

밀가루와 난소화성 전분 비율별 및 Hydrocolloid 종류에 따른 밀가루 반죽 및 제과 특성

Quality characteristics of muffin made with of cross-linked RS 4 starches-hydrocolloid mixture

요 화¹, 이 광 연^{2*}

한양대 학교 식품영양학과, 한양대 학교 생활과학연구소

Hua Yao¹, Kwang Yeon Lee^{2*}

Department. of Food and Nutrition, Hanyang University¹,

Korean Living Science Research Institute, Hanyang University^{2*}

Abstract

The objects of this research were 1) to investigate the effects of various hydrocolloids such as arabic gum (ARA), carboxymethylcellulose (CMC), gellan gum (GELL), sodium alginate (ALG), hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), pectin (PEC), xanthan gum (XAN) (0.5%, flour basis) on physicochemical properties of wheat flour substituted with and without 10%, 30% levels of RS4 and 2) to evaluate the effects of various hydrocolloids on dough properties and muffin properties of wheat flour substituted with RS4. Pasting properties of wheat flour substituted with RS4 and various hydrocolloids decreased with the increase of RS4, the peak viscosity of wheat flour paste in XAN dispersions was the highest, and addition of CMC, ALG increased significantly the peak viscosity of wheat flour pastes. In farinograph, water absorption rate of dough were increased with the increase of RS4 and the addition of hydrocolloids, and the highest water absorption rate was shown by the addition of ALG, HPMC in wheat flour substituted with 10% level of RS4. All the muffins made by wheat flour substituted with 30% of RS4 and various hydrocolloids reduced In vitro digestion of muffin compared with wheat flour.

Key words : RS4, hydrocolloids, muffin, texture, in vitro digestibility

주제어 : 난소화전분, 하이드로콜로이드, 머핀, 조직감, in vitro 소화율

1. 서론

전분은 식물체의 저장 탄수화물로 중요한 에너지원과 주요한 식품 소스로 알려져 왔다. 대부분은 인체의 소장에서 효소에 의해 분해되며, 1980년대 소장에서 소화되지 않는 부분이 있음이 알려졌는데 이런 난소화성 탄수화물들을 난소화성 전분이나 저항전분으로 부른다(Shin, 2004; Xie et al., 2006; Shin et al., 2001).

최근 생활수준의 향상으로 비만, 당뇨 및 심장순환기계 질환 등의 성인병 발병율도 증가되고 있는 추세인데 이러한 질환들은 칼로리의 섭취 증가와 식이섬유의 섭취부족 등과 관련이 많다. 따라서 식이섬유소 등을 이용한 기능성 저열량, 저칼로리 식품이 하나의 대안으로 생각하고 있다(Lee, 2005). 이러한 점에서 인체 내에서 소화, 흡수되지 않는 전분으로 생리활성 물질, 기능성 물질로서 불용성 식이섬유로 분류되는 난소화성 전분에 대한 관심이

높아지고 있다. 난소화성 전분은 저칼로리원으로 생리적 기능이 식이 섬유소와 비슷하여 소장에서 소화 흡수되지 않기 때문에 식 후에 혈액 중의 insulin과 혈당을 낮출 수 있어 energy density도 감소시킬 수 있으며, 난소화성 전분 자체의 낮은 소화, 흡수력 외에도 다른 영양분의 소화에 영향을 주어 비만이나 당뇨병 환자의 치료 예방에 난소화성 전분 첨가 식사가 유익한 결과를 주는 것으로 알려져 있다(Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Choi et al., 2005; Nugent, 2005).

EURESTA (European Resistant starch research group)에서는 1990 년 난소화성 전분은 건강한 개인의 소장에서 소화흡수되지 않는 전분과 전분의 분해물의 총합이라고 정의하였다(Shin, 2004). 부분적으로 도정된 낱알이나 종자와 같이 물리적으로 효소의 접근이 어려운 RS1, 바나나와 감자전분처럼 효소에 의해 분해되기 어려운 전분 입자인 RS2, 그리고 전분의 노화에 의해 형성된 RS3과 화학적 처리에 의해 변성시킨 전분 중에서 전분분해효소가 쉽게 작용할 수 없는 것을 RS4로 분류하여 4가지로 구분하고 있다(Englyst et al., 1992; Sajilata et al., 2006).

* Corresponding Author ; Kwang Yeon Lee
Tel : 82-2-2220-1201, E-mail : bally76@hanyang.ac.kr

화학적으로 처리된 변성전분인 RS4는 효소, 산에 의한 가수분해로 생성된 전분분해물, 산화전분, 안정화전분, 가교결합 전분 등이 속하는데 가공적성을 개선하기 위해 여러 가지 변성처리를 하여왔다. 그 중에 가교결합(cross-linked) 전분은 전분 분자 내 또는 전분분자간의 가교결합에 의해 형성되며 알칼리를 이용하여 실온에서 호화시키고 무정형 전분구조에 가교결합제인 STMP (Sodium trimetaphosphate), STPP (Sodium triphosphate), POCI₃(Phosphorus oxychloride), EPI(Epichlorohydrin)등을 사용하여 제조된다(Xie et al., 2006; Miyazaki et al., 2006; Singh et al., 2007). 가교결합제인 STMP, POCI₃등은 전분 분자구조를 안정하게 만들므로 가교결합 전분은 전분입자의 팽윤 및 입자의 붕괴가 억제되어 용출되는 전분분자의 저하로 팽윤력 및 용해도가 감소되며 겔 형성이 억제된다고 알려져 있다(Yook et al., 1992).

일반적으로 가교결합에 의해 제조한 산소화성 전분은 식이섬유소와 유사한 생리활성을 갖지만 무미 무취하여 식품이 가지고 있는 맛과 고유특성을 크게 바꾸지 않고, 높은 백색도, 미세한 입자 및 부드러운 텍스처를 나타내며 천연전분에 비해 내열성, 내산성, 내전단성 등의 특성을 가지고 있는 반면에, 낮은 팽윤력으로 호화 특성 및 겔 형성능 등과 같은 이화학적 특성은 저하된다고 알려져 있다(Singh et al., 2007). 또한 식이섬유나 올리고당과는 달리 수분흡수력이 낮아 코팅제의 역할을 하여 빵, 쿠키, 케이크, 국수 등의 식품에 첨가 시 저장 중에도 쉽게 축축해지는 것을 억제할 수 있어 품질 유지에 도움을 주는 반면에, 제빵 제조 시 조직감 저하 및 노화도가 증가하는 경향을 나타내어 실제 식품에 제한적으로 이용되고 있다(Hung et al., 2005).

하이드로콜로이드(hydrocolloid)는 물에 수화되어 점도를 증가시키거나 겔을 형성하는 물질로서 검류(gums), 점질물(mucilages), 수용성 고분자(water-soluble polymers) 등으로도 불리며, 해양식물로부터 추출하거나 미생물 및 식물성 검질물로부터 얻는데 안정성, 증점성, 젤화성, 보수성, 기포성, 빙결정방지성 등의 여러 가지 기능성을 가지고 있어(Lee et al., 2008), 전분 분자와 상호작용하여 전분의 호화특성, 리올로지 및 텍스처 특성 등에 영향을 준다고 보고되었다(Chaisawang et al., 2006, Techawipharat et al., 2008). 또한 식품산업에서 전분함유 제품의 물성 개량제로써 식품에 많이 사용되고 있는데 특히 제과·제빵에서 식품조직의 향상, 전분의 노화 지연, 보수력 향상, 빵 반죽에서 글루텐의 점탄성과 유사한 특성을 갖는 종합적 물질로 작용하므로 제과, 제빵에서 일정량의 hydrocolloid의 첨가는 품질저하를 방지하는데 효과가 있다고 알려져 있다(Hwang et al., 1997; Lee et al., 2008). 그러나 아직까지 RS4/hydrocolloid 혼합물의 이화학적 및 리올로지 특성에 관한 연구는 거의 없으며, 그에 따른 다양한 특성변화 및 식품 소재로 응용하기 위한 체계적이고 최적화된 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 arabic gum (ARA), carboxymethylcellulose (CMC), hydroxypropylmethylcellulose

(HPMC), gellan gum (GELL), sodium alginate (ALG), pectin (PEC), xanthan gum (XAN) 등 7종류의 hydrocolloid를 RS4에 첨가하여 상호작용에 의한 1) RS4/hydrocolloid혼합물의 이화학적 및 물성학적 특성을 분석하여 RS4 전분의 특성에 미치는 영향을 비교, 분석하고자 하며, 이의 기초연구를 바탕으로 2) RS4/hydrocolloid를 첨가한 제과 제조에 따른 식품학적 특성 (반죽특성 및 제과특성)을 파악하여 최적의 formulation을 확립함과 동시에 in vitro 소화율을 분석을 통하여 다이어트 및 혈당 조절 식품 등 관련 산업에 활용될 수 있는 기초 자료를 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 재료 및 방법

머핀 제조에 사용된 재료는 밀가루는 박력 1등급(백설), 무가염 버터(서울우유), 설탕(백설), 소금(영진그린식품), 베이킹 파우더(제이크), 달걀(후레쉬 난이생생특란, 이마트)를 사용하였다. 산소화성 전분(DS-RStar80, 가교결합 RS4)은 대상(주)에서 제조한 제품을 구입하여 사용하였다. In vitro digestibility 측정에 사용한 효소 α -amylase는 Sigma-Aldrich Co.(St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 hydrocolloid는 arabic gum (ARA, JUNSEI Chemical. Co., Japan), sodium alginate (ALG, Kanto Chemical.Co., Japan), gellan gum (GELL, Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japan), pectin (Pectin LM 13CG, PEC, Jupiter International, Korea)을 사용하였으며, carboxymethylcellulose (CMC), hydroxypropylmethylcellulose (HPMC)와 xanthan gum은 Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis. MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

2. 시료의 배합비율

100% 밀가루를 control로 하고 밀가루에 대하여 RS4를 각각 10%, 30% 비율로 첨가한 후 7종류의 hydrocolloid를 0.5%로 고정하여 밀가루, RS4 및 밀가루/RS4 혼합분에 첨가한 후 섞어서 시료로 사용하였다.

3. RVA에 의한 호화 특성 측정

Hydrocolloid를 첨가한 밀가루 및 밀가루/RS4 혼합물의 호화패턴은 신속점도계 (RVA, Rapid Visco Analyzer, AR1500ex, TA Instruments, USA)를 이용하였다. 즉 밀가루나 혼합물시료 6%와 증류수나 농도 0.5%의 hydrocolloid 용액 15 g를 RVA 용기에 넣고 0-2분간은 50°C를 유지하여, 12°C/min의 속도로 50°C에서

95°C까지 가열하여 2.5분간 유지시킨 다음 같은 속도로 50°C까지 냉각시키고 50°C에서 2분간 유지하였다. RVA viscogram으로부터 최고점도(peak viscosity), breakdown viscosity (Peak-Trough) 및 total setback viscosity (Final-Trough) 값을 구하였다.

4. Farinograph에 의한 반죽형성능 측정

반죽 특성은 AACC방법(2000)에 의하여 측정하였다. Farinograph (BrabenderB-101)의 mixing bowl의 온도가 $30 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로 유지하도록 하였다. 시료 300 g (수분 14% 기준)을 용기에 담아 뷰렛으로 30°C 증류수를 약 30초에 걸쳐 Farinogram peak 중앙선이 500 ± 20 BU (Brabender Unit)에 도달하도록 수분량을 조절하여 water absorption, dough development time, dough-stability, dough breakdown time 및 farinograph quality number (FQN)를 측정하였다.

5. 머핀의 제조

머핀은 일반 머핀 제조방법(Nicol, 1995)을 적용하였고 재료 배합비는 Jung 등 (2005)의 방법에 의해 수정하였으며 Table 1과 같다. 즉, 밀가루 및 밀가루/RS4 혼합물 (90:10, 70:30%, flour basis), 베이킹 파우더, 소금을 체질하여 두고 미리 실온($24\text{--}25^\circ\text{C}$)에 방치하여 부드럽게 만든 버터와 설탕을 hand mixer를 이용하여 크림 상태로 충분히 믹싱한 후 달걀과 물 혹은 hydrocolloid 용액을 3-4회로 버터와 설탕에 넣어 hand mixer로 충분히 혼합 반죽한 후 체질된 밀가루 등 재료들을 넣어 빨리 반죽하였다. 모든 반죽은 유산지를 깐 머핀컵에 60 g씩 취하여 예열된 오븐에 넣고 윗불 190°C , 아랫불 190°C 에서 30분간 구워 낸 후 즉시 꺼내어 상온에서 1시간 냉각한 후 각종 분석에 사용하였다.

<Table 1> Formula for muffins substituted with different levels of RS4 and various hydrocolloids (0.5 wt%, flour basis)

Ingredient	Control			Test	
	I			II	III
Flour	100	90	70	90	70
RS4	-	10	30	10	30
Butter	50	50	50	50	50
Sugar	50	50	50	50	50
Egg	50	50	50	50	50
Baking powder	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33
Salt	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Water	50	50	50	-	-
Hydrocolloid solution	-	-	-	50	50

6. 머핀의 높이 및 색도 분석

머핀의 높이 (mm)는 Jung 등(2005)의 방법에 의하여 측정하였다. 즉 머핀을 굽기 후 1시간 방냉시킨 다음, 머핀의 단면 높이는 머핀을 위에서 아래로 반으로 잘라 최고 높이를 측정하였고 각 측정은 한 처리군당 3회 반복 측정하였다. 색도 측정은 머핀의 위에서 아래로 자른 단면을 색차계 (DP-400, MINOLTA Co LTO, Japan)를 사용하여 L (명도), a (적색도), b (황색도)를 조사하였으며, 표준 측정조건은 L: 96.07, a: 0.99, b: 2.01이었다. 각 시료를 3회 반복 측정하였다.

7. 머핀의 기계적 조직감 분석

텍스처는 머핀의 crumb부분을 $2 \times 2 \times 2$ cm 크기로 잘라 Texture Analyzer (Model TA-XT2i, Stable Micro System, Surrey, England)를 이용하여 3회 반복 측정하였으며, 측정항목은 경도(Hardness), 탄력성(Springing), 응집성(Cohesiveness), 검성(Gumminess)이었다. 또한 머핀을 폴리에틸렌 백에 넣어 20°C 에서 3일 저장한 후 경도 변화를 측정하였으며, 이때 측정된 경도를 노화도의 지표로 사용하였다.

8. *In vitro* 소화율 측정

In vitro 소화율은 Singh (1982) 등의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료는 냉동건조된 머핀을 mortar를 이용하여 분쇄하고 100 mesh 체를 통과시켜 준비하였다. α -Amylase 효소액은 porcine pancreatic α -amylase (30 U/mg, Type VI-B, SIGMA-ALDRICH, USA)로부터 조제하였다 이 pancreatic α -amylase 효소액 0.02 g를 0.2 M phosphate buffer (pH 6.9) 용액 50 mL에 넣어 25°C 의 incubator에서 2시간 동안 녹인 후 $1500 \times g$ 에서 5분간 원심분리 하여 준비하였다. 시료 25 mg에 0.2 M phosphate buffer (pH 6.9) 용액 1mL를 넣고 0.5mL α -amylase를 넣어 37°C 에서 shaking 하면서 30, 60, 120, 240 min 간격으로 incubation한 뒤 100°C boiling water bath에서 5분간 가열하여 5분간 식인 후 3000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액 0.3 mL를 취하여 3, 5-dinitrosalicylic acid 시약 0.3 mL를 첨가하고 100°C boiling water bath에서 15분 동안 반응시켜 20°C water bath에서 15분 동안 식인 후 0.9 mL의 증류수를 첨가하였다. 546 nm에서 비색법으로 흡광도를 측정하였다. 표준당으로 glucose를 사용하였으며 시료 건물 당 mg glucose/g으로 나타내었다.

10. 통계분석

모든 실험결과는 SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Science)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)으로 비교 분석하였으며 각 측정 평균값 간의 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan's multiple range test를 사용하여 검증하였다

III. 결과 및 고찰

1. 팽윤력 및 용해도

Hydrocolloid를 첨가한 밀가루 및 밀가루/RS4 혼합물의 팽윤력과 용해도는 Fig. 1에 나타냈다. 대조군의 팽윤력은 19.06이었고 RS4 전분의 대체율이 증가할수록 16.56~13.34의 범위로 감소하는 경향을 나타내었다. HPMC를 제외한 모든 hydrocolloid 첨가군은 높은 팽윤력을 보였는데 그 중에서 GELL을 첨가한 시험군이 가장 높았으며, HPMC를 첨가한 것이 가장 낮은 값을 보였다. 용해도는 대조군의 경우 19.70%이었으며, 팽윤력과 마찬가지로 RS4 전분의 대체율이 증가함에 따라 감소하였는데 10% 대체율까지는 19.00%로 거의 변화가 없다가 30% 대체에 따라 14.52%로 현저히 감소하였다. Hydrocolloid 첨가에 의한 영향을 보면 XAN을 첨가한 시료가 가장 높은 값을 나타냈고 GELL > CMC > ALG > ARA > PEC > HPMC 순이었다. RS4 전분들은 hydrocolloid 종류에 관계없이 밀가루의 팽윤력과 용해도를 감소시켰으며 첨가량에 따라서도 RS4 전분을 10% 대체했을 때보다 30% 대체했을 때 팽윤력과 용해도는 더 낮았다. Leelavath 등(1987)도 쌀가루에 RS4 전분을 첨가하여 팽윤력과 용해도를 측정한 결과 감소하였다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였다.

<Table 2> Swelling power and solubility of wheat flour substituted with and without RS4 in various hydrocolloid dispersions (0.5%, w/v) at 95 °C

Sample	Swelling power at 95°C	Solubility (%) at 95°C
Control	19.06±0.02d	19.70±0.28m
RS-10	16.56±0.20efg	19.00±0.54m
RS-30	13.34±0.30j	14.52±0.34n
ALG	19.01±0.96d	35.57±1.20ef
ALG-10	16.14±0.25fg	32.34±0.68g
ALG-30	13.24±0.41j	29.15±1.57hi
ARA	20.06±0.91d	35.08±0.65ef
ARA-10	17.22±0.16ef	32.44±0.42g
ARA-30	14.29±0.01ij	27.60±0.06ij
CMC	21.55±0.40c	39.02±1.61d
CMC-10	17.37±0.34ef	35.33±0.55ef
CMC-30	14.52±0.78hij	29.62±0.62h
GELL	31.40±0.46a	41.13±0.83c
GELL-10	26.50±1.07b	36.01±1.00e
GELL-30	21.93±0.53c	32.60±0.59g
HPMC	17.63±0.15e	26.20±1.05jk
HPMC-10	15.67±0.38gh	25.62±0.68kl
HPMC-30	13.24±0.86j	24.26±1.27l
PEC	22.70±1.10c	32.14±1.16g
PEC-10	19.02±0.95d	30.33±0.35hi
PEC-30	15.73±0.29gh	27.24±0.08jk
XAN	22.04±0.25c	46.72±1.41a
XAN-10	19.10±0.63d	44.64±0.37b
XAN-30	15.24±0.13ghi	33.89±0.41fg

2. RVA에 의해 호화특성

Hydrocolloid를 0.5% 첨가한 밀가루와 RS4 및 밀가루/RS4 혼합물의 RVA 호화특성을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 최고점도는 대조군인 밀가루와 RS4를 밀가루 중량대비 10%, 30%로 첨가한 혼합분인 RS-10과 RS-30은 각각 81.1, 68.4, 51.1 cp로 나타나 RS4 대체량에 따라 감소하였다. Hydrocolloid 첨가군의 경우 xanthan gum을 첨가한 시료들(XAN, XAN-10, XAN-30)이 각각 481.2 cp, 440.7 cp 및 333.7 cp로 가장 높았으며 그 다음 CMC, alginate 순이었고 arabic gum을 첨가한 시료들(ARA, ARA-10, ARA-30)은 대조군보다 감소하였다. Lee 등(2008)도 밀가루에 여러 가지 hydrocolloid를 첨가하여 amylograph로 호화특성을 분석한 결과 최고점도는 xanthan gum 첨가 시 증가하였다는 결과와 일치하였는데 이는 xanthan gum이 다른 hydrocolloid와 달리 측쇄(side chain)를 갖는 분지형(branch type)인 것에 기인하는 것으로 생각한다. Christianson 등 (1982)은 최고점도는 전분 입자의 팽윤력과 관련이 있다고 하였는데, 본 실험의 팽윤력 결과(Fig. 1)는 gellan gum 첨가한 시료의 팽윤력이 가장 높았지만 최고점도는 가장 높지 않게 나타났으며, 이는 Song 등(2006)의 연구 결과와 일치하였다. Breakdown 점도는 최고점도에서 최저점도를 뺀 값으로 호화 중 열 및 전단력(shear stress)에 대한 저항력을 나타내는 척도인데, breakdown 값이 클수록 저항정도가 낮은 것을 의미한다(Lee et al., 2008). 대조군, RS-10 및 RS-30군의 breakdown 점도는 2.4~3.1 cp의 범위로 RS4 전분 대체량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나 arabic gum, gellan, HPMC를 첨가한 시료들을 제외한 hydrocolloid 첨가군들의 breakdown점도는 RS4 대체량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. Hydrocolloid를 첨가한 시료들 중 xanthan gum을 첨가한 시료들(XAN, XAN-10, XAN-30)은 각각 56.0, 49.6, 26.6 cp를 나타내어 가장 높은 값을 나타내었고, arabic gum과 HPMC 첨가한 시료는 대조군과 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Setback점도는 최종 점도에서 최저점도를 뺀 값으로 전분의 겔형성능과 노화정도를 반영하며(Fu et al., 2008) 값이 클수록 노화가 쉽게 일어남을 의미한다. 모든 시험군의 setback점도는 RS4 전분의 대체량에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. Hydrocolloid를 첨가한 시료들 중 alginate와 CMC 첨가한 시료의 setback 점도가 대조군에 비해 현저히 증가하였고 GELL > HPMC > PEC > XAN순이었으며 arabic gum을 첨가한 시료들은 대조군과 비슷하거나 감소하였다. Breakdown과 setback 점도는 노화의 지표로 알려져 있는데(Lee et al, 2008), arabic gum 첨가 시 대조군과 비교하여 두 값이 모두 감소하여 가열에 대한 안정성을 유지시키고 노화 지연에 효과가 있는 것으로 생각된다.

<Table 3> RVA characteristics of wheat flour substituted with RS4 in various hydrocolloids dispersions (0.5%, w/v)

Sample1)	Viscosity [cP]		
	Peak	Breakdown	Setback
Control	81.13 ± 0.95m	2.4 ± 0.35h	67.5 ± 0.18h
RS-10	68.4 ± 1.24n	2.5 ± 0.21h	45.2 ± 0.67jk
RS-30	51.1 ± 0.13pq	3.1 ± 0.07h	18.7 ± 0.14m
ALG	268.3 ± 2.97f	13.2 ± 1.91ef	174.0 ± 8.06a
ALG-10	221.8 ± 0.28h	11.4 ± 0.00fg	148.8 ± 0.14b
ALG-30	132.2 ± 0.14i	2.1 ± 0.14h	104.5 ± 1.20e
ARA	70.9 ± 2.93n	5.1 ± 0.89h	50.1 ± 2.41j
ARA-10	60.67 ± 1.64o	2.5 ± 0.57h	39.3 ± 1.77kl
ARA-30	45.9 ± 0.52q	2.7 ± 0.23h	21.8 ± 0.72m
CMC	434.85 ± 2.19c	48.8 ± 0.78b	170.0 ± 0.35a
CMC-10	367.1 ± 0.14d	40.1 ± 0.42c	138.9 ± 0.57c
CMC-30	259.45 ± 4.60g	27.5 ± 0.35d	115.2 ± 2.97d
GELL	108.0 ± 4.17j	-30.0 ± 4.95k	140.3 ± 1.34c
GELL-10	99.46 ± 0.38k	-15.0 ± 2.08j	101.5 ± 2.69e
GELL-30	71.0 ± 3.67n	-9.5 ± 1.54i	61.0 ± 0.93hi
HPMC	89.7 ± 0.55i	3.2 ± 0.04h	94.8 ± 1.51f
HPMC-10	71.6 ± 3.20n	3.4 ± 0.58h	63.6 ± 2.12hi
HPMC-30	55.9 ± 0.48op	4.4 ± 0.18h	34.9 ± 0.33j
PEC	113.4 ± 6.79j	15.8 ± 1.58e	93.9 ± 6.81f
PEC-10	90.8 ± 0.57i	8.7 ± 0.27g	75.8 ± 1.82g
PEC-30	53.9 ± 3.34p	2.2 ± 0.35h	34.8 ± 2.53j
XAN	481.2 ± 4.17a	56.0 ± 0.84a	64.9 ± 3.25h
XAN-10	440.7 ± 0.35b	49.6 ± 0.57b	57.2 ± 0.14i
XAN-30	333.7 ± 2.19d	26.6 ± 0.85d	49.7 ± 0.64j

3. Farinograph에 의한 반죽형성능

Hydrocolloid를 0.5% 첨가한 밀가루/RS4 혼합분의 수분흡수율, 500 BU에 도달하기 까지 걸리는 시간으로 정의되는 반죽형성시간(development time), 그래프의 중심선이 500 BU에서 유지되는 시간인 안정도(stability), 반죽의 최적상태에서 12분 후의 하강정도를 500 BU선으로부터의 거리 (BU)로 표시한 약화도(Time to breakdown)를 farinograph로 측정된 결과는 Table 3과 같다.

수분흡수율 경우는 hydrocolloid 첨가유무 및 종류에 관계없이 RS4 전분의 대체량이 증가할수록 증가하였으며, 이는 밀가루에 RS4 전분을 10%에서 20% 증가시킨 반죽의 수분흡수율이 63.5에서 65.7로 증가하였다고 보고한 Lee와 Shin (2006)의 결과와 일치하였다. Hydrocolloid를 첨가하지 않은 대조군, RS-10, RS-30은 각각 52.9, 53.6 및 55.5%로 나타났으며, hydrocolloid 첨가군은 53.0~58.1%의 범위로 ARA-10를 제외하고는 대조군보다 증가하였는데 HPMC-30, ALG-30 시험군이 각각 58.1%, 57.0%로 가장 높은 수분흡수율을 나타내었다. Guarda 등(2004)은 alginate와 HPMC를 첨가한 밀가루의 farinograph를 측정된 결과 대조군에 비하여 수분흡수율이 2~4% 증가하였으며 alginate보다 HPMC를 첨가한 것이 더 증가하였다고 하였다. 또한 Cho 등(2008)은 arabic gum을 첨가한 밀가루가 다른 hydrocolloid 첨가군보다 더 낮은 수분흡수율을 나타냈다고 보고하여 본 실험의 결과와 일치하였다.

반죽형성시간(dough development time)은 빵 재료를 완전히 혼합하여 최고점도에 도달하기까지의 시간을 추정하는 방법으로 이 시간이 너무 짧을 경우 여러 가지 빵 재료를 완전히 혼합하기 어려우므로 제빵용 밀가루로는 부적합하다(Kim et al., 1979). 대조군의 반죽형성시간은 2분이었고 RS-10과 RS-30은 각각 1.3, 1.0분으로 나타나 대조군보다 감소하였고, hydrocolloid를 첨가한 반죽의 경우 0.9~4.7분의 범위를 나타내었으며 hydrocolloid 종류에 관계없이 RS4 대체량에 따라 감소하였다. 특히 ALG-10, CMC-10은 대조군 보다 유의적으로 증가하였는데, Guarda 등(2004)과 Lazaridou 등(2007)의 연구 결과에서도 비슷한 경향이었던 또한 PEC-10, XAN-10은 대조군과 유의적인 차이가 없었으며 다른 hydrocolloid 첨가군은 반죽형성시간을 감소시켰다.

밀가루 반죽의 안정도는 시간이 짧으면 발효 중에 반죽이 일정한 형태로 유지 되기 어려우며 빵이 오븐 중에 위축될 수 있다(Kim et al., 1979). 반죽형성시간과 마찬가지로 모든 시험군의 안정도가 RS4 대체량에 따라 감소하였는데 대조군의 안정도는 3.3분이었고 RS-10, RS-30 시험군은 각각 1.2, 0.6분으로 나타났다. Hydrocolloid를 첨가한 반죽에서는 ALG-10 시험군이 5.4분, CMC-10 시험군은 4.6분으로 나타나 대조군인 밀가루에 비해 유의적으로 증가하였다.

약화도(Time of breakdown)는 XAN 첨가군을 제외한 모든 시험군이 RS4를 첨가할수록 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었는데 대조군은 5.0분이었고 RS-10, RS-30은 각각 2.2, 1.3분으로 나타났다. Hydrocolloid를 첨가한 반죽에서는 ALG-10, CMC-10의 약화도가 각각 7.7, 7.0분으로 밀가루에 비해 유의적으로 증가하였으며, FQN도 약화도 경향과 동일하였다.

<Table 4> Farinograph data of doughs made from wheat flour substituted with RS4 and various hydrocolloids (0.5 wt%, flour basis)

Sample	Farinogram parameters				
	Water absorption (%)	Development time (min)	Stability (min)	Time to breakdown (min)	Farinograph quality number
Control	52.9±1.06h	2.0±0.07c	3.3±0.57c	5.0±0.57c	50±5.66c
RS-10	53.6±0.21gh	1.3±0.14de	1.2±0.14efg	2.2±0.21de	22±2.12de
RS-30	55.5±0.07def	1.0±0.00ef	0.6±0.14hi	1.3±0.07f	13±0.71f
ALG-10	56.7±0.64bcd	4.7±0.21a	5.4±0.35a	7.7±0.57a	77±5.66a
ALG-30	57.0±0.85ab	0.9±0.00ef	0.6±0.00hi	1.7±0.21ef	17±2.12ef
ARA-10	53.0±0.49h	1.3±0.14de	1.4±0.35def	2.3±0.35de	23±3.54de
ARA-30	55.2±0.28ef	0.9±0.00ef	0.5±0.00hi	1.2±0.07f	12±0.71f
CMC-10	55.8±0.49c-f	3.4±0.49b	4.6±0.07b	7.0±0.21b	70±2.12b
CMC-30	56.0±0.35b-e	0.9±0.00ef	0.6±0.14hi	1.7±0.35ef	17±3.54ef
GELL-10	55.7±0.21def	1.2±0.00ef	1.8±0.21d	2.8±0.49d	28±4.95d
GELL-30	56.9±0.00bc	1.0±0.00ef	0.8±0.07ghi	1.4±0.00f	14±0.00f
HPMC-10	55.6±0.28def	1.2±0.00ef	1.5±0.28de	2.4±0.28d	24±2.83d
HPMC-30	58.1±0.92a	0.9±0.07f	0.4±0.07i	1.2±0.07f	12±0.71f
PEC-10	54.6±0.00fg	1.8±0.35c	3.5±0.07c	4.9±0.14c	49±1.41c
PEC-30	56.3±0.42b-e	0.9±0.07f	0.5±0.00hi	1.2±0.07f	12±0.71f
XAN-10	55.4±0.28ef	1.6±0.14cd	1.0±0.00fgh	2.4±0.14d	24±1.41d
XAN-30	55.5±0.28def	1.0±0.07ef	1.3±0.07ef	2.3±0.07de	23±0.71de

4. 머핀의 높이 및 색도

RS4와 hydrocolloid를 대체하여 제조한 머핀의 높이는 Table 4에 나타내었다. 대조군의 높이는 51.00 mm이었고 RS-10과 RS-30은 각각 50.33, 50.67 mm로 대조군에 비해 약간 감소하였지만 유의적인 차이는 나타내지 않았다. Hung과 Morita (2005)는 가교결합 전분을 밀가루에 대체하였을 때 식빵의 specific volumes은 밀가루보다 약간 감소하였지만 유의적인 차이를 보이지 않았다고 하였다. Hydrocolloid 첨가에 의한 높이 변화는 CMC, PEC를 첨가한 머핀을 제외한 다른 첨가군은 RS4 대체량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 XAN을 첨가한 것이 55.33~56.33 mm로 대조군에 비해 유의적으로 높아졌고, ARA-30은 46.00 mm로 가장 낮은 값을 나타내었으며 이외는 대조군과 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Gomez 등(2007)은 여러 hydrocolloid를 첨가하여 제조한 케이크의 높이를 측정할 결과 guar gum과 xanthan gum을 첨가한 것이 대조군보다 컸다고 하였는데, 이는 반죽의 호화점도와 관련이 있다고 하였다.

RS4와 hydrocolloid를 대체하여 제조한 머핀 crumb의 색은 Table 4에 나타내었다. L값은 대조군이 68.05이었고 RS-10이 67.02, RS-30이 68.19로 대조군과 비슷한 값을 나타내었으며 RS4 대체량에 따른 경향은 나타나지 않았다. Hydrocolloid 첨가군의 L값은 67.05~72.38의 범위로 그 중 ALG-30이 72.38로 가장 밝았고, HPMC-10 (71.46) > GELL-30 (71.33) > ARA-10 (71.04) 순으로 대조군보다 높게 나타났다. 적색도 a의 경우는 대조군이 -4.31이었으며 그 외의 머핀들은 대조군과 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 황색도 b는 대조군이 21.37, RS-10이 20.49, RS-30이 21.49로 L값과 마찬가지로 대조군과 비슷한 값을 나타내었다.

<Table 5> Height and crumb color of muffins prepared with RS4 and hydrocolloids (0.5 wt%, flour basis) for wheat flour

Sample	Height (mm)	L	a	b
Control	51.00±2.00b	68.05±1.89cd	-4.31±0.51ab	21.37±0.68ab
RS-10	50.33±1.53b	67.02±3.04d	-4.14±0.24a	20.49±1.45ab
RS-30	50.67±1.53b	68.19±1.20cd	-4.53±0.51ab	21.49±0.41ab
ALG-10	51.00±2.00b	68.14±1.38cd	-4.39±0.57ab	20.91±0.70ab
ALG-30	49.00±1.00b	72.38±1.30a	-4.61±0.31ab	19.91±0.31b
ARA-10	48.67±2.08b	71.04±0.48ab	-4.40±0.23ab	20.92±0.77ab
ARA-30	46.00±1.00c	70.21±0.63abc	-4.53±0.35ab	21.25±0.79ab
CMC-10	51.00±1.00b	70.27±1.10abc	-4.42±0.14ab	20.38±0.95ab
CMC-30	51.33±2.08b	70.01±0.46abc	-4.59±0.34ab	19.97±1.18b
GELL-10	50.67±1.53b	67.05±0.52d	-4.19±0.32ab	20.64±0.64ab
GELL-30	50.33±1.53b	71.33±0.93ab	-4.45±0.23ab	20.82±1.00ab
HPMC-10	51.33±1.53b	71.46±0.99ab	-4.44±0.21ab	21.65±0.56a
HPMC-30	48.33±1.53bc	68.17±1.19cd	-4.11±0.18a	21.17±0.17ab
PEC-10	49.00±1.00b	69.13±1.87bcd	-4.17±0.26ab	20.41±1.01ab
PEC-30	49.00±1.00b	69.69±0.94a-d	-4.41±0.19ab	20.45±0.82ab
XAN-10	56.33±1.53a	69.34±2.26bcd	-4.63±0.25ab	21.10±1.02ab
XAN-30	55.33±0.58a	70.26±1.60abc	-4.80±0.12b	20.97±0.16ab

5. 저장에 따른 머핀의 경도 변화

저장에 따른 머핀의 경도 증가율은 Table 5에 나타내었는데 모든 시험군은 RS4 대체량에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 대조군의 경도 증가율은 1661.95 g이었고 RS-10과 RS-30은 각각 1976.71, 1782.87 g으로 대조군보다 높았지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Hydrocolloid 첨가군에서는 ARA-30이 대조군에 비하여 유의적으로 감소하였으며, ALG-30, GELL-30 순으로 경도 증가율이 감소하였으나 대조군과 유의적인 차이를 나타내지는 않았으며, 나머지 hydrocolloid는 대조군에 비하여 유의적으로 증가하였는데 그 중 CMC 첨가군이 가장 높은 값을 나타내었다. 빵이나 케이크의 품질저하는 저장기간 동안 일어나는 수분의 손실과 전분의 노화 현상이 원인으로(Kim et al., 2001), 특히 전분의 노화는 경도 증가와 상관성이 높다고 알려져 있어(Song et al., 2000), ARA의 첨가가 RS4 첨가 머핀의 노화를 지연시킬 수 있을 것으로 생각된다.

<Table 6> Crumb hardness produced after 3 days of storage at 20°C. Hydrocolloid name is followed by the dosage of RS4 expressed in percentage (w/w, flour basis).

Sample	0 day	3 day	Hardness (g)
Control	2327.77±102.91bc	3985.39±193.49fg	1661.95±151.07h
RS-10	2057.72±76.44bc	4033.43±82.57fg	1975.71±27.22fgh
RS-30	1959.95±183.67c	3742.82±268.93g	1782.87±119.00gh
ALG-10	2047.26±186.42bc	4152.02±150.67efg	2104.76±86.22efg
ALG-30	1993.07±206.27bc	3890.08±247.10fg	1897.01±129.98fgh
ARA-10	2173.12±289.61bc	3994.78±186.14fg	1821.66±106.89fgh
ARA-30	2033.70±248.58bc	3195.45±323.18h	1161.76±317.78i
CMC-10	2064.11±137.79bc	5027.25±408.12b	2963.14±217.69a
CMC-30	2045.83±90.96bc	4749.93±421.27bcd	2679.27±388.47abc
GELL-10	2762.79±471.05a	5612.51±411.65a	2849.72±312.52ab
GELL-30	2375.19±147.43b	4249.11±142.71d-g	1873.93±33.20fgh
HPMC-10	2104.99±235.30bc	4918.39±343.06bc	2813.40±116.68ab
HPMC-30	1977.38±103.05c	4722.39±155.56bcd	2745.01±211.54abc
PEC-10	2222.49±100.48bc	4749.71±388.84bcd	2527.22±296.29bcd
PEC-30	2052.97±129.85bc	4416.44±407.91c-f	2363.47±309.44cde
XAN-10	2098.63±177.49bc	4631.26±169.46b-e	2532.63±121.77bcd
XAN-30	1994.37±71.86bc	4188.42±184.38efg	2194.05±130.57def

Control: wheat flour only (no added RS4 and hydrocolloids); RS: RS4. ALG: sodium alginate; ARA: arabic gum; CMC: carboxymethylcellulose; GELL: gellan gum; HPMC: hydroxypropylmethylcellulose; PEC: pectin; XAN: xanthan gum

6. in vitro 소화율

30% RS4와 hydrocolloid를 0.5% 대체하여 제조한 머핀의 in vitro 소화율을 측정할 결과는 Table 6과 같다. 반응시간이 경과함에 따라 시료의 가수분해는 증가되었으며 대조군이 23.68→45.08 mg glucose/g으로 가장 높았고, RS4를 첨가한 모든 시험군은 대조군보다 소화율이 감소하는 경향을 나타내었다. 30분과 60

분의 in vitro 소화율은 hydrocolloid 첨가군 중 XAN이 가장 낮았고, PEC이 가장 높았다. 120분의 경우 RS-30은 25.19 mg glucose/g 이었고, GELL이 21.76 mg glucose/g으로 RS-30 보다 유의적으로 감소하였으며, 그 외에는 PEC > XAN > ARA > CMC > ALG > HPMC의 순으로 낮았다. 240분에서의 소화율은 RS-30은 42.35 mg glucose/g으로 대조군과 유의적인 차이가 없었으며, hydrocolloid 첨가군 중에서는 XAN이 42.06 mg glucose/g으로 가장 높은 소화율은 나타내었고, GELL은 35.18 mg glucose/g으로 가장 낮은 소화율을 보였으며, 그 외에는 PEC > ALG > HPMC > ARA > CMC의 순으로 낮았는데 대조군보다는 유의적으로 감소하였으나 RS-30과는 유의적인 차이가 없었다. RS4 첨가 머핀의 in vitro 소화율은 hydrocolloid의 종류에 관계없이 감소하는 경향을 나타내었는데, Dartois 등(2010) 은 hydrocolloids는 전분과 연속적인 network를 형성하여 소화효소와 전분질 시료간의 물리적 barrier로 작용하여 전분의 가수분해를 지연시킨다고 보고하였다. Chung 등(2007)은 쌀가루에 여러 가지 증점제(xanthan, gellan, LBG, guar, arabic)를 첨가하여 in vitro 소화율을 측정한 결과, gellan gum을 첨가한 것이 가장 소화율을 낮았다고 하여 본 실험의 결과와 일치하였으며, 이는 GELL의 높은 겔화력에 의한 것으로 사료된다.

전분은 소장에서 glucose로 가수분해되어 혈당이 되는데 전분의 in vitro 소화율은 혈당과 유의적인 상관관계를 나타내므로 (Snow et al., 1981) 식품 섭취후의 혈당반응을 예측하는데 이용될 수 있는 것으로 알려져 있어(Bornet et al., 1989; Granfeldt et al., 1992), RS4와 hydrocolloid를 혼합함으로써 인체 내의 혈당반응도 낮아져 항당뇨 효과를 나타낼 것으로 예상된다.

<Table 7> In vitro digestibility of muffins prepared with 30% RS4 and various hydrocolloids (0.5 wt%, flour basis) for wheat flour for 240min. Bars with different letters are significantly different.

Sample	mg glucose/g			
	30min	60min	120min	240min
Control	23.68 ±1.09a	26.28±0.83a	29.87±2.10a	45.08±2.47a
RS	19.42±1.02bc	22.33±1.60b	25.19±0.36bc	42.35±2.83ab
ALG	17.43±1.72bcd	22.36±0.50b	23.28±1.38bcd	39.30±1.67bc
ARA	19.58 ±1.43bc	21.47±1.20bc	23.99±1.62bcd	38.44±1.25bc
CMC	17.84±0.89bcd	21.26±0.42bcd	23.54±0.71bcd	38.28±1.64bc
GELL	17.29±1.49cd	19.88±0.84cde	21.76±0.43d	35.50±2.58c
HPMC	16.79±1.20cd	19.30±1.43de	22.89±1.47cd	38.82±1.72bc
PEC	19.92±1.65b	22.47±1.43b	25.65±1.38b	40.20±2.29b
XAN	16.35±0.70d	18.77±1.57e	24.24±1.45bcd	42.06±3.16ab

Control: wheat flour only (no added RS4 and hydrocolloids); RS: RS4, ALG: sodium alginate; ARA: arabic gum; CMC: carboxymethylcellulose; GELL: gellan gum; HPMC: hydroxypropylmethylcellulose; PEC: pectin; XAN: xanthan gum

IV. 결론

밀가루/RS4/hydrocolloid 혼합물의 이화학적, 물성학적 및 반죽 특성과 머핀을 제조하여 제과 특성 및 기능적 특성을 분석하였다. 팽윤력 및 용해도에서는 hydrocolloid의 종류에 관계없이 모든 시험군은 RS4 대체량이 증가할수록 감소하였는데 팽윤력은 GELL을 첨가한 것이 대조군인 밀가루보다 유의하게 증가하였으며, 용해도의 경우 모든 hydrocolloid 첨가군은 밀가루보다 증가하였는데 그 중 XAN 첨가군이 가장 높았다. RVA에 의해 호화 특성은 hydrocolloid 종류에 관계없이 RS4의 첨가량이 첨가함에 따라 호화점도는 감소하는 경향을 나타내었다. 최고점도는 XAN 첨가군이 가장 높았고, breakdown 점도는 XAN, CMC 첨가 시 밀가루보다 현저히 증가하였으며, setback점도는 ARA 첨가군은 밀가루보다 감소하였다. Farinograph에 의한 반죽형성능은 수분흡수율 경우 hydrocolloid 첨가유무 및 종류에 관계없이 RS4 대체량에 따라 증가하였으며, ARA를 제외한 hydrocolloid 첨가 시 밀가루보다 증가하는 경향을 나타내었다. 반죽형성시간, 안정도, 약화도 및 FQN는 모든 시험군은 RS4 대체량이 증가할수록 감소하였고 hydrocolloid 첨가군에서는 ALG-10의 반죽형성시간, 안정도 약화도 등이 밀가루 반죽보다 현저히 증가하였다. 제과 특성에서 머핀의 높이는 XAN이 밀가루 대조군에 비해 유의적으로 증가하였다. 머핀의 crumb 색도를 측정한 결과는 모든 시험군의 적색도 및 황색도는 밀가루 시험군과 유의적인 차이를 없고 명도 경우는 ALG, ARA, HPMC, GELL 첨가군이 밀가루 대조군보다 유의적으로 밝은 것으로 나타났다. 머핀 crumb 텍스처는 RS4 대체량이 증가함에 따라 경도는 감소하는 경향을 나타내었으며, hydrocolloid에 의해서는 GELL-10이 가장 높았고 HPMC-30 이 가장 낮았다. 저장 3일 후 경도 증가율도 RS4 대체량이 증가함에 따라 감소하였으며, ARA 시험군이 가장 낮았으나 ALG-30, GELL-30 시험군의 경도 증가율은 대조군과 유의적인 차이가 없고 나머지 hydrocolloid 첨가군은 대조군에 비해 증가하였다. 모든 시험군의 탄성, 응집성, 검성도 RS4 대체량이 증가함에 따라 다소 감소한 경향을 나타냈다. In vitro 소화율의 경우 모든 시험군은 밀가루보다 소화된 glucose 양이 감소하였는데 특히 GELL-30 시험군이 가장 낮았다. 위의 결과를 통하여 hydrocolloid를 첨가한 RS4를 30% 대체하였을 때 경도 증가율이 감소하여 제과 특성이 향상되는 경향을 나타내어 전분질 식품의 가공적성 개선에 가장 효과적일 것으로 예상된다. Hydrocolloid에 의한 영향을 보면, ALG은 반죽형성능을 증가시켰고 노화지표로 사용된 경도증가율은 기존의 머핀과 유사한 경향을 나타내었으며, ARA 은 노화지표로 사용된 setback점도 및 경도증가율이 감소하였으며, GELL 은 수분손실율과 In vitro 소화율에서 소화된 glucose양을 감소한 효과가 가장 큰 것으로 나타나 ALG, ARA, GELL를 첨가한 것이

밀가루/RS4 혼합분의 머핀의 품질 개선에 효과적인 것으로 생각된다.

참고문헌

- AACC. Approved methods of the AACC, 8th ed., Method 44-15A. *American Association of Cereal Chemists*. St. Paul, M. N. (1983)
- AACC. Approved Methods of the AACC. 10th ed. Method 26-10. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN, US (2000)
- Bornet, F.R.J., Fontvicile. A.M., Rizakalla S., Colonna P., Blayo A., Mercier C., Slama G. Insulin and glycemic responses in healthy humans to native starches processed in different ways: correlation with in vitro amylase hydrolysis. *The American Journal of Clinical Nutrition* 50: 315-323 (1989)
- Chaisawang M., & Supphantharika M. (2006). Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids* 20, 641 - 649
- Cho H., Lee M.K., Lee J.H., & Lee S.K. (2008). Effect of hydrocolloids on rheological properties of bread dough. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 51, 6-10
- Choi Y.M., Oh S.H., Yu, K.W., Shin K.S., Ra K.S., Park C.S., Kim K.M., & Suh K.J. (2005) Physiological characteristics of resistant starch (HI-MAICZE DIET) fortified with other dietary fiber components. *Journal of the Korean society of Food Science and Nutrition*, 34, 351-355
- Chung H.J., Liu Q., & Lim S.T. (2007). Texture and In vitro digestibility of white rice cooked with hydrocolloids. *Cereal Chemistry*, 84, 246 - 249
- Dartois A., Singh J., Kaur L., & Singh H. (2010). Influence of guar gum on the In vitro starch digestibility -rheological and microstructural characteristics. *Food Biophysics*, 5, 149-160.
- Englyst NH, Kingman SM, & Cummings JH. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, S33-S50.
- Fu L., Tian J.C., Sun C.L., & Li C. (2008). RVA and farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. *Agricultural Sciences in China*, 15, 75-81.
- Fuentes-Zaragoza E., Riquelme-Navarrete M.J., Sanchez-Zapata E., & Perez-Alvarez J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredien. *Food Research International*, 43, 931 - 942
- Granfeldt Y., Bjorck L., Drews A., & Tovar J. (1992). An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 649-660
- Guarda A., Rosell C.M., Benedito C., & Galotto M.J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18, 241-247.
- Hung P.V., & Morita N. (2005). Thermal and rheological properties of dough and bread as affected by various cross-linked cornstarch substitutions. *Starch/Starke*, 57, 540-546.
- Hwang J.G., & Choi M.J. (1997). Hydrocolloids and rheology of food. *Food Industry and Nutrition*, 2, 41-50.
- Jung J.Y., Kim S.A., & Chung H.J. (2005). Quality characteristics of low-fat muffin containing corn bran fiber. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 34, 694-699.
- Kim H.M., Kim J.O., & Shin M.S. (2001). Effects of resistant starches on the characteristics of sponge cake. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 39, 621-629.
- Kim S.K. (1979). Physicochemical studies on the hard and soft wheat flours. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 11, 13-17
- Lazaridou A., & Duta D., Papageorgiou M., Belc N., Biliaderis C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Lee S.J., Cho S.K., & Lee S.J. (2008). Study on the texture and staling of bread with addition of various hydrocolloids. *Korean Journal of Food and Cookery Science* 24, 636-644.
- Leelavath K., & Indiani D. (1987). Amylograph pasting behavior of cereal and tuber starches. *Starch*, 39, 378-385.
- Miyazaki M., Hung P.V., Maeda T., & Morita N. (2006). Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science & Technology*,

- Nugent A.P. (2005). Health properties of resistant starch. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, **30**, 27 - 54.
- Sajilata M.G., Singhal R.S., & Kulkarni P.R. (2006). Resistant starch-a review. *Comprehensive Review sin Food Science and Food Safety*, **5**, 1-17.
- Shin M.S. Development and applications of resistant starch. (2004). *Food Industry and Nutrition*, **9**, 1-9.
- Shin M.S., Mun S.H., & Woo K.S. (2001). Effects of cross-linked RS 4 starches in pasting profiles of wheat starch using RVA. *Korean Journal of Food Science and Technology*, **33**, 157-160.
- Singh J., Kaur L, & McCarthy O.J. (2007). Factors influencing the physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-a review. *Food Hydrocolloids*, **21**, 1 - 22.
- Singh U., Kherdekar M.S., & Jambunathan R. (1982). Studies on desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. The levels of amylase inhibitors levels of oligosaccharides and in vitro starch digestibility. *Journal of Food Science*, **47**, 510-512.
- Snow P., & O'Dea, K. (1981). Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *American Journal of Clinical Nutrition*, **34**, 2721-2727.
- Song J.Y., Lee S.K., & Shin M.S. (2000). Effect of RS-3 type resistant starches on breadmaking and quality of white pan bread. *Korean Journal of Food and Cookery Science* **16**, 188-194.
- Techawipharat J., Suphantharika M., & BeMiller James N. (2008). Effects of cellulose derivatives and carrageenans on the pasting, paste, and gel properties of rice starches. *Carbohydrate Polymers*, **73**, 417 - 426.
- Xie X.S., Liu Q., & Cui S.W. (2006). Studies on the granular structure of resistant starches (type 4) from normal, high amylose and waxy corn starch citrates. *Food Research International*, **39**, 332 - 341.
- Yook C., Pek U.H., & Park K.H. (1992). Gelatinization behaviors and gel properties of hydroxypropylated and cross-linked corn starches. *Korean Journal of Food Science and Technology*, **24**, 70-73.