

옥수수 전분에 약간의 물을 넣은 혼합물의 젓는 속도에 따른 점도 변화

현광호* · 현남규

*한국과학영재학교 · 제주대학교 자연과학대학 물리학과

요 약

이 논문에서는 소량의 옥수수 전분에 물을 첨가한 후, 첨가된 물의 양과 혼합물을 젓는 속도에 따라서 이것의 점도가 어떻게 변하는지에 대하여 논하였다. 물을 적게 첨가한 혼합물의 점도가 물을 많이 첨가한 경우보다 매우 컸다. 옥수수 전분에 물을 약간 혼합한 직후에 B형 점도계의 회전자를 회전시키면서 점도를 측정하면 점도가 높다. 그러나 천천히 혼합물을 저으면서 점도계의 회전을 돌리면, 전분이 흡수했던 물이 빠져나오면서 점도가 점차 낮아졌다. 그러나 같은 속도로 오래 젓거나 회전자의 회전 속도를 변화시키면서 오래 저으면, 점도는 점차 증가하게 되고 나중에는 B형 점도계로는 측정할 수 없을 만큼 점도가 커졌다.

1. 서 론

옥수수 전분에 물을 첨가한 후, 첨가된 물의 양과 혼합물을 젓는 속도에 따라서 이 혼합물의 점도가 변하는 현상이 관찰된다. 원래 이 주제는 2005년도에 시행된 IYPT 문제 중의 하나인데, 이 논문은 2005년 2월에 IYPT 대표 선발을 위해 제출된 보고서를 토대로 하여 작성된 것이다.

우선 전분의 호화나 유체식품의 유변학과 같은 내용의 이론적 배경을 설명할 것이며, 그 다음에는 비뉴턴유체 점성계수 측정원리도 간단하게 소개 할 것이다. 그리고 제주대학교 공동실험실습관에 있는 B형 점도계를 사용하여 옥수수 전분에 물을 약간 혼합한 직후에, B형 점도계의 회전자를 회전시키면서 점도를

측정한 결과를 이 논문에서 차례차례 제시하려고 한다.

2. 이론적 배경

2.1 전분의 호화

전분은 식물세포의 광합성에 의하여 합성되는 섬유소 다음 가는 풍부한 화합물로서, 수천 내지 수백 개의 D-glucose 단위체계가 $\alpha-1,4$ 또는 $\alpha-1,6$ 결합으로서 긴 사슬 모양의 분자를 형성하여 전분 입자의 형태로 식물체 내에서 합성되는 탄수화물계의 고분자 화합물이다[1]: 전분은 α -글루코스 분자들이 $\alpha-1,4$ 결합을 하여 나선형으로 길고 반듯한 사슬로 이루어진 amylose와 amylose 분자의 중간 부분의 6번 탄소와 이웃한

amylose 분자의 1번 탄소 사이에 $\alpha-1,6$ 결합을 하여 가지 친 사슬로 이루어진 amylopectin으로 구성되어 있는데, 그림 1, 2에 이것들이 그림으로 그려져 있다. 이 두 분자들의 인접하는 분자 사이에는 직접 또는 물분자들을 통해서 수많은 수소결합(hydrogen bond)에 의해서 결합되어 규칙적인 배열을 하고 있는 미셀(micelles)구조와 불규칙적인 비결정 부분이 서로 섞여 있다. 비결정질의 부분도 수소결합으로 치밀한 상태를 유지하고 있다. 수소결합은 전분분자 상호간뿐만 아니라, 물분자 상호간, 또는 -OH 기를 가지는 화합물과 물분자, -OH 기를 가지는 화합물 상호간에도 일어난다.

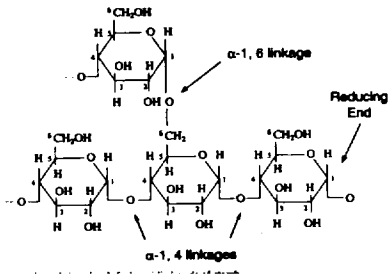


그림 1. 전분의 $\alpha-1,4$ 와 $\alpha-1,6$

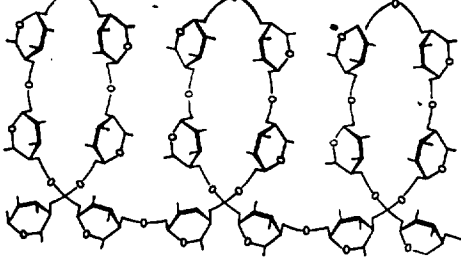


그림 2. amylose의 나선구조 글루코스 본드

전분은 가공, 조리 및 저장하는 동안에 여러 가지 변화를 받게 되는데, 그 중에서 중요한 변화가 호화이다.

전분입자(starch granules)를 물에 넣고 가열하면 온도가 상승함에 따라 단계적인 변화가 일어난다. 처음에 전분입자들은 냉수 중에

서 물 분자 일부가 수화(hydration)하는 현상이 일어나 이 단계에서 전분입자들은 그 전형적인 형태를 잃지 않으며 현탁액(suspension)의 점도(viscosity)의 변화도 없다. 그런데 이 전분입자들의 현탁액은 온도가 상승함에 따라 25~30%의 물을 흡수하게 된다. 이 시기에 흡수된 수분은 건조시키면 용이하게 제거되므로 전분입자들의 물의 흡수 과정은 가역적(reversible)이다. 그러나 그림 3과 4에서 볼 수 있듯이 온도를 높여 임계온도(60~70°C)에 이르게 되면 많은 물을 흡수하여 급속하게 몇 배로 팽창하게 된다.[2]

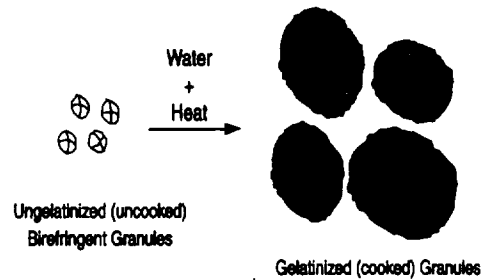


그림 3. 열을 가하면 생 전분 알갱이들은 물을 흡수해서 팽창한다.

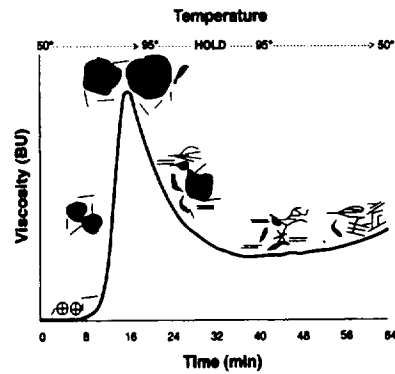


그림 4. 온도와 시간에 따른 전분 알갱이들의 점도 변화

Meyer와 Bernfeld에 의하면, 옥수수 전분(corn starch)은 60°C에서는 자체 중량의 약

300%의 물을, 70℃에서는 약 1,000%의 물을 흡수한다고 한다. 이 단계에서 전분입자들의 형태는 큰 변화를 받지 않으나, 물의 온도가 상승함에 따라 amylose와 amylopectin 분자의 분자 운동도 심해져서 이들 사이의 수소 결합이 끊어지고, 그 대신 amylose와 amylopectin 분자 사이에 물분자가 스며들어가서 전분 분자와 결합하게 된다. (1) 물의 흡수 과정은 처음과는 달리 비가역적이며, 물에 녹는 성질이 있는 전분성분(amylose)들이 빠져나와 물에 녹게 되어 전분 입자는 파괴되고, 전분 현탁액의 점도가 커져서 전분 입자들이 서로 엉키게 되며, 전체로는 반투명의 콜로이드(colloid) 상태를 만든다. 이 현상을 전분의 호화라 한다.

2.2 유체 식품의 유변학(Rheology)

유체 식품들은 그 유동성(flow properties)에 의해서 뉴튼 유체(Newtonian fluids)와 비뉴튼 유체(Non-Newtonian fluids)라는 두 개의 유변성 그룹(rheological groups)으로 분류될 수 있다.

2.2.1 뉴튼 유체와 점성계수

정지되어 있는 평면상을 흐르는 유체 중의 정지 평면에 평행인 유체의 면을 생각해 볼 때, 정지면에 접해 있는 유체의 면은 움직이지 않지만, 정지 평면으로부터 떨어져 나감에 따라 유체 면의 속도는 커지게 된다. 즉, 서로 인접해 있는 두 면 간에 흐르는 속도에 차이가 있고 마찰력이 작용해서 흐르는 속도를 한결같이 되도록 하려 한다. 이 성질을 유체의 점성이라 한다.

아래의 그림 5 와 같이 A란 표면적을 가진 밑면을 그대로 두고 윗면에 F 라는 힘 즉, 층

밀리기 힘(shearing force)을 작용하였다면, 윗면은 이 층밀리기 힘을 받아서 일어나는 변형 즉, 층밀리기 변형력(shearing stress)에 의해서 그 물질의 특성에 따라 힘을 받은 방향으로 이동하게 되는데 이때의 이동 속도는 밑면에서의 거리에 따라 다르다. 지금 밑면에서 어떤 미세한 거리 dr 만큼의 위치에서의 단위 시간에 이동한 거리 즉, 이동 속력을 dv 라고 할 때, 그 비율 즉, dv/dr 를 속도 기울기(velocity gradient), 또는 층밀리기 속력(rate of shear)라고 부른다.

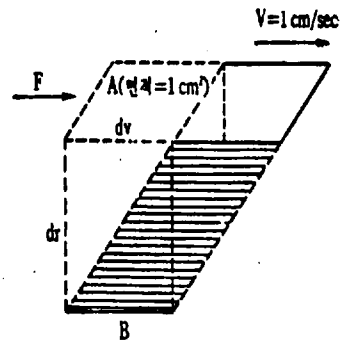


그림 5. 뉴튼 유체를 나타내는 그림.

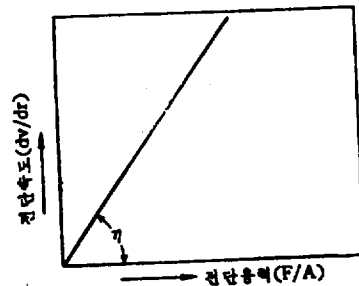


그림 6. 뉴튼 유체의 흐름 곡선

뉴튼(Newton)은 일부 유체에서는 점도가 클수록 층밀리기 속력을 생기게하는데 필요로 하는 단위면적당의 층밀리기 힘, 즉 F/A 가 더 많이 들며, 동일 유체에서는 층밀리기 속력

dv/dr 가 단위 층밀리기 힘에 비례한다는, 다음과 같은 식이 성립함을 알아냈다.

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dr} \quad (1)$$

여기서, η 는 점성계수(coefficient of viscosity)이다. 물, 묽은 현탁액, 수성용액 그리고 유상액과 같은 뉴턴 유체들은 가장 간단한 것들이다. 점도는 온도에 의존한다. 그래서 일반적으로 온도가 올라가면 점도가 떨어진다. 뉴턴 유체의 다른 예로는 자동차 오일, 광물성 오일, 가솔린, 등유 그리고 물 속에 있는 염기용액이 있다.

이 뉴턴 유체들에 있어서는 단위 층밀리기 힘 즉, 층밀리기 변형력 F/A 와 층밀리기 속력 dv/dr 사이의 관계를 그림으로 그리면, 이 관계는 직선으로 표시되며, 또 이 직선은 원점을 통과하고 이 직선의 경사(slope)는 곧 점성계수를 나타내는 것이 그 특징이다.[3]

2.2.2 비뉴턴 유체

대부분의 유체 식품들, 예로서 진한 당용액, 진한 염용액, 각종 교질용액, 유탁액, 버터등의 유지류 등은 위와 같은 뉴턴 유체의 특성을 갖고 있지 않으며, 층밀리기 변형력과 층밀리기 속력 사이의 관계를 나타내는 곡선, 즉 그 흐름 곡선은 직선이 아니라 곡선(curve)으로 표시되며, 점성계수 자체가 층밀리기 속력, 또는 층밀리기 변형력의 함수가 된다. 비 뉴턴 유체들은 대체로 두 가지로 구분될 수 있다.[3]

팽창성 흐름(dilatant flow)

이 팽창성 흐름을 나타내는 유체의 예는 실제로는 극히 드물다. 이 흐름을 나타내는 물질들의 점성 계수는 층밀리기 변형력의 함수가 된다. 그림 7에서와 같이 층밀리기 변형력이

커짐에 따라 점성(viscosity)은 증가한다.

다른 팽창성이 있는 혼합물로는 물이 섞인 녹말, 해수욕장 모래, 흐르는 모래, 캔디 합성물, 피넛버터가 있다.

요변성(搖變性) 흐름(thixotropy)

틱소트로피(thixotropy)는 흔들거나 짓는 행위에 의하여 반고체상태의 물체가 액체 상태로 되고 그대로 두면 다시 반고체 상태로 되는 성질을 말한다. 이러한 성질을 가지는 유체들의 점성계수는 층밀리기 변형력의 함수가 될 뿐만 아니라, 시간의 길이의 함수도 된다. 일반적으로 요변성 흐름을 나타내는 유체의 점성계수는 그림 8에서 볼 수 있듯이 시간이 지남에 따라 감소한다.

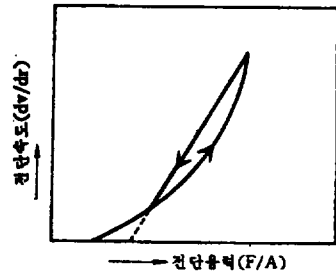


그림 7. 팽창성 흐름 곡선

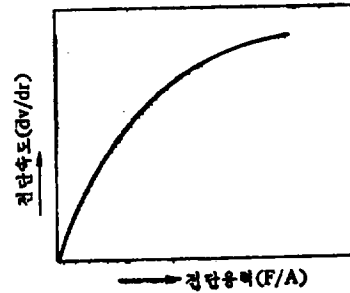


그림 8. 요변성 흐름 곡선

2.3 옥수수 전분의 비뉴턴 유체적 특성을 내는 이유

옥수수전분에 물을 섞어서 만든 반죽은 비 뉴턴 액체 한 예를 보여주고 있다. 여기서 비

뉴턴 액체란 것은 액체가 흐르도록 하기위해서 힘을 얼마나 사용하는가에 따라서 점도가 변하는 액체를 말한다.

물, 기름, 또는 옥수수 시럽 속에 옥수수 전분 미세 알갱이를 넣었을 때에는 이것들이 녹지 않는다. 이 전분은 물속에서 녹지 않는 일종의 부유물이다. 이 미세 옥수수 전분 입자들은 녹지는 않고 물과 섞이지만 원래대로 고체인 상태를 계속 유지한다.

옥수수전분과 물 반죽 작용에 대해서 가장 일반적으로 많이 수긍하는 설명은 다음과 같다. 반죽을 가만히 놔두었을 때, 전분 입자들 주위에 물로 둘러싸인다는 것이다. 물표면 장력으로 해서 이 반죽은 입자 사이의 공간으로 완전히 빠져 나가지 못하게 된다. 물은 쿠션작용을 해서 마찰작용을 적게 하는 윤활유 작용을 하게 되며, 입자들이 자유로이 움직이도록 하는데 도움이 된다. 하지만 갑자기 움직이게 되면, 입자 사이로 물이 짜내져서 입자 사이의 마찰이 아주 극적으로 증가하게 된다. 즉, 옥수수 전분 혼합액위로 압력이 가해져서 물이 입자 사이에서 빠져 나오게 되므로 전분 입자들이 서로서로 부딪치고 있기 때문에 입자는 흐르지 않으려고 한다. 그러나 압력을 풀어줘서 물이 입자 사이로 다시 스며 들어오게 하면 혼합액 반죽은 줄줄 흐르게 된다.

젓은 모래로도 똑 같은 실험을 해서 같은 결과를 얻을 수 있다. 젓은 모래를 밟으면 딱딱 해진다.[4] 하지만 모래를 기울이거나 손가락으로 모래에 선을 그리면 아주 부드럽다는 것을 알 수 있다.

3. 실험

3.1 비뉴턴 유체 점성계수 측정원리

용액의 점성계수 측정법으로는 Ostwald 형

모세관 점도계에 의한 방법, 낙하 구체 점성계수 측정법, 회전 점도계에 의한 방법이 있다. Ostwald 형 모세관 점도계는 뉴턴 유체의 점성계수 측정에 사용되는데 관을 통하여 일정한 풀(paste)이 통과한 시간을 측정하는 방법으로, 장치가 단순하며 측정법도 간단하다. 낙하 구체 점성계수 측정법은 용액 속에서 강체의 낙하 속력을 측정하는 것으로 높은 점성계수인 뉴턴 유체의 점성계수를 측정하는 방법이다. 회전점도계는 내통을 움직이는 회전력의 정도를 측정하는 것으로 비뉴턴 유체의 점성계수 측정에 사용된다.

회전 점도계에 의한 점성계수 측정법

그림 9에는 회전 점도계의 주요 부분이 그려져 있다. 회전되는 두 개의 동심 원통이 있고 그 사이에 시료액을 넣고 외통을 일정한 속도로 회전시켜서 시료 용액을 통해서 내통을 움직이는 회전력을 측정하는 것이다.

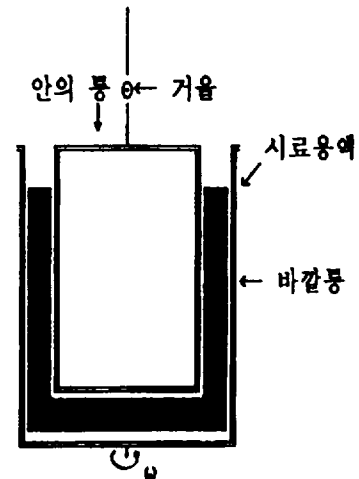


그림 9. 회전 점도계 주요 부분의 구조

내통은 강철선 또는 스프링에 의하여 매달려 있고, 내통에 전달된 회전력은 내통을 θ 만큼 회전시킨 후 그 매달린 선의 꼬임 탄성력

과 평형 상태가 성립된다. 이 회전각 θ 를 거울 또는 눈금에 따라 읽는다.

지금 점성계수가 η 가 되는 유체를 사용하고 각속도 ω 로 외통을 회전시킬 때의 내통에 주어진 회전력을 M , 매달린 선의 꼬임 정수를 F 라고 하면 정상상태에 있어서는 다음 식이 성립한다.

$$M = F \theta, \quad (2)$$

내통, 외통의 반지름을 각각 r_1, r_2 , 길이를 L 이라고 하면,

$$M = 4\pi L \eta \omega \frac{r_1 r_2}{r_1^2 - r_2^2}. \quad (3)$$

로 표시되고 장치 등에 관한 정수를 하나로 합쳐 k 로 놓으면 회전각과 점성계수는 다음 식의 관계로 나타내어진다.

$$\theta = k \eta \omega \quad (4)$$

따라서 용매, 용액에 대해서 각각 각속도 ω_0, ω 로 외통을 회전시킬 때의 회전각을 각각 θ_0, θ 라고 하면 상대 점성계수는 구해진다:

$$\eta_r = \frac{\theta \omega_0}{\theta_0 \omega} \quad (5)$$

이 회전 점도계로는 유체의 어느 부분에도 거의 비슷한 속도 기울기가 얻어질 뿐만 아니라, 외통의 회전 속도를 바꾸어서 속도 기울기를 변화시킬 수가 있다. 따라서 비뉴턴 유체의 점성계수의 속도 기울기에의 의존성을 측정하여 입자의 상태를 추정하는데 이용된다.[1]

3.2 실험장치

실험기구: B형 점도계(Dial reading viscometer)

B형 점도계의 구조

- 1) B형 점도계는 소형의 저속 모터에 의해 돌아간다.
- 2) 로타(회전자)의 회전 스피드는 4단 또는 8단 기아에 의해서 변한다.
- 3) 지시 바늘을 죄는 손잡이를 누르면 회전에 방해되지 않는 상태에서 다 이알이 올려져 지시 눈금을 정지시킨다.
- 4) 다이알은 100눈금이며 다시 200눈금으로 세분화 되어 있다.
- 5) No.1, No.2, No.3, 등 서로 다른 크기의 회전자가 있어 때에따라 적절히 사용할 수 있다.

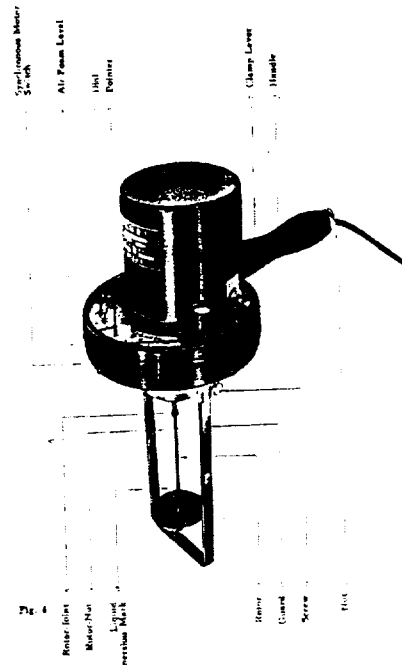


그림 10. B형 점도계 주요 부분의 의 결 모습

3.3 실험방법

1) 재료

- 물: 200g
- 옥수수 전분: 300g 등
- 1000 mL, 500 mL 비이커
- 휘저을 때 쓰일 막대기, 수저, 초시계

2) 실험 방법 및 절차

옥수수 전분에 물을 첨가할 경우에 이 혼합물의 성질은 첨가된 물의 양에 따라 크게 달라진다. 200g의 물에 300g의 옥수수전분을 점차적으로 첨가하면 비교적 짓기가 쉬워진다 (특히, 옥수수전분 200g을 1000mL의 비이커에 200g의 물이 있는 상태에서 부어 천천히 저어보면 별로 저항을 느끼지 않고 이 혼합물을 저을 수 있다). 그러나 물이 양이 조금 적어지면 액체 상태로도 되지 않는다.

우선 시간에 따른 혼합물의 점도변화를 측정하기 위하여 물 240g과 옥수수 전분 360g을 1000ml 비커에 잘 섞는다. 그 후, 일정한 시간(3분)마다 하나의 회전자에 대하여 점도를 측정한다. 이것을 더 이상 점도를 측정할 수 없을 때까지 반복한다. 또한 다양한 회전자에 대하여 시간에 따른 점도를 측정해 본다.

다음, 200g의 물을 1000mL 비이커 속에 넣은 다음, 200g의 옥수수 전분을 휘저으면서 천천히 붓는다. 그리고 이 혼합물이 골고루 섞일 때까지 막대로 짓는다.

회전 속도에 따른 점도의 변화를 측정하기 위하여 우선, 혼합물을 일정한 비율로 고정된 후, 하나의 회전자에 대하여 회전 속도에 따른 점도변화를 측정해 본다. 이것을 다양한 비율의 혼합액에 대하여 측정해 본다. 옥수수 전분은 5g씩 추가하며 점도를 측정한다. 이와 같은 과정을 더 이상 혼합물이 섞이지 않을 때까지 반복한다.

3) 측정

① Brookfield Dial Reading 점도계를 사용하여 19℃의 일정한 온도에서 옥수수 전분과 물 혼합물의 점성계수를 측정한다.

-회전자를 번호가 큰 것부터 작은 것 순으로 선택한다.

-회전속도를 저속으로부터 고속으로 차례로 사용한다.

② 매 실험마다 5회 반복하여 점도계 다이알의 눈금을 기록한 결과를 바탕으로 하여 자료를 계산하고 정리한다.

③ 점도계 회전자의 종류와 회전속도에 따른 환산표를 바탕으로 하여 옥수수 전분과 물의 혼합물에 대한 점도를 경우에 따라서 각각 계산한다.

④ 동일한 200g의 물에 대하여, 더하는 전분의 양들이 285, 290, 295, 300, 305, 310 ml인 경우에 대하여 ①,②,③의 과정을 동일한 방식으로 진행했으며 그 결과를 표로 만든다.

4. 실험 결과

그림 11는 실험중인 점도계의 모습을 보여 준다. 사용한 전분은 광주대일식품에서 만든 1Kg의 "옥수수가루"이다. 500ml와 1000ml 비이커들을 자주사용하였으며, 초시계와 전자저울을 사용했다. 짓는 막대로서는 20cm 크기의 10자 드라이버가 좋았다.



그림 11. 실험 중인 점도계의 모습

표 1에서는 옥수수 전분 360g과 물 240g을 섞어 혼합물을 만들고 B형 점도계의 2번 회전자를 사용하여 6, 12, 30RPM에서의 일정한 속력으로 43분동안 회전시켰을 때에 1분 간격으로 측정하여 각 3분 동안의 평균을 구하고 표준편차를 구한 것을 나타내고 있다. 측정 처음에는 점도가 높다가 점차 낮아지며, 6RPM에서는 43분, 12, 30RPM의 경우에는 17분, 38분경에 더 이상 B형 점도계로는 측

정이 불가능할 정도로 점도가 상승하였다. 그림 12에서는 표 1의 데이터들을 그래프로 그렸다. 이 표에서 알 수 있듯이 옥수수전분과 물의 혼합물은 혼합초기에는 점도가 크다가 열심히 저으면 혼합물이 머금은 젖는 막대 주위에 물이 스며 나와서 주위의 점도가 낮아진다. 그러나 계속 저어가면 점도가 다시 증가함을 알 수 있다.

표 1. 옥수수 전분 360g과 물 240g을 섞어 혼합물을 만들고 점도계의 2번 회전자에 대하여 6, 12, 30RPM 으로 각각 일정한 속도로 혼합물을 저었을 때의 점도변화.

시간(min)	6RPM		12RPM		30RPM	
	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차
2	916.66	50.33	593.33	16.26	362.00	45.29
5	910.00	10.00	582.50	17.50	332.33	5.50
8	915.00	5.00	597.50	10.00	316.00	4.00
11	863.33	7.63	575.83	20.20	331.66	4.61
14	778.33	22.54	600.00	24.10	328.00	9.84
17	736.66	17.55	2500이상		315.33	3.51
20	735.00	8.66			317.00	6.55
23	706.66	12.58			329.66	9.07
26	686.66	10.40			344.66	4.04
29	691.66	2.88			348.66	5.85
32	715.00	5.00			367.00	3.46
35	740.00	8.66			364.33	4.163
38	753.33	7.63			1000이상	
41	851.66	75.05				
43	5000이상					

표 2와 표 3에서는 혼합물을 젖는 속도를 달리했을 때의 점도 변화가 어떤가를 보여준다. 우선 옥수수전분 300g에 물 186g을 가하면 비액체적인 성질을 띠나, 여기에 물을 1g 추가하면 혼합물은 액체적인 성질을 띤다. 그리고 옥수수전분 327g에 물 200g을 넣으면 액체적인 성질을 띠어서 B형 점도계로 점도를

측정할 수 있다. 따라서 이 실험에서는 물을 200g으로 고정시키고, 옥수수 전분을 285g부터 시작하여 5g씩 추가하여 혼합물을 만들어서 310g 될 때까지 혼합물을 시료로 만들었다. 우선 2번 회전자를 사용하여 처음 5분간은 6RPM으로 회전속도를 고정시켰고, 1분 간격으로 점도를 측정 하고난 다음 12RPM에

고정시켜서 1분 간격으로 다시 5분간 점도를 측정하였다. 이렇게 30, 60RPM 까지 20분간 계속 점도를 측정하고 나서, 시료를 점도계에서 떼어내고 다시 2분간 막대인 1자 드라이버로 잘 저은 뒤에 혼합물에 점도계를 다시 장착시키고 20분간 60, 30, 12, 6RPM 순서로 각각 5분간씩 1분에 한번 점도를 측정하였다. 이렇게 측정한 결과로부터 평균과 표준편차를 구하여 표2에 제시하였다. 이와 같은 측정을 3번 회전자에 대해서도 반복하였는데 그 결과를 표 3에 나타내었다. 그림 13, 14에서는 각각 표 2와 표 3에 나타난 결과를 그래프로 그렸다. 각각의 전분의 질량에 대하여 점도계 회전자의 회전속도를 증가시키면 점도가 감소하는 것이 그래프에 잘 나타나있다. 그러나 표에 나와 있듯이 회전속도를 증가시키면 B형 점도계로는 측정할 수 없을 만큼 점도가 매우 증가하게 되므로 점도를 측정할 수 없었다. 따라서 이러한 상황은 이 두 그림에는 나타낼 수 없었다. 이들 표와 그림의 내용을 종합해보면 옥수수 전분에 약간의 물을 가하면 전분이 물을 흡수하여 비 액체의 성질을 띠거나 혼합물 표면이 약간 액체적인 성질을 띠게 된다. 여기에 압력을 가하거나 천천히 저어주면 혼합물에 있던 물이 밖으로 스며 나와서 혼합물 일부분의 점도가 낮아지게 되나 이 또한 다시 오

래 젓거나 빨리 젓는다면 점도가 급격하게 올라간다.

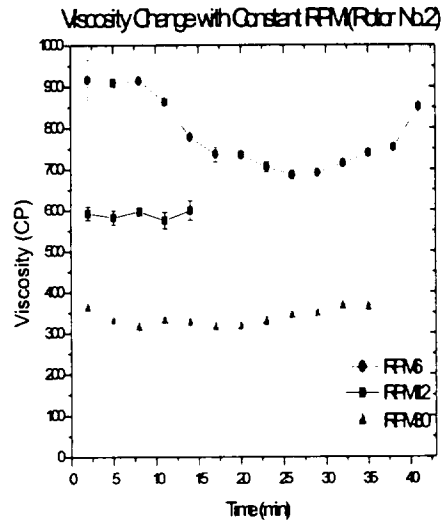


그림 12. 옥수수 전분 360g과 물 240g을 섞어 혼합물을 만들고 점도계의 2번 회전자에 대하여 6, 12, 30RPM 으로 각각 일정한 속도로 혼합물을 저었을 때의 점도변화. 처음에는 점도가 높다가 시간이 지남에 따라서 점차 낮아지다가 다시 더 시간이 지나면 점도가 올라가다가 B형 점도계로는 측정할 수 없을 정도로 점도가 높아진다.

표 2 일정한 물의 양(200g)에 옥수수 전분을 추가해 다양한 혼합물을 만들고, 점도계의 2번 회전자 (rotor)에 대해 5분마다 RPM을 바꿔 회전속도를 증가시키거나 감소시키면서 측정한 점도.

옥수수 전분(g)	6RPM		12RPM		30RPM	
	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차
285	382.00	94.65	342.16	111.35	327.80	56.28
290	374.00	75.66	344.50	70.85	303.40	27.15
295	1075.66	56.88	661.00	85.40	372.06	63.13
300	432.00	58.38	404.33	105.95		
305	954.50	2.12	826.60	218.63		

표 3 일정한 물의 양(200g)에 옥수수 전분을 추가해 다양한 혼합물을 만들고, 점도계의 3번 회전자(rotor)에 대해 5분마다 RPM을 바꿔 회전속도를 증가시키거나 감소시키면서 측정된 점도

옥수수 전분(g)	6RPM		12RPM		30RPM		60RPM	
	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차	점도(CP)	표준편차
285	442.6667	101.5349	300	72.33257	245.3333	18.6819	240	26.8358
290	441.3333	37.16629	332.6667	28.09508	321.0667	27.08604	447.3333	126.619
295	938.6667	190.0035	686	109.6175	602.1333	182.5234	1565.867	59.42435
300	962.6667	132.0202	802	126.4279	511.4667	44.90226		
305	1002.667	150.1644	874.6667	40.01666				
310	956	414.3815						

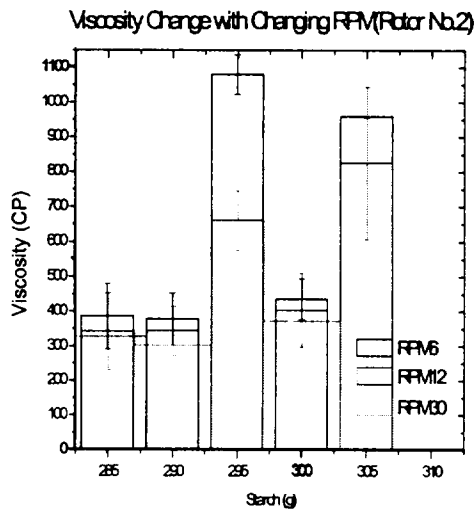


그림 13. 일정한 물의 양(200g)을 혼합한 옥수수 전분 질량에 따른 혼합물의 점도변화. 점도계의 2번 회전자(rotor)에 대해 5분마다 RPM을 바꿔 회전속도를 증가시키거나 감소시키면서 혼합물을 저으면서 측정된 점도값. 빨리 저을수록(RPM이 클수록) 점도가 줄어드는 것을 알 수 있다.

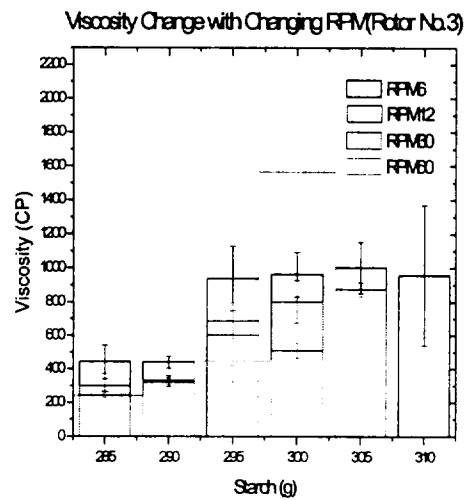


그림 14. 일정한 물의 양(200g)을 혼합한 옥수수 전분 질량에 따른 혼합물의 점도변화. 점도계의 3번 회전자(rotor)에 대해 5분마다 RPM을 바꿔 회전속도를 증가시키거나 감소시키면서 혼합물을 저으면서 측정된 점도값. 전분이 300g일때 문제가 있긴 하나 빨리 저을수록(RPM이 클수록) 점도가 줄어드는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

옥수수 전분과 물의 혼합물의 점도가 회전자의 회전속도가 증가함에 따라 증가하였다. 특히 물을 적게 첨가한 혼합물의 점도가 매우 컸다.

표 1, 2, 3에서 검토한 것과 같이 옥수수 전분에 물을 약간 혼합한 직후에는 점도가 높다. 그러나 천천히 혼합물을 저으면(점도계의 회전자를 돌리면) 전분이 흡수했던 물이 빠져나오면서 점도가 낮아진다. 그러나 같은 속도로 오래 젓거나 아니면 속도를 변화시키면서 오래 저으면 점도는 점차 증가하고 나중에는 B형 점도계로는 측정할 수 없을 만큼(회전판의 눈금이 100까지만 있음) 점도가 커짐을 알 수 있었다.

이러한 옥수수 전분과 유사한 성질을 나타내는 것으로서 대표적인 물질 한 가지를 들자면, 물을 뿌린 모래를 들 수 있다. 그러한 모래는

천천히 붓거나 손으로 파내면 별 저항을 느끼지 못한다. 그러나 발로 밟는 등의 압력을 가하면 딱딱하게 굳어지는 성질이 있다.

참고 문헌

- [1] 정광희, 전분의 화학적 분석에 관한 고찰, 석사학위논문.(공주대 교육대학원: 1992).
- [2] Thomas, D.J. and Stwell, W.A., *Starches*, (St. Paul, eagan Press.: 1977).
- [3] 김동훈, 식품화학, (탐구당:1979), 275-280.
- [4] Shakhashiri, B.Z., *Chemical Demonstrations*, (Univ. of Wisconsin Press.: 1989), pp.364~367

Viscosity Change of the Mixture of Cornstarch and Water Depending on the Speed of Stirring

Kwang Ho Hyun • Nam Guy Hyun

*Korea Science Academy, Busan, Korea
Department of Physics, Cheju National University, Jeju, Korea

Abstract

This paper demonstrates how the viscosity of the mixture of cornstarch and water changes depending on the amount of added water and stirring speed. The viscosity of cornstarch with less water is much higher than that of more water. The high viscosity appears while the rotor of dial reading viscometer is being revolved right after a little water is added on the cornstarch. However the viscosity is low while the rotor slowly rotates the mixture. That is the reason why the water subsides in slow rotation. But the viscosity continues to increase when the rotor revolves long with the same speed or different speed. And the viscosity gets to increase so high that the viscosity can not be measured with dial reading viscometer.