

# HPLC-PDA를 이용한 기능성 화장품 중 푸코잔틴의 정량

최종근

청운대학교 융합소재공학과

## Determination of fucoxanthin in cosmeceutical products by HPLC-PDA

Jongkeun Choi

Department of Integrated Materials Engineering, Chungwoon University

**요약** 푸코잔틴을 함유한 원료 및 이를 유효성분으로 처방된 기능성 화장품의 품질관리를 위하여 photodiode array (PDA) 검출기를 갖춘 HPLC를 이용한 분석법을 확립하고 원료 및 제품 함량 분석에 응용하고자 본 연구를 수행하였다. 컬럼은 옥타데실화한 실리카 겔을 충전한 것을 사용하였으며 PDA의 측정파장은 499 nm로 설정하였다. 분석법을 밸리데이션하기 위하여 검량선의 직선성, 검출 및 정량 한계, 재현성, 회수율을 조사한 결과 양호한 결과를 얻었다. 검량선의 상관계수는 1.000로 0.5 ~ 100 ppm의 농도에서 직선성이 양호하였다. 또한 검출 한계는 0.1 ppm이었으며 정량 한계는 0.5 ppm이었다. 시스템의 적합성을 확인하기 위하여 피크의 재현성을 평가한 결과 피크 면적 값의 RSD (n=5) 값은 2.0%이었으며 머무름 시간의 RSD는 0.09% 이었다. 표준물질 첨가법의 실험 결과 회수율은  $101.6 \pm 0.77\%$ 이었다. 끝으로 확립된 분석법을 원료 및 제품 분석에 적용하였다. 두 종류의 푸코잔틴 함유 원료의 푸코잔틴 함량은 각각  $49.6 \pm 3.3\%$ 와  $1.03 \pm 0.016\%$ 이었다. 또한 푸코잔틴이 150 ppm이 되도록 처방한 제품의 푸코잔틴의 함량은  $156.7 \pm 4.7$  ppm으로 확인되었다. 위 실험결과로 볼 때 본 실험방법은 기능성 화장품에서 푸코잔틴을 정량분석하는 것에 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

**Abstract** This study was conducted to establish an analytical method using an HPLC system equipped with a photodiode array (PDA) detector for the quality control of raw materials and cosmeceuticals containing fucoxanthin as an active ingredient. The column was octadecyl-functionalized silica gel and the measurement wavelength of the PDA was set to 499 nm. To validate the analytical method, the linearity of the calibration curve, detection limit, reproducibility and recovery rate were investigated and good results were obtained. The correlation coefficient of the calibration curve was 1.000 and the linearity was good in the concentration range of 0.5 ~ 100 ppm. Moreover, the limit of detection (LOD) was 0.1 ppm and the limit of quantification (LOQ) was 0.5 ppm. The results of the peak reproducibility test used for evaluating the system suitability showed that the RSD (n = 5) of the peak area was 2.0% and that of the retention time was 0.09%. In the spiking test, the recovery rate was  $101.6 \pm 0.77\%$ . The fucoxanthin contents of the two kinds of fucoxanthin-containing raw materials were  $49.6 \pm 3.3\%$  and  $1.03 \pm 0.016\%$ , respectively. In addition, the fucoxanthin content in the test product, which was intended to be 150 ppm, was  $156.7 \pm 4.7$  ppm. From the above results, it was concluded that this method could be applied to the quantitative analysis of fucoxanthin in cosmeceuticals.

**Keywords** : Cosmeceuticals, Fucoxanthin, HPLC, Quality control, System suitability, Validation

### 1. 서론

지구상에는 600종 이상의 카로티노이드류가 존재하

며 대표적으로 베타-카로틴, 알파-카로틴, 루틴, 라이코펜, 아스타잔틴 그리고 푸코잔틴 등이 잘 알려져 있다

[1]. 카로티노이드류는 매우 강력한 항산화력을 지니고

본 논문은 한국해양과학기술진흥원 미래해양기술개발사업으로 수행한 “해양 미세조류로부터 고부가 향장 원료의 개발 및 사업화”의 연구비 지원에 의하여 수행함 (과제번호 20140140).

\*Corresponding Author : Jongkeun Choi (Chungwoon Univ.)

Tel: +82-32-770-8196 email: jkchoi@chungwoon.ac.kr

Received September 13, 2017

Revised October 16, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

있어 사람에게 유익한 여러 생리활성을 가지고 있다. 카로티노이드를 다량으로 합성하는 것은 매우 어려워 통상 천연물에서 추출, 분리하여 얻는다. 푸코잔틴은 자연계에 존재하는 카로티노이드의 10% 이상에 달하는 것으로 예측되고 있으며 갈조류와 규조류를 포함한 해양자원에서 대량으로 얻을 수 있다[2-4]. 미세조류에서 푸코잔틴은 광합성에 필요한 빛을 수집하는 기능을 한다. 미세조류는 강한 빛과 산소 조건에 노출되기 때문에 superoxide radical, singlet oxygen과 nitric oxide와 같은 많은 활성 산소 종이 생성되며 카로티노이드는 이들 활성산소를 소거하는 것으로 여겨진다[5,6]. 따라서 카로티노이드, 특히 푸코잔틴의 함량이 높은 미세조류 추출물은 강력한 항산화 및 항염증 작용을 나타내는 것으로 생각된다[4]. 푸코잔틴은 또한 항암, 항비만, 혈관 신생 저해 및 신경 보호 작용과 같은 다양한 생리 활성을 갖는 것으로 알려져 있으며[3,7-10], 최근 푸코잔틴의 항노화 효능도 규명되었다[11]. 따라서 푸코잔틴을 활성 성분으로 적용한 기능성화장품을 개발할 수 있을 것이다.

화장품법 제2조 2항에 기능성화장품의 범위를 명시하고 있으며 구체적으로는 화장품시행규칙 제2조에 기능성화장품의 범위를, 제9조에 기능성화장품의 심사에 관한 규정을 공표하였다. 따라서 기능성화장품을 식품의약품안전처로부터 인·허가를 받아 판매하기 위해서는 기원 및 개발 경위에 관한 자료, 안전성에 관한 자료, 유효성 및 기능에 관한 자료 그리고 기준 및 시험방법에 관한 자료를 제출하여야 한다. 다만 식품의약품안전처장이 고시한 성분은 자료제출을 생략할 수 있도록 하고 있다. 푸코잔틴은 고시된 성분이 아니기 때문에 푸코잔틴을 화장품법에 따라 기능성화장품으로 개발하기 위해서는 필요 자료들을 준비하여야 한다.

Fig. 1에 보인 것과 같이 푸코잔틴(C<sub>42</sub>H<sub>58</sub>O<sub>6</sub>)은 xanthophyll의 일종으로 allen 결합, 5,6-mono epoxide group, polyenic group을 가지고 있는 독특한 polyisoprenic 구조를 가지고 있다. 이러한 구조적 특징은 푸코잔틴이 적갈색을 띠게 하고 400~500 nm 범위의 가시광선을 강하게 흡수하도록 한다[12,13]. 최대흡수파장에서 푸코잔틴의 흡광계수( $E_{1cm}^{1\%}$ )는 1660 [14]으로 1 ppm의 흡광도는 0.16으로 예측된다. 따라서 푸코잔틴의 분석은 UV/Vis 분광광도계를 사용하거나 역상 컬럼을 사용하여 분리하고 UV/Vis 검출기 혹은 질량 분석기로 검출하는 HPLC를 사용하는 방법 등이 알려져

있다[15-19]. 본 연구에서는 식품의약품안전처의 “의약품 등 시험방법 밸리데이션 가이드라인”에 따라서 역상 컬럼을 사용한 HPLC 분석법을 밸리데이션함으로써 기능성화장품의 인증에 필요한 분석법의 타당성을 확보하고자 일련의 연구를 수행하였다.

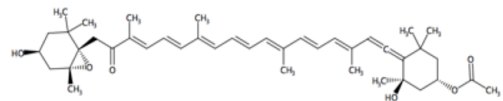


Fig. 1. Structure of fucoxanthin

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시약 및 기구

푸코잔틴 표준품(all-trans-fucoxanthin)은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)의 분석용 표준품(제품번호: 16337)을 구입하여 사용하였으며 이동상에 사용한 포름산(제품번호: 5.33002)과 포름산암모늄(제품번호: 78314)도 Sigma-Aldrich사의 HPLC급 이상의 고순도 제품을 사용하였다. 검체는 푸코잔틴의 함량이 50%가 되도록 제조한 바이오원사(Gangneung, Korea)의 BOPT-FX50와 함량이 1%가 되도록 BOPT-FX50를 caprylic/capric triglyceride로 희석하여 1%로 제조한 BOPT-FX01을 선정하였다. 표준액과 검액 준비, 이동상의 조제에 사용한 아세트니트릴은 J.T. Baker사(Phillipsburg, NJ, USA)의 HPLC급 용매를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 모든 물은 휴먼코포레이션사(Seoul, Korea)의 초순수제조장치를 통과한 증류수를 사용하였다. 시액을 조제하기 위한 초자기구는 덕산종합과학(Seoul, Korea)에서 분석용으로 구입하여 사용하였다. water, fucoxanthine (BOPT-FX01), caprylic/capric triglyceride, PEG/PPG-17/6 copolymer, glycerin, butyleneglycol, trehalose, hydrolyzed collagen, cetearyl alcohol, arachidyl alcohol, behenyl alcohol, arachidyl glucoside, glyceryl stearate, PEG-100 stearate, canola oil, catearylethyl hexanoate, shea butter, carbomer, tromethamine, disodium EDTA, fragrance 들을 배합하고 유화하여 푸코잔틴의 함량이 150 ppm이 되도록 제조한 크림을 제품 분석 시험에 사용하였다.

## 2.2 HPLC 분석 조건

Kim et al. [16]과 Piovan et al. [19]의 분석방법을 참조하여 최적의 조건을 확립하였다. HPLC는 Waters사 (Milford, MA, USA)의 996 PDA 검출기가 장착되어 있는 2695 separation module을 사용하였으며 푸코잔틴의 분리는 YMC사(Kyoto, Japan)의 분석용 YMC-Pack ODS-A 컬럼을 사용하였다. 구체적인 분석조건은 Table 1과 같다.

Waters사(Milford, MA, USA)의 Micromass<sup>®</sup> Quattro micro<sup>™</sup> triple-quadrupole mass spectrometer를 사용하여 positive ion mode로 ESI-MS 분석을 진행하였다. HPLC분석조건과 동일한 이동상에 10mM formic acid를 첨가하여 이동상으로 하였다. capillary voltage는 3.5 KV 이었으며, desolvation temperature를 350℃, desolvation gas flow를 900 L/h 그리고 cone gas flow를 50 L/h로 설정하였다. 30 ~ 80 V에서 10 V 간격으로 cone voltage를 달리하여 푸코잔틴의 MS spectrum을 얻어 가장 좋은 감도를 보인 60 V로 cone voltage를 설정하여 분석하였다.

Table 1. HPLC condition for fucoxanthin

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Instrument                          | Waters 2695 Separation module   |
| Column                              | YMC Pack ODS-A<br>(3 mm x 150 mm, 3 μm)                                     |
| Flow rate                           | 0.5 mL/min  |
| Column temperature                  | 30℃   |
| Injection volume                    | 10 μL   |
| Detector                            | Waters 996 PDA (data acquisition:<br>200 ~ 550 nm, chromatogram: 449<br>nm) |
| Mobile phase<br>(isocratic elution) | Water-acetonitrile (15:85)  |

## 2.3 표준액 조제

푸코잔틴 표준품 5 mg을 달아 아세토니트릴을 넣어 녹여 50 mL한 액을 표준원액으로 하였다(100 ppm). 표준원액은 빛에 의한 변질을 막기 위하여 갈색 바이얼에 넣어 -20℃에서 보관하였다. 표준원액 5, 2, 1, 0.5, 0.2 및 0.1 mL를 정확히 취하고 아세토니트릴을 넣어 10 mL로 한 액을 검량선 작성용 표준액으로 하였다. 검출 한계 및 정량한계를 측정하기 위해서는 표준액을 추가로 희석하여 사용하였다.

## 2.4 검액의 조제

예상되는 푸코잔틴의 함량을 고려하여 검체 0.05 ~ 1.0 g을 25 mL 용량플라스크에 달아 아세토니트릴을 넣고 10분간 초음파 처리하여 녹이거나 충분히 분산시킨 다음 표선까지 채우고 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과하였다. 푸코잔틴의 농도가 높을 경우 아세토니트릴로 희석하여 검액의 푸코잔틴 농도가 1 ~ 50 ppm 범위가 되도록 하였다.

## 2.5 분석법 밸리데이션

식품의약품안전처의 “의약품등 시험방법 밸리데이션 가이드라인”을 근거하여 분석법을 밸리데이션하였다. 선택성, 직선성, 검출한계(LOD), 정량한계(LOQ), 재현성, 정밀성 및 정확성을 검증하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 분석법 확립 및 밸리데이션

YMC Pack ODS-A 컬럼을 사용하여 HPLC 분석법을 확립하였다. 아세토니트릴과 물을 혼합하여 이동상을 제조하였다. 아세토니트릴 조성은 분석시간을 고려하여 결정하였으며 85%에서 retention factor 값은 3.2이었으며 이때의 이론단수는 8770이었다(Fig. 2).

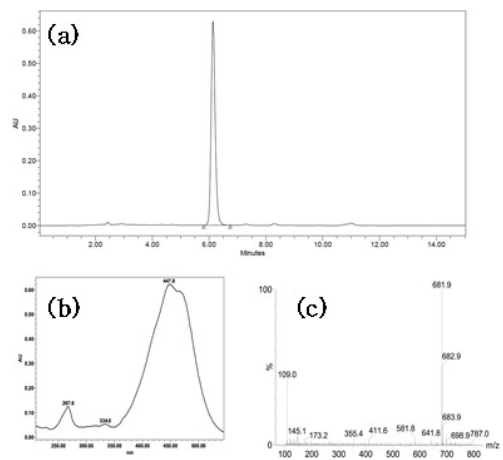


Fig. 2. Results of HPLC analysis were shown with (a) HPLC-PDA Chromatogram, (b) UV/Vis spectrum ( $\lambda_{max}$ =449 nm) and (c) ESI-Mass spectrum ( $[M+Na]^+$  = 681.9 m/z)

검출기의 파장은 PDA 검출기에서 얻은 스펙트럼에서 최대 흡수를 보인 449 nm로 설정하였다. 푸코잔틴은 보라색 ~ 초록색의 빛을 흡수하여 오렌지 ~ 붉은색을 띤다(Fig 2). 푸코잔틴의 최대흡수파장은 용매의 종류에 따라 차이를 보이며 450 ~ 540 nm로 알려져 있다. 푸코잔틴의 최대흡수파장은 가시광선영역이기 때문에 다양한 물질이 섞여 있는 화장품에서 분리·분석할 때 다른 성분의 방해를 피할 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉, 특이성 관점에서 푸코잔틴은 좋은 장점을 가지고 있다고 할 것이다.

푸코잔틴 표준액을 LC-MSD로 분석하고 질량스펙트럼을 검토하였다(Fig. 2). 푸코잔틴은 positive ion mode에서  $[M + Na]^+$ 에 해당하는  $m/z = 689.1$  피크가 가장 크게 나타났다. 따라서 PDA 검출기에서 얻은 UV/Vis 스펙트럼으로 정성이 어려운 경우에 적용할 수 있을 것이다.

검광선의 직선성은 분석물의 농도와 기기의 반응의 비례 정도를 검증하는 것으로 이를 바탕으로 정량 범위를 정할 수 있다. 100 ppm 표준원액을 희석하여 50, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5 ppm 농도의 표준액을 조제하고 최적의 조건으로 확립된 조작조건으로 액체크로마토그래프법에 따라 시험한 다음, 크로마토그램에서 주 피크의 면적을 구하고 검광선을 작성하여 회귀 직선식과 상관계수( $r^2$ )를 구하였다(Fig. 3). 시험결과 검광선의 회귀직선의 식은 ‘ $\text{피크면적} = 58965 \times \text{농도(ppm)} - 13736$ ’ 이었으며 상관계수 값이 0.99994이었다. 따라서 0.5 ~ 100 ppm의 푸코잔틴 농도 범위에서 검광선의 직선성이 양호하다고 할 수 있다. 또한 가장 높은 농도인 100 ppm의 크로마토그램에서 측정된 흡광도는 약 0.6 이므로 100 ppm 농도까지 충분히 직선성을 보장할 수 있었다. 결국 측정하고자하는 시료에 따라 0.5 ~ 100 ppm의 농도에서 자유롭게 농도 범위를 정하여 표준 검광선을 작성하여 정량할 수 있을 것이다.

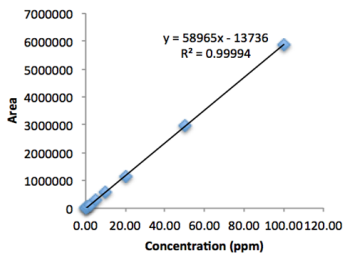


Fig. 3. Calibration curve of fucoxanthin

검출한계와 정량한계를 측정하기 위하여 100 ppm 표준원액을 차례로 희석하고 10  $\mu\text{L}$ 씩을 주입하였다. 검출한계와 정량한계는 식품의약품안전처의 “의약품 등 시험방법 밸리데이션 가이드라인”을 참조하여 각각  $S/N = 3$ 과  $S/N = 10$  이상이 되도록 정하였다. 실험결과 검출한계는 0.1 ppm으로 정량한계는 0.5 ppm으로 결정되었다(Fig. 4). 10  $\mu\text{L}$ 씩을 주입했으므로 이것은 각각 1 ng과 5 ng에 해당하는 양이다.

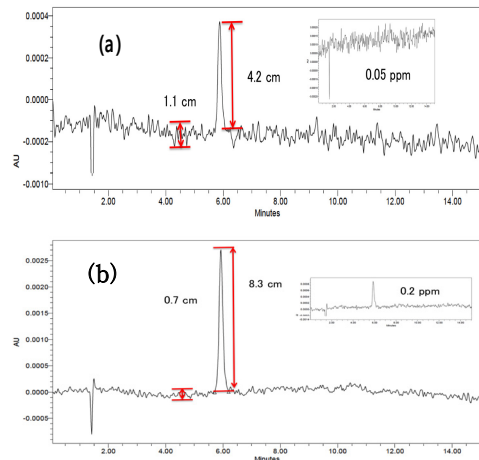


Fig. 4. HPLC chromatogram obtained with (a) 0.1 ppm and (b) 0.5 ppm of fucoxanthin

기기 및 조작조건 of 재현성을 확인하였다. 50.0 ppm의 표준액을 반복 주입하면서 피크 면적과 머무름 시간을 측정하였다. 피크 면적의 재현성은 RSD 값이 2.01% 이었으며 머무름시간도 RSD가 0.087% 로 매우 우수하였다(Table 2).

Table 2. Experimental result of five repetitive injection

|         | Retention Time (min) | Peak area |
|---------|----------------------|-----------|
| 1       | 5.854                | 2889696   |
| 2       | 5.853                | 2823314   |
| 3       | 5.860                | 2762770   |
| 4       | 5.846                | 2773381   |
| 5       | 5.851                | 2755852   |
| Average | 5.853                | 2801002   |
| RSD (%) | 0.087                | 2.01      |

푸코잔틴이 배합되지 않은 일반 크림 1 g을 25 mL 용량플라스크에 달고 100 ppm 표준원액 1.5 mL를 정확히 넣은 다음 아세토니트릴 15 mL를 넣었다. 10분간 초

음파처리하여 크림을 완전히 분산시키고 아세트니트릴로 표선까지 채우고 0.45  $\mu\text{m}$  멤브레인 필터로 여과하여 검액으로 하였다. 표준액 및 검액 10  $\mu\text{L}$ 씩을 가지고 액체크로마토그래프법에 따라 시험하여 회수율 즉 정확성을 평가하였다. 실험결과 회수율은 101.6%로 우수하였으며 상대표준 편차는 0.77% 이었다(Fig. 5, Table 3).

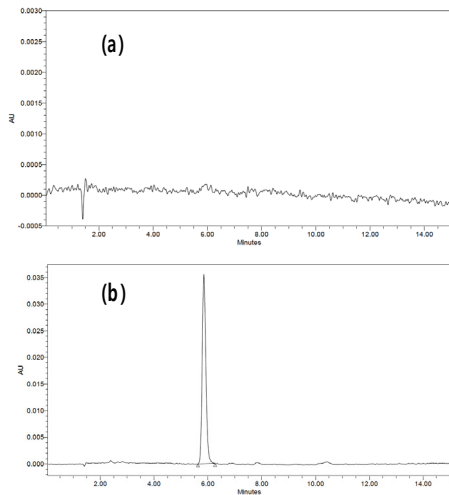


Fig. 5. Results of recovery test. (a) blank and (b) 6 ppm of fucoxanthin

Table 3. Experimental result of recovery test

|         | Concentration (ppm) | Recovery (%) |
|---------|---------------------|--------------|
| 1       | 153.4               | 102.4        |
| 2       | 152.5               | 101.6        |
| 3       | 151.3               | 100.9        |
| Average | 152.5               | 101.6        |
| RSD (%) |                     | 0.77         |

### 3.2 기능성 화장품의 원료 및 제품 분석

시험법의 적용성을 검토하기 위하여 3종류의 검체를 준비하여 함량을 확인하였다. BOPT-FX50(주)바이오윈)은 *Phaeodactylum tricornutum*에서 추출·정제한 적갈색 가루로 푸코잔틴의 함량이 50%가 되도록 제조한 것이다. BOPT-FX01은 BOPT-FX50을 caprylic/capric triglyceride로 희석하여 푸코잔틴의 함량이 1%가 되도록 만든 황색의 액이다. 시험용 제품은 BOPT-FX01을 크림 제품에 배합하여 푸코잔틴의 함량이 150 ppm이 되도록 제조하였다. 원료 분석의 경우 50 ppm의 표준액과 검액을 준비하고 제품 분석을 위해서는 표준원액을 희석

하여 6.0 ppm의 표준액을 준비하고 표준액 및 검액 10  $\mu\text{L}$ 씩을 가지고 액체크로마토그래프법에 따라 시험하였다. 위의 실험방법에 따라 3개 시료를 3회 반복 실험한 결과 BOPT-FX50의 경우 함량은 49.6% 이었으며 BOPT-FX01은 1.03%으로 확인되었다. 또한 상대표준 편차는 각각 3.31%와 1.48%이었다(Table 4, Table 5). 시험 제품에서는 푸코잔틴의 함량이 156.7 ppm 이었으며 상대표준편차는 2.97%이었다(Table 6). 크로마토그램에서 확인한 결과 푸코잔틴이 주피크이였으며, 특별히 분석을 방해하는 성분은 발견하지 못하였다. 화장품에는 다양한 성분들이 존재하며 많은 경우 컬럼에서 충분히 분리가 되지 않아 정량분석에 방해가 된다. 하지만 본 분석법에서는 검출기의 파장을 449 nm로 설정함으로써 다른 성분의 방해를 받지 않는 것으로 판단할 수 있다. 이것은 푸코잔틴이 미량 존재하기 때문에 시료를 농축할 필요가 있을 경우에도 본 분석법을 충분히 적용할 수 있음을 의미한다.

Table 4. Determination of fucoxanthin in BOPT-FX50

| Sample # | Concentration (%) | standard deviation |
|----------|-------------------|--------------------|
| 1        | 48.4              | 0.3                |
| 2        | 51.5              | 2.4                |
| 3        | 49.0              | 1.2                |

Table 5. Determination of fucoxanthin in BOPT-FX01

| Sample # | Concentration (%) | standard deviation |
|----------|-------------------|--------------------|
| 1        | 1.03              | 0.01               |
| 2        | 1.01              | 0.01               |
| 3        | 1.04              | 0.02               |

Table 6. Determination of fucoxantin in a test cream

| Sample # | Concentration (ppm) | standard deviation |
|----------|---------------------|--------------------|
| 1        | 152.5               | 2.4                |
| 2        | 161.7               | 6.0                |
| 3        | 155.9               | 1.6                |

## 4. 결론

푸코잔틴은 항산화력이 뛰어나 다양한 생리활성을 가진 물질이다. 본 연구에서는 푸코잔틴을 주성분으로 개

발된 원료 및 화장품을 식품의약품안전처의 기능성화장품 인·허가를 위한 분석방법의 확립과 벨리데이션을 수행하였다. 식품의약품안전처의 “의약품 등 시험방법 벨리데이션 가이드라인”에 따라 특이성, 직선성, 정확성, 정밀성, 검출한계 및 정량한계를 검토하여 본 분석법의 타당성을 확인할 수 있었다. PDA 검출기와 Mass 검출기를 이용하여 푸코잔틴의 최대흡수파장이 449 nm이며 질량스펙트럼에서  $m/z = 689.1$ 의  $[M + Na]^+$  피크를 확인하였다. 0.5 ~ 100 ppm의 표준농도 8개를 가지고 액체크로마토그래프법에 따라 시험한 결과 검량선의 상관계수( $r^2$ ) 값은 0.99994으로 직선성이 우수하였다. 또한 검출한계는 0.1 ppm이었으며 정량한계는 0.5 ppm이었다. 표준액을 가지고 5회 반복 주입한 결과 피크 면적의 상대표준편차가 2% 이하이었으며 머무름시간은 0.9% 이하였다. 표준액을 일반제품에 첨가한 다음 정량한 결과 회수율은 101.6%이었다. 위와 같이 벨리데이션 결과로부터 분석법이 타당한 것으로 생각되어 푸코잔틴을 주성분으로 하는 원료 2종과 시험 완제품에 대한 분석을 시행하였다. 그 결과 방해성분은 확인되지 않았으며 예측된 함량을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 정량 시험법은 푸코잔틴을 주성분으로 제조된 화장품의 기능성화장품 인·허가에 필요한 기준 및 시험방법의 자료 준비 및 품질관리에 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

## References

- [1] A. El-Agamey, G. M. Lowe, D. J. McGarvey, A. Mortensen, D. M. Phillip, T. G. Truscott, A. J. Young, “Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties”, *Arch. Biochem. Biophys.*, vol. 430, pp. 37-48, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2004.03.007>
- [2] J. Peng, J. P. Yuan, C. F. Wu, J. H. Wang, “Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health”, *Mar. Drugs*, vol. 9, pp. 1806-1828, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/md9101806>
- [3] R. Pangestuti, S. -K. Kim, “Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae”, *J. Funct. Foods*, vol. 3, pp. 255-266, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.07.001>
- [4] V. M. Dembitsky, T. Maoka, “Allenic and cumulenyl lipids”, *Prog. Lipid Res.*, vol. 46, pp. 328-375, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.07.001>
- [5] S. J. Heo, W. J. Yoon, K. N. Kim, G. N. Ahn, S. M. Kang, D. H. Kang, A. Affan, C. Oh, W. K. Jung, Y. J. Jeon, “Evaluation of anti-inflammatory effect of fucoxanthin isolated from brown algae in lipopolysaccharide-stimulated RAW264.7 macrophages”, *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, pp. 2045-2051, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.05.003>
- [6] A. Jiménez-Escrig, I. Jiménez-Jiménez, R. Pulido, F. Saura-Calixto, “Antioxidant activity of fresh and processed edible seaweeds”, *J. Sci. Food Agric.*, vol. 81, pp. 530 - 534, 2001.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.842>
- [7] I. Urakura, T. Sugawara, T. Hirata, “Protective effect of fucoxanthin against UVB-induced skin photoaging in hairless mice”, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 75, pp. 757-760, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.110040>
- [8] N. M. Sachindra, E. Sato, H. Maeda, M. Hosokawa, Y. Niwano, M. Kohno, K. Miyashita, “Radical scavenging and singlet oxygen quenching activity of marine carotenoid fucoxanthin and its metabolites”, *J. Agric. Food Chem.*, vol. 55, pp. 8516-8522, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/jf071848a>
- [9] F. Beppu, M. Hosokawa, M. J. Yim, T. Shinoda, K. Miyashita, “Down-regulation of hepatic stearyl-CoA desaturase-1 expression by fucoxanthin via leptin signaling in diabetic/obese KK-A(y) mice”, *Lipids*, vol. 48, pp. 449-455, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11745-013-3784-4>
- [10] Y. Satomi, “Antitumor and cancer-preventative function of fucoxanthin: a marine carotenoid”, *Anticancer Res.*, vol. 37, pp. 1557-1562 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.21873/anticancer.11484>
- [11] S. Y. Kang, H. Kang, J. E. Lee, C. S. Jo, C. B. Moon, J. Ha, J. S. Hwang, J. Choi, “Anti-aging potential of fucoxanthin concentrate derived from *Phaeodactylum tricornutum*”, *J. Cosmet. sci.*, submitted, 2017.
- [12] C. Kumar, P. Ganesan, P. Suresh, N. Bhaskar, C. S. Kumar, P. V. Suresh, P. V. Suresh, C. S. Ananda Kumar, P. V. Suresh, S. K. Chandini, “Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds-a review”, *J. Food Sci. Technol.*, vol. 45, pp. 1-13, 2008.
- [13] M. Hosokawa, T. Okada, N. Mikami, I. Konishi, K. Miyashita, “Bio-functions of marine carotenoids”, *Food Sci. and Biotechnol.*, vol. 18, pp. 1 - 11, 2009.
- [14] J. A. Haugan, S. Liaaen-Jensen, “Improved isolation procedure for fucoxanthin”, *Phytochemistry*, vol. 28, pp. 2797-2798, 1989.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)98091-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)98091-9)
- [15] S. C. Shin, M. W. Ahn, J. S. Lee, Y. S. Kim, K. P. Park, “Extraction of fucoxanthin from *Undaria pinnatifida* and stability of fucoxanthin”, *Korean Chem. Eng. Res.*, vol. 51, pp. 42-46, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.9713/kcer.2013.51.1.42>
- [16] S. M. Kim, Y. J. Jung, O. N. Kwon, K. H. Cha, B. H. Um, D. Chung, C. H. Pan, “A potential commercial source of fucoxanthin extracted from the microalga *Phaeodactylum tricornutum*”, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 166, pp. 1843-1855, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9602-2>
- [17] S. C. Foo, F. M. Yusoff, M. Ismail, M. Basri, S. K. Yau,

- N. M. H. Khong, K. W. Chan, M. Ebrahimi, "HPLC fucoxanthin profiles of a microalga, a macroalga and a pure fucoxanthin standard", *Data Brief.*, vol. 10, pp. 583-586, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2016.12.047>
- [18] P. Crupi, A. T. Toci, S. Mangini, F. Wrubl, L. Rodolfi, M. R. Tredici, A. Coletta, D. Antonacci, "Determination of fucoxanthin isomers in microalgae (*Isochrysis* sp.) by high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector multistage mass spectrometry coupled with positive electrospray ionization", *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, vol. 15, pp. 1027-1035, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.6531>
- [19] A. Piovan, R. Seraglia, B. Bresin, R. Caniato, R. Filippini, "Fucoxanthin from *Undaria pinnatifida*: photostability and coextractive effects", *Molecules*, vol. 18, pp. 6298-6310, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules18066298>

---

최 종 근(Jongkeun Choi)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 농화학과 (농학사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 농화학과 (농학석사)
- 2006년 8월 : 서울대학교 화학부 (이학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 융합소재공학과 교수

<관심분야>

화장품, 의약품, 분석, 단백질 3차 구조, 분자 모델링