

## 발효 다시마(*Saccharina japonica*) 분말, 미역귀 후코이단 분말 및 이들 혼합분말의 수분 흡습 특성

이창현<sup>1</sup> · 심진하<sup>1</sup> · 김진현<sup>1</sup> · 유대웅<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 시니어 휴먼 에콜로지 협동과정(식품영양학전공), <sup>2</sup>창원대학교 식품영양학과

## Moisture Sorption Characteristics of *Lactobacillus brevis*-fermented Sea Tangle *Saccharina japonica*, Mekabu Fucoidan, and These Mixture Powders

Changheon Lee<sup>1</sup>, Jin Ha Sim<sup>1</sup>, Jin Hyeon Kim<sup>1</sup> and Daeung Yu<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Senior Human Ecology Cooperative Course (Food and Nutrition), Changwon National University, Changwon 51140, Korea

<sup>2</sup>Department of Food and Nutrition, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

The goal of this study was to investigate moisture sorption characteristics of *Lactobacillus brevis*-fermented sea tangle *Saccharina japonica*, Mekabu fucoidan, and these mixture powders. Moisture sorption isotherms of powders were determined at 37°C using the static gravimetric technique in a water activity ( $a_w$ ) range of 0.11-0.93. Equilibrium moisture content ( $X_{eq}$ ) values of the fermented sea tangle powder were almost 3 times when  $a_w < 0.7$  and increased upto almost 4 times when  $a_w < 0.9$  higher than mekabu fucoidan powder. In these reason, to improve strong hygroscopic nature of the fermented sea tangle powder, fermented sea tangle and mekabu fucoidan powders were dissolved as ratios of 7:3, 5:5, and 3:7 (w/w) in a distilled water and then freeze dried.  $X_{eq}$  values of mixture powders were around average value of sum of both powders at all  $a_w$  ranges. All moisture sorption isotherms of powders exhibited typical J-shaped type III.  $X_{eq}$  of mixture powders increased with increasing  $a_w$  and decreased as increasing proportion of mekabu fucoidan powder. The Peleg model was found to accurately describe moisture sorption isotherms of powders. The results can be used to understand hygroscopic nature of powders, improve shelf life, and retain quality across postharvest processing.

Keyword: *Lactobacillus brevis*, Fermented sea tangle, Mekambu fucoidan, Moisture sorption isotherm, Modeling

### 서론

다시마(*Saccharina japonica*)는 식용 갈조류로써 식이섬유, 단백질, 카로티노이드, 비타민, 필수 지방산 및 미네랄과 같은 건강 증진 물질의 좋은 공급원으로 알려져있으며, 항응고제, 항증식제 및 항산화 활성과 같은 다양한 생물학적 및 기능성 식품 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Haroun-Bouhedja et al., 2000; Yuan and Walsh, 2006; Wang et al., 2008). 다시마는 또한 주요 신경억제전달물질로 작용하는 비단백질 아미노산인  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA)를 함유하고 있

으며 저혈압, 이뇨 및 진정 작용과 같은 유익한 생리적 특성을 갖는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2010). Lee et al. (2010)는 다시마를 probiotic bacteria인 *Lactobacillus brevis* BJ20으로 발효 시켰을 때 다시마의 GABA 함량이 약 100배 증가했다고 보고하였다. 그러나 발효 다시마 분말은 수분 흡습성이 강해 가공, 취급 및 보관 시 안정성이 낮아 기능성 식품 개발에서의 이용성이 크게 제한적이다(Yu et al., 2019).

미역귀(*Unidaria pinnatifida*) 후코이단은 미역귀에서 추출한 황화 다당류로서, 다양한 생리활성기능을 가지는 것으로 알려져 있다. 헤파린(heparin)과 유사한 구조를 가진 물질로 알려

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 213. 3513 Fax: +82. 55. 213. 7480

E-mail address: duy@changwon.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/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0107>

Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 107-110, February 2021

Received 14 December 2020; Revised 13 January 2021; Accepted 15 January 2021

저자 직위: 이창현(대학원생), 심진하(대학원생), 김진현(대학원생), 유대웅(교수)

져 있으며, 혈행 개선, 항암, 면역조절작용 및 항바이러스 등의 생리활성기능이 보고되었다(Itoh et al., 1993; Chevolut et al., 1999; Cooper et al., 2002; Berteau and Mulloy, 2003). 선행 연구에서 미역귀 후코이단 분말의 수분 흡습성은 상대적으로 발효 다시마 분말 보다 낮음을 확인하였다. 따라서, 발효 다시마 분말의 높은 수분 흡습력으로 인한 낮은 가공 및 유통 안정성을 수분 흡습력이 낮은 미역귀 후코이단 분말과의 화학적 결합을 통해 보완하며, 이에 따른 기능성 향상을 도모하고자 한다.

본 연구의 목적은 저장 온도(37°C) 및  $a_w$  (0.11-0.96)에서 *L. brevis* 발효 다시마 분말, 미역귀 후코이단 분말 및 이들 혼합분말의 수분 흡습력을 분석하고,  $a_w$ 에 따른 Equilibrium moisture content ( $X_{eq}$ ) 예측 모델을 도출하여 분말들의 수분 흡습 특성을 조사하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

건 다시마(*S. japonica*)의 경우 Food & Food Co., Ltd. (Busan, Korea)에서 제공받았다. 다시마 분말 발효에 사용되는 *L. brevis* BJ20는 Marine Bioprocess Co., Ltd. (Busan, Korea)에서 제공받았다. Lithium chloride (LiCl), Potassium acetate ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ), Magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ ), Potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), Magnesium nitrate ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ), Potassium iodide (KI), Ammonium sulfate ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), Potassium nitrate ( $\text{KNO}_3$ ) 및 Thymol ( $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$ )는 삼진순약(Samchun Pure Chemical Co. Ltd., Seoul, Korea)에서 구매하였다.

### 발효 다시마 분말 제조

발효 다시마 분말은 Kang et al. (2012)의 방법에 따라 제조하였다. 건 다시마를 깨끗한 물로 헹군 후 건 다시마 양의 2배 증류수에 1시간 동안 담귀 탈염 처리 후, 건조 오븐(60°C, 24시간)에서 건조시킨 후 분쇄기로 분쇄하였다. 다시마 분말에 쌀가루 3% (w/w)를 혼합하고 15배의 증류수(w/v)를 첨가하여 고압 증기멸균기에서(121°C, 30분) 증숙 및 살균을 진행하였다. De Man-Rogosa-Sharp (MRS) Broth에 *L. brevis* BJ20 (KCTC 11377BP)을 37°C진탕 배양기(DS 301-FL, Dasol science, Hwasung, Korea)에서 24시간 배양 후 다시마 용액에 2% 접종 후, 37°C진탕 배양기(DS 301-FL, Dasol science, Hwasung, Korea)에서 24시간 발효하였다. 발효된 다시마 용액을 면포를 이용하여 여과 후 -20°C에서 48시간 동안 동결건조(FD-550; Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)하였다.

### 미역귀 후코이단 분말 제조

사용된 미역귀 후코이단 분말의 제조 공정은 건 미역귀에 0.1N HCl을 1:100 (w/v)비율로 산분해(45°C, 12시간)시킨 후 여과액에 95% 발효주정을 동량 추가하여 12시간 동안 침지

시킨 후 14,901 g에서 연속원심분리(J-1050A, Hanil Sci-med Co., Ltd., Deajeon, Korea)하여 동결건조 된 분말을 세진 바이오텍(Sejin biotech, Seoul, Korea)으로부터 제공받았다.

### 발효 다시마 및 미역귀 후코이단 혼합 분말 제조

상온에서 증류수 500 mL에 발효 다시마 분말과 미역귀 후코이단 분말을 7:3, 5:5 및 3:7 (w/w)비율로 50 g을 넣어 완전 용해시킨 후 -20°C에서 48시간 동안 동결 건조(FD-550; Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)하여 제조하였다.

### 수분 흡습 등온곡선 (MSI) 분석

분말들의 MSI (moisture sorption isotherms)는 37°C에서 중량 측정법으로 측정하였다. 9개의 유리 데시케이터 바닥에 약 300 g의 염을 각각 넣고 증류수에 용해하여 포화된 염용액을 만든 후, 37°C배양기(AS-B105; A-sung Tester., Busan, Korea)에서 최소 24시간 동안  $a_w$  평형을 만들어 0.11-0.96 범위의  $a_w$ 를 가지는 포화 염 데시케이터를 얻는다(Table 1). 각 분말( $2 \pm 0.001$  g)을 계량된 알루미늄 접시에 최대한 평평하게 준비하여 포화 염 데시케이터에 넣은 후,  $a_w > 0.67$ 인 데시케이터에는 30 g의 Thymol을 넣어 미생물 성장을 억제했다. 분말이 포함된 데시케이터를 37°C의 배양기에 넣고, 시료의 무게 변화가  $\pm 0.001$  g 미만일 때까지 정밀 저울(ARG224; Ohaus, Parsippany, NJ, USA)을 사용하여 무게 변화를 측정하였다.

### 수분 흡습 등온곡선 모델링

MSI의 모델링은 앞선 연구인 Yu et al. (2019)에 규명한 최적 모델식인 Peleg model을 적용하여 분석하였다. 모델식의 매개 변수는 SPSS 소프트웨어(ver. 20.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 비선형 회귀 분석을 통해 도출하였다.

## 결과 및 고찰

### 수분 흡습 등온곡선 (MSI)

37°C에서 발효 다시마 분말과 미역귀 후코이단 분말의 수분

Table 1. Water activities of saturated salt solutions at 37°C (Yu et al., 2019)

Saturated salt solution	$a_w$
Lithium chloride (LiCl)	0.111
Potassium acetate ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ )	0.204
Magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ )	0.319
Potassium carbonate ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )	0.431
Magnesium nitrate ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ )	0.488
Potassium iodide (KI)	0.674
Ammonium sulfate ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )	0.797
Potassium nitrate ( $\text{KNO}_3$ )	0.919

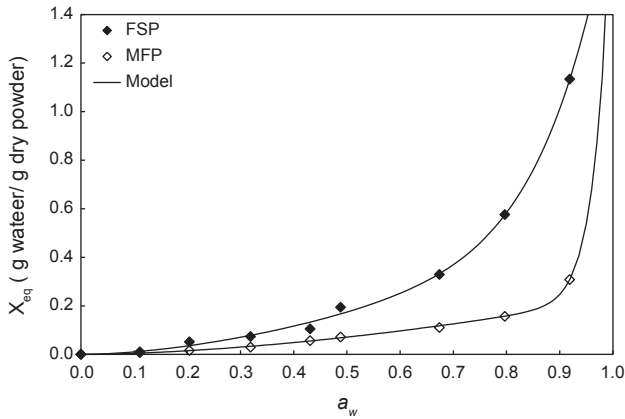


Fig. 1. Moisture sorption isotherms comparison of fermented sea tangle *Saccharina japonica* (FSP,  $\blacklozenge$ ) and mekabu fucoidan (MFP,  $\diamond$ ) powders, Symbols represent experimental data and solid lines are simulated results obtained from the Peleg model.

흡습 등온곡선은 Fig. 1과 같았다. 발효 다시마의 37°C에서의 수분 흡습 등온곡선은 Yu et al. (2019)으로부터 채택하여 사용하였다. 두 분말의  $X_{eq}$ 는  $a_w$ 가 0에서 0.7까지 증가함에 따라 선형적으로 증가한 다음  $a_w > 0.7$ 에서 급격히 증가하였다. 이러한 현상은 푸쿠스(*Fucus vesiculosus*), 카파피쿠스 알바레시아이(*Kappaphycus alvarezii*), 꼬시래기(*Gracilaria* spp.) 및 우뚝가사리(*Gelidium sesquipedale*)와 같이 해조류에 대해서 연구된 전형적인 type III (J형)의 수분 흡습 특성이었다(Mohamed et al., 2005; Lemus et al., 2008; Senthil et al., 2011; Moreira et al., 2016).

발효 다시마 분말의  $X_{eq}$ 는 선형 증가영역( $a_w < 0.7$ )에서 약 0.4 g water/g dry matter 미만이었지만  $a_w$ 가 0.9 이상으로 증가함에 따라 1.13 g water/g dry matter으로 약 2.8배 증가하였다. 다른 해조류의  $X_{eq}$ 는 일반적으로  $a_w < 0.7$ 에서 약 0.1-0.2 g water/g dry matter이었고,  $a_w$ 가 0.9 이상으로 증가함에 따라 약 0.6-1.4 g water/g dry matter으로 약 5.2에서 6.5까지 증가하였다(Lemus et al., 2008; Senthil et al., 2011; Moreira et al., 2016). 발효 다시마 분말의 수분 흡습력은 다른 해조류보다 높은 것으로 관찰되었다.

미역귀 후코이단 분말의  $X_{eq}$ 는  $a_w < 0.7$ 에서 약 0.1 g water/g dry matter 미만이었으며,  $a_w$ 가 0.9 이상일 때 0.4 g water/g dry matter으로 약 4배 증가하였다. 두 분말의 비교 시 발효 다시마 분말의  $X_{eq}$ 값이 미역귀 후코이단 분말보다 약 4배 높은 수분 흡습력을 나타내었다.

혼합분말들의 수분 흡습 등온곡선은 Fig. 2와 같다. 혼합분말에서의  $X_{eq}$  또한  $a_w$ 가 0.7까지 증가함에 따라 선형적으로 증가한 후  $a_w$ 가 0.9 이상일 때 급격히 증가하였고 type III (J형)의 수분 흡습 특성을 보여주었다. 혼합분말의 수분 흡습은 미역귀 후코이단 분말의 비율이 증가할수록  $X_{eq}$ 값이 감소하는 경향

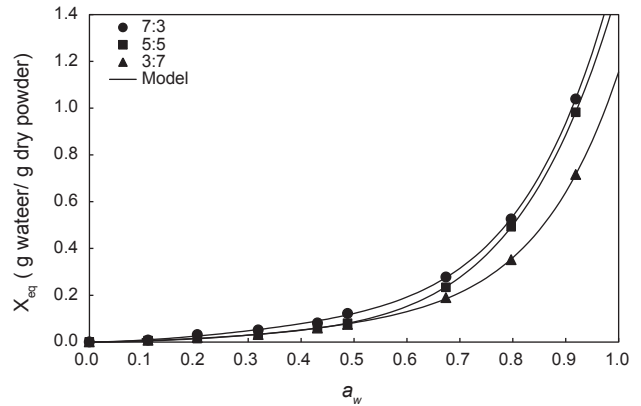


Fig. 2. Moisture sorption isotherms comparison of fermented sea tangle *Saccharina japonica* (FSP) and mekabu fucoidan (MFP) was mixed as ratios of 7:3 ( $\bullet$ ), 5:5 ( $\blacksquare$ ), and 3:7 ( $\blacktriangle$ ), Symbols represent experimental data and solid lines are simulated results obtained from the Peleg model.

을 보여주었으며,  $a_w$ 가 0.9이상일때 약 1.04 (7:3), 0.982 (5:5) 및 0.716 (3:7) g water/g dry matter까지 감소하는 경향을 보여주었다. 혼합분말의  $X_{eq}$  값은 모든  $a_w$  범위에서 약 두 분말의  $X_{eq}$  합의 평균값으로 관찰되었다.

위 결과와 같이 상대적으로 높은 수분 흡습력을 보여주는 발효 다시마 분말과 낮은 수분 흡습력을 보여주는 미역귀 후코이단 분말의 혼합을 통하여 수분 흡습력 조절 가능성을 확인하였으며, 이는 해조류 유래 기능성 분말의 가공 및 유통 안정성 측면에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 수분 흡습 등온곡선 모델링

모든 분말들의  $a_w$ 에 따른  $X_{eq}$  예측 모델인 Peleg model의 매

Table 2. Parameters of sorption isotherm models, coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error (SE), and mean relative percentage deviation modulus ( $M_r$ ) estimated for moisture sorption isotherms of fermented sea tangle, mekabu fucoidan and these mixture powders

Model	Parameters	Samples				
		FSP <sup>1</sup>	7:3 <sup>2</sup>	5:5	3:7	MFP <sup>3</sup>
Peleg	$K_1$	0.568	1.302	1.349	0.873	0.230
	$K_2$	1.320	0.324	0.167	0.281	1.805
	$n_1$	1.731	6.427	5.678	7.194	1.689
	$n_2$	8.519	1.596	1.486	1.877	33.225
	$R^2$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
	SE	0.021	0.006	0.003	0.004	0.005
	$M_r$ (%)	11.920	6.466	3.479	10.878	4.798

<sup>1</sup>FSP, Fermented sea tangle powder. <sup>2</sup>Mixture ration of FSP and MFP. <sup>3</sup>MFP, Mekabu fucoidan powder.

개변수들은 Table 2에 명시되었다. 매개변수인  $K_1$ 과  $K_2$ 는 초기의 수분 흡수속도와 총 수분 흡수량을 나타낸다.  $K_1$ 이 낮을수록 분말의 초기 수분 흡수 속도는 증가하고,  $K_2$ 가 낮을수록 총 수분 흡수량은 증가한다(Turhan et al., 2002). 발효 다시마 분말과 미역귀 후코이단 분말의  $K_1$ 과  $K_2$ 를 비교 하였을 때 발효 다시마 분말의  $K_1$  (0.568)이 미역귀 후코이단 분말의  $K_1$  (0.230)보다 높아 발효 다시마 분말의 초기 수분 흡수 속도가 후코이단 분말보다 낮았으나, 발효 다시마 분말의  $K_2$  (1.320)가 미역귀 후코이단 분말  $K_2$  (1.805)보다 낮아 발효 다시마 분말의 총 수분 흡수량은 미역귀 후코이단 분말보다 높음을 확인하였다 (Fig. 1). 혼합분말의  $K_1$  및  $K_2$  값은 두 분말의 화학 및 물리적 결합에 의해 실제 혼합분말의 수분 흡수 특성과는 큰 연관이 없는 것으로 관찰되었다.

## 사 사

이 논문은 2019-2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

## References

- Berteau O and Mulloy B. 2003. Sulfated fucans, fresh perspectives: structures, functions, and biological properties of sulfated fucans and an overview of enzymes active toward this class of polysaccharide. *Glycobiology* 13, 29R-40R. <https://doi.org/10.1093/glycob/cwg058>.
- Chevolot L, Foucault A, Chaubet F, Kervarec N, Sinquin C, Fisher AM and Boisson-Vidal C. 1999. Further data on the structure of brown seaweed fucans: relationships with anticoagulant activity. *Carbohydr Res* 319, 154-165. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(99\)00127-5](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(99)00127-5).
- Cooper R, Dragar C, Elliot K, Fitton JH, Godwin J and Thompson K. 2002. GFS, a preparation of Tasmanian *Undaria pinnatifida* is associated with healing and inhibition of reactivation of Herpes. *BMC Complement Altern Med* 2, 11. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-2-11>.
- Haroun-Bouhedja F, Ellouali M, Sinquin C and Boisson-Vidal C. 2000. Relationship between sulfate groups and biological activities of fucans. *Thromb Res* 100, 453-459. [https://doi.org/10.1016/S0049-3848\(00\)00338-8](https://doi.org/10.1016/S0049-3848(00)00338-8).
- Itoh H, Noda H, Amano H, Zhuang C, Mizuno T and Ito H. 1993. Antitumor activity and immunological properties of marine algal polysaccharides, especially fucoidan, prepared from *Sargassum thunbergii* of Phaeophyceae. *Anticancer Res* 13, 2045-2052.
- Kang YM, Lee BJ, Kim JI, Nam BH, Cha JY, Kim YM, Ahn CB, Choi JS, Choi IS and Je JY. 2012. Antioxidant effects of fermented sea tangle *Laminaria japonica* by *Lactobacillus brevis* BJ20 in individuals with high level of  $\gamma$ -GT: a randomized, double-blind, and placebo-controlled clinical study. *Food Chem Toxicol* 50, 1166-1169. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.11.026>.
- Lee BJ, Kim JS, Kang YM, Lim JH, Kim YM, Lee MS, Jeong MH, Ahn CB and Je JY. 2010. Antioxidant activity and  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) content in sea tangle fermented by *Lactobacillus brevis* BJ20 isolated from traditional fermented foods. *Food Chem* 122, 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.071>.
- Lemus RA, Pérez M, Andrés A, Roco T, Tello CM and Vega A. 2008. Kinetic study of dehydration and desorption isotherms of red alga *Gracilaria*. *LWT* 41, 1592-1599. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.011>.
- Mohamed LA, Kouhila M, Lahsasni S, Jamali A, Idlimam A, Rhazi M, Aghfir M and Mahrouz M. 2005. Equilibrium moisture content and heat of sorption of *Gelidium sesquipedale*. *J Stored Prod Res* 41, 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2004.03.001>.
- Moreira R, Chenlo F, Sineiro J, Arufe S and Sexto S. 2016. Drying temperature effect on powder physical properties and aqueous extract characteristics of *Fucus vesiculosus*. *J Appl Phycol* 28, 2485-2494. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0744-9>.
- Senthil A, Mamatha BS, Vishwanath P, Bhat KK and Ravishankar GA. 2011. Studies on development and storage stability of instant spice adjunct mix from seaweed *Eucheuma*. *J Food Sci Technol* 48, 712-717. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0165-3>.
- Turhan M, Sayar S and Gunasekaran S. 2002. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. *J Food Eng* 53, 153-159. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00152-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00152-2).
- Yu D, Kwon G, Kim M, Kim YM, Choi SI, Kim GH and Chung D. 2019. Moisture sorption characteristics of probiotic-fermented sea tangle powder and its thermodynamic properties. *J Food Process Preserv* 43, e13991. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13991>.
- Yuan YV and Walsh NA. 2006. Antioxidant and antiproliferative activities of extracts from a variety of edible seaweeds. *Food Chem Toxicol* 44, 1144-1150. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.02.002>.
- Wang J, Zhang Q, Zhang Z and Li Z. 2008. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Laminaria japonica*. *Int J Biol Macromol* 42, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.10.003>.