〔33〕 低中流速勾配範囲に用いる粘度計の試作

(1958年9月27日受理)

野田 春彦*

要 旨 同軸円筒型の回転粘度計で内筒を自由に回転させながら、これに制動を加える方法により、広い流れの勾配の範囲にわたっての測定を簡単に行なうことができるようにした。流速勾配1から 100 sec^{-1} にわたってミオシン B およびタバコモザイクウィルスの希薄溶液での測定実例をあげた。

1. 緒 言

溶液の粘性は溶質粒子の形や大きさの良いためやすくなるので、非常によく研究される。高分子の溶液の場合には粘性が測定に使用する流速勾配によって変り、そしてこの非ニュートン粘性を測定すると分子の形のみならず、分子の大きさや分子相互間の作用に関してもある程度の知見を得ることができる。この目的のために多くの粘度計が設計され使用されているが、最近 Eisenberg¹⁾ によってつくられたものは核酸の溶液に応用されて優秀な結果を得ている。われわれの研究室でも希薄なタンパク質の水溶液についての測定を計画し、新しく粘度計を試作して好結果を得ることができた。

2. 粘度計の構造

2.1 原理

第1図の①と②が同心円筒を形成し、その間隙に試料溶液を入れる。①の外筒は恒温の油に浸って一定速度で回転せしめられる。内筒②は③および④の2個の軸受に

第1図 粘度計断面図

ささえられて自由に回転する。外筒が回転すれば、内筒は介在する試料溶液の粘性によって回転させられるが、この回転に対しては⑤のアルミニウム円板と⑥の永久磁石によって制動が加えられる。この制動は回転数に比例するので内筒に加えられる制動の偶力は、実際にその大きさを測定しなくても円筒の回転速度で表現することができる。外筒を一定速度で回転させておき、内筒の回転速度が定常に達したときに内外筒の回転速度の差を知ると試料溶液に加えられた流速勾配(G)が求まる。その際の内筒の回転速度を ω とする。内外筒の間隔に溶媒を入れて、内筒の回転速度が ω となるとき溶媒の流速勾配(G_m)を求める。 G_m/G が G における相対粘度を表わす。

2.2 測定部

外筒と内筒の材料にカーベイトを用いた。カーベイトはグラファイトにベークライト系樹脂を含浸したもので化学的に安定で、熱膨張率が小さく、熱伝導率が大いという利点がある。内筒は中空としてあり、試料として比重が水と大差ないものを測定するときにはわざわざ浮くように重量を調整してある。内筒の下端は鈍角の円錐をなし、下面のごく中心部を除いて、すべての部分で試料溶液に加えられた流れの勾配が一定になるように設計してある。外筒は恒温の油に浸って、プリロードした精密級のボールベアリングにささえられて回転する。ベアリングを浸すので油を用いたのであるが、この油の中に銅のパイプを通し恒温の水を流し、かつ外部の断熱を良くしたので外界の温度にかかわらず $1/100^\circ\text{C}$ 程度の精度で一定温度を保つことができる。外筒を駆動するのは放電管制御の分巻電動機であるが、各速度での測定中 0.2% の誤差範囲内で一定速度の回転をする。内外筒の間隙の容量は約 4 ml であるが、測定には試料溶液 7 ml を用いて、内筒上面付近に流速勾配の不均一な部分になるべくできないようにし、かつ表面張力の影響を防いだ。この装置の場合のように非常に小さい力を問題にする場合には表面張力は大きな影響を示すものである。もし内外筒の間隙に小さい気泡でもはさまれると、あたかも試料の粘度が著しく増したかのように見え、しかも若干の弾性を示す。1つの試料について流速勾配1から 100 sec^{-1}

* 東京大学理学部生物化学科 駒場分室 (東京都目黒区 駒場町 856)

までの間に約 10 カ所の測定を行なうと約 1 時間半かかる。したがって前後に溶媒の測定を行なっても 4 時間ぐらいで 1 つの試料の測定を終ることができる。

2.3 軸受

摩擦による回転偶力を極小にするために計器用のサファイア受石を用い、ピボットには万年筆の尖端のイリドスミンの合金を用いて水溶液による腐食を避けた。受石の凹みは中央で曲率半径 0.06 mm, ピボット尖端は曲率半径 0.02 mm である。内筒は試料を入れると浮き上がるので、上部の軸受はスプリングで下に押され、10 g 程度の荷重がかかる。軸受の摩擦偶力は約 0.1 mg·cm であって、粘性率がセンチポアズ程度の試料で 1 sec^{-1} の流速勾配での測定にはあまり大きな誤差を生じないはずである。回転アルミニウム円板と磁石による制動が非対称な位置でかけられているので、軸受には横方向にもわずかの荷重がかかっているが、少なくとも流速勾配 100 sec^{-1} までの測定には何の影響もみられない。

2.4 回転数の測定

内筒、外筒いずれも目印をつけてあり、それぞれの何回転かに対する時間をストップウォッチで読む。将来は電氣的に回転速度を測定するように改良するつもりである。この装置の特徴は内筒が連続的に回転するために、内筒外筒の機械的仕上げや、軸受の摩擦に多少の不平均があっても 1 回転の間にそれが平均されてしまうことにある。そこで内筒の回転速度の測定には、この平均が行なわれるに十分なだけ内筒を回転させて、平均速度を測定する。あまり回転速度が速くなると、眼では追うことができなくなるので、現在では約 100 sec^{-1} 以下でのみ測定している。

3. 測定の実例

水を試料として測定を行なった場合の、流速勾配と内筒の回転速度の関係の例を第 2 図に示す。大体良い直線関係を示すが、流速勾配 10 sec^{-1} 付近では 2% 程度、

第 2 図 水の場合の流速勾配と円筒の回転数の関係 (20°C)

第 3 図 ミオシン B 溶液の粘度 (20°C, 溶媒 0.6 MKCl)

第 4 図 タバコモザイクウィルス溶液の粘度 (1.2 mg/ml, 21.1°C, 溶媒 M/100 リン酸緩衝液 pH 7.0)

1 sec^{-1} 付近では 20% 程度直線から外れるのは軸受の摩擦に起因すると考えられる。筋肉の収縮タンパク質ミオシン B の溶液での測定を第 3 図に示す。流動復屈折の測定からミオシン B 分子の回転拡散定数は 0.7 sec^{-1} であるので、流速勾配 10 sec^{-1} 以下で粘性率の大きくなることは予期されるとおりであるが、 0.7 sec^{-1} 以下の流速勾配でも粘性率は一定になる様子がなく、流速勾配 0 の値を求めることができない。第 4 図はタバコモザイクウィルスについての測定例である。タバコモザイクウィルスの回転拡散定数は約 550 sec^{-1} であるが、粘性率は流速勾配 10 sec^{-1} 以下で増加を始め、やはり流速勾配の小くなるほど粘性率は大きくなり、飽和するところがない。この現象に関しては別に報告するつもりであるから、ここには詳説しない。

付 記： 本装置の製作にあたってカーベイト材料を提供して下さった東海電極製造株式会社荒沢裕太郎氏、合金ピボット材料を提供して下さったパイロット万年筆株式会社中島光氏、タバコモザイクウィルスを提供して下さった専売公社森野試験場日高勝氏、および工作上いろいろと助言しかつ実際の製作に当たっていただいた旧理工学研究所工作部の辻清雄氏に厚く感謝する。

文 献

- 1) E.H. Frei, D. Treves and H. Eisenberg: *J. Polym. Sci.*, **25**, 274 (1957)

A Viscometer for Low and Medium Gradient of Flow

By Haruhiko Noda*

A Couette type viscometer was designed and constructed. The inner cylinder is supported by a pair of very small pivot bearings, and allowed to rotate with opposing brake torque proportional to the rotational speed. Actual measurements were performed on very dilute solutions of myosin B and tobacco mosaic virus in the range of shear rate of about 1 to 100 sec^{-1} .

* Department of Biophysics and Biochemistry Faculty of Science, University of Tokyo (Hongo, Tokyo)