

〈총설〉

식품유변학의 국내 연구현황

이 철 호

고려대학교 식품공학과
(1990년 3월 20일 접수)

Present State of Food Rheology Researches in Korea

Cherl Ho Lee

Department of Food Technology, Korea University, Seoul

(Received March 20, 1990)

1. 서 론

식품재료로 사용되는 생물체는 기본적으로 탄성의 세포벽과 점성의 세포원형질로 이루어진 점탄성물질이며 이들로부터 추출 분리된 탄수화물, 단백질, 지방 등은 다양한 분자구조를 가진 생체고분자물질(biopolymer)들이다. 이들의 유변학적 성질을 규명하는 목적은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 식품의 제도가공 공정의 조절과 최적화를 위한 것으로 유체식품의 수송이나 혼합, 반죽의 형성, 전분의 호화, 인조육을 만들기 위한 단백질의 extrusion 혹은 fiber spinning과 같은 예를 들 수 있다. 이러한 목적의 연구는 화학학이나 재료공학, 섬유공학분야의 연구방법과 대차를 보이지 않는 분야이다. 두번째는 원료나 제품의 유변학적 성질로부터 관능적 품질을 예측하고 객관적으로 평가하기 위한 목적의 연구이다. 전통적으로 화학적 분석방법에 주로 의존하던 식품학의 연구가 1960년대를 지나면서 구조와 관련된 물리적 성질이 식품의 품질을 결정하는 중요한 요소임을 인식하게 되었다. 밥이 찰지다거나, 고기가 질기다거나, 국수나 떡이 쫄깃쫄깃하다거나, 사과가 아삭아삭하다거나, 아이스크림이 혀끝에서 녹는 감촉을 낸다거나 하는 특징적인 품질특성은 상품적 가치를 결정하는 중요한 인자이다. 이러한 품질특성은 그 식품을 구성하고 있는 각 성분의 물리적 및 구조적 특성에 의하여 나타나는 유변성을 경험과 감각을 통한 심리적 작용에 의하여 감지하는 조직감(texture)의 형태로 표현

되는 것이다[1]. 따라서 식품조직감의 연구는 심리유변학(psychorheology)의 새로운 영역으로 최근 식품학 분야 뿐만 아니라 의학, 심리학, 상품학 등 많은 학문 분야의 공동관심사가 되고 있다.

식품유변학의 접근방법도 그 목적에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉 수리해석적 접근과 경험적 지표를 얻기 위한 방법으로 구분된다. 수리해석적 방법은 주로 단일물질, 희박용액이나 균일한 물체의 흐름과 변형의 현상을 수식화하거나 유변성 모델에 적용하는 것으로 공학적 용도나 분자구조적 차원의 성질을 규명하는데 사용된다. 그러나 대부분의 식품은 고농도 복합물질이며 다상계의 불균일한 물체이므로 수리해석적 접근이 불가능한 경우가 많고 비록 이 방법으로 수량화하더라도 감당할 수 없을 정도로 많은 변수가 포함되어 실제 관능적 품질의 예측에 전혀 도움이 되지 못한다. 그러므로 조직감의 연구에서는 식품의 품질을 결정하는 주요 품질요소의 크기를 간단한 비교측정 방법으로 구하고 그 타당성을 관능적 측정치와의 통계적 검증으로 확인하게 된다.

우리나라에서 식품유변학의 연구가 시작된 것은 1970년대 초이며 80년대에 들어와서 활발한 연구가 이루어졌다. 본 고에서는 우리나라에서 이제까지 연구된 식품유변학분야의 논문을 전분, 단백질, 지방질 등 생물고분자물질별로 분류하여 고찰하고, 이들이 혼합된 시스템인 페이스트, 반죽, 고체식품 및 생체조직의 물성에 관한 연구결과들을 종합정리하였다.

2. 전 분

전분(starch)은 식량자원 중에서 양적으로 가장 중요한 성분이다. 주로 곡물의 종실이나 구근류의 유세포속에 저장에너지원으로 존재하며 밥, 국수, 떡, 케일, 과자, 호상식품의 주성분으로 이들 식품의 물성과 품질특성을 결정하는 요소가 된다. 전분은 glucose를 기본단위로 하는 homopolymer이며, β -1,4-D-glucopyranose의 직쇄상 고분자물질인 amylose와 여기에 β -1,6 결합으로 분지가 형성된 amylopectin으로 구성되어 있다. 대부분의 곡물 및 서류의 전분은 약 20% 내외의 amylose와 80% 내외의 amylopectin으로 구성되어 있다. 그러나 찹쌀, 찰옥수수 및 차조와 같은 곡물은 거의 전량(95% 이상) amylopectin으로만 구성된 전분을 가지고 있으며 바로 이러한 전분구성 성분의 차이로 인하여 찹쌀과 멥쌀의 물성적인 차이 즉 밥맛의 차이가 생기는 것이다. 전분은 식물의 유조직세포내에 직경 2-150 μ m 수준의 globular 형태의 입자로 존재하나 가열, 알칼리 등에 의하여 치밀한 입자구조가 팽윤, 호화(gelatinization) 된다[2-4].

전분에 관한 국내의 유변학 연구는 주로 우리의 주식으로 쓰이고 있는 쌀, 보리, 두류, 도토리 등에서 분리한 전분의 유동특성, 호화액의 유동거동, 전분젤의 점탄성 등에 관하여 이루어졌다.

이 등[5]은 빠른 속도로 침전되는 쌀전분 현탁액의 점도를 측정하기 위하여 계속적으로 저어주면서 측정할 수 있는 관형(tube) 점도계를 제작하여 점성측정을 시도하였다. 이 결과 쌀전분 현탁액(5%)은 dilatant 유체거동을 보였다. 전분 현탁액의 dilatant 유체거동은 칙전분[6], 보리전분[7] 및 또다른 쌀전분[8] 연구에서도 확인되었다. 이 등[7]은 보리전분 희석현탁액(0.05-0.3g/dl)에서 구한 환원점도를 Huggins 식($\eta_{sp}/c=[\eta]+K[\eta]^2 \cdot C$)에 대입하여 쌀보리전분의 고유점도($[\eta]$) 및 형태상수(K)를 계산한 결과 1.506dl/g 및 1.455였으며 결보리전분의 경우 각각 1.449dl/g 및 2.2임을 밝혀내고 이로부터 결보리전분이 쌀보리전분보다 입자의 상대적 크기가 작으며 더 구형에 가깝고 용질강도도 강하다고 평가하였다. 이러한 결과는 김 등[9]의 현미경 관찰에서 결보리와 쌀보리전분의 중간입자 크기는 각각 16.8-20.0 및 18.0-21.2 μ m라고 한 것과 일치하고 있다.

쌀전분에서 분리한 아밀로스와 아밀로펙틴의 고유점도를 품종에 따라 비교한 결과 통일벼와 팔달벼의 아밀

로즈 고유점도는 각각 2.05 및 1.63dl/g이었다[10]. 찹쌀과 멥쌀의 가열호화전분 희석용액(0.02-0.125%)의 환원점도와 농도의 관계도 Huggins 식에 따랐으며 형태상수와 고유점도는 아밀로펙틴만으로 된 찹쌀전분이 더 큰 값을 나타내었다. 그러나 알칼리호화액 고유점도는 가열호화액보다 더 컸으며 멥쌀전분이 찹쌀전분보다 더 큰 값을 나타내었다[11].

전분입자는 수용액상에서 가열되면 호화되며 이 때 호화개시온도와 호화액의 점도는 전분의 종류에 따라 다르게 나타난다. Amylograph 호화개시온도를 측정 한 결과를 보면 쌀전분의 경우 61°C[5], 찹쌀전분 63-67°C[12], 감자전분 65°C[5, 13, 14], 고구마전분 72.5-75°C[15, 14], 이외에도 커리[16], 메밀, 도토리, 밤, 동부, 녹두[14, 17, 18], 칙전분[19], 생강 및 옥수수전분[20] 등에 관한 보고들이 있다.

목 등[21]의 요오드정색반응으로 측정한 쌀보리전분 희석액의 호화현상은 90°C 이상에서는 1 단계의 1 차반응에 속하며 그 활성화에너지는 31.93kcal/g mole 수준이며, 85°C 이하에서는 2 단계의 1 차반응으로 구성되며 활성화에너지는 75°C 이상에서는 78.49kcal/g mole, 75°C 이하에서는 23.41kcal/g mole이었다. 이 등[22]은 쌀전분 용액(3-5%)을 65-85°C에서 가열할 때 일어나는 점성변화로부턴 전분의 호화속도를 계산한 결과 1 차반응식으로 계산될 수 있었으며 호화 활성화 에너지는 약 25kcal/g mole로서 목 등[21]의 결과와 유사한 값을 얻었다. 이 값은 또한 최 등[23]의 쌀의 증기속도에 대한 75-110°C 반응온도 영역에서 활성화 에너지 18kcal/g mole 과 비슷한 값이다.

박 등[24]에 의하면 밤전분 현탁액(4%)을 가열할 때 겔보기점도는 온도변화(60-80°C)에 따라 지수적으로 증가하며 75°C 부근에서 변곡점을 가지며 이 때 겔보기점도의 대수값은 동일 온도에서의 전분의 팽윤력과 밀접한 관계가 있음을 보고하였다[25]. 쌀, 밀, 옥수수, 감자전분의 호화온도에 대한 DSC 분석결과를 보면 전분에 포함되어 있는 지방질을 완전히 제거하면 수분결합력이 상승하고 호화온도는 4-5°C 저하된다고 한다[26]. 박 등[27]은 밤전분의 호화에 필요한 수분함량을 조사하기 위하여 수분 14-24% 수준에서 95°C로 가열처리된 전분을 Amylograph로 측정 한 결과 수분함량 21% 이상에서부터 최대점도 peak를 가지지 않아 이미 호화되었음을 나타내었다. 그러나 X-ray 회절도에서 구한 호화를 위한 최저 수분함량은 40-45%로서 쌀의 40-45%[28, 29] 및 칙전분의 45%[30]와 비교될

수 있었다.

전분 호화액은 대체로 시간의존성 thixotropic 유동 특성을 가진다[11, 7, 31, 32]. 김 등[33]에 의하면 쌀전분(6-10%)의 가열 또는 알칼리 호화액의 시간의존성은 Tiu 등의 유동모형식에 잘 적용되었으며 구조의 파괴속도상수는 총밀림속도에 대하여 직선적인 증가경향을 보였으며 농도 및 온도에 대하여는 지수적 관계를 나타내었다. 농도증가에 따라 전분 호화액의 시간의존성은 현저히 증가하며, 품종차이를 보여 쌀보리전분은 겔보리전분 호화액보다 thixotropic 성질이 더 강하였다.

전분 호화액은 희석수용액(약 1% 이하)일 경우 지수법칙 유동모형($\tau = k\dot{\gamma}^n$)을 따르지만[11] 전분농도가 증가하면 항복력을 갖는 의가소성 유체성질을 가지게 되어 Herschel-Bulkley 식으로 대개 표현될 수 있다[5, 7, 31, 32, 34, 35, 24].

$$\tau - \tau_c = k\dot{\gamma}^n$$

여기서 τ 는 총밀림변형력(shear stress), τ_c 항복력(yield stress), k 점조도지수(consistency index), $\dot{\gamma}$ 총밀림속도(shear rate), n 은 유동거동지수이다.

멥쌀과 찰쌀 희석전분 호화액(0.2-1.0%)의 유동거동지수 n 는 찰쌀(0.83)이 멥쌀(0.94)보다 뉴우턴성 유체에서 크게 벗어나는 의가소성을 보였으며 k 는 멥쌀이 찰쌀보다 훨씬 컸다. 가압가열 호화시켰을 때 찰쌀전분의 k 및 n 값은 상압가열에 비하여 큰 차를 나타내지 않았으나 멥쌀의 경우 k 값이 현저히 증가하였는데 이것은 가압솥에서 밥을 지으면 찰저지는 현상과 관계있는 것으로 해석되었다[11]. 그러나 송 등[12]에 의하면 3-8% 찰쌀전분 호화액의 겔보기점도는 가압 호화액이 상압 호화액보다 다소 높았으며 다수계 찰쌀전분이 일반계보다 높았다고 보고하였다. 좁쌀의 경우에는 메조보다 차조전분의 의가소성이 더 컸으며 겔보기점도도 높았으며 항복력(τ_c)이 소실되는 농도도 차조(1.69%)가 메조(2.19%)보다 낮았다[36].

쌀전분은 탈지에 의하여 k 및 τ_c 가 감소하며 n 은 증가하였다[37]. 그러나 김 등[33]은 쌀가루의 탈지에 의하여 아밀로그래프 점성은 원료쌀보다 20% 증가한다는 상반된 결과를 보고하였다. 한편 최 등[38]은 탈지에 의하여 보리가루의 아밀로그래프점도는 크게 저하하며 비극성 지방의 첨가로 다시 회복된다고 보고하고 있다.

밀가루와 이로부터 분리한 전분 호화액의 유동특성을 비교한 결과 동일한 농도(1.5%)에서 모두 시간의존성 thixotropic 의가소성을 보였으며 분리전분 호화액의 n

값은 밀가루 호화액보다 낮아 의가소성이 더 큼을 보였으며 k 및 τ_c 도 분리전분 호화액이 밀가루보다 1.5-2배 높게 나타났다[39, 40]. 따라서 밀가루수에 포함된 전분 이외의 성분 특히 가용성 성분은 전분의 점성을 낮추는 역할을 하는 것으로 판단되었다. 또한 도토리전분에 도토리에서 분리한 탄닌을 다시 첨가하면 Amylograph의 최고 점도는 탄닌농도 증가에 따라 직선적으로 감소하였다[41]. 쌀전분 호화액(5%)에 인산염을 첨가하면 τ_c 는 현저히 감소하였으며 멥쌀에서는 의가소성이 강해지나 찰쌀에서는 반대의 경향을 보였다. 또한 인산염은 쌀전분 호화액의 점조도지수값을 저하시켰다[42].

감자전분의 입자크기가 작은 것(30 μ m 이하)이 큰 것(41 μ m 이상)보다 호화액의 점조도지수 및 항복력이 훨씬 컸으며[43], 고구마 및 감자전분은 수분-열처리에 의하여 점조도지수 및 항복력이 크게 감소하였다[15].

전분농도가 증가함에 따라 호화액의 겔보기점도는 지수함수적 증가를 보이는데 김 등[11]은 멥쌀과 찰쌀전분 희석 호화액의 점조도지수(k)와 농도(c)와의 관계를 지수함수식($k = k_c \exp(B \cdot C)$)으로 표시하고 농도의존성을 나타내는 값(B)는 찰쌀이 멥쌀보다 큰 값을 갖는다고 보고하였다. 점조도지수의 대수값과 농도 사이에는 직선적인 관계가 성립하다가 일정 전분농도에서 변곡점이 나타나는데 찰쌀전분의 경우 4.5%[12], 멥쌀전분 7%[11], 쌀보리전분 5%[34], 감자전분 4%[43], 녹두 및 동부전분 6.3%[44]에서 각각 이러한 변곡점이 관찰되었다. 이것은 전분의 종류에 따라 농도증가에 의한 전분분자간의 상호작용이 크게 일어나기 시작하는 점이 서로 다른 것을 나타내는 것이며 이 변곡점은 젤을 형성하는 농도와 관련이 있는 것으로 보고되고 있다[44].

전분 호화액의 겔보기점도(η)는 온도가 증가함에 따라 감소경향을 나타내며 대체로 Arrhenius 식을 따른다. 이로부터 구한 유동 활성화에너지(E_a)의 크기는 전분의 종류, 전분용액의 농도에 따라 차이를 낸다. Table 1은 문헌에 보고된 전분용액의 유동 활성화에너지를 모은 것이다. 특히 생전분 현탁액과 전분 호화액의 E_a 는 커다란 차이를 보이며 호화됨으로서 유동이 자유롭지 못하여 높은 활성화에너지를 필요로 함을 볼 수 있다. 전분 호화액의 유동 활성화에너지와 더불어 분자간 화학을 절단하는 구조 활성화에너지가 유동에 필요한 것을 반영하고 있다.

호화 전분액은 농도가 증가함에 따라 냉각시 젤을 형성하게 된다. 구[18]는 도토리, 감자 및 밀전분(9-13%)으로 만든 젤의 점탄성을 Creepmeter로 측정하고 전분 젤들의 Creep 곡선은 4-element Burgers model로 해석될 수 있었으며 순간탄성과 지연탄성, 뉴우턴점성에서 모두 도토리전분 젤의 값이 가장 크고 밀전분, 감자전분의 순이었다. 탄성값들은 전분농도가

Table 1. Flow activation energies of different starch solutions.

Products	Activation energy (kcal/mole)	Reference No.
Raw rice starch (5%)		5
below 50°C	0.13	
above 50°C	2.71	
Gelatinized rice starch (Japonica)		5
3%	5.39	
5%	6.94	
7%	8.26	
9%	9.57	
Gelatinized rice starch (7%)	4.16	37
defatted	4.76	
1% plamitic acid added	3.14	
Raw arrow root starch		6
2%, 30-65°C	0.307	
4%, 30-60°C	0.329	
60-65°C	28.540	
6%, 30-60°C	0.399	
60-65°C	59.890	
Gelatinized arrow root starch		35
4%	4.068	
6%	4.436	
Gelatinized barley starch (3%)		7
Naked barley	7.2	
Covered barley	6.1	
Gelatinized nake barley starch (7%)		34
Songhak	4.098	
Youngsan	3.710	
Gelatinized millet starch (3%)	2.89	27
Glutinous millet starch (3%)	3.18	
Gelatinized potato starch (4%)		43
starch granule < 30 μm	1.71	
starch granule < 41 μm	1.41	
Raw chestnut starch (3-4%)		24
below 50°C	0.56	
above 60-70°C	51.9-80.8	
Gelatinized chestnut starch (1.65%)	5.15	31

증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이들 결과를 보면 견고성이나 brittleness에는 탄성과 점성이 정의 상관관계를 가지며 부착성과 응집성에는 탄성과 점성이 역의 상관관계를 가지는 것으로 판단되었다.

대형 변형영역에서의 파열력 및 변형거리와 미소변형 영역에서의 순간탄성, 뉴우턴점성 및 지연시간 등의 지표들간에 뚜렷한 상관관계를 얻지 못하였다[45]. 그러나 김 등[46]은 도토리묵의 압착력완화 시험결과를 Maxwell 모델이 3개 붙은 7-element 모형으로 해석하였다. 김 등[47]은 또한 도토리전분으로된 묵과 정제 전분 젤의 변형력 완화현상을 비교하였는 바 정제전분 젤이 초기변형력(σ_0)이 큰 반면 평형변형력(σ_e)은 조 전분에서 크게 나타났으며 σ_e/σ_0 는 60% 변형에서 최소값을 나타내었다. 변형률이 적을수록 또한 전분이 정제될수록 더 단순모형으로 분석될 수 있음을 확인하였다.

김과 이[48]는 도토리묵의 조직감 측정에서 원주형 puncture probe의 선단면적과 주위둘레에 따른 compression effect와 shear effect의 크기를 조사하고 back extrusion test의 측정패턴을 관찰하였다. 도토리묵의 침투시험에서 puncture diameter에 대한 force/diameter 값은 직선관계를 나타내어 Bourne의 $F/D=K_c \cdot C+K_s$ 식을 적용할 수 있었다.

손 등[44]은 동부와 녹두전분으로 만든 젤(6-10%)의 관통시험에서 선단면적이 다른 탐침들로부터 얻은 최대 관통력을 Bourne식에 대입하여 압착계수(k_c)와 총밀림계수(k_s)를 구한 결과 녹두전분 젤이 동부전분보다 압착계수가 높았다. 변형력 완화시험에서 두 전분 젤은 모두 Maxwell 모델 3개를 병렬로 연결한 모형으로 표현될 수 있었다.

전분 호화액의 항복력은 전분젤의 견고성 및 탄성과 관계가 있는 것으로 분석되었다. 조 등[17]은 creep test에서 관찰한 동부묵의 탄성계수는 녹두묵보다 작았으나 점성계수들은 다소 컸으며 이것은 동부묵의 견고성과 brittleness가 낮은 성질과 관계가 있었다. 전분 젤의 2회 반복 압착시험에서 압착률은 전분젤의 조직감 특성에 크게 영향을 미쳤으며 특히 조직의 파괴 이전과 이후에 커다란 차이를 나타내었다[49]. 따라서 이러한 실험에서 압착률을 표준화하는 것이 중요함을 강조하였다.

이 등[50]은 겔보리와 쌀보리전분 젤(20-30%)의 물성을 정속압축 파괴시험과 압축변형력 완화시험으로 측정하였으며 9% gel에 대하여는 회전점도계에 의한 정상충밀립(steady shear)하에서의 변형력 완화시험으로

평가하였다. 보리전분 젤의 압축과괴특성은 품종에 관계없이 전형적인 결정성 고분자 및 교질물질의 변형거동을 나타내었으며 탄성변형을 나타내는 초기 직선부위와 소성변형부분 및 말기 직선부위를 나타내었다. 이들 특성곡선에 Peleg의 역학모형을 적용하여 압축과괴의 특성값을 구한 결과 쌀보리전분의 점성률은 농도증가에 크게 영향을 받지 않고 탄성률이 약 2배 증가한 반면 겔보리는 반대의 경향을 나타내었다. 2% 전분 젤의 변형력 완화곡선을 분석한 결과 Maxwell 모형을 2개 병렬로 연결한 4요소 역학모델로 설명할 수 있었다. 완화시간은 쌀보리 전분이 겔보리보다 훨씬 낮은 범위로 쌀보리전분에서 탄성체의 성질이 강한 경향을 보여 최 등[51]의 보고와 일치하였다.

9% 보리전분 젤에 대한 일정 총밀림속도($45s^{-1}$)에서의 총밀림변형력 변화는 전형적인 점탄성계의 유동거동을 보여 버터, 마요네즈, CMC 용액들과 비슷한 총밀림변형력(τ) 붕괴곡선을 얻었다[50]. 쌀보리와 겔보리전분의 τ_{max} 와 τ_0 값은 각각 60, 6.7 Pa 및 73, 3.3 Pa로 겔보리의 구조붕괴가 더욱 컸다. 또한 완화시간은 쌀보리전분이 겔보리전분보다 훨씬 낮아 쌀보리전분 젤의 탄성체 성질이 강함을 보인 것은 최 등[51]이 쌀보리가루의 반죽 안정성이 겔보리보다 높고 탄력성이 좋았으며 조직이 튼튼하다고 한 것과 관련이 있는듯 하였다.

김 등[16]은 전분 젤의 노화속도를 압착시험에서 얻은 경도를 탄성계수로 놓고 Avrami식을 적용하여 호화전분의 결정화속도 즉 노화속도를 계산한 결과 메밀전분 젤(50%)의 Avrami 지수는 0.94였으므로 1로 가정하여 속도상수 0.42, 시간함수 2.33을 산출하였다.

이 등[52]은 아밀로즈함량이 다른 8가지 쌀전분의 가열젤(30%)을 만들고 저장 중의 압착시험에 의한 경도변화로부터 Avrami식의 노화속도를 측정하였다. 쌀전분의 아밀로즈 함량이 높은 것이 낮은 것보다 노화속도가 빨랐다. 인산염의 첨가는 쌀밥의 노화속도를 감소시키며 특히 인산염 중의 P_2O_5 농도가 60-67%로 증가함에 따라 노화속도는 1.4-1.6 배 감소하였다[53]. 그러나 찰쌀밥에 대하여는 인산염의 효과가 나타나지 않았다[54]. 맵쌀과 찰쌀밥에 대한 인산염의 작용효과 차이는 앞에서 언급한 쌀전분 호화액에 대한 인산염의 효과차이[42]와 일치하고 있다. 속도론적 연구결과에서 인산염의 노화방지 효과는 결정화될 수 있는 전분의 양을 감소시키는데 일차적으로 기인하는 것으로 평가되었

다[54]. Avrami식을 이용한 노화속도의 산출은 여러 가지 전분젤을 비롯하여 밥[55], 약식[56] 등 전분질 식품에 광범위하게 이용되었다.

3. 단백질

단백질은 모든 생물체의 구조를 형성하는 물질이며 20여종의 아미노산이 peptide 결합으로 축합되어 만들어진 heteropolymer이다. 구성아미노산의 성질과 배열에 따라 다양한 구조와 기능을 가지는 단백질이 생체 내에서 만들어지는데 식품학분야에서 중요하게 다루는 것은 동물체의 근육을 형성하는 단백질과 우유와 콩과 같이 생체내에 저장되어 있는 단백질들이다[57]. 콩 단백질은 종실의 유세포내에 globular 형태의 단백질체(protein body)로 존재한다[58].

이 등[59]은 대두종실에서 분리한 단백질체(protein body)의 형태와 크기가 여러 가지 용매에서 변화하는 양상을 현미경으로 관찰하고 모세관점도계로부터 측정된 수동력학적 성질들과 비교하였다. 단백질체의 고유점도는 CCl_4 -benzene 용매속에서는 $0.036 cm^3/g$ 이었으나 50% glycerol-water 용매에서는 $0.335 cm^3/g$, pH7의 수용액에서는 $0.574 cm^3/g$, pH12의 수용액에서는 $1.18 cm^3/g$ 으로 증가하였다. Oncley 식과 Mooney 식으로부터 구한 hydration량은 현미경관찰에서 보인 단백질체의 팽윤정도와 잘 일치하였다.

대두단백질은 succinylation 및 acetylation에 의하여 등전점이 pH4.5에서 4.0으로 내려가면서 등전점 이상의 영역에서 용해도가 크게 증가하였다[60]. 이러한 화학적 변형에 의하여 대두단백질의 고유점도는 증가하였으며 형태상수는 감소하였다. 호주산 루우핀 콩으로부터 분리한 단백질 농축물의 유통특성은 8% 농도에서 강한 의가소성을 보였으며 겔보기점도는 6% 이상부터 농도증가에 대하여 지수함수적으로 증가하였으며 그 증가양상은 카제인과 유사하였다[61]. 이 등[62]은 생돈피에서 분리한 미세결정성 콜라겐 용액(9%)은 텍스트로피 유체로서 pH3.5에서 최대 점도를 보이며 농도가 증가할수록 점도는 지수함수적으로 증가하였으며 온도증가에 따라 점도는 감소하였으나 pH4.5 이하에서는 온도의 영향을 크게 받지 않는다고 보고하였다.

분리대두단백질은 농도 8% 이상에서 가열에 의하여 젤이 형성되었으며 농도 12% 일 때 120°C에서 30분 가열로 점도 20000 Poise에 달하는 견실한 젤이 형성되었다[63]. 그러나 120°C 이상의 가열온도에서는 젤

의 인수상이 결여된 과립상이 형성되었다. 이 등[64]은 분리대두단백질 및 이들을 분획한 7S와 11S 단백질의 열화특성을 비교하고 이들을로부터 만든 대두단백 치즈의 조직감을 2회 반복압착시험으로 비교분석하였다.

홍 등[65]은 열변성 gluten-network에 대한 인장력 완화시험을 실시하였다. 얻어진 완화곡선은 3개의 Maxwell 모델을 병렬로 연결한 6-element 모델로 해석될 수 있었다. 열변성 글루텐의 인장력은 열처리 시간이 경과할수록 증가하였으며 전체 완화분의 70-74%를 차지하는 제 1차 지수항에서의 탄성과 점성은 열처리시간 19분 동안 계속 증가하였다. 글루텐의 강화제로 알려져 있는 $KBrO_3$ 와 Ascorbic acid를 첨가할 경우 완화시간은 가열 11분까지 급격히 증가한 후 감소하였으며 글루텐 연화제인 L-시스테인은 완화시간을 전반적으로 감소시켰다. 조 등[66]에 의하면 밀가루 반죽에 시스테인을 첨가할 경우 반죽의 안정도는 감소하고 신장성은 증가하였으며 아스코르브산은 반죽의 신장성을 감소시켰으나 안정도에는 변화를 주지 않았다.

박 등[67, 68]은 글루텐 인조육의 제조연구에서 글루텐의 열변성 조직에 호두의 첨가량이 증가할수록 응집성과 저작성은 감소하였고 탄력성과 보수성이 증가하며, 식염 첨가량이 증가하면 경도와 저작성이 증가하였다. 호두 30%, 식염 2% 첨가시 글루텐 인조육은 쇠고기의 조직감에 가장 접근하였다. 문 등[69]에 의하면 젤라틴 겔에 산과 설탕을 첨가하면 경도가 낮아지나 식염은 경도를 높이는 효과를 내었다.

분리대두단백질(SPI) 15%, NaOH 0.6%를 포함하는 단백질 수용액의 점도는 60poise였으며 이 때 주사기를 통하여 사출한 spun-fiber가 가장 적합한 단백질 섬유조직감을 나타내었다[63]. 식염과 초산용액을 응고제로 하는 실험용 단백질 섬유 spinning 장치에서 얻은 결과를 보면 사출에 적합한 대두단백질 농도는 15-18%였으며 단백질 농도가 증가함에 따라 섬유의 파열강도와 안정성이 증가하였으며 견고성도 증가하나 응집성과 탄성은 큰 차이를 보이지 않았다[70].

한 등[71]은 분리대두단백질의 조직화에 대한 extruder의 스크류 회전속도와 원료 수분함량의 영향을 조사하였다. 조직잔사지수는 낮은 수분함량과 스크류의 고속회전에서 높게 나타났으며 조직감 강도는 이와 반대경향을 나타내었다. 요인분석결과 스크류 회전속도보다 원료의 수분함량이 단백질의 조직화에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 분리대두단백에 쌀가루를 30%까지 혼합할 경우 조직잔사지수는 떨어지나 씹힘성과 껌성이 감소하여 부드러운 조직감이 형성되었다

[72].

4. 지방질

생물체에서 얻어지는 지방질은 검화지방질(saponifiable lipids)과 비검화지방질(non-saponifiable lipids)로 분류되며 검화지방질에 속하는 유지(fat and oil)가 식품으로서 가장 중요한 성분이다. 유지는 지방산과 글리세롤의 축합물이며 지방산의 종류와 축합 정도에 따라 다양한 물성을 가지게 된다. 유지의 유변성에 관한 국내의 연구는 그리 많지 않다.

신 등[73]은 식용 대두유에 공기를 주입하면서 가열 산화하는 과정에서 일어나는 화학적 변화와 점성과 굴절률의 변화를 관찰하였다. 가열온도 160°C 이상에서부터 점도는 크게 증가하였으며 20°C에서 측정된 굴절률(ηD^{20})과 점도(V)와의 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립하였다.

$$\eta D^{20} = 1.4614 + 7.3333 \times 10^{-3}t + 2.9612 \times 10^{-3} \ln V$$

여기서 t는 점도의 측정온도(°C)이다. 180°C에서 7시간 가열산화시킨 콩기름은 thixotropic 유체특성을 나타내었으며 층밀림속도가 증가함에 따라, 또 측정온도가 낮아짐에 따라 thixotropy 성질을 더 강하게 나타내었다[74]. Shear에 의하여 파괴된 분자간 결합력을 회복하기 위하여는 1시간의 resting time이 필요하였다. Light scattering으로 측정된 가열산화과정 중의 콩기름 상대분자량은 1시간 가열시 957에서 7시간 가열시 4350으로 증가되었다. 따라서 콩기름의 가열산화에서 일어나는 유동학적 변화는 분자간의 중합에 기인한다고 보고하였다.

이외에는 국산 가정용 및 업무용 마아가린의 물성 및 경도에 관한 연구[75]가 있을 뿐이다.

5. 혼합계 액상 및 페이스트상 식품

혼합계 액상 및 페이스트상 식품의 대표적인 예는 단백질과 지방의 유화 콜로이드상으로된 우유류와 마요네즈, 식물조직을 마쇄하여 만든 케찹, 고추장과 기타 액상추출물을 들 수 있다. 국내에서 주로 연구된 것은 우리의 전통식품인 고추장의 물성학적 성질에 관한 것이었다. 변 등[76]은 층밀림속도(shear rate) $0.3-1.6 s^{-1}$ 의 범위에서 고추장은 항복력을 가지는 의가소성이며 thixotropic 식품임을 규명하고 시간에 따른 겔보기점

도(η)의 변화를 Tiu 등에 의한 동력학적 유동모델식으로 표시하였다. 또한 겔보기점도의 온도의존성은 Andrade 식($\log \eta = \Delta E / 2.303RT + B$)으로 표시될 수 있었으며, 이로부터 구한 고추장의 유동에 대한 활성화에너지(ΔE)는 1.03 kcal/g mole 이었다.

동결건조한 분말고추장을 복원한 것은 원료고추장의 물성과 큰 차이를 나타내지 않았으나 분말복원 고추장의 구조붕괴속도는 원료고추장보다 빨랐으며 유동 활성화에너지는 더 컸다(2.18-2.32 kcal/g mole)[77]. 김 등[78]에 의하면 고추장에 물을 12.5-100% 가한 현탁액의 유동성은 항복력을 가지는 의가소성을 나타내며 Herschel-Bulkley 식으로 표현될 수 있었다. $\log K$ (점조도지수)와 농도의 관계에서 찹쌀고추장은 직선관계를 보이거나 소맥고추장은 가수량 50% 이상에서 기울기가 감소하는 현상을 보여 구조적 변화를 나타내었다. 점조도지수에 대한 온도의존성은 Arrhenius 식에 잘 적용되었으며, 가수량이 증가할수록 유동 활성화에너지는 증가하였다. 소맥고추장은 30-70°C 범위에서 E_a 1.5 kcal/g mole 이었으나 찹쌀고추장에서는 50°C에서 변곡점을 나타내 높은 온도에서 현저히 낮은 활성화에너지를 보여 2.56에서 1.08 kcal/g mole 로 감소하였다. 이는 온도증가에 따른 점조도지수의 감소효과를 고추장 중의 미분해 전분이 고온에서 호화팽윤됨으로서 상쇄시킨 것으로 해석되었다.

하 등[79]에 의하면 토마토케첩은 층밀림속도 0-210 s^{-1} 범위에서 의가소성을 나타내며 항복응력을 가지는 Bingham pseudoplastic 이며 시간의존성을 가지는 thixotropic 식품으로 규정되었다. 낮은 층밀림속도(0-20 s^{-1})에서는 Bingham plastic model, 높은 층밀림속도(20-200 s^{-1})에서는 Herschel-Bulkley model 이 적합하였다. 또한, 저농도에서는 Bingham plastic 특성을 나타내며 농도가 높아질수록 Bingham Pseudoplastic 특성을 강하게 나타내었다. Casson model로부터 구한 항복력도 농도가 높을수록 증가하였는데 이는 micelle의 형성 및 packing density 와 관련이 있는 것으로 해석되었다. 토마토케첩의 온도 및 농도에 따른 겔보기점도는 Andrade 식 및 지수함수식으로 나타낼 수 있었다. 유동 활성화에너지는 농도 15% 에서 50%로 변화함에 따라 3.973 kcal/g mole 에서 7.655 kcal/g mole 로 증가하였다.

이는[80] 마요네즈의 점성을 회전점도계로 조사하였다. 마요네즈는 시간의존성 thixotropic 유체로서 5분 이내에 평형점도에 도달하였다. 또한 항복력을 갖는 pseudoplastic 성질을 나타내었으며 층밀림 초기(3분

이내)에는 Tiu and Boger의 2차 속도식에 의한 구조 파괴현상을 나타내었다. 난황의 농도가 증가할수록, 식용유는 65-75% 범위내에서 증가할수록, 수분함량은 2-8% 범위내에서 증가할수록 마요네즈의 점도는 증가하였으며 식초함량은 증가할수록 점도가 낮아졌다. 배 등[81]도 마요네즈의 초산농도를 높여 pH 6.2에서 3.65로 감소시킬수록 항복력과 점조도지수는 감소한다고 보고하였다.

초콜렛은 코코아버터의 연속상에 설탕과 코코아입자 등이 분산되어 있는 고농도 현탁액으로 코코아버터의 용유성 때문에 상온에서 고체상태이고 34°C 이상에서는 액체상태가 된다[82]. 지방 28-29% 를 함유하고 있는 설탕 현탁액과 지방 31-41% 를 포함하는 코코아 현탁액의 점성은 낮은 층밀림속도(3.6 s^{-1})에서는 초기의 층밀림시간에 대하여 증가하는 rheopexy 현상을 보였으나 높은 층밀림속도(7.2 s^{-1} 이상)에서는 층밀림변형력에 의하여 구조가 파괴되는 thixotropy 를 나타내었다. 현탁액의 점도는 변형된 Casson 식으로 분석되었으며 농도가 증가함에 따라 Casson viscosity 와 항복력은 증가하였다. 고체성분의 입자가 커짐에 따라 설탕 현탁액의 점도는 감소하였으나 코코아 현탁액에서는 증가하였다. 항복력은 입도에 의하여 뚜렷한 영향을 받지 않았다[82]. 이외에 콩우유의 점성에 관한 연구[83]와 추출용매에 따른 홍삼추출물의 고유점도에 관한 연구[84]들이 있다.

6. 반죽의 물성

빵을 주식으로 하는 서양의 식품학에서는 반죽의 물성과 빵의 품질에 관한 연구가 대단히 중요하다. 서양의 영향을 받아 국내에서도 이 문제에 대한 연구가 많이 이루어졌으나 점차 우리의 전통식품인 국수류에 대한 연구로 관심이 쏠리고 있다. 제빵 및 제면적성을 예측하기 위한 반죽의 물성조사에는 Amylograph, Farinograph, Extensograph 및 Mixograph의 패턴을 분석하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 김 등[85]은 한국산 밀 166 품종에 대하여 제빵적성에 관한 통계적 분석을 한 결과 단백질함량 및 침전가와 Mixograph 흡수율과는 유의적 정의 상관관계가 인정되었으나 반죽시간이나 peak height와는 유의적 상관관계를 인정할 수 없었다. 각 품종의 반죽시간이나 peak height 는 재배환경이나 연차에 따라 변화가 있었으나 동일한 품종내에서 Mixograph 패턴은 재배환경이 달라도 품종고유의 모양을 나타내었다. 김[86]에 의하면 Farinograph의

반죽안정도, Extensograph의 저항력과 신장도는 경질 밀일수록 크나 Amylogram 점도는 연질 밀일수록 증가하였다. 신 등[87]은 미국산 수입소맥과 국산소맥의 반죽특성을 비교하였다. 김 등[88]은 보리가루는 밀가루보다 Amylograph 점도가 높았으며 이들의 복합분도 밀가루보다 점도가 높았으나 Farinograph 안정도는 밀가루보다 크게 낮았고 복합분으로 만든 빵은 품질이 열등하고 노화속도도 빨랐다.

밀가루에 보리가루를 혼합하면 Farinogram을 현저히 감소시키는 효과를 나타냈으며 따라서 식빵의 품질 저하를 일으켰다[51, 89]. 밀가루에 건조 비지가루의 첨가량이 증가할수록 최대점도는 감소하였다[90]. 윤 등[91]은 밀가루에 날콩가루를 혼합할 때 일어나는 반죽강도의 약화현상은 콩에 존재하는 lipoxygenase의 활성에 의한 것임을 실험적으로 확인하였다.

밀가루에 보리가루의 첨가량(20-30%)이 증가할수록 조리라면의 견고성, 응집성, 껌성 등이 감소하나[93] Xanthan gum을 첨가함으로써 제면성을 향상시킬 수 있었다[92, 94]. 밀과 호밀의 교잡으로 만든 Triticale을 밀가루에 10% 가량 첨가하면 반죽의 안정성과 발진 시간은 낮아지고 점성도 낮아졌으며 이러한 물성적 특성은 국수제조에 적합한 것으로 평가되었다[95]. 알파화 쌀가루의 유동성 및 반죽특성은 제분조건, 드럼건조 조건 등에 의하여 크게 영향을 받는데 건식제분한 것보다 습식제분한 것의 점도가 높았으며 드럼건조시 슬러리의 수분함량이 높을수록 제조된 미분의 최고점도가 증가하였다[96]. 장 등[97]에 의하면 국수제조용 밀가루에 고구마가루 혹은 보리가루를 20-90% 첨가하면 첨가량이 증가할수록 면대형성이 불량해지고 조리된 면발의 견고성, 응집성, 껌성 등도 전반적으로 저하되었다. 그러나 여기에 결합제로서 glyceryl monostearate (1.5%)와 sodium polyacrylate (0.5%)를 첨가하면 보리가루 60%, 고구마가루 40%까지 대차할 수 있다고 보고하였다. 이외에 쌀보리, 감자, 옥수수, 대두분 및 녹두와 밀가루복합분의 반죽물성과 제빵, 제면성 비교에 관한 연구[98, 99], 베이킹파우더의 품질평가를 위한 제빵시험[100], 한국산 및 미국산 소맥의 물성과 제빵, 제과 특성에 관한 비교연구[101], 전밀빵제조연구[102], 쌀-밀가루 혼합분의 제면성 실험[103] 등이 있다.

이 등[104]은 국수류의 점탄성을 연구하기 위하여 tensile 시험계기를 자체 제작하여 creep test를 시도하였다. 인장변형력 $4 \times 10^4 - 14 \times 10^4 \text{ dyn/cm}^2$ 범위에서 조리된 밀국수는 120초간, 냉면국수는 60초간은 선형

점탄성을 나타내었다. Creep 시험에서 추산된 밀국수와 냉면국수의 탄성계수는 각각 $7.0 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$ 와 $3.9 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$ 이었으며 변형력의 증가에 따른 stress-hardening 현상을 나타내었다. 삶은 국수발은 4-element Burger의 모델이나 6-element Voigt 모델로 설명될 수 있었다[105].

관능검사와의 상관관계에서 밀국수의 경우 순간탄성과 경도는 유의적 상관관계를 나타내었으며 냉면국수의 경우 경도는 순간탄성 및 지연시간과 유의적 상관관계를 나타내었다[106]. 밀가루에 고구마전분, 식염 및 알카리 첨가제 (Na_2CO_3 , NaHCO_3)를 첨가하여 만든 국수발의 creep curve는 4-element Burger의 모델로 표시될 수 있었으며, 반죽에 첨가된 전분의 비율이 높아질수록 삶은 국수발의 순간탄성치와 뉴우턴점성치는 감소하였다[107]. 유 등[108]은 삶은 국수의 식미를 shear extrusion test로 평가하였는데 최초 압출력과 압출일은 삶은 국수의 기호도를 가장 크게 영향하는 무른 정도와 쫄깃쫄깃한 정도를 나타낼 수 있었다. 한편, 경사도는 삶은 국수의 저장 중에 일어나는 조직감 변화를 감지할 수 있었다. 품종 및 세분율이 다른 호주산밀가루 33종으로 만든 국수의 관능적 조직감과 shear-extrusion test 결과와의 상관관계를 조사한 결과 최초 압출력과 압출일은 국수의 조직감 기호도와 역상관관계 ($p < 0.05$)를 보였다[109].

7. 고체식품

혼합계 고체식품의 종류는 두부와 같은 반고체 식품에서부터 왕사탕과 같이 탄성체에 가까운 식품에 이르기까지 실로 다양하다. 이와 같이 다양한 물질들의 유변성을 측정하는 방법 또한 여러 가지이다. 식품의 조직감을 측정하기 위하여 가장 널리 사용되는 방법은 2회 반복 압착시험에서 구한 힘-거리 곡선으로부터 Texture Profile Analysis (TPA)를 하는 Szczesniak의 방법을 주로 따르고 있다. 기계적 측정치를 관능적 품질로 표현하기 위하여는 조직감에 대한 관능적 표현용어의 표준화와 품질을 결정하는 주요 관능적 요소의 규명이 선행되어야 한다. 이 등[110]이 우리나라 주요 식품의 조직감 표현용어를 수집 분석한 결과를 보면, 밥류에서는 견고성, 응집성, 탄력성, 부착성이 중요한 물성이었으며 탄력성이 높고 씹힘성(chewingness)이 큰 것에 대한 기호도가 컸다. 국수류에서도 견고성, 응집성, 탄력성이 중요하였으며 견고성, 응집성, 탄력성이 큰 쫄깃쫄깃한 성질과 탄력성이 큰 밀랑밀랑한 성질

에 대한 기호도가 공히 높았다. 김치류에서는 견고성, 응집성, 탄력성이 중요한 조직감요소였으며 견고성이 크고 응집성이 작은 아삭아삭한 성질이 기호도를 좌우하였다.

우리나라 식품조직감 연구의 효시는 1974년 이 등[111]의 연구로서 우리나라 주요식품을 Oldfield 등의 성상별 분류법에 근거하여 Gel 상식품(두부, 녹두묵, 도토리묵, 양갱, 햄, 소세지, 어묵), 불균일 Gel 상식품(밥, 국수), 지방 emulsion 상 식품(버터, 마아가린), 세포조직상 식품(사과, 배, 가지, 오이), 섬유상 식품(양파, 마늘, 쇠고기, 돼지고기), 스폰지상식품(식빵, 카스테라, 종편), 공격 고체상식품(새우깡, 감자깡, 쿠키, 크랙카, 비스킷) 등 26종 식품에 대한 압착시험 및 침투시험을 General Food Texturometer 로 수행하였다. 각 식품의 조직감에 따라 특징적인 힘-거리 곡선을 얻었으며 2회 반복압착시험을 통하여 hardness, adhesiveness, cohesiveness, elasticity, chewingness, gumminess 등의 조직감 파라미터들을 산출 비교하였다. 이들은 식품의 구조적인 복잡성과 불균질성에 의한 측정재현성의 결여를 지적하였으며 동일 시료에서도 시료의 형태와 측정자에 따라서 측정치가 크게 변할 수 있음을 관찰하고 일정한 표준조건의 수립에 대한 필요성을 강조하였다.

고체식품의 조직감 연구에서 가장 중요하고 또한 실제로 많이 연구된 것은 우리의 주식인 밥과 떡에 관한 연구이다. 이 등[112]은 통일계쌀 13 품종과 일반계 10 품종에 대한 밥의 조직감 특성을 Texturometer 로 조사한 결과 견고성과 응집성은 계통간 유의적 차이가 인정되었으며 견고성은 일반계가 응집성은 통일계가 높았다. Amylose 함량과 부착성 사이에는 통일계와 일반계 공히 높은 역의 상관관계를 나타내었으며 단백질함량과 견고성 사이에서도 모두 높은 정상관관계를 나타내었다. 조 등[113]에 의하면 밀양 23호의 부착성이 아끼바레보다 컸으며 Amylograph 점도도 밀양 23호가 다소 높았다. 노 등[114]은 쌀의 종류, 즉 단립종(Japonica), 중립종, 장립종(Indica)에 따른 취반의 조직감 특성을 밥알 한알에 대한 등속압착시험으로 견고성과 부착성을 50회 시험평균치로 구하고 이들을 전분의 아밀로즈 함량과 비교하였다. 밥알의 경도는 Indica 형으로 갈수록 증가하였으며 부착성은 Japonica 형으로 갈수록 커졌다. 부착성/경도는 장립종에서 낮고 단립종과 중립종에서 높았다. 쌀전분의 가용성 아밀로즈 함량은 취반미의 경도와 정의 상관관계를 부착성과는 부의 상관관계를 나타내었다. 그러나 불용성 아밀로

즈는 밥의 조직감에 영향을 미치지 않았다. 밥의 Retort pouch 가공시 고신공(75cmHg) 포장쌀밥이 부착성/견고성 비율은 컸으나 저진공(30cmHg) 포장쌀밥보다 부착성이 지나치게 크게 증가하였다[115]. 이외에도 일반계 및 다수계 쌀밥의 조직감[116, 117], 즉석미반의 제조법에 따른 조직감 비교[118-120], 쌀의 저장조건에 따른 쌀밥의 조직감 변화[121], 쌀의 품종별 더운밥과 찬밥의 조직감 비교[122], 떡의 종류와 저장기간에 대한 조직감 비교[123], 제조방법이 백설기의 조직감에 미치는 영향[124, 125], 찰쌀 첨가량에 따른 백편조직감 변화[126], 원료찰쌀의 수침시간과 유과의 조직감에 관한 연구[128, 129] 등 많은 논문들이 보고되어 있다.

류 등[130]은 쌀가루를 자가발열형 single screw extruder 로 가공할 때 수분함량(17-28%)과 입자크기(18-60 mesh 와 60-100 mesh)에 의한 영향을 조사하였다. 수분함량과 입자크기가 감소함에 따라 팽화율은 증가하였으며 extrudate 의 절단강도는 감소하였으며 기공의 크기는 균일하여 졌다. Extrudate 분말수용액(2% in 0.1 N KOH)의 겔보기점도는 원료의 수분함량이 증가함에 따라 증가하였다. 원료의 수분이 감소함에 따라 일부의 쌀전분은 호정화되는 것으로 판단되었다. 압출성형시 원료의 수분함량(15-25%)이 낮을수록 팽화율이 커졌으며 수분함량이 증가되면 호화도, 가밀도 및 절단강도가 증가하였다[131]. 또한 원료 수분함량이 증가할수록 extrudate 미분 수용액의 점도는 증가하였으며 의가소성 유동특성을 보여주었다.

김 등[132]은 texturometer 를 이용하여 보리의 취반속도를 연구하였다. 취반속도는 1차 반응식으로 표시될 수 있었으며 취반 활성화에너지는 100°C 이하에서는 약 16kcal/mole, 100°C 이상에서는 95kcal/mole 이었다. 반응속도의 차이로부터 100°C 이하에서는 보리의 성분 및 물에 의한 화학반응이, 100°C 이상에서는 물의 확산속도가 취반속도를 제한한다고 해석하였다.

이 등[133]은 대두와 호주산 루핀콩의 삶음과정 중의 조직연화속도를 실험실에서 제작한 침투시험계기로 측정비교한 결과 두 가지 모두 1차 반응속도를 따랐으며 종실내의 유세포벽이 두꺼운 루우핀콩의 연화속도가 훨씬 느림을 보여주었다. Arrhenius 식에 적용된 연화 활성화에너지는 루우핀콩 11.2kcal/g mole, 대두 14.96kcal/g mole 이었다. 이 등[134]은 가열증자에 의한 감자의 연화속도는 1차 속도식으로 나타낼 수 있었으며 Z값은 약 20°C였다. 관능적으로 평가한 증자 원료점에 해당하는 계산치는 7분이었으며 이 점은 침

투시험에서 항복점에서의 최대 침투력이 평형에 도달하는 점과 거의 일치하였다. 가열에 의하여 분질감자는 점질감자보다 불용성 펙틴의 감소, 수용성 펙틴의 증가, 총 펙틴의 감소가 뚜렷하였으며 이것은 조리된 분질감자의 견고성이 점질감자보다 낮은 결과와 일치하였다[135]. 분질감자는 점질감자에 비하여 전분입자의 크기가 작았으며 amylose 함량이 높았으나 물결합능력, 팽윤력, 광투과도, Amylograph 최고점도는 낮았다.

목 등[136]은 보리후레이크의 crispness와 brittleness를 Bend test와 침투시험으로 평가하였다. 수분활성도 $A_w=0$ 일 때 최소 파열력과 최소 섬유상 변형력을 나타내었으며 이들의 최대치는 $A_w=0.67$ 에서 나타났다. 관능검사 결과와 잘 일치하는 것은 crispness와 1/파열변형력, brittleness와는 1/변형력이었으며 Bend test 보다는 침투시험에서 더 잘 일치하였다. 크랙카의 경우에도 저장습도가 증가함에 따라 crispness의 감소가 뚜렷이 나타났으며 그 영향은 1주일 이내에 심하게 나타났다[137].

장 등[138]은 분리대두단백질과 감자전분을 일정비율로 조합하여 일정 수분농도에서 가열하여 만든 모형식품 젤의 조직감 지표들을 2회반복 압착시험을 통하여 조사하였다. 이[139]는 dynamic mechanical 법에 의한 젤의 rigidity 변화를 측정하여 우유의 젤화과정에 있어서 우유의 농도, 효소의 농도 및 온도 등의 반응속도에 미치는 영향을 검토하였는데 응고속도는 효소의 농도와 거의 무관하며, 우유농도가 증가할수록 약간 감소하였다고 하였다.

변 등[140]은 양갱의 점탄성을 압착변형에 대한 완화시험을 통하여 분석하였다. 40°C를 전이점으로 하여 저온과 고온의 영역에서 현저한 점탄성의 차이를 나타내었다. 40°C이하에서 완화된 시간의 온도의존성으로부터 구한 활성화에너지는 2.54 kcal/g mole로서 젤라틴 젤의 6.0-10 kcal/g mole 이나 한천 젤의 4.0-6.0 kcal/g mole 보다 훨씬 적은 값을 보였다. 변형력 완화탄성률과 시간 및 온도 사이에는 Ferry의 time-temperature superposition principle이 적용되었다. 또한 고형물 농도가 증가함에 따라 초기 변형력과 탄성률도 비례적으로 증가하나 완화시간과 점성은 70 Brix에서 급격히 감소하여 양갱의 최적 농축도는 70 Brix임을 나타내었다. 초기탄성률(ϵ_0)과 농도(C) 사이에는 $\epsilon_0=5.773 \times 10^5 \cdot C^{0.6}$ 의 관계식이 성립되었다. 일반적으로 초기탄성률은 농도의 약 2승에 비례하는 것으로 알려져 있으나 이들 시험에서는 상당히 높게 계산되어 농도의존성이 큰 것으로 평가되었다. 심리적 경도와 기계적 경도와의

상관관계를 나타내는 Nutting-Scott Blair 식($\phi = \sigma r^{-1} t^k$)에 적용하였을 때 $\log \phi$ 는 1.84, $k=0.237$ 로서 Scott Blair가 발표한 여러 가지 식품에 대한 경도값보다 낮은 값을 나타내었다.

변 등[141]은 물성적 특성을 다르게 제조한 휴잉겔을 저차단계별로 초기에 puncture test, 후기에 penetration test 및 compression test를 하여 기계적 물성을 측정하였고 같은 시료로 관능적 조직감과 기호도를 평가하였다. 기계적 물성에서 초기의 puncture work와 puncture force, 중기의 hardness와 work, 후기의 hardness와 work 및 adhesion work와 adhesion force는 각각 유사한 물성으로 해석되었으며, 후기의 힘-거리 곡선에서 얻어진 yield force와 slope는 hardness와, springiness와 adhesion force는 slope와 상관관계가 높았다[142, 143].

이 등[144]은 수분, 대두유, Na-caseinate, 분리대두단백, 옥수수전분, 젖산 및 disodium phosphate를 주원료로 만든 imitation 치즈의 조직감 특성을 반응표면분석에 의하여 요인간 상호작용을 분석하였다. Imitation cheese의 조직감 형성에는 각 원료가 1차적 영향 뿐만 아니라 2차적 영향과 원료 서로간의 교호작용의 영향도 매우 큰 것으로 나타났다. 전체적으로 imitation cheese의 조직감 특성에는 Na-caseinate와 젖산/인산염의 영향이 특히 큰 것으로 분석되었다. 이 등[145]도 겔형태의 인삼젤리제조에 사용되는 원료가 조직감 특성에 미치는 영향을 반응표면분석으로 조사하였다. 제품의 견고성에 미치는 영향을 회귀방정식($R^2=0.866$)으로 나타내었으며 두 가지 원료의 조합이 견고성에 미치는 경향을 등고선 그림으로 표시하였다. 1차적인 영향은 구성성분 중 포도당시럽>젤라틴>설탕>수분>구연산 순이었으며, 이 중 수분과 포도당시럽의 경우에는 교호작용에 의한 영향도 매우 큰 것으로 나타났다.

이외에도 사과의 hemicellulose에서 알카리 분획된 섬유소들의 첨가가 Ca-pectate 젤의 조직감에 미치는 영향[146], 감귤류의 과피내의 pectinesterase 작용에 의한 methoxyl 함량이 펙틴젤의 조직감에 미치는 영향[147], 국내산 대두와 수입대두로부터 만든 두부의 조직감 비교[148], 대두 및 탈지 대두분의 혼합비율을 달리하여 만든 두부의 조직감 비교[149], 도토리묵의 조직감[150], 매자과의 재료배합이 조직감에 미치는 영향[151], 밤초의 조직감[152], 앵도편의 조직감[153], 약과의 조직감[154], 조직콩단백의 첨가가 쇠고기 완자의 조직감에 미치는 영향[155], 구이방법에 따른 입연

수어의 조직감 변화[156] 등 많은 연구보고들이 있다.

8. 생체조직

세포벽과 세포원형질의 기본세포구조로 구성된 생체 조직의 조직감에는 점탄성 이외에 점액성이 중요하며 이에 대한 적절한 기계적 측정법이 확립되어있지 못하다. 생체식품의 물성 중에서 김치와 이들의 원료로 사용되는 배추, 무우에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. 이 등[157]은 배추잎의 등속 절단시험에서 3개의 특징적인 peak를 얻었는데 이것을 미세구조와 비교하여 양쪽 표피부분과 내부 유관속 부위의 절단력을 구분하였다. 이들 절단 peak들은 소금절임과 데침에 의하여 특징적으로 변화하였다. 소금절임에 의한 절단력의 증가를 세포벽의 collapse에 의한 절단세포벽면수의 증가로 해석하였다. 이 등[158]은 이러한 결과를 수분함량과 수용성 펙틴함량의 감소와 관계가 있다고 보고하였다. 배추잎의 절단강도는 절임배추의 견고성과 씹힘성을 나타낼 수 있었으며 압착시험이나 침투시험의 정도와 파열력은 가열데침에 의한 배추잎의 조직감 변화를 나타내는 지표로 사용할 수 있다고 판단되었다 [159, 160]. 우 등[161]은 김치의 숙성기간이 경과하는 동안 절단력은 증가하였으며 저염김치가 고염김치보다 절단력이 낮았다고 보고하였다. 배추조직의 열에 의한 연화속도는 1차식으로 표현될 수 있었다[160]. 80°C 이하에서 데치기할 경우 생배추 및 절임배추의 연화 활성화에너지는 각각 1.4 및 2.8 kcal/mole 이었으며 80°C 이상에서는 각각 31.5 및 42.4 kcal/mole 이었다.

무우김치의 숙성 중 섬유소 및 hemicellulose 함량은 크게 변화되지 않았으나 수용성 펙틴은 소량 증가하나 protopectin은 감소경향을 보였으며 이것은 김치의 저장 중 견도와 brittleness의 감소와 높은 상관관계를 보였다[162].

김 등[163]은 감의 조직감을 압착시험의 힘-거리 곡선으로부터 분석하였다. 감은 25°C에서 가장 쉽게 연화되었으며 15°C에서 연화가 억제되었다. 연화가 진행됨에 따라 부착성은 증가하나 응집성과 씹성은 감소하였다.

이 등[3]은 근채류(감자, 고구마, 당근)의 탈피조직감 중에 일어나는 표면조직감 변화, 특히 알카리 침지에 의한 연화현상은 세포내 전분입자의 호화현상에 기인함을 현미경 관찰로 확인하였다. 김 등[2]에 의하면 강낭콩 고물을 구성하는 분리세포는 구형에 가까웠고 잘 분

리되나 대두 고물의 경우에는 긴자루형태의 세포가 잘 분리되지 않은 덩어리 상태로 존재하며 펙틴질 함량이 높았다. 이러한 구조적 차이는 대두고물이 비교적 높은 부착성과 응집성을 가지고 있는 것과 관련 지을 수 있었다.

정 등[164]은 broiler의 가슴근육과 다리근육을 30°C와 2°C에 저장하면서 성분변화와 침투시험으로 측정된 근육강도를 비교하였다. 다리근육의 견도는 가슴근육보다 높았으며 다리근육은 도살 후 20시간까지 사후조직이 큰 폭으로 일어났으나 가슴근육은 8시간 이후에는 큰 변화를 보이지 않았으며 이 변화는 저온저장에서 더욱 뚜렷하였다. 동물조직에 관한 유변학적 연구는 그리 많지 않으며 권 등[165]의 냉동고기질의 탄력성에 관한 연구와 이 등[166]의 가자미 식해의 발효과정에서 일어나는 육질의 연화도를 압착시험으로 평가한 보고서 등이 있다.

9. 결 론

식품유변학에 대한 국내연구는 지난 20년간 크게 신장되었으며 특히 전분에 관한 연구와 밥, 국수류의 조직감에 관한 연구는 상당히 이루어져 있다. 그러나 단백질, 지방질과 생체조직에 관한 유변학적 연구는 아직 미미한 상태이다. 앞으로 생물고분자물질의 다양한 용도개발을 위하여는 이 분야의 연구가 더욱 활성화될 필요가 있으며 단순한 생체물질의 유변성 규명의 범위를 벗어나 물질간 상호작용에 의한 물성변화 및 조정에 관한 연구로 확대될 필요가 있다.

식품유변학에 관한 국내연구 논문들을 주로 한국식품과학회지, 한국영양식량학회지, 한국조리과학회지, 대한가정학회지, 한국농화학회지를 중심으로 1989년도까지 발표된 것을 조사 정리하였다. 이외의 국내외 학회지 및 대학전문지에 발표된 것은 한국식품연구문헌 총람 1-4권에 분야별로 정리된 것에서 찾아보려고 노력하였다. 저자의 좁은 시선으로 인하여 본 고에서 누락된 연구논문이 많이 있을 것으로 염려되며 좀더 완벽한 문헌조사가 이루어지기를 바라는 바이다.

사 사

본 논문을 검토하시고 좋은 조언을 주신 연세대학교 식품공학과 변유량 교수님께 심심한 감사를 표하는 바이다.

참고문헌

1. 이철호, 이진근, 채수규, 박봉상, 식품공업품질관리론, 유리문화사, p.44, 1984.
2. 김정교, 도꾸지와타나베, 이철호, 강낭콩 고물과 대두고물의 미세구조와 조직감에 대한 연구, 한국식품과학회지, **19**(2), 164-170(1987).
3. 이철호, 이순우, 근채류(감자, 고구마, 당근)의 탈피조작, 한국식품과학회지, **16**(3), 329-335(1984).
4. 김영애, 김신민, 정난희, 품종별 한국산 감자의 특성비교(1), 한국조리과학회지, **5**(1), 53-62(1989).
5. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규, 쌀전분의 현탁액과 호화액의 유동거동, 한국식품과학회지, **16**(1), 29-36(1984).
6. 김 관, 윤한교, 김성곤, 이신영, 칩전분 현탁액의 리올로지적 성질, 한국식품과학회지, **18**(2), 114-117(1986).
7. 이신영, 최준복, 천병익, 보리전분 수용액계의 리올로지적 연구, 한국식품과학회지, **17**(3), 131-135(1985).
8. 김일환, 김성곤, 이신영 : 인산염이 쌀전분 현탁액의 리올로지에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **19**(3), 239-243(1987).
9. 김용휘, 김형수, 보리전분의 특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, **8**(42), 30-35(1976).
10. 김성곤, 함태룡, 이양희, 비·엘 디포로니아, 통일 및 팔달 쌀전분의 이화학적 성질에 관한 연구, 한국식품과학회지, **10**(2), 157-161(1978).
11. 김영숙, 김주봉, 이신영, 변유량, 쌀전분 희석 호화액의 유동학적 특성, 한국식품과학회지, **16**(1), 11-16(1984).
12. 송변호, 김성곤, 이규한, 변유량, 이신영, 일반계 및 다수계 참쌀전분의 점성 특성, 한국식품과학회지, **17**(2), 107-113(1985).
13. 이승교, 안홍석, 감자품종과 농도에 따른 수우프의 점도변화 및 식미기호에 관한 연구, 한국조리과학회지, **1**(1), 45-52(1985).
14. 손경희, 문수재, 젤상 식품에 관한 실험조리적 검토, 연세논총, **15**, 191(1978).
15. 김성곤, 이신영, 박용곤, 수분-열처리한 감자 및 고구마전분의 호화특성, 한국식품과학회지, **19**(5), 435-440(1987).
16. 김성곤, 함태룡, 권태완, B.L. D'Appolonia, 메밀전분의 이화학적 성질에 관한 연구, **9**(2), 138-143(1977).
17. 조연화, 장정옥, 구성자, 동부의 이화학적 특성과 동부묵의 Rheology 에 대하여, 한국조리과학회지, **3**(1), 54-63(1987).
18. 구성자, 도토리묵의 Rheological properties 에 관한 연구, 대한가정학회지, **22**(1), 99-106(1984).
19. 조재선, 김성곤, 이계호, 권태완, 고사리(*Pteridium quilinum*) 뿌리전분의 이화학적 특성에 관한 연구, 제2보, 전분의 물리적 특성, 한국식품과학회지, **13**(2), 133-141(1981).
20. 허 준, 김성곤, 생강전분과 옥수수교전분의 이화학적 성질비교, 한국식품과학회지, **16**(2), 201-205(1984).
21. 목철균, 이상효, 남영중, 민병용, 보리전분의 호화에 관한 속도론적 연구, 한국식품과학회지, **17**(6), 409-414(1985).
22. 이신영, 조형용, 김성곤, 이상규, 변유량, 쌀전분 호화 중의 리올로지 특성, 한국식품과학회지, **16**(3), 273-278(1984).
23. 최홍식, 김성곤, 변유량, 권태완, 한국식품과학회지, **10**(1) 52(1978).
24. 박홍선, 김성곤, 변유량, 이신영, 밤전분 수용액의 리올로지 특성, 한국식품과학회지, **21**(6), 815-819(1989).
25. 박홍현, 이규한, 김성곤, 수분열처리에 의한 밤전분의 물리화학적 성질의 변화, 한국식품과학회지, **18**, 437(1986).
26. 공재열, 김민용, DSC 에 의한 전분의 호화특성에 관한 연구, 한국영양식량학회지, **17**(2), 144-148(1988).
27. 박홍현, 이규한, 김성곤, 수분-열처리에 의한 밤전분의 물리화학적 성질의 변화, 한국식품과학회지, **18**(6), 437-442(1986).
28. 김성곤, 박홍현, 정혜선, 김 관, 한국농화학회지, **26**, 266(1983).
29. 강길진, 박양균, 노일환, 김 관, 김성곤, 수분-열처리에 따른 쌀보리전분의 물리화학적 성질, 한국식품과학회지, **19**(2), 97-101(1987).
30. 김 관, 윤한교, 김성곤, 한국농화학회지, **28**, 42(1985).
31. 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉, 밤전분 호화액의 유동특성, 한국식품과학회지, **16**(3), 314-318(1984).
32. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량, 쌀전분 호화액의 텍스토포피 성질, 한국식품과학회지, **16**(4), 451-456(1984).
33. 김순미, 김광옥, 김성곤, 탈지가 아끼바레와 밀양 30호 쌀의 녹말호화 및 조리특성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **18**(5), 393-397(1986).

34. 박양균, 노일환, 김 관, 김성곤, 이신영, 쌀보리 전분 호화액의 리올로지 특성, 한국식품과학회지, **18**(4), 278-282(1986).
35. 김 관, 윤한교, 김성곤, 이신영, 칩전분 호화액의 리올로지적 성질, 한국식품과학회지, **19**(4), 300-304(1987).
36. 김남수, 남영중, 국내산 조전분 호화액의 유동특성, 한국식품과학회지, **21**(6), 742-748(1989).
37. 최영택, 이신영, 오두환, 탈지 및 지방산 첨가가 쌀전분의 리올로지 특성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **20**(6), 850-855(1988).
38. 최인숙, 이서래, 지방질 성분이 보리가루의 Amylograph 특성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **16**(1), 99-107(1984).
39. 이현덕, 이철호, 호주산 밀의 제면특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, **17**(3), 163-169(1985).
40. 이철호, 이현덕, 권오훈, 장학길, 호주산 밀의 제면특성과 밀가루의 물리화학적 연구, 한국농화학회지, **27**(1), 21-28(1984).
41. 박재영, 구성자, 도토리 전분의 Tannin 성분과 물리적 특성에 관한 연구, Gallic acid 함량과 점도특성, 한국영양학회지, **17**(1), 21-28(1984).
42. 김일환, 김성곤, 이신영, 인산염이 쌀전분 호화액의 리올로지에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **19**(4), 366-370(1987).
43. 강길진, 김 관, 김성곤, 박양균, 이신영, 입자별 감자전분 호화액의 리올로지 특성, 한국식품과학회지, **21**(6), 755-759(1989).
44. 손경희, 윤규순, 동부와 녹두전분 Gel 및 Paste의 Rheological Properties, 대한가정학회지, **26**(3), 93-102(1988).
45. 구성자, 장정옥, 노부꼬나까하마, 미찌고고바야시, 도토리 전분 목의 Rheology 특성과 Tannin 성분의 영향에 대하여, 대한가정학회지, **23**(1), 33-47(1985).
46. 김영아, 이혜수, 응력완화시험에 의한 도토리목의 물리적 특성, 한국조리과학회지, **1**(1), 53-56(1985).
47. 김영아, 이혜수, 응력완화시험에 의한 도토리전분 켈의 물성론적 모형분석, 한국조리과학회지, **5**(1), 49-52(1989).
48. 김영아, 이혜수, 도토리목의 물리적 특성, Puncture test 와 Back Extrusion test, 한국식품과학회지, **17**(6), 469-473(1985).
49. 윤규순, 손경희, 압착률에 따른 전분 gel의 texture profile parameter의 변화, 대한가정학회지, **26**(3), 103-108(1988).
50. 이신영, 김광중, 이상규, 보리전분 켈의 역학적 성질, 한국식품과학회지, **18**(3), 215-220(1986).
51. 최홍식, H.E. Snyder, 권태완, 겔보리와 쌀보리의 세분특성 및 점조성, 한국식품과학회지, **7**(2), 85-90(1975).
52. 이상효, 한 역, 이현유, 김성수, 정동효, 아밀로오스 함량별 쌀전분의 이화학적 성질, 한국식품과학회지, **21**(6), 766-771(1989).
53. I.H. Kim and S.K. Kim, Effects of phosphates on firming rate of cooked rice, *J. Food Sci.*, **49**, 660-661.
54. I.H. Kim and S.K. Kim, Effects of phosphate differing in P₂O₅ contents on firming rate of Cooked rice, *Cereal Chemistry*, **61**(2), 91-94.
55. 김성곤, 변유량, 실온 및 고온저장시 쌀밥의 노화속도, 한국식품과학회지, **14**(1), 80-81(1982).
56. 이혜정, 이영근, 구성자, 홍성희, 이철호, 약식의 제조방법과 저장온도 및 시간에 따른 조직감의 변화, 한국식문화학회지, **3**(4), 391-396(1988).
57. 강병화의, 생물생산학, 고려대학교 출판부, 1986, p.306.
58. 이철호, 김정교, 루우핀과 대두의 미세구조에 관한 비교연구, 한국식품과학회지, **17**(6), 454-459(1985).
59. C.H. Lee, C.S. Kim and H.C. Yang, Microstructure and hydrodynamic properties of soybean protein bodies in solution, *J. Food Sci.*, **48**(3), 695-702(1983).
60. 김영숙, 황재관, 조은경, 이신영, 변유량, 변형대두단백질의 기능특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, **17**(5), 383-388(1985).
61. 김영옥, 이철호, 루우핀 콩단백질 농축물(LPC)의 식품기능성, 한국식품과학회지, **19**(6), 499-505(1987).
62. 이무하, 김양하, 생돈피에서 제조된 미세결정성 콜라겐의 기능적 성질, 한국식품과학회지, **19**(5), 409-413(1987).
63. 변시명, 김철진, 대두바에서 추출한 분리대두단백의 식품학적 성질, 한국식품과학회지, **9**(2), 123-130(1977).
64. 이경원, 박은순, 윤 선, 대두단백 11S와 7S 부획의 켈 형성특성 및 이를 이용한 커드와 치즈의 Texture에 관한 연구, 한국식품과학회지, **21**(3), 338-344(1989).
65. 홍성희, 이철호, 열변성 글루텐의 점탄성 측정에 관한 연구, 한국식품과학회지, **20**(2), 148-156(1988).
66. 조남지, 허덕균, 김성곤, 아스코르브산과 시스테인이 밀가루의 리올로지 성질과 노-타임 반죽법에 미치는 영향, 한국식품과학회지, **21**(6), 800-807(1989).

67. 박춘관, 김기숙, 윤서석, 장주익, 글루텐 인조육의 품질특성에 영향을 주는 요인과 물성에 관한 연구, 1보, 품질특성에 영향을 주는 요인, 한국조리과학회지, 4(1), 9-16(1988).
68. 박춘관, 김기숙, 장주익, 글루텐 인조육의 품질특성에 영향을 주는 요인과 물성에 관한 연구, 2보, 각 요인이 품질특성에 미치는 영향, 한국조리과학회지, 4(2), 11-19(1988).
69. 문수재, 손성희, 김혜경, Gelatin 식품의 조리학적 연구, 대한가정학회지, 16(3), 47-55(1978).
70. 변시명, 권종훈, 김철진, 이양희, 대두단백섬유의 제조에 관한 연구, 한국식품과학회지, 10(2), 143-150(1978).
71. 한 익, 이상효, 이현유, 오상룡, 이철호, 압출성형기의 스크류 회전속도와 원료 수분함량이 대두단백질의 조직화에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 21(6), 772-779(1989).
72. 한 익, 박용호, 이상효, 이현유, 민병용, 쌀과 분리대두단백 혼합에 따른 조직화 특성, 한국식품과학회지, 21(6), 780-789(1989).
73. 신애자, 김동훈, 대두유의 가열산화 중의 특성변화, 제 1보, 가열산화 중의 대두유의 일부 화학적 및 물리적 성질의 변화, 한국식품과학회지, 14(3), 257-264(1982).
74. 신애자, 김동훈, 가열산화 중의 콩기름의 유동학적 연구, 한국식품과학회지, 17(3), 141-145(1985).
75. 이혜란, 신호선, 한국산 마아가린의 물리적 및 화학적 성질에 관한 연구, 한국식품과학회지, 4(3), 187-193(1972).
76. 변유량, 이신영, 이상규, 유주현, 권윤중, 고추장의 유동특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, 12(1), 18-23(1980).
77. 김석선, 장규섭, 윤한표, 이상규, 이신영, 동결분말 고추장의 재수화시 리올로지 특성, 한국식품과학회지, 19(2), 81-88(1987).
78. 김갑수, 이범수, 이상규, 이신영, 농후 고추장-물 현탁액의 리올로지연구, 한국식품과학회지, 21(6), 826-831(1989).
79. 하성권, 최용희, 토마토케첩 현탁액의 리올로지 특성과 점성예측모델, 한국식품과학회지, 20(6), 812-819(1988).
80. 이영화, 마요네즈의 점성에 관한 연구, 한국영양식량학회지, 15(2), 119-127(1986).
81. 배효미, 오명숙, 마요네즈의 유동특성과 유화안정성에 미치는 초산농도의 영향, 한국조리과학회지, 5(1), 9-13(1989).
82. 김도연, 유명식, 변유량, 고형성분의 농도와 입도가 액상초코렛의 유동특성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 21(1), 75-79(1989).
83. 김우정, 김나미, 김동희, 콩우유의 점성과 영향인자, 한국식품과학회지, 16(4), 423-428(1984).
84. 성현순, 김나미, 김우정, 추출조건에 따른 홍삼엑기스의 물리적 성질의 변화, 한국식품과학회지, 18(3), 241-244(1986).
85. 김창식, 장학길, 하덕모, 윤주익, 신호선, 한국산 밀의 Mixograph 특성과 제빵적성과의 관계, 한국식품과학회지, 16(2), 223-227(1984).
86. 김성기, 경질 및 연질 밀가루의 이화학적 성질연구, 한국식품과학회지, 11(1), 13-17(1979).
87. 신현국, 장학길, 윤인수, 국산소맥 및 소맥분의 이화학적 특성, 한국식품과학회지, 10(4), 376-379(1978).
88. 김성근, 최홍식, 권태완, 비·엘·다포로니아, 피·이·마스톤, 밀-쌀보리 복합분의 물리적 성질 및 제빵시험, 한국식품과학회지, 10(1), 11-15(1978).
89. 이 철, 배송환, 양한철, 쌀보리 및 쌀보리-밀 복합분의 제빵적성에 관한 연구, 제 2보, 쌀보리 및 복합분의 물리적 성질과 첨가제에 의한 빵의 부피 변화, 한국식품과학회지, 15(2), 112-117(1983).
90. 김우정, 김동희, 오훈일, 용매처리에 의한 건조된 두유비지의 이화학적 성질에 관한 연구, 한국식품과학회지, 16(3), 261-266(1984).
91. 윤 선, 박희옥, 호혜숙, Lipoxygenase가 제빵시 반죽의 물성에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 15(1), 62-65(1983).
92. 최홍식, 유정희, 권태완, 보리-밀 및 보리-콩 복합분의 제면성 및 제품특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, 8(4), 236-241(1976).
93. 유정식, 최홍식, 권태완, 보리-밀 복합분의 라면 제조 및 제품특성에 관하여, 한국식품과학회지, 9(1), 81-83(1977).
94. 이춘영, 김성근, P.E. Marston, 쌀 및 밀 복합분의 물리적 성질 및 제빵시험, 한국식품과학회지, 11(2), 99-104(1979).
95. 신현국, 배성호, 박무영, 한국산 Triticale의 식품이용에 관한 연구, 한국식품과학회지, 12(1), 59-65(1981).
96. 한 익, 김정상, 이현유, 김영명, 신동화, 드럼건조에 의한 알파미분의 물리화학적 특성, 한국식품과학회지, 20(3), 392-398(1988).
97. 장경정, 이서래, 국산원료를 활용한 복합분 및 제품개발에 관한 연구, 제 4보, 보리 및 고구마 복합분을 이용한 면류의 Texture 특성, 한국식품과학회지, 6(2), 65-69(1974).
98. 김형숙, 이관영, 김성기, 이서래, 국산원료를 활용한 복합분 및 제품개발에 관한 연구, 제 1보, 원료분의 이화학적 성상 및 영양시험, 한국식품과학

- 회지, 5(1), 6-15(1973).
99. 양헌걸, 석경숙, 임무현, 면류가공원료에 관한 검토, 제1보, 습윤-건조분 혼합분의 제면성 및 제품특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, 14(2), 146-150(1982).
 100. 장유경, 이혜수, 시판되는 국산 베이킹파우더의 품질에 관한 연구, 한국식품과학회지, 6(4), 214-218(1974).
 101. 장학길, 유인수, 한국산과 미국산 소맥의 가공적성비교, 한국식품과학회지, 21(4), 521-527(1989).
 102. 이 철, 한국산 밀품종 조광의 물리적 성질과 전 밀빵제조에 관한 연구, 한국식품과학회지, 15(3), 215-219(1983).
 103. 이경혜, 김형수, 쌀가루와 말가루 혼합분의 제면성 시험, 한국식품과학회지, 13(1), 6-14(1981).
 104. 이철호, 김철원, 한국재래식 국수류의 유체변형성에 관한 연구, 제1보, 밀국수와 냉면국수의 점탄성, 한국식품과학회지, 15(2), 183-188(1983).
 105. 이철호, 김철원, 한국재래식 국수류의 유체변형성에 관한 연구, 제2보, 삶음시간과 저장기간에 따른 기계적 모델 상수들의 변화, 한국식품과학회지, 15(3), 295-301(1983).
 106. 이철호, 김철원, *ibid*, 제3보, 기계적 모델 파라미터와 관능적 품질 평가와의 상관관계, 한국식품과학회지, 15(3) 302-306(1983).
 107. 권오훈, 이철호, 전분, 식염 및 알카리 첨가제가 냉면의 기계적 성질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 16(2), 175-178(1984).
 108. 유명승, 이철호, 삶은 국수의 조직감 평가를 위한 충밀림 압출실험, 한국식품과학회지, 19(2), 171-175(1987).
 109. C.H. Lee, P.J. Gore, H.D. Lee, B.S. Yoo, and S. H. Hong, Utilization of Australian wheat for Korean style dried noodle making, *J. Cereal Sci.*, 6, 283-297(1987).
 110. 이철호, 박상희, 한국인의 조직감 표현용어에 관한 연구, 한국식품과학회지, 14(1), 21-29(1982).
 111. 이영화, 이관영, 이서래, Texturometer에 의한 성장별 식품군의 Texture 특성, 한국식품과학회지, 6(1), 42-54(1974).
 112. 이병영, 윤인화, 이와사기테추야, 카모이이쿠제, 오바라테추지로, 한국산 미곡, 통일계와 일반계의 취반특성 및 Texture에 관한 연구, 한국식품과학회지, 21(5), 613-618(1989).
 113. 조은경, 변유량, 김성곤, 유주현, 쌀의 수화 및 취반특성에 관한 속도론적 연구, 한국식품과학회지, 12(4), 285-291(1980).
 114. 조은수, 안승효, 밥의 Texture가 쌀아밀로오스의 분자량분포에 관한 연구, 한국식품과학회지, 21(4), 486-491(1989).
 115. 최광수, 김창식, Retort pouch 쌀밥의 가열살균 시 피우치 포장내의 진공도가 열전달 및 물성에 미치는 영향, 한국영양식량학회지, 11(4), 17-24(1980).
 116. 황보정숙, 이관영, 정동효, 이서래, 통일미와 진홍미의 취반기호 특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, 7(4), 212-220(1975).
 117. 홍영희, 안홍석, 이승교, 전승규, 일반계 및 다수계 쌀의 성질 및 밥의 Texture 특성, 한국식품과학회지, 20(1), 59-62(1988).
 118. 이영춘, 이동우, 건조 Instant rice의 제조방법이 제품의 품질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 21(2) 294-299(1989).
 119. 김동우, 조광연, 배정설, 제법에 따른 즉석미반의 이화학적 성질, 한국영양식량학회, 12(3), 230-235(1983).
 120. 김정상, 이현유, 김영명, 신동화, 취반방법이 즉석 쌀밥의 품질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 19(6), 480-485(1987).
 121. 김미나, 황인경, 온도를 달리하여 저장한 쌀의 관능적 특성 및 기계적 특성의 변화, 한국조리과학회지, 3(2), 50-58(1987).
 122. 장인영, 황인경, 품종 및 조리조건을 달리하여 취반한 쌀의 이화학적 특성 및 밥맛의 비교(II)-더운밥과 찬밥의 관능적 기계적 특성에 관하여, 한국조리과학회지, 4(2), 51-56(1988).
 123. 김중근, 한국 고유 떡류의 보존성에 관한 연구, 대한가정학회지, 14(1), 149(1976).
 124. 유애령, 이효지, 당의 종류와 물의 첨가량에 따른 백설기의 물리적 특성에 관한 연구, 한국영양식량학회지, 13(4), 381-388(1984).
 125. 윤서석, 안명숙, 백설기의 경도에 관한 연구(1), 조도에 의한 경도, 대한가정학회지, 13(3), 65-75(1975).
 126. 이윤경, 이효지, 찰쌀 첨가량에 따른 백편의 조직감 특성의 변화, 한국조리과학회지, 2(2), 43-54(1986).
 127. 이인의, 이혜숙, 김성곤, 찰쌀떡의 저장 중 Texture 변화, 한국식품과학회지, 15(4), 379-383(1983).
 128. 양희천, 홍재식, 김중만, 부수계 제조에 관한 연구, 제1보, 수침공정이 원료찰쌀의 점도와 팽화력에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 14(2), 141-145(1982).

129. 김대용, 상성과 산사부 제조에 관한 실험조리적 연구(1), 대한가정학회지, **19**(3), 63-68(1981).
130. 류기형, 이철호, 쌀가루의 수분함량과 입자크기에 따른 Extrudate의 물성학적 성질, 한국식품과학회지, **20**(4), 463-469(1988).
131. 한 언, 이상호, 이현유, 김영명, 민병용, 압출 성형에 의한 알파미분의 물리화학적 특성, 한국식품과학회지, **20**(4), 470-475(1988).
132. 김혜란, 김성곤, 최홍식, 쌀보리 및 겉보리 취반에 대한 역학적 연구, 한국식품과학회지, **12**(2), 122-125(1980).
133. 이철호, 김찬식, 오성훈, 대두와 무우편콩의 수분침투속도와 가열에 의한 조직연화속도, 고려대학교 농림논집, **25**, 179-188(1985).
134. 이동선, 변유량, 권윤중, 신동화, 감자의 증자중 텍스처의 변화, 한국식품과학회지, **14**(1) 16-20(1982).
135. 이진희, 이혜수, 전분과 펙틴질이 감자의 텍스처에 미치는 영향, 한국조리과학회지, **5**(1), 43-47(1989).
136. 목철균, 이현유, 남영중, 서기봉, 보리 후레이크의 수분활성도가 Crispness와 Brittleness에 미치는 영향 및 품질수명의 결정, **13**(4), 289-298(1981).
137. 이후섭, 이서래, 크래카의 텍스처 특성에 미치는 저장습도의 영향, 한국식품과학회지, **20**(4), 553-557(1988).
138. 장규섭, 이성구, 장동일, 윤한교, 젤라틴화된 모형식품의 조직특성, 한국식품과학회지, **20**(3), 310-366(1988).
139. 이근태, 우유의 Gel 화에 관한 동력학적 연구, 한국수산학회지, **19**, 177(1986).
140. 변유량, 유주현, 전인선, 양갱의 물성에 관한 연구, 제1보, 양갱의 점탄성, 한국식품과학회지, **10**(3), 344-349(1978).
141. 변유량, 유명식, 이윤형, 추잉검의 텍스처, 기계적 물성과 관능적 특성, 한국식품과학회지, **16**(3), 303-308(1984).
142. 유명식, 이윤형, 변유량, 추잉검의 텍스처, 물성간의 상관관계와 기호도의 예측, 한국식품과학회지, **16**(3), 309-313(1984).
143. 이윤형, 유명식, 진홍승, 변유량, 추잉검의 저장중 물성변화, 한국식품과학회지, **17**(6), 460-468(1985).
144. 이철호, 손혜숙, 반응표면분석에 의한 Imitation Cheese의 조직감 형성, 한국식품과학회지, **17**(5), 361-370(1985).
145. 이형욱, 성현순, 서기봉, 반응표면 실험계획법에 의한 인삼젤리의 견고성에 미치는 각 성분의 영향, 한국식품과학회지, **18**(4), 259-263(1986).
146. 김영지, 김찬식, 사과의 Hemicellulose가 Ca-pectate gel 형성에 미치는 영향, 한국영양식량학회지, **17**(1), 13-17(1988).
147. 윤경희, 윤 선, 이명희, 감귤류 과피내의 pectin esterase 작용에 의한 low methoxyl plectin 조제 및 특성에 관한 연구, 한국식품과학회지, **12**(1), 43-45(1978).
148. 김상애, GDL 두부의 품질평가, 한국영양식량학회지, **13**(1), 9-14(1984).
149. 윤영미, 손경희, 두부의 구조 및 질감특성에 미치는 지방의 영향, 한국조리과학회지, **1**(1), 57-64(1985).
150. 김영아, 이혜수, 도토리묵의 물리적 성질, 한국식품과학회지, **17**(5), 345-349(1985).
151. 이효지, 전희정, 매과자의 재료배합에 따른 Texture 특성비교연구, 대한가정학회지, **16**(4), 43-50(1978).
152. 양호숙, 김종근, Syrup 농도에 따른 밤초의 Texture에 관한 연구, 대한가정학회지, **21**(3), 59-67(1983).
153. 유재영, 이효지, 재료배합에 따른 앵도편의 Texture 특성, 한국조리과학회지, **2**(1), 45-53(1986).
154. 이효지, 조신호, 이윤경, 정낙원, 집침시간이 약과의 기호 및 Texture에 미치는 영향, 한국조리과학회지, **2**(2), 62-67(1986).
155. 정낙원, 이효지, 조직 콩단백의 첨가가 쇠고기 완자의 기호 및 Texture에 미치는 영향, 한국조리과학회지, **1**(1), 65-73(1985).
156. 조순옥, 조신호, 이효지, 구이방법에 따른 임연수어 Texture 및 성분변화, 한국조리과학회지, **1**(1), 74-81(1985).
157. 이철호, 황인주, 김정교, 김치제조용 배추의 구조와 조직감 측정에 관한 연구, 한국식품과학회지, **20**(6), 742-748(1988).
158. 이희섭, 이철호, 이귀주, 배추의 염장과정 중의 성분변화와 조직감의 변화, 한국조리과학회지, **3**(1), 64-70(1987).
159. 이철호, 황인주, 절단시험과 압착시험에 의한 배추잎의 조직감 측정비교, 한국식품과학회지, **20**(6), 749-754(1988).
160. 최동원, 김주봉, 유명식, 변유량, 배추조직의 가열연화와 속도론적 연구, 한국식품과학회지, **19**(6), 515-519(1987).
161. 우경자, 고경희, 절임 정도에 따른 배추김치의 질감과 맛에 관한 연구, 한국조리과학회지, **5**(1), 31-41(1989).
162. 정귀화, 이혜수, 숙성기간에 따른 무우김치의 텍

- 스처와 섬유소, 헤미셀룰로오스, 펙틴질의 함량 변화, 한국조리과학회지, 2(2), 68-75(1986).
163. 김순동, 박명윤, 온도변화에 따른 감의 물성과 재포벽 다당류의 변화, 한국식품과학회지, 20(1), 95-99(1988).
164. 정병렬, 양철영, 계육의 무기물조성과 물리적 성질의 변화, 한국영양식량학회지, 11(4), 47-52(1982).
165. 김철수, 오광수, 이덕경, 부원료의 첨가량이 어묵의 Texture에 미치는 영향, 한국수산학회지, 18, 424(1985).
166. 이철호, 조태숙, 임무현, 강주희, 양한철, 가자미 식해에 관한 연구, 한국산업미생물학회지, 11(1), 53-58(1983).

저자약력

이 철 호

1945년 함남 함흥 출생
 고려대학교 농화학과 졸업
 덴마크 왕립농대 대학원(농학박사)
 미국 MIT 공대 연구원
 (현) 고려대학교 식품공학과 교수
 (현) 한국식품 Extrusion 연구회 회장
 저서 : 식품공업품질관리론, 식품 Extrusion 기술의 연구논문 100여편