

## 화장품 중 수용성 고분자인 Xanthan gum 분석연구

이용화 · 양재찬<sup>†</sup>

호서대학교 융합기술연구소, 목원대학교 테크노과학대학 생의약화장품학부<sup>†</sup>  
(2013년 12월 9일 접수; 2013년 12월 27일 수정; 2013년 12월 27일 채택)

### Sturdy of analysis of Xanthan gum as watersoluble-polymer in cosmetics

Yong-Hwa Lee · Jae-Chan Yang<sup>†</sup>

*Hoseo University, Fusion technology, Hoseo-ro 79-20, Beabang-eup, Asan-city, Chungnam, Korea*  
*Mokwon University, College of Sciences & Technology, Division of Biomedical & Cosmetics*  
*Doanbuk-ro 88, Seo-gu, Daejeon 302-729, Korea*

*(Received December 9, 2013 ; Revised December 27, 2013 ; Accepted December 27, 2013)*

**요약** : 역상 HPLC 에 의한 화장품에 사용하는 수용성 고분자인 Xanthan gum의 간편하고 정확한 정량분석 방법을 개발하였다. 분석조건은 C<sub>18</sub>분리관과 ELSD 검출기를 사용하였으며, 25mM ammonium acetate/acetonitrile의 기울기 용리에 의해 분리 되었다. 이때 검량선의 상관계수(correlation coefficient)  $r^2=0.9993$ , 정량범위 50.3~604.1  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , 검출한계 12.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$  및 정확성이 우수하였다. 이 방법은 화장품 중 Xanthan gum를 정확하고 간편하게 정량분석 가능함을 보여 주었다

주제어 : 수용성고분자, 화장품, Xanthan gum, 고성능 액체크로마토그래피

**Abstract** : Determination of xanthan gum as watersoluble-polymer in commercial cosmetic samples was carried out by High Performance Liquid Chromatography(HPLC).

An C<sub>18</sub> reversed-phase column and the selected ELSD detector was applied. The 25mM ammonium acetate/acetonitrile was used for the mobile phase of gradient conditions. The analysis results of HPLC showed good linearity with correlation coefficient of  $r^2=0.9993$  in the rage of 50.3~604.1  $\mu\text{g}/\text{ml}$  and detection limit of 12.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ .

**Keywords** : Watersoluble-polymer, Cosmetics, Xanthan gum, HPLC

---

<sup>†</sup>Corresponding author  
(E-mail: rabbit@mokwon.ac.kr)

## 1. 서 론

중합체(polymer)는 단량체(monomer)라고 하는 단위구조가 반복되어 이루어진 물질이다. 보통 단위 단량체의 수는 많고 다양하며, 한 중합체 시료는 분자량이 다른 분자들의 혼합물이다. 이처럼 고분자는 단일 화학종이 아닌 분자량, 화학조성 등이 다른 물질들의 집합이다. 따라서 고분자를 이해하기 위해서는 그들이 가지고 있는 분자특성의 분포에 대한 정보가 필요하다.

수용성 고분자는 물에 용해되거나 팽창되는 고분자들이다. 용해성의 관점에서 수팽윤과 수용성 사이의 경계선은 명확치 않다. 그러나 분자구조의 관점에서 고분자는 -OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>와 같은 주요 고분자골격에 극성기의 존재에 의해 특성화된다. 분자구조와 물리적 성질들 사이의 세부적인 상호관계가 복잡하여도 용해성의 거동은 분자사슬의 길이, 분자 간 가교결합도, 결사슬 치환체의 수와 극성에 따라 다양하게 변화하게 된다. 즉 수용성 고분자는 작용기, 분자량, 전하밀도, 용액 속의 이온성 물질 농도 등에 의해서 영향을 받게 된다[1-9].

수용성 고분자는 분산, 흡수, 접착, 응집, 증점 등과 같은 다양한 특성을 갖고 있기 때문에, 도료, 접착제, 세제, 식품, 화장품, 의약품 등의 다양한 응용 분야를 가지고 있으며, 불연성, 무독성, 경제성과 같은 특성 때문에 매년 새로운 용도가 개발되고 있다.

화장품 원료로서 사용되는 수용성 고분자 화합물을 사용용도에 따라 구분하면, 점도 증가제, 피막제, 수지분말로서 주로 이용되고 있다. 점도 증가제 고분자는 제품의 점도를 조절하는 목적으로 사용되며, 사용하기 쉬운 점도로 하거나 제품의 안정성을 유지할 목적으로 사용된다. 여기에는 주로 수용성 고분자가 이용되며 제품 사용 시 감촉이 주는 영향이 커서 각종의 수용성 고분자가 목적에 따라 선택되어 이용되고 있다. 최근에는 고분자 자체의 물리적 특성을 화장품 제형에 적용하는 기존연구에서 탈피하여 고 기능성 화장품의 핵심원료에 기능을 더욱 극대화하기 위하여 고분자를 활용하는 연구가 다양하게 진행되고 있다. Xantan gum은 xanthomonas campestris 균을 사용하여 발효하여 얻어지는 미생물 유래의 gum으로 물에 가용이며 유기용매에 불용인 수용성 고분자로 산, 알카리, 염 등에 점도 변화가 없고 안전성이 우수하여 유액제품에 널리 쓰인다. 고농

도 사용 시 약간의 피막형성 능력이 있고 유화 안정향상, 사용성 부여, 점성 부여 등의 목적으로 이용한다[10-16].

이러한 합성 고분자 재료의 다양한 분자특성을 정밀하게 분석하기 위해서는 여러 가지 화학 분석법의 적절한 활용이 요구되고 있다. 고분자는 단일 화학종이 아닌 복잡한 혼합물이다. 그래서 고분자의 합성 메커니즘이나 물성을 이해하기 위해서는 그들이 가지고 있는 분자특성의 분포에 대한 정보가 필요하다. 화학적으로 서로 다른 고분자들의 혼합물을 성분 별로 분리하고 분석하는데 고성능 액체크로마토그래피(High performance chromatography, HPLC)방법이 매우 효율적으로 사용될 수 있다. 예를 들어 분자량이 매우 다른 고분자들의 혼합물의 경우 기존의 크기별 배제 크로마토그래피(Size exclusion chromatography, SEC)를 이용하여 분자량 분포 분석에 가장 널리 이용되어 왔다[17-23]. 그러나 혼합된 고분자들의 분자량이 유사하거나 분자량 분포가 넓어 SEC에 의한 분리가 완벽하게 일어나지 않으므로 단순한 SEC로는 공중합체의 조성 분포, 미세구조 차이, 말단기 차이 등에 의해 상호 분리하여 정량 분석하는 것은 곤란하다. 이러한 정량 분석을 위해서는 시료와 정지상간의 화학적 결합에 의해 분리가 일어나는 분배 크로마토그래피가 효율적일 것이다. 그리고 고분자물질의 분자량측정을 위한 매트릭스보조 레이저탈착 이온화법(Matrix assisted laser desorption ionization, MALDI)은 고분자 분야의 질량분석에 기여하고 있다[24-27]. 수해 동안 MALDI 질량분석법은 고분자의 분자량분포와 평균분자량의 결정에 간단하고 빠른 방법으로 알려져 왔다. 그러나 많은 연구결과 고분자의 정량분석은 크로마토그래피에 못 미치는 것으로 밝혀지고 있다. 그래서 MALDI 질량분석기는 고분자의 단량체와 단말기의 구조를 얻는데 사용되고 있다.

아직까지도 실험의 용이성, 일반성 등의 장점에 의해 SEC가 널리 활용되고 있으나 이러한 추세는 복잡한 고분자들이 계속 합성되고 정밀한 특성분석이 요구되면서 점차 바뀔 것으로 예상된다. Kazunori 등은 2002년에 low angle laser light scattering 검출기가 부착된 GPC를 이용하여 Polystyrene 고분자의 분석은 수차례 발표되었으나[20], 수용성 고분자의 분배 HPLC에 의한 정량분석 방법은 아직 발표되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 분배 HPLC 기술을 이

용하여 화장품에 사용하는 수용성 고분자인 Xanthan gum의 정량 분석방법을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약

본 연구에서 표준물질로 사용된 Xanthan gum은 CP Kelco사(USA)에서 제조한 원료를 사용하였고, 화학적 구조는 Fig.1에 나타내었다. Acetonitrile은 Berdick & Jackson사(Muskegon, MI, USA)의 HPLC급 고순도 용매를 구입하여 사용하였다. 증류수는 Mili-Q water purification system(USA)을 이용하여 전도도 18.2  $\Omega \cdot \text{cm}$ 로 하여 제조한 증류수를 사용하였다. 각 용매와 증류수는 모두 pore size 0.45  $\mu\text{m}$ 의 Millipore (Bedford, MA, USA)사의 membrane filter로 여과한 후 사용하였다. 그리고 이동상에 사용한 ammonium acetate, acetic acid는 sigma사제 제품을 구입하여 사용하였다.

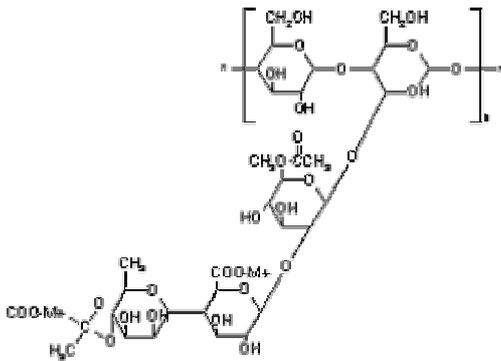


Fig. 1. Chemical structure of Xanthan gum

### 2.2. HPLC기기 및 조건

본 연구에 사용한 HPLC는 Agilent 1100 series(Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)로 vacuum degasser, quaternary pump system, column oven, autosampler가 부착되어 있다. 분리조건으로는 Alltech C<sub>18</sub>(250 mm × 4.6 mm i.d., 5  $\mu\text{m}$ ) 분리관을 사용하였으며, 검출기는 Alltech 3300 ELSD(evaporative light scattering detector, Alltech associates, USA)였으며, 이때 검출기는 55°C의 온도로 작동하고 질소 가스의

흐름속도는 1.5 ml/min 조건이었다. 이동상으로는 25mM ammonium acetate에 acetic acid로 pH 4.6으로 조절한 용액과 acetonitrile을 기율기 용리조건으로 사용하였으며 Table 1에 나타내었다. 이때 유속은 1 ml/min, 시료주입량은 10  $\mu\text{l}$ 였다. 분석결과 얻어진 각 피크의 머무름 시간을 비교하여 피크면적으로 검정선을 작성하여 시료 중의 Xanthan gum 함량을 구하였다. 시료를 녹이기 위해서 초음파 진동기(Fisher Scientific state/ultrasonic FS-28)를 사용하였고, 시료는 0.45  $\mu\text{m}$  syringe filter(Millipore, Bedford, USA)로 여과하여 사용하였다.

Table 1. Eluent Condition for Determination of Xanthan Gum

Time (min)	Eluent(%)	
	25mM ammonium acetate	acetonitrile
0	100	0
10	40	60
15	100	0

### 2.3. 표준용액의 제조

Xanthan gum의 표준용액제조는 표준품을 0.1 mg 까지 무게를 달아 물로 1000.0  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도가 되도록 표준용액을 만들고 이를 50.3, 101.5, 200.6, 402.3, 604.1  $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 농도범위로 희석하여 검정곡선 작성에 사용하였으며 제조한 모든 표준용액들은 냉장고에 보관하여 사용하였다.

### 2.4. 시료

화장품시료는 국내에서 시판되고 있는 5종을 구입하여 사용하였으며, HPLC로 분석하기 전 화장품시료를 각각 2.0 g씩 취하여 물에 용해시킨 후 20 ml 가 되도록 하여 20분간 초음파처리 후 4000 rpm에서 약 5분간 원심분리 후 상층액을 취하여 0.45  $\mu\text{m}$ 필터를 사용하여 여과한 다음 HPLC에 10  $\mu\text{l}$ 를 주입하여 분석하였다.

### 2.5. 검출한계, 정량한계, 회수율, 검정곡선

분석 방법의 유효성 검증을 위해 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of

quantitation, LOQ), 회수율 및 검정곡선에 대한 실험은 바탕시료(화장품)가 사용되었다. 먼저, 검출한계와 정량한계 실험을 위해서는 시료에 표준물질을 첨가하여 전처리과정을 거친 결과에서 신호 대 잡음비(signal to noise, S/N)를 통하여 검출한계와 정량한계를 추정 후, 추정된 검출한계의 1~5배 사이의 농도를 가진 시료(n=7)를 준비하였다.

HPLC에 주입 후 얻은 결과 값을 통해 측정에 대한 표준편차( $\sigma$ )를 계산하고, 선형검정곡선을 작성하여 기울기(s)를 구한 후 검출한계는  $3\sigma/s$ , 정량한계는  $10\sigma/s$ 로 정했다. 검정곡선은 미지 양에 대한 감응을 해석할 수 있도록 아는 양의 분석물질(표준물질)에 대한 감응으로 평가되었다. 50.3, 101.5, 200.6, 402.3, 604.1  $\mu\text{g/ml}$ 이 되도록 표준물질을 첨가하여 확립된 시료 전처리 과정을 거친 후 분석하여 피크면적비로 검정곡선을 작성하고, 직선식과 상관계수 ( $r^2$ )를 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 검정곡선

검정곡선을 작성하기 위해 50.3, 101.5, 200.6, 402.3, 604.1  $\mu\text{g/ml}$  의 농도범위로 희석하여 만

든 Xanthan gum 표준물질을 HPLC로 분석하여 농도 대 면적 값으로 검정곡선을 작성한 결과 얻어진 상관관계식을 Table 3에 나타내었다. Table 2에서와 같이 표준용액의 농도범위에서 상관계수 ( $r^2$ )값이 0.9993을 나타냄에 따라 직선성이 매우 좋고, 검출한계는 12.0  $\mu\text{g/ml}$ 로 분석방법이 적합함을 알 수 있었다.

#### 3.2. 검출한계, 정량한계, 정확도 및 정밀도

Xanthan gum이 존재하지 않음이 확인된 바탕 시료에 Xanthan gum 표준물질을 소량첨가한 후 유효성검증을 실시하였다. 화장품 중 LOD와 LOQ는 12.0  $\mu\text{g/ml}$ , 45.0  $\mu\text{g/ml}$ 로 나타났으며, 50.3~604.1  $\mu\text{g/ml}$ 에서 89.1~104.7% 범위의 상대 회수율을 나타냄으로서 비교적 좋은 정확도를 보였고 상대표준편차(RSD%)는 1.4~4.6% 범위로 양호한 정밀한 값을 나타내었다.(Table 3)

#### 3.2. HPLC분석

화장품 중에 함유된 Xanthan gum을 검출하기 위하여 표준물질을 앞의 기울기 용리조건에서 HPLC로 분석한 크로마토그램을 Fig. 2에 나타내었다. 이는 표준물질에 대한 크로마토그램으로서 HPLC의 기울기용리 이동상조건을 이용하여 50.3~604.1  $\mu\text{g/ml}$ 범위에서 분석하여 얻어진 결과

Table 2. Simple Linear Regression of Standard Calibration for Xanthan Gum

Ingredients	Concentration range( $\mu\text{g/ml}$ )	Regression eqn.	Correlation coefficient
Xanthan gum	50.3~604.1	$y=22891x+1084$	0.9993

Table 3. LOD, LOQ, Accuracy and Precision for Xanthan Gum from Cosmetics

Compound	LOD* ( $\mu\text{g/ml}$ )	LOQ** ( $\mu\text{g/ml}$ )	Conc. ( $\mu\text{g/ml}$ )	RSD*** (%) (n=3)	Accuracy (%) (n=3)
Xanthan gum	12.0	45.0	50.3	1.8	97.8
			101.5	1.0	89.1
			200.6	4.6	89.9
			402.3	1.4	104.7
			604.1	2.5	102.9

\*LOD(Limit of Detection)= $3\sigma/s$

\*\*LOQ(Limit of Quantitation)= $10\sigma/s$  ( $\sigma$ =standard deviation,  $s$ =slop of calibration curve)

\*\*\*Accuracy(%)=(measured value/spiked value)  $\times$  100

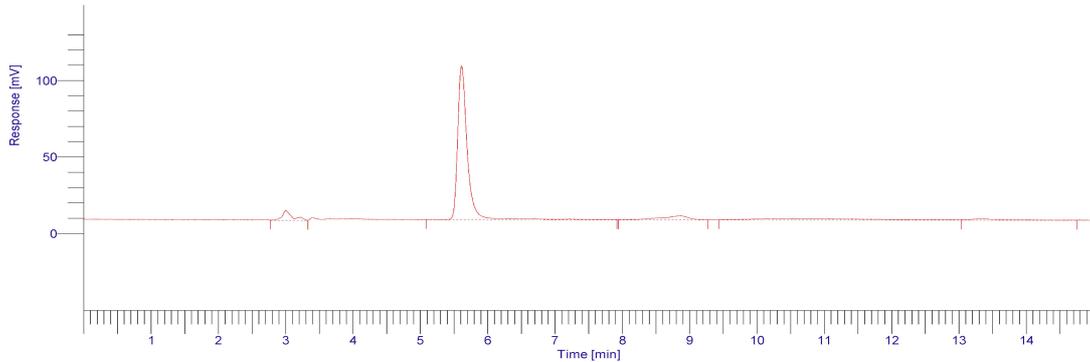


Fig. 2. HPLC chromatogram of the studied Xanthan gum

들이다. 그리고 Xanthan gum의 FT-IR spectrum을 Fig. 3에 나타내었다.

크로마토그램에서 보는 바와 같이 표준물질은 본 실험에서 사용한 Alltech C<sub>18</sub> (250mm×4.6 mm i.d, 5 $\mu$ m)분리관과 25mM ammonium acetate/acetonitrile의 기울기용리 분리조건에 의하여 적당한 용리시간을 갖고 분리됨을 알 수 있다.

이 결과는 HPLC의 기울기 용리조건으로 높은 감도와 선택성이 좋아 정량분석 할 수 있는 조건임을 알 수 있다.

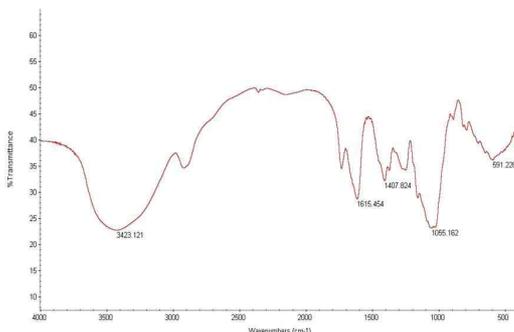


Fig. 3. FT-IR spectrum of the studied Xanthan gum

### 3.3. 시료의 분석

시판되는 화장품 5종을 HPLC로 분석한 크로마토그램을 Fig. 4에 나타내었고 정량결과는 Table 4에 나타내었다. 분석결과 A사제품은 Xanthan gum을 0.1% 함유하고 있었고, B사제품은 0.06%, C사제품은 0.1%, D사제품은 0.08% 및 E사 제품은 0.1%를 함유하고 있는 것으로 나

타났다. 이는 시판되고 있는 화장품에서 수용성 고분자인 Xanthan gum을 정확하고 간편하게 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

1. 수용성 고분자는 정량분석이 어려운 물질이다. 특히 HPLC에 의한 정량분석법은 개발되지 않아 시판되고 있는 화장품 중에 함유되어 있는 수용성 고분자인 Xanthan gum을 신속하고 정확하게 정량 분석 할 수 있는 분석법을 확립 하였다.
2. 화장품에 사용되는 수용성 고분자의 정량분석이 어려웠으나 본 연구에서 개발된 분석방법을 이용하면 쉽고 정확한 분석을 통하여 화장품 품질향상 및 연구개발에 이용가능하다.
3. 본 연구에서는 시료를 물에 직접 녹인 후 HPLC를 이용하여 Xanthan gum을 분석하는 새로운 분석방법이며 분석결과 정량범위는 50.3~604.1  $\mu$ g/ml의 농도범위에서 검정곡선이 직선성 ( $r^2=0.9993$ )을 나타냄으로서 여러 가지 유성성분과 수성성분을 함유하고 있어 복합적인 구성성분을 갖는 화장품 제제로 부터 Xanthan gum을 정량하기 위해서는 기존의 방법보다 간편하고 정확한 좋은 방법이 될 수 있음을 보여주었다. 확립된 분석방법은 화장품에 사용되는 수용성고분자를 높은 정확도와 정밀도를 가지고 편리한 분석에 응용될 수 있을 것이다.

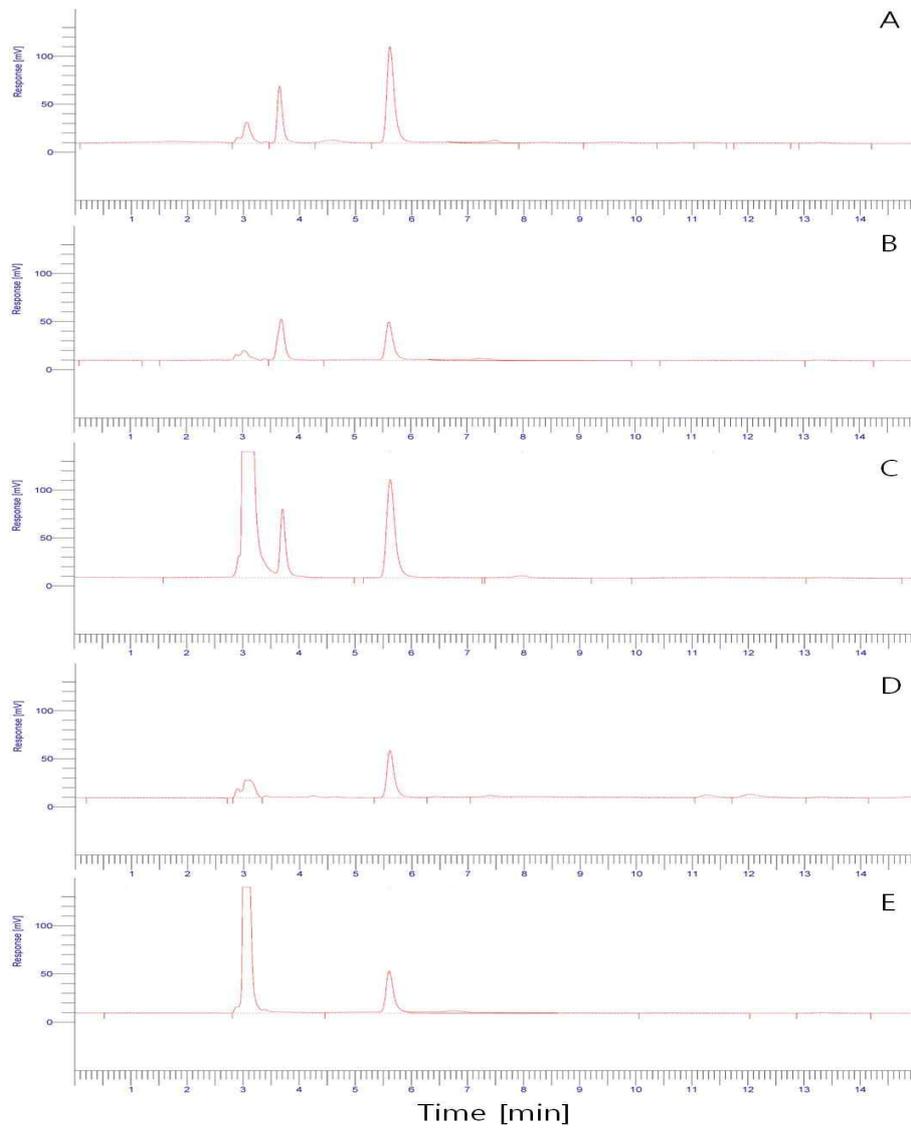


Fig. 4. HPLC chromatogram of Xanthan gum in commercial goods A, B, C, D, E

Table 4. Concentration ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) of Xanthan Gum in Commercial Goods

Sample	Xanthan gum (%) (Mean)
A	0.1
B	0.06
C	0.1
D	0.08
E	0.05

## References

1. Ahamadi S, Batchelor B, Koseoglu SS. The diafiltration method for the study of the binding of macromolecules to heavy metal ions. *J Membr Sci.* **89**, 257(1994).
2. Tomida T, Inoue T, Tsuchiya K, Masuda S. Concentration and/or removal of metal ions using a water-soluble chelating polymer and microporous hollow fiber membrane. *Ind Eng Chem Res*, **33**, 904(1994).
3. Geckeler K, Lange G, Eberhardt H, Bayer E. Preparation and application of water-soluble polymer-metal complexes. *Pure Appl Chem*, **52**, 1883(1980).
4. Spivakov BYa, Geckeler K, Bayer E. Liquid-phase polymer based retention technique: the separation of metals by ultrafiltration on polychelators. *Nature*, **315**, 313(1985).
5. Huck W. Thematic issue on functional polymers. *Chem Soc Rev*, **34**, 191(2005).
6. Sanchez JC, Trogler WC. Hydrosilylation of diynes as a route to functional polymers delocalized through silicon. *Macromol Chem Phys*, **209**, 1527(2008).
7. Li C, Li Y. The process of functional conjugated organic polymers derived from triple-bond building blocks. *Macromol Chem Phys*, **209**, 1541(2008).
8. Saeed I, Shida Y, Khan FZ, Shiotsuki M, Masuda T. Poly(phenylacetylene)s carrying siloxy, carbonate, and hydroxy groups: synthesis and properties. *Macromol Chem Phys*, **209**, 1308(2008).
9. Mc Cormick CL, Lowe AB. Aqueous RAFT polymerization: recent developments in synthesis of functional water-soluble (co)polymers with controlled structures. *Acc Chem Res* **37**, 312(2004).
10. R. Y. Lochhead, The role of polymers in cosmetics: recent trends, in: *Cosmetic Nanotechnology, ACS Symposium Series American Chemical Society*, **961**, 3(2007).
11. J.M. Quintana, A.N. Califano, N.E. Zaritzky, P. Partal, J.M. Franco, Linear and nonlinear viscoelastic behavior of oil-in-water emulsions stabilized with polysaccharides, *J. Texture Studies*, **33**, 215(2002).
12. R.P. Vianna-Filho, C.L.O. Petkowicz, J.L.M. Silveira, Rheological characterization of O/W emulsions incorporated with neutral and charged polysaccharides, *Carbohydr. Polym.* (2012).
13. D. Bais, A. Trevisan, R. Lapasin, P. Partal, C. Gallegos, Rheological characterization of polysaccharide-surfactant matrices for cosmetic O/W emulsions, *J. Colloid Interface Sci.*, **290**, 546(2005).
14. H.-M. Ribeiro, J.-A. Morais, G.-M. Eccleston, Structure and rheology of semisolid O/W creams containing cetyl alcohol/non-ionic surfactant mixed emulsifier and different polymers, *Int. J. Cosmetic Sci.*, **26**, 47(2004).
15. R. Pal, Viscoelastic properties of polymer-thickened oil-in-water emulsions, *Chem. Eng. Sci.*, **51**, 3299(1996).
16. E. Kettler, C.B. Muller, R. Klemp, M. Hloucha, T. Doring, W. Rybinski, W. Richtering, Polymer-stabilized emulsions: influence of emulsion components on rheological properties and droplet size, in: G. Auernhammer, H.-J. Butt, D. et Vollmer (Eds.), in: *Surface and Interfacial Forces - From Fundamentals to Applications, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*, **134**, 90(2008).
17. W. W. Tau, J. J. Kirkland, and D. D. Blv. "Modern Size-Exclusion Liquid Chromatography, Practice of Gel Permeation and Gel Filtration Chromatography", ed, John Wiley & Sons, New York(1979).
18. S. T. Balke, "Characterization of Complex Polymers by Size Exclusion Chromatography and High Performance Liquid Chromatography" H. G. Barth, Mays, J.W. (Ed), in "Modern Methods of Polymer Characterization" John Wiley & Sons, New York(1991).

19. C. Viebke, P.A. Williams, Determination of molecular mass distribution of k-carrageenan and xanthan using asymmetrical flow field-flow fractionation, *Food Hydrocolloids*, **14**, 265(2000).
20. Kazunori Se, Takuya Sakakibara, Etsuyo Ogawa, Molecular weight determination of star polymers and star block copolymers using GPC equipped with low-angle laser light-scattering, *Polymer*, **43**, 5447(2002).
21. Yonggang Liu, Shuqin Bo, Yejuan Zhu, Wenhe Zhang, Determination of molecular weight and molecular sizes of polymers by high temperature gel permeation chromatography with a static and dynamic laser light scattering detector, *Polymer*, **44**, 7209(2003).
22. W.W. Yau, J.J. Kirkland, and D.D. Bly, *Modern size-exclusion liquid chromatography*, John Wiley & Sons, New York(1979).
23. K. Kwon and T. Chang, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hybrids for lithium batteries, *polym. Sci. Tech*, **13**, 384(2002).
24. M. Karas and F. Hillenkamp, Laser desorption ionization of proteins with molecular masses exceeding 10,000 daltons, *Anal. Chem.*, **60**, 2299(1988).
25. D.C. Schriemer and L. Li, Detection of High Molecular Weight Narrow Polydisperse Polymers up to 1.5 Million Daltons by MALDI Mass Spectrometry, *Anal. Chem.*, **68**, 2721(1996).
26. R. S. Brown and J. J. Lennon, Mass Resolution Improvement by Incorporation of Pulsed Ion Extraction in a Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Linear Time-of-Flight Mass Spectrometer, *Anal. Chem.*, **67**, 1998(1996).
27. C. A. Jackson and W. J. Simonstick Jr., Application of mass spectrometry to the characterization of polymers, *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, **2**, 661(1997).