

고구마 전분을 이용한 가식성 필름의 제조와 특성

이정주 · 임종환
목포대학교 식품공학과

Characteristics of Edible Films Based with Various Cultivars of Sweet Potato Starch

Jung Ju Lee and Jong Whan Rhim
Department of Food Engineering, Mokpo National University

Abstract

In order to investigate the characteristics of various sweet potato starches, gelatinization temperatures, solution viscosity of starch separated from two cultivars of the dry type sweet potatoes(Yulmi and Gunmi), one cultivar of moist type sweet potato(Jinmi), and one cultivar of purple colored variety(Jami) were compared, and properties of the edible films prepared with the starches were determined. Under a differential scanning calorimetry(DSC), initial temperatures for starch gelatinization of the dry type sweet potatoes (Yulmi and Gunmi) were higher than that of the moist type sweet potato (Jinmi), and that of Jami was close to those of the dry type ones. The sweet potato starch solutions tested by a cone and plate viscometer, showed pseudoplastic characteristics. The moist type sweet potato was the most viscous followed by Jami, Yulmi, and Gunmi among the tested starch solutions. Total color difference of the edible films prepared with different cultivars of sweet potatoes showed appreciable differences between cultivars, caused by differences in Hunter-b values. Water Vapor Permeability (WVP) of sweet potato starch films also showed significant differences between cultivars. Films prepared with the dry type sweet potato, Gunmi, showed the lowest WVP value of $0.83 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{m/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, followed by Jami, Yulmi, and Jinmi. Water solubility of the films did not show any significant differences between cultivars. Tensile strength of the dry type sweet potato and Jami, which ranged 14.18-18.75 MPa, were higher than that of the moist type sweet potato, which was 4.66 MPa. Elongation values of the films, which were 5-6%, indicated that sweet potato starch films were not so elastic.

Key words : sweet potato, starch, edible film

서 론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 주요한 탄수화물 및 열량공급원으로서 1763년에 우리 나라에 처음으로 도입된 이래 쌀, 보리 등의 곡류와 함께 주요 식량자원으로 널리 이용되어 왔다. 고구마의 성분과 그 함량은 품종, 재배조건, 수확방법 및 저장조건 등에 따라 달라질 수 있으나, 일반적으로 수확 시 건조고형물의 양이 16-40%이며, 이 중 75-90%가 탄수화물이며, 고구마의 탄수화물은 전분, 당, 셀룰로오스, 펙틴질 및

hemicellulose로 구성되어 있는데, 고구마 전분의 60-70%가 amylopectin이고 나머지가 amylose로 구성되어 있다⁽¹⁾.

고구마는 품종에 따라 독특한 특성을 가지고 있으며, 그에 따라 용도도 달라진다. 고구마는 가열후의 조직특성에 따라 분질고구마와 점질고구마로 나누어지는데^(2,3), 현재 국내에서 흔히 재배되고 있는 분질고구마의 품종으로는 율미, 전미 등이 있고, 점질고구마의 품종으로는 진미, 황미 등이 있다. 이외에 특이한 고구마의 품종으로서 최근에 개발된 자미가 있는데, 이는 표피뿐만 아니라 육질까지 짙은 자색을 띠고 있는 유색고구마로서 새로운 anthocyanin계의 천연식용색소원으로 이용가능성이 높은 품종이다⁽⁴⁻⁷⁾. 고구마의 품질은 주성분인 전분의 특성에 좌우되며, 고구마전분의 특성은 품종, 토양 등의 재배조건에 따라 차이를 보이는데

Corresponding author : Jong Whan Rhim, Department of Food Engineering, Mokpo National University, Chungkye, Muan, Chonnam 534-729, Korea
Tel : 061-450-2423
Fax : 061-454-1521
E-mail : jwrhim@chungkye.mokpo.ac.kr

고구마의 효용가치를 높이고 기능성을 향상시키기 위해 고구마의 이화학적 특성 및 가공적성 등에 관한 연구가 이루어지고 있다^(3,8-14). 고구마는 직접 식용으로 이용되는 외에 전분을 분리하여 당면이나, 물엿 또는 주정의 제조를 위한 식품가공용 소재로 이용되거나 의약품, 제지산업 및 섬유산업에도 널리 사용되고 있다. 특히 최근에는 환경보전의 차원에서 주목되고 있는 고흡수성 polymer와 생분해성 필름의 소재로서 전분의 이용에 관하여 관심이 높아지고 있다⁽¹⁵⁻¹⁹⁾.

본 연구에서는 국내산 고구마의 품종별 전분의 필름 제조특성을 조사하기 위하여 분질고구마인 울미와 진미, 점질고구마인 진미 및 유색고구마인 자미로부터 전분을 분리하여 가식성 필름을 제조하고 이들의 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 고구마는 분질고구마인 울미와 진미, 점질고구마인 진미 및 자색고구마인 자미의 4품종으로 전남 무안에서 1998년 가을에 생산된 것을 시료로 사용하였다.

일반성분

수세하고 물기를 제거한 후 하루 정도 실온에서 방치한 고구마의 껍질을 제거한 시료를 사용하여 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분 등의 일반성분을 AOAC법에 의해서 조사하였다⁽²⁰⁾.

전분의 제조

전분의 분리는 알칼리침지법⁽²¹⁾을 사용하였다. 즉, 고구마의 양 끝부분을 제거하고 껍질을 벗긴 후 세절한 시료를 증류수와 얼음을 넣고 Waring blender로 마쇄한 후 50 mesh와 80 mesh 체를 반복 사용하여 걸러진 전분박을 제거하고 12시간 정도 실온에 보관하면서 전분을 침전시켰다. 상등액을 제거한 침전물을 증류수로 세척한 후 100 mesh 체로 거르고 걸러진 고형분을 다시 12시간 정도 침전시킨 다음 상등액을 제거하고 얻은 조건분침전물을 얻었다. 여기에 약 10배 부피의 0.2% NaOH 용액을 첨가하여 수세하는 과정을 전분층의 노란색이 없어질 때까지 반복하였다. 이렇게 얻어진 전분의 알칼리를 제거하기 위하여 용액이 중성이 될 때까지 증류수로 수세하였다. 중성이 된 후 200 mesh와 340 mesh의 체로 걸러낸 다음 침전시켜서 상등액을 제거하고 침전된 전분을 실온에서 건조한 후

100 mesh 크기로 분쇄하여 유리병에 담아 밀봉하여 냉장고에 보관하면서 시료로 사용하였다.

전분의 특성

고구마전분의 표면색을 Hunter색차계(Color and Color Difference Meter, HunterLab ColorQUEST, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 측정하고, 분말의 백색도(Whiteness Index; WI)는 다음 식에 의하여 계산하였다⁽²²⁾.

$$WI = 100 - [(100-L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5}$$

여기에서 L값은 색의 밝기를 나타내는 것으로 L=0 (black)에서 L=100(white)을 나타내고, a값은 색의 초록과 적색도를 나타내는 것으로 a=-80(greenness)에서 a=100(redness)을 나타내고, b값은 청색과 황색도를 나타내는 것으로 b=-80(blueness)에서 b=70 (yellowness)을 나타낸다.

전분의 물결합능력은 Medcalf와 Gilles⁽²³⁾의 방법에 따라 전분 5g에 증류수 75 mL을 넣고, 이따끔 흔들어서 주면서 약 1시간 정도 방치한 후, 10분간 원심분리(3,000×g)하고 상등액을 완전히 제거한 후 무게를 측정하여 전분에 결합된 수분의 양을 백분율로 나타냈다.

전분의 호화특성을 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry, TA 2000, USA)를 사용하여 조사하였다⁽²⁴⁾. 테시케이터에서 24시간동안 conditioning한 전분시료 2 mg과 전분의 3배정도의 증류수를 aluminum pan에 넣고 밀봉하여 24시간동안 실온에서 방치한 후 사용하였다. 가열속도를 10°C/min로 하여 측정온도를 30°C부터 120°C까지 증가시키면서 흡열곡선을 얻고 이로부터 전분의 호화온도를 측정하였다.

전분용액의 점도 측정

고구마 전분용액의 점도를 cone and plate type 회전 점도계인 Brookfield Viscometer(DV-II+, Brookfield Eng. Inc., USA)를 사용하여 3반복 측정하였다. 이 때 사용한 고구마전분용액은 전분필름의 제조 시와 같은 조건으로 제조하였다. 즉, 증류수 150 mL에 전분 4g을 넣고 서서히 열을 가하면서 교반하여 완전히 용해시킨 후 Homogenizer(T25B, IKA Labortechnik, Germany)를 사용하여 9500 rpm으로 2분간 처리하고, 85°C로 조절된 수욕조에서 20분간 가열하면서 전분을 호화시킨 후 상온으로 냉각시켜 점도를 측정하였다. 점도 측정용 컵에 시료액을 8 mL을 넣고 No. 20 spindle을 사용하여 회전수를 2.0, 5.0, 10, 20, 50, 100 rpm으로

로 변화시키면서 점도를 측정하였다. 점도측정 시 컵의 온도는 25°C를 유지하도록 조절하였다.

각 전분용액의 유동특성값의 결정을 위해 의가소성 유체에 널리 적용되는 다음의 Herschel-Bulkley model과 Power Law model⁽²⁵⁾을 사용하였다.

$$\text{Herschel-Bulkley model: } \tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$$

$$\text{Power Law model: } \tau = K\dot{\gamma}^n$$

여기서 τ 는 전단응력(Pa), τ_0 는 항복응력(Pa), K는 점도지수(Pa · sⁿ), n은 유동거동지수, $\dot{\gamma}$ 는 전단속도(s⁻¹)이다.

전분필름 제조

중류수 150 mL에 전분 4g를 넣고 서서히 열을 가하면서 교반하여 완전히 용해시킨 후 Homogenizer (T25B, IKA Labortechnik, Germany)를 사용하여 9500 rpm으로 2분간 처리하고, 85°C로 조절된 수욕조에서 20분간 가열하면서 전분을 호화시킨 후 가소제로서 glycerin 1.2 g을 첨가하여 필름용액을 제조하였다. 이 용액을 8점의 cheese cloth(garde 40, Fisher Scientific)로 걸러서 거품을 제거한 후 120 mL를 취하여 테플론을 코팅한 수평의 유리판 (21×35 cm)에 부어 두께가 균일하게 되도록 조절한 후 상온에서 약 24시간 건조하였다. 건조가 끝난 후에는 전분 필름을 유리판으로부터 떼어내어 실험용 필름으로 사용하였다. 실험용 필름은 필름의 특성 측정항목에 따라 투습도 및 표면색도 측정용은 7×7 cm, 수분용해도 측정용은 2×2 cm, 인장강도 및 연신율 측정용 시료는 10×2.5 cm 크기로 절단하여 사용하였다.

필름의 두께

각 필름의 두께는 0.01 mm의 정밀도를 갖는 마이크로미터(Dial Thickness Gage 7301, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 투습도 측정용 시료는 중심부와 주변 4부위의 두께를 측정하고 그 평균값을 사용하여 투습계수의 계산에 사용하였으며, 인장강도 측정용 시료 역시 길이 방향으로 5부위의 두께를 측정하여 그 평균값을 사용하여 필름의 인장강도 계산에 사용하였다.

Conditioning

모든 필름 시료는 사용하기 전에 25°C, 50% 상대습도로 조절된 항온항습기(Model FX 1077, (주)제이오텍, Korea)에서 적어도 48시간동안 수분함량을 조절한 후 필름의 특성 측정에 사용하였다.

색도

필름의 색도는 색차계(CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter L, a 및 b 값을 측정하였다. 색도 측정은 필름 시료를 색차표값이 L=96.86, a=-0.02 및 b=1.99인 표준백색판(Calibration Plate CR-143) 위에 놓고 필름의 중심과 주변 네 부위를 포함하여 다섯 부위의 색도를 측정하여 평균값으로 표시하였다. 이들 Hunter L, a 및 b 값으로부터 색차(Total Color Difference; E)를 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$\Delta E = [(L_{\text{film}} - L_{\text{standard}})^2 + (a_{\text{film}} - a_{\text{standard}})^2 + (b_{\text{film}} - b_{\text{standard}})^2]^{0.5}$$

투습계수

필름의 투습계수(Water Vapor Permeability; WVP)는 Gennadios 등⁽²⁶⁾의 방법에 따라 25°C와 50%(100/50%) 상대습도 구배 하에서 측정하였다. Poly(methyl-methacrylate)로 제작한 투습컵을 사용하여 상부까지 약 1 cm의 공간이 생기도록 약 18 mL의 중류수를 넣고, 투습도측정용 필름을 투습컵의 입구(지름 4.6 cm)에 밀착시켜 밀봉한 후 무게를 측정하여 25°C와 50% RH로 조절되고 198 m/min의 속도로 공기가 순환되는 항온항습기(Model FX 1077, (주) 제이오텍)에 넣고 8시간 동안 매 1시간 간격으로 투습컵의 무게를 0.0001 g의 정밀도로 측정하였다. 시간변화에 따른 투습컵의 무게감소값으로부터 필름의 투습도(Water Vapor Transmission Rate; WVTR)를 구한 후, 다음 식에 따라 투습계수를 결정하였다.

$$WVP = (WVTR \times L) / \Delta p$$

여기서 WVTR은 필름의 투습도(g/m² · s), L은 필름의 평균 두께(m), Δp 는 필름의 양쪽의 수증기압차(Pa)를 나타낸다. 이때 필름 하부의 수증기압은 필름의 하부와 중류수의 표면 사이에 있는 공기의 저항에 의한 영향을 McHugh 등⁽²⁷⁾과 Gennadios 등⁽²⁸⁾의 방법에 따라 보정하였다. 초기의 평균 공기층의 간격(1 cm)과 최종 공기층의 간격을 투습계수의 계산에 사용하였으며, 각 필름의 투습계수는 3회 반복실험을 실시하여 평균값으로 나타냈다.

용해도

필름의 용해도(Water Solubility; WS)는 Gontard 등⁽²⁹⁾의 방법에 따라 측정하였다. 먼저 수분용해도 측정용 필름 3매를 취하여 105°C의 건조기에서 24시간

Table 1. Proximate chemical composition of various sweet potato starches

Sweet potato strache	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipids (%)	Crude Ash (%)	Carbohydrate ¹⁾ (%)
Yulmi	11.89	0.69	0.17	0.08	87.21
Gunmi	11.30	0.70	0.15	0.11	87.74
Jinmi	12.60	0.64	0.14	0.16	86.46
Jami	11.20	0.77	0.19	0.64	87.20

¹⁾By subtracting moisture, protein, lipid and ash contents from the total.

Table 2. Color values and water binding capacity of various sweet potato starches¹⁾

Sweet potato starches	Color value			WI ²⁾	Water binding capacity (%)
	L	a	b		
Yulmi	94.27±0.02 ^a	-0.45±0.01 ^a	2.99±0.02 ^b	93.52±0.01 ^b	71.09±0.99 ^a
Gunmi	94.98±0.02 ^b	-0.33±0.01 ^b	2.73±0.02 ^a	94.27±0.01 ^a	72.79±0.88 ^b
Jinmi	92.52±0.01 ^c	-0.23±0.01 ^d	3.98±0.02 ^c	91.53±0.01 ^c	77.39±0.27 ^c
Jami	90.85±0.01 ^d	-0.25±0.01 ^c	4.34±0.01 ^d	89.86±0.01 ^d	79.33±0.73 ^d

¹⁾Each value is the mean of three replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly ($P>0.05$) different by Duncan's multiple range test.

²⁾Whiteness Index

건조하여 초기의 건물함량을 측정하고, 수분용해도 측정용 필름 3매를 따로 취하여 50 mL 용량의 비이커에 증류수 약 30 mL와 함께 넣고 입구를 parafilm으로 밀봉한 후 25°C의 정온기에 넣고 가끔 흔들어 주면서 24 시간 동안 저장하였다. 24시간 후에 물에 용해되지 않은 필름을 꺼내어 105°C의 건조기에서 24시간 동안 건조시켜 건물함량을 측정하였다. 필름의 용해도는 초기의 건물에 대한 물에 용해된 양의 백분율로 나타냈다. 각 필름의 용해도는 3회 반복실험을 실시하여 평균값으로 나타냈다.

인장강도 및 연신율

필름의 인장강도(Tensile Strength; TS)와 연신율(Elongation at Break; E)은 Instron Universal Testing Machine(Model 4465, Instron Corp., Canton, MA, USA)을 사용하여 측정하였다. 이 때 초기의 grip간의 거리는 5 cm이고, cross-head의 속도는 500 mm/min이었다. 필름의 인장강도는 필름이 끊어질 때까지 기록된 최대의 장력을 필름의 초기의 단면적으로 나누어 계산하였으며, 필름의 연신율은 필름이 끊어질 때까지 늘어난 길이를 초기의 grip간 거리(5 cm)에 대한 백분율로 나타냈다.

통계처리

각 필름의 색도, 인장강도 및 연신율, 투습도, 수분용해도는 각각 따로 제조한 필름을 실험단위로 하여 3회 반복 측정하였다. 각 필름의 특성치의 평균값과 표준편차를 SPSS의 General Linear Model을 사용하여

계산하였으며, 각 평균값의 유의적인 차이 검정은 Duncan's multiple range test를 사용하여 조사하였다.³⁰⁾

결과 및 고찰

고구마 품종별 전분의 일반성분 및 특성

고구마의 품종별 전분의 일반성분은 Table 1에 표시한 바와 같다. 수분함량은 고구마 전분의 종류에 따라 큰 차이는 없으나 점질 고구마인 진미의 전분이 수분함량이 다른 고구마 전분에 비해 다소 높았으며, 자색 고구마인 자미 전분의 수분함량이 가장 높았다. 이외의 다른 성분들도 전분의 종류에 따라 큰 차이는 없었으나 자미 전분의 조회분이 다른 전분에 비해 다소 높은 값을 나타냈는데, 박 등⁹⁾도 자색고구마인 목포 29호의 전분이 다른 고구마 전분에 비해 회분함량이 높음을 밝힌 바 있다.

전분을 분리하여 건조하는 동안 율미, 진미 등의 분질고구마는 백색의 분말로 되었으나, 점질고구마와 유색고구마는 단단한 덩어리를 형성하여 미황색을 나타냈다. 각 품종별 고구마 전분의 표면색과 수분흡수율은 Table 2에 표시한 바와 같다. 고구마 전분의 백색도는 분질고구마인 율미와 진미가 점질고구마나 유색고구마에 비해 높게 나타났으며, 전분의 물결합능력은 유색고구마인 자미가 가장 높았으며, 다음에 점질고구마인 진미, 그리고 분질고구마인 진미와 율미의 순으로 나타났다. 이는 점질고구마인 천미의 물결합능력이 75%, 분질고구마인 원기의 물결합능력이 69%로 점질고구마가 분질고구마에 비해 물결합력이 높았다는

Table 3. Gelatinization temperatures¹⁾ and enthalpy(ΔH) of sweet potato starches determined by DSC²⁾

Sweet potato starches	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/kg)
Yulmi	67.93 ^c	74.02 ^b	83.94 ^{ab}	8.77 ^b
Gunmi	67.50 ^{b,c}	72.69 ^b	80.18 ^a	5.95 ^a
Jinmi	57.62 ^a	67.62 ^a	88.98 ^b	14.98 ^c
Jami	66.70 ^b	74.18 ^b	85.05 ^{ab}	9.92 ^b

¹⁾ T_o , T_p , and T_c represent onset, peak, and completion temperatures for gelatinization, respectively.

²⁾Each value is the mean of three replicates. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly ($P>0.05$) different by Duncan's multiple range test.

신과 안³⁾의 결과와 잘 일치한다.

고구마 전분의 호화온도 측정

DSC를 이용하여 측정된 품종별 고구마 전분의 호화온도는 Table 3에 나타난 바와 같다. 전분의 호화개시온도가 분질고구마인 울미, 진미는 각각 67.9, 67.5°C이었고, 점질고구마인 진미는 57.6°C이었고 유색고구마인 자미는 66.7°C로서 점질고구마인 진미의 호화가 분질고구마나 유색고구마에 비해 낮은 온도에서 시작되었다. 최대호화온도는 울미, 진미 자미는 각각 74.0, 72.7, 74.2°C를 나타냈으며, 진미는 67.6°C로 낮게 나타나 초기호화온도와 같은 경향을 나타냈으나, 최종호화온도는 울미, 진미가 83.9, 80.2°C이고, 자미가 85.1°C인데 반해, 진미는 89.0°C를 나타내 진미가 다른 고구마전분에 비해 보다 광범위한 온도범위에서 호화가 이루어짐을 알 수 있었다. 용융엔탈피(ΔH)는 분질고구마인 진미의 전분이 가장 낮았으며, 다음으로 울미와 자미의 순으로 나타났고, 점질 고구마인 진미 전분의 용융엔탈피 값이 가장 높게 나타났다. 이와 같이 고구마의 품종에 따라 전분의 호화 특성이 달라지는 것은 신과 안³⁾이 지적한 바와 같이 고구마의 품종에 따라 아밀로오스 함량과 입자크기의 분포, 팽화력 및 결정도의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

점도 측정

고구마 품종별 전분 호화액의 유동특성을 조사하기 위하여 전단속도에 따른 전단응력의 변화를 측정하여 유동곡선을 얻었으며, 그 결과는 Fig. 1에 표시한 바와 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 고구마 전분용액은 모두 의가소성의 특성을 나타냈으며, 전단속도와 전단응력과의 관계를 Herschel-Bulkley 모델을 적용하여 고구마 전분용액의 점조도지수(K)와 유동거동지수(n) 및 항복응력(τ_0) 값을 계산해본 결과 고구마 전분용액의 유동특성은 Herschel-Bulkley 모델로 잘 설명됨을 알 수 있었으나, 항복응력(τ_0) 값들이 실험오차범위 내에서 무시할 수 있을 만큼 거의 영에 접근하므로 항

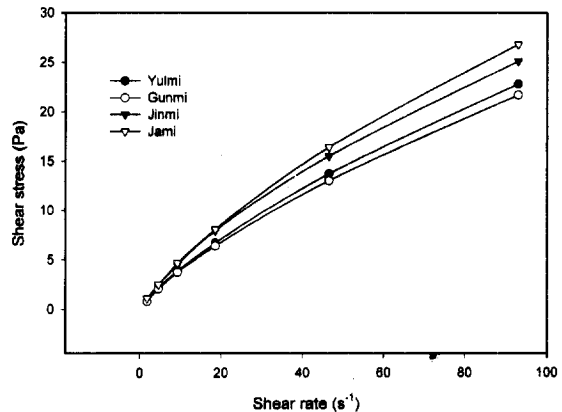


Fig. 1. Shear stress as a function of shear rate for various sweet potato starch solutions.

Table 4. Flow behavior parameters of sweet potato starch solutions determined by Power law model

Sweet potato starches	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index (n)	R ²)
Yulmi	0.54	0.85	0.99
Gunmi	0.52	0.84	1.00
Jinmi	0.71	0.80	1.00
Jami	0.70	0.82	1.00

¹⁾Coefficient of detremination

복응력이 없는 단순 Power Law model($\tau = K\dot{\gamma}^n$)을 적용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. Power Law model에 의해 결정된 품종별 고구마 전분용액의 점조도지수(K)와 유동거동지수(n)는 Table 4에 표시한 바와 같다. 전분용액의 점조도지수(K값)와 유동거동지수(n값)는 품종별로 차이를 나타냈는데, 분질고구마인 울미와 진미는 점조도 지수가 0.54와 0.52로서 점조도가 낮았고, 점질고구마인 진미의 전분은 점조도 지수가 0.71로서 점조도가 높았다. 유색고구마인 자미의 전분은 점조도가 0.70로서 분질고구마에 가까운 값을 나타냈다. 점조도는 일반적으로 농도의 영향을 크게 받으며 유체에 따라 농도특유의 함수로 표시된다고 보고되어 있다³¹⁾. 고구마 전분의 유동거동지수(n)는 품종간에 뚜렷

Table 5. Color values of sweet potato starch films¹⁾

Sweet potato starch films	L	a	b	ΔE
Yulmi	96.96±0.16 ^{c,d}	0.18±0.01 ^{b,c}	2.03±0.01 ^a	0.26±0.04 ^a
Gunmi	97.08±0.03 ^d	0.21±0.01 ^d	2.00±0.02 ^a	0.32±0.02 ^a
Jinmi	96.16±0.30 ^a	0.16±0.02 ^{a,b}	2.41±0.06 ^b	0.86±0.24 ^b
Jami	96.29±0.19 ^{a,b}	0.19±0.01 ^{c,d}	2.53±0.07 ^c	0.82±0.18 ^b

¹⁾Each value is the mean of three replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly (P>0.05) different by Duncan's multiple range test.

Table 6. Water vapor permeability (WVP) and water solubility (WS) of sweet potato starch films¹⁾

Sweet potato starch film	Thickness (μm)	WVP (×10 ⁹ g · m/m ² · s · Pa)	WS (%)
Yulmi	47.7±5.2 ^{a,b}	1.18±0.26 ^b	14.8±1.6 ^a
Gunmi	39.2±3.9 ^a	0.83±0.08 ^a	15.5±1.2 ^a
Jinmi	53.2±6.1 ^b	1.23±0.25 ^b	14.7±4.9 ^a
Jami	45.6±3.3 ^{a,b}	0.95±0.07 ^{a,b}	15.6±1.3 ^a

¹⁾Each value is the mean of three replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly (P>0.05) different by Duncan's multiple range test.

한 차이를 나타내지 않았는데, 율미와 진미는 각각 0.85, 0.84이었으며, 진미는 0.80, 자미는 0.82이었다.

전분 필름의 제조

예비실험에서 증류수 150 mL에 전분의 양을 3g, 4g, 5g씩을 넣어서 필름의 형태를 확인한 결과 5g을 첨가한 경우는 casting이 잘 안되어서 표면이 거친 필름의 형태를 나타냈고, 3g을 첨가한 경우는 casting은 잘 되었으나 필름의 두께가 얇아서 인장강도가 떨어지는 현상이 나타났다. 반면에 전분 4g을 첨가했을 때는 필름의 형성이 잘 되어서 이후로는 전분의 첨가량을 4g으로 결정하였다. 또한 최적의 가소제 첨가량을 결정하기 위해서 전분 4g에 가소제로서 glycerol을 1.0g, 1.2g, 1.5g 씩을 첨가하여 필름을 제조해 본 결과 가소제를 1.0g 첨가한 필름은 잘 부서졌으며, 1.5g 첨가한 필름은 건조 후 필름이 랩과 같이 늘어나는 현상을 보였다. 반면에 가소제를 1.2g 첨가하였을 때 필름이 잘 형성되고 외관이 우수하였다. 따라서 최종 전분 필름의 조성은 증류수 150 mL에 전분 4g과 가소제 1.2g을 첨가하여 필름을 제조하였다. 고구마 전분 필름을 제조하는데 품종간에는 거의 차이를 나타내지 않았으나, 점질고구마인 진미가 분질고구마보다 건조시간이 3-5시간 더 걸렸는데 이는 점질고구마가 분질고구마보다 수분과의 결합력이 더 강하기 때문인 것으로 판단된다⁽¹³⁾.

색도 측정

품종별 고구마 전분 필름의 표면색은 Table 4에 나타난 바와 같다. 총색차는 분질고구마인 율미, 진미의

전분으로 제조한 필름은 0.26, 0.32 이었으며, 점질고구마인 진미 전분으로 제조한 필름은 0.86이었고, 유색고구마인 자미 전분으로 제조한 필름은 0.82로 대체적으로 점질고구마나 유색고구마의 전분으로 제조한 필름의 총색차가 분질고구마 전분으로 제조한 필름의 총색차 보다 높은 값을 나타냈다. 이러한 고구마 전분 필름의 색깔의 차이는 Hunter-b 값의 차이에 기인하는 것으로 판단되는데, 분질고구마 전분 필름의 b값은 2.00 내외이며, 점질고구마 전분필름은 2.41이고, 유색고구마 전분 필름은 b값이 2.53으로 유의적인 차이를 보였으며, L값과 a값은 품종간의 뚜렷한 차이가 없었다. 송등⁽³²⁾은 Cellulose필름의 총색차가 1.76~3.04인 것으로 보고하였으며, Rhim 등⁽³⁴⁾은 카라기난 필름의 총색차가 2.01~4.19로 보고하였는데, 본 연구에 사용된 분질고구마, 점질고구마 및 유색고구마의 전분필름은 Cellulose필름이나 카라기난 필름에 비해 총색차가 다소 낮은 값을 나타냈다.

고구마 전분필름의 투습도 및 수분용해도

품종별 고구마 전분필름의 투습도와 수분용해도는 Table 6에 나타난 바와 같다. 고구마 전분의 투습도는 진미 전분으로 제조한 필름이 1.23×10⁹ g · m/m² · s · Pa으로 가장 높았으며, 진미와 자미 전분으로 제조한 필름은 각각 0.83×10⁹ g · m/m² · s · Pa과 0.95×10⁹ g · m/m² · s · Pa로 낮게 나타났다. 이들 고구마 전분 필름의 투습도 값은 8종의 유기산으로 용해시켜 제조한 카라기난 필름의 투습도 값(0.83-1.82×10⁹ g · m/m² · s · Pa)⁽³⁴⁾과 같은 수준이었다. 점질고구마와 분질고구마간의 투습도는 유의적인 차이는 없으나 점질고

Table 7. Tensile strength (TS) and elongation at break (E) of sweet potato starch films¹⁾

Sweet potato starch films	Thickness (μm)	TS (MPa)	E (%)
Yulmi	43.1 \pm 4.9 ^a	18.75 \pm 3.59 ^c	5.57 \pm 1.32 ^{ab}
Gunmi	38.9 \pm 2.6 ^a	14.18 \pm 1.40 ^{bc}	6.21 \pm 0.59 ^{ab}
Jinmi	46.6 \pm 5.2 ^a	4.66 \pm 0.52 ^a	5.50 \pm 1.18 ^{ab}
Jami	42.3 \pm 0.9 ^a	18.21 \pm 3.29 ^c	5.27 \pm 1.09 ^a

¹⁾Each value is the mean of three replicates with the standard deviation. Any two means in the same column followed by the same letter are not significantly ($P>0.05$) different by Duncan's multiple range test.

구마인 진미 전분으로 제조된 필름의 투습도가 분질 고구마인 전미의 전분으로 제조한 필름보다 더 높은 것은 점질고구마의 전분입자가 분질고구마의 전분입자에 비해서 더 크며 수분흡수율이 더 큰 데 기인하는 것으로 판단된다⁽¹³⁾.

고구마 전분필름의 수분용해도는 율미, 전미, 진미 및 자미가 각각 14.8%, 15.5%, 14.7% 및 15.6%로서 품종간에 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이들 고구마전분 필름의 수분용해도는 카라기난 필름의 수분용해도가 15.2-20.7인데⁽³⁴⁾ 비해 다소 낮은 값을 나타내어 고구마전분 필름이 카라기난 필름에 비해 수분에 대한 저항성이 더 큼을 알 수 있다. Table 2에서 보인 바와 같이 고구마전분은 품종에 따라 물결합능력이 달랐으나 필름의 수분용해도는 전분의 수분 결합능력과는 다른 특성을 나타냄을 알 수 있다. 냉동식품과 같은 식품을 저장하는 중에 식품으로부터 성분의 침출을 방지하기 위하여 코팅을 할 때 사용되는 필름은 수분에 대한 저항성이 커야 하므로 필름의 수분용해도가 높으면 적용에 어려움이 있다. 반면 식품 표면에 일시적으로 코팅하였다가 필요시 필름을 제거하고 사용할 수 있는 장점이 있는 것으로 알려져 있다⁽³²⁾.

인장강도와 연신율 변화

품종별 고구마 전분 필름의 인장강도(TS)와 연신율(E)은 Table 7에 나타난 바와 같다. 필름 두께는 38.9~46.6 μm 로 비교적 균일한 두께의 필름을 사용하였는데, 인장강도(TS)는 율미와 자미가 18.75, 18.21 MPa로 높았으며, 다음은 전미로서 10.61 MPa를 나타냈으며 점질고구마인 진미의 전분으로 제조한 필름의 인장강도는 4.66 MPa으로 다른 품종의 고구마 전분필름에 비해서 현저하게 낮게 나타났다.

반면에 연신율은 율미, 전미, 진미, 자미의 전분필름이 각각 5.57, 6.21, 5.50, 5.27%로 품종간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다⁽¹⁶⁾. 전분 이외에 탄수화물을 기조로 한 생고분자 필름의 인장강도는 Chitosan필름이 15.0~41.6 MPa이고⁽³⁴⁾, Methyl Cellulose(MC)필름⁽³²⁾은 56~66 MPa, Hydroxypropyl Cellulose(HPC)필

름⁽³²⁾은 15~29 MPa이고 연신율은 Chitosan필름이 20~58%이고⁽³⁴⁾, Methyl Cellulose(MC)필름⁽³⁵⁾은 11.16~25.6%, Hydroxypropyl Cellulose(HPC)필름⁽³⁵⁾은 32.76~64.36%으로 보고된 바 있었는데 고구마 전분으로 제조한 필름은 이들에 비해 인장강도는 떨어졌으며, 연신율도 낮은 값을 보였다. 고구마전분 필름의 투습도나, 인장강도 및 연신율 등이 고구마전분 호화액의 점도에 영향을 받을 것으로 예측하였으나, 본 연구 결과에서는 이들 사이에 뚜렷한 상관관계를 발견할 수 없었다.

요 약

품종별 고구마 전분의 특성을 조사하기 위하여 2종의 분질고구마(율미, 전미)와 1종의 점질고구마(진미) 및 1종의 유색고구마(자미)로부터 전분을 분리하여 전분용액의 호화온도와 점도를 비교하고, 이들 전분으로 필름을 제조하여 각 필름의 특성을 조사하였다. 고구마전분의 종류에 따라 호화특성이 달랐는데, 호화개시온도는 분질고구마인 율미와 전미가 67.9°C, 67.5°C, 점질고구마인 진미는 57.6°C를 나타내어 분질고구마와 점질고구마 사이에 뚜렷한 차이를 나타냈으며, 자미는 66.7°C를 나타내어 분질고구마에 가까운 특성을 나타냈다. 전분용액의 점조도 지수는 진미가 0.71, 율미와 전미가 각각 0.54, 0.52로서 점질고구마 전분의 점조도가 분질고구마 전분에 비해 더 높았으며, 자미는 0.70으로 점질고구마에 더 가까운 값을 나타냈다. 전분필름의 총색차는 분질고구마와 점질고구마 사이에 큰 차이가 있었는데, 율미와 전미가 각각 0.26, 0.32를 나타내고 진미와 자미가 0.86, 0.82를 나타냈다. 필름의 투습도는 율미와 전미가 각각 1.18×10^{-9} , 0.83×10^{-9} 진미와 자미가 1.23×10^{-9} 및 0.95×10^{-9} $\text{g} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 로서 점질고구마가 분질고구마에 비해 다소 높은 투습도를 나타냈다. 필름의 수분용해도는 율미와 전미가 14.8, 15.5, 진미와 자미가 14.7, 15.6%로서 품종간에 뚜렷한 차이가 없었다. 필름의 연신율도 5.27-6.21%의 비교적 낮은 값을 나타냈으며 품종간에 유의적인 차

이는 없었으나 인장강도는 울미와 진미 및 자미가 각각 18.75, 14.18, 18.21 MPa이었고, 진미가 4.66 MPa로서 현저하게 낮은 값을 나타냈다.

문 헌

- Collins, W.W. and Walter, W.M. Jr. Fresh roots for human consumption. pp. 154-173 In *Sweet Potato Products: A natural Resource for the Tropics* Bouwkamp, J.C. (ed.), CRC Press, Inc., Boca Ration, Florida (1986)
- Walter, W.M. Jr., Purcell, A.E. and Nelson, A.M. Effects of amylolytic enzymes on "moistness" and carbohydrate changes of baked sweet potato cultivars. *J. Food Sci.* 40: 793-796 (1975)
- Shin, M.S. and Ahn, S.Y. Characteristics of dry and moist type sweet potato starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 412-418 (1988)
- Kim, S.J., Rhim, J.W., Lee, L.S. and Lee, J.S. Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 345-351 (1996)
- Lee, L.S., Rhim, J.W., Kim, S.J. and Chung, B.C. Study on the stability of anthocyanin pigment extracted from purple sweet potato. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 352-359 (1996)
- Kim, S.J. and Rhim, J.W. Concentration of pigment extracted from purple sweet potato by nanofiltration. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 492-496 (1997)
- Lee, L.S., Chang, E.J., Rhim, J.W., Ko, B.S. and Choi, S.W. Isolation and identification of anthocyanins from purple sweet potatoes. *J. Food Sci. Nutr.* 2: 83-88 (1997)
- Choi, C.R., Rhim, J.W. and Park, Y.K. Physicochemical properties of purple-fleshed sweet potato starch. *J. Korean Sci. Food Sci. Nutr.* 29: 1-5 (2000)
- Park, J.Y., Ahn, Y.S., Shin, D.H. and Lim, S.T. Physicochemical properties of Korean sweet potato starches. *J. Korean Sci. Food Sci. Nutr.* 28: 1-8 (1999)
- Baek, M.H. and Shin, M.S. Effect of water activity on the physicochemical properties of sweet potato starch during storage. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 532-536 (1995)
- Baek, M.H. and Shin, M.S. Physicochemical properties of modified sweet potato starch by steeping. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 736-741 (1993)
- Lee, K.A., Shin, M.S. and Ahn, S.Y. The change of pectic substances in sweet potato cultivars during baking. *Korean J. Food Sci. Technol.* 17: 421-425 (1985)
- Shin, M.S. and Ahn, S.Y. Studies on physicochemical properties of starches from sweet potatoes of Korea cultivars. *J. Korea Agricul. Chem. Soc.* 26: 137-142 (1983)
- Kim, J.S. Preparation of sweet potato drinks and its quality characteristics. *Korean Sci. Food Nutr.* 4: 943-947 (1995)
- Hong, S.I., Kim, J.T. and Kim, C.J. Comparison of physical properties of starch based extruded loose-fill with different mixing formulas. *Food Engin. Progr.* 2: 68-74 (1998)
- Maddever, W.J. and Chapman, G.M. Modified starch-based biodegradable plastics. *Plast. Eng.* 45: 31-34 (1989)
- Otey, F.H., Mark, A.M., Mehlretter, Ch.L. and Russell, Ch.R. Starch-based film for degradable agricultural mulch. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 13: 90-92 (1974)
- Roper, H. and Koch, H. The role of starch in biodegradable thermoplastic materials. *Starch* 42: 123-130 (1990)
- Swanson, C.L., Westhoff, R.P., Doane, W.M. and Otey, F.H. Starch-based blown films for agricultural mulch. *Polymer Prep.* 28: 105-106 (1987)
- A.O.A.C. Official Methods of Analysis. 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. (1984)
- Kim, S.K., Hahn, T.R., Lee, Y.H. and D'Appolonia, B.L. Physicochemical properties of Tongil(Indica type) and Paldal(Japonica type) rice starch. *Korean J. Food Sci Technol.* 10: 157-162 (1978)
- Clydesdale, F.M. Color measurement. pp. 95-150 In: *Food Analysis Principles and Techniques*, Vol 1. Gruenwedel, D.W. and Whitaker, J.R. (Eds.), Marcel Dekker, Inc., NY. (1984)
- Medcalf, D.G. and Gilles, K.A. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.* 42: 588-568 (1965)
- Donovan, J.W., Lorene, K. and Kulp, K. Differential scanning calorimetry of heat-moisture treated wheat and potato starches. *Cereal Chem.* 60: 381-386 (1983)
- Holdsworth, S.D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. *J. Texture Studies* 2: 393-418 (1971)
- Gennadios, A., Weller, C.L. and Testin, R.F. Property modification of edible wheat gluten-based films. *Trans. ASAE* 36: 465-470 (1993)
- McHugh T.H., Avena-Bustillos, R. and Krochta J.M. Hydrophilic edible films: Modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58: 899-903 (1993)
- Gennadios, A., Weller, C.L. and Gooding, C.H. Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *J. Food Eng.* 21: 395-409 (1994).
- Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J-L. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *J. Food Sci.* 57: 190-195, 199 (1992)
- Little, R.C., Freund, R.J. and Spector, P.C. SAS Systems for Linear Models, 3rd ed, pp. 137-153. SAS Institute, Inc., Cary, NC. (1991)
- Kim, C.T., Ryu, G.H., Kim, D.C. and Kim, C.J. Comparison of physicochemical properties of starch acetates prepared by conventional, preheat treatment and extrusion process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22: 659-667 (1990)

32. Song, T.H. and Kim, C.J. Effect of Calcium Addition on Physicochemical Properties of Cellulose-Based Edible Films. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 99-105 (1999)
33. Kim, Y.H., Park, H.J., Kim, D.M. and Kim, K.H. Functional Properties of Cellulose-Based Films. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 133-137 (1994)
34. Rhim, J.W., Weller, C.L. and Ham, K.S. Characteristics of Chitosan Films as Affected by the Type of Solvent Acid. Food Sci. Biotechnol. 7: 263-268 (1998)
35. Park, H.J., Weller, C.L., Vergano, P.J. and Testin, R.F. Permeability and Mechanical Properties of cellulose-Based Edible Films. J. Food Sci. 58: 1361-1364 (1993)
-

(2000년 4월 6일 접수)