 활용을 위해서는 추가적인 검증이 필요하다.

5) 본 연구는 국내 천일염의 외형·입도·무기질 조성을 종합적으로 분석하고, 국외와의 비교를 통해 국내 고유의 무기질 균형 특성과 관리지표를 제안했다는 점에서 학술·산업적 의의가 크다. 다만, 무기질 조성이 생산지·연도·환경·공정에 따라 변동될 수 있고, 임상적 효능 근거는 아직 제한적이다. 따라서 표본 확대와 장기 모니터링, 임상·기능평가를 통해 관리기준의 타당성을 보완할 필요가 있다.

사 사

이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 “해양치유자원의 효능/표준화 기술개발 및 해양치유자원의 생애주기 안전관리방안(과제번호: 20220027)” 사업의 일환으로 수행되었으며, 논문을 심사해 주시고 귀한 의견을 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

References

- Choung, MG (2021). Colored Salt For Scrub Composition And Manufacturing Thereof. Korean Intellectual Property Office, Korean Patent KR 10-2273659.
- DOYOUNWON(2017). The Salt Festival mineral contents in 2009. <http://www.salt.co.kr>. [Online].
- Fluss, R, Faraggi, D and Reiser, B (2005). Estimation of the Youden Index and its associated cutoff point. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, 47(4), 458-472.
- Gao, TC, Cho, JY, Feng, LY, Chanmuang, S, Park, SY, Auh, CK, Pai, TK and Ham, KS (2014). Mineral-rich solar sea salt generates less oxidative stress in rats than mineral-deficient salt. *Food science and biotechnology*, 23(3), 951-956.
- Ha, JO and Park, KY (1998). Comparison of mineral content and external structure of various salts. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 27(3), 413-418. [Korean Literature]
- Heo, OS, Oh, SH, Shin, HS and Kim, MR (2005). Mineral and heavy metal contents of salt and salted-fermented shrimp. *Korean journal of food science and technology*, 37(4), 519-524. [Korean Literature]
- Jeong, BJ, Kim, Y, Kim, CD, Hyun, SC and Ham, GS (2009). Crystallographical characteristics of solar salts produced from Jeonnam area by X-ray diffraction technique. *Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(9), 1284-1288. [Korean Literature]
- Jiang, M, Chen, J, Ding, Y, Gan, C, Hou, Y, Lei, J, Wan, M, Li, X and Xiao, Z (2021). Efficacy and safety of sea salt-derived physiological saline nasal spray as add-on therapy in patients with acute upper respiratory infection: a multicenter retrospective cohort study. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 27, e929714-1.
- Jin, YX, Kim, HR, and Kim, SY (2013). Analysis of components according to different collecting time and production method in sun-dried salt. *Food Science and Preservation*, 20(6), 791-797. [Korean Literature]
- Jo, EJ and Shin, DH (1998). Study on the chemical compositions of sun-dried, refined, and processed salt produced in Chonbuk area. *Journal of Food Hygiene and Safety*, 13(4), 360-364. [Korean Literature]
- Katz, U, Shoenfeld, Y, Zakin, V, Sherer, Y and Sukenik, S (2012). Scientific evidence of the therapeutic effects of dead sea treatments: a systematic review. *Seminars in arthritis and rheumatism*, 42(2), 186-200.
- Kim, BL, Choi, YH, Lee, HS, and Jeong, YG (2019). Comparative Analysis of Heavy Metals and Useful Components of Marine Resources with Potential Healing Properties. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 17(4), pp. 455-466. [Korean Literature]
- Kim, H and Han, JW (2022). Research on the production of solar salt for smart processes. *Information and Communications Magazine*, 39(10), 25-30. [Korean Literature]

- Literature]
- Kim, HL, Lee, IS and Kim, IC (2014). Evaluation of mineral, heavy metal and phthalate contents in mudflat solar salt and foreign salt. *Food Science and Preservation*, 21(4), 520–528. [Korean Literature]
- Kim, JM, Yoon, JH, Ham, KS, Kim, IC and Kim, HL (2009). Hazards for the sea salt production procedures and its improvement. *Safe Food*, 4(4), 8–13. [Korean Literature]
- Kwak, MS (2016). Scrub Cosmetic Composition Comprising Solar Salt. Korean Intellectual Property Office, Korean Patent KR 10–1685686.
- Lee, BH, Yang, AR, Kim, MY, McCurdy, S and Boisvert, WA (2017). Natural sea salt consumption confers protection against hypertension and kidney damage in Dahl salt-sensitive rats. *Food & nutrition research*, 61(1), 1264713.
- Lee, HM, Lee, WK, Jin, JH and Kim, IC (2013). Physicochemical properties and microbial analysis of Korean solar salt and flower of salt. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(7), 1115–1124. [Korean Literature]
- Lee, HS, Doe, GY and Kang, YH (2019). A study on site evaluation process for thalassotherapy complex. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 43(3), 219–230. [Korean Literature]
- Lee, KD, Park, JW, Choi, CR, Song, HW, Yun, SK, Yang, HC and Ham, KS (2007). Salinity and heavy metal contents of solar salts produced in Jeollanamdo province of Korea. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 36(6), 753–758. [Korean Literature]
- Lee, MS, Joung, JS and Park, DY (2014). The study about the scalp scaling effect of solar salt and Indigo Pulverata Levis. *Korean Journal of Aesthetic and Cosmetology*, 12(1), 119–125. [Korean Literature]
- Lee, SG, Seo, YM, Yoo, YK, Kim, SR and Lee, GK (2012). Scrub cosmetic composition comprising salt and/or sugar. Korean Intellectual Property Office, Korean Patent KR 10–1117564.
- Lee, SJ, Moon, KG, Kim, KS and Yoon, MS (1996). Cosmetic Composition containing Large Quantity of Salt. Korean Intellectual Property Office, Korean Patent KR 10–0149428.
- Min, S, Kim, HJ, Gwak, S, Shin, S, Jang, S and Jeong, J (2020). Comprehensive analysis to determine the differences of solar salt produced in South Korea and China. *Food Science and Biotechnology*, 29(3), 323–329.
- Ministry of Health and Welfare(MOHFW) (2020). 2020 Dietary Reference Intakes for Koreans : Mineral
- Park, ES, Yu, T, Yang, K, Choi, S, Lee, SM and Park, KY (2020). Cube natural sea salt ameliorates obesity in high fat diet-induced obese mice and 3T3-L1 adipocytes. *Scientific reports*, 10(1), 3407.
- Park, JW, Kim, SJ, Kim, SH, Kim, BH, Kang, SG, Nam, SH and Jung, ST (2000). Determination of mineral and heavy metal contents of various salts. *Korean journal of food science and technology*, 32(6), 1442–1445. [Korean Literature]
- Park, SY, Kang, JW, Jang, YS and Jeong, YG (2024). The Utilization and Standards of Domestic Peat Healing Resources. *Journal of Wetlands Research*, 26(4), 502–510. [Korean Literature]
- Park, SY, Kang, JW, Jeong, YG and Cho, YJ (2023). Characteristics and Standards of Domestic Tidal Flat Mud Marine Healing Resources. *Journal of Wetlands Research*, 25(4), 386–393. [Korean Literature]
- Proksch, E, Nissen, HP, Bremgartner, M and Urquhart, C (2005). Bathing in a magnesium-rich Dead Sea salt solution improves skin barrier function, enhances skin hydration, and reduces inflammation in atopic dry skin. *International journal of dermatology*, 44(2), 151–157.
- Rural Development Administration(RDA) (2013). Basic and Applied Research for Masterpiece-Natural Sun-dried Salt as Functional Food Materials. [Korean Literature]
- Seo, JH, Kim, HJ and Lee, SP (2012). Evaluation of the chemical compositions of solar salts produced in Korea. *Food Science and Preservation*, 19(4), 554–559. [Korean Literature]
- Shin, TS, Park, CK, Lee, SH and Han, KH (2005). Effects of age on chemical composition in sun-dried salts. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 37(2), 312–317. [Korean Literature]
- Yang, J and Lee, HS (2022). Determining the optimal cut-off point according to the outcome variables using R. *Journal of Digestive Cancer Reports*, 10(2), 99–106. [Korean Literature]