

가열 조건이 모델 경질형 캔디의 물성에 미치는 효과

이남재 · 이승주 · 신용목*

동국대학교 식품공학과, *해태제과식품연구소

Effect of Heating Conditions on Physical Properties of Model Hard Candy

Nam Jae Lee, Seung Ju Lee and Yong Mok Shin

Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Korea

*Haitai Confectionery & Foods Co., Ltd.

Abstract

The effect of heating temperature in candy making was investigated on physical properties of a model hard candy. A mixture of sucrose and water was heated up to a final temperature (T_f), poured into a candy forming frame, and cooled to be solidified. T_f was set at 170, 180, 190, 200°C, respectively. Temperature(T) and water content of the mixture were measured during heating and cooling. T_g (glass transition temperature) was estimated with respect to water content. $T-T_g$ remained at a constant (+) value as the corresponding water content decreased during heating; $T-T_g$ decreased even to (-) value during cooling. As T_f increased, the final value of $T-T_g$ decreased. Physical properties of the model hard candy were measured such as hardness, color (Hunter L, a, b), solubility. As T_f increased, hardness and solubility decreased. Values of a (red) and b (yellow) increased with T_f , and L (lightness) value decreased, resulting in browning.

Key words: candy, heating temperature, glass transition temperature, physical properties

서 론

캔디는 설탕이 주성분인 무정형 고체(glass)이다. 캔디는 설탕용액의 가열과 냉각 과정을 통하여 제조된다. 설탕용액을 가열하면 설탕의 녹는 양이 많아지고, 가열 농축된 설탕용액을 냉각하면 고무질(rubber) 영역을 거쳐 유리질(glass)이 생성된다. 이 과정을 유리전이(glass transition)이라 하며 이에 따라 캔디의 물성이 결정된다(Okuno *et al.*, 2003). 유리전이는 가소제(plasticizer)의 농도에 따른 고유의 유리전이온도(glass transition temperature, T_g)에서 일어난다. 이와 같이 캔디 제조에서 가열온도에 따

른 설탕의 용해된 농도와 냉각의 조건은 매우 중요하여 유리전이와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

캔디는 크게 연질형과 경질형 캔디로 구분된다. 연질형 캔디의 텍스처는 카라멜처럼 말랑말랑하고 부드러우며, 경질형 캔디는 씹기 힘들고 단단하다(손경희와 문수재, 1977; Sasano, Y. *et al.*, 2006). 캔디의 제조는 일정비율의 설탕을 주재료로 하여 물을 섞고 특정 온도까지 가열하고 냉각 과정을 거친다. 냉각 시 선택적으로 교반이 가해질 수 있다. 연질형 캔디는 가열 최종 온도가 상대적으로 낮아서 무른 텍스처를 갖게 된다. 반면에 경질형 캔디는 더 높은 온도까지 가열된 후에 냉각되므로 단단한 텍스처를 갖는다. 이와 같이 연질형과 경질형 캔디 제조의 주된 차이는 가열 최종 온도이다. 한편, 가열 최종 온도는 설탕용액의 수분함량을 결정하므로 경질형 캔디는 수분함량이 낮으므로 단단한 텍스처를 갖는다(김완수 등, 2004). 연질형 캔디는 더

Corresponding author: Seung Ju Lee, Professor, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul, 100-715 Korea
Phone: +82-2-2260-3372, Fax: +82-2-2260-3372
E-mail: Lseungju@dongguk.edu

많은 수분을 함유하여 무른 텍스처를 갖는다. 일반적으로 캔디의 품질은 크게 텍스처, 섭취 시 용해성, 색으로 평가된다(Lelas *et al.*, 2001).

캔디의 주 성분인 설탕의 상전이(phase transition)는 가스제인 물의 함량과 온도에 따라서 다르게 일어난다. 상전이란 크게 결정-액체, 유리질-고무질-액체의 두가지 경우를 들 수 있는데 식품은 대부분 후자의 유리전이를 보인다(Faridi와 Faubion, 1990; Roos, 1995c). 유리전이란 대부분의 식품을 포함한 고분자 물질이 유리질에서 고무질 상태로 가역적으로 변하는 현상을 의미한다. 액체 또는 고무질로부터 유리질이 형성될 때, 냉각속도가 클수록 분자의 충전도(packing)와 그 안정성은 떨어지고 T_g 는 낮아진다(Aguilera와 Stanley, 1990). 낮은 안정성이란 유리질이 시간이 지나면서 결정으로 서서히 바뀌는 경향이 증가함을 의미한다. 또한 유리전이는 가스제인 물의 양이 감소할수록 점도가 높아져서 형성되는 유리질은 더 충전도가 떨어지고 T_g 는 높아지고 그 안정성은 낮아진다. 따라서 온도, 유리전이, 유리질의 물성은 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

이와 같이 캔디는 설탕용액을 가열하고 냉각시켜 제조하는데 가열 최종 온도와 설탕용액의 최종 수분함량이 제품의 품질에 영향을 주는 요인임을 알 수 있다. 또한 가열온도에 따른 설탕의 용해된 농도와 냉각의 조건은 유리전이와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가열 최종 온도를 달리하여 모델 경질형 캔디를 제조하였을 때 캔디의 품질변수인 경도, 색, 용해도에 대한 효과를 분석하였다. 또한 캔디 가열 중 온도와 수분함량의 변화를 유리전이온도와 비교함으로써 캔디 품질 변화의 요인을 상전이의 관점에서 해석하였다.

재료 및 방법

모델 경질형 캔디의 제조

설탕 200 g과 물 50 ml를 혼합하여 원통형 금속 용기(지름×높이, 10×10 cm)에 넣고 전기레인지로 일정한 온도(T_1)에 도달할 때까지 가열하였다. 가열 최종 온도인 T_1 는 경질형 캔디의 제조 조건에 속하는 170, 180, 190, 200°C의 네 가지로 정하였다(Okuno *et al.*, 2003). 온도 도달 직후 수돗물에 용기를 약 1초간 담근 후 10개의 cube 홈(3×2×0.5 cm, Teflon 코팅된 내면)을 갖는 캔디 성형 틀에 붓고 25에서 약 1시간 동안 냉각하여 틀에서 캔디를 분리하였다.

이 때 설탕용액을 두께가 5 mm가 되도록 주의 깊게 틀에 부었다.

온도 및 수분함량의 on-line 측정

T-type thermocouple의 말단을 금속 용기의 중심부 바닥으로부터 0.5 cm 상부에 위치토록 고정하여 캔디 제조 중 매 1분 당 온도(T)를 실시간 측정하였다. 수분함량은 캔디 제조 중 무게변화로 부터 산출하였다. 무게는 온도 측정과는 별도로 용기를 가열 중 1분마다 전자저울에 옮겨서 무게를 측정하였다. 이때 고열에 대한 전자 저울의 보호를 위하여 무명천과 알루미늄 foil로 짠 Styrofoam을 전자 저울의 platform에 놓고 사용하였다.

$$\text{Water content(\%)} = \frac{50\text{g} - \text{Waterloss}}{200\text{g} + 50\text{g} - \text{Waterloss}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 *Waterloss*(가열에 의한 감량, g)은 가열 전 초기의 설탕 200 g, 물 50 g, 용기를 모두 포함한 무게와 가열 중에 설탕 200 g, 감량되고 남은 물, 용기를 모두 포함한 무게의 차이를 나타내며 결국 가열에 의하여 증발된 물의 무게를 의미한다. 또한 설탕 200 g을 건조하여 수분함량을 측정한 결과 거의 수분이 없는 것으로 나타나 가열 전 초기 설탕 용액에 존재하는 물은 50 g으로 간주하였다.

캔디 경도의 측정

제조된 캔디의 경도는 매우 단단하여 송곳형 탐침(직경 3mm, 침단의 각도 9°)을 사용하였다. 캔디가 파괴될 때의 힘을 경도로 정의하였다. Texture Analyzer(25 kg, SMS, England)를 변형속도 2 mm/s의 조건에서 사용하였다. 경도는 20번 반복 측정값의 평균값과 표준편차로 나타내었다.

캔디 색도의 측정

캔디가 성형 틀에서 놓였을 때 상면에 해당하는 면에 대하여 색도를 측정하였다. 정면이 열린 조명 상자(50×50×50 cm, 백색 내면)에 캔디를 놓고 색도계(CR-300, Minolta, Japan)를 사용하여 캔디 중앙부위의 Hunter L(lightness), a(red-green), b(yellow-blue)값을 측정하였다. 실험은 각 조건당 20개의 캔디에 대하여 측정하였고, 그 평균값과 표준편차로 나타내었다.

캔디의 용해도 측정

캔디를 섭취할 때 분비되는 타액 대신에 증류수를 사용하여 그 속에서 용해되는 속도를 측정하였다. 200 mL 비이커에 100 mL의 증류수와 한 개의 캔디(정확하게 9 g이 되는 캔디를 선택하여 사용하였음)를 넣고 자석 교반기로 21°C, 155 rpm의 조건에서 교반하였다. 이 때 1분 마다 중간 부분의 용액을 0.5 mL 씩 취하여 굴절계(No. 47690, ATAGO Co., Japan)로 당도를 측정하였고, 용해도로 간주하였다. 측정은 비이커에 캔디가 완전히 용해되어 없어질 때까지 진행하였다.

결과 및 고찰

온도 및 수분함량의 변화

Fig. 1, 2는 설탕용액이 가열, 최종 냉각될 까지 온도(T)와 수분함량의 변화를 각각 나타낸다. 가열

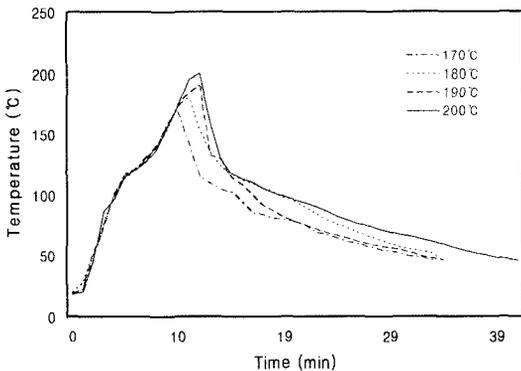


Fig. 1. Time courses of temperature during making a model candy under different heating conditions.

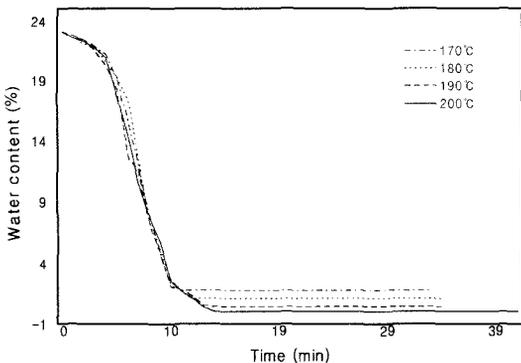


Fig. 2. Time courses of water content during making a model candy under different heating conditions.

최종 온도에 따른 가열 경로는 모두 유사함을 보였고, 냉각 경로에서는 가열 최종 온도가 높을수록 더 짧은 냉각소요시간을 보였다. 또한 가열 최종 온도가 높을수록 최종 수분함량이 낮게 나타났으며 냉각경로에 의한 수분함량의 변화는 거의 보이지 않았다.

가열 최종 온도가 높을수록 모든 경우에 냉각온도는 일정하므로 냉각 최종 온도에 도달하는 냉각소요시간은 더 길게 예상되었으나 실험결과는 반대로 나타났다. 이는 가열 최종 온도가 높을수록 냉각 시점의 수분함량이 더 낮아지고 또한 냉각 초기 온도차이가 커짐에 따라 냉각소요시간이 더 짧아진 것으로 해석된다. 냉각소요시간이 짧으면 액체나 고무질이 유리질로 전이될 때 형성되는 유리질의 분자 충전도는 낮아져서 그 경도는 더 약해져서 깨지기 쉬운 물성을 갖게 된다(Aguilera와 Stanley, 1990).

T-T_g

설탕용액의 수분함량 변화에 따른 유리전이온도를 Gordon-Taylor 식(2)를 사용하여 Fig. 3과 같이 완성하였다(Roos와 Karel, 1991a; Roos, 1993; Roos, 1995a).

$$T_g = \frac{w_1 \cdot T_{g1} + k \cdot w_2 \cdot T_{g2}}{w_1 + k \cdot w_2} \quad (2)$$

여기서 w_1 은 설탕의 무게함량, $w_2=(1-w_1)$ 는 물의 무게함량, T_{g1} 은 설탕의 유리전이온도인 67°C, T_{g2} 는 물의 유리전이온도인 -135°C을 의미한다. 그리고 k 는 $\Delta c_{p2}/\Delta c_{p1}$ 로서 설탕의 비열인 Δc_{p1} , 0.60 J/g°C,

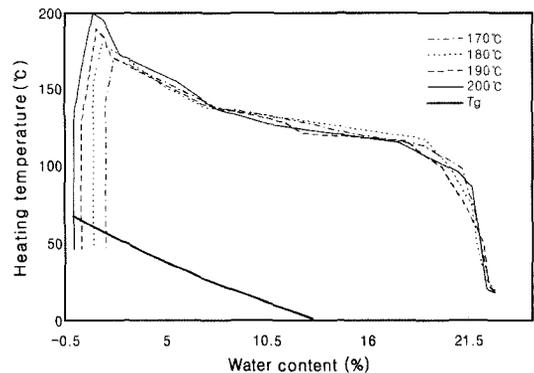


Fig. 3. Plots of T_g and T vs. water content in making a model candy under different heating conditions.

물의 비열인 Δc_{p2} , 1.94 J/g°C를 대입하여 계산하였다(Roos와 Karel, 1991b). Fig. 3에서와 같이 수분함량이 낮아질수록 유리전이온도는 증가하여 유리전이온도가 더 용이해짐을 알 수 있다. 수분함량이 낮아지면 물질의 점도는 높아지고 따라서 냉각 시 분자의 정렬이 어려워져서 유리질로의 형성이 더 촉진된다(Roos, 1995b).

Fig. 4는 캔디 제조 중 온도와 유리전이온도와 차이를 보기 위하여 수분함량에 대한 $T-T_g$ 를 도식화한 결과이다. 대부분의 식품성분 변화는 유동성(mobility)이 없는 유리질 상태에서는 정지하고 유동성이 있는 고무질이나 액체 상태에서 일어난다고 보고하였다(Roos, 2003). 가열 단계에서 가열 최종 온도에 의한 $T-T_g$ 의 차이는 (+)값의 영역에서 거의 없었고, 가열 종료 시점에서는 약간 상승하는 경향을 보였다. 냉각 단계에서는 냉각 종료 시점에서는 (-)값 영역으로 감소하였다. (+)값의 $T-T_g$ 는 고무질 또는 액체에 속하는 정도, (-)값은 유리질에 속하는 정도를 의미하는 것으로, 가열 최종 온도가 높을수록 캔디의 물성은 유리질에 속한 정도가 더 증가함을 알 수 있었다.

캔디의 경도

Fig. 5에서 캔디의 경도는 가열 최종 온도가 높을수록 전반적으로 약해지는 것으로 나타났다. 이것은 Fig. 6과 같이 가열 최종 온도가 높을수록 $T-T_g$ 는 낮아져서 유리질의 성질이 더 강하게 되고 이에 따라 쉽게 깨지기 때문이다. 또한 일반적으로 유리질이 형성될 때 냉각속도가 크면 분자의 충전도가 낮아져서 경도는 약해진다. 따라서 가열 최종 온도가 높을수록 냉각 시 주위와의 온도차이가 더 커져서 냉각속도가 증가함에 따라 캔디의 경도가 더 약해진 것으로도 해석할 수 있다.

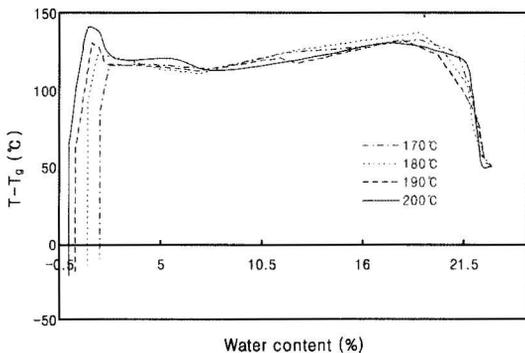


Fig. 4. Plots of $T-T_g$ vs. water content in making a model candy under different heating conditions.

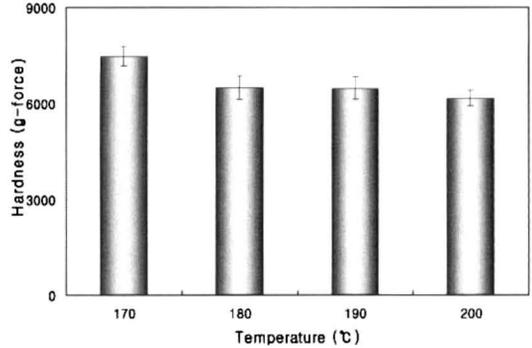


Fig. 5. Hardness of model candies vs. different heating conditions.

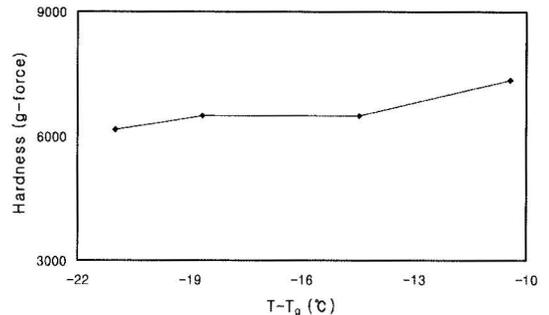


Fig. 6. Hardness of model candies made under different heating conditions vs. $T-T_g$.

서 냉각속도가 증가함에 따라 캔디의 경도가 더 약해진 것으로도 해석할 수 있다.

캔디의 색도

가열 최종 온도가 가장 낮은 170°C에서 흰색에 가까운 탁한 색을 보였고, 온도가 증가할수록 투명도는 더 증가하였다(Fig. 7). 유리질은 빛이 잘 투과하여 투명도가 높고 결정질은 빛이 산란하여 오히려 투명도는 낮아진다(Recas와 Rebours, 1972). 캔디의 경우 가열 최종 온도가 높아질수록 유리질에 속하는 정도가 높아지므로 그 특유의 성질인 투명도가 증가한 것으로 연관시킬 수 있다.

가열 최종 온도가 상승함에 따라 L값은 감소하였다. a값은 200°C에서 갑자기 증가하였고, b값은 증가하다가 200°C에서 감소하였다(Fig. 8). b값의 증가는 실제 관찰되었던 바와 같이 황색의 증가를 잘 반영하였고, a값의 갑작스러운 증가는 캔디의 적색 증가와 잘 일치하였다. 적색이 증가는 200°C에서 카라멜화(caramelization)가 촉진되어 나타난 것으로 생

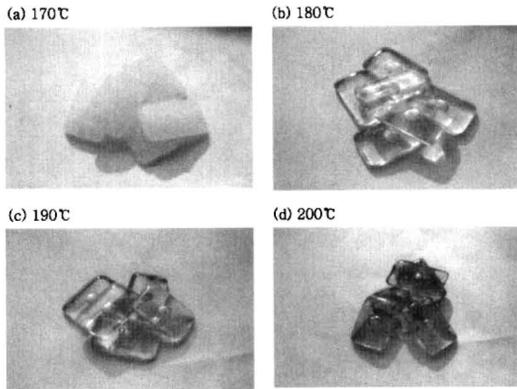


Fig. 7. Appearance of model candies made under different heating conditions.

각된다(윤석권 등, 2002). L값의 변화 또한 실제 관찰된 캔디 밝기의 변화와 잘 일치하였다.

캔디의 용해도

가열 최종 온도 170°C의 조건에서 제조된 캔디는 완전히 녹는 시간이 가장 짧았고, 200°C에서는 가장 긴 시간이 소요되었다(Fig. 9). Fig. 4에서와 같이 가열 최종 온도가 증가할수록 수분함량과 $T-T_g$ 는 감소하여 보다 유리질에 속하는 정도가 커지고, 반면 가열 최종 온도가 낮아지면 유리질에 속하는 정도가 작아져서 고무질과의 경계에 접근한다. 이에 따라 200°C에서 제조된 캔디와 같이 유리질에 속하는 정도가 큰 고체는 운동성이 더 작아서 물에 용해되는 속도가 상대적으로 더 낮게 되고, 반대로 고무질의 경계에 근접된 유리질은 용해 속도가 더 크게 되는 것으로 해석된다.

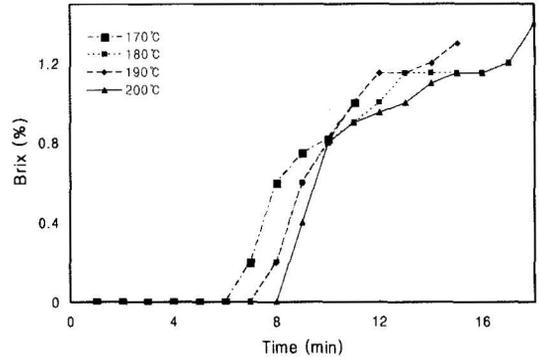


Fig. 9. Time courses of Brix during stirring distilled water solution with a model candy made under different heating conditions.

또한 최종 당도는 200°C에서 가장 높게 나타났는데, 이는 가열 최종 온도가 높을수록 수분함량이 낮았기 때문에 당의 용해량이 더 큰 것으로 생각된다.

요 약

캔디의 가열 온도가 캔디의 물성에 미치는 효과에 관하여 연구하였다. 설탕과 물을 일정한 온도(T_f)에 도달할 때까지 가열시킨 후 일정한 틀에 붓고 실온에서 냉각하여 모델 캔디를 제조하였다. 가열 최종 도달 온도인 T_f 는 170, 180, 190, 200°C의 네 가지로 정하였으며 제조 중 시료의 온도(T)와 수분함량을 실시간으로 측정하였다. T 와 해당 수분함량에 대한 설탕의 유리전이온도(T_g)와 비교하여 $T-T_g$ 를 산출하였다. 가열에 따른 시료의 수분함량의 감소와 함께 $T-T_g$ 는 거의 일정한 양(+)의 값을 보였

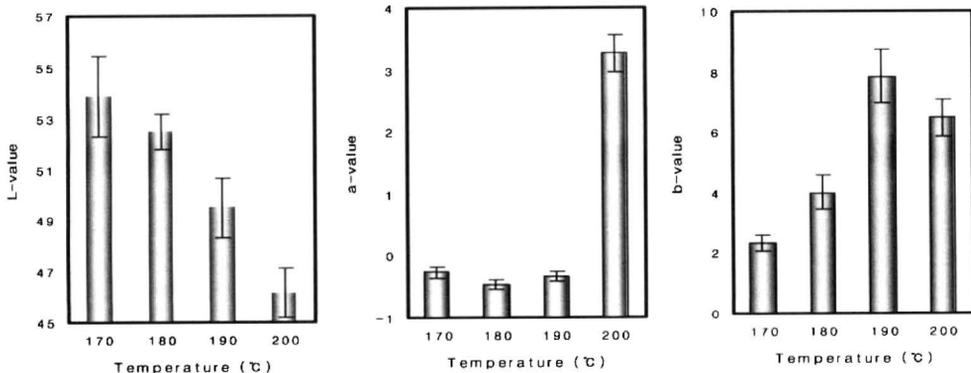


Fig. 8. Hunter colors of model candies made under different heating conditions.

으나, 냉각 이후에는 감소하여 최종에는 작으나마 음(-)의 값을 보였다. T_g 가 높을수록 시료의 최종 수분함량은 더 낮아져서 $T-T_g$ 또한 더 낮게 나타났다. 또한 캔디의 경도, Hunter 색도(L, a, b), 용해도를 측정하였다. T_g 가 높을수록 캔디의 경도와 용해속도는 감소하였다. 캔디의 색도는 T_g 가 높을수록 a값(적색)과 b값(황색)은 증가하여 더 짙은 적색과 황색을 보였고, L값(명도)은 감소하여 갈색화 현상을 보였다.

참고문헌

- 김완수, 신말식, 이경애, 김미정. 2004. 조리과학 및 원리. 라이프사이언스, 서울, 대한민국. pp101-108
- 손경희, 문수재. 1977. 비결정형 캔디의 Texture에 관한 연구-Whipping Agents를 중심으로-. 대한가정학회지 **15(2)**: 29-34
- 윤석권, 오훈일, 이형주, 문태화, 노봉수. 2002. 식품화학. 수학사, 서울, 대한민국. pp337-378
- Aguilera, J.M. and D.W. Stanley. 1990. *Microstructural Principles of Food Processing & Engineering*. Elsevier Applied Science, N.Y., USA. pp59-63
- Faridi, H. and J.M. Faubion. 1990. *Dough Rheology and Baked Product Texture*. Van Nostrand Reinhold. N.Y., USA. Chap 5.
- Lelas, V., G. Kresic and B. Simundic. 2002. Influence of some technological parameters on the quality of candied celery. *Proceedings of the 4th Croatian Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists Central European Meeting*, Oct. 3-5, 2001, Opatija, Croatia. pp 141-147
- Okuno, M., S. Kishihara, M. Otsuka and K. Kawasaki. 2003. Glass transition temperature of amorphous solid formed from sucrose crystal with different melting point. *Seito Gijutsu Kenkyu Kaishi* **51**: 7-12
- Recas, F. and M. Rebours. 1972. Confectionary product. *Generale Alimentaire. Brit.* p5
- Roos, Y. and M. Karel. 1991a. Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. *Journal of Food Science* **56(1)**: 38-43
- Roos, Y. and M. Karel. 1991b. Water and molecular weight effects on glass transitions in amorphous carbohydrates and carbohydrate solutions. *Journal of Food Science* **56(6)**: 1676-1681
- Roos, Y. 1993. Melting and glass transition of low molecular weight carbohydrates. *Carbohydrate Research* **238**: 39-48
- Roos, Y. 1995a. Characterization of food polymers using state diagrams. *Journal of Food Engineering* **24(3)**: 339-360
- Roos, Y.H. 1995b. Glass transition-related physicochemical changes in foods. *Food Technology* **49(10)**: 97-102
- Roos, Y.H. 1995c. *Phase Transitions in Foods*. Academic Press, N.Y., USA.
- Roos, Y.H. 2003. Thermal analysis, state transitions and food quality. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* **71(1)**: 197-203
- Sasano, Y., S. Tachikawa. and Y. Matsui. and I. Yamada. 2006. Hard candy. *Uha Mikakuto Co., Ltd., Japan. Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, pp 8