



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

톱니모자반(*Sargassum serratifolium*)의  
항산화 효과 증대를 위한 추출공정 최적화



식품공학과

김성희

공학석사학위논문

톱니모자반(*Sargassum serratifolium*)의  
항산화 효과 증대를 위한 추출공정 최적화



2021년 2월

부경대학교 대학원

식품공학과

김성희

김성희의 공학석사 학위논문을 인준함.

2021년 2월 19일



# 목차

List of Figure .....	iv
List of Table .....	v
Abstract .....	vii
I. 서론.....	1
1. 항산화 활성.....	1
2. 톱니모자반의 특성.....	2
3. 반응표면분석법.....	4
4. 연구목적.....	6
II. 재료 및 방법.....	7
1. 실험재료.....	7
2. 실험방법.....	7
2.1. 추출물 제조.....	7
2.2. 반응표면분석법을 이용한 실험설계 .....	8

2.3. DPPH 라디칼 소거능 측정	11
2.4. 총 페놀 함량 측정	11
2.5. 데이터 분석 및 추출조건 최적화	12
2.6. 반응표면모델의 검증	13
2.7. 최적 추출물의 항산화 성분 분석	13
2.8. 최적 추출물의 환원력 측정	16
2.9. 최적 추출물의 금속봉쇄력 측정	16
2.10. 통계처리	17
<b>III. 결과 및 고찰</b>	<b>18</b>
1. 추출 수율	18
2. DPPH 라디칼 소거능	23
3. 총 페놀 함량	28
4. 최적추출조건의 결정 및 모델 검증	32
5. 최적추출조건에서의 항산화 성분 함량	34
6. 최적 추출물의 환원력	37

7. 최적 추출물의 금속봉쇄력.....	40
IV. 결론.....	42
V. 참고문헌.....	43
VI. 감사의 글.....	51



## List of Figure

Fig. 1. A picture of <i>Sargassum serratifolium</i> .....	3
Fig. 2. Chemical structures of sargahydroquinic acid, sargaquinic acid and sargachromanol .....	14
Fig. 3. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature( $X_1$ ) and time( $X_2$ ) on extraction yield( $Y_1$ ) .....	21
Fig. 4. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature( $X_1$ ) and time( $X_2$ ) on DPPH radical-scavenging activities( $Y_2$ ) .....	26
Fig. 5. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature( $X_1$ ) and time( $X_2$ ) on total phenolic contents( $Y_3$ ) .....	31

## List of Table

Table 1.	Independent variables and their coded and actual values used for optimization of extraction condition from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	9
Table 2.	Experimental order of central composite design used for response surface methodology with two independent variables from <i>Sargassum serratifolium</i> .	10
Table 3.	HPLC conditions of determination of Sargahydroquinoic acid, Sargaquinoic acid, Sargachromanol .....	15
Table 4.	Experimental data of extraction yield for optimum extraction condition from <i>Sargassum serratifolium</i> ....	19
Table 5.	Analysis of variance for extraction yield from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	20
Table 6.	Experimental data on DPPH radical-scavenging activities for optimum extraction condition from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	24
Table 7.	Analysis of variance for DPPH radical-scavenging activities from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	25
Table 8.	Experimental data of total phenolic contents for optimum extraction condition from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	29
Table 9.	Analysis of variance for total phenolic contents from <i>Sargassum serratifolium</i> .....	30
Table 10.	Optimum conditions and comparison of predicted and observed values for verification .....	33

Table 11.	Conditions to optimize 3 response variables such as yield, DPPH radical–scavenging activity, Total phenolic content .....	35
Table 12.	Experimental and predicted results of verification under the optimized condition .....	36
Table 13.	Identification and quantification of three major antioxidants from <i>Sargassum serratifolium</i> in the optimum condition .....	38
Table 14.	Reducing power of <i>Sargassum serratifolium</i> extracts	39
Table 15.	Chelating activity of <i>Sargassum serratifolium</i> extracts .....	41



# Optimization of Extraction Process to Increase Antioxidant Effect of *Sargassum serratifolium*

Seong Hee Kim

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University,  
Busan 48513, Korea

## Abstract

*Sargassum serratifolium* has been known to contain a high level of meroterpenoids as antioxidant components. The optimal condition of extraction temperature and time was obtained for the maximum extraction of yield, antioxidant activity and phenolic content from *Sargassum serratifolium* by using response surface methodology (RSM). Independent variables include extraction temperature (30~70°C) and time (12~36 hr), dependent variables include yield, DPPH radical-scavenging activity and total phenolic content. The extraction temperature and time significantly influenced the yield, DPPH radical-scavenging activity and total phenolic content. As the extraction temperature and time increased, yield increased, but DPPH radical-scavenging activity and total phenolic content decreased. The optimal condition obtained by RSM is 54°C extraction temperature, 7 hr extraction time. In this condition, the yield was 8.2%, DPPH radical-scavenging activity was 60% and total phenolic content was predicted to be 163 mg GAE/g. These results of this study suggest useful information in the manufacturing process for developing *Sargassum serratifolium* extract as food and cosmetic ingredients.

# I. 서론

## 1. 항산화 활성

활성산소(reactive oxygen species, ROS)는 유기호흡과 생체이물 및 미생물 침입에 대한 세포 반응 중에 생성된다(Ray 등, 2012). 활성산소는 superoxide radical ( $O_2^-$ ), peroxy radical( $ROO^-$ ), hydroxyl radical( $\bullet OH$ )과 같은 산소 중심의 라디칼과 hydroperoxide ( $ROOH$ ), hydrogen peroxide( $H_2O_2$ ) 와 같은 비라디칼 종들을 포함한다. 이러한 활성산소가 증가하거나 세포 항산화 능력이 감소하게 되면 활성산소의 생성과 세포 항산화 능력 사이가 불균형 해져 산화스트레스가 발생하게 된다(Sies, 2000). 활성산소가 과잉 생성될 경우 막 지질, 단백질 및 DNA 와 같은 거대 분자에 산화스트레스와 손상을 유발한다. 이는 심혈관 질환, 신경장애, 비만, 노화, 암 및 만성 염증을 포함한 다양한 퇴행성 질환을 유발한다(Chakraborty 등, 2015). 따라서 산화스트레스는 다양한 질병과 밀접한 관련이 있기 때문에, free radical 의 발생을 억제시키고 산화 작용으로부터 생체를 보호할 수 있는 항산화작용이 중요하다. 페놀계 화합물은 라디칼 소거 활성과 항산화 효소 수준을 유도하여 항산화 활성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 페놀계 화합물은 가장 풍부한 2 차 대사

산물 중 하나이며 육상 식물에서 생체 내 및 생체 외에서 잘 연구된 항산화제이다. 해양자원과 관련해서는 해양 조류에서 다양한 항산화 화합물이 풍부하게 존재한다(Kadam 등, 2013).

## 2. 톱니모자반의 특성

해양 조류는 녹조류, 갈조류, 홍조류로 분류되며 연안지역에 분포하고 있다(Garson, 1989). 이러한 해양 조류는 영양적 가치가 풍부하여 기능성 식품 및 식의약품으로서 널리 사용되고 있다(Wells 등, 2017). Sargassum은 갈조류로 Sargassaceae과에 속하며 전 세계적으로 약 400종을 포함하고 있으며 전통적으로 한국과 중국에서 식품 및 민간 약재로 오랜 시간에 걸쳐 이용 되어왔다(Liu 등, 2012). Sargassum종은 meroterpenoids, polyphenols, fucoxanthins, sargaquinoic acids, sargachromanol을 포함한 다양한 생리 활성 화합물이 항산화, 신경보호, 항암, 항염증 및 간 보호 활성과 같은 유익한 특성을 가지고 있다고 알려져 있다(Yende 등, 2014). 그 중 항산화능에 대한 많은 연구에서 Sargassum의 친유성 추출물과 친수성 추출물 모두 강한 항산화능을 나타내었다(Birringer 등, 2018). 톱니모자반(*Sargassum serratifolium*)은 모자반속에 속하며 국내에서는 제주도 해역과 남해에 분포하고



Fig 1. A picture of *Sargassum serratifolium*

있으며 국외로는 중국, 일본, 홍콩 등에 분포하고 있다. 최근 톱니모자반의 기능성에 대한 연구로는 톱니모자반의 에탄올 추출물에 항산화능을 갖는 Sargahydroquinonic acid(SHQA), Sargaquinonic acid(SQA), Sargachromanol(SCM)을 포함한 isoprenoid quinones과 chromanol이 많이 함유되어 있으며, 강한 저색소침착효과, 항염증 및 항비만 활성에 대하여 보고하였다(Azam 등, 2017). 이러한 기능성을 통하여 식품과 화장품의 원료로서 사용되고 있다.

### 3. 반응표면분석법

실험 결과를 결정하는 요인은 실험에 사용된 재료나 방법뿐만 아니라 다양한 요소들이 관계되어 있다. 동일한 실험을 진행해도 원료, 장치, 공정, 실험자의 차이에 따라 결과에도 차이가 생긴다. 실험 계획법은 실험 후 얻은 데이터를 통계적 분석방법을 통해 최소의 실험 횟수로 어떻게 최적의 효과를 얻을 수 있을지 계획하는 것이다. 따라서 실험계획법의 가장 중요한 목적은 관심 있는 반응값을 최대 또는 최소로 최적화하는 독립변수들의 조건을 찾는 데 있다. 독립 변수의 조건에 따른 반응변수 값을 통해 다항방정식을 유도하고, 이를 좌표에 그릴 때 실험결과의 추정치들이 지나는 선이나 면을 반응표면이라고 하며, 실험자의 관심영역에서 최적조건을 찾는 방법을 반응표면분석법(response surface

methodology: RSM)이라고 한다. 반응표면분석법은 분산분석이나 요인배치실험 등과 같은 방법을 통하여 최적조건을 찾았을 때, 최적 조건 주위에서 독립변수와 반응 변수가 어떤 관계식을 갖고 있는지 분석해주는 방법이다.

반응표면분석법에는 중심합성계획법과 Box-Behnken 설계가 있다. 이 중 가장 일반적으로 사용되는 방법은 중심합성설계법이며, 이는 효율적으로 1 차, 2 차항을 추정하고자 할 때와 조건에 따른 실험 후에 추가 실험하여 곡률 반응변수를 모델화할 때 많이 사용된다. 중심합성설계법은 설정된 요인들이 관심 반응값에 어떠한 영향을 미치는지 알고자 하는 경우나 공정 조건을 만족시키는 요인들을 찾고자 하는 경우, 반응값을 최적화하기 위하여 요인들을 설정할 경우 등에 사용된다(Lee, 2014). 이러한 반응표면분석법은 식품의 제조공정을 최적화하기 위하여 다양한 식품연구에 사용되어왔다. Ren 등(2017)은 *Sargassum thunbergii* 의 다당류 추출 조건 최적화를 위하여 RSM 을 사용하였으며, Fawzy 등(2017)은 알긴산 추출공정 최적화에 대해 연구하였다.

#### 4. 연구목적

톱니모자반은 일반적으로 용매로 추출되어 왔으며, 최근의 연구에서는 다양한 용매 중에서 에탄올 추출물이 상대적으로 높은 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성을 나타내는 것을 알 수 있었다(Lim 등, 2019). 또한 톱니모자반의 용매 추출물의 기능성에 대한 연구는 존재하지만 추출 조건에 따른 수율, 항산화능에 대한 추출 조건 최적화에 대한 연구는 보고되지 않았다. 이에 본 연구에서는 반응표면분석법의 중심합성설계법을 사용하여 2 가지의 독립변수(추출온도, 추출시간)를 이용한 톱니모자반의 추출수율, 항산화능과 총 폴리페놀 함량의 최적추출조건에 대해 연구하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험에 사용된 톱니모자반(*Sargassum serratifolium*)은 부산 인근 해안에서 채취한 것을 구입하였다. 구입한 모자반은 담수로 깨끗이 세척하고 열풍 건조한 후 잘게 분쇄하여 -20도에서 동결저장하여 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1. 추출물 제조

톱니모자반 추출물의 용매로는 추출 용매별 톱니모자반의 항산화능을 분석한 Lim 등(2019)의 연구에서 보고된 결과를 바탕으로 에탄올을 추출용매로 사용하였다. 톱니모자반 시료 20g에 추출 용매 200mL를 가하여 진탕 항온수조(BS-11, Lab companion, Korea)에서 추출 조건에 따른 시간과 온도를 유지하여 추출하였다. 추출이 끝난 후 여과지(Qualitative filter paper, HM, Korea)를 이용하여 여과하였다. 여과액은 회전증발농축기(Laborota 4000, Heidolph, German)를 이용하여 농축액을 얻은 후, 드라

이 오븐에서 24시간 동안 건조하였다. 건조된 시료는  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 냉동 보관하며 실험에 사용하였다. 또한 추출 수율은 건조 후 얻은 추출물의 함량을 통하여 각 실험조건에 따라 산출하였다.

$$\text{Yield}(\%) = \frac{\text{weight of extract}}{\text{initial weight of dry sample}} \times 100$$

## 2.2. 반응표면분석법을 이용한 실험설계

톱니모자반의 수율, 항산화능, 총 폴리페놀 함량의 최적화를 위하여 반응표면분석법을 사용하였다. 실험설계는 두 가지의 독립변수(Independent variables)로 추출온도( $X_1$ ,  $^{\circ}\text{C}$ )와 추출시간( $X_2$ , hr)을 사용한 중심합성설계법(central composite design)을 이용하여 설계하였다(Table 1). 2개의 인자와 3개의 수준으로 이루어진 중심합성설계법으로 요인점  $2^2$ 개, 축점( $\alpha=1.414$ ) 4개와 중심점이 5개로 총 13번의 실험으로 설계하였다(Table 2). 두 독립변수의 범위 및 중심점 값은 예비 실험 결과를 바탕으로 설정하였다. 종속변수(dependent variables)는 수율( $Y_1$ , g), DPPH 라디칼 소거능( $Y_2$ , %)과 총 폴리페놀함량( $Y_3$ , mg GAE/mL)으로 설정하였으며, 3회 반복 측정하여 그 평균값을 회귀 분석에 사용하였다.

Table 1. Independent variables and their coded and actual values used for optimization of extraction condition from *Sargassum serratifolium*

Independent variables	Symbol	Range and levels				
		-1.414	-1	0	+1	+1.414
Extraction temperature(°C)	X <sub>1</sub>	22	30	50	70	78
Extraction time(hr)	X <sub>2</sub>	7	12	24	36	41

Table 2. Experimental order of central composite design used for response surface methodology with two independent variables from *Sargassum serratifolium*

Run No.	Independent variables				
	Coded values		Uncoded values		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	
Factorial portions	1	-1	-1	30	12
	2	1	-1	70	12
	3	-1	1	30	36
	4	1	1	70	36
Axial portions	5	-1.414	0	22	24
	6	1.414	0	78	24
	7	0	-1.414	50	7
	8	0	1.414	50	41
Center points	9	0	0	50	24
	10	0	0	50	24
	11	0	0	50	24
	12	0	0	50	24
	13	0	0	50	24

X<sub>1</sub>: Extraction temperature(°C), X<sub>2</sub>: Extraction time(hr)

### 2.3. DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능(DPPH radical scavenging activity)은 Blois 등 (1958)의 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 조건 별로 추출한 추출물을 1mg/mL 농도로 용매에 희석하여 시료로 사용하였으며, 각 시료 용액 2mL에 0.2mM DPPH 용액 2mL를 가한 후 암실에서 30분간 반응시켰다. Control로 시료 대신 용매를 사용하여 동일한 방법으로 반응시켰다. 반응액을 분광 광도계(UV1800, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였으며, 다음 계산식에 따라 라디칼 소거능(%)을 계산하였다.

$$\text{Scavenging activity(\%)} = \frac{A_{517} \text{ of control} - A_{517} \text{ of sample}}{A_{517} \text{ of control}} \times 100$$

### 2.4. 총 페놀 함량 측정

모자반 추출물의 총 페놀 함량(Total phenolic contents; TPC)은 Folin과 Denis(1912)를 변형하여 측정하였다. 각 시료들을 1mg/mL 농도로 용매에 녹인 다음, 시료용액 100 $\mu$ l에 증류수 900 $\mu$ l를 가하여 total volume이 1mL가 되도록 희석하였다. 여기에 Folin-Ciocalteu reagent 100 $\mu$ l를 가한 후 실온에 4분간 방치하였다. 이후 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>용액

200 $\mu$ l를 가하여 혼합하고, 증류수 700 $\mu$ l를 가하고 암실에서 1시간 반응시켰다. 반응 시킨 후 분광광도계(UV1800, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 700 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다. 추출물의 총 페놀 함량의 정량을 위해 gallic acid (Sigma Chemical Co., USA)를 사용하여 표준 검량선을 작성하였다. 농도별 gallic acid 표준용액을 시료와 동일한 방법으로 실험한 후 표준 검량선을 작성하여 mg gallic acid equivalent per mL (mg GAE/mL)로 나타내었다.

## 2.5. 데이터 분석 및 추출조건 최적화

통계 분석 및 처리는 Minitab 17 software(Minitab Inc., State College, Pa, USA)를 사용하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \beta_{ij} X_i X_j$$

3차원 반응표면그래프와 등고선도는 Maple software(Version 7, Waterloo Maple Inc., Waterloo, Ontario, Canada)를 이용하여 나타내었다.

## 2.6. 반응표면모델의 검증

2차 다항방정식은 최적추출조건을 찾기 위한 과정으로 정지점(stationary point)을 통하여 반응표면모델이 최대점, 최소점, 안장점 및 능선 형태인지를 판단하였다. 그 후 Minitab software를 사용하여 최적 추출 조건을 예측하였고, 예측된 최적추출조건에서 실제 실험을 통해 예측값의 정확도를 검증하였다. 즉 예측된 최적 추출조건에서 실제 추출 및 실험을 수행하여 예측된 반응값과 실험으로 얻은 반응값을 비교하였다. 예측값과 실험값의 차이는 오차(%)를 통해 정확도를 검증하였다.

## 2.7. 최적 추출물의 항산화 성분 분석

최적조건에서 추출한 추출물의 SHQA, SCM, SQA은 HPLC를 이용하여 측정하였다. 분석 시료에 메탄올을 가하여 녹이고 원심 분리한 후 상층액 100 $\mu$ l를 취하여 HPLC에 주입하였다. Table 3에 나타난 HPLC 분석조건으로 분석하였으며, 표준곡선에 의해 계산하였다(Gwon 등, 2018). 표준곡선 작성을 위해 SHQA, SCM, SQA의 표준을 메탄올을 이용하여 1.0, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, 100.0  $\mu$ g/mL의 농도로 희석한 후 동일한 HPLC 분석조건에서 분석하였다.

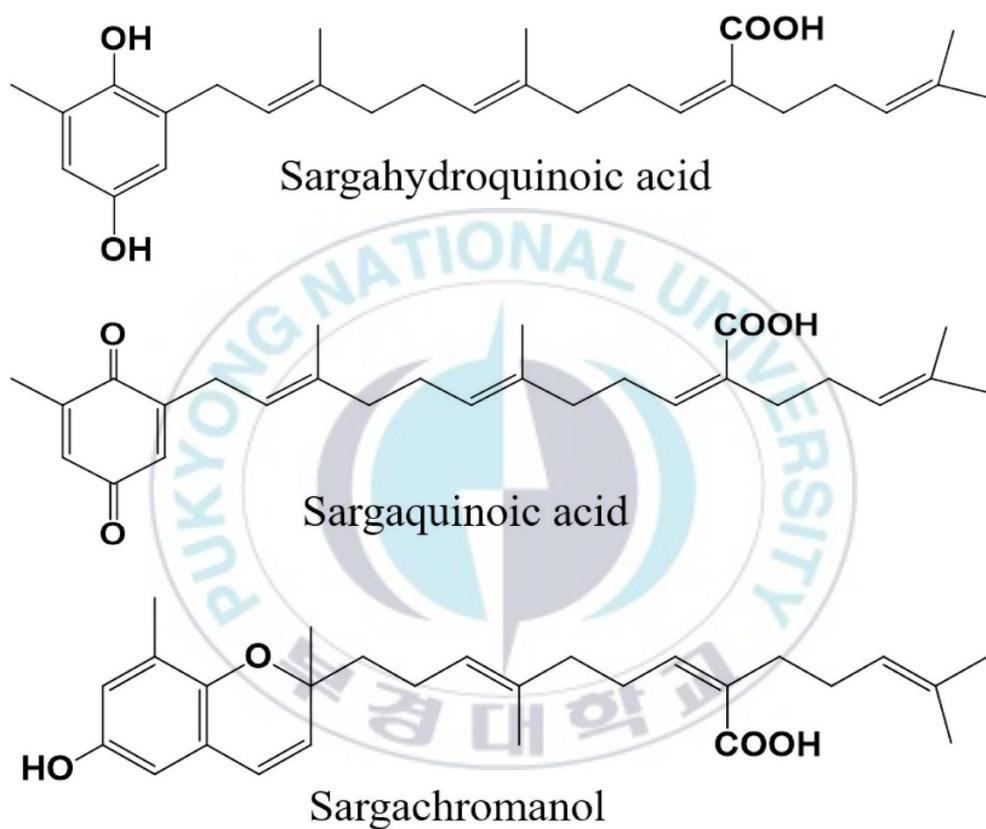


Fig 2. Chemical structure of sargahydroquinoic acid, sargaquinoic acid and sargachromanol

Table 3. HPLC conditions of determination of Sargahydroquinic acid, Sargaquinic acid, Sargachromanol

Parameters	Operation conditions
Column	Phenomenex Luna RP-18(2) (150×3.0mm, 3 μm)
Mobile phase	A: 0.1 formic acid in methanol B: 0.1 formic acid in water
Flow rate	0.34 mL/min
Pump	Shimadzu LC-6AD
Detector	Photodiode array detector (Shimadzu SPD-M20A)
Autosampler	SIL-20A
Injection volume	100 μl

## 2.8. 최적 추출물의 환원력 측정

추출물의 환원력은 Oyaizu (1986)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물을 1mg/mL의 농도로 용매에 희석하여 시료로 사용하였으며, 시료 0.5mL에 0.2M sodium phosphate buffer(pH6.6) 2.5mL를 가한 후 potassium ferricyanide 용액 2.5mL를 첨가하고 50℃에서 20분간 반응시켰다. 반응시킨 후 10% trichloroacetic acid(TCA)용액 2.5mL를 첨가한 다음 원심 분리하였다. 상층액 2mL에 초순수 2mL와 0.1% iron(III)chloride 용액 0.4mL를 가하여 혼합한 후 초순수 4.4mL를 가하고 분광광도계(UV1800, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 700nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 ascorbic acid를 사용하였으며, 환원력은 다음의 계산식에 따라 계산하였다.

$$\text{Reducing power(Abs)} = A_{700} \text{ of sample} - A_{700} \text{ of control}$$

## 2.9. 최적 추출물의 금속봉쇄력 측정

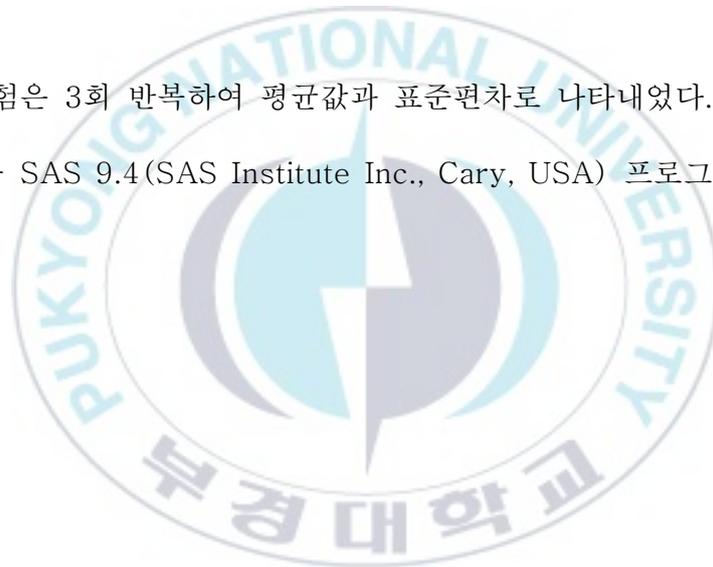
추출물의 금속봉쇄력은 Shimada 등(1992)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 0.2mL에 초순수 0.74mL를 가하여 혼합한 후, 2mM FeCl<sub>2</sub> 용액 0.02mL와 ferrozine 용액 0.04mL를 첨가하여 실온에서 20분간 반응시켰다. 반응시킨 후 분광광도계(UV1800, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이

용하여 562nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 용매를 사용하여 동일한 방법으로 측정하였으며, 금속봉쇄력은 다음의 계산식에 따라 계산 하였다.

$$\text{Chelating effect(\%)} = \frac{A_{562} \text{ of control} - A_{562} \text{ of sample}}{A_{562} \text{ of control}} \times 100$$

## 2.10. 통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 평균값과 표준편차로 나타내었다. 실험결과의 통계처리는 SAS 9.4(SAS Institute Inc., Cary, USA) 프로그램을 사용하였다.



### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 추출 수율

식품 공정에서 유효성분의 추출 수율을 최대로 하는 조건을 연구하는 것은 중요한 요소이다. 이에 본 연구에서는 수율을 최대로 가질 수 있는 추출 조건을 최적화 하고자 하였다. 중심합성설계법에 의해 설계된 실험조건에 대한 반응값은 Table 4에 나타내었다. 추출 수율에 대한 실험값 중에서 30℃, 12시간 추출한 경우에 가장 낮은 수율인 5.2%를 보였으며, 70℃, 36시간 추출한 경우에 가장 높은 수율인 11.9%를 나타내었다. 추출온도(x)와 추출시간(y)에 대한 추출 수율( $Y_1$ )의 관계를 데이터 통계 분석에 의한 2차 다항방정식은 다음과 같이 나타내었다.

$$Y_1 = 9.060 + 2.309x + 0.781y - 0.374x^2 - 0.074y^2 + 0.125xy$$

2차 다항방정식에 대한 회귀분석과 분산분석 결과는 Table 5에 나타내었다. 반응모델 회귀분석의 적합도를 나타내는  $R^2$ 은 0.984였으며, 이 2차 다항방정식의 p-value는 0.000으로 유의적 이었다. 이를 통해 2차 다항방정식이 반응값 예측에 적합하다고 판단하였다. 온도가 증가하고 시간이

Table 4. Experimental data of extraction yield for optimization of extraction condition from *Sargassum serratifolium*

Standard order	Extraction temperature (X <sub>1</sub> , °C)	Extraction time (X <sub>2</sub> , hr)	Yield* (%)
1	30	12	5.2 ± 0.7
2	70	12	9.8 ± 0.1
3	30	36	6.8 ± 0.1
4	70	36	11.9 ± 0.3
5	22	24	5.4 ± 0.1
6	78	24	11.6 ± 0.1
7	50	7	8.2 ± 0.0
8	50	41	10 ± 0.1
9	50	24	8.9 ± 0.1
10	50	24	8.7 ± 0.2
11	50	24	9.3 ± 0.1
12	50	24	9.2 ± 0.1
13	50	24	9.2 ± 0.2

\* Mean ± SD (n=2)

Table 5. Analysis of variance for extraction yield from *Sargassum serratifolium*

Sources	DF	SS	MS	F-value	p-value
Regression	5	48.5485	9.7097	84.08	0.000
Linear	2	47.5099	23.7549	205.70	0.000
X <sub>1</sub>	1	42.6340	42.6340	369.18	0.000
X <sub>2</sub>	1	4.8759	4.8759	42.22	0.000
Square	2	0.9762	0.4881	4.23	0.063
X <sub>1</sub> *X <sub>1</sub>	1	0.9717	0.9717	8.41	0.023
X <sub>2</sub> *X <sub>2</sub>	1	0.0378	0.0378	0.33	0.585
Interaction	1	0.0625	0.0625	0.54	0.486
Residual					
Lack of fit	3	0.5564	0.1855	2.94	0.162
Pure error	4	0.2520	0.0630		
Total	12	49.3569			
Fitness of model (R <sup>2</sup> )					0.984

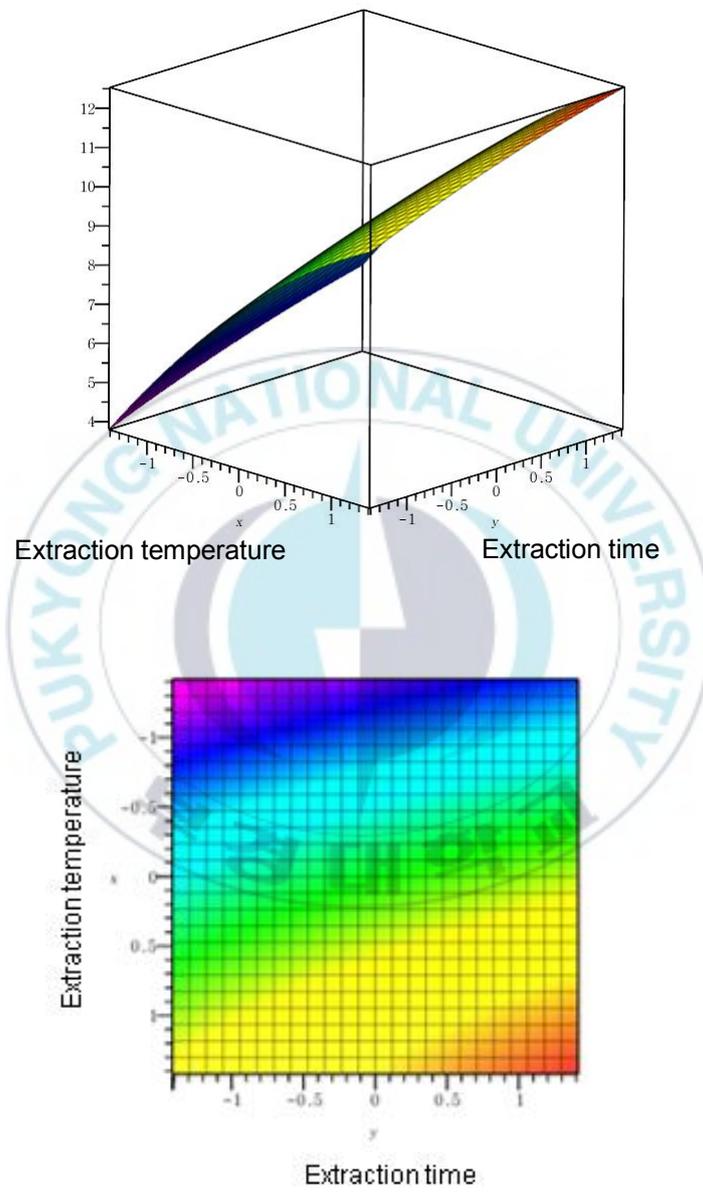


Fig 3. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature ( $X_1$ ) and time ( $X_2$ ) on extraction yield ( $Y_1$ )

길어짐에 따라 수율이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 추출 온도가 반응모델에 가장 유의적인 영향을 주는 조건으로 예측되었다. 추출 수율에 대한 3 차원 반응표면그래프와 등고선도는 Fig 3 에 나타내었다. 반응표면그래프는 온도와 시간이 증가함에 따라 상승하는 능선의 형태를 보였는데, 이의 경우 최대값이 설정된 실험조건 밖에서 나타나는 것을 의미한다. 즉, 추출 수율의 최대값은 온도 70℃ 이상, 36 시간 이상에서 나타날 것으로 예측되었다. 이는 *Sargassum latifolium* 에서의 알긴산 추출 최적화에 대한 선행 연구에서도 추출공정에서 온도가 높아질수록 추출 수율이 증가하였으며, 추출 수율의 반응표면그래프와 등고선도가 능선형을 나타내고 있음을 확인 하였다(Fawzy 등, 2017).

## 2. DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능 측정은 빠르고 간단하게 시료의 항산화 효과를 측정할 수 있어 식물이나 식품 등 다양한 추출물에 많이 사용되고 있는 방법이다. DPPH는 항산화 물질에 의해 비가역적으로 환원되어 보라색이 노란색으로 옅어 지는데, 이러한 색차를 비색정량하여 시료의 항산화 활성을 측정한다(Wisanu 등, 2009). 본 실험 조건에 따른 DPPH 라디칼 소거능은 Table 6에 나타내었다. 실험조건 중 추출온도 70°C에서 36시간 추출하는 경우에 29.7%로 가장 낮은 DPPH 라디칼 소거능을 나타냈으며, 추출온도 30°C에서 12시간 추출하는 경우에 최대값인 62.1%를 가지는 것으로 측정되었다. 추출온도(x)와 추출시간(y)에 대한 DPPH 라디칼 소거능( $Y_2$ )의 관계에 대한 결과는 다음의 2차 다항방정식으로 나타내었다.

$$Y_2 = 53.080 - 10.448x - 4.900y - 4.646x^2 + 0.704y^2 - 3.825xy$$

2 차 다항방정식에 대한 회귀분석과 분산분석 결과는 Table 7에 나타냈다.  $R^2$  값은 0.983을 나타냈으며, 2 차 다항방정식은  $p < 0.05$ 에서 유의하므로, 2 차 다항방정식이 반응값 예측에 적합하다고 판단 하였다. DPPH 라디칼 소거능에 대한 3 차원 반응표면그래프와 등고선도는 Fig 4에 나타내었다.

Table 6. Experimental data on DPPH radical-scavenging activities for optimum extraction condition from *Sargassum serratifolium*

Run No.	Extraction temperature (X <sub>1</sub> , °C)	Extraction time (X <sub>2</sub> , hr)	DPPH radical scavenging activity* (Y <sub>2</sub> , %)
1	30	12	62.1 ± 0.7
2	70	12	46.2 ± 5.6
3	30	36	60.9 ± 0.6
4	70	36	29.7 ± 6.2
5	22	24	56.1 ± 1.2
6	78	24	30.3 ± 9.3
7	50	7	61.5 ± 2.1
8	50	41	46.3 ± 8.6
9	50	24	53.3 ± 1.4
10	50	24	51.9 ± 0.4
11	50	24	54.4 ± 0.5
12	50	24	53.3 ± 2.1
13	50	24	52.5 ± 2.2

\* Mean±SD (n=2)

Table 7. Analysis of variance for DPPH radical-scavenging activities from *Sargassum serratifolium*

Sources	DF	SS	MS	F-value	p-value
Regression	5	1286.22	257.244	81.07	0.000
Linear	2	1065.38	532.692	167.88	0.000
X <sub>1</sub>	1	873.34	873.34	275.25	0.000
X <sub>2</sub>	1	192.04	192.04	60.52	0.000
Square	2	162.32	81.158	25.58	0.001
X <sub>1</sub> *X <sub>1</sub>	1	150.17	150.175	47.33	0.000
X <sub>2</sub> *X <sub>2</sub>	1	3.45	3.445	1.09	0.332
Interaction	1	58.52	58.522	18.44	0.004
Residual					
Lack of fit	3	18.64	6.214	6.97	0.046
Pure error	4	3.57	0.892		
Total	12	1308.43			
Fitness of model (R <sup>2</sup> )					0.983

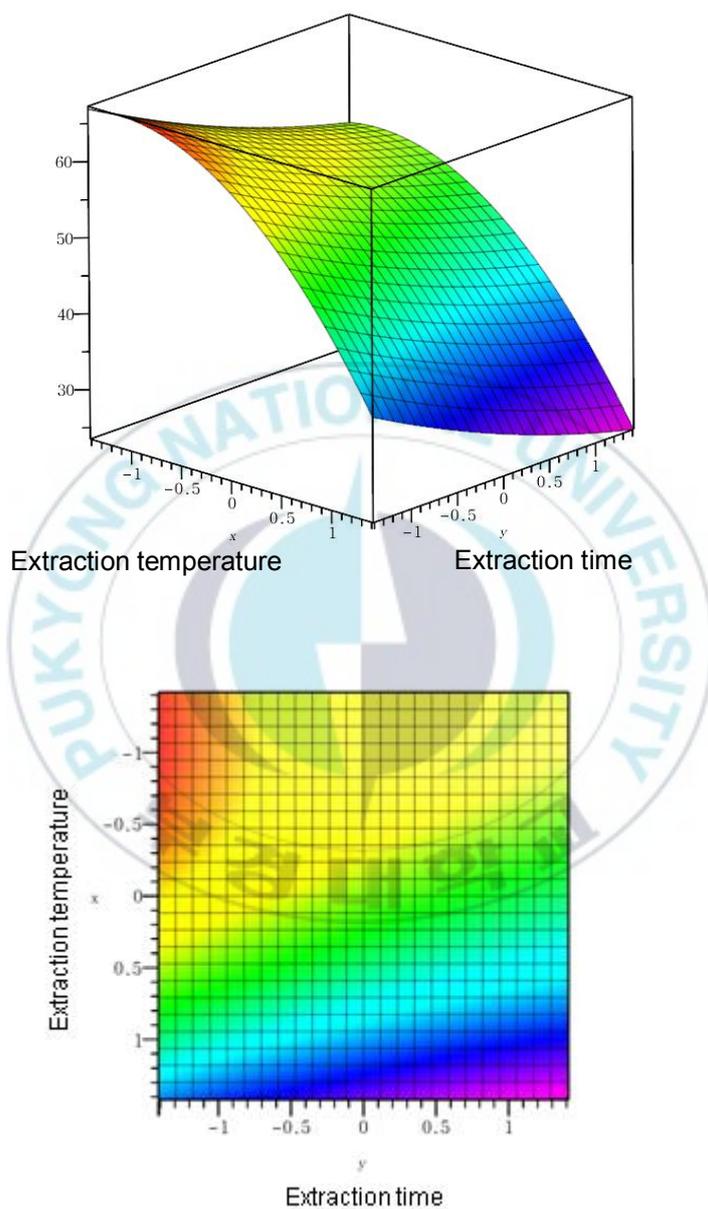


Fig 4. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature( $X_1$ ) and time( $X_2$ ) on DPPH radical-scavenging activities( $Y_2$ )

DPPH 라디칼 소거능은 온도가 낮아지고, 시간이 짧아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 통계분석 결과 추출 온도가 DPPH 라디칼 소거능에 가장 유의적인 영향을 주는 요인으로 예측되었다. 이러한 결과를 통해 높은 온도와 오랜 시간 동안 추출한 추출물은 라디칼 소거 활성을 갖는 항산화 활성을 나타내는 폴리 페놀 등의 성분들 대신 항산화 활성을 갖지 않는 성분들이 많이 추출된 것으로 판단된다(Ha 등, 2015).



### 3. 총 페놀 함량

다양한 추출물에서 항산화능과 총 페놀 함량 사이의 긍정적인 관계에 대해서 알려져 있다(Balboa 등, 2013). 최근 연구에서 톱니모자반에 meroterpenoids (SHQA, SQA, SCM), phlorotannins 그리고 fucoxanthin 등 다양한 페놀 화합물을 가지고 있다고 알려져 있다(Yende 등, 2014). 이에 각 추출물의 총 페놀 함량을 분석하여 항산화능을 판단하였다. 실험조건에 따른 총 폴리페놀 함량은 Table 8에 나타내었다. 실험조건 중 추출온도 78°C에서 24 시간 추출하는 경우에 105.3 mg GAE/mL로 가장 낮은 폴리페놀 함량이 추출되었으며, 추출온도 50°C에서 7시간 추출하는 경우에는 182.6 mg GAE/mL로 가장 많은 폴리페놀 함량이 추출되었다. 추출온도 (x)와 추출시간(y)에 대한 추출물의 총 페놀 함량( $Y_3$ )의 관계식을 데이터 분석에 의한 얻은 2차 다항방정식은 다음과 같이 나타내었다.

$$Y_3 = 125.66 - 18.69x - 16.00y + 1.14x^2 + 9.64y^2 + 4.75xy$$

2차 다항방정식에 대한 회귀분석과 분산분석 결과는 Table 9에 나타냈다.  $R^2$  값은 0.895를 나타냈으며, 2차 다항방정식은  $p < 0.05$ 에서 유의하므로,

Table 8. Experimental data of total phenolic contents for optimum extraction condition from *Sargassum serratifolium*

Run No.	Extraction temperature (X <sub>1</sub> , °C)	Extraction time (X <sub>2</sub> , hr)	Total phenolic contents* (Y <sub>3</sub> , mg GAE/mL)
1	30	12	161.7 ± 12
2	70	12	118.3 ± 4.5
3	30	36	132.6 ± 7.8
4	70	36	108.2 ± 3.3
5	22	24	163.1 ± 13
6	78	24	105.3 ± 5.7
7	50	7	182.6 ± 6.1
8	50	41	119.8 ± 3.4
9	50	24	127.9 ± 2.2
10	50	24	123.1 ± 2.1
11	50	24	125.2 ± 4.3
12	50	24	126.3 ± 1.9
13	50	24	125.8 ± 1.8

\* Mean ± SD (n=2)

Table 9. Analysis of variance for total phenolic contents from *Sargassum serratifolium*

Sources	DF	SS	MS	F-value	p-value
Regression	5	5581.22	1116.24	11.90	0.003
Linear	2	4843.74	2421.87	25.82	0.001
X <sub>1</sub>	1	2795.333	2795.33	29.80	0.001
X <sub>2</sub>	1	2048.40	2048.40	21.84	0.002
Square	2	647.23	323.61	3.45	0.091
X <sub>1</sub> *X <sub>1</sub>	1	9.12	9.12	0.10	0.764
X <sub>2</sub> *X <sub>2</sub>	1	647.14	647.14	6.90	0.034
Interaction	1	90.25	90.25	0.96	0.359
Residual					
Lack of fit	3	644.47	214.82	70.36	0.001
Pure error	4	12.21	3.05		
Total	12	6237.90			
Fitness of model (R <sup>2</sup> )					0.895

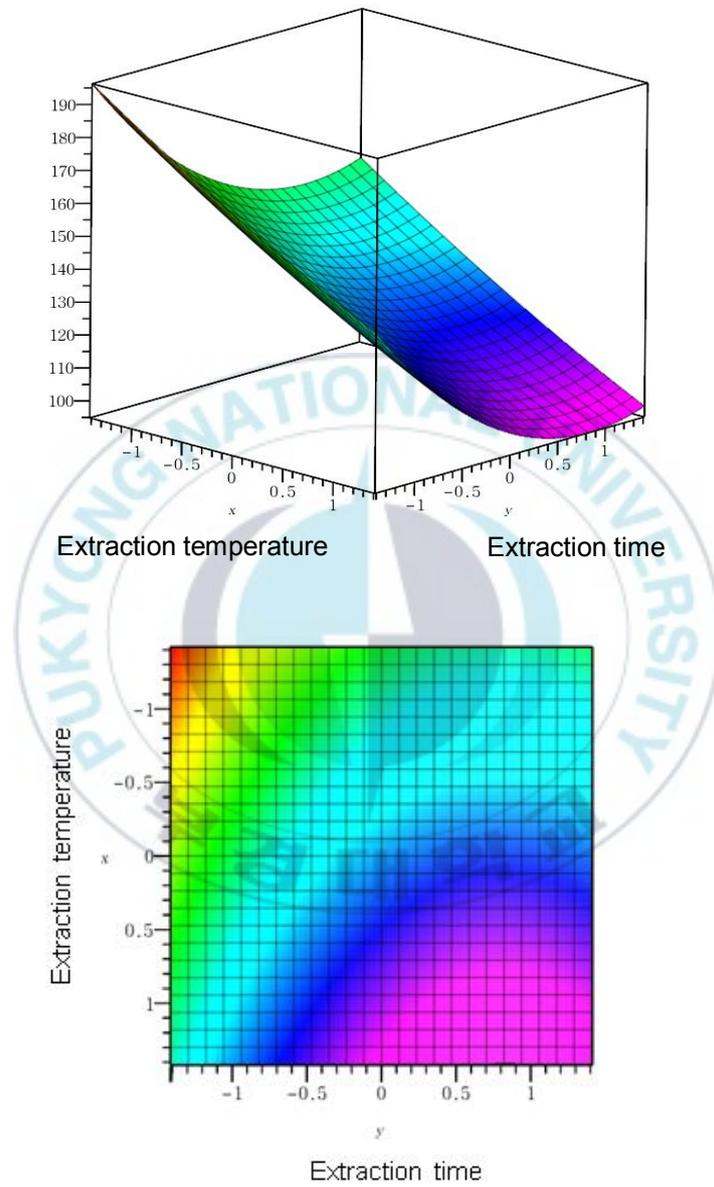


Fig 5. Response surface plot and contour plot showing the effects of extraction temperature ( $X_1$ ) and time ( $X_2$ ) on total phenolic contents ( $Y_3$ )

2 차 다항방정식이 반응값 예측에 적합하다고 판단 하였다. 총 폴리페놀 함량에 대한 3 차원 반응표면그래프와 등고선도는 Fig 5 에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 온도가 낮아지고, 시간이 짧아짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 이는 DPPH 라디칼 소거능의 결과와 유사한 경향을 보였다. 통계분석결과 추출시간이 반응모델에 가장 유의적으로 영향을 주는 요인으로 예측되었다.

#### 4. 최적추출조건의 결정 및 모델 검증

본 연구에서의 각 2차 다항방정식에서 예측한 최대값은 설정한 범위의 밖에 존재하는 것으로 예측되었다. 또한 3차원 반응표면그래프와 등고선도를 이용한 반응변수에서는 최대점이나 최소점을 찾지 못하였으며, 추출온도와 추출시간에 따른 반응값의 증가와 감소하는 경향 만을 확인하였다. 이에 반응 변수의 최대값이나 최소값을 갖는 최적 추출조건이 아닌 실험 조건 내에서의 최적 추출조건을 예측하였다. 각 반응변수에 대한 최적추출 조건은 Table 10에 나타내었다. 예측된 각각의 반응변수별 최적 추출조건에서 추출 및 실험을 수행하였으며 그 실험값을 예측값과 비교하여 모델의 정확도를 검증하였다. 실험값과 예측값의 차이는 오차(%)를 통해 표현하였다. 추출 수율에서 가장 낮은 상대오차(2.3%)를 나타내었고, 그 다음으로 TPC(3.3%), DPPH(5.3%) 순으로 나타났다(Table 10). 각

Table 10. Optimum conditions and comparison of predicted and observed values for verification

Responses	Optimum extract condition		Predicted	Observed <sup>a</sup>	Relative error (%)
	Temperature (°C)	Time (hr)			
Yield (%)	78	41	12.8	12.5 ± 0.1	2.3
DPPH (%)	39	7	62.8	66.1 ± 3.3	5.3
TPC (mg GAE/mL)	22	7	205.8	212.6 ± 8.7	3.3

<sup>a</sup> Mean ± SD (n=2)

반응변수들의 2차 다항식들이 유의하고, 실험값과 예측값 사이의 오차가 크지 않다는 점을 통해 실험 모델이 반응을 설명하는데 적합하다고 판단하였다. 이에 수율, DPPH, TPC에 대한 최적 추출조건을 설계한 실험조건 범위 내에서 예측하였다. 중심합성설계법을 통해 예측된 최적 추출조건은 추출온도 53.7°C, 추출시간 7시간으로 나타났다(Table 11). 예측된 최적 추출조건에 대한 반응변수의 예측값은 수율 8.2%, DPPH 60.3%, TPC 162.9 mg GAE/mL 이었다. 예측된 반응값의 정확도를 검증하기 위해 최적 추출조건에서 추출 및 실험을 수행하였으며, 그 결과 수율 8.6%, DPPH 63.1%, TPC 175.3 mg GAE/mL로 예측값과 유사한 결과를 보였다 (Table 12).

## 5. 최적 추출물의 항산화 성분 함량

톱니모자반 에탄올 추출물은 항산화, 항염증 및 항 비만 과 같은 효능을 가지는 meroterpenoid 를 함유하고 있다. 특히 모자반에 함유되어 있는 sargahydroquinic acid(SHQA)는 항산화(Lim 등, 2019), 항암(Jiaqi 등, 2019), 항비만(Kwon 등, 2019)의 효능을 나타내며, sargachromanol(SCM)은 항산화(Lim 등, 2019), 항염증(Lee 등, 2013; Yoon 등, 2012) 효능을 나타내며 마지막으로 sargaquinic acid(SQA)는 세 가지 성분 중 가장 높은 항산화능을 가지고 있으며(Lim 등, 2019),

Table 11. Conditions to optimize 3 response variables such as yield, DPPH radical-scavenging activity, Total phenolic content

X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>	
Extraction temperature (°C)		Extraction time (hr)	
Coded value	Actual value	Coded value	Actual value
0.185	53.7	-1.414	7

Table 12. Experimental and predicted results of verification under the optimized condition

	Y <sub>1</sub> Yield (%)	Y <sub>2</sub> DPPH (%)	Y <sub>3</sub> TPC (mg GAE/mL)
Predicted values	8.2	60.3	162.9
Experimental values	8.6 ± 0.1	63.1 ± 2.5	175.3 ± 9.3

저색소침착효과(Azam 등, 2018), 항염증(Joung 등, 2015), 항비만(Kwon 등, 2020) 등의 효능을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이에 톱니모자반에 함유되어 있는 SHQA, SCM, SQA 를 분리하여 HPLC 를 이용하여 분석하였다. 최적조건에서 추출한 톱니 모자반 추출물의 세 가지 성분의 농도는 Table 13 에 나타내었다. 톱니 모자반의 세 가지 성분은 SHQA 50.41 mg/100g, SCM 3.28 mg/100g, SQA 9.69 mg/100g 으로 세 가지 성분의 총량은 63.39 mg/100g 이었다. SHQA, SQA, SCM 순으로 많이 함유되어 있었으며, 이는 톱니모자반의 추출 용매별 항산화 성분을 측정한 Lim 등(2019)의 연구에서 나타난 경향과 동일하였다.

## 6. 최적 추출물의 환원력

환원력은 산화물을 환원시킬 수 있는 힘으로 시료에 존재하는 redutones 에서 나온 수소가 free radical 사슬을 변환시키며, 항산화 활성에 직접적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Arabshahi-Delouerhk 과 Urooj, 2007). 시료 중에 환원력을 가지고 있는 성분이 존재하면 금속이온을 환원시키면서 청색을 띠게 된다(Choi 등, 2006). 이에 톱니모자반 추출물의 환원력을 측정한 결과 0.5, 1 mg/mL 농도에서 각각 0.18, 0.39 의 값을 보여 톱니모자반 추출물이 환원력을 가지는 것을 알 수 있었다(Table 14). 하지만 대조군인 ascorbic acid 보다는 낮은

Table 13. Identification and quantification of three major antioxidants from *Sargassum serratifolium* in the optimum condition

(Unit: mg/100g)

Sargahydroquinonic acid	Sargachromanol	Sargaquinonic acid	Total amount
50.41	3.28	9.69	63.39

Table 14. Reducing power of *Sargassum serratifolium* extracts

	0.5mg/mL	1mg/mL
S. serratifolium	0.18 ± 0.00	0.39 ± 0.00
Ascorbic acid	0.82 ± 0.03	1.78 ± 0.05

<sup>a</sup>Mean±SD (n=3)

환원력을 보였다. 이에 톱니모자반 추출물 항산화 효과의 주된 기작이 환원력에 기인하는 것은 아닌 것으로 판단된다.

## 7. 최적 추출물의 금속봉쇄력

Fe, Cu, Co, Ni 등과 같은 금속이온은 산화 환원반응이 잘 일어나는 금속이지만 이들의 금속염은 지질 산화 과정에서 촉매로 작용할 수 있는 금속이다. 특히 시료에  $Fe^{2+}$ 나  $Cu^{2+}$ 를 함유하고 있을 경우 hydroxyl radical 과 superoxide radical 등의 생성을 촉진하여 지질산화를 가속화 시키게 된다. 따라서 이러한 금속이온에 대한 봉쇄 효과는 금속 촉매제로 free radical 의 생성을 억제하여 지질 산화를 방지할 수 있는 능력을 측정하는 지표로 사용된다(Yang 등, 2004). 이에 톱니모자반 추출물의 금속봉쇄력을 측정한 결과 0.5, 1 mg/mL 의 농도에서 각각 2.1, 11.03%로 나타났다. 대조군인 EDTA 는 금속이온과 결합하여 킬레이트 화합물을 형성하는 대표적인 킬레이트제로, 0.5, 1 mg/mL 의 농도에서 각각 99.5, 100%로 높은 금속봉쇄력을 보였다(Table 15). 따라서 톱니모자반 추출물은 EDTA 보다 낮은 금속봉쇄력을 가지는 것을 알 수 있었다. 이는 Park 등(2017)의 연구결과에서 분석한 짝잎모자반에서의 금속봉쇄력과 유사한 경향을 보였다.

Table 15. Chelating activity of *Sargassum serratifolium* extracts

	0.5mg/mL	1mg/mL
S. serratifolium	2.1 ± 0.36	11.03 ± 0.89
EDTA	99.5 ± 0.30	100.0 ± 0.00

<sup>a</sup>Mean±SD (n=3)

## IV. 결론

본 연구에서는 식품가공공정에서 주요한 반응조건인 추출 수율과 기능성을 나타내는 항산화능, 총 폴리페놀 함량의 최적화를 위하여 중심합성설계법을 사용하여 최적추출조건을 예측하였다. 2가지 인자(추출 온도, 추출 시간)와 축점을 적용한 5가지의 수준으로 총 13번의 실험을 3번 반복하였다. 최적화하기 위한 반응변수로는 총 3 가지 인자(추출 수율, DPPH 라디칼 소거능, 총 폴리페놀 함량)가 설정 되었다. 실험데이터의 분석 결과, 추출 온도와 추출 시간 모두 3가지 인자에 유의적으로 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 이에 톱니모자반의 최적추출조건은 추출 온도 53.7℃, 추출 시간 7시간으로 예측 되었으며, 이에 대한 반응값은 추출 수율 8.2%, DPPH 60.3%, 총 폴리페놀 함량 162.9 mg GAE/mL로 예측되었다. 예측된 조건에서 실제로 추출 및 실험하여 얻은 실험값과 유사한 결과를 보였다. 본 연구의 결과는 톱니모자반 추출물을 식품 및 화장품 원료로 개발하기 위한 제조 공정에서 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

## V. 참고문헌

Arabshahi-Delouee S and Urooj A. (2007). Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves. *Food chemistry*, 102(4), 1233–1240.

Azam MS, Joung EJ, Choi J and Kim HR. (2017). Ethanol extract from *Sargassum serratifolium* attenuates hyperpigmentation through CREB/ERK signaling pathways in  $\alpha$ -MSH-stimulated B16F10 melanoma cells. *Journal of Applied Phycology*, 29(4), 2089–2096.

Azam MS, Kwon M, Choi J, Kim HR. (2018). Sargaquinoic acid ameliorates hyperpigmentation through cAMP and ERK-mediated downregulation of MITF in  $\alpha$ -MSH-stimulated B16F10 cells. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 104, 582–589.

Balboa EM, Conde E, Moure A, Falque E, Dominguez H. (2013). In vitro antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1764–1785.

- Birringer M, Siems K, Maxones A, Frank J and Lorkowski S. (2018). Natural 6-hydroxy-chromanols and -chromenols: Structural diversity, biosynthetic pathways and health implications. *RSC Advances*, 8(9), 4803–4841.
- Blois MS. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199–1200.
- Chakraborty K, Joseph D and Praveen NK. (2015). Antioxidant activities and phenolic contents of three red seaweeds (Division: Rhodophyta) harvested from the Gulf of Mannar of Peninsular India. *Journal of Food Science Technology*, 52(4), 1924–1935.
- Choi YM, Chung BH, Lee JS and Cho YG. (2006). The antioxidant activities of *Artemisia* spp. collections. *Korean Journal of Crop Science*, 51(spc1), 209–214.
- Fawzy MA, Gomaa M, Hifney AF and Abdel-Gawad KM. (2017). Optimization of alginate alkaline extraction technology from *Sargassum latifolium* and its potential antioxidant and emulsifying properties. *Carbohydrate polymers*, 157, 1903–1912.

Folin O and Denis W. (1912). On phosphotungstic–phosphomolybdic compounds as color reagents. *Journal of Biological Chemistry*, 12(2), 239–243.

Garson MJ. (1989). Biosynthetic studies on marine natural products. *Natural Product Reports*, 6(2), 143–170.

Gwon WG, Joung EJ, Shin T, Utsuki T, Wakamatsu N and Kim HR. (2018). Meroterpenoid–rich fraction of the ethanol extract from *Sargassum serratifolium* suppresses TNF– $\alpha$ –induced monocytes adhesion to vascular endothelium and vascular inflammation in high cholesterol–fed C57BL/6J mice. *Journal of Functional Foods*, 46, 384–393.

Ha JH, Jeong YJ, Seong JS, Kim KM, Kim AY, Fu MM, Suh JY, Lee NH, Park J and Park SN. (2015). Antioxidant and Antibacterial Activities of *glycyrrhiza uralensis* fisher (Jecheon, Korea) Extracts Obtained by various Extract Conditions. *Journal of the Society of Cosmetic Scientists of Korea*, 41(4), 361–373.

- Jiaqi Z, Shin T, Yun JM. Sargahydroquinoic acid, a meroterpenoid in brown seaweed, induces apoptosis in high glucose treated-human colon cancer HCT116 cells. Proceedings of the 70th Annual Meeting of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2019 Oct 23–25. Jeju, Korea. p 453.
- Joung EJ, Lee B, Gwon WG, Shin T, Jung BM, Yoon NY, et al. (2015). Sargaquinoic acid attenuates inflammatory responses by regulating NF- $\kappa$ B and Nrf2 pathways in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells. *International Immunopharmacology*, 29(2), 693–700.
- Kadam SU, Tiwari BK and O'Donnell CP. (2013). Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 61(20), 4667–4675.
- Kwon M, Lee B, Lim SJ, Choi JS, Kim HR. (2019). Sargahydroquinoic acid, a major compound in *Sargassum serratifolium* (C. Agardh) C. Agardh, widely activates lipid catabolic pathways, contributing to the formation of beige-like adipocytes. *Journal of Functional Foods*, 58, 355–366.

Kwon M, Lee B, Lim S, Kim HR. (2020). Effects of Sargaquinoic Acid in *Sargassum serratifolium* on inducing brown adipocyte-like phenotype in mouse adipocytes in vitro. *Planta medica*, 86(01), 45–54.

Lee JH, Ko JY, Samarakoon K, Oh JY, Heo SJ, Kim CY, et al. (2013). Preparative isolation of sargachromanol E from *Sargassum siliquastrum* by centrifugal partition chromatography and its anti-inflammatory activity. *Food and Chemical Toxicology*, 62, 54–60.

Lee SB. (2014). Example-based DOE using Minitab. Eretec Inc, Gunpo, Korea. 227–261.

Lim S, Choi AH, Kwon M, Joung EJ, Shin T, Lee SG, Kim NG and Kim HR. (2019). Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components. *Food chemistry*, 278, 178–184.

Liu L, Heinrich M, Myers S and Dworjanyn SA. (2012). Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed

Sargassum in traditional Chinese medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*, 142(3), 591–619.

Oyaizu M. (1986). Studies on products of browning reaction: antioxidative activity of products of browning reaction. *Japan Journal of Nutrition*, 44(6), 307–315

Park JH, Park SH, Kim MJ, Kim KBWR, Choi JS and Ahn DH. (2017). Antioxidant Effect of *Sargassum hemiphyllum* Extracts. *Microbiology and Biotechnology*, 45(2), 118–123.

Ray PD, Huang BW and Tsuji Y. (2012). Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling. *Cellular Signalling*, 24(5), 981–990.

Ren B, Chen C, Li C, Fu X, You L and Liu RH. (2017). Optimization of microwave–assisted extraction of *Sargassum thunbergii* polysaccharides and its antioxidant and hypoglycemic activities. *Carbohydrate polymers*, 173, 192–201.

- Sies H. (2000). What is oxidative stress?. In *Oxidative stress and vascular disease*, 1–8.
- Shimada K, Fujikawa K, Yahara K and Nakamura T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(6), 945–948.
- Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell K E, Smith AG, Camire ME and Brawley SH. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29(2), 949–982.
- Wisanu T, Boonsom L and Saisunee L. (2009). Flow injection analysis of total curcuminoids in turmeric and antioxidant capacity using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay. *Food Chemistry*, 112, 494–499.
- Yang JY, Yu MY and Kim SG. (2004). Characterization of an antioxidant from sporophyll of *Undaria pinnatifida*. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 32(4), 307–311.

Yende SR, Harle UN and Chaugule BB. (2014). Therapeutic potential and health benefits of Sargassum species. Pharmacognosy Reviews, 8(15), 1–7.

Yoon WJ, Heo SJ, Han SC, Lee HJ, Kang GJ, Kang HK, et al. (2012). Anti-inflammatory effect of sargachromanol G isolated from Sargassum siliquastrum in RAW 264.7 cells. Archives of Pharmacal Research. 35(8), 1421–1430.



## VI. 감사의 글

하나님의 인도하심 따라 시작했던 2년간의 석사과정을 마칩니다. 부족하고 연약한 저를 지켜주시고 늘 동행하여 주신 하나님 사랑하고 감사합니다. 많이 힘들기도 두렵기도 한 대학생활이었지만 그 모든 과정을 통하여 단단해지고 성장할 수 있었던 시간들이었습니다. 또 많은 가르침을 주시고 너그러운 마음으로 지켜봐 주신 이양봉 교수님 감사합니다. 그리고 학부시절부터 늘 따뜻한 시선으로 바라봐 주시고 올바른 방향으로 이끌어주신 김선봉 교수님 감사합니다. 또한 많은 가르침을 주신 양지영 교수님, 전병수 교수님, 안동현 교수님, 김영목 교수님, 조승목 교수님, 심길보 교수님, 서용수 박사님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

2년동안 함께 했던 생화학실험실 식구들 덕분에 좋은 추억과 큰 힘이 되었습니다. 대학원생활에 있어 많은 것을 알려준 동리 오빠, 정완이 오빠, 소현이 언니 너무 감사합니다. 또 늘 동고동락하면서 힘든 순간, 행복한 순간들을 함께 했던 지윤이, 다은이 언니, 민경이에게 감사한 마음을 전합니다. 함께할 수 있어서 너무 행복했고 든든 했습니다. 오랜 시간은 함께 하지 못했지만 똑똑하고 착한 서연이, 수연이, 효림이 대학원 생활의 마지막을 함께 할 수 있어서 행복했습니다. 또 어떤 상황에서도 나의 일을 항상 자기 일처럼 생각해주고 기도해주는 나의 동역자 수진이, 하영이, 서현이, 은성이 너무 사랑하고 감사합니다.

마지막으로 언제나 사랑과 기도로 나의 안식처가 되어주는 가족에게 온 마음을 다해 사랑하고 감사하다는 말을 전하고 싶습니다. 어떤 상황에서도 내 편이 되어주는 부모님과 함께 대학원생활을 한 단짝 친구 같은 오빠, 늘 다정하게 위로해주고 응원해주는 동생이 없었더라면 이 과정을 무사히

마칠 수 없었을 것 같습니다. 앞으로도 더 자랑스러운 딸, 동생, 누나가 되도록 바르게 살겠습니다. 감사합니다.

