

## 피부조직 콜라겐의 유동 특성

김영호 · 박은지 · 양 융\*

한국식품개발연구원

\*연세대학교 식품·생물공학과 및 생물산업소재연구센터

### The Flow Behavior of Skin Collagen

Young-Ho Kim, Eun-Ji Park and Ryung Yang\*

Korea Food Research Institute

\*Department of Food and Biotechnology & Bioproducts Research Center, Yonsei University

#### Abstract

To obtain the basic information for the effective use of collagen, the flow behavior of collagen extracted from skin tissue was studied. The viscosity of collagen varied with sex, age and the kinds of collagen by extraction method. Regardless of the kinds of collagen, the viscosity of collagen extracted from 6~12 week old rat was relatively high. In case of the same age, the viscosity showed higher in female than in male rat and in acid soluble collagen than in insoluble collagen. The solution of the collagen showed the characteristics of Bingham plastic and thixotropic fluid, and the viscosity varied distinctly with temperature, pH, ethanol concentration and collagen concentration. As collagen concentration increased to 6%, the consistency of acid soluble- and insoluble collagen showed a tendency to increase linearly( $r=0.972$  for acid soluble collagen,  $r=0.957$  for insoluble collagen). In that range of collagen concentration, the increasing velocity of consistency was higher in acid soluble collagen than in insoluble collagen. The consistency of collagen solution was decreased according to temperature rising. In case of acid soluble collagen, the consistency is decreased abruptly between 30~40°C. According to pH variation, the consistency of acid soluble collagen showed biphasic phenomenon, though the consistency of insoluble collagen was found not to be influenced by pH. The consistency of acid soluble- and insoluble collagen according to ethanol concentration showed high between 40~60% of ethanol concentration.

Key words: collagen, flow behavior, viscosity, consistency, skin, rat

## 서 론

콜라겐은 지구상에  $10^{12}$  kg 정도 존재할 것으로 추정되는 귀중한 단백질 자원으로서<sup>(1)</sup>, 식품, 의약품, 화장품 및 피혁공업 등에서 광범위하게 이용되고 있다. 콜라겐을 식품으로 이용할 경우, 주로 대동물인 소, 돼지 등의 뼈나 가죽을 소재로 하여 결합제, 증량제, 조직개량제, 젤리제, 안정제, 유화제, 농후제, 보습제 등의 첨가물로 사용하고 있는데<sup>(2-7)</sup>, 콜라겐의 기본 물성에 대한 전반적인 이해가 부족하여 국내에서 생산되는 제품은 아직도 조악한 수준이다.

콜라겐은 생체조직 전반에 걸쳐 분포되어 있는 구조 단백질로서 2중 나선구조를 하고 있는 근원섬유단백질과는 달리 3중 나선구조로 되어 있으며, (Gly-X-Y) $_n$ 과

같은 규칙적인 형태의 아미노산 배열로서 안정한 분자 구조를 형성하고 있는데<sup>(8-11)</sup>, 분자구조 특성상 자체적으로 20% 정도를 수화할 수 있다. 물에 의한 팽윤을 swelling, 산 및 알카리 조건하에서의 팽윤을 plumping 이라 하는데, 특히 열수팽윤(hydrothermal swelling)에서는 팽윤 정도가 동물체의 나이에 따라 달라지기 때문에<sup>(12)</sup> 수화현상은 콜라겐 3중 나선구조의 특성과 콜라겐의 물성을 연구하는데 중요한 자료로 이용되고 있다.

따라서 콜라겐 용액의 유동 특성을 살펴봄으로써 용액내에서 콜라겐 형태(conformation), 수화(hydration), 응집(agggregation) 등을 수반하는 고분자간 상호작용에 대한 콜라겐의 구조적 특성을 이해할 수 있으며, 콜라겐을 이용한 제품 생산시 콜라겐 물성에 대한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각되었다. 본 실험에서는 콜라겐 용액의 유동 특성에 대한 기초적인 자료를 얻기 위하여 비교적 빨리 성장하는 소동물인 쥐를 선택하여 나이 및 성(sex)에 따른 피부조직 콜라겐의 점도를 측정하였으며, 이와 더불어 콜라겐 농도, 온도, pH, 에탄올 농도 등의

Corresponding author: Young-Ho Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1 Baekhyun-dong, Boondang-gu, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-420, Korea

차이에 따른 콜라겐 용액의 점도를 측정하였다.

**재료 및 방법**

**실험 재료**

생후 3주령, 6주령, 9주령, 12주령, 28주령 및 52주령된 암컷과 수컷 Sprague-Dawley계 흰쥐를 각각 10마리 이상씩 분양받아 피부조직을 채취하였으며, 피부조직 중에서 등(back) 부위만 실험에 사용하였다.

**산가용성 및 불용성 콜라겐의 조제**

Harkness와 Nimni의 방법<sup>(13)</sup>을 약간 수정하였다. 털을 제거한 피부조직을 1/8 in. plate로 chopping하여 -20℃로 유지된 acetone을 5배량 가하여 30~60분간 방치한 후 감압여과하였다. 여과액이 투명해질 때까지 acetone 처리를 반복하였으며, 이때 얻은 cake를 상온에서 1~2시간 풍건하였다. 건조물의 20배량에 해당되는 0.15 M NaCl 용액을 가하여 균질기(Ace AM-7 Homogenizer, Nihonseiki Kaisha, Japan)로 12,000 rpm에서 5분간 균질화시킨 다음 4℃에서 24시간 동안 교반하였다. 30,000×g에서 90분간 원심분리(Sorvall RC28S, Du Pont, USA)하여 상등액을 버리고 침전물만 모은 다음, 20배량의 0.5 M NaCl을 가하여 4℃에서 24시간 동안 교반한 후에, 7,000×g에서 20분간 원심분리하여 침전물만 모았다. 침전물에 20배량의 0.5 M citrate buffer(pH 3.6)를 가하여 4℃에서 24시간 동안 stirring 하였으며, 7,000×g에서 20분간 원심분리하여 얻은 상등액을 거름종이(Whatman No.1)로 거른 용액을 산가용성 콜라겐으로 하였다. 이때 남은 침전물은 불용성 콜라겐의 추출에 사용하였다. 10% NaCl과 증류수로 침전물을 반복 세척한 다음, 증류수 존재하에 15 lb/in<sup>2</sup>로 3시간 동안 가압증자하였으며, 추출물을 거름 종이(Whatman No.1)로 거른 다음 50℃에서 진공농축기(Rotavapor RE111, Buchi, Switzerland)로 농축하였다. 농축액을 fine sintered glass funnel(H3)에 통과시켰으며, 이 액을 불용성 콜라겐으로 하였다. 산가용성 및 불용성 콜라겐 용액을 cellulose 투석막(MWCO 10,000)으로 투석한 후 동결건조하였으며, -30℃ 이하에서 보관하여 실험에 사용하였다.

**점도 측정**

주령 및 성별에 따른 콜라겐 용액의 점도는 Cannon Fenske capillary viscometer(Witeg CFR 5957, Conversion factor K=0.01579)를 사용하여 30℃에서 측정하였으며, 1% 콜라겐 용액의 동점도(kinematic viscosity)로 나타났다. 콜라겐 농도, 온도, pH, ethanol 농도 등의 조성 차이에 따른 콜라겐 용액의 점도 측정은 12주령의 수컷 피부조직을 이용하였으며, coaxial rotational viscometer 형태인 Hakke Roto viscometer(Hakke RV 20, W. Germany) NV type의 센서로 측정하여 겔보기 점도(apparent viscosity) 또는 점조도(consistency)로 나타났다.

**Table 1. Kinematic viscosity of rat skin collagen according to aging** (unit : centistokes)

Age (weeks)	ASC <sup>1)</sup>		ISC <sup>2)</sup>	
	Female	Male	Female	Male
3	6.03(0.00) <sup>3)</sup>	5.75(0.00)	1.10(0.00)	1.04(0.01)
6	6.17(0.00)	5.87(0.00)	1.12(0.00)	1.05(0.00)
9	6.18(0.00)	5.82(0.01)	1.15(0.00)	1.04(0.01)
12	6.24(0.00)	5.77(0.00)	1.12(0.00)	1.04(0.00)
28	—	5.77(0.00)	—	1.03(0.00)
52	6.21(0.00)	—	1.10(0.00)	—

(Operating conditions: 1% collagen solution, 30℃, pH 6.0)

<sup>1)</sup>ASC refers to acid soluble collagen

<sup>2)</sup>ISC refers to insoluble collage

**결과 및 고찰**

**주령 및 성별에 따른 콜라겐 용액의 점도 변화**

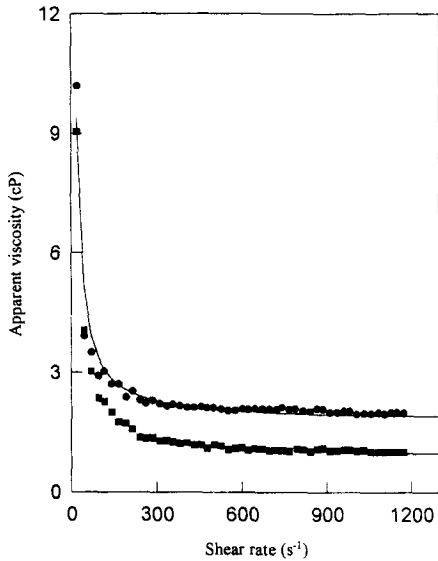
주령 및 성별에 따른 산가용성 콜라겐 및 불용성 콜라겐의 점도는 Table 1과 같다. 주령별 콜라겐 용액의 점도(kinematic viscosity)는 암, 수에 따라 각각 산가용성 콜라겐은 6.03~6.24 centistokes, 5.75~5.87 centistokes, 불용성 콜라겐은 1.10~1.15 centistokes, 1.03~1.05 centistokes를 나타냈다. 전반적으로 동일 주령의 콜라겐 용액은 암컷의 점도가 수컷의 경우에 비하여 높았으며, 산가용성 콜라겐의 점도가 불용성 콜라겐의 경우보다 높게 나타났다. 주령에 따른 콜라겐 용액의 점도는 생후 6~12주령의 점도가 높았던 반면에 3주령 및 28주령 이후에서의 점도는 낮게 나타났다. Gelatin인 경우 분자량과 관계가 있는 Bloom No가 높아짐에 따라 점도가 증가되었는데<sup>(6)</sup>, 콜라겐의 경우 용해도의 차이에 따른 콜라겐 형태 또는 성(sex)에 따라 점도가 크게 변화하였으며, 주령에 따라서는 성장기 또는 성숙기에서의 점도가 높게 나타나고 있어 연령에 의한 영향도 무시할 수 없을 것으로 생각되었다.

**콜라겐 용액의 유동 특성**

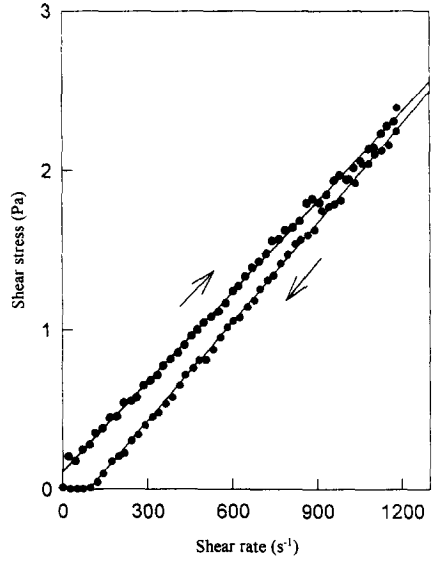
유체의 흐름 특성 : 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 유동 특성을 살펴보기 위하여 coaxial rotational type인 rotoviscometer(Hakke RV20, W. Germany)를 사용하여, 1% 콜라겐 용액의 전단속도(shear rate)에 따른 겔보기 점도(apparent viscosity)를 측정하였다.

전단속도에 따른 산가용성 콜라겐 및 불용성 콜라겐 용액의 점도 변화는 Fig. 1, 전단응력(shear stress)의 변화는 Fig. 2와 같다. 전단속도-점도 곡선에서 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐은 비뉴턴성 유체로서 전단속도의 증가에 따라 겔보기 점도가 감소하는 shear thinning현상을 보였으며, 전단속도-전단응력 곡선에서는 흐름을 위해서 일정한 항복응력치를 필요로 하는 Bingham plastic 유체의 특성을 나타냈다.

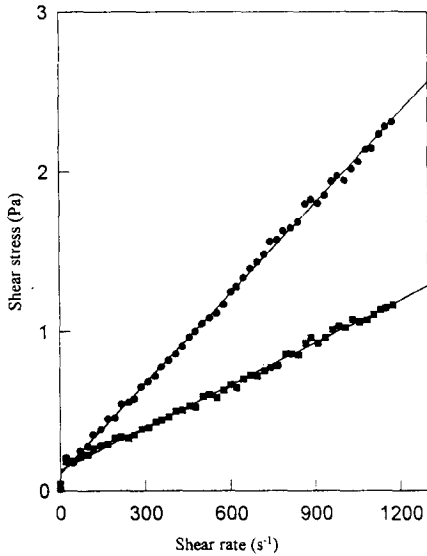
산가용성 콜라겐 및 불용성 콜라겐 용액의 시간의존



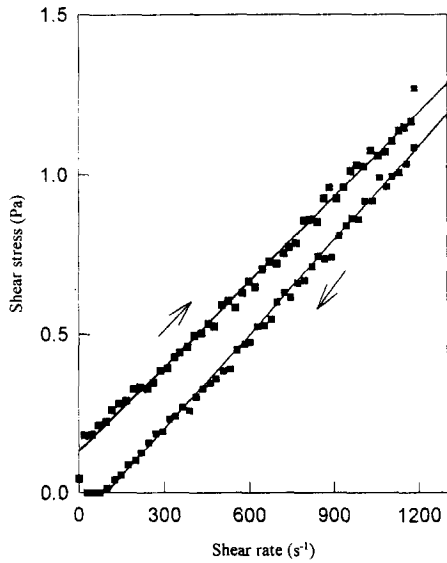
**Fig. 1.** Apparent viscosity-shear rate plot of 12 week-old male-rat skin collagen (1.0% conc., pH 6.0 and 30°C)  
 ●, Acid soluble collagen; ■, Insoluble collagen



**Fig. 3.** Hysteresis loop on the shear stress-shear rate of the acid soluble collagen of 12 week-old male-rat skin (10% conc., pH 6.0 and 30°C)



**Fig. 2.** Shear stress-shear rate plot of 12 week-old male-rat skin collagen (1.0% conc., pH 6.0 and 30°C)



**Fig. 4.** Hysteresis loop on the shear stress-shear rate of the insoluble collagen of 12 week-old male-rat skin (1.0% conc., pH 6.0 and 30°C)

특성을 알아보기 위하여 일정한 속도로 전단속도를 증가시켰다가 다시 같은 속도로 감소시키면서 전단속도에 따른 전단응력의 변화를 관찰하였으며, 이를 Fig. 3, 4에 나타냈다. 시간의존성 유체(time dependent fluid)의 경우, 전단속도는 전단응력의 함수일 뿐 아니라 전단시간

또는 그 유체가 과거에 받은 전단응력의 경과에도 영향을 받기 때문에 걸보기 집도는 전단속도 뿐만 아니라 전단응력을 받은 시간에도 의존하게 되는데, 산가용성 콜라겐 및 불용성 콜라겐 용액의 전단속도-전단응력 곡선을 살펴보면 상승곡선의 경로보다 하강곡선의 경로가 낮은

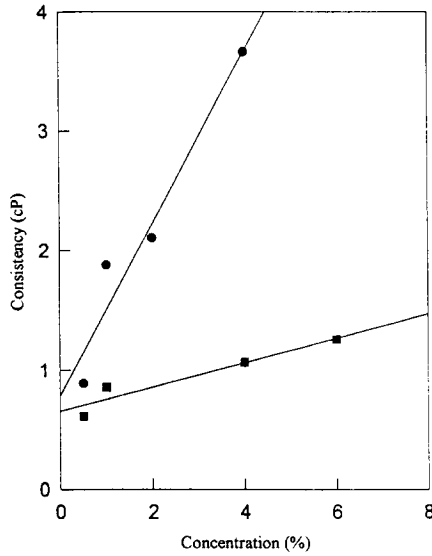


Fig. 5. Consistency of 12 week-old male-rat skin collagen according to collagen concentration (I=0.05, pH 6.0 and 30°C)

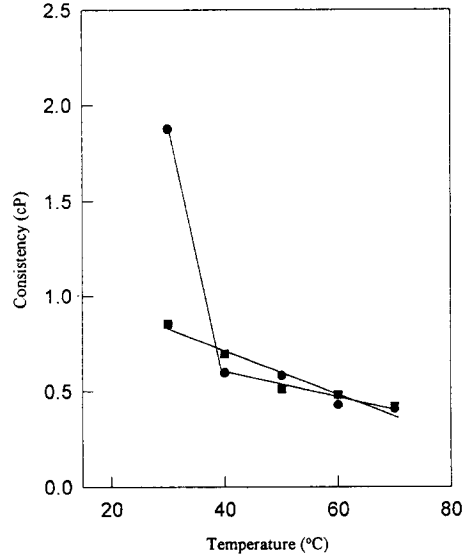


Fig. 6. Consistency of 12 week-old male-rat skin collagen according to temperature (I=0.05, pH 6.0 and 1.0 % conc.)

히스테리시스 루우프(hysteresis loop)를 형성함으로써, 전단응력이 오래 작용할수록 점도가 감소하는 thixotropic 유체의 특성을 나타냈다.

Thixotropic 유체의 경우, 전단응력이 작용하는 시간의 경과에 따라 겔보기 점도가 감소하나 그 변화는 가역적인 반면, shear thinning 유체는 thixotropic 유체와 마찬가지로 전단응력이 작용하는 시간의 경과에 따라 겔보기 점도가 감소하지만 그 변화가 비가역적인 것으로 알려지고 있는데<sup>(14)</sup>, 콜라겐 용액의 경우 전단응력이 작용함에 따라 겔보기 점도가 감소하였다가 전단응력이 제거됨에 따라 점도가 다시 증가하는 경향을 보여 thixotropic 유체의 특성을 나타냈으나, 원상태의 점도를 완전히 회복하지 못함으로서 thixotropic 유체와 shear thinning 유체의 특성을 동시에 나타낸 것으로 보였다. 이러한 현상은 분자간의 결합이 전단응력에 의해 끊어졌다가 일정시간이 경과하는 동안 다시 원상태로 충분히 회복되지 못했기 때문인 것으로 생각되었다.

콜라겐 농도에 따른 점도 특성 : 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 농도 변화에 따른 점도 특성을 살펴보고자, 콜라겐 용액(30°C, I=0.05, pH 6.0)의 농도를 조절하여 전단속도 1200 s<sup>-1</sup> 범위안에서의 겔보기 점도를 측정하여 점조도로 나타냈으며, 그 결과는 Fig. 5와 같다.

0.5, 1, 2 및 4% 농도에서의 산가용성 콜라겐의 점조도는 각각 0.887, 1.878, 2.107 및 3.662 cP였으며 농도 증가에 따라 직선적으로 증가하는 추세를 보였다(r=0.972). 불용성 콜라겐의 점조도는 0.5, 1, 4 및 6% 농도에서 각각 0.607, 0.855, 1.061 및 1.253 cP로서, 산가

용성 콜라겐의 경우와 마찬가지로 농도 증가에 따라 점조도가 증가하는 양상을 나타냈으나(r=0.957), 증가 속도는 산가용성 콜라겐에 비하여 낮게 나타났다.

일반적으로 단백질 용액의 점도는 저농도 범위에서는 직선적으로 증가하나 고농도로 갈수록 지수적인 증가 추세를 보이는 것으로 알려져 있기 때문에, 본 실험에서 콜라겐의 농도를 더욱 높일 경우, 점도 변화는 또다른 양상을 보일 것으로 예상되었다.

온도에 따른 점도 특성 : 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 온도변화에 따른 점도 특성을 살펴보기 위하여 30, 40, 50, 60 및 70°C 온도에서의 겔보기 점도를 측정하여 점조도로 나타냈으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

산가용성 콜라겐의 점조도는 30°C에서 1.878 cP였으나 40°C에서는 0.598 cP로서 급격한 점도 저하를 보였으며 50, 60 및 70°C에서는 각각 0.583, 0.428 및 0.408 cP로서 온도증가에 따라 서서히 감소되는 경향을 나타냈다. 30~40°C 온도 구간에서의 급격한 점도 변화는 콜라겐의 변성온도(transition temperature)와 관련이 있을 것으로 예상되었다.

불용성 콜라겐의 점조도는 30, 40, 50, 60 및 70°C에서 각각 0.855, 0.697, 0.511, 0.482 및 0.418 cP로서, 산가용성 콜라겐의 경우와 마찬가지로 온도 증가에 따라 서서히 감소하는 경향을 나타냈다.

온도 변화에 따른 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 점도를 비교해 보면, 30°C에서는 산가용성 콜라겐이 불용성 콜라겐보다 훨씬 높은 점조도를 나타냈으나, 온도가 증가하면서 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 점조도

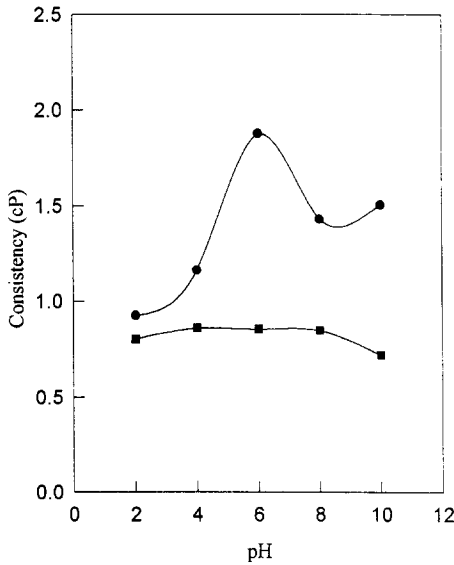


Fig. 7. Consistency of 12 week-old male-rat skin collagen according to pH (I=0.05, 1.0% conc. and 30 °C)

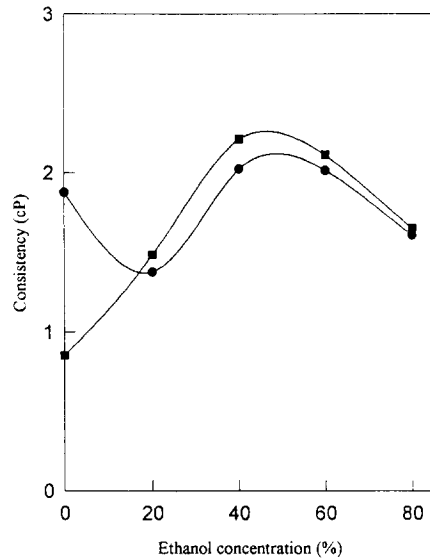


Fig. 8. Consistency of 12 week-old male-rat skin collagen according to ethanol concentration (1.0% conc., pH 6.0 and 30 °C)

가 비슷해지는 경향을 보였다. 이는 산가용성 콜라겐의 점도 변화가 온도에 민감하다는 것을 시사하였으며, 온도가 증가함에 따라 산가용성 콜라겐의 열변성이 일어나 불용성 콜라겐의 경우와 유사한 물성을 나타낸 것으로 예상되었다.

**pH에 따른 점도 특성:** 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 pH 변화에 따른 점도 특성을 조사하기 위하여 1% 콜라겐 용액(30°C, I=0.05)의 pH를 2, 4, 6, 8 및 10으로 조절하여 겔보기 점도를 측정하여 점조도로 나타냈으며, 그 결과는 Fig. 7과 같다. 산가용성 콜라겐의 점조도는 pH 2, 4, 6, 8 및 10에서 각각 0.926, 1.162, 1.878, 1.431 및 1.505 cP로 pH 2~6까지 점조도가 증가하여 pH 6에서 최대값을 나타내었고, pH 6~8에서 감소하였다가 pH 10 부근에서 다시 증가하는 biphasic 현상을 나타냈다. 이러한 현상은 tissue collagen의 swelling이 pH 2~6 및 pH 10 이상에서 나타나는 현상<sup>15)</sup>과 유사하였기 때문에, pH에 따른 점도의 변화는 swelling 현상과 밀접한 관련이 있을 것으로 예상되었다.

불용성 콜라겐의 점조도는 pH 2, 4, 6, 8 및 10에서 각각 0.803, 0.861, 0.885, 0.848 및 0.720 cP로서, pH 변화에 따라 점도 변화가 크지 않았다. 본 실험에서 사용한 불용성 콜라겐은 조제 과정이 젤라틴과 유사하였는데, pH에 따른 젤라틴 점도 변화는 염농도에 매우 민감한 것으로 보고되었으나<sup>16)</sup>, pH에 따라 점도 변화가 크지 않았던 불용성 콜라겐에서는 점도 측정시 저농도의 염이 첨가되어 염에 의한 영향이 무시되었기 때문인 것으로 생각되었다.

**에탄올 농도에 따른 점도 변화:** 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 에탄올 농도에 따른 점도 특성을 살펴보기 위하여 1% 콜라겐 용액(pH 6.0, I=0.05)에서의 에탄올 농도를 0, 20, 40, 60 및 80%로 조절하여 에탄올 농도에 따른 겔보기 점도를 측정하여 점조도로 나타냈으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

에탄올 농도 0, 20, 40, 60 및 80%에서 산가용성 콜라겐의 점조도는 각각 1.878, 1.375, 2.024, 2.013 및 1.608 cP를, 불용성 콜라겐의 점조도는 각각 0.855, 1.484, 2.213, 2.112 및 1.653 cP를 나타냈다.

산가용성 콜라겐의 경우, 에탄올 농도가 0에서 20%로 증가함에 따라 점조도가 급격히 감소하였는데, 이는 콜라겐 분자의 구조안정성에 관여하고 있던 물분자가 에탄올 첨가에 의한 탈수현상으로 콜라겐 분자의 shape factor에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각되었으며, 에탄올 농도가 더욱 증가함에 따라 나타난 점도 변화는 에탄올과 물의 유전함수의 차이에 따른 콜라겐 용액의 구조적 변화 때문인 것으로 생각되었다. 즉, 물의 유전함수가 80인데 반하여 에탄올의 유전함수는 24로 유전함수가 낮은 에탄올이 물분자를 대체함으로써, 에탄올 농도 40%에서는 콜라겐 분자간의 interchain crosslink가 증가되어 점도가 증가한 것으로 보였던 반면에 에탄올 농도 60% 이상에서는 에탄올에 의한 콜라겐 분자간의 공유 결합과 수소성 결합이 더욱 진행되어<sup>17)</sup>, 용해도가 저하되고 응집현상이 일어나 점도가 감소된 것으로 생각되었다.

불용성 콜라겐은 산가용성 콜라겐과 달리 에탄올 농도

20%에서 점도도의 감소가 나타나지 않았으며, 에탄올 농도 40%까지 계속 증가하였다. 불용성 콜라겐은 이미 언급한 바와 같이 가압증자하여 얻은 추출물로서, 콜라겐 변성이 진행되었던 상태였기 때문에 산가용성 콜라겐에 서처럼 helix 형태의 유지를 위한 수소결합이 에탄올 첨가로 개열되면서 발생하는 탈수현상이 미미한 반면에, 유전항수의 차이로 인한 interchain crosslink가 증가하였기 때문에 초기에 점도가 증가한 것으로 보여졌다. 에탄올 농도 60% 이상에서는 산가용성 콜라겐의 경우와 마찬가지로 콜라겐 분자간의 응집으로 혼탁현상(turbidity)이 수반되었는데, 이로 인하여 점도가 감소된 것으로 생각되었다.

요 약

피부조직에서 추출한 콜라겐의 유동특성을 검토하여 콜라겐을 효율적으로 활용할 수 있는 기초자료를 얻고자 하였다.

콜라겐의 점도는 동물의 나이와 성(sex), 콜라겐 종류에 따라 차이를 보였다. 즉, 주령에 따라서는 콜라겐의 종류에 관계없이 6~12주령의 것이 비교적 높게 나타났으며, 동일 주령에서는 수컷의 점도보다 암컷의 점도가, 그리고 불용성 콜라겐의 점도보다 산가용성 콜라겐의 점도가 높게 나타났다. 콜라겐 용액은 Bingham plastic 및 thixotropic 유체의 특성을 나타냈으며, 온도, pH, 에탄올 농도 및 콜라겐 농도에 따라 점도 변화가 뚜렷하게 나타났다. 즉, 콜라겐 농도를 6%까지 높일 경우 콜라겐 용액의 점도도는 직선적으로 증가하는 경향(산가용성 콜라겐  $r=0.972$ , 불용성 콜라겐  $r=0.957$ )을 나타냈는데, 산가용성 콜라겐의 증가속도가 불용성 콜라겐의 경우보다 높게 나타났다. 온도 증가에 따라 콜라겐 용액의 점도도는 감소하였으며 특히, 산가용성 콜라겐에서는 30~40°C 온도구간에서 점도도가 급격히 감소하였다. pH에 따라 산가용성 콜라겐의 점도도는 pH 6에서 최대치를 보였고, pH 10 부근에서 다시 증가하는 biphasic 현상을 나타냈으나, 불용성 콜라겐의 경우는 pH에 큰 영향을 받지 않았다. 에탄올 농도에 따른 산가용성 콜라겐과 불용성 콜라겐의 점도도는 에탄올 농도 40~60% 수준에서 높게 나타났다.

문 헌

1. Piez, K.A.: Collagen. In *The Physiology and Biochemistry of Muscle as a Food*, Briskey, E.J., Cassens, R.G. and Trauman, J.C.(ed), Univ. of Wisconsin Press, Madison, Vol.1, p.315 (1966)
2. Battista, O.A.: Microcrystalline collagens. In *Microcrystal Polymer Science*, Battista, O.A.(ed), McGraw-Hill,

- Inc., New-York, p.58 (1975)
3. Komanowsky, M., Sinnamon, H.I., Elias, S., Heiland, W.H. and Arceto, N.C.: Production of comminuted collagen for novel applications. *J. Am. Leather Chem. Assn.*, **69**, 410 (1974)
4. Turkot, V.A., Komanowsky, M. and Shinnamon, H.I.: Comminuted collagen: estimated costs of commercial production. *Food Technol.*, **32**(4), 48 (1978)
5. Cole, C.G.B. and McGill, A.E.J.: Technical note: effect of animal age and conditioning method on the conversion of bovine hide into gelatine. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, **23**, 525 (1988)
6. Leuenberger, B.L.: Investigation of viscosity and gelation properties of different mammalian and fish gelatins. *Food Hydrocolloids*, **5**, 353 (1991)
7. Hayashi, R., Kawamura, Y., Ohtsuka, T. and Itoh, N.: Preparation of amidated gelatins and their physicochemical properties. *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 2213 (1990)
8. Bailey, A.J.: The biological diversity of collagen: A family of molecules. In *Advances in Meat Research*, Pearson, A.M., Dutson, T.R. and Bailey, A.J.(ed), Van Nostrand Reinhold Company, New York, Vol.4, Collagen as a food, p.1 (1985)
9. Veis, A.: Collagen fibrillogenesis. *Connective Tissue Research*, **10**, 11 (1982)
10. Berg, R.A. and Prockop, D.J.: The thermal transition of a nonhydroxylated form of collagen. Evidence for a role for hydroxyproline in stabilizing the triple-helix of collagen. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **52**, 115 (1973)
11. Privalov, P.L.: Stability of proteins. Proteins which do not present a single cooperative system. *Adv. Protein Chem.*, **35**, 1 (1982)
12. Allian, J.C., LeLous, M., Cohen-Solai, L., Bazin, S. and Maroteaux, P.: Isometric tension developed during the hydrothermal swelling of rat skin. *Connec. Tissue Res.*, **7**, 127 (1980)
13. Harkness, R.D. and Nimni, M.E.: Chemical and mechanical changes in the collagenous framework of induced by thiol compounds. *Acta Physiologica Academiae Scientiarum Hungaricae Tomus*, **33**, 325 (1968)
14. Bourne, M.C.: *Food Texture and Viscosity*, Academic Press, New York, p.219 (1982)
15. Johns, P.: The Structure and Composition of Collagen Containing Tissues. In *The Science and Technology of Gelatin*, Ward, A.G. and Courts, A.(ed), Academic Press, New York, p.54 (1977)
16. Stainsby, G.: The Physical Chemistry of Gelatin in Solution. In *The Science and Technology of Gelatin*, Ward, A.G. and Courts, A.(ed), Academic Press, New York, p.114 (1977)
17. Scopes, R.K.: Separation by precipitation. In *Protein Purification*, Springer-Verlag, New York, p.52 (1982)

(1995년 4월 20일 접수)