

압출조리를 이용한 쌀 이유식 제조에서 아밀라제 첨가가 물성변화에 미치는 효과

이강권 · 김지용 · 이철호
고려대학교 식품공학과

Studies on the Effects of Amylase Addition to Rice Extrusion on the Rheological Properties of the Extrudate for Weaning Food Base

Gang-Gweon Lee, Ji-Yong Kim, and Cherl-Ho Lee
Department of Food Technology, Korea University

Abstract

The effects of amylase addition during extrusion cooking of rice on the physico-chemical properties of the extrudates were investigated in order to develop rice-based Korean style weaning food products. A laboratory-built single screw extruder was used, the enzymes used were Termamyl 120LS (amylase from *Bacillus licheniformis*, NOVO Co.), BAN 240L (amylase from *Bacillus amylolichuefaciens*, NOVO Co.) and malt powder. By the addition of enzymes, the water soluble index of the extrudates increased by 3 times compared to that of the extrudates without enzyme and the concentration of reducing sugar in the extrudates increased drastically at 28% feed moisture. The gel permeation chromatographic pattern showed that the large molecular starch fractions diminished by the addition of enzyme during extrusion and the low molecular fraction increased. The residual enzyme activity in the extrudate were 27% for the most thermo-resistance enzyme by treating at 140°C in the metering section of the extruder. The sediment volume of the extrudate dispersion increased as the metering section temperature increased to 140°C. By the addition of enzymes the viscosity of extrudate dispersion was reduced 1/4~1/200 of that of the extrudates without enzyme. It allowed to use 1.8 times of solid material to the weaning food formulation to attain the same level of consistency as the commercial products. It proves that the addition of amylase during rice extrusion is effective to increase the energy density of weaning food by starch degradation, which results in the increases of water solubility, reducing sugar content, dispersibility and fluidability.

Key words: extrusion cooking, weaning food, amylase, solubility, viscosity

서 론

영아는 생후 5~6개월 쯤 부터 유즙 이외의 영양소가 필요하며 소화기능의 발달에 따라 차차 모유이외의 음식물을 조심스럽게 양을 늘려 공급해야 하는데 이러한 목적으로 사용되는 식품을 이유보충식(supplementary infant foods) 혹은 이유식(weaning food)이라 한다. 우리나라에서는 전통적으로 미식가루를 비롯한 곡류위주의 분말 건조식품을 이유식으로 사용하여 왔으나 곡분 이유식은 점성이 너무 높고 열량밀도(caloric density)가 너무 낮은 결점이 있다^(1,2). 한편 최근에는 한국인의 비만현상이 급속히 증가하며 이러한 비만현상은 영유아기 및 성장기에 우유, 육류를 원료로한 열량밀도가 너무 높은 이유식을 사용함으로써 과잉의 열량섭취를 하는데

기인하는 것으로 밝혀져 서양식의 우유, 육류 위주의 이유식을 모방하는 일은 바람직하지 않다^(3,4). 따라서 쌀을 원료로한 이유식의 열량밀도를 적절히 조절함으로써 어린이 비만을 방지하고 적절한 영양공급을 할 수 있는 한국형 이유식의 개발이 요구되고 있다. 이유보충식은 영아기에서 유아기로 접어드는 시기에서 유아의 건강을 좌우할 뿐만 아니라 성인이 된후에도 개인의 식성에 미치는 영향이 크다^(5,6). 따라서 비만현상과 서구식 식습관을 갖게하는 현재의 고 열량밀도의 서구식 이유식의 결점과 지난날 영양결핍장애를 일으킨 전통적인 저 열량밀도의 이유식의 결점을 개선할 적절하고 올바른 한국형 이유식의 개발은 대단히 중요한 일이다. 이러한 이유식 개발에 있어서 가장 중요한 것은 이유식의 열량밀도이며 이것은 원료물질의 점성에 의해 좌우된다. 따라서 이유식 주재료의 물성에 대한 연구는 적절한 이유식 개발에 있어서 기초적으로 연구되어야 할 중요한 과제이다.

Corresponding author: Cherl-Ho Lee, Department of Food Technology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

이때 이유식에서 사용되는 주원료 곡물의 가공에 네 열성 아밀라제를 첨가하여 곡물을 압출조리함으로써 전 분 덩스트린화에 의해 점성을 크게 떨어뜨릴 수 있고, 결과적으로 열량 및 영양가 밀도를 높일 수 있다. 또한 압출조리기의 온도를 조절함으로써 최종 제품의 효소 활성을 쉽게 낮출 수 있다. 압출조리 공법을 이용할 경우 곡분→가수→가열→호화→냉각→건조→분쇄의 복잡한 전통적인 방법에서 곡분→extrusion→분쇄로 공정을 줄일 수 있는 잇점이 있다^(1,2,6,7).

본 실험에서는 쌀을 이용하여 열량밀도가 높고 점성이 낮은 한국형 이유식을 개발하기 위하여 압출조리 공법에 의한 쌀 이유식 제조에서 아밀라제 첨가가 물성변화에 미치는 영향을 조사 검토하였다.

재료 및 방법

원료 및 전처리

실험에서 사용한 원료는 1989년산 쌀로 시중에서 구입하여 사용하였으며 원료 쌀의 일반성분 조성은 A.O.A.C. 방법⁽⁸⁾에 의하여 분석하였다. 원료 쌀의 일반 성분 조성은 탄수화물이 79.9%, 수분 11.1%, 단백질 7.0%, 지방 1.5%, 회분 0.5%이었다. 본 실험에서 사용된 아밀라제는 *Bacillus licheniformis*로부터 분리한 Termamyl 120LS (NOVO사), *Bacillus amylolichuefaciens*로부터 분리한 BAN 240L(NOVO사)과 엿기름 가루이며 이들의 최적활성 온도는 각각 90°C⁽⁹⁾, 70°C⁽¹⁰⁾, 55°C⁽¹¹⁾로 알려져 있다.

원료쌀을 분쇄기(경창기계공업사, 서울)로 분쇄하여 입자크기를 18~60 mesh로 한 후 Termamyl 120LS를 원료쌀 5 Kg에 Kg당 3U와 Kg당 0.6U의 양을 취한 뒤 분쇄된 원료쌀의 수분함량이 각각 18%, 23%, 28%가 되도록 계산된 수분함량이 되도록 증류수를 가해 조효소액을 만들고 이를 Hobart mixer(Model 1-A200)에서 충분히 혼합 시킨 뒤 비닐 봉지로 밀봉하여 4°C 냉장실에서 24시간 방치하여 수분함량이 18%, 23%, 28%로 평형상태에 도달하게 한 후 압출조리 하였다.

BAN 240L의 경우 Termamyl 120LS의 효소활성에 준하는 효소량을 취해 같은 방법으로 시료를 제조하였고 엿기름 가루의 경우는 시중에서 구입하여 분쇄된 원료쌀 5 Kg에 위 두 효소액의 활성에 준하는 양인 Kg당 242g(3U)을 취해 원료 쌀에 섞은 뒤 가수하여 시료를 제조하였다.

본 연구에서는 편의상 1 Unit을 100 mg maltose/min/g enzyme로 정의하여 사용하였다.

압출조리 시료의 제조

압출조리기는 자가발열형 단축 압출조리기로 고려대학교 식품재료공학 실험실에서 자체 제작한 것이다⁽¹²⁾. 스크류는 직경이 53.4 mm, 길이가 585 mm로 L/D (Length/Diameter)가 11이며 스크류 tip은 120°인 것을 사용하였다. 바렐은 길이 148 mm, 직경 59.4 mm이며 이중

압축부위와 계량부위는 냉각이 가능하도록 되어 있으며 원료 수분함량이 높아 가열이 필요한 경우는 냉각 jacket이 없는 바렐을 계량부위에 장착하고 전기가열장치인 heating band를 장착하여 가열 하였다. 이때 각 바렐부위에는 온도 감응기가 부착되어 있어 바렐내부의 온도 분포를 기록계(Chino EH 127-06)에 기록하였다. 사출구는 지름이 3 mm이고 길이는 10 mm인 원통형을 사용하였다.

스크류의 회전 속도는 200 rpm, 원료의 투입속도는 180 g/min로 고정하여 각 시료의 수분함량(18, 23, 28%)과 효소의 종류(Termamyl 120LS, BAN 240L, 엿기름 가루)와 첨가량에 따른 바렐 내부온도의 분포를 온도 기록계를 통하여 관찰하였으며 계량부위의 온도가 70°C부터, 매 10°C 단위마다 냉각장치를 이용하여 온도를 일정하게 평형상태를 유지한 뒤 분석에 필요한 시료를 채취하였다. 각 온도에서 시료 채취가 끝나면 냉각수 투입을 중지하여 다음 채취온도까지 온도를 증가시키고 시료 채취온도에 도달하면 다시 냉각수를 투입하는 조작을 반복하였다. 이때 이들 시료는 각 수분함량(18, 23, 28%)에서 효소가 첨가되지 않은 압출 시료들과 비교하였으며 수분함량 23%, 효소 첨가량 3U/Kg에서 110°C 이상의 고온의 시료를 얻기위해 heating band를 이용하여 계량부위의 가열온도를 110~140°C 까지 올려 고온에서 압출한 시료를 채취하여 위의 시료들과 비교하였다.

체류시간(residence time)측정

원료쌀의 압출조리기내의 체류시간의 분포는 Altomare 등의 방법⁽¹³⁾을 이용하여 측정하였다. 원료의 수분함량, 효소의 첨가량과 종류를 달리하면서 계량부위의 온도가 평형상태에 도달하였을 때 원료 사입구에 적색 2호 색소(Amaranth)를 0.1g 투입한 후 사출구를 통해 나온 압출성형물에 적색이 보이지 않을 때 까지 매 5초 간격으로 시료를 채취하여 시간 경과에 따른 색도변화를 Color and color differential meter(TCAI-sw, Tokyo Denso Co.)로 적색에 해당하는 'a' 값을 측정하였으며 각 조건에서 측정된 "a" 값을 그래프에 도시 하여 minimum RT(최초의 적색색소 발현시간), mean RT(그래프에서 'a' 값이 최대치인 시간), half RT(그래프의 면적이 1/2이 되는 시간)를 측정하였다.

수분용해도지수(WSI)측정

압출미분의 WSI(water soluble index)값은 Anderson의 방법⁽¹⁴⁾을 변형하여 측정하였다. 분쇄기(경창기계공업사, 서울)로 분쇄한 40메쉬 이하의 압출미분 시료 2g(dry base)을 50 ml 원심분리관에 넣고 효소의 잔존 활성을 제거하기위하여 0.2 M acetate buffer(pH 3.5), 30 ml을 가한 후 10분간 vortexing한 뒤 5000×g에서 10분간 원심분리하였다. 상등액은 미리 항량을 구한 수분정량 수기에 넣어 고형분량을 구하여 상등액중 고형분 무게와 시료의 고형분의 비를 백분율로 나타내었다^(7,15,16).

환원당(reducing sugar)측정

분쇄기(경창기계공업사, 서울)로 분쇄한 40메쉬 이하의 압출미분 시료 2g(dry base)을 50ml 원심분리관에 넣고 0.2 M acetate buffer(pH 3.5), 30 ml를 가한 후 10분간 vortexing한 뒤 5000×g에서 10분간 원심분리하여 그 상등액에 대하여 DNS(3,5-dinitrosalicylic acid)방법으로 550 nm에서 환원당 생성량을 측정하였다^(7,17).

겔 투과크로마토그래피(Gel Permeation Chromatography, GPC)

크로마토그래피용 gel로는 Sepharose CL-2B(Pharmacia Fine Chemicals)를, eluent로는 0.2 N KOH 용액을 사용하였다. 시료제조는 2 N KOH 10 ml에 분말시료를 농도가 1%(w/v)되게 넣은 후 10분간 vortexing하고, 2시간 정치시킨 후 다시 10분간 vortexing하였다. 이 시료를 90°C로 가열하여 완전히 녹인 후 0.2 N KOH 용액이 되게 증류수로 희석한 뒤 10분간 vortexing하고 10000×g에서 30분간 원심분리하여 쌀전분 이외의 기타 불순물을 제거한 상등액중 2 ml를 취하여 크로마토그래피용 eluent로 사용하였다. eluent의 flow rate는 peristaltic pump를 사용하여 20 ml/hr로 고정시켰으며, 실험온도는 4°C를 유지하고 한 tube 당 3 ml씩 취하였다. 용출된 fraction은 phenol-sulfuric acid법으로 총당량을 구하여, 이를 쌀전분의 분자량 분포로 나타내었다^(18,19).

잔존활성(residual activity)측정

분쇄기(경창기계공업사, 서울)로 분쇄한 40메쉬 이하의 압출미분 시료 1g을 50 ml 원심분리관에 넣고 0.0043 M CaCl₂를 넣은 0.2 M acetate buffer(pH 5.6) 9 ml를 가한 후 10분간 vortexing 한 뒤 4°C, 10000×g에서 10분간 원심분리하여 그 상등액을 채취하였다.

이 상등액 1 ml를 일정비율로 희석하여 그 희석액 1 ml를 취해 2% soluble starch 50 ml에 넣고 각 효소의 최적 온도에서 10분간 반응시킨 후 생성된 환원당 양을 DNS 방법으로 정량하였다.

효소의 잔존활성은 위에서 측정된 효소여가를 원료 쌀에 첨가된 효소여가에 대한 상대 활성(relative activity)으로 나타내었다^(7,17).

분산특성측정

분쇄기(경창기계공업사, 서울)로 분쇄한 40메쉬 이하의 압출미분의 분산특성을 측정하기 위해 가속화된 침전 방법을 사용하였다. 압출미분과 물을 섞어 30분간 교반하여 10% 현탁액을 만든 후 각 시료를 각기 6개의 test tube에 8 ml씩 붓고, 6개의 test tube를 각각 100, 200, 500, 1000, 1500, 2000 rpm에서 5분간 원심분리하였다.

각 test tube 에서의 압출미분의 침전층의 높이를 측정하여 전체 현탁액의 높이에 대한 백분율로 나타내었다⁽²⁰⁾.

점도 측정

압출미분의 점도는 Brookfield synchroelectric viscometer(LVT type)을 이용하여 25°C에서 측정하였다. 압출미분에 0.2 M acetate buffer(pH 3.5)를 가해 각각 10~50%의 농도로 1분간 교반한 후 #4 spindle로 60 rpm에서 측정하였으며 측정치는 centipoise(cp)로 나타내었다^(12,7).

한편, 식중의 이유식 3종을 구입하여 각제품의 4개월 영아 기준 권장 농도로 현탁액을 제조하여 압출미분과 같은 방법으로 점도를 측정하였다.

결과 및 고찰

원료의 수분함량 및 효소첨가에 의한 압출조리기내 체류시간 분포변화

평균 체류시간(mean RT) 측정 결과(Table 1) 아밀라제를 첨가하지 않은 시료의 경우는 수분함량이 18%에서 28%로 증가함에 따라 평균 체류시간이 10초정도 증가하였다. 이러한 결과는 신⁽¹²⁾과 김⁽²¹⁾의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 수분함량 18%, 23%에서는 원료 쌀가루에 아밀라제를 첨가하지 않은 시료와 첨가한 시료 간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 수분함량 28%에서 아밀라제를 첨가한 시료의 경우 평균 체류시간이 95~

Table 1. Changes in minimum residence time(RT), mean residence time and half residence time of rice extrusion by moisture content and enzyme treatment

| Moisture content | Enzyme content (/Kg rice) | Minimum RT (sec) | Mean RT (sec) | Half RT (sec) |
|------------------|---------------------------|------------------|---------------|---------------|
| 18% | control | 25 | 40 | 60 |
| | B 0.6U | 25 | 40 | 60 |
| | B 3U | 25 | 45 | 65 |
| | T 0.6U | 25 | 40 | 60 |
| | T 3U | 25 | 45 | 65 |
| 23% | control | 25 | 50 | 65 |
| | B 0.6U | 25 | 55 | 80 |
| | B 3U | 25 | 60 | 105 |
| | T 0.6U | 25 | 55 | 95 |
| | T 3U | 25 | 60 | 130 |
| 28% | control | 30 | 50 | 70 |
| | B 0.6U | 50 | 95 | 180 |
| | B 3U | 55 | 120 | 250 |
| | T 0.6U | 50 | 100 | 195 |
| | T 3U | 55 | 125 | 270 |
| 23%* | B 3U | 25 | 50 | 70 |
| | T 3U | 25 | 50 | 70 |
| | Malt 3U | 25 | 45 | 65 |

T: Termamyl B: BAN 1U: 100 mg maltose/min/g enzyme control: without enzyme *: Heating band was used

Table 2. Changes in water soluble index (%) of rice extrudates by the addition of amylases

| Moisture Content | Enzyme Content/(Kg rice) | Metering section Temp.(°C) | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| 18% | control | 20.1 | 22.3 | 25.4 | 28.6 | 29.7 | 29.8 | 30.1 | 28.3 |
| | B 0.6U | 46.7 | 45.3 | 42.1 | 37.4 | 35.4 | 32.1 | 32.3 | |
| | B 3U | 58.0 | 60.2 | 48.7 | 50.4 | 52.2 | 49.4 | 50.3 | |
| | T 0.6U | 55.6 | 58.4 | 52.3 | 42.5 | 39.7 | 38.2 | 39.4 | |
| | T 3U | 58.7 | 60.4 | 62.1 | 60.2 | 55.3 | 53.2 | 49.8 | |
| 23% | control | 19.3 | 20.8 | 24.5 | 26.7 | 28.3 | 29.0 | 27.8 | 26.4 |
| | B 0.6U | 45.0 | 43.5 | 36.1 | 30.8 | 29.8 | 29.7 | | |
| | B 3U | 56.0 | 53.1 | 49.9 | 53.4 | 48.6 | 36.4 | | |
| | T 0.6U | 52.4 | 54.1 | 38.8 | 27.5 | | | | |
| | T 3U | 56.2 | 59.6 | 61.4 | 52.3 | | | | |
| 28% | control | 18.6 | 19.2 | 22.5 | 25.7 | 27.5 | | | |
| | B 0.6U | 37.8 | 37.0 | 35.0 | 34.7 | 28.9 | | | |
| | B 3U | 55.9 | 56.7 | 54.0 | 51.7 | 51.2 | | | |
| | T 0.6U | 43.5 | 48.6 | 48.6 | 43.9 | | | | |
| | T 3U | 53.8 | 53.4 | 54.6 | 47.5 | | | | |
| 23%* | B 3U | | | | | 43.2 | 37.3 | 36.5 | 35.5 |
| | T 3U | | | | | 50.7 | 48.3 | 42.2 | 39.2 |
| | Malt 3U | | | | | 30.1 | 33.2 | 32.4 | 28.4 |
| | | | | | | | | | |

T: Termamyl B; BAN 1U: 100 mg maltose/min/g enzyme control: without enzyme *: Heating band was used

125초로 약 2배 정도 길어졌으며 효소농도의 증가에 의해서도 체류시간은 증가하였다. 이러한 평균 체류시간의 증가는 고수분에서 효소작용의 증가로 원료 전분이 분해되어 점도가 급격히 감소하여 내부물질의 역방향 압력흐름이 커지기 때문인 것으로 사료된다.

수분용해도지수(water soluble index)의 변화

수분용해도 측정 결과는 Table 2와 같다. 아밀라제를 첨가하지 않은 시료의 경우 수분함량이 감소할 수록 수분용해도지수는 증가하였으며 수분함량 18% 130°C 에서 30%로 최대 값을 나타내었다. 이것은 신^[21]의 결과와 일치하며 김^[22]이 밀가루를 원료로 했을 때와도 비슷한 경향을 나타내었다. 수분용해도 지수는 아밀라제 첨가에 의해 약 3배 까지 급격한 증가를 나타냈는데, 이는 아밀라제 작용에 의해 수용성 물질이 증가했기 때문이라 생각된다. 원료 쌀 Kg당 3U의 많은양의 Termamyl을 첨가한 시료의 경우 계량부위 온도가 효소의 최대 활성온도인 90°C 부근일 때 수분용해도지수는 최대치를 나타내고 온도가 증가함에 따라 감소 했으며 각 온도에서 아밀라제를 첨가하지 않은 시료에 비해 높은 수치를 나타내었다. 이것은 Likimani 등^[23]이 corn과 soybean을 원료로 했을 때의 결과와도 일치한다. 원료 쌀 Kg당 0.6 U로 적은양의 Termamyl을 첨가한 경우는 80~90°C 를 지난 후 급격한 감소를 나타냈는데 이는 효소의 불활성화에 기인하는 것으로 판단된다. 한편, 원료 쌀 Kg당 3U의 BAN을 첨가한 경우는 70°C 에서 가장 높은 수치를 나타내고 각 온도에서 전체적으로 아밀라제를 첨가하지 않은 시료에 비해 높은 수치를 나타냈으며 원료 쌀 Kg당 0.6U의 BAN을 첨가한 경우는 70°C 를 지난 후 급격한

감소를 나타냈다. 이와 같은 현상은 내열성이 강한 Termamyl의 최적 활성온도가 90°C, BAN이 70°C 인 것과 일치하는 결과를 나타내고 있다.

이상에서 본 바와 같이 효소가 고농도일 경우는 아밀라제의 잔존활성이 커서 전체적으로 효소의 작용에 의한 수분용해도의 증가를 볼 수 있으며, 저농도인 경우는 고온에서는 거의 대부분의 효소가 불활성화 되어 저온일 경우에서만 원료에 작용하는 효소의 영향을 확인할 수 있었다. 이처럼 WSI는 원료에 미치는 효소의 역할과 extruder 내부의 열적 및 기계적 작용에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

환원당(reducing sugar)생성량의 변화

압출미분의 환원당 생성량은 Table 3과 같다. 환원당 생성량은 DNS법에 의하여 건조시료 1g당 생성된 maltose의 mg수로 표시하였다. 아밀라제를 첨가하지 않은 압출미분의 경우 수분함량 18, 23, 28%에서 모두 환원당이 거의 생성되지 않았으며 아밀라제 첨가시 환원당 생성이 급격히 증가하였다. 원료의 수분함량이 증가할 수록 환원당 생성량이 증가하였는데 이는 수분함량 증가에 따른 아밀라제 작용의 증가에 기인하는 것으로 사료된다. 원료의 수분함량 28%에서 아밀라제 첨가시 Termamyl의 경우 80°C 에서 최고 생성량(178.4 mg/g)을 나타냈으며 BAN의 경우 70°C 에서 최대치(164.1 mg/g)를 나타냈다. 이는 각 아밀라제의 최적활성 온도와 일치하고 있다. 또한 환원당 생성량은 아밀라제 첨가량과 밀접한 관계를 나타내고 있으며, 수분함량 28%에서 크게 증가하여 체류시간의 증가와 일치하고 있다. 이러한 현상은 수분용해도에서는 나타나지 않는 것으로 환원당 생성은

Table 3. Changes in the content of reducing sugar (maltose equivalent) of rice extrudates (mg/g) by feed moisture content and enzyme treatment

| Moisture Content | Enzyme Content | Metering section Temp.(°C) | | | | | | | |
|------------------|----------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| 18% | control | - | - | - | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.8 | 1.2 |
| | B 0.6U | 16.4 | 14.3 | 13.6 | 10.1 | 9.7 | 8.1 | 8.1 | |
| | B 3U | 53.4 | 42.1 | 31.5 | 23.4 | 17.5 | 18.9 | 17.8 | |
| | T 0.6U | 14.3 | 15.2 | 13.2 | 11.1 | 10.9 | 10.1 | 9.9 | |
| | T 3U | 63.9 | 99.9 | 56.6 | 39.4 | 29.2 | 28.8 | 24.1 | |
| 23% | control | - | - | - | - | 1.1 | 1.4 | 1.4 | 1.1 |
| | B 0.6U | 20.6 | 19.8 | 15.0 | 15.3 | 15.8 | 19.1 | | |
| | B 3U | 85.0 | 54.9 | 40.0 | 38.7 | 39.2 | 32.3 | | |
| | T 0.6U | 20.3 | 17.8 | 15.0 | 12.6 | | | | |
| | T 3U | 89.6 | 157.5 | 150.6 | 99.7 | | | | |
| 28% | control | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | B 0.6U | 144.7 | 121.9 | 111.7 | 55.7 | 40.3 | | | |
| | B 3U | 164.1 | 144.0 | 135.8 | 131.1 | 132.4 | | | |
| | T 0.6U | 122.8 | 163.1 | 133.1 | 121.3 | | | | |
| | T 3U | 149.3 | 178.4 | 177.2 | 137.9 | | | | |
| 23%* | B 3U | | | | | 37.4 | 35.6 | 33.6 | 30.2 |
| | T 3U | | | | | 70.4 | 50.8 | 44.2 | 40.1 |
| | Malt 3U | | | | | 10.2 | 8.4 | 8.3 | 6.2 |
| | | | | | | | | | |

T: Termamyl B: BAN 1U: 100mg maltose/min/g enzyme control: without enzyme *: Heating band was used

주로 효소적 가수분해반응에 의존하고⁽⁷⁾, 수분용해도 증가는 압출조리 과정에서 일어나는 전분의 호화 및 텍스트린화가 많이 기여하는 것을 나타내고 있다⁽¹⁶⁾.

압출조리물의 분자량 분포 변화

겔 투과된 각 시료들의 분자량 분포의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 아밀라제를 첨가하여 압출조리한 경우 상대적으로 분자량이 큰 고분자획분이 현저히 감소하였고 저분자획분이 증가하는 결과를 나타냈다. 이것은 김⁽²¹⁾이 밀가루 압출조리물에 효소처리 했을 때와 비슷한 경향을 나타냈다. 원료의 수분함량 23%에서 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl을 첨가한 시료의 경우 계량부위 온도 110°C에서 고분자획분의 현저한 감소를 보였으며 140°C에서도 같은 경향을 나타냈고 이러한 경향은 80°C의 경우 가장 두드러지게 나타났는데 이것은 이 효소의 최적활성온도가 90°C인 점에 기인하는 것이다. 또 140°C 시료의 분자 fraction에서 보는 바와 같이 계량부위의 온도가 140°C의 고온일 경우도 앞에서 알아본 바와 같이 상당한 양의 효소 불활성화는 일어나지만 현저한 효소작용을 받았다는 것을 알 수 있다. 이는 효소의 내열성에 관계되며 사입부위나 압출부위의 온도는 측정 결과 80°C 이하인 것에 의해 아밀라제를 첨가한 시료가 압출부위를 통과하는 동안 상당한 효소작용을 받았음을 시사한다. 이상의 결과와 같이 계량부위 온도 80°C, 110°C에서는 압출부위와 계량부위에서 상당한 효소작용을 받았고, 계량부위온도 140°C 고온에서는 계량부위에서의 효소작용 감소에 의해서 전체적인 효소작용이 감소한 것으로 사료된다.

잔존활성(residual activity)변화

원료의 수분함량 23%에서 압출미분 시료의 아밀라제의 잔존활성은 Fig. 2와 같다. 가장 내열성인 Termamyl의 경우 110°C로 처리된 시료에서 약 84%의 높은 잔존활성을 나타냈으며, 온도증가에 따라 상대활성이 급격히 감소하여 140°C 처리시료에서는 약 27%의 잔존활성을 나타내었다. 이것은 Likimani 등⁽⁷⁾이 corn과 soybean을 원료로 했을 때의 결과와 비슷한 경향이다.

BAN의 경우는 110°C에서 37%의 잔존활성을 나타냈으며 140°C에서 25%의 잔존활성을 나타내었고 엿기름 가루의 경우는 110~140°C에서 12~5%로 큰 변화가 없었다. 이러한 아밀라제의 불활성화는 압출부위를 통과하며 원료 물질과 반응을 일으킨 아밀라제가 계량부위의 고온에 의해 불활성화 되는 것으로 사료된다. 따라서 이유식 제조시 이들 아밀라제를 불활성화 하기 위해서는 계량부위에서 충분히 고온으로 처리된 원료들을 사용해야 하며 압출조리기의 특성을 검토하여 완전 불활성화가 가능한 효소를 선택하여 사용하여야 할 것으로 사료된다.

분산특성 변화

가속화된 침전 실험에 의한 쌀가루 압출성형물의 분산특성은 원심분리기의 회전수가 증가함에 따라 측정된 침전층의 높이는 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 원료의 수분함량 23%에서 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl을 첨가한 시료의 경우 계량부위의 온도가 증가할수록 침전층의 높이가 높아지는 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 110°C의 시료가 140°C에서 처리된 시료에

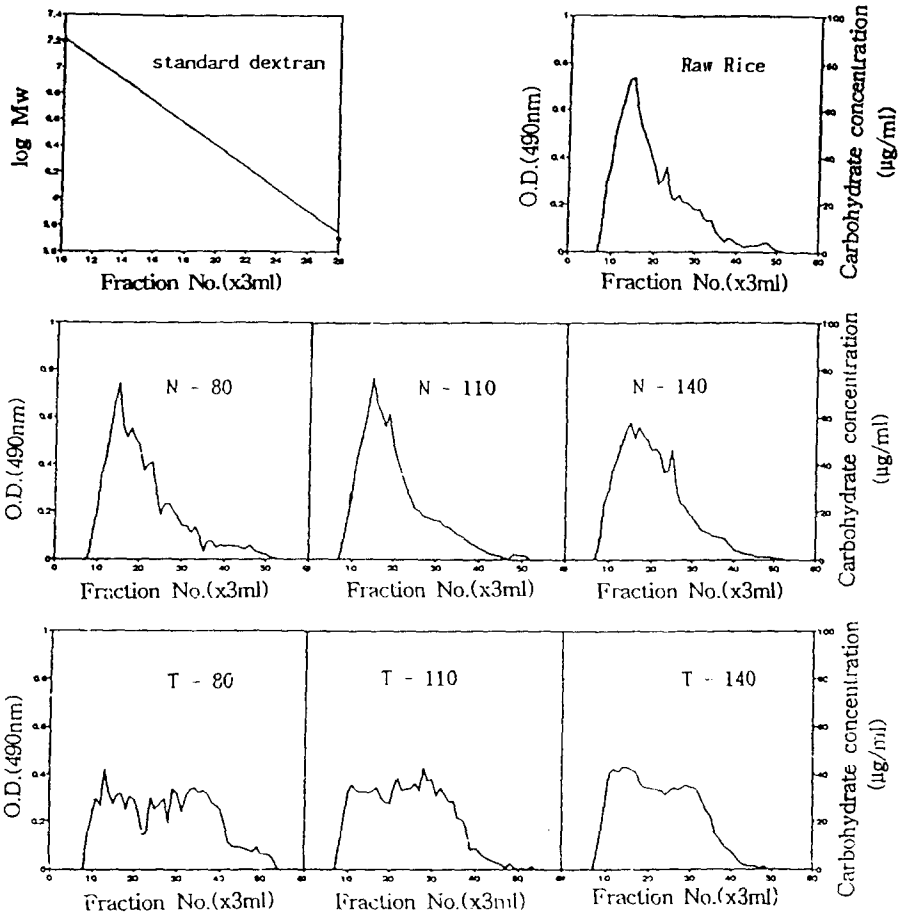


Fig. 1. Changes in molecular weight distribution of rice extrudates determined by Sepharose CL-2B gel permeation chromatography

All samples were extruded with 23% moisture content. N: No-enzyme, T: Termamyl 3U. Numbers 80, 110 and 140 are the metering section temperature (°C)

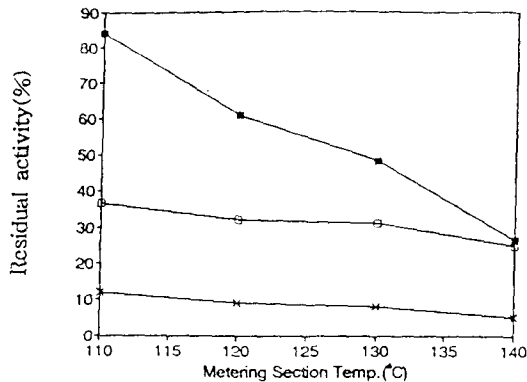


Fig. 2. Residual amylase activity in rice extrudates at moisture content 23%

*1U: 100 mg matose/min/g enzyme. ■-■: Termamyl 3U/(Kg rice), □-□: BAN 3U/(Kg rice), *-*: Malt 3U/(Kg rice)

비해 높은 효소작용을 받아 수용성 물질이 증가했기 때문이며 WSI결과와 일치하고 있다. 원료 쌀의 수분함량 23%, Kg당 3U의 BAN을 첨가한 경우도 같은 경향을 나타냈으며 이것 역시 계량부위의 온도가 고온으로 갈수록 아밀라제의 불활성화가 일어나 전체적인 효소작용이 감소했기 때문이라 사료된다. 수분함량 23% 용융부위 온도 110°C 에서 아밀라제를 첨가하지 않은 시료, 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl을 첨가한 시료와 원료 쌀 Kg당 3U의 BAN을 첨가한 시료를 비교하면 아밀라제를 첨가하지 않은 시료의 침전층의 높이가 아밀라제를 첨가한 경우보다 상당히 높았으며 Termamyl과 BAN의 경우에 있어 BAN의 침전층이 낮았다.

점도 변화

효소가 첨가된 압출미분의 점도측정 결과 아밀라제를 첨가하지 않은 시료에 비해 크게 낮아짐을 알 수 있었다.

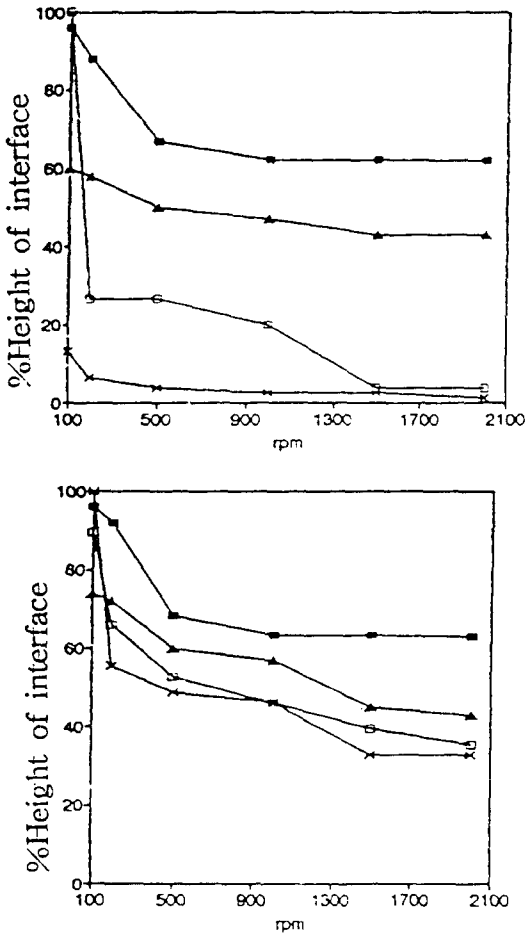


Fig. 3. Accelerated sedimentation curves of rice extrudates at moisture content 23%

*1U: 100 mg maltose/min/g enzyme *Heating band was used(Termamyl 3U, BAN 3U and Malt 3U). A: 110°C B: 140°C

■-■: No enzyme, □-□: Termamyl 3U(Kg rice), ×-×: BAN 3U(Kg rice), ▲-▲: Malt 3U(Kg rice)

특히 원료 쌀 Kg당 3U의 BAN, 110°C의 경우는 가장 낮은 점도를 나타냈는데 고형분 함량 45%인 현탁액의 점도가 무처리구의 고형분함량 20% 현탁액의 1/2 수준을 나타내었다(Fig. 4). 대체적으로 아밀라제를 첨가하지 않은 시료에 비해 20% 고형분 함량 현탁액을 기준으로 볼 때 아밀라제 첨가후 1/4~1/200 수준으로 점도가 감소되었음을 알 수 있다. 이처럼 아밀라제 첨가에 의해 압출미분의 점도가 무처리구에 비해 감소되는 것은 주로 효소처리에 의한 전분의 가수분해 작용에 따른 저분자화에 기인하는 것이라 판단된다. Fig. 5에 의하면 압출조리기 계량부위의 온도가 110°C 이상으로 높아질수록 압출미분의 점도는 증가하였다. 이러한 현상은 압출미분의 수용성과 환원당 함량의 변화와 일치하였다.

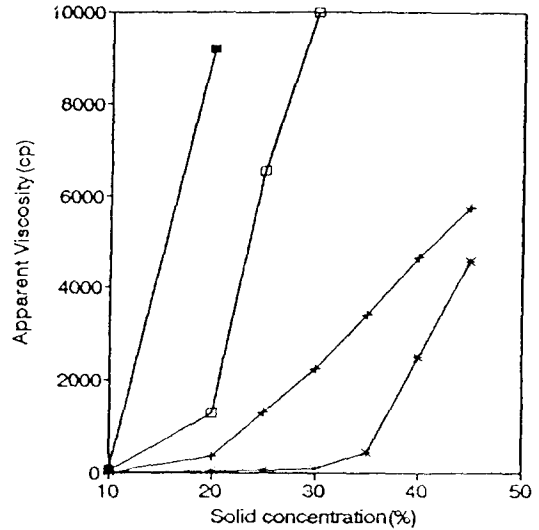


Fig. 4. Apparent viscosity of extrudates at different solid concentrations. (m.c. 23%, 110°C)

■-■: No enzyme, ×-×: Termamyl 3U(Kg rice), *-*: BAN 3U(Kg rice), □-□: Malt 3U(Kg rice) *1U: 100 mg maltose/min/g enzyme *Heating band was used(Termamyl 3U, BAN 3U and Malt 3U).

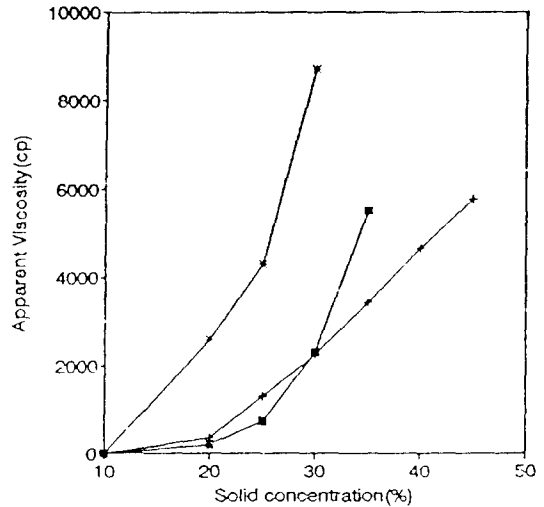


Fig. 5. Apparent viscosity of extrudates at different solid concentrations. (m.c. 23%, Termamyl 15U)

*1U: 100 mg maltose/min/g enzyme. ■-■: 80°C, ×-×: 110°C, *-*: 140°C

시판 이유식의 점도 측정 결과 시판 이유식은 모든 작동조건의 압출미분에 비해 높은 측정치를 나타냈다. 가장 높은 점도를 갖는 시판 이유식 제품 A의 경우 곡분함량 41.5%와 점도에 영향을 줄 수 있는 다른 고형성분을 합한 71.5%를 감안 했을때 권장 농도 25% 현

Table 4. The solid concentration of extrudate required to show the same apparent viscosity of the recommended dosage of commercial weaning foods

| Extrudates | | commercial | commercial B(16%) |
|---------------------------|-------|-----------------------------|--------------------------------|
| | | A(25%) : 7200 centipoise | and C(20%) : 800 centipoise |
| No enzyme | 110°C | 17% | 12% |
| | 140°C | 17% | 12% |
| Termamyl 3U (/Kg rice) | 80°C | 37% | 25% |
| | 110°C | 45% | 23% |
| BAN 3U (/Kg rice) | 140°C | 27% | 13% |
| | 110°C | 45% | 36% |
| Malt 3U (/Kg rice) | 140°C | 32% | 20% |
| | 110°C | 25% | 16% |
| | 140°C | 27% | 16% |

탁액에는 약 18%의 고형분이 포함되게 되는데 이는 압출미분 시료의 18%의 점도에 비해 매우 높다. Table 4에서 보는바와 같이 시판 이유식 A의 권장농도인 25% 현탁액의 점도에 해당하는 점도를 나타내기 위해서는 가장 낮은 점도를 나타낸 원료 쌀 Kg당 3U의 BAN, 110°C와 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl, 110°C의 경우 45% 이상의 고형분을 넣어야 했으며 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl, 80°C, 원료 쌀 Kg당 3U의 Termamyl, 140°C, Kg당 3U의 BAN, 140°C, Kg당 3U의 엇기를 가루, 140°C의 경우는 약 27~37%의 고형분을 넣어야 했다. 따라서 아밀라제 처리된 압출미분을 이유식으로 사용할 경우 기존의 시판 이유식과 같은 점도에서 더많은 고형분량을 유아에게 줌으로서 열량밀도를 높일 수 있다. 이러한 결과는 윤⁽¹²⁾ 및 Likimani 등⁽⁷⁾의 결과와 일치한다.

이상의 결과로 비추어 볼때 위와같은 압출조리 공법으로 이유식을 제조할 경우 곡분→가수→가열→호화→냉각→효소처리→가열 불활성화→건조→분쇄의 복잡한 전통적인 방법에서 곡분→효소 첨가→압출조리→분쇄로 공정을 단순화시킬 수 있는 잇점 외에, 증가된 수용성 물질과 전분분해에 따른 점도의 저하로 인해 더 많은 양의 곡분 함량으로 같은 정도의 점성을 나타낼 수 있다고 판단된다. 이는 한국형 쌀이유식의 결점인 열량밀도의 부족을 개선 할 수 있을 것이다.

요 약

압출조리 공법에 의한 한국형 쌀 이유식 제조에서 아밀라제 첨가가 압출미분의 물성 변화에 미치는 영향을 알아보았다. 압출조리기의 스크류 회전수는 200 rpm, 원료의 사입속도는 180 g/min로 고정하여 작동하였다. 원료 쌀가루의 수분함량은 18, 23, 28%로 가수하였고 첨가된 아밀라제는 *Bacillus licheniformis*로부터 분리한 Termamyl 120LS(NOVO사), *Bacillus amylolicuefa-*

*ciens*로부터 분리한 BAN 240L(NOVO사) 및 맥아분말이다. 아밀라제 첨가에 의해 압출미분의 수용성지수는 3배 까지 증가했고, 환원당 생성량은 원료의 수분함량에 크게 영향을 받아 28% 수분함량에서 급격히 증가하여 수용성지수와는 다른 경향을 나타내었다. 겔 투과크로마토그래피에 의한 분자량적 구조 변화 측정 결과 아밀라제 첨가에 의해 고분자획분이 상당히 감소했으며 상대적으로 저분자획분이 증가함을 알 수 있었다. 아밀라제의 잔존활성은 아밀라제 종류에 따라 다르며 가장 내열성인 Termamyl 120LS의 경우 용융부위 온도 140°C에서 27%까지 감소하였다. 침전법에 의한 분산특성은 아밀라제 작용에 의해 수용성 물질이 증가함에 따라 침전층의 감소를 나타내었으나 처리온도가 140°C로 증가하면 침전층의 높이는 증가하였다. 겔보기 점도는 아밀라제 첨가에 의해 무처리 압출미분의 1/4~1/200로 감소하였다. 시판 이유식의 권장농도에서의 점도와 같은 점도 수준에 도달하기 위해서는 원료의 수분함량(18, 23, 28%), 아밀라제 종류 및 첨가량, 계량부위 온도에 따른 각 작동조건의 압출미분을 최고 1.8배의 양을 사용할 수 있었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 원료 쌀가루에 첨가된 아밀라제가 압출조리기내를 통과하면서 쌀가루의 가수분해를 일으켜 환원당 등 수용성 물질이 증가하고 분산특성이 좋아지며 점도가 낮아지고 결국 이유식의 열량밀도를 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

문 헌

- 윤숙경, 이영춘: 반고체 이유보충식에 관한 연구(I), (II), 한국영양학회지, 18(1), 46(1985)
- 윤숙경, 이영춘: 반고체 이유보충식에 관한 연구(III), 한국영양학회지, 19(1), 3(1986)
- 이정실, 김을상: 육조식 영유아의 이유실태조사, 한국영양학회지, 24(5), 469(1991)
- 노희경: 광주지역 영유아의 영양실태, 한국영양식량학회지, 23(1), 48(1994)
- 이연숙, 황계순: 서울 지역 여성의 영아 영양법에 관한 실태조사 연구, 한국식문화학회지, 7(2), 97(1992)
- Mercier, C., Linko, P. and Harper, J.M.: Extrusion cooking in bioconversions, In *Extrusion cooking*, American Association of Cereal Chemists, Inc., p.235(1989)
- Likimani, T.A., Sofos, J.N., Maga, J.A. and Harper, J. M.: Extrusion cooking of corn/soybean mix in presence of thermostable α -amylase. *J. Food Sci.*, 56(1), 99(1991)
- A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*, 11th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p.123(1970)
- Novo Nordisk: *Product sheet of Termamyl*, Denmark (1990)
- Novo Nordisk: *Product sheet of BAN*, Denmark(1990)
- Souane, M.: Development of cereal lactic acid fermentation process for the production of high-protein content beverages. *D. Sc. Thesis*, Korea Univ. of Seoul, Seoul, Korea(1990)
- 신동훈: Extruder의 기계적 작동조건에 따른 곡류의

- 바렐내 체류시간과 압출물의 이화학적 특성. 고려대학교 석사학위 논문(1989)
13. Altomare, R.E. and Ghossi, P.: An analysis of residence time distribution patterns in a twin-screw cooking extruder. *Biochemical Progr.*, **2**, 157(1986)
 14. Anderson, R.A., Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin, E.L.J.: Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today*, **14**(11), 372(1969)
 15. Bhattacharya, M., Mauna, M.A. and Kaufman, R.E.: Textural properties of extruded plant protein blends. *J. Food Sci.*, **51**(4), 988(1986)
 16. Gomez, M.H. and Aguilera, J.M.: A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.*, **49**, 40(1984)
 17. 육철, 황윤희, 백운화, 박관화: 전분 분해 효소 첨가와 종이봉지를 이용한 식혜의 제조방법. 한국식품과학회지, **22**(3), 296(1990)
 18. Taki, M., Taki, A., Yoshida, K., Hisamatsu, M. and Yamada, T.: Analysis of starches by GPC and a new starch sample preparation method. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **34**(4), 279(1987)
 19. 권미라, 김성란, 임경숙, 안승요: 목 형성 전분의 특성에 관한 연구. 한국농화학회지, **35**(2), 92(1992)
 20. Lee, C.H. and Rha, C.K.: Accelerated sedimentation test for determination of dispersion stability of protein isolates. *J. Food Sci.*, **44**(2), 419(1979)
 21. 김기명: Extrusion-cooking에 의한 밀가루 효소 기질의 효소 민감성 증가에 관한 연구. 고려대학교 석사학위 논문(1990)
-
- (1994년 7월 9일 접수)