



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

KMM 310

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI I

ÖZGÜL AĞIRLIK VE VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ

Yrd.Doç.Dr.S.Gamze ERZENGİN

ÖZGÜL AĞIRLIK VE VİSKOZİTE ÖLÇÜMLERİ

AMAÇ

- Sıvıların özgül ağırlıklarının sıcaklıkla değişimini incelemek.
- Sıcaklığın akışkanların viskozite davranışı üzerindeki etkisini iki farklı ölçüm metoduyla gözlemlemek.

ARAÇ-GEREÇ

- Pipet tipi viskometre
- Brookfield DV-III-RV Reometre
- Isıtıcı manyetik karıştırıcı
- Terazi
- Cam bir piknometre
- Termometre
- Erlenlenler, beherler, mezürler

1.GİRİŞ

Özgül ağırlık birim hacmin kütlesi (kg/m^3 veya lb/ft^3) olarak tanımlanır. Bir maddenin özgül ağırlığını tayin edebilmek için, aynı maddenin hacim ve kütlesinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer madde katı ise en bilinen hacim belirleme yöntemi, katının sıvı içerisinde aktarımıyla sıvı hacmini ne kadar değiştirdiğinin ölçümüne dayanmaktadır. Örneğin, ağırlığı bilinen katı madde ağırlığı ve hacmi bilinen bir sıvı içerisinde bırakıldığında, son hacim ve ağırlık ölçülür. Sıvı özgül ağırlıkları genelde hidrometre ile ölçülür, piknometre ile ölçüm de yine katı ve sıvıların özgül ağırlıklarının tayininde kullanılan bir metoddur. Gazların özgül ağırlıklarının tespiti bir miktar zordur, Edwards terazisi olarak bilinen cihazla hava ile doldurulan ampulün ağırlığının, özgül ağırlığı belirlenmek istenen gazın aynı ampule doldurulmasıyla ölçülen ağırlığıyla karşılaştırılması prensibine dayanır.

Viskozite akışkanın akma davranışında etkili olan bir özelliktir ve akışkanın kayma gerilimine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Bir kayma kuvveti durgun olan bir akışkana uygulandığında, o akışkanın deformasyonuna neden olur. Moleküler çekim ve moleküler momentumun taşınması akışkanın viskozitesinde iki ana sebeptir.

Newtonian akışkanlarda kayma gerilimi kayma hızıyla orantılıdır ve bu orantı katsayısı “viskozite” olarak adlandırılmaktadır. Viskozite ölçümünde kullanılan çok çeşitli metodlar bulunmaktadır. En yaygın kullanılan iki yöntem, “dönen konsantrik silindir yöntemi” ve “kapiler akış yöntemi”dir. Kapiler akış yönteminde viskozite ölçümü, kapiler tüpten laminar akışta ölçülen basınç düşmesiyle bağıntılıdır.

Gerçek materyallerin viskozitesi akış hızı, sıcaklık, basınç, moleküler yapı, moleküler ağırlık ve kayma süresi gibi değişkenler tarafından önemli derecede etkilenebilirler. Bir gazın viskozitesi sıcaklıkla artar, fakat bir sıvının viskozitesi sıcaklıkla azalır. Viskozitenin temel birimi "poise" dir. $1 \text{ poise} = 1 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s}) = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ olarak ifade edilir. Poise, yüksek polimer çözeltileri ve erimiş polimerler gibi materyaller için sıklıkla kullanılır. Ancak, sözkonusu birim akışkanların geneli için çok büyük bir birimdir. Dolayısıyla, bir akışkanın viskozitesi santipoise "cp" ($100 \text{ cp} = 1 \text{ poise}$) birimi ile ifade edilir.

Akışkanlar Newtonian veya Newtonian olmayan (non-Newtonian) olarak sınıflandırılabilir. Newtonian akışkanlarda, uygulanan kayma gerilimi ile oluşan deformasyon hızı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Tuz ve şekerin sulu çözeltileri veya etil alkol, benzen, su gibi Newtonian akışkanların belirli sıcaklıklarda sabit viskoziteleri vardır(dinamik veya mutlak viskozite). Ancak, yüksek molekül ağırlıklı polimerler, kolloidler, süspansiyonlar ve emülsiyonlar gibi endüstride önemli olan akışkanların çoğu Newtonian olmayan akışkanlardır ve daha kompleks davranışlar gösterirler. Newtonian olmayan akışkanlarda, uygulanan kayma gerilimi ve açılmal deformasyonun hızı arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Viskozite hız gradyanından bağımsız değildir. Şöyle ki, viskozite akışkandaki kaymanın (akışkanın paralel yüzlerinin hızları arasındaki farkın paralel yüzler arasındaki mesafeye oranı) hızı ile değişecektir. Yine bu gruba dahil akışkanlar, sabit sıcaklıklarda da değişken viskoziteye sahiptir.

Newtonian olmayan akışkanların çok sayıda çeşidi vardır. Bu akışkanların viskozitelerin ölçümü karmaşıktır ve zamana bağlı bir fonksiyon gerekliliği vardır. Newtonian olmayan akışkanlar, zamana bağlı olmayan Newtonian olmayan akışkanlar (Yalancı plastikler, Kayma Kalınlaştırıcılar, Bingham Akışkanlar) ve zamana bağlı Newtonian olmayan akışkanlar (Tikotropik, Reopektik) olarak iki sınıfta incelenmektedirler.

2.TEORİ VE İLKE

2.1. Özgül Ağırlık ve Yoğunluk

Sıvı ve katıların özgül ağırlıklarının basınçla değişmediği kabul edilir. Yoğunluk iki özgül ağırlığın (madde özgül ağırlığı / referans madde özgül ağırlığı) oranı olan birimsiz bir değerdir. Katılar ve sıvılar için referans madde sudur. Gazların yoğunluklarının tayininde kullanılan referans gaz genellikle havadır, ancak referans olarak diğer gazların da kullanıldığı durumlar sözkonusudur.

Sıvı özgül ağırlığının birçok hesaplamada basınçtan bağımsız olduğu göz önünde bulundurulur, ancak özgül ağırlık sıcaklıkla değişmektedir. Su ve amonyak (NH_3) sıvılarının yoğunluklarına ilişkin aşağıdaki ifade verilebilir:

$$\text{NH}_3 \text{ yoğunluğu} = 0.73 \text{ (20}^\circ\text{C/4}^\circ\text{C)}$$

Burada amonyak çözeltisinin 20°C 'deki yoğunluğu, referans madde olan suyun 4°C 'deki özgül ağırlığı kullanılarak "0.73" olarak hesaplanmıştır. Si sistemine göre 4°C sıcaklıktaki suyun özgül ağırlığı $1.0000 \text{ g}/\text{cm}^3$ olarak kabul edilmektedir.

2.2. Viskozite

Dinamik veya mutlak viskozite aşağıda tanımlanmaktadır:

$$\tau = -\mu(dv/dy)$$

Burada,

τ : laminar akışta akışkan tabakalar arasındaki kayma gerilimi (N/m^2 , lb/ft^2)

μ : viskozite ($kg/s.m$, $lb/s.ft$)

dv/dy : normal hız gradyanı ($1/s$)

Gerçek akışkanlarda kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki ilişki "Reoloji" biliminin konusudur.

Newtonian akışkanlar:

Newtonun viskozite yasası ve uzunluğu L ve birbiriyle tamamen aynı dairesel yüzey alanları içinden akan sabit yoğunluklu akışkanın yatışkın akış korunum yasasına uygulanması Hagen-Poiseuille bağıntısını ortaya çıkarır.

$$Q = \frac{\pi(-\Delta\phi)R^4}{8\mu L} \dots\dots\dots(1)$$

Eşitlikteki $(-\Delta\phi)$ akıştaki net sürücü gücü, Q akışkanın hacimsel akış hızını ve R borunun çapını göstermektedir. ϕ niceliği $(p + \rho gh)$ şeklinde tanımlanır. Burada p statik veya termodinamik basıncı, ρ akışkanın yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini ve h bir referans noktası üzerindeki dikey yüksekliği göstermektedir. Sonuç olarak ϕ akışkan hareketine neden olan yerçekimi ve basıncın birleştirilmiş etkisini belirtir.

Hagen-Poiseuille yasasının varsayımlarına göre, akış son nokta etkilerinden bağımsız ve laminar olmak zorundadır. Eğer deneysel düzeneğin işletim ve yapılandırılması bu yönde ise, Newtonian akışkanın viskozitesini ölçmek için (1) nolu eşitliğin kullanımı mümkündür.

Q sabit sıcaklıkta tutulan, borunun sonlarından biraz uzakta $\Delta P / L$ basınç gradyanını ölçmek için bir makine ile donatılmış uzun, düz bir boru içindeki bir akışkanın yatışkın akışıdır.

Sadece hidrostatik basınç altındaki boru içindeki akış hızı (Q) ile birlikte sürücü güçteki toplam değişim (ϕ) olduğunda Eşitlik (1) şu şekilde yazılabilir;

$$v = \frac{\pi g(-\Delta h)R^4}{8QL} \dots\dots\dots(2)$$

Eşitlikte (Δh) üst akış yüksekliği ile alt akış yüksekliği farkı, hidrostatik basınç diye tanımlanır ve v nicelik;

$$\nu = \mu / \rho \dots\dots\dots(3)$$

Şeklinde ifade edilir ve kinematik viskozite olarak adlandırılır. Kinematik viskozitenin sıklıkla kullanılan birimi stoke olarak adlandırılan cm^2/s dir. Genellikle μ ile gösterilen viskozite mutlak viskozite veya dinamik viskozitedir. Farklı gösterilmesinin nedeni kütleli yoğunluğun viskoziteye oranı olan kinematik viskozite(ν) ile karıştırılmasını engellemektedir.

Hidrostatik basınç farkının (Δh) sabit olduğu, sabit uzunluktaki (L) düz kapiler bir boru içinden yatışkın akışkan akışının olduğu durumu ele alın. Eğer biri özel bir boru içinden sabit hacimdeki (V) bir akışkanın geçmesi için gerekli süreyi ölçerse, Kinematik viskozite gözlenen boşalma zamanı (t_e) ile şu şekilde ilişkilendirilebilir.

$$\nu = C \cdot t_e \dots\dots\dots(4)$$

Eşitlikte C viskozimetre sabiti olarak adlandırılır. Eğer viskozitesi bilinen bir sıvı ile t_e gözlenerek C değerlendirilirse, bulunan C o düzenek için hesaplanabilir. Aynı hücre içerisindeki aynı hacimdeki farklı sıvılarla t_e ölçümlerinden sonra yine eşitlik (4) kullanılarak sıvıların kinematik viskoziteleri hesaplanabilir. Dinamik viskozite değeri ise sıvının yoğunluğu ile çarpılarak elde edilir. t_e değeri eşitlik (4)'ten çekilip,

$$Q = V / t_e \dots\dots\dots(5)$$

Bağıntısında yerine yazılır ve Eşitlik (2) ile birleştirilip, bütün sabit faktörler bir tarafta toplanabilir. Sonuç olarak, viskozimetre sabiti C ;

$$C = \frac{\pi g(-\Delta h) R^4}{8VL} \dots\dots\dots(6)$$

Şeklinde ifade edilir.

Buraya kadarki eşitlikler her ne kadar sabit Δh ve sabit Q için türetiliyse de, bir sıvının yavaşça değişen hidrostatik bir basınç altında boşaldığı pipet tipi bir viskozimetrede de uygun bir şekilde kullanılabilir. Bu durumda, kişi 2 ve 6 eşitliklerinde Q ve Δh için ortalama değerleri kullanmalıdır. Buradaki, C sabiti hala sadece viskozimetre geometrisine bağlı ve akışkanın özelliğinden bağımsız bir özelliktir.

DENEYSEL:

Bu deneyde sıvıların özgül ağırlıkları piknometre kullanılarak belirlenecektir. Deney ayrıca, Newtonian akışkanların viskozitesini ölçmek için iki farklı düzenek içermektedir. I. Düzenek (Pipet tipi viskozimetre) ve II. Düzenek (DV-III-RV Brookfield Reometre) Newtonian sıvıların sıcaklığa bağlı viskozite davranışını araştırmada kullanılacaktır.

1. Düzenek

- Pipet tipi viskozimetre
- Kronometre
- Farklı sıcaklıklara ayarlanmış sabit sıcaklıktaki su banyosu

- Etanol
- Saf su
- Kıskaç
- Ağırlıkça %60'lık sulu sükroz çözeltisi
- 25 ml'lik cam piknometre
- Hassas terazi
- Termometre

Viskozimetre , pipetin orta kısmında yer alan küresel ampulün yukarıdan bitiş çizgisine kadar bir yükseklik farkı veya statik basınç ($-\Delta h$) olacak şekilde sıvı ile doldurulmalıdır. Her iki yüzeyde atmosferik basınçtır. Sıvının pipet tipi viskozimetreden boşalmasına izin verilir ve ampulün alt seviyesine kadar ($V=40$ ml) düşmesi için geçen süre ölçülür ve boşalma süresi t_e olarak kaydedilir. V hacmi küçük kaynağın üst ve alt çizgileri arasında yer alan sabit bir hacimdir.

II. Düzenek;

- Karıştırıcı seti ile birlikte Brookfield DV-III+ RV Rheometer (Şekil 1).
- Pipet
- 500 ml'lik cam beher
- Farklı sıcaklıklara ayarlanmış sabit sıcaklıktaki su banyosu
- Etanol
- Saf su
- Ağırlıkça %60'lık sulu sükroz çözeltisi

Gıda ve içecek endüstrisinde yaygın kullanılan viskozimetreler rotasyonel viskometrelerdir. Rotasyonel viskometrede, akışkan içine daldırılmış bir karıştırıcıyı sabit hızda döndürmek için uygulanması gereken tork ayarlanarak viskozite ölçülür. Tork, karıştırıcı üzerindeki sürünmeyle dolayısıyla akışkanın viskozitesiyle orantılıdır.

Saf su ve etanolün viskoziteleri ölçülür. Hazırlanan sükroz çözeltisinin sıcaklığa bağlı viskozite değerleri, belli bir kayma hızına ayarlanmış Brookfield DV III Reometre kullanılarak belirlenecektir. Viskometrenin ölçüm aralığı, karıştırıcının rotasyonel hızıyla, akışkan içinde dönen karıştırıcının biçim ve boyutuna ve kalibre edilmiş yayın büyük ölçekli torkuna bağlı olarak belirlenir.



Şekil 1. Brookfield DVIII Reometer.

I. PROSEDÜR

Sıvı Özgöl Ağırlığının Piknometre ile Tayini:

- 1) Kuru ve temiz piknometreyi tartın.
- 2) Piknometre üzerindeki işaretli seviyeye kadar sıvıyla doldurun.
- 3) Sıvıyla doldurulmuş piknometreyi tartın.

Sıvının özgül ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\rho = m / V$$

ρ sıvının özgül ağırlığını (g/cm^3), m piknometre içerisindeki sıvının kütlesini ve V piknometre hacmini (cm^3) belirtmektedir.

Sıvı Viskozitesinin Pipet Tipi Viskozimetre ile Tayini:

- Viskozimetreyi kullanmadan önce temizleyin. Organik materyallerin sulu çözeltileriyle çalıştığınız durumlarda, asetondan sonra saf suyla yıkayın, filtrelenmiş havayla kurutun (NOT: Viskometrenin düzgün çalışması için kesinlikle temizlemelisiniz).
- Viskozimetreyi ampülün üst noktasına kadar su ile doldurun.
- Pipet tipi viskozimetrenin uç kısmından parmağınızı çekin ve sıvı menüsküsünün ampülün üst işaretinden alt işaretine düşmesine kadar geçen süreyi kronometre ile ölçün.
- Viskozimetreyi ampülün üst noktasına kadar etanol ile doldurun.
- Pipet tipi viskozimetrenin uç kısmından parmağınızı çekin ve sıvı menüsküsünün ampülün üst işaretinden alt işaretine düşmesine kadar geçen süreyi kronometre ile ölçün.

- Ağırlıkça %60'lık sulu sükröz çözeltisinin 3 farklı sıcaklıktaki ($T=50^{\circ}\text{C}$, 60°C , 70°C) viskozitesini belirleyin.

II.PROSEDÜR

- Brookfield DVIII Reometer ile etanol ve suyun viskozitelerini ölçün.
- Brookfield DVIII Reometer ile ağırlıkça %60'lık sulu sükröz çözeltisinin 3 farklı sıcaklıktaki ($T=50^{\circ}\text{C}$, 60°C , 70°C) viskozitesini belirleyin.

VERİ ANALİZİ

Özgül ağırlık tayini:

- 1) Su ve etanolün özgül ağırlığını piknometre ile belirleyin.
- 2) Ağırlıkça %60'lık sulu sükröz çözeltisinin 3 farklı sıcaklıktaki ($T=50^{\circ}\text{C}$, 60°C , 70°C) özgül ağırlığını tayin edin.
- 3) Sıcaklığın özgül ağırlık üzerindeki etkisini yorumlayın.
- 4) Su ve etanole ait özgül ağırlıkları literatür ile karşılaştırın.

Viskozite tayini:

- 1) Su ve etanolün viskozitelerini pipet tipi viskozimetre (kinematik viskozite) ve Brookfield DVIII Reometer (anlık viskozite) ile belirleyin.
- 2) I.Düzenekle ve piknometre ile alınan ölçümleri kullanarak dinamik (mutlak) viskoziteyi hesaplayın.
- 3) Ağırlıkça %60'lık sulu sükröz çözeltisinin 3 farklı sıcaklıktaki ($T=50^{\circ}\text{C}$, 60°C , 70°C) viskozitesini iki düzenekle tayin edin.
- 4) Sıcaklığın viskozite üzerindeki etkisini yorumlayın.
- 5) Su ve etanole ait viskoziteleri literatür ile karşılaştırın.
- 6) İki farklı düzenekle ölçülen viskoziteleri karşılaştırarak, yorumlayın.

REFERENCES

1. Geankoplis, Christie J., Transport Processes and Unit operations, 2nd. ed., 1983, Allyn and Bacon Series in engineering, Massachusetts.
2. McCabe, Smith, Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, 4th ed., 1987, McGraw Hill, New York.
3. Massey, B.S., Mechanics of fluids, 4th ed., 1979, Van Nostrand Reinhold company Ltd., New York.
4. Barnes H. A., Hutton J.F., Walters K., An Introduction to Rheology, 1989, Elsevier, Amsterdam.
5. Streeter, Victor L., Fluid Mechanics, 4th ed., 1966, McGraw-Hill Company, New York.
6. University of Wisconsin-Madison, Chemical Engineering Department, Transport Phenomena Laboratory Guidelines.