

## CO<sub>2</sub> 가스 주입에 의한 옥수수가루의 팽화: Sucrose와 Glycerol Monostearate(GMS)의 영향

류기형 · Mulvaney, S.J.\*

공주대학교 식품공학과, \*코넬대 식품과학과

### Cornmeal Puffing with CO<sub>2</sub> Gas: Effect of Sucrose and Glycerol Monostearate(GMS)

Ryu, G.H. and Mulvaney, S.J.\*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

\*Department of Food Science, Cornell University, U.S.A.

#### Abstract

Sucrose is added to feed materials to alter the taste and texture of extruded products. Emulsifier can affect extrudate properties by forming complexes with amylose during extrusion-cooking. These ingredients may improve the cell structure and texture of cornmeal extrudates obtained by using CO<sub>2</sub> as a bubble forming agent. The objective of this study was to evaluate effects of sucrose (5% and 10%) and glycerol monostearate (GMS) (0.75% and 1%) on properties of cornmeal extrudates produced with CO<sub>2</sub> at injection pressures from 1.04 to 2.07 MPa. Dough temperature increased and die pressure decreased when CO<sub>2</sub> was injected into barrel. The addition of sucrose to cornmeal resulted in decreasing dough temperature, specific mechanical energy (SME) input, and die pressure. SME input was not significantly influenced by GMS addition but die pressure was decreased when GMS was added. Extrudate density was decreased over observed CO<sub>2</sub> injection compared to GMS. WSI was significantly decreased with the addition of GMS. Paste viscosity was also decreased with addition of sucrose or GMS, but significant differences of paste viscosity among CO<sub>2</sub> injection pressures were not found. Structure forming and texture of cornmeal extrudates by CO<sub>2</sub> injection was improved by adding GMS.

Key words: CO<sub>2</sub> gas, cornmeal extrudate, GMS.

## 서 론

식품압출성형 공법은 소비자들의 다양한 욕구를 충족시킬 수 있는 제품개발의 중요한 공정중의 하나이다. 압출성형물의 품질을 향상시키기 위하여 여러가지 종류의 첨가물을 주원료에 혼합한다. Sucrose를 곡류원료에 첨가할 경우 sucrose는 곡류중의 전분보다 더 많이 수분을 흡수하므로 반죽의 수분 흡수율은 감소된다. 그래서 기포형성제(bubble forming agent)로 물을 이용할 경우 팽화율은 감소 될 수 있다<sup>(1)</sup>. 반면에 Meuser 등<sup>(2)</sup>은 sucrose량의 증가와 함께 반죽에 용해되지 않고 온도증가에 따른 sucrose의 액화에 의해 반죽의 점도 감소와 에너지 투입량의 감소로 인해 팽화제품의 밀도는 감소한다고 보고하였다.

유화제는 분자내에 친수성기와 친유성기를 가지며, 압출성형공정에서 유화제는 친수·친유의 정도(hydrophilic-lipophilic balance)와 구조 등에 따라 제품의 물성이 달라진다<sup>(3,4)</sup>. Galloway 등<sup>(5)</sup>은 밀가루에 GMS(glycerol monostearate)를 첨가함에 따라 팽화제품의 팽화율은 GMS-아밀로스 복합체의 형성에 의해 감소한다고 보고했다.

최근 재래식 압출성형공법의 결점을 보완하기 위해 CO<sub>2</sub> 가스나 임계 CO<sub>2</sub> 를 압출성형기 바렐로 주입하여 bubble forming agent로 이용하려고 시도하고 있다<sup>(6)</sup>. 임계 CO<sub>2</sub>를 bubble forming agent로 이용할 경우, 재래식 압출성형공정과 비교하여 몇가지 장점이 있다. (1) 저온(80°C ~ 90°C)에서 팽화시킬 수 있으므로 열에 불안정한 영양소의 파괴를 감소, (2) 임계 CO<sub>2</sub>에 용해가능한 향료나 색소의 도입이 가능, (3) 임계 CO<sub>2</sub>나 CO<sub>2</sub> 개스를 이용한 경우 주입압력의 조절에 의해 제품의 밀도 제어가 용이한 점 등이다.

CO<sub>2</sub> 개스를 bubble forming agent로 사용하여 팽화

Corresponding author: G.H. Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yeisan, Choongnam 340-800, Korea

시킬 때 증기에 의한 팽화를 방지하기 위해 100°C 이하로 반죽의 온도를 조절해야 한다<sup>(7)</sup>. CO<sub>2</sub> 개스를 이용한 압출성형 시스템에서 10% 이하의 sucrose의 첨가시 제품의 밀도감소와 조직감이 향상되었으며, 이때 CO<sub>2</sub>의 주입압력은 2 MPa 수준이었다고 Ferdinand 등<sup>(8)</sup>은 보고하였다. 일반적으로 재래식 압출성형 공정에서 원료의 조성에 따라 차이는 있지만, 30% 이상의 sucrose 함량에서 팽화는 불가능하다. 그러나 CO<sub>2</sub>을 bubbling agent로서 주입시킬 경우 30% 이상에서도 팽화가 가능하다는 사실은 중요한 의미를 갖는다<sup>(8)</sup>.

아직까지 CO<sub>2</sub>을 이용한 팽화제품의 밀도는 재래식 공정과 비교하여 높아서 응용에 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 sucrose와 GMS 첨가하여 CO<sub>2</sub>에 의해 형성된 기공의 파괴를 방지할 수 있는 가능성과 CO<sub>2</sub> 주입과 압출성형공정을 통해 제조한 옥수수가루 팽화제품의 특성을 검토하였다.

**재료 및 방법**

**재료**

옥수수가루(Lauhoff Grain Co., Danville, IL), sucrose (Domino sugar Co., New York, NY), GMS(ADM Akeady, Kansas City, MO)를 각각 사용하였다.

**압출성형공정**

옥수수가루 무게(w.b.)에 기준하여 5%와 10% sucrose와 0.75%와 1%의 GMS를 각각 Horbart mixer에서 15분간 혼합시켜서 원료로 사용하였다. Wenger TX-52 쌍축 압출성형기(Sabetha, KS)에 CO<sub>2</sub> 개스 주입장치를 부착하여 사용하였으며, 자세한 스크류의 배열과 CO<sub>2</sub> 개스 주입위치, 및 압력계의 위치는 Fig. 1에 나타내었다. L/D 비는 40.5로서 7번째 바렐에 수증기를 제거하는 배기구를 설치하였다. 바렐 8-14에 4°C의 냉각수를 통과시켜서 내부 반죽의 온도를 100°C 이하로 유지하였다. CO<sub>2</sub> 개스의 주입은 바렐 10과 11 사이에서 냉각된 반죽에 CO<sub>2</sub> 개스를 주입하였다.

원료의 사입은 1.35 kg/min로 고정시켰으며, 물과 수증기를 바렐로 주입시켜 반죽의 수분함량은 34%로 조절하였으며 약 2%의 수분이 배기구를 통해 제거되었다. 스크류 회전 속도는 200 rpm으로 고정하였다.

팽화된 제품은 즉시 건조하여 건조제품의 수분함량은 6% 이하로 하여 밀도를 측정하였으며, Tecator sample mill을 이용하여 팽화물을 분쇄하여 paste의 성질을 측정하였다.

**시스템 변수(system variables)**

비기계적 에너지 투입량(SME)은 다음의 식을 이용하

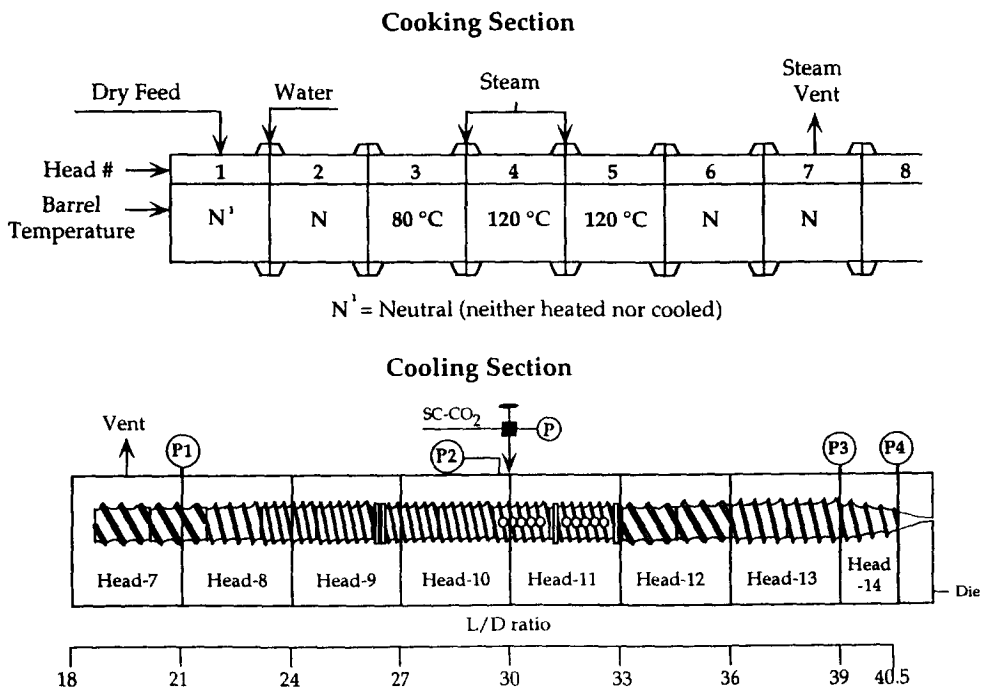


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment and positions of steam vent, CO<sub>2</sub> gas injection and pressure probes

여 계산하였다.

$$\text{SME 투입량} = \frac{\text{원료투입시의 기계적 에너지(ME)} - \text{원료투입 않을 때의 기계적 에너지(ME)}}{\text{질량속도}}$$

$$\text{ME} = \text{모터 size(kW)} \times \frac{\% \text{부하}}{100} \times \frac{\text{실제 스크류 회전속도(rpm)}}{\text{최대 스크류 회전속도(rpm)}}$$

바렐내부의 압력은 배출구, CO<sub>2</sub>가스 주입부위, 바렐 13, 14에서 각각 측정하였다. 사출구에서의 반죽의 온도는 바렐의 온도와는 관계없이 실제 반죽의 온도를 측정하기 위해 사출구 속으로 열전대 probe를 삽입하여 측정하였다.

#### 팽화제품의 밀도

팽화물의 밀도는 Ottawa sand를 사용하여 팽화물의 부피를 측정하고, 측정된 팽화물의 무게를 측정하여 계산하였으며 3번의 측정값의 평균값으로 나타내었다.

#### 수분흡착력(WAI) 및 수용성지수(WSI)

수분흡착력과 수용성지수는 일반적으로 사용되는 Anderson 등<sup>(9)</sup>의 방법으로 측정하였다.

#### Paste 점도

팽화물 분말의 paste 점도는 Haake RV 100 viscometer를 사용하였으며 Launay 등<sup>(10)</sup>의 방법을 수정하여 측정하였다. 분말의 농도를 15%로 하여 paste를 제조하였다. Paste 40 ml를 외경과 내경의 비(Ra/Ri)가 1.14인 cylinder를 사용하여 측정하였다. 온도는 60°C로 고정하여, 층밀림속도(shear rate), 0~225.5 sec<sup>-1</sup>의 범위를 10 분동안 변화시켜서 유동곡선(flow curve)을 그렸다.

#### 통계처리

각 처리구사이의 차이는 Duncan's 다범위 시험(신뢰도 95%)을 SAS 통계처리 package<sup>(11)</sup>를 사용하여 검증하였다.

## 결과 및 고찰

#### 시스템 변수

제품의 성질에 영향을 미치는 SME 투입량, 압력분포, 반죽의 온도와 같은 시스템 변수들을 분석하였다. SME 투입량은 전분의 호화, 팽윤, 용해도, paste 점도에 영향을 미친다. 일반적으로 SME 투입량을 증가시키면 전분의 팽윤과 용해도는 높아지고, paste 점도는 전분분자의 손상에 의해 낮아진다고 보고하였다<sup>(12)</sup>.

Sucrose와 GMS 농도변화에 따른 시스템 변수들을

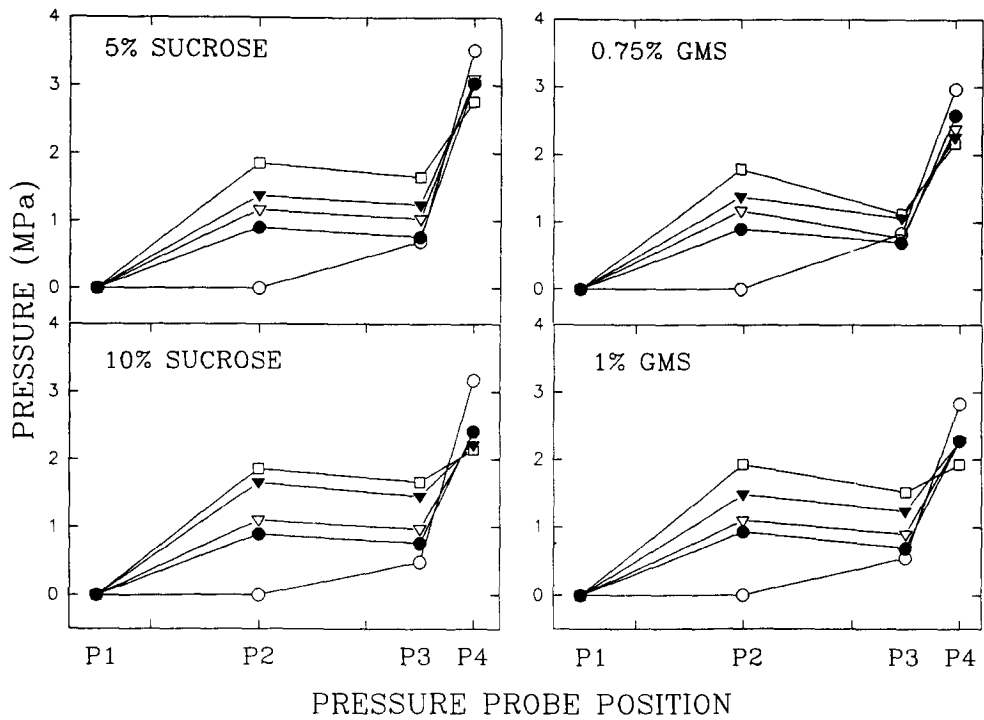
**Table 1. Effects of sucrose and GMS on process parameters for extrusion puffing of cornmeal via CO<sub>2</sub> gas injection**

Formula	Process parameters		System parameters	
	CO <sub>2</sub> pressure (MPa)	SME (W·hr/kg)	Die pressure (MPa)	Dough temp. (°C)
Cornmeal	0	88.0	4.28	102
	1.04	89.1	4.14	101
	1.38	88.5	3.31	114
	1.73	89.4	3.38	115
5% Sucrose	2.07	89.2	3.03	114
	0	76.9	3.51	102
	1.04	76.4	3.03	111
	1.38	78.0	3.10	113
10% Sucrose	1.73	79.1	3.03	113
	2.07	83.9	2.76	114
	0	65.6	3.17	88
	1.04	61.6	2.41	103
0.75% GMS	1.38	59.9	2.34	103
	1.73	61.2	2.21	103
	2.07	61.2	2.14	103
	0	87.6	2.97	103
1% GMS	1.04	86.4	2.53	113
	1.38	85.2	2.38	114
	1.73	88.8	2.31	113
	2.07	87.6	2.17	114
1% GMS	0	88.2	2.82	105
	1.04	85.8	2.28	110
	1.38	85.2	2.28	111
	1.73	88.2	2.21	112
	2.07	85.1	1.93	111

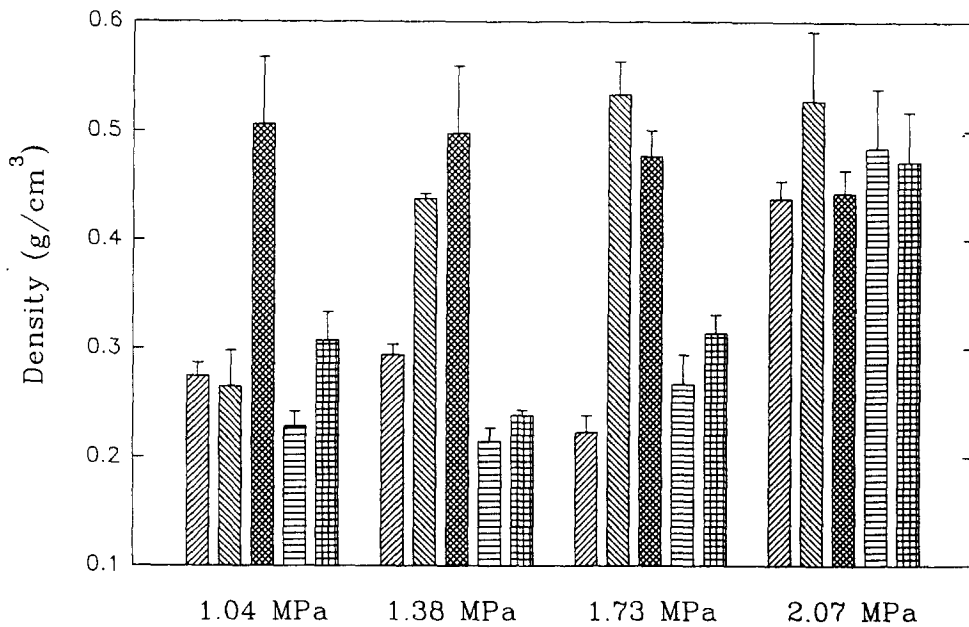
Table 1에 나타내었다. SME 투입량은 sucrose 농도가 0%에서 10%로 증가함에 따라 낮아졌다. 재래식 압출성형공정에서도 sucrose량의 증가와 함께 SME 투입량과 사출구 압력은 sucrose 액화로 인해 감소한다<sup>(2)</sup>. CO<sub>2</sub> 주입에 의한 압출성형공법에서도 마찬가지로 sucrose량이 증가 할수록 SME 투입량은 감소한다고 보고했으며<sup>(8)</sup>, 이들의 결과와 일치하였다.

GMS 농도는 SME 투입량에 크게 영향을 미치지 못하는 반면에, 사출구 압력은 GMS 농도가 증가함에 따라 낮아지는 경향을 보였다(Table 1). GMS는 압출성형동안 윤활작용과 GMS-아밀로스 복합체 형성에 따라 반죽의 물성에 영향을 미쳐서 사출구 압력이 낮아진다고 사료된다<sup>(3)</sup>.

CO<sub>2</sub>가스 주입부위(P2)의 내부압력은 주입압력과 일치하였으며 사출구의 압력(P4)는 CO<sub>2</sub>가스 주입압력의 증가와 함께 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2) 사출구압력의 감소는 CO<sub>2</sub> 개스의 용해로 인해 점도가 감소한 것으로 사료된다. 반죽의 온도는 10% sucrose 첨가에 의해 감소하였다(Table 1). 이것은 10% sucrose 첨가에 의한 SME 투입량 감소에 기인한다고 사료된다.



**Fig. 2. Pressure profiles of melted dough in extruder barrel**  
 (a) 5% sucrose, (b) 10% sucrose, (c) 0.75% GMS, and (d) 1% GMS  
 ○, 0 MPa; ●, 1.04 MPa; ▽, 1.38 MPa; ▼, 1.73 MPa; □, 2.07 MPa



**Fig. 3. Effects of sucrose and GMS on density of cornmeal extrudates puffed with CO<sub>2</sub> gas. Error bars show the 95% confidence interval for replicate experimental units**  
 ▨, corn meal; ▩, 5% sucrose; ■, 10% sucrose; ▤, 0.75% GMS; ▥, 1% GMS.

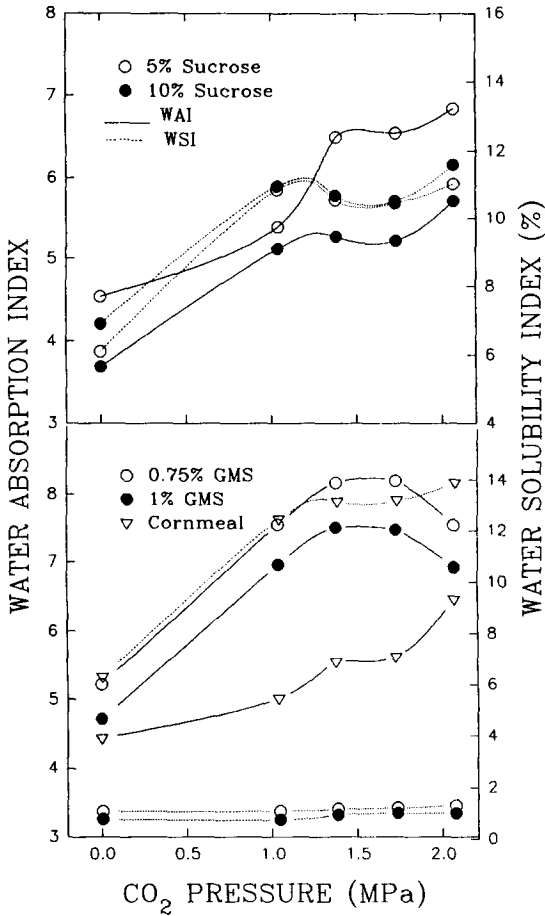


Fig. 4. Effects of sucrose and GMS on water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of cornmeal extrudates puffed with CO<sub>2</sub> gas

제품의 밀도

Sucrose와 GMS 농도변화와 CO<sub>2</sub>개스 주입압력과 제품의 밀도의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. CO<sub>2</sub>개스 주입압력과 sucrose 및 GMS 농도는 제품의 밀도에 크게 영향을 미쳤다. Sucrose의 첨가(5%, 10%)는 대조구와 비교하여 밀도를 오히려 증가시키는 경향을 보였으며, 5% sucrose 첨가시에 1.04 MPa CO<sub>2</sub> 주입압력에서의 최소 밀도(0.27 g/cm<sup>3</sup>)를 나타내었다.

GMS 첨가에 의해 효과적으로 제품의 밀도를 낮출 수가 있었다. 0.75% GMS와 1.38 MPa 주입압력에서 최소의 밀도(0.23 g/cm<sup>3</sup>)를 나타내었다. 재래식 압출성형공법에서 GMS를 첨가하면 GMS-아밀로스 복합체의 형성에 의해 밀도가 증가한다고 보고<sup>(5)</sup>하였으나 CO<sub>2</sub> 주입에 의한 압출성형공법에서는 오히려 밀도의 감소를 초래하였다. 유화제의 종류와 hydrophilic-lipophilic balance (HLB) 값의 차이에 따라 팽화제품의 특성이 변화한다고 Ryu 등<sup>(3,4)</sup>은 보고하였다.

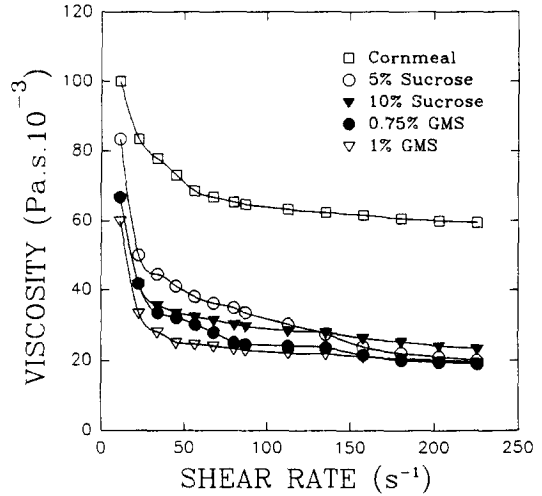


Fig. 5. Effects of sucrose and GMS on paste viscosity of cornmeal extrudates puffed with 1.04 MPa CO<sub>2</sub> injection pressure

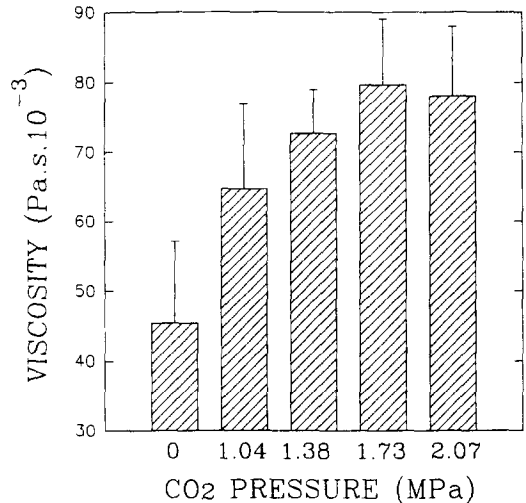


Fig. 6. Effects of CO<sub>2</sub> injection pressure on paste viscosity of cornmeal extrudates. Error bars show the 95% confidence interval for repeated experimental units

수분흡착도와 수용성지수

수분흡착도(WAI)는 전분과 단백질의 수화를 나타내는 지표로서 재래식 압출성형공정에서는 열 및 기계적 에너지 투입량의 증가와 함께 초기에는 증가하다가 감소하는 경향을 나타낸다<sup>(12)</sup>.

Sucrose와 GMS농도 및 CO<sub>2</sub> 개스 주입압력과 수분흡착도와 수용성지수의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 대조구인 옥수수가루 팽화물의 수분흡착도와 수용성지수는 CO<sub>2</sub>개스 투입압력과 함께 증가하는 경향을 보였다. 수용성지수는 sucrose 첨가에 의해 감소하였으며, 5%와

10% sucrose 첨가에서는 차이를 나타내지 않았다.

GMS의 첨가에 의해 수분흡착도는 증가하였으나, 수용성지수는 크게 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 GMS-아밀로스 복합체 형성에 의해 전분의 무정형 부위의 수소결합의 파괴가 낮아져서 수용성지수가 GMS의 첨가로 인해 낮아진다고 사료된다<sup>6)</sup>.

#### Paste 점도

Sucrose와 GMS의 농도를 달리했을 때 1.04 MPa CO<sub>2</sub> 개스 주입압력에서 생산한 팽화물의 paste 점도를 Fig. 5에 나타내었다. Paste 점도는 sucrose와 GMS 첨가에 의해 감소하였다. 이것은 sucrose와 GMS 첨가에 따라 수용성 전분의 감소에 따라 현탁액의 겔보기 점도가 낮아지는 것으로 사료된다. 현탁액의 점도는 충밀립 속도 10~100 sec<sup>-1</sup> 범위에서 sucrose와 GMS 농도에 따라 크게 차이가 있었다(5% sucrose > 10% sucrose > 0.75 GMS > 1% GMS) (Fig. 5).

충밀립 속도, 150 sec<sup>-1</sup>에서 CO<sub>2</sub> 주입압력에 따른 paste의 겔보기 점도를 Fig. 6에 나타내었다. CO<sub>2</sub>의 주입에 의해 팽화된 팽화물의 paste 점도가 CO<sub>2</sub>를 주입하지 않은 옥수수가루 팽화물의 paste 점도보다 높았다. 1.04~2.07 MPa 투입압력에서의 paste 점도는 큰 차이를 나타내지 않았다.

#### 요 약

팽화제품의 맛과 조직감을 향상시키기 위해 sucrose를 첨가한다. 또한 유향제를 첨가하면 압출성형동안 아밀로스와 복합체를 형성하여 반죽의 물성을 변화시켜 팽화제품의 성질에 영향을 미친다. 이들 첨가제는 CO<sub>2</sub> 주입에 의한 압출성형공법에서도 조직감과 기공형성을 향상시킬 수 있다. 이 실험에서는 sucrose(5%, 10%)와 GMS(0.75%, 1%)를 옥수수 가루와 혼합하여 CO<sub>2</sub> 개스 주입압력을 1.04에서 2.07 MPa를 변화시킬 때의 시스템 변수와 제품의 특성을 검토하였다. CO<sub>2</sub> 개스를 주입시킴에 따라 반죽온도는 증가하였고, 사출구 압력은 감소하는 경향을 보였다. Sucrose의 첨가에 의해 반죽온도, SME투입과 사출구 압력은 감소하는 경향을 보였다. GMS첨가에 의해 SME 투입량의 변화는 없었지만, 0.75% GMS첨가에 의해 팽화제품의 밀도는 대조구와 비교하여 감소하였다. GMS 첨가에 의한 수용성지수와 paste 점도도 감소하는 경향을 보였다. CO<sub>2</sub> 주입압력에 따라서 paste 점도는 크게 차이를 보이지는 않았다. GMS를 첨

가할 경우 CO<sub>2</sub> 주입에 의한 기공형성력이 증가하여 제품의 조직감이 향상되었다. 밀도는 CO<sub>2</sub> 주입압력 1.38 MPa, 0.5% GMS 첨가시 최소치인 0.22 g/cm<sup>3</sup>를 보였다.

#### 문 헌

1. Moore, D., Sanei, E., Van Hecke, Z. and Bouvier, J.M.: Effect of ingredients on physical/structural properties of extrudate. *J. Food Sci.*, **55**, 1383 (1990)
2. Meuser, F. and Wiedmann, W.: Extrusion plant design. In extrusion cooking. Mercier, C., Linko, P. and Harper, J.M. (ed), AACC, St. Paul, MN, pp.128-133 (1989)
3. Ryu, G.H., Neumann, P.E. and Walker, C.E.: Effect of Emulsifiers on physical properties of wheat flour extrudates with and without sucrose and shortening. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **27**, 425 (1994)
4. Ryu, G.H. and Walker, C.E.: Cell structure of wheat flour extrudates produced with various emulsifiers. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **27**, 432 (1994)
5. Galloway, G.L., Biliaderis, C.G. and Stanley, D.W.: Properties and structure of amylose and monostearate complexes formed in solution or extrusion of wheat flour. *J. Food Sci.*, **54**, 950 (1989)
6. Ryu, G.H., Mulvaney, S.J. and Rizvi, S.S.H.: The effect of sucrose and glyceryl monostearate (GMS) on process variables and properties of cornmeal extrudates puffed with carbon dioxide gas. 53rd Annual Meeting of IFT, Chicago, IL (1993)
7. Ferdinand, J.M., Lai-Fook, R.A., Ollett, A.L., Smith, A. C. and Clark, S.A.: Structure formation by carbon dioxide injection in extrusion cooking. *J. Food Eng.*, **11**, 209 (1990)
8. Ferdinand, J.M., Clark, S.A. and Smith, A.C.: structure formation in extrusion-cooked starch-sucrose mixtures by carbon dioxide injection. *J. Food Eng.*, **16**, 283 (1992)
9. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pffir, U.F. and Griffin, L.E.: Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today*, **14**, 372 (1969)
10. Launay, B. and Lisch, J.M.: Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Eng.*, **2**, 259 (1983)
11. SAS Institute Inc.: SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC (1991)
12. Mason, W.R. and Hoseney, R.C.: Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chem.*, **63**, 436 (1986)

(1995년 1월 6일 접수)