



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](#)

석사 학위 논문

제주도산 브로콜리 품종별 가공방법에
따른 성분 및 품질특성 비교 연구

쌍 째턴

제주대학교 일반대학원

식품영양학과

2023년 08월

제주도산 브로콜리 품종별 가공방법에 따른 성분 및 품질특성 비교 연구

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

쌍 짚탄

제주대학교 일반대학원

식품영양학과

지도교수 박성수

쌍 짚탄의 석사 학위论문을 인준함

2023년 6월

심사위원장 인

위원 인

위원 인



Comparative Study of Composition and Quality Characteristics
of Broccoli Varieties from Jeju Island by Processing Methods

SANG CHANTHORN

(Supervised by Professor Sung-Soo Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Science

2023.06

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE & NUTRITION

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

1 목차

Abstract.....	V
List of Abbreviation	VII
List of Tables.....	VIII
List of Figures.....	IX
I. 서론	1
II. 이론적 배경	3
1. 브로콜리 재배면적 및 신품종 개발.....	3
2. 식품가공에서 건조 방법에 따른 의의	5
3. 항산화 기능성.....	6
4. Sulforaphane의 효능.....	11

Ⅲ. 재료 및 방법	13
1. 시료 준비.....	13
1-1. 시료 추출.....	13
2. 실험 방법.....	16
2-1. 일반 성분 분석.....	16
1) 수분 함량 측정.....	16
2) 조단백질 함량 측정(BCA assay)	16
3) 회분 함량 측정.....	16
4) 조지방 함량 측정	16
2-2. 항산화 측정.....	16
1) ABTs 라디칼 소거능 활성 측정.....	17
2) DPPH 라디칼 소거능 활성 측정.....	18
3) Total polyphenol 함량 측정.....	19
2-3. 색도 측정.....	21

2-4. 용해도(Solubility) 측정	20
2-5. HPLC 분석.....	22
1) Sulforaphane 함량 측정	22
3. 통계 분석	23
IV. 연구 결과.....	24
1. 일반 성분 분석	24
1) 수분 함량 측정 결과	24
2) 조단백질 함량 측정 결과	24
3) 회분 함량 측정 결과	24
4) 조지방 함량 측정 결과.....	24
2. 항산화 측정	30

1) ABTs 라디칼 소거능 측정 결과	31
2) DPPH 라디칼 소거능 측정 결과	31
3) Total polyphenol 함량 측정 결과	33
3. 색도 측정 결과	44
4. 용해성(Solubility) 측정 결과	47
5. HPLC를 이용한 Sulforaphane 함량 측정 결과	49
V. 고찰	64
VI. 요약 및 결론	69
VII. 참고문헌	71
<국문초록>	80

<Abstract>

Comparative Study of Composition and Quality
Characteristics of Broccoli Varieties from Jeju Island by
Processing Methods

SANG CHANTHORN

Department of Food Science and Nutrition

Graduate School

Jeju National University

Supervised by Professor Sung-Soo Park

A total of four varieties of broccoli were selected as experimental materials to study the composition and quality characteristics of specialty crops from Jeju Island. In this study, three new varieties of broccoli developed in Jeju Island, New-Tamla green, Hallagreen, and Samdagreen, as well as the broccoli variety SK3-085, which is cultivated in large quantities in Korea, were harvested after cultivation, and

bioactivity and nutritional composition analyses were conducted for each broccoli variety in order to select suitable agricultural products for processing and variety selection among several varieties. Moisture content was measured by the 105°C autoclave drying method, and protein was measured by the BCA quantification method. Fat was determined by the Soxhlet extraction method, and ash was quantified by pyrolysis in a pyrolysis furnace at a temperature of 550~600°C until ash was obtained. Antioxidant capacity was measured by DPPH radical, ABTs radical and total polyphenol content. Sulforaphane analysis was performed using HPLC chromatograms. The general composition analysis of the four broccoli varieties showed significant differences in moisture, protein, and fat content, and the broccoli with the highest protein among the varieties was B4 (Samdagreen). Antioxidant capacity measurements confirmed that B3 (Hallagreen) and B4 (Samdagreen) had similar or higher antioxidant activity than the other varieties. Analysis of sulforaphane content using HPLC showed that Samdagreen broccoli had the highest amount of sulforaphane per part.

The antioxidant capacity and total polyphenol content according to the processing method showed that the samples dried at 70°C and 105°C had high antioxidant

activity, while freeze-drying showed a decrease in antioxidant activity and total polyphenol content compared to other drying methods. In the colorimetric measurements, the 70°C drying method had a lighter color compared to 105°C and freeze-drying, and also had the highest yellowness. On the other hand, the samples dried at 105°C showed the highest redness compared to 70°C and freeze-dried. Solubility measurements showed that the sample dried at 105°C was the least soluble compared to 70°C and lyophilized, and the solubility measurements of 70°C and lyophilized were not significantly different. The content of sulforaphane did not show any significant difference according to the processing method, but the content of sulforaphane decreased compared to raw broccoli.

The results of measuring the composition and quality characteristics of broccoli from Jeju Island and existing varieties showed that SK3-085, New Tamlagreen, Hallagreen, and Samdagreen all had significant differences between the groups ($p < 0.01$), indicating that the composition and quality characteristics of broccoli are affected by the processing method. In other words, when selecting broccoli or using it as a processed food, it is necessary to select the appropriate variety and method.

List of Abbreviations

Abbreviation	Full name
B1	Broccoli SK3-085
B2	Broccoli New-Tamlagreen
B3	Broccoli Hallagreen
B4	Broccoli Samdagreen
AC	Ascorbic acid
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
SPE	Sulforaphane
DPPH	1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl
ABTs	2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid
BCA	Bicinchoninic acid
BSA	Diluted albumin
Na ₂ CO ₃	Sodium carbonate

List of Table

Table 1. Results of general component analysis in broccoli variety Before Drying	27
Table 2. Results of general component analysis by 105°C Hot-air Drying broccoli variety.....	28
Table 3. Results of general component analysis by Freeze Drying broccoli variety	29
Table 4. ABTs scavenging activity in broccoli powder.....	37
Table 5. DPPH scavenging activity in broccoli powder.....	40
Table 6. Total phenolic content in broccoli powder.....	43
Table 7. Surface color of 4 different broccoli power cultivars prepared by different drying methods & temperatures.....	46
Table 8. Solubility in different part of 4 cultivars broccoli powder prepared by different drying methods & temperatures.....	48
Table 9. Operating conditions of HPLC for analysis sulforaphane extracts.....	51

Table 10. Sulforaphane Concentration in different part of 4 cultivars of Fresh
broccoli.....52

Table 11. Sulforaphane Concentration in different part of 4 cultivars of broccoli
powder prepared by different drying methods & temperatures.....53

List of Figures

Figure 1. Overview of the reactions leading to the formation of ROS.....	9
Figure 2. Natural antioxidants separated in classes.....	10
Figure 3. Sulforaphane is the aglycone breakdown product of the glucosinolates.	12
Figure 4. Broccoli used for nutritional analysis.....	14
Figure 5. Processed broccoli used for analysis	15
Figure 6. ABTs radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli floret	35
Figure 7. ABTs radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli stem	36
Figure 8. DPPH radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli floret	38
Figure 9. DPPH radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli stem	39

Figure 10. Total phenolic content in different part of 4 cultivars of broccoli floret	40
Figure 11. Total phenolic content in different part of 4 cultivars of broccoli stem	42
Figure 12. HPLC chromatograms of sulforaphane standard	54
Figure 13. HPLC chromatograms of Sulforaphane Standard curve	55
Figure 14. HPLC chromatograms of sulforaphane in B1 floret fresh broccoli	56
Figure 15. HPLC chromatograms of sulforaphane in B2 floret fresh broccoli	57
Figure 16. HPLC chromatograms of sulforaphane in B3 floret fresh broccoli	58
Figure 17. HPLC chromatograms of sulforaphane in B4 floret fresh broccoli	59
Figure 18. HPLC chromatograms of sulforaphane in B1 stem fresh broccoli	60
Figure 19. HPLC chromatograms of sulforaphane in B2 stem fresh broccoli	61
Figure 20. HPLC chromatograms of sulforaphane in B3 stem fresh broccoli	62
Figure 21. HPLC chromatograms of sulforaphane in B4 stem fresh broccoli	63

I. 서론

지식과 기술이 급격히 발달하면서 건강한 육체와 정신을 추구하는 라이프스타일이 선진국인 나라 사람들에게 궁극적인 추구가 되고 있다. 현재 큰 인기를 얻고 있는 진정한 웰빙(Well Being)은 건강한 녹색 라이프스타일인 십자화과에 속하는 채소들이 주목을 받고 특히 2차 대사 산물이 풍부한 식용 작물에 특별한 관심을 기울이고 있으며, 근래에는 이러한 식물 화학 물질의 항산화 활성에 대한 관심이 증대되어 있다(1, 2, 3). 최근 보고서에 따르면 십자화과 채소는 높은 수준의 아스코르브산(ascorbic acid), 카로티노이드(carotenoid), 토코페롤(tocopherol) 등으로 인해 천연 항산화제의 좋은 공급원으로 작용하고 이러한 화합물이 활성 산소에 의한 손상으로부터 인체를 보호하는데 도움이 된다고 한다. 이러한 측면에서 십자화과에 속하는 브로콜리는 인기와 소비가 증가하고 있다(4, 5, 6).

웰빙에 대한 관심 증대로 십자화과에 속하는 채소들이 주목 받고 있다(1). 브로콜리(*Brassica oleracea L. var. italica*)는 무, 콜리플라워, 겨자, 양배추 등과 함께 십자화과의 주된 작물이며 전 세계적으로 인기 있는 채소로 널리 재배되고 있다. 브로콜리는 비타민C, 단백질 및 미네랄, 특히 sulforaphane 및 indole-3-carbinol

등의 물질에서 항암 효능이 있는 것으로 나타났으며, 이 외 항산화, 심혈관 보호 활동 등에 기여한다(7, 8, 9, 10).

브로콜리는 항암효과에 뛰어난 sulforaphane이 함유되어 있어 암을 억제하는 면역효소를 활성화시키고 항균·항암, 면역증강 등의 기능적 및 영양학적으로 우수한 채소로 알려져 있다. 뿐만 아니라 철분과 비타민C 물질이 다량 함유 하고 있어 인체에 유해한 활성산소를 제거해 피로회복, 노화 방지 등에 좋은 성분들을 가지고 있다(11, 12). 브로콜리는 미국 시사주간지 '타임'에서 10대 건강식품으로 선정 되어 해외뿐만 아니라 국내에서도 큰 인기를 얻고 있다. 그러나 십자화과 채소의 경우 품종, 수확 시 성숙도, 재배 조건, 토양 상태, 수확 후 저장 조건 등 많은 요인에 의해 항산화 성분의 변화가 발생하며, 기후 조건에 따라 비타민 C 함량이 크게 차이 나는 것으로 밝혀졌다(3, 5, 13, 14, 15). 그러므로 인해 본 연구는 서로 다른 브로콜리의 신품종과 국내 생산량의 대부분을 차지하는 브로콜리 품종인 SK3-085의 성분, 품질 특성에 대한 비교 연구를 실시하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 브로콜리 재배면적 및 신품종 개발

브로콜리의 원산지는 지중해 연안 등으로 중국과 인도에서 75% 이상을 생산하고 있다(16, 17). 2000년 이후 기술 및 지식 발달로 한국에서는 건강 기능성 십자화과에 대한 선호도 증가와 함께 브로콜리 소비와 지배가 증가하고 있으며 주요 재배지역은 제주도와 강원도, 충청도이며, 각각 전체 재배면적의 약 79%와 10%, 9%를 차지하고 있다. 브로콜리에 대한 인기와 요구가 많아지면서 국내에서는 재배면적이 매년 증가 추세를 보여 왔다. 그 결과 2011년 국내 브로콜리 재배면적은 1,737ha로 2000년 대비 약 60배 증가하였다(18).

제주도는 화산회토의 지대로 감귤 외에 당근, 양배추, 콜라비, 브로콜리 등이 재배되는데 그 중 브로콜리는 제주지역에서 감귤 이외의 대체 작물로 자리하고 있다(19, 20). 제주도산 브로콜리는 저온기에 생산되기 때문에 국내에서 가장 많은 재배면적을 가지며 화뢰의 밀도가 높고, 화뢰 표면이 매끈하며 단맛이 강하고 상품이 우수한 특징이 있다(18). 그러나 제주특별자치도 농업기술원에 따르면 도내에서 재배하는 브로콜리는 대부분 일본 종자의존도가 99%에 달해 매년 종자 가격 상승으로 농가의 부담 증대를 작용하고 있으며 품종 선택권이 없어 일부

품종에만 집중하게 된다(21). 이에 농업기술원은 2006년부터 품종 개발에 착수한 결과, 2017년에 '뉴탐라그린'을 육성하였으며, 이어서 지난해에는 '한라그린'과 '삼다그린' 품종을 출원하였다. 수확기는 한라그린이 1월 27일로 대조품종 'SK3-085'는 2월 3일에 수확하여 보다 다소 빠르며, 화경은 한라그린 61.0 mm, 삼다그린 54.5 mm, 구중은 각각 428 g, 427 g으로 'SK3-085'보다 두껍고 무거운 것으로 확인되었다. 색은 한라그린이 대조품종만큼 진하며, 삼다그린은 꽃봉오리 입자의 크기가 작고 치밀한다. 이번 실증에서 선발된 계통 한라그린, 삼다그린을 2023년 7월에 품종보호 출원할 예정이었으며, 보급해 품종의 우수성 입증 및 홍보에 나선 계획이었다(21). 본 연구는 제주도산 브로콜리인 뉴탐라그린, 한라그린 및 삼다그린에 대한 성분이나 품질 특성을 시판 중인 브로콜리인 SK3-085 품질 특성과 비교하여 이후 브로콜리 선택이나 우량 종자를 보급하는데 큰 도움을 주고자 실행하였다.

2. 식품가공에서 건조 방법에 따른 의의

십자화과 채소의 항산화 성분 변화는 품종, 수확 시 성숙도, 재배 조건, 토양 상태, 수확 후 저장 조건 등 많은 요인에 의해 발생하고, 기후 조건도 비타민 C 수치를 변화시킬 수 있다(3, 5, 13, 14, 15). 뿐만 아니라 건조 방법에 따라 항산화 활성이 감소하는 것으로 알려져 있다(22). 건조는 식품 산업에서 원료를 가공하고 처리할 때 많이 이용되며 수분 함량이 많은 식품에 매우 중요한 가공 방법이다(23). 식품 건조를 통한 가공 식품은 저장 및 유통이 용이하며 품질 수명을 연장시키기 위한 하나의 방법으로 제시될 수 있다. 식품 건조의 원리는 식품 안에 있는 수분을 승화시켜 일정한 온도와 습도를 공급해주어 가열된 공기를 식품에 전달되어 식품 내의 수분이 증발되도록 한다. 식품에 적용되는 건조 방법에는 동결, 냉풍, 열풍 및 진공 건조 등의 기계를 이용하여 건조시키는 방법과 태양이나 음지와 같은 자연 건조하는 방법이 있다(24). 열풍건조기는 식품을 열풍에 접촉시켜 건조하는 kiln 건조기, cabinet 건조기, tunnel 건조기, 기송식(pneumatic)건조기 등이 있다. 동결건조기는 동결건조의 기본 이론인 승화 현상을 이용한다. 승화 현상이란 고체 상태의 얼음이 기체상태의 증기로 변하는 3중점(triple point) 현상이다. 즉 주어진 온도에서 포화증기압과 같아질 때까지 승화가 진행되며, 물의 중점에 해당하는 상태에서는 물의 고체, 액체, 기체가 모두 공존하게 된다. 동

결건조기의 구조는 4개로 나뉜다. 동결 장치(-10~-30°C), 가열 부분, 진공감압장치(130 Pa), 응축기 그 외 기타 건조실을 갖추고 있다(25). 식품의 효율성을 높이거나 기능성 재료로 사용하기 위해서는 영양 성분이나 기능성 성분의 손실을 최소화 할 수 있는 동결건조 방법을 많이 사용한다(26). 그러나 브로콜리는 건조시킬 경우 항산화 활성 뿐만 아니라 sulforaphane 함량의 증가를 초래하고, 냉동 및 끓이면 폴리페놀 농도가 감소하는 것으로 알려져 있다(27, 28). 그래서 브로콜리는 거의 가공하지 않고 날것으로 섭취하거나 익혀서 섭취하고 있으며(27) 현재 시판에서 팔고 있는 제품은 대부분 생즙으로 만들어서 판매한다.

3. 항산화 기능성

항산화는 활성산소의 산화 활동을 억제하거나 제거하는 것을 뜻한다. 항산화 기작으로는 ROS(Reactive oxygen species)나 RNS의 생성을 차단시키는 작용, 지질과산화 작용의 억제기능, DNA 손상 회복 기능 작용 등이 있다. 활성산소라고 부르는 ROS는 강한 산화제가 아닌 산소가 전자 1개를 받아 환원되면 안정적인 형태인 물 분자로 전환될 때까지 추가적으로 산소 분자 1개 당 3개의 전자를 더 받아들여야 하는 과정에서 생기는 물질들이 모두 주요한 ROS가 된다(그림 1). 활성산소(ROS)는 세포 내 많은 효소를 비활성화시키고 환원된 철과 과산화수소에 의한 라디칼은 많은 거대분자를 손상시킨다. 특히 수퍼옥사이드[Fe-S]center를 가

지는 효소를 비활성화시킨다. 수퍼옥사이드와 과산화수소는 DNA를 직접적으로 공격하지는 못하지만 과산화수소와 환원된 철이 만들어 내는 하이드록시라디칼은 DNA에 손상을 입힌다(29, 30, 31). 항산화 작용은 자유 지질 라디칼을 저해함으로써 free 라디칼의 산화반응을 저해하거나, 자가산화(autooxidation) 연쇄반응의 저해한다. 사람의 항산화제는 효소적 와 비효소 성분을 포함한다(그림 2). 모든 유기체의 주요 항산화 방어 효소는 CAT(catalase), GPX(glutathione peroxidase), SOD(superoxide dismutase), GR(glutathione reductase), 및 2단계 생체 변환 효소인 glutathione-S-transferase(GST)이다. 이러한 효소는 ROS에 의해 유도될 수 있으므로 산화 스트레스(ROS)의 지표가 될 수 있다. 글루타티온 환원효소는 탈수소 효소와 산화효소를 결부시키고, 포도당-6-인산은 지방산 합성 등의 환적생합성반응에 재생하여 환원 가능한 환경을 만들어 준다. 비효소적 항산화 물질에는 세포 내 액상 물질과 혈장에서 산화물질과 반응하여 항산화 작용을 하며, 비타민A, 질소 화합물 요산, 펩티드 GSH, 효소보조인자 Q10 등이 있다. 비타민A는 β -카로틴의 분해산물로 세포막의 지질 과산화를 막고, LDL의 지질 산화를 막는 눈, 장기, 피부에 좋은 것으로 알려져 있다. 효소보조인자 Q10은 생명활동의 기본이 되는 에너지인 ATP를 만들기 위해 꼭 필요하며, 몸에 해로운 활성산소를 제거 및 세포 내 대사에서 중요한 역할을 한다. 또한 비타민E의 항산화 작용을 보완하거나

재활용 하는데 이용되며, 지질 peroxy 라디칼의 형성을 방지하고 중화하는 역할도 한다(32).

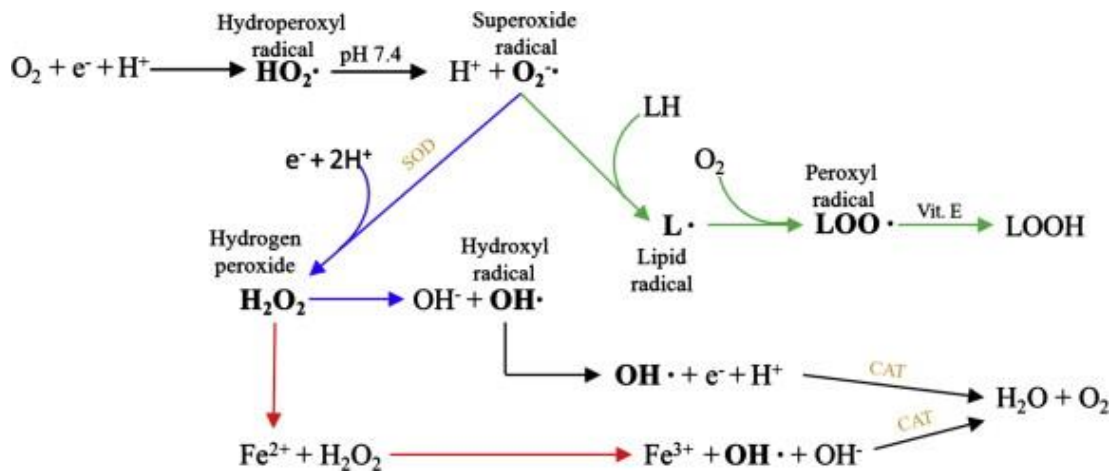


Figure 1. ROS 형성으로 이어지는 반응의 개요. 녹색 화살표는 지질 과산화를 나타낸다. 파란색 화살표는 하버-바이스(Haber-Weiss)반응, 빨간색 화살표는 펜톤(Fenton)반응을 나타낸다. 굵은 글자는 동일한 거동을 하는 라디칼 또는 분자(H₂O₂)를 나타낸다. SOD는 효소 슈퍼옥사이드 디스뮤타아제를, CAT는 효소 카탈라아제를 나타낸다(Ferreira et al. (2009)(33) and Flora (2009))(32, 34).

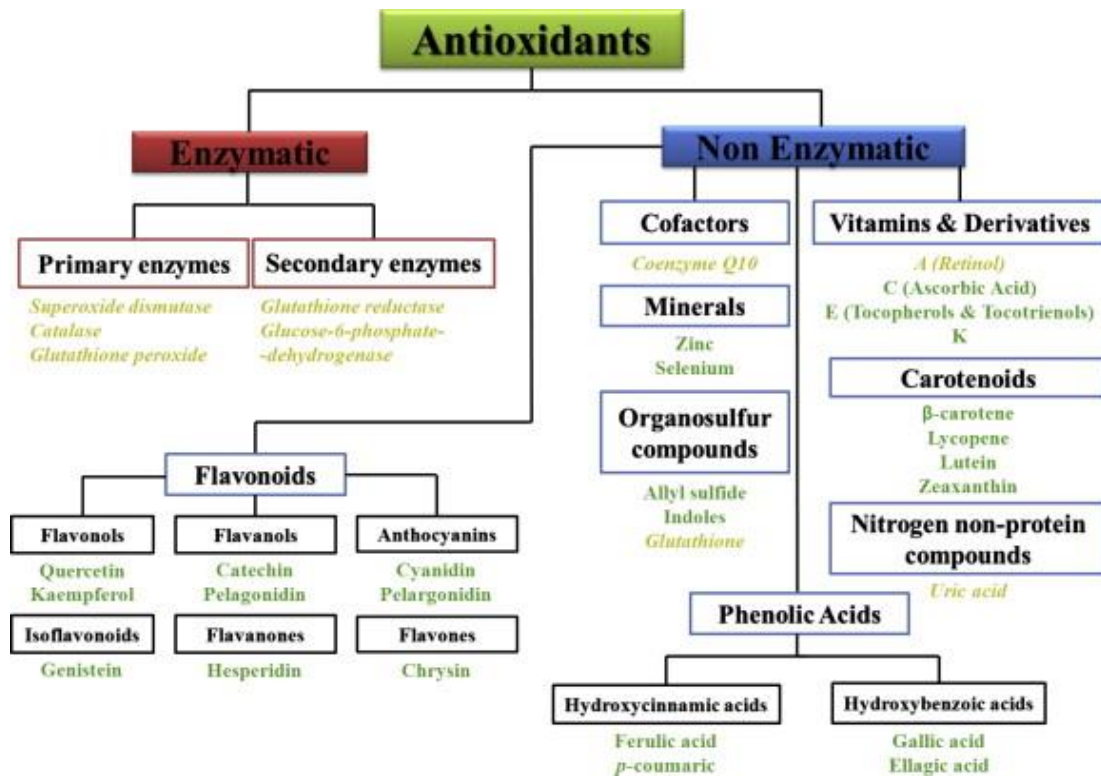


Figure 2. 천연 항산화제를 등급으로 구분. 녹색은 외인성 항산화제, 노란색은 내인성 항산화제를 나타낸다(Pietta, 2000, Ratnam et al., 2006)(35, 36) and Godman et al. (2011)(37).

4. Sulforaphane의 효능

Sulforaphane은 isothiocyanate 계열에 속하는 식물 화합물이다(38). Sulforaphane은 주로 양배추, 브로콜리, 콜리플라워 등을 비롯한 십자화과 채소에서 발견된다(11). Sulforaphane은 glucosinolates가 소화 과정 중에 미로시나아제(myrosinase)에 의해 가수분해되어 생성된다(38). Sulforaphane은 지난 1992년 미국 존스 홉스킨스 대학의 Paul Talalay에 의해 강력한 항산화 효과를 갖는 것으로 알려졌다(39). Sulforaphane은 산화적 손상에 의한 유전자 변형을 막아주고 발암물질 생성도 저해 시킨다(40, 41, 42, 43). 또한 Sulforaphane은 인체의 건강을 식물로 면역증강, 항암, 항염, 신경 보호, 항당뇨 등의 다양한 약리 효과를 나타내는 것으로 보고 되어 왔다. Sulforaphane은 염증 반응 관련 전사 인자의 전사 활성을 억제하는 효과를 가지고 있으며 암 발달 과정에서 종양 발생이 시작되는 것을 억제하거나 암의 전이를 억제하는 등의 활성을 가지고 있는 것으로 보고된 바 있다(10, 44, 45). 뿐만 아니라 최근 연구에서는 Sulforaphane이 지방산 합성을 억제하는 동시에 리보솜 생물 생성을 촉진하고 ROS 축적을 감소시키며 염증을 해결하여 비만으로부터 보호한다는 연구결과도 있었다(43).

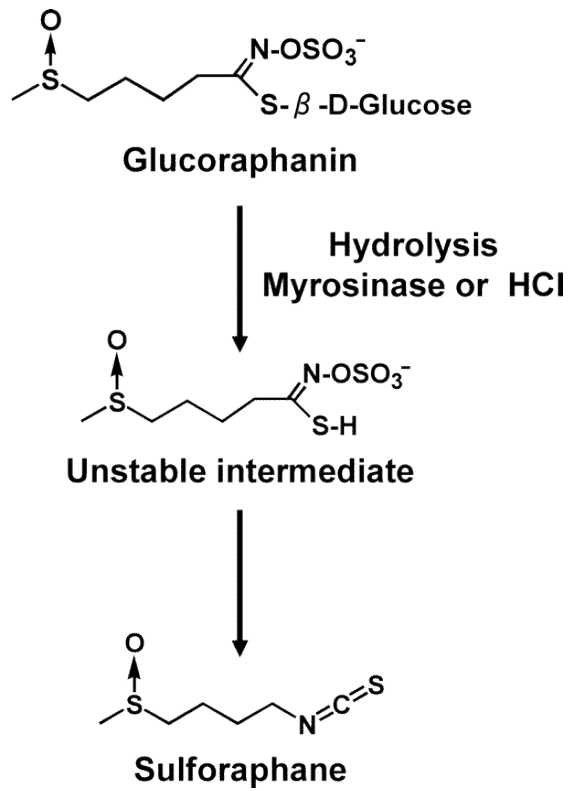


Figure 3. Sulforaphane은 글루코시놀레이트(glucosinolates)의 아글리콘(aglycone) 분해 산물이다(46).

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서 사용된 브로콜리는 제주특별자치도 농업기술원에서 기증 받은 것으로, 품종에 따라 분류하여 연구에 이용하였다. 시중에 많이 판매되고 있는 SK3-085(B1)와 제주도에서 개발된 뉴탐라그린(B2), 한라그린(B3), 삼다그린(B4) 총 4가지 품종을 재료로 사용하였다. 시료 건조 방법은 105°C 상압가열건조법, 70°C Hot-air drying 건조법 그리고 동결건조법의 3가지 방법으로 나눠서 실험을 진행하였다. 동결건조 시료는 제주특별자치도 농업기술원에서 기증받아 실험에 사용하였다(Figure18).

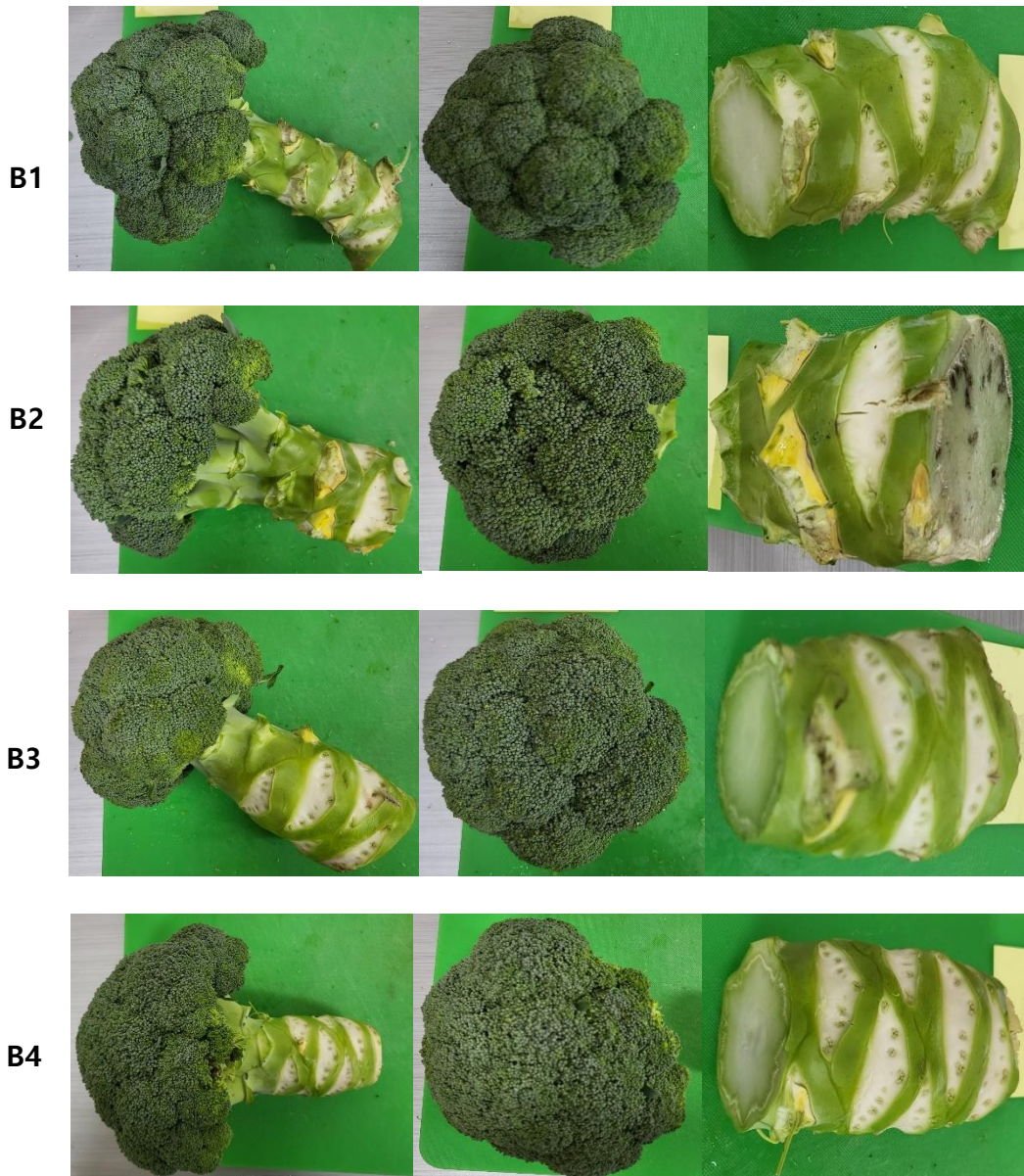


Figure 4. Broccoli used for nutritional analysis

(B1- SK3-085, B2- New Tamlagreen, B3- Hallagreen, B4- Samdagreen)

Figure 5. Processed broccoli used for analysis



<70°C 건조>

<105°C 건조>

<동결건조>

2. 실험 방법

1) 일반 성분 분석

일부 성분 분석은 식품공전에 준하여 실시하였고, 수분함량, 지방 함량, 회분 함량 및 조단백질 함량을 측정하였다. 수분 함량은 105°C 상압가열건조법으로 분석하였고, 조지방은 Soxhlet 추출법을 사용하였고, 회분은 550°C 직접회화법을 이용하여 분석하였다. 조단백질은 (BCA assay)법으로 이용하여 분석하였다.

2) BCA assay

Bicinchoninic acid(BCA) 분석법은 샘플의 단백질 농도를 추정하기 위해 일반적으로 사용되는 비색 방법이다(47, 48, 49). 단백질 수준은 자주색 Cu^{+1} (BCA)₂ 발색단(562 nm)생성을 통해 측정된다. 테스트 튜브 또는 96-well plate에서 단백질 농도와 흡광도 사이의 관계는 넓은 작업 범위(~0.02 ~ 2 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) 에서 측정된다 (50).

단백질 함량은 측정 하기 위하여 단백질 정량 Bicinchoninic acid(BCA) Pierce kit(Thermo Fisher, Waltham MA, USA) 시약을 사용하여 측정하였다. Diluted albumin(BSA) standard 표준 곡선을 그리기 위해 먼저 BSA standard와 BCA working agent(WR)를 준비하고, 각각의 표준 시료와 미지 시료를 96well plate 안

에 넣고 잘 섞은 다음 cover plate를 덮고 37°C에서 30분 동안 보온 처리하였다. 처리한 후에는 흡광도 측정 기계로 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. 모든 표준 시료와 미지 시료의 흡광도 기계에서 대조 시료의 평균 흡광도 값을 뺀 다음 각각의 BSA standard의 평균 흡광도 값과 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 농도를 그래프로 나타내 표준 곡선을 그려 미지 시료 각각의 단백질 농도를 계산하였다. 단백질 정량은 모두 각 3번 반복 측정 후 평균값으로 나타내었다.

3) ABTs 라디칼 소거능 활성 측정

ABTs 라디칼 소거능 활성은 ABTs 라디칼 양이온이 효소에 의해 미리 생성되고 분석될 항산화제 또는 샘플이 반응 매체에 추가된다. 이로 인해 ABTs 양이온이 흡광도의 감소로 측정된다. 쉽고 빠르게 수행할 수 있으며 원하지 않은 반응을 피하고 라디칼 생성할 때 고온을 필요하지 않는다. 광범위한 pH값에서 항산화능을 측정할 수 있으므로 많은 이점을 제공한다. 또한 이 방법은 샘플의 내인성 과산화효소 활성으로 인해 간섭을 피하여 식물과 다른 추출물의 친수성 및 친유성 항산화 활성을 모두 추정할 수 있는 방법이다(51, 52, 53).

ABTs 라디칼 소거능 활성은 Re등(1999)의 ABTs. Cation decolorization assay 방법을 일부 변형하여 실험에 적용하였다(54). 2.45 mM potassium persulfate(Sigma

Aldrich, USA)에 용해한 7 mM ABTs(2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt; (Sigma Aldrich, China)를 불투명한 튜브로 24시간 동안 실온에서 방치하여 라디칼을 형성시켰다. ABTs 용액의 농도는 사용 전에 734 nm에서 흡광도 값이 0.7~0.9가 되도록 증류수와 희석하여 실험에 사용하였다. 준비한 추출물 시료(0.1 g/10 ml) 100 μ l에 ABTs용액 100 μ l를 첨가하여 10분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. Positive control로서 L-ascorbic acid (Sigma Aldrich, Missouri, USA)를 동일한 농도로 사용하였으며, 대조군은 시료 용액의 무첨가군의 흡광도로 진행시켰다. 각 시료의 ABTs 라디칼 소거능은 다음의 식을 적용하여 계산하였으며 모든 실험을 3회 반복하여 측정하였다.

ABTs radical scavenging activity(%) = [1 - (시료의 흡광도/대조군의 흡광도)] x 100

4) DPPH 라디칼 소거능 활성 측정

DPPH 라디칼 소거능 활성은 안정한 라디칼이며 유기 용매에서 가역적인 1전자 환원 및 산화를 거쳐 상응하는 안정한 음이온 및 양이온, 즉 각각 DPPH $^{\cdot-}$ 및 DPPH $^{+}$ 를 생하는 것으로 알려져 있다(55, 56, 57). DPPH는 산화 방지제에서 DPPH로의 수소 원자 또는 전자 이동으로 인해 용액의 색상에 눈에 띄는 변화를 가져

오기 때문에 항산화제의 활성을 평가하기 위해 활성 산소(ROS)의 반응성에 대한 모델로 사용하고 있다(58, 59, 60, 61).

DPPH 라디칼 소거능 활성 측정은 Blois(1958)의 방법을 응용하여 실험하였다(58). DPPH 용액의 농도는 사용 직전에 517 nm에서 흡광도 값이 0.5~0.7이 되도록 희석하여 실험에 사용하였다. 준비한 추출물 시료(0.1g/10ml) 50 μ l에 0.2 mM 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)(Sigma Aldrich, USA) 용액 100 μ l를 첨가하여 10분간 반응시킨 후 흡광도 값을 517 nm에서 측정하였다. Positive control로서 L-ascorbic acid (Sigma Aldrich, USA)를 동일한 농도로 사용하였으며, 대조군은 시료 용액의 무첨가군의 흡광도로 진행시켰다. 각 시료의 DPPH 라디칼 소거능은 다음의 식에 의하여 계산하였으며 모든 실험군은 3회 반복하여 측정하였다.

DPPH radical scavenging activity(%) = [1 - (시료의 흡광도/대조군의 흡광도)] x 100

5) Total polyphenol 함량 측정

폴리페놀은 식물에서 발견되는 페놀화합물의 일종으로, 항산화 작용이 강한 생물 활성 물질이다. 폴리페놀의 항산화 특성은 산화 스트레스의 조절, 퇴행성 질환 및 심혈관 질환 예방에서 적극적인 역할을 한다(62). 또한 폴리페놀은 세포 생존을 향상시키고 세포사멸을 유도하며 종양 성장을 예방할 수 있다(63). 식이

식물 폴리페놀은 수용체 또는 신호전달 효소에 직접적인 상호작용으로 관여하기도 하다(64). 이러한 폴리페놀 성분이 풍부한 샘플을 식품에 통합시키면 기본적인 영양적 기능에 기인하는 것이 건강한 식생활의 이점을 제공할 수 있다.

Total polyphenol 정량은 AOAC에 일부를 변형하여 정량하였다(65). 1N Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma Aldrich, Missouri, USA) 시약을 2배로 희석하고 난 후 10% sodium carbonate(Na_2CO_3)를 제조하였다. 시료(0.1 g/10 ml) 50 μl 에 folin-ciocalteuphenol reagent 시약 100 μl 를 가하고 10% Na_2CO_3 100 μl 를 가하여 혼합한 후 1시간 동안 실온에서 방치하고 750nm에서 흡광도를 측정 후 표준 물질인 Gallic acid (Sigma Aldrich, Missouri, USA)를 이용하여 표준곡선으로 함량을 3회 반복하여 계산하였다.

6) 용해도(Solubility) 측정

용해도 측정은 (ADMI, 1971)의 방법을 약간 변형하여 측정하였다(66). 각각의 브로콜리 분말 0.1 g을 micro centrifuge tube에 넣고 1M sodium phosphate, pH7.0 buffer(Biosesang Reagent Co., Ltd, Gyeonggi-do, Korea) 1 mL 첨가 후 원심 분리 하였다(13,000 xg, 10 min). 상등액을 제거하고 남은 불용성 성분을 60°C dry oven에서 함량이 될 때까지 건조한 후 무게 중량을 측정 계산하였다.

$$S = \frac{MT - MF}{MT} \times 100$$

S: 용해도(%)

MT: 건조 전 브로콜리 분말 무게(g)

MF: 60°C 건조 후 브로콜리 분말 무게(g)

7) 색도 측정

70°C와 105°C 그리고 동결건조의 브로콜리 분말을 색차계(Chroma meter, Tokyo, Japan)를 사용하여 샘플의 명도(L, lightness), 적색도/녹색도(a, redness/greenness), 황색도/청색도(b, yellowness/blueness)를 측정하였다.

8) High Performance Liquid Chromatography(HPLC) 분석

8)-1. Sulforaphane standard 용액의 조제

DL-Sulforaphane standard은 Tokyo Chemical Industry Co. LTD, USA. 에서 구매하여 사용하였고, Standard 용액 제조에는 HPLC grade 의 acetonitrile을 용매로

사용해서 표준 곡선(calibration curve)을 그렸다(67).

8)-2. SPE를 이용한 Sulforaphane 추출

생 브로콜리 5 g을 식품용 분쇄기FM-909T(Hanil, Yangcheon-gu, Seoul, Korea)에 갈고 나서 비커 안에 넣고 실온에서 30분동안 두었다가 50 mL dichloromethane(Samchun chemical, Gyeonggi-do, Korea)와 anhydrous sodium sulfate 2.5 g(Samchun chemical, Gyeonggi-do, Korea)을 가하였다. 그리고 난 후 30°C에서 회전증발기로 dichloromethane을 날려버린 뒤, 위의 과정을 다시 반복하여 추출하였다. 그리고 난 후 acetonitrile(Fisher Scientific Korea Ltd. Kangnam-Gu, Seoul, Korea)로 용해시킨 다음 HPLC에 주입하기 전에 0.2 μm filter(Whatman, Henke-Ject, Germany)를 통해 여과하였다(67). 분말 샘플들은 각각 1 g씩 무게를 재고 난 후 10 mL dichloromethane와 0.5 g anhydrous sodium sulfate를 가하여 30°C에서 회전 증발기로 dichloromethane을 날려버린 뒤 acetonitrile (Fisher Scientific Korea Ltd.)로 용해시킨 다음 HPLC에 주입하기 전에 0.2 μm filter를 통해 여과하였다.

8)-3. HPLC에 의한 Sulforaphane 함량의 정량 분석

시료는 Hitachi Chromaster 5160 pumps, 5410 UV Detector, 5310 Column oven,

5280 Autosampler로 장착되어 있는 (HPLC)와 LC Column C18(4.6 x 250 mm, 5 μ m)를 통해 분석을 시행하였고, 흡광도는 202 nm로 설정해 분석하였다. 용매 이동상은 Gradient 방법을 사용하지 않고, acetonitrile: water를 30: 70(v/v) 비율로 사용하여 flow rate는 0.6 mL/min으로 유지한 채 20분동안 흘려주었다. 분석 시 column oven을 36°C로 온도를 유지하고 분석을 시행하였고 sample 10 μ l를 주입하여 분석하였다(68).

3. 통계분석

본 실험의 모든 실험 결과는 통계 프로그램 IBM SPSS Statistics을 이용하여 평균과 표준편차를 계산하고, 3번 반복하여 실시하였으며, t-test 분석, ANOVA 분석 후 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ 수준에서 Scheffe's multiple range test를 이용하여 각 실험군의 유의성을 검증하였다.

IV. 연구 결과

1. 일반성분 분석

건조 전에 부위 별로 나뉜 모든 생 브로콜리 샘플의 일반성분 함량을 분석한 결과 Table 1 과 같다. 브로콜리 꽃봉오리 부위의 수분 함량, 회분 함량은 각각 다음과 같다. B1 88.33%, 1.00%의 범위로 측정되었으며, B2 88.55%, 0.83%의 범위로 측정되었다. B3 는 86.40%, 1.30%로 측정되었으며, B4 88.43%, 1.10%의 범위로 측정되었다. 줄기 부위의 수분 함량, 회분 함량은 각각 다음과 같다(Unit mg/100 g). B1 88.55%, 1.03%의 범위로 측정되었으며, B2 90.45%, 1.30%의 범위로 측정되었다. B3 는 87.92%, 1.40%의 범위로 측정되었으며, B4 89.40%, 0.90%의 범위로 측정되었다. 건조 전에 브로콜리 수분 함량은 꽃봉오리보다 줄기가 더 높았으며, 회분 함량은 한라그린이 모든 부위별 가장 높게 나타났다.

105°C에서 건조된 브로콜리분말 샘플의 일반성분 함량을 분석한 결과 Table 2 과 같다. 브로콜리 꽃봉오리 부위의 단백질 함량, 지방 함량은 각각 다음과 같다. B1 5.50%, 3.13%의 범위로 측정되었으며, B2 6.80%, 4.63%의 범위로 측정되었다. B3 는 5.80%, 3.73%로 측정되었으며, B4 7.28%, 4.13%의 범위로

측정되었다. 브로콜리 꽃봉오리 전체의 단백질 함량은 7.28%으로서 B4 가 가장 높게 나타났으며, 지방 함량은 B2 가 가장 높게 나타났다.

줄기 부위의 단백질 함량, 지방 함량은 각각 다음과 같다. B1 6.14%, 0.83%의 범위로 측정되었으며, B2 5.28%, 1.37%의 범위로 측정되었다. B3 는 4.64%, 0.80%의 범위로 측정되었으며, B4 6.53%, 1.03%의 범위로 측정되었다. 줄기 전체의 단백질 함량은 6.53%으로 B4 가 가장 높게 나타났으며, 지방 함량은 1.37%, 1.03%로서 B2, B4 가 가장 높게 나타났다. 브로콜리 부위별 꽃봉오리와 줄기의 수분 함량, 단백질 함량, 지방 함량, 회분 함량은 B1, B2, B3, B4, 모두 집단 간 유의미한 차이를 가졌다($p < 0.01$).

브로콜리 동결건조 분말의 일반성분 함량을 분석한 결과 Table 3 와 같다. 브로콜리 꽃봉오리 부위의 단백질 함량, 지방 함량, 회분 함량은 각각 다음과 같다. B1 4.44%, 3.13%, 4.47%의 범위로 측정되었으며, B2 5.89%, 3.47%, 3.93%의 범위로 측정되었다. B3 는 5.80%, 2.57%, 4.13%의 범위로 측정되었으며, B4 6.00%, 3.07%, 3.93%의 범위로 측정되었다. 동결건조 분말의 전체 꽃봉오리의 단백질 함량은 6.00%로서 B4 가 가장 높게 나타내었고, 지방 함량은 3.47%로서 B2 가 가장 높게 나타내었다. 동결건조 분말의 꽃봉오리 부위에서의 회분 함량은

브로콜리의 품종 간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단백질 함량, 지방 함량은 B1, B2, B3, B4 모두 집단 간 유의적인 차이를 가졌다($p < 0.01$).

동결건조 줄기 부위의 단백질 함량, 지방 함량, 회분 함량은 각각 다음과 같다. B1 4.30%, 1.27%, 4.53%의 범위로 측정되었으며, B2 4.47%, 1.20%, 5.93%의 범위로 측정되었다. B3는 4.50%, 1.13%, 5.80%의 범위로 측정되었으며, B4 4.30%, 1.00%, 5.67%의 범위로 측정되었다. 동결건조 분말의 줄기 부위에서는 단백질 함량, 지방 함량, 회분 함량은 브로콜리의 모든 품종 간 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.01$).

Table 1. Results of general component analysis in broccoli variety Before Drying
(Unit: mg/100g)

Drying condition	Part	Cultivar	Moisture (%)	Ash (%)
Before Drying	Floret	B1	88.33±0.21 ^{b1)2)}	1.00±0.00 ^{bc}
		B2	88.55±0.49 ^a	0.83±0.12 ^c
		B3	86.40±0.07 ^c	1.30±0.00 ^a
		B4	88.43±0.41 ^a	1.10±0.10 ^{ab}
	Stem	B1	88.55±0.59 ^{ab}	1.03±0.06 ^b
		B2	90.45±0.59 ^a	1.30±0.10 ^a
		B3	87.92±0.26 ^b	1.40±0.06 ^a
		B4	89.40±0.18 ^{ab}	0.90±0.00 ^b

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾ Values are mean±SD (n=3)

²⁾ Values with different letter are significant differences at p<0.01 by Scheffe's multiple ranged test.

Table 2. Results of general component analysis by 105°C Hot-air Drying broccoli variety (Unit: mg/100g)

Drying condition	Part	Cultivar	Protein (%)	Fat (%)
105°C Hot-air Drying	Floret	B1	5.50±0.03 ^{c1)2)}	3.13±0.15 ^d
		B2	6.80±0.01 ^b	4.63±0.21 ^a
		B3	5.80±0.01 ^b	3.73±0.06 ^c
		B4	7.28±0.02 ^a	4.13±0.23 ^b
	Stem	B1	6.14±0.03 ^b	0.83±0.06 ^b
		B2	5.28±0.01 ^c	1.37±0.06 ^a
		B3	4.64±0.06 ^c	0.80±0.00 ^b
		B4	6.53±0.01 ^a	1.03±0.06 ^a

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾ Values are mean±SD (n=3)

²⁾ Values with different letter are significant differences at p<0.01 by Scheffe's multiple ranged test.

Table 3. Results of general component analysis by Freeze Drying broccoli variety

Drying condition	Part or form	Cultivar	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)
Freeze Drying	Floret	B1	4.44±0.08 ^{c1)2)}	3.13±0.12 ^b	4.47±0.31 ^a
		B2	5.89±0.03 ^b	3.47±0.12 ^a	3.93±0.31 ^a
		B3	5.80±0.08 ^b	2.57±0.06 ^c	4.13±0.12 ^a
		B4	6.00±0.08 ^a	3.07±0.06 ^b	3.93±0.12 ^a
	Stem	B1	4.30±0.04 ^a	1.27±0.12 ^a	4.53±0.31 ^a
		B2	4.57±0.06 ^a	1.20±0.00 ^a	5.93±0.50 ^a
		B3	4.50±0.04 ^a	1.13±0.12 ^a	5.80±0.20 ^a
		B4	4.30±0.05 ^a	1.00±0.10 ^a	5.67±0.61 ^a

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾ Values are mean±SD (n=3)

²⁾ Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

2. 항산화 실험 결과

1) ABTs 라디칼 소거능 측정 결과

본 실험에서는 각 시료의 ABTs radical scavenging activity 를 Ascorbic acid 시료 용액의 무첨가군으로 대조하여 진행시켰다. 브로콜리 B1, B2, B3, B4 의 꽃봉오리 부분에서 건조 방법에 따른 ABTs 라디칼 소거능 활성 측정 결과는 Figure 1 과 같다.

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 꽃봉오리 브로콜리 분말의 ABTs 라디칼 소거능 측정 결과 각각 다음과 같다. B1 94.24%, 93.76%, 43.03%, B2 94.24%, 94.00%, 47.50%, B3 93.40%, 94.00%, 46.97%, B4 94.24%, 93.76%, 49.61%의 범위로 측정되었다. 70°C와 105°C에서의 ABTs 라디칼 소거능 측정 결과 대표적인 항산화제인 비타민 C(94.84%)에 비해 활성이 유사하는 것으로 나타내었으며, 동결건조에서는 ABTs 라디칼 소거능이 비타민 C 에 비해 활성이 반 정도 감소하는 것으로 나타내었다.

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 ABTs 라디칼 소거능 측정 결과는 Figure 2 과 같다. 70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 ABTs 라디칼 소거능 측정은 각각 B1 94.48%, 93.28%, 49.61%, B2

94.72%, 93.88%, 39.74%, B3 94.72%, 93.52%, 48.95%, B4 95.08%, 93.76%, 39.47%의 범위로 측정되었다. 70°C와 105°C에서 건조된 줄기 부위에서는 꽃봉오리와 마찬가지로 대표적인 항산화제인 비타민 C에 비해 활성이 유사하는 것으로 나타내었으며 동결건조에서는 ABTs 라디칼 소거능이 비타민 C에 비해 활성이 반 정도 감소하는 것으로 나타내었다. 70°C, 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 ABTs 라디칼 소거능 측정 결과 부위별 및 건조 방법에 따른 브로콜리의 품종 간 유의적인 차이를 보이지 않았으나 동결건조에서는 모든 품종 간 유의적인 차이를 가졌다($p < 0.01$).

2) DPPH 라디칼 소거능 측정 결과

본 실험에서는 각 시료의 DPPH radical scavenging activity를 ascorbic acid 시료 용액의 무첨가군으로 대조하여 진행시켰다. 브로콜리 B1, B2, B3, B4의 꽃봉오리 부분에서 건조 방법에 따른 DPPH 라디칼 소거능 활성 측정 결과는 Figure 3과 같다.

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 꽃봉오리 브로콜리 분말의 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과 각각 다음과 같다. B1 69.35%, 48.20%, 12.69%, B2 69.77%,

51.59%, 21.83%, B3 69.35%, 56.24%, 10.82%, B4 70.40%, 45.46%, 20.52%의 범위로 측정되었다.

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 ABTs 라디칼 소거능 측정 결과는 Figure 4 과 같다. 70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 DPPH 라디칼 소거능 측정은 각각 B1 71.88%, 38.27%, 18.84%, B2 72.09%, 44.61%, 31.16%, B3 74.63%, 42.07%, 26.87%, B4 74.00%, 42.98%, 30.59%의 범위로 측정되었다. 70°C와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과는 비타민 C(85.41%)에 비교했을 때 거의 유사하였으나 동결건조에서는 브로콜리 품종 간 항산화능이 감소한 것으로 보였다. 동결건조 분말의 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과 브로콜리의 품종 간 유의미한 차이를 보았으나 70°C와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말 시료의 품종 간 유의미한 차이를 보이지 않았다($p < 0.01$).

모든 브로콜리 품종 부위별의 항산화능이 Ascorbic acid 과 비교했을 때 모두 높은 항산화능을 가진 것으로 확인되었으며 건조 방법에 따라 항산화능이 달라진 것으로 확인되었다.

3) Total polyphenol 함량 측정 결과

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 꽃봉오리 분말의 Total polyphenol 함량 측정 결과는 Figure 5 에서 나타내었다. 70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 꽃봉오리 분말의 Total polyphenol 함량 측정 결과는 각각 B1 93.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 70.45 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 32.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 104.50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 78.54 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 39.90 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 91.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 108.08 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 35.60 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 110.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 111.87 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 42.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 범위로 측정되었다. 총 페놀 함량이 μg 당 Gallic acid 의 등량 값으로 나타낼 때 건조된 4 종 브로콜리 분말의 꽃봉오리 부위에서는 총 페놀 함량이 110.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 111.87 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 42.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 브로콜리 B4 가 가장 높은 페놀 함량을 가졌다.

70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 Total polyphenol 함량 측정 결과는 Figure 6 에서 나타내었다. 70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 줄기 분말의 Total polyphenol 함량 측정 결과는 각각 B1 79.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 116.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 22.20 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 69.30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 81.82 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 27.30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 69.00 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 69.95 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 25.50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 73.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 115.91 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 26.80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 범위로 측정되었다. 줄기 부위에서는 총 페놀 함량이 73.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 115.91 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 26.80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 브로콜리 B4 가 가장 높은 페놀 함량을 가졌다. 동결건조 같은

경우는 부위별 총 페놀 함량은 70°C, 105°C에 비해 총 페놀 함량이 감소하는 것으로 나타내었다. 70°C, 105°C, 동결건조에서 건조된 브로콜리 분말의 Total polyphenol 함량 측정 결과는 모든 품종 간 유의적인 차이를 가졌다($p < 0.01$).

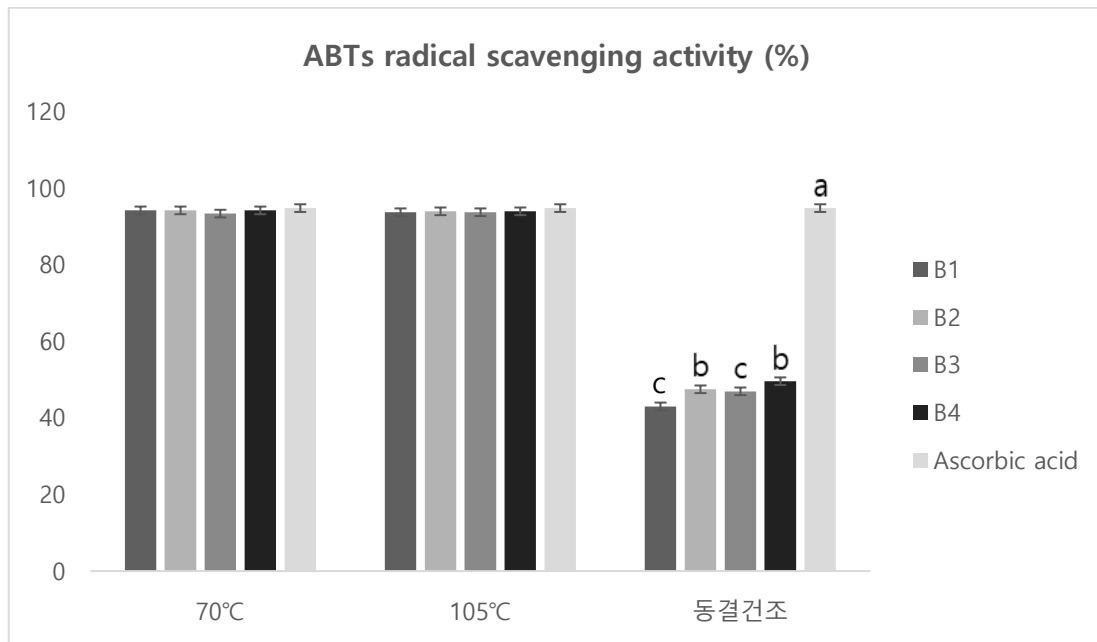


Figure 6. ABTs radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli floret.

All values are mean \pm SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

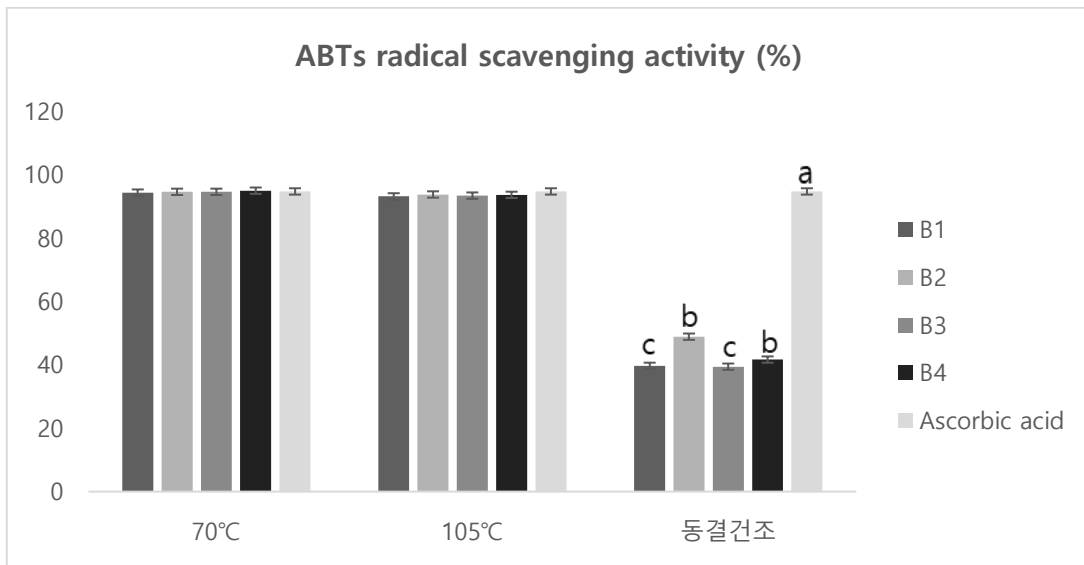


Figure 7. ABTs radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli stem.

All values are mean \pm SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

Table 4. ABTs scavenging activity in broccoli powder (Unit: %)

Drying condition	Part or form	Sample	ABTs scavenging activity (μg ascorbic acid/ml)	
			70°C ¹⁾	105°C
Hot-air drying	Floret	B1	94.24±0.00	93.76±0.001
		B2	94.24±0.001	94.00±0.001
		B3	93.40±0.008	94.00±0.001
		B4	94.24±0.000	93.76±0.001
	Stem	B1	94.48±0.001	93.28±0.001
		B2	94.72±0.001	93.88±0.001
		B3	94.72±0.000	93.52±0.002
		B4	95.08±0.001	93.76±0.000
Freeze drying	Floret	B1	43.03±0.005 ^b	
		B2	47.50±0.003 ^a	
		B3	46.97±0.013 ^b	
		B4	49.61±0.006 ^a	
	Stem	B1	49.61±0.006 ^a	
		B2	39.74±0.027 ^b	
		B3	48.95±0.006 ^a	
		B4	39.47±0.011 ^b	

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾Dried temperatures

²⁾Values are mean±SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

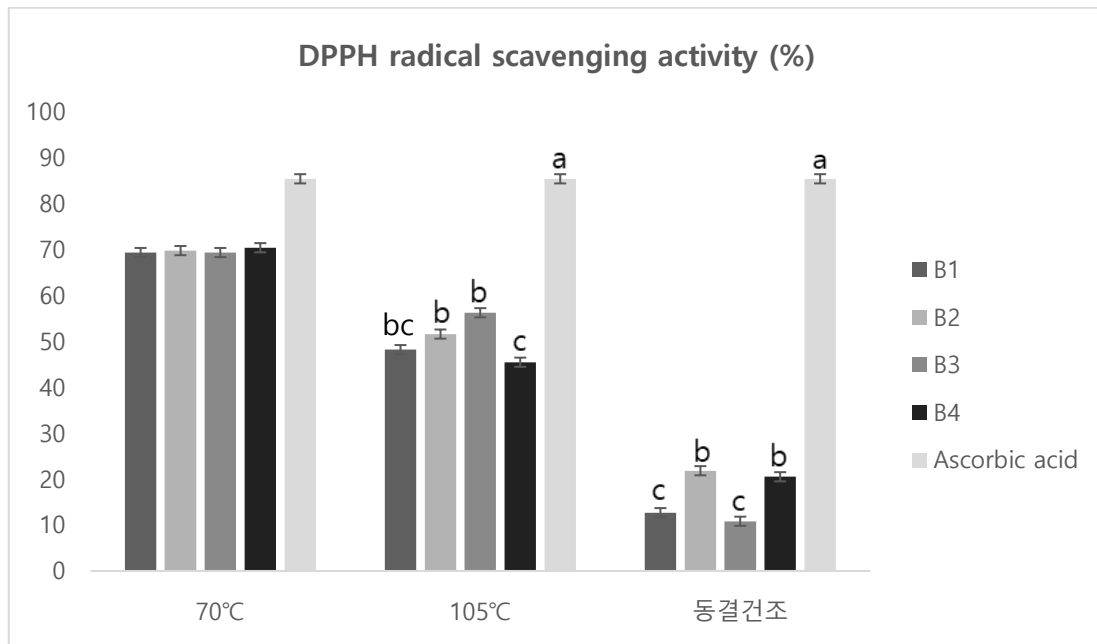


Figure 8. DPPH radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli floret.

All values are mean±SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

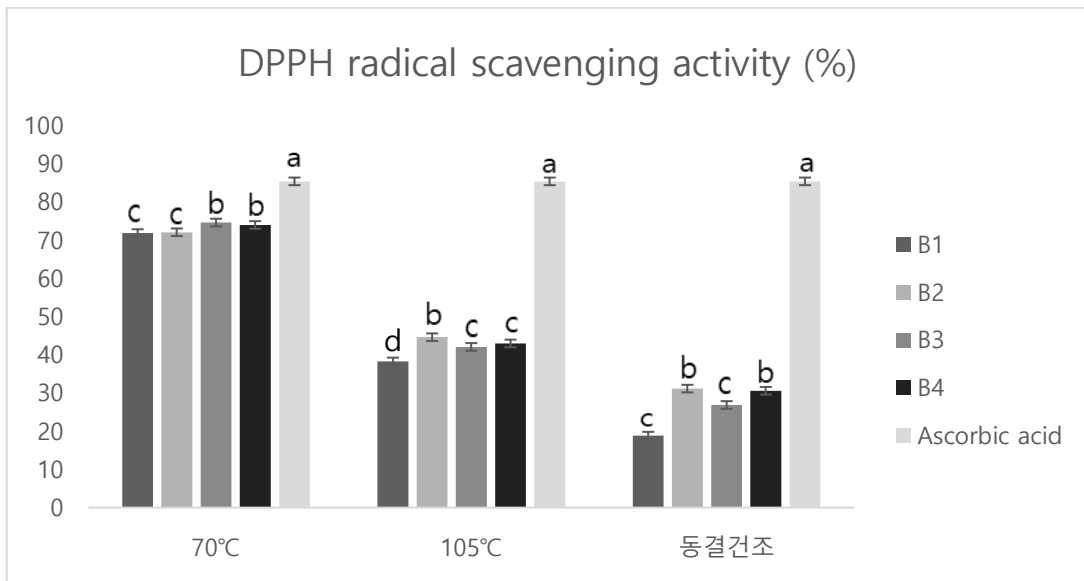


Figure 9. DPPH radical scavenging activity in different part of 4 cultivars of broccoli stem.

All values are mean±SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

Table 5. DPPH scavenging activity in broccoli powder (Unit: %)

Drying condition	Part or form	Sample	DPPH scavenging activity (μg ascorbic acid/ml)	
			70°C ¹⁾	105°C
Hot-air drying	Floret	B1	69.35±0.054 ^{a2)}	48.20±0.002 ^{ab}
		B2	69.77±0.030 ^a	51.59±0.004 ^a
		B3	69.35±0.005 ^a	56.24±0.004 ^a
		B4	70.40±0.008 ^a	45.46±0.014 ^b
	Stem	B1	71.88±0.004 ^b	38.27±0.013 ^c
		B2	72.09±0.001 ^b	44.61±0.002 ^a
		B3	74.63±0.002 ^a	42.07±0.008 ^b
		B4	74.00±0.003 ^a	42.98±0.012 ^b
Freeze drying	Floret	B1	12.69±0.012 ^b	
		B2	21.83±0.014 ^a	
		B3	10.82±0.006 ^b	
		B4	20.52±0.010 ^a	
	Stem	B1	18.84±0.019 ^b	
		B2	31.16±0.012 ^a	
		B3	26.87±0.022 ^b	
		B4	30.59±0.010 ^a	

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

¹⁾ Dried temperatures

²⁾ Values are mean±SD(n=3)

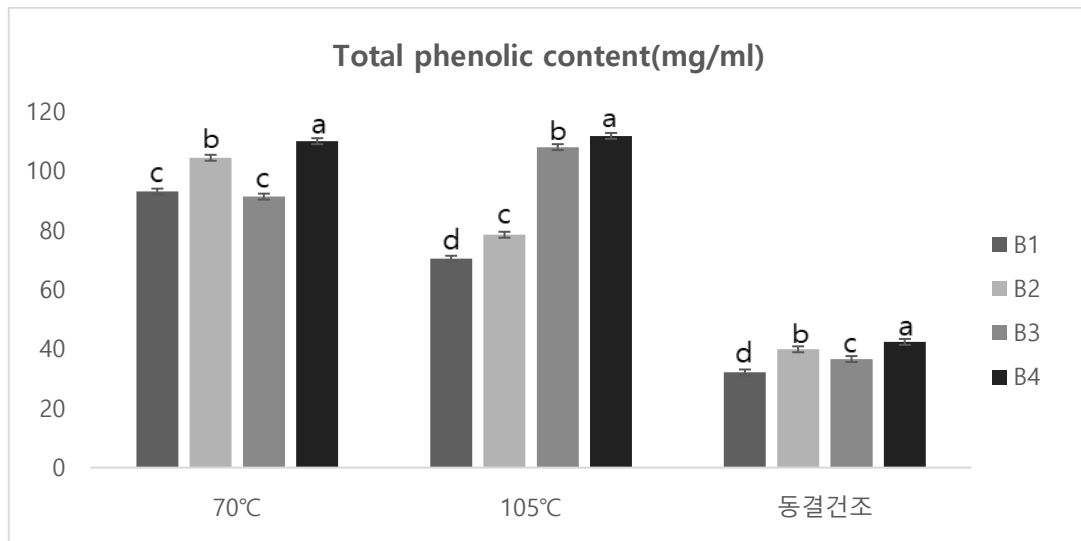


Figure 10. Total phenolic content in different part of 4 cultivars of broccoli floret.

All values are mean±SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

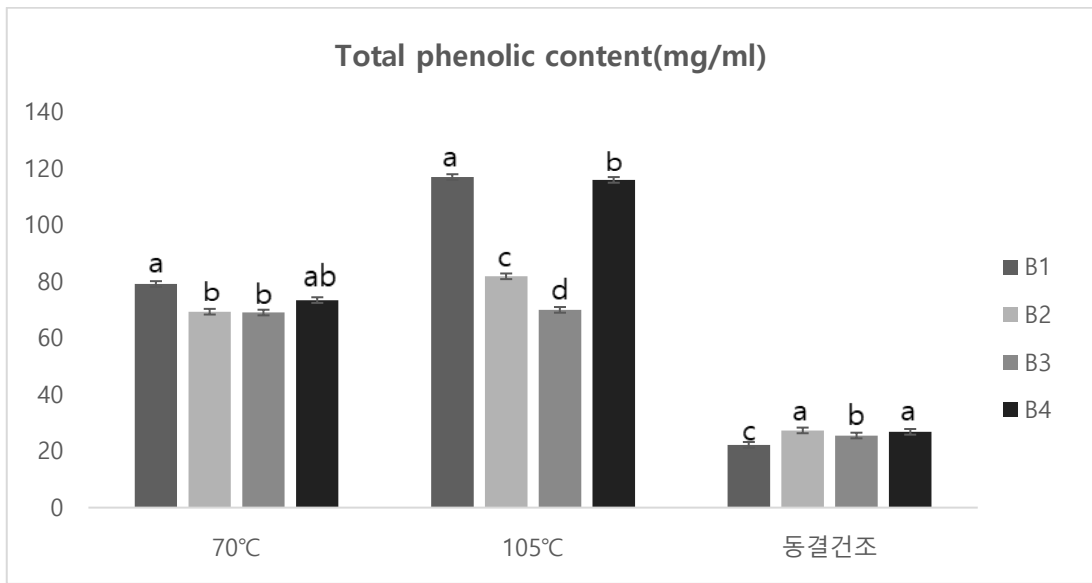


Figure 11. Total phenolic content in different part of 4 cultivars of broccoli stem.

All values are mean±SD(n=3)

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

Table 6. Total phenolic content in broccoli powder (Unit: mg/ml)

Drying condition	Part or form	Sample	Total phenolic content (μg gallic acid/ml)	
			70°C ¹⁾	105°C
Hot-air drying	Floret	B1	93.10 \pm 0.045 ^{c2)}	70.45 \pm 0.000 ^d
		B2	104.50 \pm 0.012 ^b	78.54 \pm 0.001 ^c
		B3	91.40 \pm 0.032 ^c	108.08 \pm 0.001 ^b
		B4	110.10 \pm 0.037 ^a	111.87 \pm 0.001 ^a
	Stem	B1	79.10 \pm 0.027 ^a	116.92 \pm 0.001 ^a
		B2	69.30 \pm 0.028 ^b	81.82 \pm 0.002 ^c
		B3	69.00 \pm 0.022 ^b	69.95 \pm 0.001 ^d
		B4	73.40 \pm 0.039 ^{ab}	115.91 \pm 0.000 ^b
Freeze drying	Floret	B1	32.10 \pm 0.000 ^d	
		B2	39.90 \pm 0.002 ^b	
		B3	35.60 \pm 0.001 ^c	
		B4	42.40 \pm 0.001 ^a	
	Stem	B1	22.20 \pm 0.001 ^c	
		B2	27.30 \pm 0.001 ^a	
		B3	25.50 \pm 0.000 ^b	
		B4	26.80 \pm 0.001 ^a	

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

Values with different letter are significant differences at $p < 0.01$ by Scheffe's multiple ranged test.

¹⁾ Dried temperatures

²⁾ Values are mean \pm SD(n=3)

3. 색도 측정 결과

색차계를 이용하여 3 가지 건조 조건에 따른 브로콜리 분말의 색도, 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 측정한 결과는 Table 6 과 같이 나타내었다. 70°C에서 건조된 4 품종 브로콜리 꽃봉오리 및 줄기의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 각각 B1 71.82, -7.55, 20.54, B2 72.83, -6.45, 21.09, B3 69.77, -6.25, 22.99, B4 72.60, -5.86, 21.09 로 측정되었으며, 줄기 부위에서는 B1 77.23, -0.27, 19.90, B2 79.63, -0.49, 19.90, B3 81.63, -4.12, 19.31, B4 79.72, -2.16, 19.48 로 측정되었다. L 값은 꽃봉오리 분말이 줄기 분말에 비하여 어두운 색을 띠는 것으로 나타났으며, a 값은 줄기에 비해 꽃봉오리가 높은 녹색도로 나타났다. b 값은 줄기에 비하여 꽃봉오리가 높은 황색도로 나타났다. 105°C에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 및 줄기의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 각각 B1 56.21, 3.96, 14.08, B2 55.50, 3.59, 13.66, B3 58.26, 2.09, 15.15, B4 55.20, 3.44, 13.98 로 측정되었으며, 줄기 부위에서는 B1 56.28, 5.82, 12.84, B2 56.18, 6.23, 14.01, B3 58.34, 6.02, 15.04, B4 58.71, 6.27, 15.22 로 측정되었다. 105°C에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 및 줄기의 L 값은 70°C에 비해 더 어두웠고 a 값은 70°C에 비해 높은 빨간색으로 나타났으며, b 값은 70°C에 비해 낮은 황색도로 나타났다.

동결건조에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 및 줄기의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 각각 B1 29.52, -5.55, 6.90, B2 25.96, -2.89, 4.03, B3 24.43, -4.75, 5.40, B4 21.43, -4.41, 5.63 로 측정되었으며, 줄기 부위에서는 B1 37.43, -10.70, 21.19, B2 28.34, -6.66, 12.33, B3 32.80, -6.87, 16.56, B4 43.17, -7.13, 20.16 로 측정되었다. 3 가지 건조 조건에 따른 4 종 브로콜리 분말의 색도 측정 결과 L 값은 동결건조가 가장 어두운 색을 띄는 것으로 나타났고, a 값은 105°C에서 가장 높은 값으로 나타났으며, b 값은 70°C에서 가장 높게 나타났다. 각 샘플마다 봤을 때, 105°C에서 꽃봉오리 부위의 L 값을 가장 높게 가진 샘플은 B3 이고 a 값에서는 B1, b 값에서는 B3 샘플이 다른 샘플들 보다 높게 나타났다. 줄기에서는 B4 가 L, a, b 값 모두 다른 샘플들 보다 높게 나타났다. 동결건조에서는 꽃봉오리 부위의 L 값을 가장 높게 나타난 샘플은 B1, a 값에서는 B2, b 값은 B1 샘플이었다. 줄기에서는 B4가 가장 높은 L 값을 나타냈고, a 값은 B2, b 값은 B1 이 가장 높게 나타났다.

Table 7. Surface color of 4 different broccoli power cultivars prepared by different drying methods & temperatures

Drying condition	Part or form	Sample	Color Value ¹⁾		
			L*	a*	b*
Hot-air drying at 70°C & 21 hours	Floret	B1	71.82±2.29 ^a	-7.55±0.15 ^b	20.54±0.23 ^{bc}
		B2	72.83±0.61 ^a	-6.45±0.58 ^{ab}	21.63±0.65 ^{ab}
		B3	69.77±1.33 ^a	-6.25±0.45 ^{ab}	22.99±0.61 ^a
		B4	72.60±0.66 ^a	-5.86±0.28 ^a	21.09±0.72 ^{bc}
	Stem	B1	77.23±0.67 ^b	-0.27±0.14 ^a	19.90±0.15 ^{bc}
		B2	79.63±0.25 ^{ab}	-0.49±0.09 ^a	19.81±0.24 ^c
		B3	81.63±0.75 ^{ab}	-4.12±0.86 ^c	19.31±0.17 ^c
		B4	79.72±0.07 ^a	-2.16±0.52 ^b	19.48±0.77 ^c
Hot-air drying at 105°C & 5 hours	Floret	B1	56.21±1.12 ^b	3.96±0.23 ^a	14.08±0.31 ^{ab}
		B2	55.50±0.57 ^b	3.59±0.25 ^a	13.66±0.43 ^b
		B3	58.26±0.43 ^a	2.09±0.04 ^b	15.15±0.36 ^a
		B4	55.20±0.39 ^b	3.44±0.29 ^a	13.98±0.25 ^b
	Stem	B1	56.28±0.14 ^b	5.82±0.21 ^a	12.84±0.61 ^b
		B2	56.18±0.27 ^b	6.23±0.04 ^a	14.01±0.16 ^{ab}
		B3	58.34±0.49 ^a	6.02±0.22 ^a	15.04±0.20 ^a
		B4	58.71±0.27 ^a	6.27±0.15 ^a	15.22±0.45 ^a
Freeze drying	Floret	B1	29.52±2.50 ^a	-5.55±0.36 ^c	6.90±0.62 ^a
		B2	25.96±0.68 ^b	-2.89±0.31 ^a	4.03±0.02 ^c
		B3	24.43±1.58 ^b	-4.75±0.21 ^b	5.40±0.39 ^b
		B4	21.43±0.51 ^c	-4.41±0.99 ^b	5.63±1.59 ^b
	Stem	B1	37.43±2.55 ^a	-10.70±1.28 ^c	21.19±1.90 ^a
		B2	28.34±0.73 ^c	-6.66±1.13 ^a	12.33±1.92 ^c
		B3	32.80±5.08 ^b	-6.87±3.65 ^a	16.56±5.87 ^b
		B4	43.17±3.84 ^a	-7.13±5.76 ^b	20.16±6.56 ^a

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾L*: degree of lightness, a*: degree of redness, b*: degree of yellowness

4. 용해성(Solubility) 측정 결과

건조 조건에 따른 4 종 브로콜리 분말의 용해성은 Table 7 과 같이 나타내었다. 70°C에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 분말의 용해성은 각각 B1 34.62%, B2 35.99%, B3 32.03%, B4 33.69%였으며, 브로콜리의 품종 간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 줄기 분말의 용해성은 B1 35.83%, B2 38.56%, B3 39.10%, B4 35.42%로 브로콜리 B2 및 B3 가 가장 높게 나타났다. 105°C에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 분말의 용해성은 각각 B1 22.01%, B2 20.48%, B3 18.16%, B4 19.67%였으며, 꽃봉오리는 22.01%로 브로콜리 B1 가 가장 높게 나타났고, 줄기에서는 B1 23.31%, B2 23.95%, B3 21.44%, B4 23.25%로 측정되었다. 줄기에서는 브로콜리의 품종 간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

동결건조에서 건조된 4 종 브로콜리 꽃봉오리 및 줄기 분말의 용해성은 각각 B1 32.91%, B2 35.54%, B3 35.30%, B4 33.32%였으며, 줄기에서는 B1 29.16%, B2 35.69%, B3 37.22%, B4 33.32%로 측정되었다. 꽃봉오리는 35.54%로 B2 브로콜리가 가장 높게 나타났고, 줄기에서는 37.22%로 B3 브로콜리가 가장 높게 나타났다. 70°C와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 용해성을 측정한 결과 꽃봉오리 부위에 비하여 줄기 부위가 용해성이 더 높은 것으로 나타났으며, 반면에 동결건조에서는 줄기보다 꽃봉오리가 더 높은 용해성을 가진 것으로 나타났다.

Table 8. Solubility in different part of 4 cultivars broccoli powder prepared by different drying methods & temperatures

Drying condition	Part or form	Sample	Solubility (%)
Hot-air drying at 70°C & 21 hours	Floret	B1	34.62±0.37 ^a
		B2	35.99±2.23 ^a
		B3	32.03±1.28 ^b
		B4	33.69±1.16 ^b
	Stem	B1	35.83±0.70 ^b
		B2	38.56±0.52 ^a
		B3	39.10±0.43 ^a
		B4	35.42±0.95 ^b
Hot-air drying at 105°C & 5 hours	Floret	B1	22.01±0.43 ^a
		B2	20.48±2.29 ^{ab}
		B3	18.16±0.15 ^b
		B4	19.67±0.62 ^{ab}
	Stem	B1	23.31±0.76 ^a
		B2	23.95±0.35 ^a
		B3	21.44±2.95 ^a
		B4	23.25±2.60 ^a
Freeze drying	Floret	B1	32.91±0.41 ^b
		B2	35.54±1.01 ^a
		B3	35.30±1.28 ^{ab}
		B4	33.30±0.57 ^{ab}
	Stem	B1	29.16±0.66 ^c
		B2	35.69±1.92 ^{ab}
		B3	37.22±0.95 ^a
		B4	33.32±1.04 ^b

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

²⁾Values are mean±SD(n=3)

5. HPLC 를 이용하여 건조 조건에 따른 Sulforaphane 함량 측정 결과

1) HPLC 로 분석한 생 브로콜리의 Sulforaphane 함량

HPLC 분석 방법은 Table 8 과 같이 분석하였다. 다른 연구 보고서(69)에 따르면 브로콜리의 sulforaphane 함량은 지역별, 품종별, 부위별로 다양한 차이를 나타낸다고 보고 되어 있다. HPLC 를 통하여 생 브로콜리로부터 sulforaphane 을 추출해 낸 함량 결과는 Table 9 에 나타내었다.

생 브로콜리를 꽃봉오리 부위와 줄기 부위로 나누어 sulforaphane 함량을 측정한 결과 브로콜리 꽃봉오리의 sulforaphane 함량은 B1 580 $\mu\text{g/g}$, B2 520 $\mu\text{g/g}$, B3 540 $\mu\text{g/g}$, B4 610 $\mu\text{g/g}$ 으로 측정되어 브로콜리 B4 가 가장 높은 sulforaphane 함량을 가진 것으로 나타났다. 줄기 부위에는 B1 230 $\mu\text{g/g}$, B2 100 $\mu\text{g/g}$, B3 80 $\mu\text{g/g}$, B4 550 $\mu\text{g/g}$ 으로 측정되었으며, 줄기 부위에도 브로콜리 B4 가 가장 높게 나타났다. 이에 주로 먹는 꽃봉오리뿐만 아니라 줄기에도 sulforaphane 함량이 많이 존재하는 것을 알 수 있었다.

2) 건조 조건에 따른 브로콜리 분말의 sulforaphane 함량

이전 연구 보고서에 따르면 sulforaphane 함량은 가열에 의해 감소하는 것으로 보고 되어 있다(27). 이에 건조 방법에 따른 브로콜리 분말의

sulforaphane 함량을 측정한 결과는 Table 10 과 같이 나타내었다. 70°C, 105°C, 그리고 동결건조에서 건조된 브로콜리 꽃봉오리 분말의 sulforaphane 함량은 각각 B1 46.67 $\mu\text{g/g}$, 156.67 $\mu\text{g/g}$, 16.67 $\mu\text{g/g}$, B2 120 $\mu\text{g/g}$, 146.67 $\mu\text{g/g}$, 66.67 $\mu\text{g/g}$, B3 173.33 $\mu\text{g/g}$, 110 $\mu\text{g/g}$, 60 $\mu\text{g/g}$, B4 50 $\mu\text{g/g}$, 140 $\mu\text{g/g}$, 30 $\mu\text{g/g}$ 로 측정되었으며, 줄기 부위에서는 각각 B1 16.67 $\mu\text{g/g}$, 13.33 $\mu\text{g/g}$, 11.67 $\mu\text{g/g}$, B2 13.33 $\mu\text{g/g}$, 36.67 $\mu\text{g/g}$, 11.67 $\mu\text{g/g}$, B3 63.33 $\mu\text{g/g}$, 13.33 $\mu\text{g/g}$, 10 $\mu\text{g/g}$, B4 30 $\mu\text{g/g}$, 70 $\mu\text{g/g}$ 으로 측정되었다. 생 브로콜리와 건조된 브로콜리 분말을 비교해봤을 때 건조된 브로콜리 분말 4 배정도 감소하는 것으로 측정되었으며, (김미리, 1997) 연구 보고서와 마찬가지로 높은 온도로 가열하거나 긴 시간으로 브로콜리를 가열하게 되면 sulforaphane 함량이 급격히 감소함을 확인하였다. 또한 동결건조 같은 경우 긴 시간으로 건조 에다가 수분을 아예 없애는 건조 방법으로 sulforaphane 성분에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Table 9. Operating conditions of HPLC for analysis sulforaphane extracts

Item	Conditions
Instrument	HPLC system(Hitachi High-Tech Science Corporation, Minato-ku, Tokyo, Japan)
Column Type	ZORBAX Eclipse Plus C18 4.6 x 250 nm, 5 μ m
Column temperature	36°C
Mobile phase	Acentonitrile/ Distilled water (30:70)
Flow rate	0.6 mL/min
Detector	5410 UV(202 nm)
Injection Volume	10 μ l

Table 10. Sulforaphane Concentration in different part of 4 cultivars of fresh broccoli

Part or form	Sample	Sulforaphane concentration ($\mu\text{g/g}$)FW ¹⁾
Floret	B1	580.00 \pm 0.47 ^{b2)}
	B2	520.00 \pm 0.75 ^c
	B3	540.00 \pm 0.59 ^c
	B4	610.00 \pm 1.23 ^a
Stem	B1	230.00 \pm 0.34 ^b
	B2	100.00 \pm 0.12 ^c
	B3	80.00 \pm 0.06 ^c
	B4	550.00 \pm 0.02 ^a

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾ Fresh weight

²⁾ Values are mean \pm SD(n=3)

Table 11. Sulforaphane Concentration in different part of 4 cultivars of broccoli powder prepared by different drying methods & temperatures

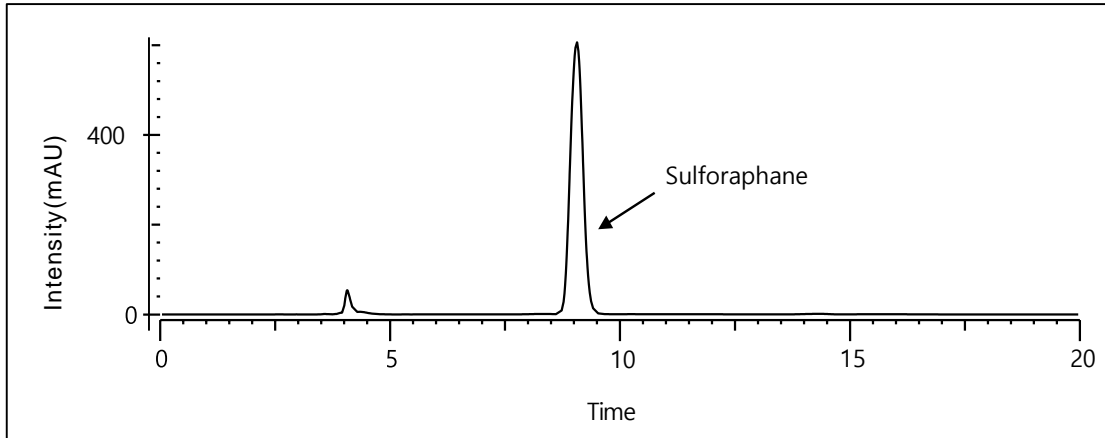
Part or form	Sample	Dry condition ($\mu\text{g/g}$)DW ¹⁾		
		70°C	105°C	동결건조
Floret	B1	46.67±5.8 ^{c2)}	156.67±5.8 ^a	16.67±5.8 ^c
	B2	120.00±0.0 ^b	146.67±5.8 ^{ab}	66.67±5.8 ^a
	B3	173.33±5.8 ^a	110.00±0.0 ^c	60.00±0.0 ^a
	B4	50.00±0.0 ^c	140.00±0.0 ^b	30.00±0.0 ^b
Stem	B1	16.67±5.8 ^c	13.33±5.8 ^a	11.67±2.9 ^a
	B2	13.33±5.8 ^c	36.67±5.8 ^c	11.67±2.9 ^a
	B3	63.33±5.8 ^a	13.33±5.8 ^a	10.00±0.0 ^a
	B4	30.00±0.0 ^b	70.00±0.0 ^b	ND

B1: SK3-085, B2: New-Tamnagreen, B3: Hallagreen, B4: Samdagreen

¹⁾ Dry weight

²⁾ Values are mean±SD(n=3)

Figure 12. HPLC chromatograms of sulforaphane standard



Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: Standard (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.060	11562907	94.446	605781

Calibration Curve (5410 UV Detector sulforaphane 1)

Order	1R
a3	---
a2	---
a1	4.324172e-007
a0	0.000000e+000
R-square (R2)	1.0000

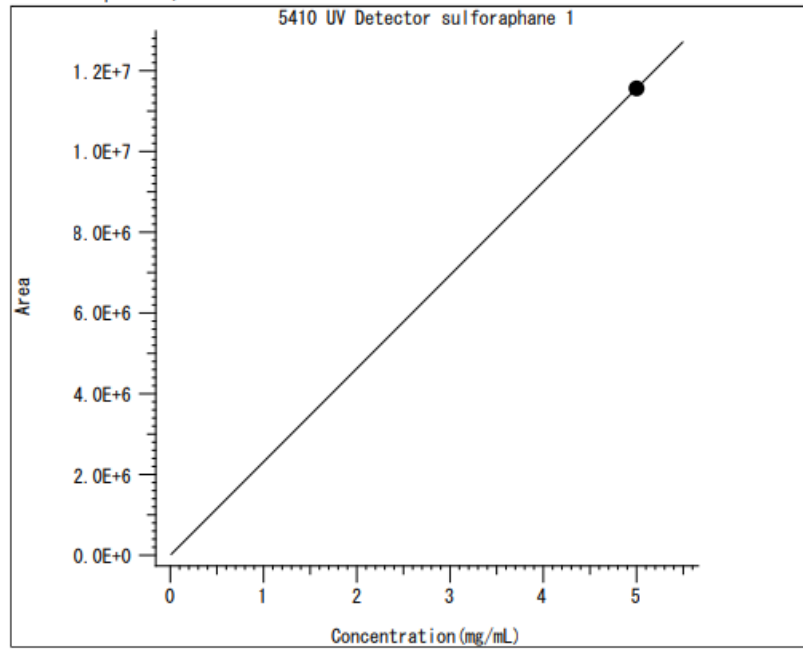
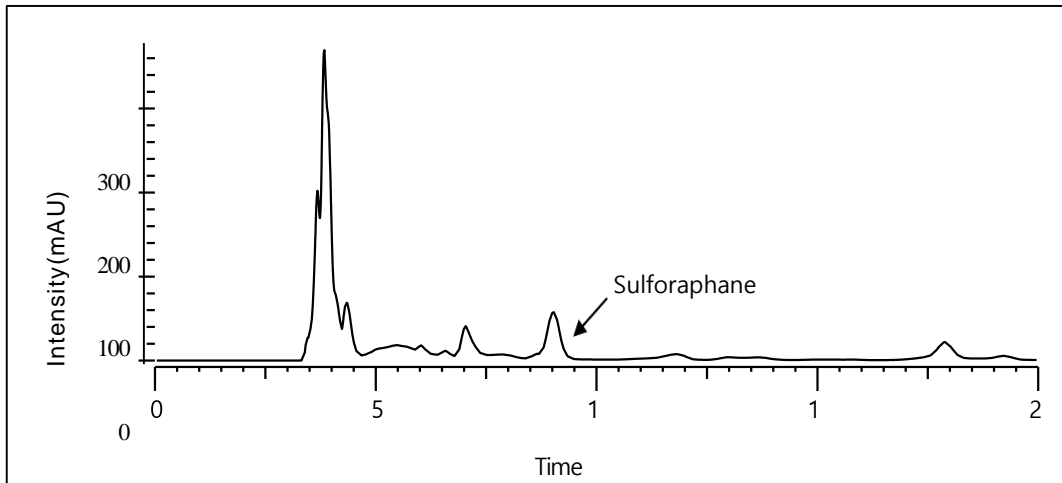


Figure 13. HPLC chromatograms of Sulforaphane Standard curve.

Figure 14. HPLC chromatograms of sulforaphane in floret fresh broccoli



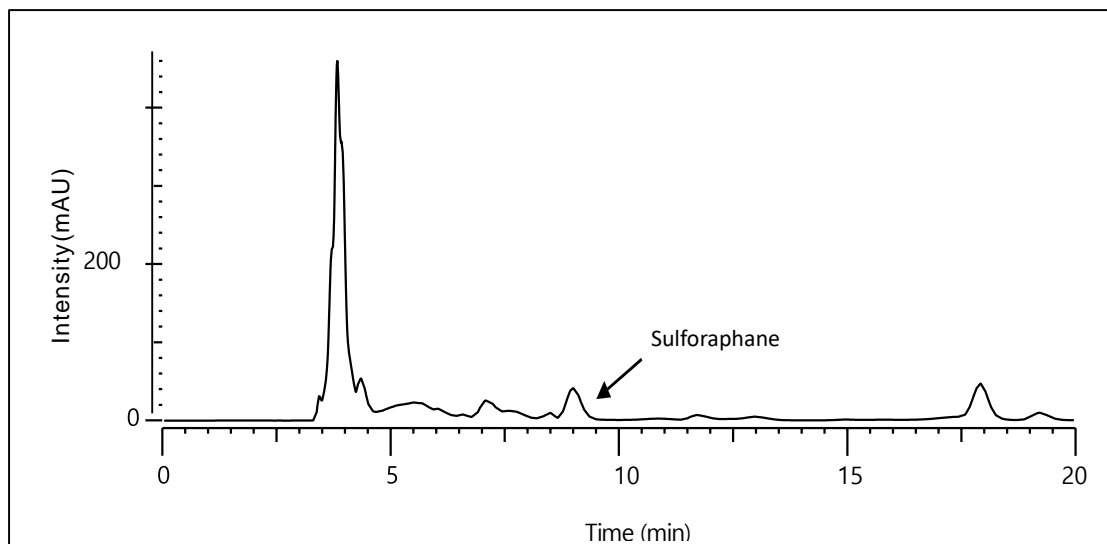
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B1 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.023	1145531	8.769	56320

Figure 15. HPLC chromatograms of sulforaphane in floret fresh broccoli



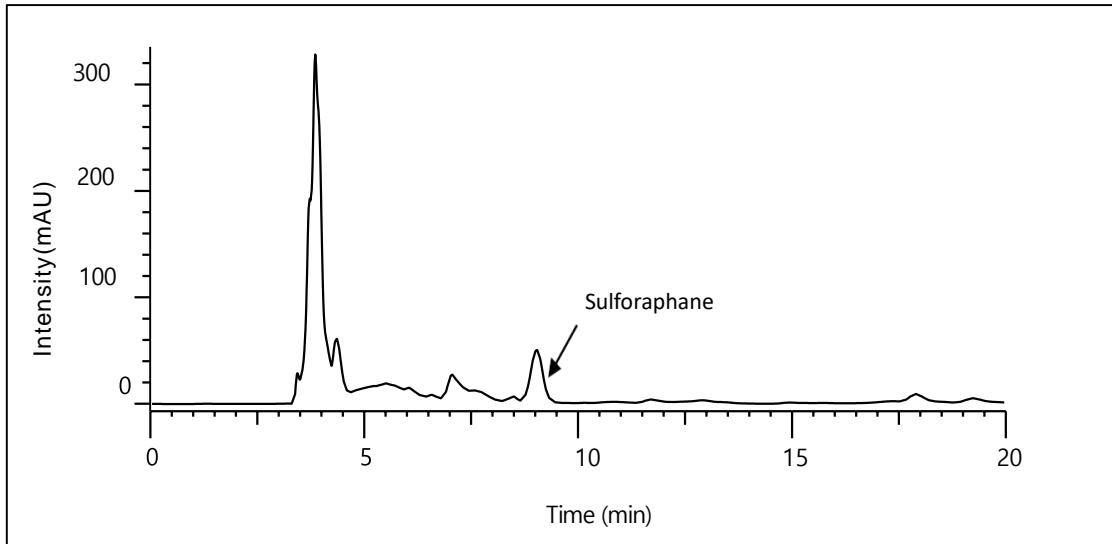
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B2 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	8.990	873822	5.808	39497

Figure 16. HPLC chromatograms of sulforaphane in floret fresh broccoli



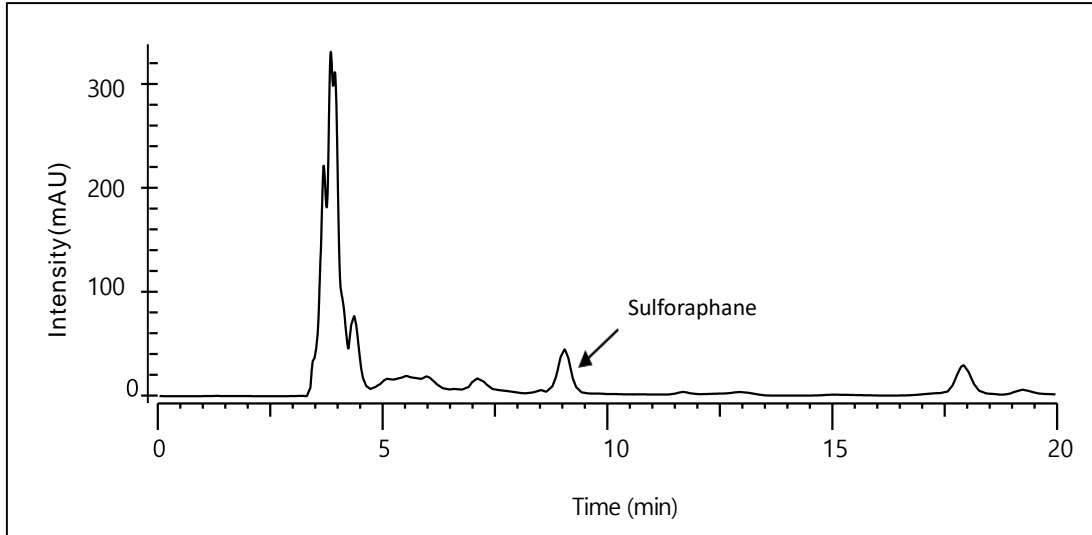
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B3 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.033	1006630	8.582	49744

Figure 17. HPLC chromatograms of sulforaphane in floret fresh broccoli



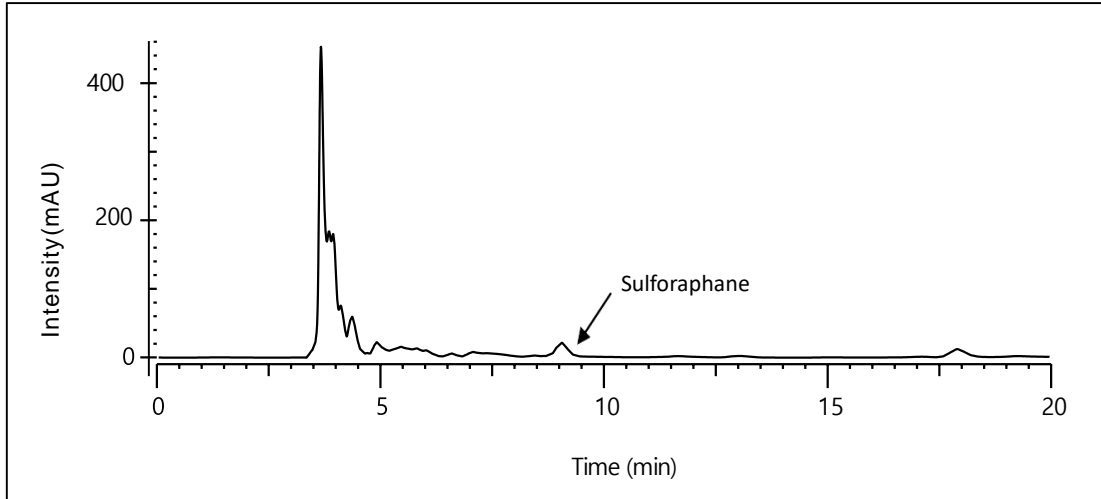
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B4 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.043	876446	6.847	42758

Figure 18. HPLC chromatograms of sulforaphane in stem fresh broccoli



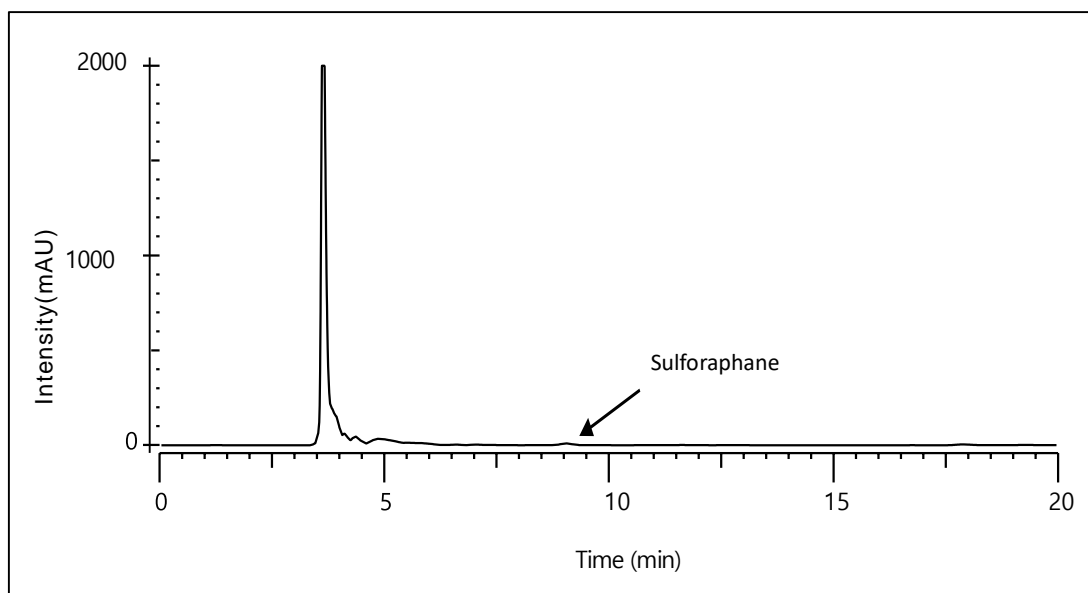
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B1 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.050	386677	3.925	20346

Figure 19. HPLC chromatograms of sulforaphane in stem fresh broccoli



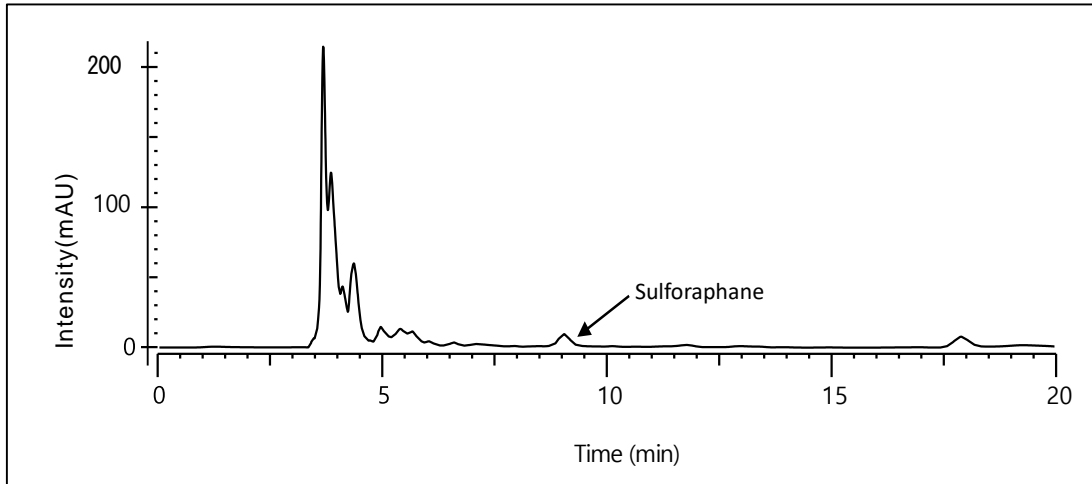
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B2 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.050	173569	0.792	9722

Figure 20. HPLC chromatograms of sulforaphane in stem fresh broccoli



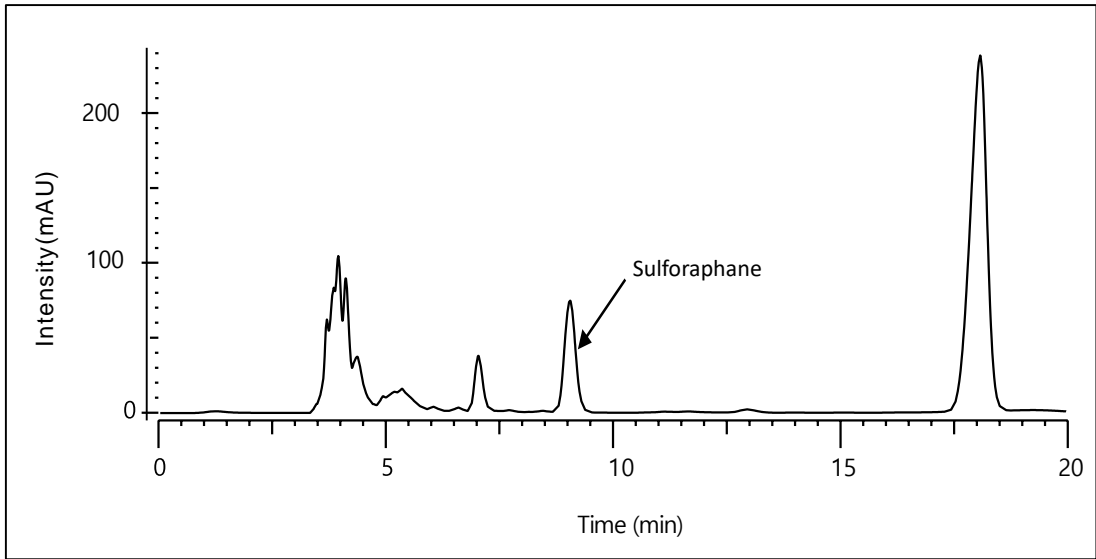
Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B3 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.047	154909	2.790	8553

Figure 21. HPLC chromatograms of sulforaphane in stem fresh broccoli



Measurement Data

5410 UV Detector Ch1 Sample ID: B4 (202 nm)

Peak Detect Detailed Result

Compounds	RT	Area	Area%	Height
Sulforaphane	9.050	1278637	10.501	74774

V. 고찰

국내에서 출원된 브로콜리 4종을 부위 별로 분류하여 일반 성분을 분석한 결과 같은 지역에서 수확을 하여도 품종이 다른 경우 수분, 단백질, 지방, 회분, 항산화 함량이 유의적으로 차이 있음을 확인하였다. 품종 별로 단백질의 함량은 꽃봉오리 부위에서 각각 B1 5.50%, B2 6.80%, B3 5.64%, B4 7.28%였으며, 줄기 부위에서는 각각 B1 6.14%, B2 5.28%, B3 4.64%, B4 6.53%의 범위였다. 그 중에 가장 높은 단백질 함량을 가진 브로콜리는 B4였으며, 꽃봉오리 및 줄기 부위에 각각 7.28%, 6.53%의 단백질을 함유하였다.

동결건조의 꽃봉오리 단백질 함량은 B1 4.44%, B2 5.89%, B3 5.50%, B4 6.00%였으며, 줄기 부위에서는 B1 4.30%, B2 4.47%, B3 4.50%, B4 4.30%의 범위로 측정되었다. 동결건조의 꽃봉오리 부위에서는 품종 간의 유의적인 차이를 나타냈으나 줄기 부위에서는 품종 간의 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.01$). 동결건조는 열풍건조에 비해 단백질의 함량이 감소하는 것으로 나타내었다.

브로콜리의 지방 함량은 각각 꽃봉오리 B1 3.13%, B2 4.63%, B3 3.73%, B4 4.13%로 나타났으며, 줄기에서는 B1 0.83%, B2 1.37%, B3 0.80%, B4 1.03%로 나타났다. 동결건조에서 꽃봉오리 부분의 지방 함량은 B1 3.13%, B2 3.47%, B3 2.57%,

B4 3.07%로 나타났으며, 줄기 부분에는 B1 1.27%, B2 1.20%, B3 1.13%, B4 1.00%로 나타났다. 전체 브로콜리의 지방 함량은 부위별 각각 4.63%, 1.37%로 B2 브로콜리가 가장 많은 지방 함량을 함유하였다.

건조 전에 꽃봉오리의 회분은 B1 1.00%, B2 0.83%, B3 1.30%, B4 1.10%로 나타났으며, 줄기는 B1 1.03%, B2 1.30%, B3 1.40%, B4 0.90%로 나타났다. 동결건조의 회분 함량은 꽃봉오리 B1 4.47%, B2 3.93%, B3 4.13%, B4 3.93%로 나타났으며, 줄기는 B1 4.53%, B2 5.93%, B3 5.80%, B4 5.67%로 나타났다. 전체 브로콜리의 회분 함량은 부위별 각각 1.30%, 1.30%로 B3가 가장 높은 회분 함량을 가졌다. 동결건조에서는 품종 간의 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.01$). (Bhandari SR, Kwak JH, 2015) 연구에 따르면 일반 성분 분석은 재배 환경 및 품종에 따라 큰 영향을 받는 것으로 사료된다.

브로콜리 품종에 따른 항산화 활성을 측정한 결과, 70°C와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 ABTs 라디칼 소거능은 각각 93.76~94.24%, 93.28~94.72%로 모든 부위 및 품종에서 대표적 항산화제인 비타민 C(94.84%)에 비해 활성이 유사하였다. 반면에, 동결건조 분말의 ABTs 라디칼 소거능은 각각 43.03~49.61%, 39.74~49.61%로 (70)연구에 비슷한 결과가 나타났으며, 모든 부위에서 70°C와 105°C에 건조된 브로콜리 분말에 비해 반 정도 감소한 것으로 나타났다. 이는 이

(70)연구에서 와 같이 동결건조 방법에 따른 영향이 미치는 것으로 사료된다. 70°C 와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 DPPH 라디칼 소거능은 꽃봉오리 각각 69.35~70.40%, 줄기에서는 각각 71.88~74.63%로, 비타민 C는 85.41% ABTs 라디칼 소거능과 달리 비타민 C를 포함한 모든 샘플들이 항산화 활성이 감소한 것으로 나타났다. 이는 DPPH 라디칼을 측정하는 시약이 ABTs 라디칼 시약과 다른 원리를(71) 갖는 것으로 사료되어 측정 결과가 조금 다르게 나올 수 있다고 본다. 이는 브로콜리의 색도 결과를 참고하여 봤을 때 흡광도 측정치를 결과값으로 하는 DPPH는 517nm 파장의 범위에서 측정되는 색상으로 추측해볼 때 색의 영향을 고려해 볼 수 있다. 추후의 연구에서 형광을 이용하는 방법인 Orac assay 등을 이용하여 항산화능 검사를 할 필요가 있다.

품종의 부위별 및 건조 조건에 따른 총 페놀 함량 측정 결과 70°C와 105°C에서 건조된 꽃봉오리 분말은 꽃봉오리 B1 93.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 70.45 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 104.50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 78.54 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 91.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 108.08 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 110.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 111.87 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 줄기에서 B1 79.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 116.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 69.30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 81.82 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 69.00 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 69.95 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 73.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 115.91 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 측정되었으며, 브로콜리 B4(삼다그린)이 각각 110.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 111.87 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 로 다른 품종에 비해 가장 높게 나타났고, 줄기 부위에서는 B1(SK3-085)이 각각 79.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 116.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$

로 다른 품종들보다 높은 폴리페놀 함량을 가진 것으로 확인되었다. 동결건조 분말의 총 폴리페놀 함량은 꽃봉오리에서 B1 32.10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 39.90 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 35.60 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 42.40 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 줄기에서는 B1 22.20 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B2 27.30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B3 25.50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B4 26.80 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 다른 건조 방법에 비해 반 정도 감소한 것으로 나타났다.

세 가지 건조 조건에 따른 4종 브로콜리 분말의 색도 측정 결과, 70°C에서 건조된 4 품종 브로콜리 부위별의 색도는 L값은 꽃봉오리 69.77~72.83, 줄기 77.23~81.63 로 측정되었으며, a값은 꽃봉오리 -5.86~-7.55, 줄기 -0.27~-4.12 로 측정되었다. b값은 꽃봉오리 20.54~22.99, 줄기 19.31~19.90로 측정되었으며, 꽃봉오리분말이 줄기 분말에 비하여 어두운 색을 띄는 것으로 나타났다. L값은 동결건조가 가장 어두운 색을 띄는 것으로 나타났고, a값은 105°C에서 가장 높은 값으로 나타났으며, b값은 70°C에서 가장 높게 나타났다. 각 샘플 마다 봤을 때, 105°C에서 꽃봉오리 부위의L값을 가장 높게 가진 샘플은 B3이고 a값에서는 B1, b값에서는 B3 샘플이 다른 샘플들 보다 높게 나타났다. 줄기에서는 B4가 L, a, b 값 모두 다른 샘플들 보다 높게 나타났다. 동결건조에서는 꽃봉오리 부위의 L값을 가장 높게 나타난 샘플은 B1, a값에서는 B2, b값은 B1샘플이었다. 줄기에서는 B4가 가장 높은 L값을 나타냈고, a값은 B2, b값은 B1이 가장 높게 나타났다. 70°C

와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 용해성을 측정한 결과 꽃봉오리 부위에 비해 줄기 부위가 용해성이 더 높은 것으로 나타났으며, 반면에 동결건조에서는 줄기보다 꽃봉오리가 더 높은 용해성을 가진 것으로 나타났다. 용해성 측정은 분말의 입자 크기, 또는 수분활성도에 따라 용해성이 높게 나타나는 경향이(66) 보여서 이에 맞는 연구가 필요하다고 사료된다.

Sulforaphane의 함량은 건조 방법 및 품종에 따라 차이를 나타냈는데, 생 브로콜리에서 sulforaphane의 함량은 B4가 각각 610 $\mu\text{g/g}$, 550 $\mu\text{g/g}$ FW으로 모든 부위에서 유의적으로 가장 많은 함량을 나타내었다. 이전 연구 보고서에 따르면 sulforaphane함량은 가열에 의해 감소하는 것으로 보고 되어 있다(27). 본 연구에서도 70°C, 105°C Sulforaphane 성분은 열에 의해 큰 영향을 미친 것으로 확인되었다. 또한 (69)의 연구 결과처럼 브로콜리 품종에 따라 sulforaphane 함량이 다르게 나타난 것을 확인되었다. 건조된 분말 브로콜리의 sulforaphane의 함량을 측정한 결과 생 브로콜리보다 5배정도 감소한 것으로 나타내었다.

VI. 요약 및 결론

본 연구는 제주도산 특산작물의 품종별 성분 및 품질 특성 연구를 수행하기 위하여 총 4 품종의 브로콜리를 실험 재료로 선정하였다. 제주도에서 개발한 신 품종 3종 뉴탐라그린, 한라그린, 삼다그린과 국내에서 대량으로 재배되고 있는 SK3-085 브로콜리 품종을 재배 후 수확하여 사용하였으며, 성분 및 품질 특성을 비교하기 위해 일반성분 분석, 항산화 활성 측정, 색도 측정, 용해성 측정, 그리고 sulforaphane의 함량 분석 실험을 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

품종별 가장 높은 단백질 함량을 가진 브로콜리는 B4(삼다그린)였으며, 꽃봉오리 및 줄기 부위에 각각 7.28%, 6.53%의 단백질을 함유하였다. 또한 지방 함량은 모든 브로콜리의 품종 간 유의미한 차이를 나타낸 것으로 확인되었다. 항산화 활성 능력 측정에서 ABTs, DPPH 라디칼 소거능에서는 70°C와 105°C에서 건조된 브로콜리 분말의 항산화 능력이 대표적 항산화제인 비타민C에 비해 활성이 유사하였으며, 동결건조 분말은 다른 건조 방법에 비해 항산화 활성이 감소한 것으로 나타났다. 총 폴리페놀 함량에서는 3가지 건조 방법에 각 품종마다 높은 함량을 가졌으나 동결건조에서만 폴리페놀 함량이 감소한 것으로 나타났다.

Sulforaphane의 함량은 건조 방법 및 품종에 따라 차이를 나타냈는데, 생 브로콜리에서 sulforaphane의 함량은 B4가 각각 610 $\mu\text{g/g}$, 550 $\mu\text{g/g}$ FW으로 모든 부위에서 유의적으로 가장 많은 함량을 나타냈다. 70°C, 105°C 및 동결건조 해서 sulforaphane의 함량을 측정한 결과 생 브로콜리보다 5배정도 감소한 것으로 나타났다. Sulforaphane 성분은 열에 의해 큰 영향을 미친 것으로 확인되었다.

본 연구 결과 올해에 출원한 신품종 브로콜리인 B4(삼다그린)은 단백질, 항산화 능력 및 sulforaphane 함량이 다른 품종들보다 가장 높게 나타났다. B3(한라그린) 브로콜리 또한 시판에 팔고 있는 브로콜리 성분과 유사하거나 높게 나타났다. 이는 해외 품종인 B1(SK3-085) 브로콜리보다 국내 품종인 한라그린 및 삼다그린이 더 뛰어난 성분 함량 및 품질을 가진 것으로 확인되었다. 이를 바탕으로 브로콜리 품종에 따라서 상이한 영양성분을 함유하고 있어 브로콜리 섭취 및 가공 시 특성에 맞는 품종을 선택하는 것이 중요하다고 사료된다. 또한 해외 품종이 아닌 국내 품종으로 나라의 경제적인 도움이 될 수 있는 적합한 판단이 필요하다고 생각된다.

References

1. 권영득, 고은영, 홍세진, 박세원. 녹색꽃양배추의 화뢰 성숙단계 및 부위에 따른 Sulforaphane과 항산화 물질 함량 비교. 원예과학기술지. 2008;26(3):344-9.
2. Byers T, Perry G. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. Annual review of Nutrition. 1992;12(1):139-59.
3. Bhandari SR, Kwak JH. Chemical composition and antioxidant activity in different tissues of brassica vegetables. Molecules. 2015;20(1):1228-43.
4. Cartea ME, Francisco M, Soengas P, Velasco P. Phenolic compounds in Brassica vegetables. Molecules. 2010;16(1):251-80.
5. Podsędek A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. LWT - Food Science and Technology. 2007;40(1):1-11.
6. Jahangir M, Kim HK, Choi YH, Verpoorte R. Health-affecting compounds in Brassicaceae. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2009;8(2):31-43.
7. Xie Q, Wei X, Liu Y, Han F, Li Z. Germplasm Enhancement and Identification of Loci Conferring Resistance against Plasmodiophora brassicae in Broccoli. Genes. 2022;13(9):1600.
8. Li Z, Zheng S, Liu Y, Fang Z, Yang L, Zhuang M, et al. Characterization of glucosinolates in 80 broccoli genotypes and different organs using UHPLC-Triple-TOF-MS method. Food Chemistry. 2021;334:127519.

9. Li Z, Mei Y, Liu Y, Fang Z, Yang L, Zhuang M, et al. The evolution of genetic diversity of broccoli cultivars in China since 1980. *Scientia Horticulturae*. 2019;250:69-80.
10. Li Z, Liu Y, Li L, Fang Z, Yang L, Zhuang M, et al. Transcriptome reveals the gene expression patterns of sulforaphane metabolism in broccoli florets. *PLoS One*. 2019;14(3):e0213902.
11. Yagishita Y, Fahey JW, Dinkova-Kostova AT, Kensler TW. Broccoli or Sulforaphane: Is It the Source or Dose That Matters? *Molecules*. 2019;24(19).
12. Zhang Y, Heym B, Allen B, Young D, Cole S. The catalase—peroxidase gene and isoniazid resistance of *Mycobacterium tuberculosis*. *Nature*. 1992;358(6387):591-3.
13. Singh J, Upadhyay A, Prasad K, Bahadur A, Rai M. Variability of carotenes, vitamin C, E and phenolics in Brassica vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007;20(2):106-12.
14. Bhandari SR, Kwak J-H. Seasonal variation in phytochemicals and antioxidant activities in different tissues of various Broccoli cultivars. *African Journal of Biotechnology*. 2014;13(4).
15. Scalzo RL, Bianchi G, Genna A, Summa C. Antioxidant properties and lipidic profile as quality indexes of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) in relation to harvest time. *Food Chemistry*. 2007;100(3):1019-25.
16. Lee S-O. 농산물 이야기 (35)-브로콜리 (Broccoli). *Life and Agrochemicals*. 2008;29(5):48-.
17. 쌍잔턴, 영첩, 장유빈, 흥기배, 김창숙, 고순보, et al. 제주도산 브로콜리 및 단

- 백질 분획물의 감각 특성 분석. 한국식품영양과학회지. 2021;50(12):1333-43.
18. 고순보, 김성배, 곽정호. 19. 브로콜리. 한국원예학회 기타간행물. 2013:115-7.
19. 김소연. 브로콜리 표면 미생물 군집과 환경인자의 상관관계: 제주대학교 대학원; 2016.
20. Choi J, Lee W, Kwak J, Kim W, Kim J, Lee S, et al. Recent research status of postharvest management of broccoli. The Journal of the Korean Society of International Agriculture. 2011.
21. 농업기술원 제. 새로운 제주농업 172호 2022 [Available from: <https://agri.jeju.go.kr/jeju/technologycenter/infocenter/news.htm>].
22. Faller A, Fialho E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. Food Research International. 2009;42(1):210-5.
23. 임승연. 건조방법에 따른 핑거루트의 영양 성분 및 항산화 효과: 조선대학교 교육대학원; 2021.
24. Kim A-R, Lee H-J, Jung H-O, Lee J-J. Physicochemical composition of ramie leaf according to drying methods. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2014;43(1):118-27.
25. 박명수 박, 방병호, 조갑연, 조효현, 최부돌. 식품가공저장학2012.09.14. 91-100 p.
26. Beak S, Woo S. Antioxidant activity of crude gingerol I. Thermal stability of gingerol from ginger and effect of its concentration on the oxidation of soybean oil. J Korean Soc Food Sci. 1993;9:3336.

27. 김미리, 이근종, 김혜영. 브로콜리의 조리가공에 따른 sulforaphane 함량. 한국식품조리과학회지. 1997;13(4):422-6.
28. Kim J-Y, Park S-H, Lee K-T. Sulforaphane content and antioxidative effect of cooked broccoli. Journal of the East Asian Society of Dietary Life. 2009;19(4):564-9.
29. Imlay JA. The molecular mechanisms and physiological consequences of oxidative stress: lessons from a model bacterium. Nature Reviews Microbiology. 2013;11(7):443-54.
30. Mishra S, Imlay J. Why do bacteria use so many enzymes to scavenge hydrogen peroxide? Archives of biochemistry and biophysics. 2012;525(2):145-60.
31. Imlay JA. Transcription factors that defend bacteria against reactive oxygen species. Annual review of microbiology. 2015;69:93-108.
32. Carocho M, Ferreira ICFR. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. Food and Chemical Toxicology. 2013;51:15-25.
33. Ferreira IC, Barros L, Abreu R. Antioxidants in wild mushrooms. Current Medicinal Chemistry. 2009;16(12):1543-60.
34. Flora SJ. Structural, chemical and biological aspects of antioxidants for strategies against metal and metalloid exposure. Oxidative medicine and cellular longevity. 2009;2(4):191-206.
35. Pietta P-G. Flavonoids as antioxidants. Journal of natural products.

2000;63(7):1035-42.

36. Aguilera-Alcala N, Morales-Reyes Z, Martin-Lopez B, Moleon M, Sanchez-Zapata JA. Role of scavengers in providing non-material contributions to people. *Ecol Indic.* 2020;117:11.

37. Goodman M, Bostick RM, Kucuk O, Jones DP. Clinical trials of antioxidants as cancer prevention agents: past, present, and future. *Free Radical Biology and Medicine.* 2011;51(5):1068-84.

38. Schepici G, Bramanti P, Mazzon E. Efficacy of Sulforaphane in Neurodegenerative Diseases. *Int J Mol Sci.* 2020;21(22).

39. Zhang Y, Talalay P, Cho C-G, Posner GH. A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: isolation and elucidation of structure. *Proceedings of the national academy of sciences.* 1992;89(6):2399-403.

40. Fahey J, Talalay P. Antioxidant functions of sulforaphane: a potent inducer of Phase II detoxication enzymes. *Food and Chemical Toxicology.* 1999;37(9):973-9.

41. Morimitsu Y, Nakagawa Y, Hayashi K, Fujii H, Kumagai T, Nakamura Y, et al. A sulforaphane analogue that potently activates the Nrf2-dependent detoxification pathway. *Journal of Biological Chemistry.* 2002;277(5):3456-63.

42. M de Figueiredo S, S Binda N, A Nogueira-Machado J, A Vieira-Filho S, B Caligorne R. The antioxidant properties of organosulfur compounds (sulforaphane). *Recent Patents on Endocrine, Metabolic & Immune Drug Discovery.* 2015;9(1):24-39.

43. Çakır I, Lining Pan P, Hadley CK, El-Gamal A, Fadel A, Elsayegh D, et al.

- Sulforaphane reduces obesity by reversing leptin resistance. *Elife*. 2022;11.
44. Kim JK, Park SU. Current potential health benefits of sulforaphane. *EXCLI journal*. 2016;15:571.
45. Jiang X, Liu Y, Ma L, Ji R, Qu Y, Xin Y, et al. Chemopreventive activity of sulforaphane. *Drug design, development and therapy*. 2018:2905-13.
46. Nakagawa K, Umeda T, Higuchi O, Tsuzuki T, Suzuki T, Miyazawa T. Evaporative Light-Scattering Analysis of Sulforaphane in Broccoli Samples: Quality of Broccoli Products Regarding Sulforaphane Contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(7):2479-83.
47. Morton RE, Evans TA. Modification of the bicinchoninic acid protein assay to eliminate lipid interference in determining lipoprotein protein content. *Analytical biochemistry*. 1992;204(2):332-4.
48. Smith Pe, Krohn RI, Hermanson G, Mallia A, Gartner F, Provenzano M, et al. Measurement of protein using bicinchoninic acid. *Analytical biochemistry*. 1985;150(1):76-85.
49. Noble JE, Bailey MJ. Quantitation of protein. *Methods in enzymology*. 2009;463:73-95.
50. Brown RE, Jarvis KL, Hyland KJ. Protein measurement using bicinchoninic acid: elimination of interfering substances. *Analytical biochemistry*. 1989;180(1):136-9.
51. Arnao MB, Cano A, Acosta M. Methods to measure the antioxidant activity in plant material. A comparative discussion. *Free Radical Research*. 1999;31(sup1):89-96.

52. Arnao MB, Cano A, Acosta M. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food chemistry*. 2001;73(2):239-44.
53. 魏興茹. 감귤 콤부차 발효에 의한 카로티노이드의 변화 및 항산화능 비교: 제주대학교 대학원; 2020.
54. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*. 1999;26(9-10):1231-7.
55. Solon E, Bard AJ. The electrochemistry of diphenylpicrylhydrazyl. *J Am Chem Soc*. 1964;86(10):1926-8.
56. Kalinowski MK, Klimkiewicz J. Solvation effects in the electrochemistry of diphenylpicrylhydrazyl. *Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly*. 1983;114(10):1035-43.
57. Deutchoua ADD, Siegnin R, Kouteu GK, Dedzo GK, Ngameni E. Electrochemistry of 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) in Acetonitrile in Presence of Ascorbic Acid-Application for Antioxidant Properties Evaluation. *ChemistrySelect*. 2019;4(46):13746-53.
58. Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*. 1958;181:1199-200.
59. Foti MC. Use and Abuse of the DPPH• Radical. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2015;63(40):8765-76.
60. Pyrzynska K, Pękal A. Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. *Analytical Methods*.

2013;5(17):4288-95.

61. Nakanishi I, Shoji Y. Electrochemical redox behavior of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical solubilized by β -cyclodextrin in water. *Electrochemistry Communications*. 2022;134:107190.

62. Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005;81(1):215S-7S.

63. Lambert JD, Hong J, Yang G-y, Liao J, Yang CS. Inhibition of carcinogenesis by polyphenols: evidence from laboratory investigations. *The American journal of clinical nutrition*. 2005;81(1):284S-91S.

64. Moskaug JØ, Carlsen H, Myhrstad MC, Blomhoff R. Polyphenols and glutathione synthesis regulation. *The American journal of clinical nutrition*. 2005;81(1):277S-83S.

65. Matic P, Sabljic M, Jakobek L. Validation of spectrophotometric methods for the determination of total polyphenol and total flavonoid content. *Journal of AOAC International*. 2017;100(6):1795-803.

66. 임은, 김병철, 강성원, 장주빈, 최성길. 수분함량에 따른 난알부민 분말의 물리적 특성 조사. *농업생명과학연구*. 2007;41(4):41-5.

67. Liang H, Yuan Q, Dong H, Liu Y. Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006;19(5):473-6.

68. Campas-Baypoli O, Sánchez-Machado D, Bueno-Solano C, Ramírez-Wong B, López-Cervantes J. HPLC method validation for measurement of sulforaphane level in broccoli by-products. *Biomedical Chromatography*. 2010;24(4):387-92.

69. Kim M-R, Lee K-J, Kim J-H, Sok D-E. Determination of sulforaphane in cruciferous vegetables by SIM. Korean Journal of Food Science and Technology. 1997;29(5):882-7.
70. 박미영, 윤무경, 곽정호. 브로콜리 품종 및 부위에 따른 항균활성과 항산화 효과. 원예과학기술지. 2014;32(3):408-14.
71. Arnao MB. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. Trends in Food Science & Technology. 2000;11(11):419-21.

<국문초록>

제주도산 브로콜리 품종별 가공방법에 따른 성분 및 품질
특성 비교 연구

SANG CHANTHORN

제주대학교 대학원 식품영양학과

지도 교수 박성수

제주도산 특산작물의 품종별 성분 및 품질 특성 연구를 수행하기 위하여 총 4 품종의 브로콜리를 실험 재료로 선정하였다. 본 연구는 제주도에서 개발한新品种 3종, 뉴탐라그린, 한라그린, 삼다그린과 국내에서 대량으로 재배되고 있는 SK3-085브로콜리 품종을 재배 후 수확하여 사용하였으며, 여러 품종들 중에 가공이나 품종을 선택할 때 적합한 농산물을 선정하기 위해 브로콜리 품종별 생리활성 및 영양성분 분석을 수행하였다. 수분 함량은 105°C 상압가열건조법으로 측정하였고, 단백질은 BCA 정량법으로 단백질을 측정하였다. 지방은 Soxhlet 추출법을 사용하였고, 회분은 550~600°C 온도의 회화로에서 회분이 얻어질 때까지

회화하여 정량 하였다. 항산화능 측정은 DPPH radical, ABTs radical 그리고 총 폴리페놀 함량을 측정하였다. Sulforaphane 분석은 High Performance Liquid Chromatography(HPLC)을 사용하여 분석하였다.

브로콜리 4종의 일반 성분 분석에서 수분, 단백질, 지방 함량 차이가 유의적으로 존재함이 확인되었고, 품종별 가장 높은 단백질을 가진 브로콜리는 B4(Samdagreen)였다. 항산화능 측정은 B3(Hallagreen) 및 B4(Samdagreen)이 다른 품종보다 유사하거나 높은 항산화 활성을 가진 것으로 확인하였다. HPLC로 활용한 sulforaphane의 함량 분석은 삼다그린 브로콜리가 부위별 가장 많은 양이 검출되었다.

가공 방법에 따른 항산화능, 총 폴리페놀 함량은 70°C 및 105°C에서 건조된 샘플들이 높은 항산화 활성 능력을 가진 것으로 나타났으며, 동결건조에서는 다른 건조 방법에 비하여 항산화 활성 능력 및 총 폴리페놀 함량이 감소한 것으로 나타내었다. 색도 측정에서는 70°C 건조 방법이 105°C 및 동결건조에 비하여 밝은 색을 띄었으며, 황색도도 가장 높게 나타났다. 반면에, 105°C에서 건조된 샘플은 70°C 및 동결건조에 비해 적색도가 가장 높게 나타났다. 용해도 측정에서는 105°C에서 건조된 샘플이 70°C 및 동결건조에 비하여 용해성이 가장 낮게 나타

내었으며, 70℃ 및 동결건조의 용해도 측정은 별 차이가 나지 않았다. Sulforaphane의 함량은 가공 방법에 따라 별 차이를 나타나지 않았으나, 생 브로콜리에 비하여 sulforaphane 함량이 감소한 것으로 나타났다.

제주도산 브로콜리와 기존 품종 간의 성분 및 품질 특성 측정 결과 SK3-085, 뉴탐라그린, 한라그린 및 삼다그린 모두 집단 간 유의적인 차이를 가진 것으로 확인되었으며($p < 0.01$), 가공 방법에 따라 브로콜리의 성분 및 품질 특성이 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 브로콜리를 선택하거나 가공 식품으로 사용하려고 할 때 그에 적합한 품종 및 방법으로 목적에 따라 선택할 필요가 있을 것으로 판단된다.