

<연구논문>

Acorn Starch의 유변학적 성질에 관한 연구(III) - Acorn Starch의 유변학적 성질에 미치는 Sucrose효과를 중심으로 -

이향애 · 김남희
성신여자대학교 화학과
(1998년 2월 5일 접수)

Study on the Rheological Properties of Acorn Starch (III) - Effect of sucrose on the Rheological Properties of Acorn Starch -

Hyang Aee Lee and Nam Hee Kim

Department of Chemistry, Sungshin Women's University, Dongsun-Dong, Seoul, Korea
(Received February 5, 1998)

요 약

중량 평균 분자량이 1.22×10^6 이고 다분산도가 8.90이며 수분과 아밀로오스 함량이 각각 9.35%, 27%인 도토리 전분에 sucrose를 첨가하여 동적 유변학적 특성에 대한 온도와 농도 의존성을 고찰하였다. AS(acorn starch)-sucrose계의 점도는 전단 속도가 증가하면 감소하는 전단담화 현상을 나타내며, sucrose농도가 증가할수록 점도가 증가하였고 Casson식에 의해 얻어진 항복치는 sucrose농도가 증가하면 증가하였다. 저장영률과 손실영률은 sucrose농도가 증가하면 단일하게 증가하였고 손실 탄성률은 온도가 증가하면 감소하였다. DSC 측정 자료를 zipper model에 적용시켜 본 결과 sucrose농도가 증가할수록 zipper의 수와 junction zone의 수는 증가했으며 크기는 감소하였다. Sucrose는 전분과 수소 결합을 형성하여 용액내에서 가소제처럼 거동함을 알 수 있었다.

Abstract—The rheological and thermal properties of acorn starch solutions with and without sucrose were investigated. The molecular weight and polydispersity of purified acorn starch was 1.22×10^6 and 8.90 respectively. The content of moisture, amylose in purified acorn starch was 9.35%, 27% respectively. The viscosity of purified acorn starch/sucrose/water system decreased with increasing the shear rate and the sucrose concentration. Acorn starch solutions with and without sucrose showed the shear thinning. The acorn starch/sucrose/water system did not exhibit the Newtonian behavior at low shear rate. Yield value (τ_y) increased in proportion to the sucrose concentration. Storage and loss Young's modulus of the acorn starch gel increased with increasing the sucrose concentration. Loss tangent decreased with increasing temperature. The temperature of DSC thermogram of the acorn starch/sucrose/water system shifted slightly to higher temperature with increasing sucrose content. The enthalpy change associated with the gelatinization increased with increasing the sucrose content. The endothermic peaks were analyzed by a zipper model approach. According to the zipper model, the number of junction zones increased, the size of each junction zone decreased and the rotational freedom of a link in a zipper decreased with the addition of sucrose. Sucrose appeared to act as a plasticizer by forming active networks and retarding the gelatinization.

Keywords: acorn starch, shear thinning, yield value, storage Young's modulus, loss Young's modulus, loss tangent, junction zone, zipper model

1. 서 론

전분은 식품 분야 뿐만 아니라 비식품 분야에서도 사용이 증대되고 있는 천연 고분자 물질로 물리적 및 화학적 처리에 의해 변성전분 및 에스테르, 에테르 화합물로 변환된다[1,2].

전분은 두가지 주요 glucan, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 혼합물이다. 일반적으로 아밀로오스는 전분의 20~25%를 차지하며 α -1,4-D-glucose의 선형분자로 2×10^6 g/mol의 분자량을 갖는다. 아밀로펙틴은 α -1,4 glucose결합을 주사슬로 약 4%의

α -1,6 glucose 결합을 가지로 가지며 아밀로오스의 분자량보다 100배 이상 크다. 일반적으로 아밀로펙틴은 긴 사슬(중합도가 약 45)과 짧은 사슬(중합도는 15) 두가지로 이루어졌으며 짧은 사슬들이 긴 사슬위에 정렬되어 있는 cluster 형태이다[3]. 전분은 중요 저장 다당류이고 수분을 함유한 고분자로 약한 분자간 힘(수소결합, 정전기적 인력, 반데르발스인력, 소수성 상호작용의 결합)에 의해 유지되어진다. 천연 전분은 가수분해에 의해 단당류, 이당류, 소당류, maltodextrin등을 생성하며 열처리에 의해 변성전분, 호화된 전분과 텍스트린 등의 전분 유도

체가 만들어진다.

도토리는 오래전부터 다양한 형태로 사용되어 왔고 특이한 질감이나 향미로 인해 목의 형태로 섭취되고 있다. 목은 전분이 주성분인 겔상 식품으로서 겔은 부분적으로 질서 정연한 영역과 무질서한 영역의 물리적 회합에 의한 망상체 또는 두 가지 성분의 응집된 콜로이드계로서 고체 상태의 역학적 성질을 갖는 물질로 일반적으로 표면이 매끄럽고 탄성이 크고 부드러우며 일정한 힘이 가해지면 조각으로 부서지는 절단성을 나타낸다[4-6]. 겔의 텍스처는 그들의 점탄성 성질에 의존하며 호화된 전분은 준안정 평형상태에 있어서 시간과 온도에 따라 그들의 구조와 성질이 변화하며 회합이 촉진되고 고분자 사슬의 재결정화가 일어나서 유변학적 성질, 결정화도, 물결합 능력이 변화한다. 동력학적 변형성질은 시간-온도의 함수로 설명되어질 수 있고 이런 유변학적 성질은 기본성분의 기능연구, 생성물개발, 원하는 텍스처를 얻기위한 적절한 제조 공정 도입 및 기기의 개발 등에 유용하다[7-10].

호화는 전분 구조의 변화이며 이는 수분함량, 저장온도, 지질, 계면활성제, 유화제, 염류 및 당류등에 영향을 받는다[11-13]. 전분의 호화에 대한 첨가제의 영향으로는 당류가 많이 이용되어왔고 일반적으로 당류는 전분의 호화온도를 높은 온도로 전이 시키며 이에 상응하는 엔탈피는 전분 중에 따라 높거나 낮아진다[14-20].

본 연구에서는 도토리 전분의 물성과 첨가제의 영향을 알아보기 위하여 도토리 전분을 정제하고 일정농도의 수용액을 제조한 후 sucrose를 첨가하여 혼합용액의 점도를 측정하고 도토리전분/sucrose/물계의 열적 성질과 겔상시료의 저장영률과 손실영률을 측정하였고 Sucrose의 영향을 정량적으로 분석하기 위해서 zipper model에 적용시켜 보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

시료로 사용한 도토리는 속리산에서 재배된 것을 구입하여 알칼리 침지법[21-23]으로 정제한 후 60 mesh체로 하여 25°C 진공오븐에서 건조시켰다. 정제한 전분중의 아밀로오스와 아밀로펙틴 함량을 조사하기 위하여 정제 전분을 Schoch의 butanol 개량법[24]에 따라 분획하여 분광광도계(UV-VIS-NIR Spectrophotometer, PU 8620 Philips)를 사용하여 요오드 비색법[25]에 의해 정량하였다.

정제 전분 일정량(15 wt%)에 sucrose를 농도별로 5, 10, 15 wt% 첨가하고 보존제로 0.02 wt% sodium azide를 넣고 24시간 혼합한 후 이를 전단 거동을 측정하는 시료로 사용하였다.

겔 시료는 Yoshimura 등[26]의 방법에 따라 제조하였다.

2.2. 전분의 분자량 분포도

정제한 전분의 분자량분포도는 겔침투크로마토그래프(GPC, Waters, U.S.A)를 사용하여 구하였고 측정조건은 다음과 같다. 표준시료로는 1% Pullulan($5.8 \times 10^3 \sim 8.53 \times 10^6$)을 사용하였고

이동상으로는 DMSO(dimethylsulfoxide)와 DMF(dimethylformamide)의 3:1 부피혼합액을 사용하였으며 칼럼은 Styragel 6E($5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^7$)였다. 시료 주입은 200 μ L, 흐름속도는 0.8 mL/min, chamber 온도는 35°C, detector 온도는 40°C였다.

2.3. 순수 전분과 sucrose 첨가 전분의 전단 점도 측정

Sample용액의 흐름특성을 결정짓기 위해서 15%(w/w)전분 용액에 sucrose를 농도별(5 wt%, 10 wt%, 15 wt%)로 첨가하여 실온에서 24시간 교반 한 후 전단속도에 따른 점도 변화를 cone and plate type 점도계(Brookfield viscometer, Brookfield Engineering Lab. Inc. German)를 사용하여 각 온도에서 시료용액의 전단 속도에 따른 전단 응력을 얻고 이를 Casson식[27](식 1)에 대입하여 항복 응력 및 점조도지수를 구하였다.

$$\sqrt{\tau} = K_c \sqrt{D} + \sqrt{\tau_y} \quad (1)$$

유동지수는 Herschel-Bulkley식[28](식 2)으로부터 계산하였다.

$$\tau = KD^n + \tau_y \quad (2)$$

τ : shear stress(Pa)

D: shear rate(s^{-1})

τ_y : yield value(Pa)

K_c 와 K: 점조도 지수($Pa \cdot S^n$)

n: 유동지수

5°C~65°C 범위내에서, 10°C 간격으로 전단속도 1 sec^{-1} 에서 점도를 측정하였고 이때 조건은 다음과 같다. Corn radius(r)는 1.2 cm이고 Corn angle(θ)는 3.0(0.052 rad)이었으며 분당회전속도(rpm: Ω):0.5, 1, 2, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100(sec^{-1})였다. Corn angle와 분당 회전속도(rpm)로부터 shear rate($\dot{\gamma}$)를 다음 식에 따라 구하였다.

$$\dot{\gamma} = \Omega / \theta \quad (3)$$

2.4. 점탄성 특성 측정

겔상 물질의 동적 점탄성을 측정하기 위하여 압축진동 평판형의 점탄성 측정 장치인 rheograph-gel(Toyoseiki, Seisakusho Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하였고 측정 진동수는 3 Hz였다. Yoshimura 등[26]의 방법에 따라 제조한 겔을 24시간 경과한 후 15°C~65°C 범위에서, 10°C 간격으로 storage Young's modulus(E')와 loss Young's modulus(E'')를 측정하고, 손실 탄성률($\tan\delta$)을 구하였다[29-31].

2.5. 열적 특성 측정

Sucrose를 첨가한 전분의 열적 성질을 조사하기 위해서 시차 주사열량계(DSC, Rigaku, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 평량한 silver pan에 도토리 전분 일정량, 15 wt%를 넣고 sucrose를 농도별로(0%, 5%, 10%, 15% w/w) 첨가하고 증류수를 주입한 후 compressor로 완전히 밀봉하고 재평량하였으며, reference cell은 sample cell과 동량의 무게를 갖도록 증류수로 채우고

같은 방법으로 밀봉한 후 평량하였다. 시료와 기준 물질을 25°C~130°C, 1°C/min의 속도로 가열하여 heating(first-run) DSC 흡열곡선을 얻었다. 이로부터 호화엔탈피(gelatinization enthalpy, ΔH_1)와 각 특징적인 온도-개시온도(T_i), 정점온도(T_p), 종결온도(T_c)-를 구하였고, 엔탈피와 온도는 dibenzyl 표준 시약으로 보정하였다[32].

3. 결과 및 고찰

3.1. 전단 점도 거동

15% 전분용액에 sucrose를 농도별(0%, 5%, 10%, 15% w/w)로 첨가한 분산액의 전단속도에 대한 점도 거동을 Fig. 1에 나타내었다. Sucrose농도가 증가할수록 점도는 증가하였고 전단속도가 증가하면 점도는 감소하였다. 전단 변형속도 Γ 에 놓여 있는 전분 입자는 흐름의 방향으로 배향하려 하지만 입자의 회전 브라운 운동(rotary Brownian motion) 또는 회전 확산(rotary diffusion)이 있어 이 배향을 방해 하려한다. 전단속도가 클수록 배향 작용이 커지므로 흐름에 대한 저항, 즉 점성력이 저하하여 비뉴우튼 점성이 나타난다. 전분용액은 전단속도가 증가함에 따라 점도가 감소하는 전단담화(shear thinning)현상을 보이며, 이는 입자의 분자운동이 가해지는 응력보다 작아서 분자꼬임의 풀림(molecular disentanglement), 배향(orientation), 연신(stretching) 등과 같은 방향성(anisotropy)이 발생되기 때문이다. 전단속도가 1 sec⁻¹에서의 sucrose첨가 시료의 온도 의존도를 Fig. 2에 도시하였다. Sucrose농도가 증가하면 점도는 증가하였고 온도가 증가함에 따라 점도는 감소하였다. Fig. 1과 2로부터 낮은 전단속도에서는 뉴턴흐름영역이 나타나지 않는 것을 알 수 있는데 이것은 계가 불균일 함을 의미하며 이런 불

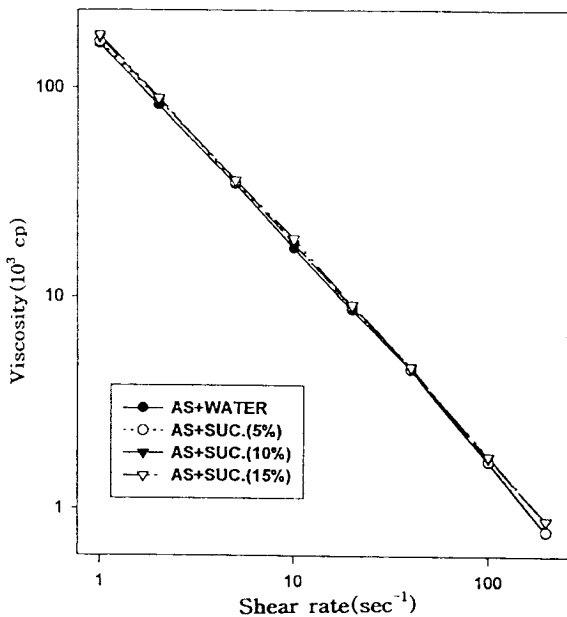


Fig. 1. Viscosity curve of 15 wt% acorn starch solution in water with and without sucrose as a function of shear rate.

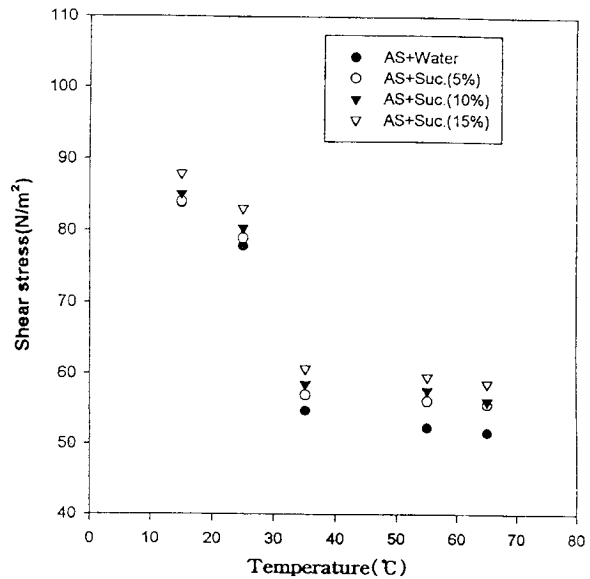


Fig. 2. Viscosity curve of 15 wt% acorn starch solution in water with and without sucrose as a function of temperature at 1 sec⁻¹.

균일하게 Bingham유체는 초기 항복치 값이 영이 아니므로 이 계의 점도는 Casson식에 의해 나타낼 수 있고 이로부터 초기 구조 파괴에 필요한 최소한의 응력, 즉 항복응력(yield value)과 유동지수(flow index)를 구할 수 있다.

Fig. 3, 4 및 5에 여러 온도에서 전분과 sucrose가 첨가된 전분의 전단속도와 전단응력과의 관계를 도시하였고 외삼에 의해 항복응력 값을 구하였으며 이를 Table 1에 나타내었다.

Sucrose농도가 증가하면 항복치는 증가(Fig. 6)하였는데, 이는 sucrose가 수소결합을 촉진시켜 전분 구조의 강도 증가에

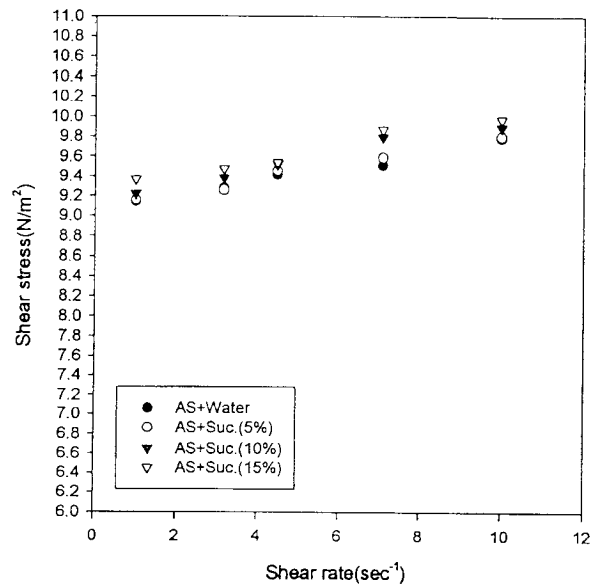


Fig. 3. Casson plot of 15 wt% acorn starch solution with and without sucrose at 15°C.

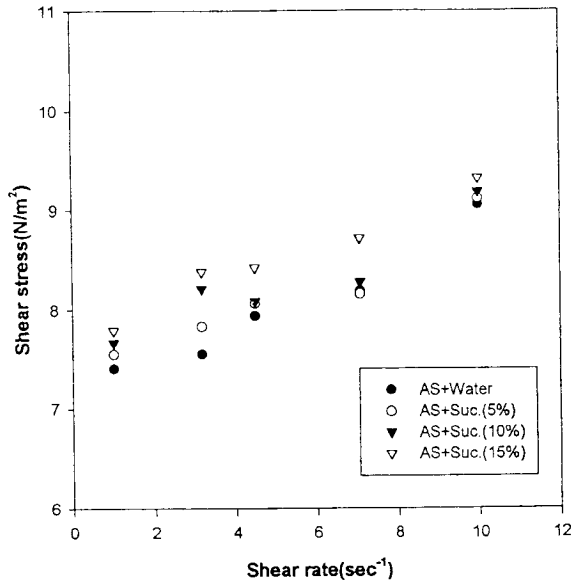


Fig. 4. Casson plot of 15 wt% acorn starch solution with and without sucrose at 35°C.

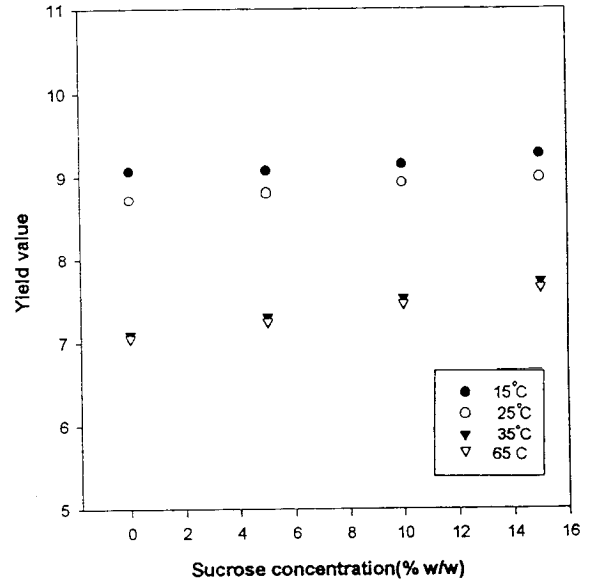


Fig. 6. Yield value of acorn starch (15% w/w) at various temperature as a function of sucrose concentration.

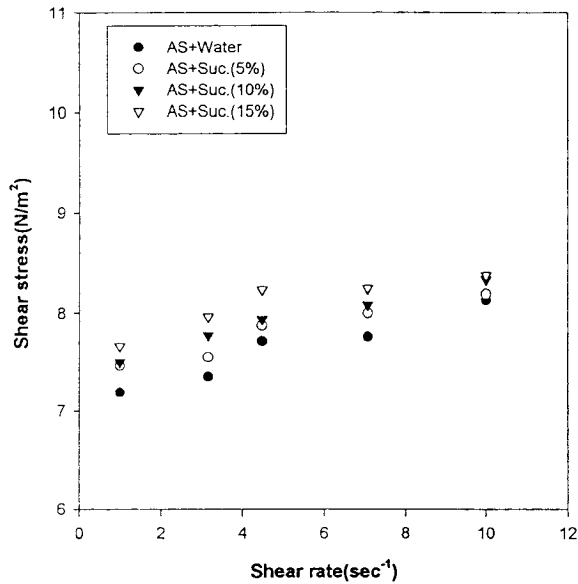


Fig. 5. Casson plot of 15 wt% acorn starch solution with and without sucrose at 65°C.

Table 1. Yield value (τ_y) of the acorn starch (15 wt%) with various sucrose concentration as a function of temperature

Temperature (K)	AS+Water (15%)	AS+Suc. (5%)	AS+Suc. (10%)	AS+Suc. (15%)
288	9.07(0.983)	9.08(0.980)	9.15(0.969)	9.277(0.955)
298	8.73(0.958)	8.81(0.943)	8.92(0.946)	8.98(0.981)
308	7.10(0.948)	7.31(0.906)	7.53(0.857)	7.73(0.960)
338	7.00(0.937)	7.12(0.934)	7.32(0.975)	7.53(0.824)

()는 95% 신뢰도 한계에서 상관 계수

기여했다는 것을 의미하며 sucrose의 수산기와 전분과의 상호작용이 있음을 보여준다. 온도가 증가하면 항복치는 감소하였

Table 2. Flow index of 15 wt% acorn starch with and without sucrose as a function of temperature

Temperature (K)	AS+Water	AS+Suc. (5%)	AS+Suc. (10%)	AS+Suc. (15%)
288	7.91×10^{-2}	7.31×10^{-2}	7.99×10^{-2}	7.40×10^{-2}
298	4.36×10^{-2}	3.92×10^{-2}	3.69×10^{-2}	4.10×10^{-2}
308	1.82×10^{-1}	1.61×10^{-1}	1.47×10^{-1}	1.56×10^{-1}
338	1.02×10^{-1}	8.45×10^{-2}	8.95×10^{-2}	7.44×10^{-2}

고 25~35°C 범위에서 유동지수와 항복치 값이 급격히 감소하였으며 이는 이 온도영역에서 전분과 sucrose의 용해도가 증가하고 응력에 대해 같은 방향으로 배향이 일어나기 때문이다. 온도가 상승함에 따라 항복응력은 감소하였는데 이것은 온도상승에 따른 분자사슬의 운동에너지의 증가로 인한 전분구조의 약화로 볼 수 있다. Table 2에서 보이는 바와 같이 전분/sucrose/물계의 유동지수는 전분/물계의 유동지수 보다 작아서 sucrose가 용액의 전단담화 성질을 더욱 증대시키며 sucrose농도에는 비례하지는 않음을 알 수 있다. 이는 sucrose가 전분뿐 만 아니라 자유수와의 상호작용을 함을 알 수 있다. 시료들의 유동지수값은 1보다 작아서 시료용액은 유사소성 지수법칙유체(pseudoplastic power law fluid)임을 알았다.

3.2. 점탄성 특성

Sucrose농도에 따른 전분겔의 저장영률(E')과 손실영률(E'')은 Fig. 7, 8에 나타내었다. Sucrose농도가 증가 할수록 저장영률과 손실영률은 증가 하였다. 전분의 겔형성은 고분자의 가교결합에 의한 3차원의 망상구조에 의해 촉진되며, 이는 아밀로오즈, 아밀로펙틴 분자들의 이중나선 구조가 수소결합에 의해 안정화되어 junction zone을 이루는 것이라고 알려져 있다 [33]. junction zone의 구조와 안정성은 겔을 형성하는 고분자

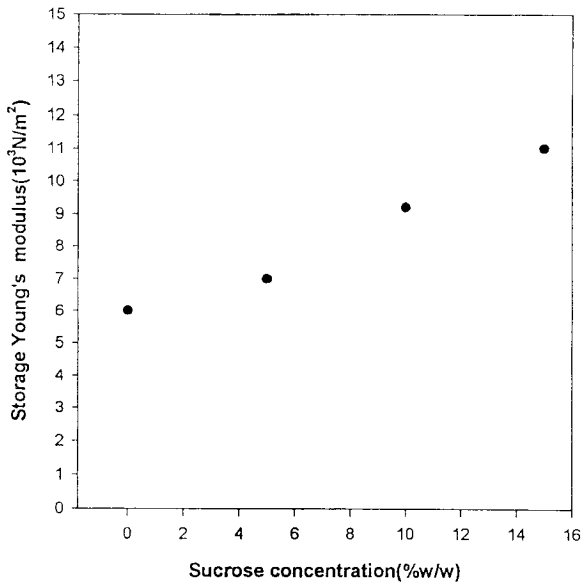


Fig. 7. Storage Young's modulus of acorn starch (15 wt%) as a function of sucrose concentration after 1 day storage. The measurement temperature was 15°C, the storage temperature was 5°C, The frequency was 3 Hz.

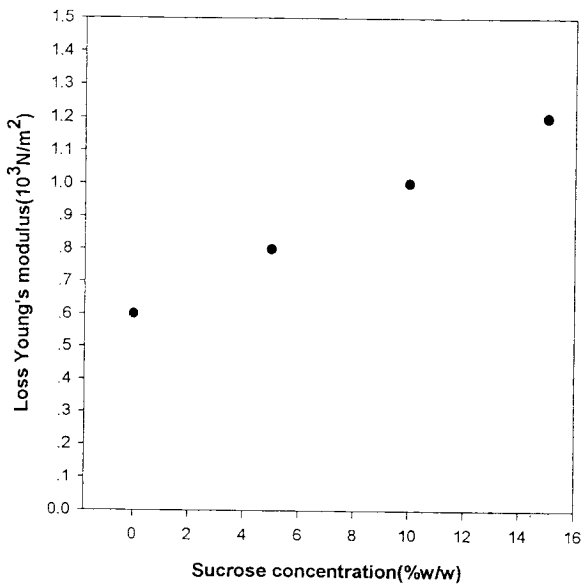


Fig. 8. Loss Young's modulus of 15wt% acorn starch gel as a function of sucrose concentration after 1 day storage. The measurement temperature was 15°C, the storage temperature was 5°C and the frequency was 3 Hz.

의 분자구조에 영향을 받으므로 여러 가지 전분 겔의 유변학적 성질이 다른 것은 상대적으로 junction zone의 크기와 안정성이 다르기 때문으로 탄성률은 junction zone의 수와 분자량에 따라 변화한다. Sucrose는 전분과 수소결합을 형성하여 결합 영역의 수를 증가시킴으로서 탄성률이 증가한다고 볼 수 있다. 저장 1일 후의 온도에 따른 저장 영률과 손실탄성률은 Fig. 9에 도시 하였다. 열가역적 겔의 경우에 탄성률의 온도의

존도는 겔-졸 전이온도보다 낮은 온도 영역에서는 결합영역과 결합영역에 연결되어있는 유연사슬들로 이루어진 reel-chain model로 설명되어져왔는데[34-36], 이 이론에 따르면 탄성률의 온도 의존도는 결합에너지 ϵ , junction zone에 연결되어있는 chain들의 평균 end-to-end distance, r_m 과 ceiling number v (겔에서 졸로 전이가 일어나기 전에 junction zone으로부터 자유로워질 수 있는 분자들의 상한수)로 설명할 수 있는데 ϵ , r_m , v 의 값이 작은 경우에는 탄성률이 온도증가에 따라 단일하게 감소하며, 반대로 ϵ , r_m , v 의 값이 큰 경우에는 탄성률은 온도증가에 따라 증가한다. 이는 작은 ϵ 를 갖는 carragenan과 젤라틴, 다른 열가역적 겔에서 온도증가에 따라 탄성률이 감소하는 거동을 보여주므로써 확인되었다[36]. 따라서 도토리 전분은 낮은 ϵ 을 가짐을 추측할 수 있었다. Sucrose가 첨가됨에 따라서 E'는 증가하는데 이는 결합에너지 ϵ 의 변화보다는 ceiling number v 가 sucrose농도 증가에 따라 증가하고 junction zone의 수가 증가되어, junction zone에 연결되어있는 flexible chain들의 end-to-end distance, r_m 을 짧아져서 sucrose농도가 증가하면 E'가 증가한다고 볼 수 있다. 온도가 상승하면 E'는 감소하고 loss tangent δ 는 증가하였는데 이는 junction zone의 열적 안정도가 증가하기 때문이다.

3.3. Zipper Model Approach

정제 전분의 엔탈피와 각 특징적인 온도를 Table 3에 나타내었다.

Sucrose농도가 증가 할수록 엔탈피와 전이 온도는 증가하

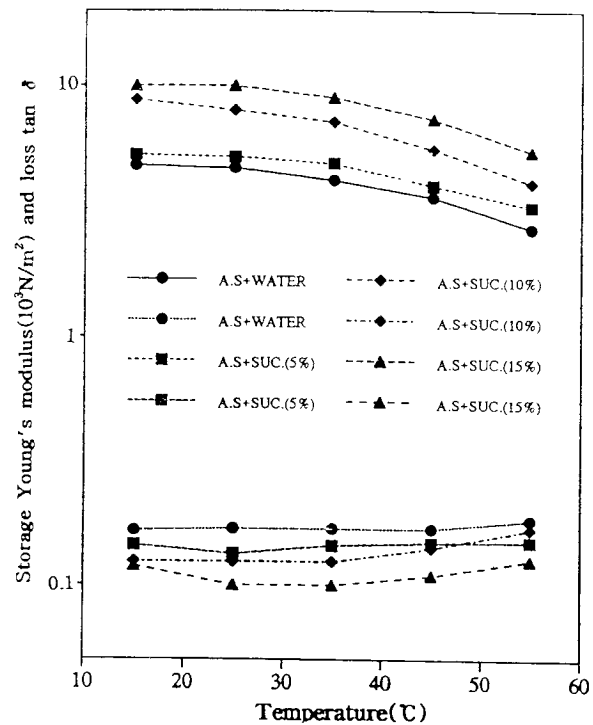


Fig. 9. Temperature dependence of storage Young's modulus and loss tan δ of 15 wt% acorn starch gel stored for 1 day at 5°C with and without sucrose. The frequency was 3 Hz.

였다.

열가역적 겔의 겔-졸 전이는 DNA의 용융에 대한 helix-coil 전이를 설명하기 위해 사용되었던 이론적인 zipper model[37-39]로 설명할 수 있는데 helices 또는 확장된 분자와 같은 단단하고 질서정연한 분자구조를 설명하는데 zipper분자의 회합으로서 결합영역을 가정할 수 있으며 이러한 helices 또는 막대회합을 만드는 분자간 힘은 일반적으로 공유결합보다는 수소결합과 같은 이차적인 힘으로 믿어져 왔다. 그 이유는 공유결합의 분해는 실험적으로 측정된 값보다 훨씬 많은 에너지를 필요로 하기 때문이다. 겔의 용해는 N개의 평형 link를 가진 zipper분자를 여는 과정으로 생각될 수 있다[40](Fig. 10). P개의 link로 이루어진 zipper분자의 경우 p+1번째의 link를 열기 위해 요구되는 에너지는 ϵ 으로 가정하고, G는 link의 회전자유도에 해당한다.

이러한 가정하에서 N개의 zipper로 이루어진 계의 열용량 C는 다음 식[37](식 4)으로 나타낼 수 있다.

$$C = \kappa N(\log G/\chi)^2 [2\chi/(1-\chi)^2 + \{N(N+1)\chi^N - \chi^{N-1} + (N+1)\chi - N/(1-(N+1)\chi^N + N\chi^{N-1})^2\}]$$

N: 단일 zipper에서 평형 link의 수

ϵ : link를 여는데 요구되는 에너지

G: link의 회전 자유도

N: zipper의 수

χ : $G \exp(-\epsilon/\kappa T)$

κ : Boltzman 상수

Table 3. The characteristic temperature and gelatinization enthalpy of 15 wt% acorn starch solution in water with and without sucrose

sucrose conc. (% w/w)	T_c (K)	$T_g(T_{gel})$ (K)	$T_c(T_m)$ (K)	$T_c - T_m$ (K)	ΔH_1 (mJ/mg)	ΔS (mJ/mgK)
0	3.28×10^2	3.37×10^2	3.47×10^2	19.3	9.18 ± 0.190	0.124
5	3.29×10^2	3.39×10^2	3.48×10^2	19.2	9.76 ± 0.025	0.130
10	3.31×10^2	3.40×10^2	3.49×10^2	18.1	9.93 ± 0.110	0.131
15	3.32×10^2	3.42×10^2	3.51×10^2	19.40	10.26 ± 0.08	0.132

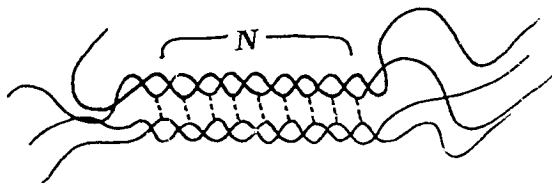


Fig. 10. A single zipper with N links. Links can be opened from both ends. If the links 1, 2, ..., P are all open, the energy required to open the P+1st link is ϵ . Helices may not necessarily be double helices; they may be single or triple helices. Here double helices represent the association of somewhat ordered structure symbolically [37].

따라서 각 junction zone의 안정화는 회전자유도 G와 결합에너지 ϵ 뿐만 아니라 단일 zipper를 형성하는 평형 link의 수 N

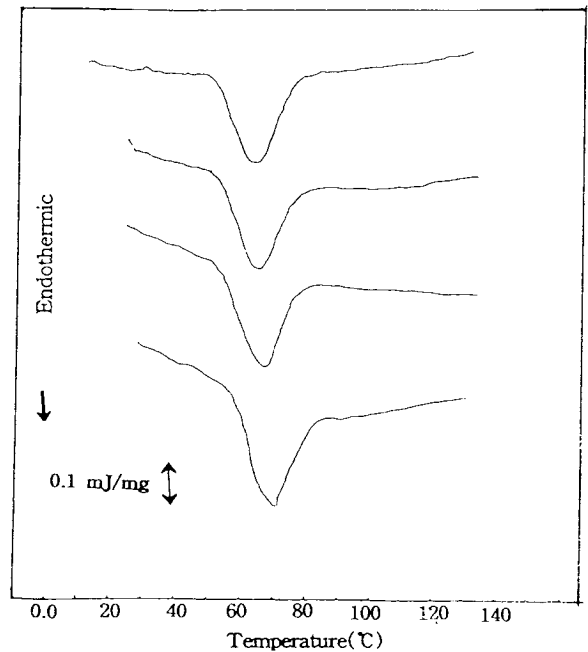


Fig. 11. Heating DSC curves of 15 wt% acorn starch dispersions in the presence of different sucrose concentration. The concentration of sucrose are 0, 5, 10, 15 wt% from top to bottom. Heating rate was 1 °C/min.

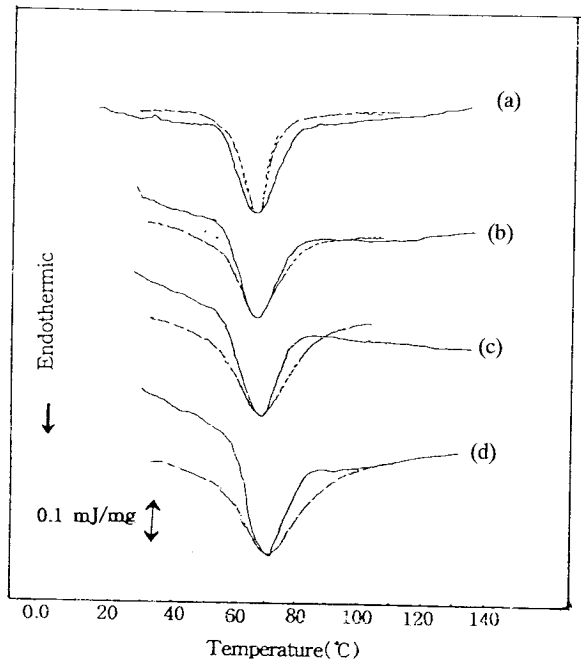


Fig. 12. Examples for observed heating DSC curves (solid lines) and the best-fitted calculated curves (dotted lines) using eq. 4. starch content: 15 wt%, heating rate 1 °C/min. (a) sucrose 0 w/w% $G=712$, $N=5.5 \times 10^{16}$, (b) sucrose 5 w/w% $G=690$, $N=1.47 \times 10^{17}$, (c) sucrose 10 w/w% $G=625$, $N=2.1 \times 10^{16}$, and (d) sucrose 15 w/w% $G=655$, $N=3.63 \times 10^{17}$.

에 의존하며, 이는 Nishinari 등의 일련의 실험에서 볼 수 있다 [35-37]. Sucrose와 전분은 수소결합을 형성한다고 가정하고 수소결합에너지는 2000 k로 하고 [38] sucrose 농도에 따른 정점 온도(peak temperature)를 기준으로 가열 곡선(Fig. 11)을 curve fitting한 결과 zipper의 link 수는 각 농도에 대해 100, 55, 43, 36이었다.

단위그램 겔 당 zipper의 수와 link의 회전자유도는 각 각 curve fitting으로 구해서 5.5×10^{16} , 1.47×10^{17} , 2.1×10^{16} , 3.63×10^{17} 과 655, 625, 690, 490이었다. 이를 Fig. 12에 도시하였다.

Sucrose의 농도가 증가하면 zipper의 수는 증가하고 결합영역의 크기에 비례하는 평형 link의 수와 link의 회전자유도 G는 감소하였다. 즉 sucrose의 농도가 커지면 크기는 작으나 보다 많은 수의 junction zone이 생성된다고 볼 수 있다.

4. 결 론

실험에 사용한 도토리 전분의 수분은 9.35%, 아밀로오스 함량은 27%였고 GPC에 의해 분석한 정제 전분의 중량 평균 분자량은 1.22×10^6 이었고 다분산도는 8.90이었다. 도토리 전분에 sucrose를 첨가한 계의 전단 점도 실험과 동적 역학적 분광법에 의한 E' 및 E''의 측정 결과 전분-sucrose 혼합 용액은 전단담화 현상을 보이며, sucrose 농도가 증가 할수록 Casson식에 의한 항복치는 증가하였고 온도가 증가하면 항복치는 감소 하였다. 저장 1일 후의 E' 및 E''는 sucrose 농도가 증가 할수록 증가하여 sucrose는 전분과 자유수와의 상호 작용에 의해 수소결합을 촉진 시키는 작용을 함을 알 수 있었다. 온도가 증가하면 손실 탄성률은 감소하였고 sucrose 농도가 증가하면 증가 하였다. Sucrose의 영향을 정량적으로 관찰하기 위해서 zipper model에 적용시켜 본 결과 sucrose 농도가 증가할수록 zipper 내의 link의 수는 감소하나 zipper의 수는 증가하여 junction zone의 수가 증가함을 알 수 있었다.

참고문헌

- H. Koch and H. Roper, *Starch*, **40**, 121 (1988).
- H. Roper, *Carbohydrates*, **22** (1997).
- S.G. Ringand and R. Parker, *Carbohydrates in Europe*, p. 6 (1997).
- 문수재, 손경희, 연세논총, 1978.
- 김정옥, 이만정, 도토리 전분의 理化學的 性質에 관한 研究, 한국 식품과학회지, **8**, 230 (1976).
- 구성자, 대한가정학회지, **22**, 99 (1984).
- Launay, *Cereal Chem.*, **67**, 25 (1990).
- Mizukishi, *Cereal Chem.*, **62**, 247 (1985).
- M. Watase and K. Nishinari, *Carbohydrate Polymer*, **20**, 1754 (1994).
- Ph. Roulet, W.M. MacInnes, P. Wursch, R.M. Sanchez and A. Raemy, *Food Hydrocolloids*, **2**, 381 (1988)
- C.G. Biliaderis, *Thermal analysis of foods*, Elsevier Applied Science, (1994).
- M. Gudmundson, *Thermochimica Acta*, Elsevier Applied Science, p. 246 (1994).
- 김동훈, 식품 화학 개론, 수학사 (1995).
- H.L. Savage and E.M. Osman, *Cereal Chem.*, **55**, 447 (1978).
- H.L. Savage and E.M. Osman, *Cereal Chem.*, **57**, 49 (1980).
- C.G. Biliaderis, C.M. Page, T.J. Murice and B.O. Juliano, *J. Agric Food Chem.*, **34**, 6 (1986).
- R.D. Spies and R.C. Hoseney, *Cereal Chem.*, **59**, 128 (1982).
- M.M. Bean, W.T. Yamazaki, D.H. Donelson, *Cereal Chem.*, **55**, 945 (1978).
- M. Gudmundsson and A.C. Eliasson, *Carbohydrate Polymer*, **13**, 295 (1990).
- K.M. Koepsel and R.C. Hoseney, *Cereal Chem.*, **57**, 49 (1980).
- 정동효, 유태중, 최병규, 한국농화학회지, **18**, 102 (1975).
- M. Dubois, K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and S. Fred, *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956).
- Rog L. Whistler, *Carbohydrate Chemistry*, Academic press (1964)
- T.H. Schoch, E.J. Wilson and C.S. Hudson, *J. Am. Chem. Soc.*, **65**, 1380 (1943).
- B. Carroll and H.C. Cheung, *Method in Carbohydrate Chemistry*, Academic press New York, p. 170 (1964).
- M. Yoshimura, T. Takaya and K. Nishinari, *J. Agricultural and Food Chemistry*, **44**, 2970 (1996).
- N. Casson, *In rheology of dispersed systems*, C.C.(ed.), Pergamon Press Oxford, p. 84 (1958).
- P. Sherman, *Industrial Rheology*, Academic Press, New York (1970).
- 赤羽ひろ, 中振信子, 調理科學, **22**, 37 (1989).
- Ronald Darby, *Viscoelastic Fluids*, Dekker (1986).
- L.H. Sperling, *Introduction to physical polymer science*, John Wiley & sons (1990).
- T. Komiya and S. Nara, *Starch*, **38**, 9 (1986).
- G.R. Sanderson, *Polysaccharide in Foods*, Food Technology, p. 50 (1981).
- K. Nishinari, *Carbohydrate Polymer*, **3**, 39 (1983).
- K. Nishinari, T. Takaya and M. Watase, *Food Hydrocolloids*, Plenum Press, **8**, 473 (1994).
- K. Nishinari, S. Koide, P.A. Williams and G.O. Philips, *J. Agricultural and Food Chemistry*, **38**, 1188 (1990).
- K. Nishinari, S. Koide, P.A. Williams and G.O. Philips, *J. Phys. (France)*, **51**, 1759 (1990).
- J.S. Oakenfull, *Food Sci.*, **49**, 1103 (1984).
- J.S. Oakenfull, *Food Hydrocolloids*, **1**, 63 (1986).
- K. Nishinari and M. Watase, *Carbohydrate Polymer*, **11**, 122 (1989).