

섬유의 분자량

1. 머리말

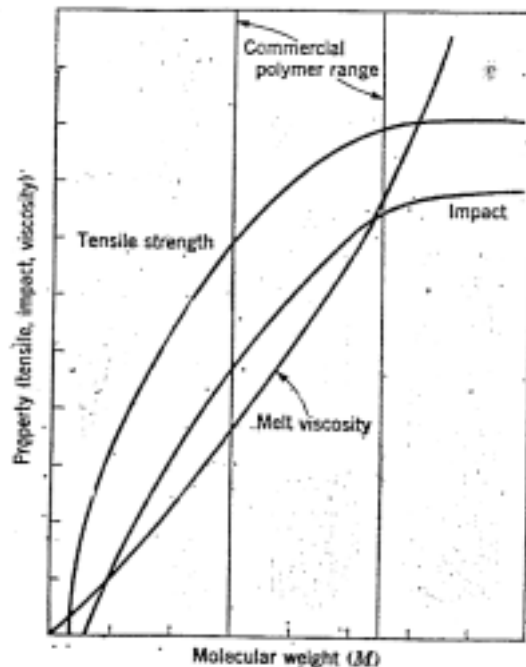
기술 해설문으로 「섬유의 분자량」을 다루기로 한다. 문중에 나오는 사용 용어는 될 수 있는 한 대한 화학회에서 펴낸 화학 술어집에 따라 표기했으나 「점성도」를 「점도」로 표기한 것, 종래 사용되어 온 「2량체」, 「3량체」등을 「2합체」, 「3합체」등으로 표기한 것 등 일부 예외도 있다.

2. 중합체의 분자량¹⁾

수크로스(sucrose)와 같은 저분자량의 유기화합물은 불순물을 함유치 않을 때 분자량(M)이 모두 같음으로써 단분산성을 띠우는 것과는 대조적으로 대부분의 고분자물은 다분산성인 것이 특징이다. 물론 분별조작을 통해서 시료의 분자량 분포를 좁힐 수 있을지는 모르겠으나 합성 중합체계에서 단분산계를 찾아보기란 힘든 일이다. 따라서 우리에게서 평균 분자량($\bar{M}$)이 중요성을 띠우게 된다.

일반적으로 고중합체의 밀도나 굴절률과 같은 성질은 분자량과는 근본적으로 무관한다. 그러나 비결정성 중합체의 용융점도, 연화온도, 인장 및 충격강도 그리고 열저항성과 같은 성질들은 중합체 사슬의 길이와 관계가 있다. <그림 1>에 표시된 바와 같이 인장 및 충격강도는 사슬의 길이가 증가함에 따라 급속히 증가하다 종국에는 거의 일정치에 이르게 된다. 이에 반해서 용융점도는 분자량이 증가함에 따라 급격히 계속적으로 증가한다. 실제로 있어 분자량이 매우 큰 중합체는 가공하기가 어려우므로 물성과 가공성을 함께 고려하여 중합체의 분자량을 제어하는 것이 일반적이며, 또한 물성은 다분산

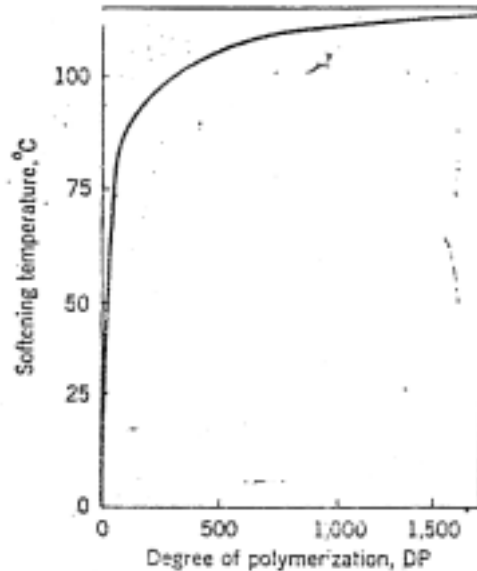
도에도 관계됨을 명심해야 한다.



<그림 1> 중합체의 성질과 분자량과의 관계

<그림 2>에 표시된 바와 같이 분자량이 적은 폴리에틸렌(polyethylene)의 연화온도는 중합도에 비례한다. 즉 에틸렌의 2합체와 3합체는 기체이고 중합도가 4이상인 올리고머(oligomer)들은 액체이다. 이들 액체의 점도는 사슬의 길이가 증가함에 따라 증가하여 중합도가 약 30되는 폴리에틸렌은 그리스(grease)와 같이 된다. 중합도가 약 50이 되면 파라핀 왁스(paraffin wax)와 비슷해지고 더욱 중합도가 증가하면 굳어 간다. 중합도가 400 이상인 폴리에틸렌은 100℃이상의 연화점을 갖는 굳은 수지이다. 비슷한 중합도를 갖는 중합체를 비교하는 경우라면 중합체 주쇄의 탄소 원자수와 분자간력이 또한 고려되어야 한다. 즉 중합도가 50~100인 폴리(헥사메틸렌 아디프아미드)[poly(hexamethylene adipamide)](나일론 6·6)는 그와 맞먹는 중합도를 갖는 폴리에틸

렌보다 더 굳는데 이것은 나일론 6·6의 분자간력이 큰 것과 관련이 있기 때문이다.



<그림 2> 폴리에틸렌의 연화온도와 중합도와의 관계

3. 평균 분자량²⁾

중합체의 평균 분자량을 나타내는 방식에는 몇가지가 있는데 가장 널리 쓰이는 것들로 수 평균 분자량($\bar{M}_N$), 점도 평균 분자량($\bar{M}_V$) 및 무게 평균 분자량($\bar{M}_W$)이 있으며 그 밖에 Z 평균 분자량($\bar{M}_Z$)과 $Z+1$ 평균 분자량($\bar{M}_{Z+1}$)이 있다.

[1] 수 평균 분자량

만약 분자량의 측정결과가 막삼투법, 끓는 점 오름법 또는 말단기 분석법 등에 의한 것과 같이 분자 수에 의해서 좌우되는 것이라면 그것은 수 평균

분자량을 나타낸다. 원래 총괄성(colligative property)이란 용액의 농도가 충분히 묽을 때 용질의 몰(mole) 분율에 좌우되지만 중합체는 중합도가 다른 분자쇄로 이루어지므로 각각의 분자쇄는 그들 자신의 농도를 갖는다. 따라서 전 용질의 몰 분율을 결정하기 위하여는 각각의 분자쇄의 몰 분율을 서로 더해줄 필요가 있으며 이때 용질의 전 몰 수는 $\sum N_i$ 로 표시할 수 있다. 여기서 N_i 는 사슬의 길이가 i 인 분자쇄의 몰 수이다. 마찬가지로 시료의 전 무게(W)는

$$W = \sum W_i \dots \dots \dots (1)$$

로 표시할 수 있는데 여기서 W_i 는 사슬의 길이가 i 인 분자쇄의 그램으로 표시한 실제 무게이다. 몰 수에 분자량을 곱한 것은 바로 그램 단위의 무게와 같으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$W = \sum N_i W_i \dots \dots \dots (2)$$

따라서 수 평균 분자량($\overline{M}_N$)은 전 분자쇄의 무게를 전 몰 수로 나눈 값으로 정의된다. 즉

$$\overline{M}_N = W / \sum N_i \dots \dots \dots (3)$$

또는 식(2)을 식(3)에 대입하여

$$\overline{M}_N = \sum N_i W_i / \sum N_i \dots \dots \dots (4)$$

한가지 예를 들어 어떤 중합체가 분자량 10^3 , 10^4 및 10^5 인 분자쇄 각각 100몰로 이루어졌다면 수 평균 분자량은 다음과 같이 된다.

$$\overline{M}_N = \frac{(100) \cdot (10^3) + (100) \cdot (10^4) + (100) \cdot (10^5)}{300} = 3.7 \times 10^4$$

[2] 무게 평균 분자량³⁾

광산란성과 같은 성질은 용질의 무게에 의해서 좌우되면 무게 평균 분자

량($\overline{M}_w$)은 이러한 성질의 측정결과로부터 얻어진다. 즉 중합체의 각 분자쇄의 무게에 따라 평균 분자량을 결정한 것이 무게 평균 분자량으로서 중합체의 전 무게 W에 M_i 와 W_i 와의 승적의 화와 같을 것이므로

$$W \cdot \overline{M}_w = \sum W_i M_i$$

또는

$$\overline{M}_w = \frac{\sum W_i M_i}{W} = \frac{\sum W_i M_i}{\sum W_i} = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

그러므로 [1]의 예와 같은 중합체의 무게 평균 분자량은

$$\overline{M}_w = \frac{(100)(10^3)^2 + (100)(10^4)^2 + (100)(10^5)^2}{(100)(10^3) + (100)(10^4) + (100)(10^5)} = 9.1 \times 10^4$$

이 된다.

[3] Z 및 Z+1 평균 분자량

Z 및 Z+1 평균 분자량은 침강법에 의해서 얻어지며 $\overline{M}_w$ 보다 큰 값을 가지나 실제로 사용되는 경우는 극히 드물다. 다음 식(6) 및 (7)과 같이 정의된다.

$$\overline{M}_z = \sum N_i M_i^3 / \sum N_i M_i^2 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

$$\text{및 } \overline{M}_{z+1} = \sum N_i M_i^4 / \sum N_i M_i^3 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (7)$$

[1]의 예와 같은 중합체인 경우 $\overline{M}_z$ 는 9.9×10^4 , $\overline{M}_{z+1}$ 는 약 1×10^5 정도가 된다.

[4] 점도 평균 분자량

(A) 점도의 의미와 그 표시법⁴⁾

<그림 3>에서 정지면 A위에 액체를 생각한다. 지금 A로부터 H만큼 떨어진 B에서 정지면의 방향 y로 τ 의 응력이 발생했을 경우 A와 B 사이의 각 액층은 v 인 속도로 흐르게 되나 그 속도는 A로부터의 거리 x 에 관계된다. 그러므로 그 속도물때 dv/dx 를 D 라 하면

$$\tau = \eta \cdot D \dots \dots \dots (8)$$

인 뉴턴의 법칙이 성립되는데 식 (8)의 정수 η 를 점도 또는 절대점도라고 부른다. η 의 단위는 $\tau = 1 \text{ dyne/cm}^2$, $D = 1 \text{ sec}^{-1}$ 일 때 식 (8)로부터 $1 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$, 즉 1 poise가 된다.

점도 표시법에는 이 밖에도 여러가지가 있다. 지금 용액의 점도를 η , 용매의 그것을 η_0 라 하면

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{\eta}{\eta_0} \dots \dots \dots (9)$$

로 하여 η_{rel} 를 상대점도라 한다.

또 용매에 대한 용액의 점도 증가율을 고유점도(specific viscosity)라 하고

$$\eta_{\text{sp}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_{\text{rel}} - 1 \dots \dots \dots (10)$$

로 표시한다.

한편 단위 농도(g/100ml)당의 고유점도를 환산점도(reduced viscosity)라 하고

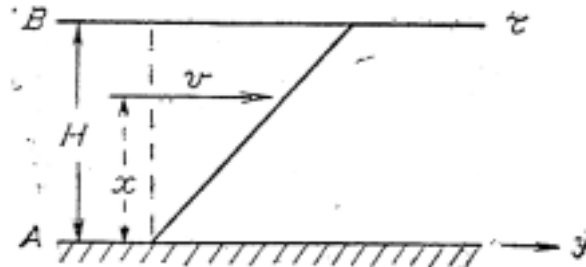
$$\eta_{\text{red}} = \frac{\eta_{\text{sp}}}{C} \dots \dots \dots (11)$$

로 표시하나 식 (11)의 농도 C 를 무한히 묽혔을 경우, 즉 $C \rightarrow 0$ 인 극한으로 환산한 η_{red} 를 본성점도(intrinsic viscosity)라 하고

$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{sp}}}{C} \dots \dots \dots (12)$$

로 나타낸다. 이 밖에 식(13)과 같이 표시되는 특유점도(inherent viscosity)⁵⁾도 쓰이는데 $C \rightarrow 0$ 인 극한으로 환산한 η_{inh} 를 역시 본성점도 $[\eta]$ 로 표시한다.

$$\eta_{inh} = \frac{\ln \eta_{rel}}{C} \dots\dots\dots(13)$$



<그림 3> 유체의 흐름

(B) 점도 평균 분자량

점도와 분자량 사이에는 Mark-Houwink의 식 (14)의 관계가 성립한다.

$$[\eta] = kM^a \dots\dots\dots(14)$$

여기서 k와 a는 점도 측정시의 중합체-용매계에 의존하는 정수이다. 불균 일계에서는 본성점도란 식 (15)에서와 같이 사슬의 길이가 i인 분자쇄의 양에 의해서 증가 된다.

$$[\eta]_i W_i = k M_i^a W_i \dots\dots\dots(15)$$

따라서 전 분자쇄에 대하여는

$$[\eta] = k \sum M_i^a W_i / \sum W_i$$

을 얻게 되는데 식 (2)에 따라

$$[\eta] = k \sum N_i M_i M_i^a / \sum N_i M_i$$

$$\therefore [\eta] = k \sum N_i M_i^{a+1} / \sum N_i M_i$$

만약에 식 (14)에서 분자량을 $\bar{M}_v$ 로 놓으면

$$[\eta] = k M_v^a = k \sum N_i M_i^{a+1} / \sum N_i M_i \dots\dots\dots(16)$$

따라서 점도 평균 분자량 M_v^a 는 식 (17)과 같이 정의된다.

$$\overline{M}_v = [\sum N_i M_i^{a+1} / \sum N_i M_i]^{1/a} \dots\dots\dots (17)$$

그러므로 [1]의 예와 같은 중합체의 점도 평균 분자량은 a의 값을 0.75라 할 때

$$\overline{M}_v = [(100)(10^3)^{1.75} (100)(10^4)^{1.75} + (100)(10^5)^{1.75} / (100)(10^3) + (100)(10^4) + (100)(10^5)]^{\frac{1}{0.75}} = 8.9 \times 10^4$$

이 된다.

<표 1> k와 a의 값

용 매	$k \times 10^4$				$a \pm 0.02$			
	25°C	35°C	45°C	55°C	25°C	35°C	45°C	55°C
오로토헤로페놀 (O-chlorophenol)	1.9	2.1	2.3	2.6	0.81	0.80	0.78	0.77
디클로로아세트산 (dichloroacetic acid)	67	49	40	33	0.47	0.49	0.50	0.52
트리플루오로아세트산 (trifluoroacetic acid)	14	13	11	10.5	0.64	0.66	0.68	0.69
페놀테트라클로로에탄 (phenol-tetrachloroethane)	14	12.5	11	9	0.64	0.65	0.66	0.67

식 (16)에서 k와 a는 이미 앞에서 말했듯이 어느 일정한 중합체-용매계에 서는 일정하며 점도 평균 분자량 $\overline{M}_v$ 는 a가 1일 때는 무게 평균 분자량과 같아짐을 알 수 있다. 일반적으로 각종 중합체-용매계에서 a의 값은 1~0.5사 이에 존재한다.

주어진 중합체-용매계에 대한 k와 a의 값은 막삼투법이나 광산란법, 그리고 그 밖의 방법에 의해서 분자량이 측정된 일련의 균일분별체의 본성점도를 측정함으로써 얻을 수 있다. <표 1>에 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (polyethylene terephthalate)에 대해서 Moore와 Sanderson⁶⁾이 말단기 정량법에

의해서 얻어낸 k 와 a 의 값을 싣는다.

3. 평균 분자량의 측정

섬유의 분자량을 추정해 내는 방법은 고도로 전문화되어 있으나 얻어지는 결과에는 매우 큰 상이점이 있다. 분자량을 추정해 낼 때의 주요한 문제점 가운데 하나로서 일반적으로 시료용액이 마련되어야 한다는 점과 관련하여 중합체를 녹일 때 분자쇄가 절단됨으로써 낮은 분자량값이 얻어지지 않도록 세심한 주의가 필요하다는 점을 들 수 있다. 예컨대 나일론은 보통 메타-크레졸(m-cresol)에 녹여 시험하게 되는데 이때 해중합이 일어나지 않도록 하기 위해서 낮은 온도가 사용되어야 한다.

다음과 같은 방법^{7), 8)}들이 섬유의 분자량을 결정하는데 이용된다.

- (1) 용액의 점도 측정법($\overline{M}_v$)
- (2) 초원심분리기를 사용하는 침강법($\overline{M}_z > 10^4$)
- (3) 막삼투법($\overline{M}_N: 10^6 \sim 2 \times 10^4$)
- (4) 고중합체 용액에 의한 광산란법($M_w > 5 \times 10^4$)
- (5) 말단기의 화학적 정량법($M_N < 5 \times 10^4$)
- (6) GPC(gel permeation chromatography)법($\overline{M}_N$ 및 $\overline{M}_w$)

여기서는 말단기의 화학적 정량법과 용액의 점도 측정법을 다루기로 한다.

[1] 말단기의 화학적 정량법²⁰⁾

여기서 기술하는 말단기 정량법은 캘리브레이션(calibration)을 요하지 않는 가장 기본적 분자량 측정법 가운데 하나로서 수 평균 분자량을 측정하는데 이용된다. 역사적으로 볼 때 말단기 분석은 반응성 말단기를 갖고 있는 축합

중합체에 대부분 응용되어 왔으며 말단기의 농도와 분자량과의 상관성이 비닐(vinyl)중합체에 대하여는 신빙성이 적은 것으로 생각된다. 화학적 말단기 분석으로 얻어질 수 있는 분자량의 실제 상한선은 사용 용매의 순도와 장치 등의 개선으로 종전의 25,000에서부터 50,000으로 확대되었으며 대부분의 물리적 분자량 측정법들이 5,000내지 10,000이하의 분자량 측정에는 그 응용이 어려움에 반해서 말단기법은 적어도 축합 중합체에 관한 한 별 구애를 받지 않는 점이 그 장점이라 하겠다.

한편 폴리아미드 섬유의 말단 아미노(amino)기는 산처리, 열처리 또는 빛에 의한 취약화 등에 의해서 변화하여 염색성 등에 영향을 미치므로 말단기 측정의 의의는 반드시 분자량을 얻어내는 것에만 국한되는 것이 아니다. 나일론 6 섬유의 말단 아미노기의 일부는 결정영역에 있음을 시사하는 보고⁹⁾가 있듯이 말단기 정량법은 섬유의 미세구조 연구에도 응용되고 있다.

(A) 계 산

말단기 분석에 의한 분자량의 측정은 보통 선형 중합체에만 응용된다. 이때 말단기의 총 수는 분자수의 2배가 됨을 쉽게 알 수 있다. 2개의 2관능성 단위체, 예컨대 디카르복시산(dicarboxylic acid)과 디아민(diamine)으로부터 제조되는 축합 중합체는 서로 다른 말단기를 함유하므로 각각의 말단기는 별도로 측정되어야 한다.

말단기의 농도는 보통 당량/10⁶g 또는 μ 당량/g으로 나타낸다. 수 평균 분자량 $\overline{M}_N$ 와 말단기 농도와의 관계는

$$\overline{M}_N = \frac{10^6 \times N}{\text{말단기 농도, } \mu\text{eq/g}}$$

으로 표시된다. 여기서 N은 1 또는 2인데 측정되는 말단기가 중합체 분자의 일단만의 것인가 또는 양단의 것인가에 따라 결정된다.

어떤 선형 축합 중합체는 2개 이상의 말단기를 함유한다. 즉 적은 양의 1

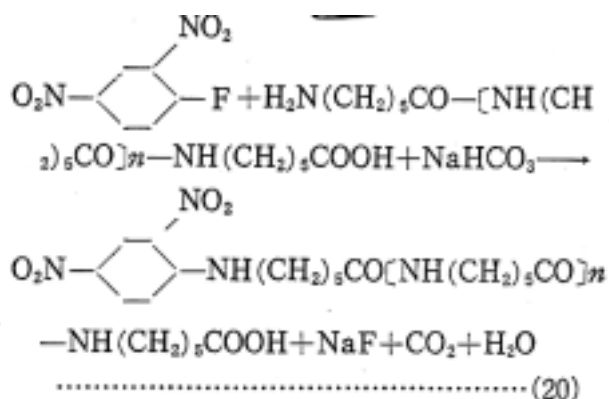
관능성 단위체가 분자량의 조절을 위해서 계획적으로 가해지기도 하는데 예를 들면 적은 양의 초산이 나일론 6·6을 중합할 때 가해진다. 그러므로 최종 중합체는 아미노 말단기와 카르복시 말단기는 물론 N-아세틸(N-acetyl) 말단기를 함유한다. 이러한 경우에는 전 말단기가 분자량의 결정을 위해서 측정되어야 한다.

$$\overline{M}_N = \frac{2 \times 10^6}{\text{전말단기 농도, } \mu\text{eq/g}}$$

(B) 정량¹⁰⁾

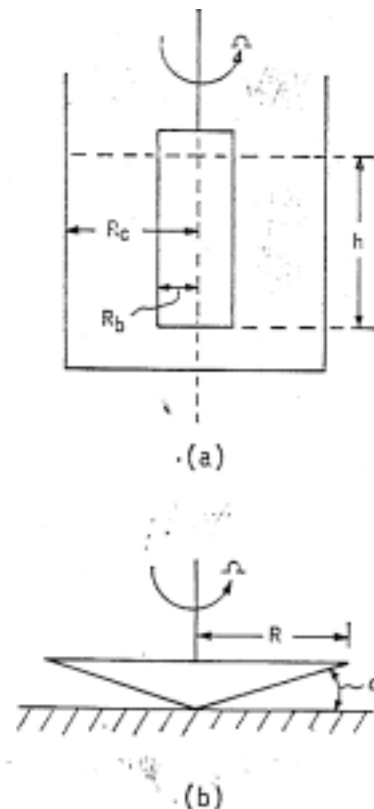
나일론 6을 예로 하여 기술한다.

1) FDNB에 의한 아미노 말단기의 정량 1-플루오르-2,4-디니트로벤젠(1-fluoro-2,4-dinitrobenzene)(FDNB)은 나일론의 아미노기와는 비이온성 반응염료와 같이 작용하여 밝은 노란색의 디니트로아닐린(dinitroaniline) 유도체를 생성한다[식 (20)]¹¹⁾



나일론 6 칩(chip)을 20메시(mesh) 정도의 크기로 으깨고 그 중에서 0.025g을 정확히 단 다음 여기에 3ml의 브롬화리튬(lithium bromide)용액을 가하여 가열(90□) 용해시킨다. 이어서 0.05N의 염산 수용액 0.3ml를 가하고 가열을 중지한다. 용액의 환류가 멈춘 뒤 FDNB 용액을 0.2ml 가하고 식기 전에 0.03~0.05g의 탄산수소나트륨을 가하면서 천천히 휘젓는다. 이로부터 80□에서 40분 동안 반응시키고 1ml의 포름산(formic acid)을 가한 다음 놓아 두어

식한다. 플라스크의 온도가 실온까지 식으면 포름산을 일정량 가하여 끓인다. 그리고 이 용액의 흡광도를 440nm의 파장에서 분광광도계를 사용해서 측정한다. 이어 같은 파장에서 교정물질인 *n*-(2,4-디니트로페닐)- ϵ -아미노카프로산 [*n*-(2,4-dinitrophenyl)- ϵ -aminocaproic acid](DNP-ACA)의 포름산 용액에서의 교정곡선을 만들어 측정치와 비교하여 말단 아미노기의 함량을 얻어 낸다. 교정물질의 합성¹²⁾은 다음과 같이 한다. 즉 ϵ -아미노카프로산 2g, 탄산수소나트륨 1g을 20ml 수용액으로 하고 FDNB 1g을 가하여 분산시킨다. 흔들어 주면서 놓아 두면 불균일상 반응이 일어나 기름상의 FDNB는 소실되고 DNP-ACA의 노랑색 결정이 석출돼 나온다. 초산 산성으로 하여 완전히 결정을 석출시켜 여과 분리하고 물, 알콜, 에테르로 씻어낸다.



<그림 4> 회전점도계의 형식

(a) 2중원통식 (b) 원볼 · 원판식

2) 탄소-14 표지 메탄올에 의한 카르복시 말단기의 정량

나일론을 트리플루오르화 붕소(boron trifluoride)와 탄소-14 표지 메탄올과의 혼합액에 녹인다. 이 혼합액은 각종 지방족 폴리아미드를 녹일 수 있을 뿐 아니라 에스터화제로서도 효과적이다. 카르복시 말단기가 표지 메탄올에 의해서 에스터화 되었으면 물을 가해 중합체를 침전시켜 말리고 산소를 넣은 플라스크 속에서 태워 액체 신타레이션(scintillation) 계수기로 세어 정량한다.

[2] 용액의 점도 측정법¹³⁾

(A) 회전 점도법

회전 점도계는 한 면이 다른 면과 상대적으로 회전하는 두 면 사이에 액체를 넣고 점도계를 작동시켜 액체에 기계적 전단작용을 발생시키는 원리에 입각하여 점도를 측정한다. 묽은 용액에 보편적으로 쓰이는 2중 원통식과 묽지 않은 중합체 용액에 보다 자주 사용되는 원뿔□원판식의 두가지가 있다<그림 4>.

1) 2중 원통식 점도계

시료는 속 원통과 바깥 원통 사이에 담는데 두 원통 사이는 바깥 원통의 반지름 R_c 에 비해서 작은 것이 보통이다. 바깥 원통이나 속 원통을 일정한 각속도 Ω 로 회전시키면 시료에 전단력이 작용하게 되며 일반적으로는 바깥 원통이 회전요소가 되고 속 원통은 비틀림을 측정하는 장치에 매달려 있다. 바깥 원통이 일정한 각속도로 회전하게 되면 액체의 점성저항으로 말미암아 비틀림이 속 원통에 전달된다.

점도 η 는 Margules의 식[식 (21)]으로부터 계산할 수 있다.

$$\eta = (M/4 \pi h \Omega)(1/R_b^2 - 1/R_c^2) \cdots \cdots \cdots (21)$$

단 h: 속 원통의 액체에 잠긴 길이

R_b : 속 원통의 반지름

2) 원뿔□원판식 점도계

시료는 원뿔과 납작 원판 사이에 담는데 다른 회전식 점도계와 마찬가지로 상대적으로 어느 한쪽이 회전하는 것에 의해서 전단작용을 받게 된다. 일반적으로는 아래요소가 소요 전단속도를 얻을 목적으로 일정 각속도로 회전되면 윗요소는 비틀림 측정장치에 매달려 있다. 이때 원뿔각 α 는 원뿔면과 수평 원판면 사이의 각도로 정의되는데 보통 5° 이하이다. 시료의 점성 끌림으로 전단응력이 윗요소로 전달됨으로써 비틀림 M 을 측정하게 된다.

식 (22)로부터 겉보기 점도 η_a 를 계산할 수 있다.

$$\eta_a = 3 \alpha M / 2 \pi R^3 \Omega = kM / \Omega \cdots \cdots \cdots (22)$$

단 R : 원뿔의 반지름

k : 정수($=3 \alpha / 2 \pi R^3$)

(B) 모세관 점도법

모세관 점도계에는 묽은 용액용과 묽지 않은 용액용의 두가지가 있으나 여기서는 유리제의 묽은 용액용<그림 5>에 대해서만 기술기로 한다.

오스트발트(Ostwald) U자관 점도계[<그림 5>의 (a)]는 가장 간편한 형식의 것으로 수직 유리관 속에 적당한 부피의 액체를 채우고 액면이 아래 벌브(bulb)의 상부 기준선 위까지 오도록 흡입한 다음 다시 액체를 모세관 속으로 흘러내리게 하여 액면이 상부 기준선으로부터 하부 기준선으로 떨어질 때까지 소요되는 시간을 측정하도록 되어 있다. 점도 η 는 포아쥬(Poiseuille)의 법칙에 따라 다음 식 (23)으로부터 산출한다.

$$\eta = \pi R^4 P t / 8 L V \cdots \cdots \cdots (23)$$

단, R : 모세관의 반지름

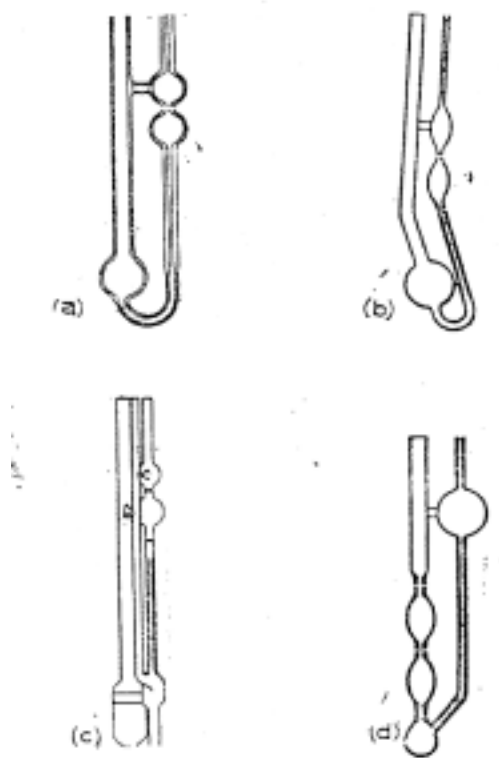
P : 액체로 하여금 모세관 속을 흘러내리도록 하는 압력

t: 액체가 흘러내린 시간

L: 모세관의 길이

V: 흘러내린 액체의 부피

오스트발트 점도계는 재현성 있게 수직으로 세워 놓지 못하면 측정결과에 오차를 낳게 한다. 캐논-펜스크(Canon-Fenske) 점도계[<그림 5>의 (b)]는 오스트발트 점도계의 2개의 암(arm)을 경사지게 만들어 상하 두 액면이 동일 수직선 위에 오도록 함으로써 점도계의 경사에 의한 오차를 줄이도록 한 것이다.



<그림 5> 유리점도계의 종류

- (a) 오스트발트(Ostwald) U자관 점도계
- (b) 캐논 · 펜스케(Cannon-Fenske)점도계]
- (c) 우벨로오드(Ubbelohde) 점도계
- (d) 가변 전단 응력 점도계

오스트발트 점도계나 캐논 $\square$ 펜스크 점도계에 있어서는 측정할 때마다 액체의 부피를 똑같이 취해 주어야 하는 점에 유의해야 하는데 그 이유는 액체를 흘러내리게 하는 압력이 액체의 상하 두 액면의 높이의 차에 비례하기 때문이다. 우벨로드(Ubbelohde) 점도계[<그림 5>의 (c)]는 액체의 부피를 일정히 해 주어야 하는 이러한 문제를 해결해 주고 있을 뿐 아니라 점도계로부터 액체를 쏟아내지 않고도 연속적으로 용액의 농도를 묽혀 쓸 수 있도록 해 준다.

한편 가변 전단응력 점도계[<그림 5>의 (d)]는 우벨로드 점도계의 변종으로 중앙 암에 있는 각 벌브마다 유효 전단응력이 다르게 작용토록 되어 있다.

5. 맺음말

이 글을 쓰기 전에는 「점유율의 분자량」은 물론 「분자량 분포」까지도 다룰 계획이었으나 그러기에는 허용 쪽수를 초과케 됨을 직감하고 그 반쪽을 떼어 버렸다. 또 같은 이유로 많은 「분자량 측정 방법」이 해설 대상에서 제외되었다. 졸문을 읽으신 분들의 양해를 구한다.