

식용유 함량을 달리한 마요네즈의 유변학적 특성

이용준¹ · 김형진 · 윤정로*

¹제지앙 샤오왕즈 식품(주), 강릉원주대학교 식품가공유통학과

Rheological Characteristics of Mayonnaises with Different Oil Contents

Longjun Li¹, Hyungjin Kim, and Jungro Yoon*

¹Zhejiang Xiaowangzi Food Share Co., Ltd., China

Department of Food Processing and Distribution, Gangneung-Wonju National University

Abstract

The steady shear flow and the small-amplitude dynamic viscoelastic properties of mayonnaises with different oil contents (75-85%) have been studied over a wide range of shear rates and angular frequencies by using a cone-plate rheometer. Yield stress was determined by Casson model. The fluid consistency coefficient (K) and flow behavior index (n) were determined by Herschel-Bulkley model. The volume-weighted average diameters of oil droplets for mayonnaises with 75, 80 and 85% oil contents were 3.89, 3.04 and 3.15 μm , respectively. All of the mayonnaises had yield stress, shear-thinning behavior and thixotropy. These properties were fortified as the oil content in the mayonnaise increased. The magnitude of storage modulus and complex viscosity increased with the increase of oil contents. Over a wide range of angular frequencies, the value of storage modulus (G') for mayonnaise was much higher than that of loss modulus (G''). Both G' and G'' increased with increasing angular frequency but they had slight dependency on angular frequency. Parameters, n' and n'' were 0.10 and 0.20, respectively, meaning that frequency dependency of G' was smaller than that of G'' . The mayonnaise with higher oil content had more pronounced gel-like characteristics than that with lower oil content.

Key words: mayonnaise, steady shear flow properties, dynamic viscoelastic properties, yield stress, thixotropy

서 론

마요네즈는 반고체상의 수중유적형 유화식품으로 점탄성을 지니며(Rao, 1977), 유상인 식물성 식용유가 분산상으로 전체 중량의 65-85% 정도를 차지하고, 식초 등의 수상이 분산매로서 연속상이 되며, 유화제로서 난황이 사용되고 있다(Kim & Choi, 2002).

마요네즈의 유변학적 성질은 텍스처에 기인한 관능적성질 뿐만 아니라 품질관리를 위하여 매우 중요하다. 따라서 마요네즈의 유변학적 특성은 광범위하게 연구되어져 왔다. 이 중에는 점조도계수, 유동성지수, 항복응력, thixotropy성 등과 같은 정상유동 특성에 관한 연구(Figoni & Shoemaker, 1983; Ma & Barbosa-Canovas, 1995; Peressini et al., 1998; Stern et al., 2001; Batista et al., 2006; Liu et al., 2007;

Maruyama et al., 2007)와 동적점탄성에 관한 연구(Gallegos & Berjano, 1992; Ma & Barbosa-Canovas, 1995; Peressini et al., 1998; Liu et al., 2007; Maruyama et al., 2007)가 있다.

마요네즈와 같이 분산상(즉, 식용유)이 차지하는 부피 비율이 큰 경우 점도는 식용유의 함량이 증가할수록, 또 분산되어 있는 지방구의 크기가 작을수록 증가한다(McClelements, 1999). 이는 마요네즈의 물성이 마요네즈 제조시 사용된 식용유의 함량 뿐만 아니라, 에너지 투여가 서로 다른 제조 장치에 따라서도 달라짐을 의미하므로, 각 문헌상의 연구 결과를 비교할 때 반드시 고려되어야만 한다. 또한 마요네즈 제조시의 에너지 투여를 달리하여 제조된 마요네즈의 물성과 텍스처를 비교한 연구(Stern et al., 2001; Maruyama et al., 2007), 시판되고 있는 제품을 대상으로 한 다양한 연구(Figoni & Shoemaker, 1983; Peressini et al., 1998; Juszczak et al., 2003) 등에서 보듯이 대부분의 연구에서 마요네즈의 식용유 함량은 고정되어 있으며, 식용유 함량의 변화에 따른 물성의 변화에 대한 연구는 그다지 많지 않다.

Gallegos & Berjano(1992)는 콜로이드밀을 사용하여 식용유 함량이 다른 마요네즈를 제조하여 점탄성을 비교하였으며, Ma & Barbosa-Canovas(1995)는 실험실용 믹서로 식

*Corresponding author: Jungro Yoon, Department of Food Processing and Distribution, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University, Jukheon-gil 7, Gangneung, Gangwon-do, 210-702, Korea
Tel: +82-33-640-2337; Fax: +82-33-645-5300

E-mail: yoon@gwnu.ac.kr

Received December 26, 2011; revised January 16, 2012; accepted January 18, 2012

용유 함량이 다른 마요네즈를 제조하여 항복응력을 구하여 Herschel-Bulkley model에 적용하였으며 또한 저장탄성계수도 측정하였으나, 마요네즈의 지방구의 크기에 관한 연구는 이에 포함되지 않았다.

한편 국내에서의 마요네즈의 물성에 관한 연구로서는 전단속도 및 전단시간에 따른 마요네즈의 점성의 변화(Lee, 1986)가 있으며, 냉동저장한 가염난황을 사용한 마요네즈의 품질 측정 방안의 하나로서 점도를 측정한 연구(Kim et al., 1990; Kim et al., 1991; Kim & Hur, 2002)가 있을 뿐 마요네즈의 물성에 관한 포괄적인 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 식용유 함량을 달리하여 마요네즈를 제조하고 thixotropy성, 항복응력, 점조도계수, 유동성지수 등의 정상유동 특성 뿐 만 아니라 동적점탄성과 입도 분포를 측정함으로써 식용유 함량의 변화에 대한 물성의 변화에 대한 기초자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

식용유는 대두유(CJ 제일제당(주), Seoul, Korea)를 사용하였고, 식초는 산도 12-14%의 양조 식초(청정원, Seoul, Korea)를, 설탕은 백설탕(CJ제일제당(주), Seoul, Korea)을 기타 분석에 필요한 시약은 1급 시약을 사용하였으며, 난황은 냉동된 가염난황을 (주)엠디에스 코리아(Paju, Korea)로부터 공여받아 필요시 해동하여 사용하였다.

마요네즈의 제조

마요네즈는 Table 1의 recipe에 의하여 조제하였다. 먼저 설탕, 난황 및 식초 2 mL를 mixer(Blender mixer/SB-4, Hallde, Kista, Sweden)에 넣고, 700 rpm 정도에서 거품이 충분히 날 때까지 약 3분간 교반하였다. 그 후 대두유 일정량(150 mL 정도)과 식초 2 mL 정도를 넣고 700 rpm으로 3분간 교반하여 혼합하고 서서히 1,500 rpm정도까지 속도를 높여서 묽은 마요네즈가 형성되도록 2분간 교반을 하였다. 이후 나머지 대두유와 식초를 서서히 가하면서 완전한 마요네즈가 만들어질 때까지 교반을 하고 스크류 캡이 있는 380 mL 용량의 유리병에 충전하여 시료로 사용하였다.

일반성분분석

수분, 회분, 조단백, 조지방은 AOAC법(AOAC, 1990)에 의하여 측정하였고, 수분 활성도는 Aqua Lab(CX-2, Decagon Devices, Pullman, WA, USA)으로 측정하였다.

정상유동특성

마요네즈의 정상유동특성은 Rheometer(AR-2000ex, TA instruments, New Castle, DE, USA)로 cone and plate system(직경: 40 mm, cone angle 2°)을 사용하여 20°C에서

Table 1. Recipe of mayonnaise made in the laboratory.

Ingredient	Amount (%)		
	75	80	85
Soybean oil	75	80	85
Water	14	9	4
Egg yolk (salt 10%)	8	8	8
Sugar	1	1	1
Vinegar (12-14%)	2	2	2
Total	100	100	100

측정하였다.

Thixotropy 성의 측정을 위하여 전단속도를 0.1 s⁻¹에서 150 s⁻¹로 증가시킨 후 150 s⁻¹에서 다시 0.1 s⁻¹로 감소시키면서 이에 상응하는 전단응력에 의하여 이루어지는 loop의 면적을 구하였다.

전단속도 증가시 얻어진 전단속도($\dot{\gamma}$)와 전단응력(τ)의 data로부터 Casson 모델식, 식(1)에 의하여 항복응력(τ_0)을 구하고 이를 Herschel-Bulkley 모델식, 식(2)에 적용하여 점조도계수(consistency coefficient), K와 유동성지수(flow behavior index), n을 결정하였다.

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + a\sqrt{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

$$\tau = K\dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad (2)$$

$\dot{\gamma}$: shear rate (s⁻¹)

τ : shear stress (Pa)

τ_0 : yield stress (Pa)

K: consistency coefficient (Pa·sⁿ)

n: flow behavior index (n)

동적점탄성 측정

동적점탄성은 20°C에서 측정하였으며 변형력과 변형률 사이의 선형관계가 나타내는 구간을 결정하기 위하여 1.0 Hz에서 변형률 0.1-100% 구간에서 strain sweep을 실시하였다. 또한 2% 변형률에서 0.1-60 Hz 범위 내에서 frequency sweep에 의하여 저장탄성계수(storage modulus, G')와 손실 탄성계수(loss modulus, G''), 복소점도(η^*)를 측정하였다.

입도분석

마요네즈 0.05 g을 분산용액(0.1% SDS용액) 20 mL에 가한 후 마그네틱 교반기(Stirrer/Hot plate PC-420, Corning Inc., New York, USA)를 이용하여 균일하게 분산시킨 후 입도분석 시료로 사용하였다. 입도분석은 입도분석기(Malvern mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK)를 이용하여 측정 하였다.

Table 2. Proximate analysis, pH and water activity of mayonnaises with various oil contents.

Oil content (%)	Composition (%)					pH	a _w
	Crude fat	Moisture	Crude protein	Ash	Carbohydrates ¹⁾		
75	77.4±0.26 ²⁾	19.2±0.19	1.14±0.01	0.76±0.06	1.4±0.52	4.37±0.05	0.92
80	82.8±0.54	14.4±0.73	1.18±0.01	0.79±0.04	1.3±0.56	4.36±0.02	0.89
85	86.6±0.52	9.2±0.07	1.16±0.02	0.81±0.01	2.2±0.48	4.33±0.01	0.86

¹⁾ Calculated by subtracting sum of crude fat, moisture, crude protein and ash percentages from 100

²⁾ Mean±standard deviation

통계분석

본 연구에서 3 회 반복하여 얻어진 자료를 평균과 편차로 나타내었으며 통계분석은 Excel(Microsoft office Excel 2007, Microsoft Corp., Redmond, USA) 통계 프로그램을 이용하여 실시하였다. 각 Table에는 평균과 표준편차로 나타내었다.

결과 및 고찰

마요네즈의 일반성분 분석

제조된 마요네즈의 일반성분, pH, 수분활성도의 측정결과는 Table 2와 같았다. 조지방 함량은 식용유 함량 75, 80, 85% 마요네즈가 각각 77.4, 82.8, 86.6%로 나타났다. 이는 제조에 사용된 식용유의 함량 75, 80, 85%와 대략적으로 잘 일치하고 있었으며, 난황에서 유래하는 지방으로 인하여 이보다 1.6-2.8% 가량 높았던 것으로 추정되었다. 반면에 수분함량은 19.2, 14.4, 9.2%로 지방 함량이 증가할수록 감소하였으며 수분활성도 역시 0.92, 0.89, 0.86으로 감소하였다.

입도분포

제조된 마요네즈의 입도분포 측정 결과는 Figure 1과 같았다. 마요네즈의 지방구의 크기는 0.6 µm에서 24.6 µm까지 광범위하게 분포하였으며 이 중 1% 이상을 차지하는 지방구의 분포를 살펴보면, 80% 마요네즈의 경우 1.2-6.2 µm로 가장 밀집되어 있었으며, 75% 마요네즈와 85% 마요네즈는 각각 0.8-9.4 µm, 1.0-7.1 µm로 보다 넓은 범위에 걸쳐 분포되어 있었다.

가장 빈도수가 많은 지방구의 크기를 보면 75% 마요네즈의 경우 4.1 µm이 11.0%를, 80% 마요네즈의 경우 2.7 µm이 13.6%, 85% 마요네즈의 경우 2.7 µm이 11.9%를 차지하였다. 제조된 마요네즈 중의 지방구의 부피평균직경(D₄₃)은 75% 마요네즈가 3.89 µm, 80% 마요네즈가 3.04 µm, 85% 마요네즈가 3.15 µm이었으며, 최소입자로부터 누적된 부피 90%에 상응하는 평균직경, d(0.9)는 각각 6.47 µm, 4.54 µm, 4.92 µm이었다. 즉, 마요네즈의 지방구의 크기는 75% 마요네즈가 가장 컸으며 80% 마요네즈와 85% 마요네즈 간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났고 이는 D₄₃과 d(0.9)에서 서로 일치하였다.

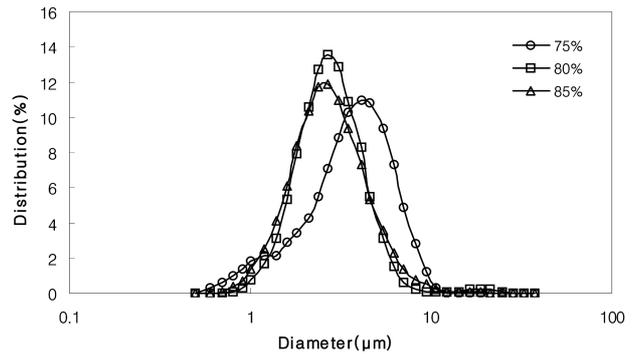


Fig. 1. Distribution of the oil droplet size for mayonnaises with various oil contents.

Kanatani & Ishihara(1962)는 식용유 함량을 20, 40, 60, 80%로 달리하여 마요네즈를 제조하였을 때, 현미경하에서 측정된 지방구의 평균 크기는 각각 7-8 µm, 5-6 µm, 3-4 µm, 1-2 µm로 식용유 함량이 증가할수록 감소하였으며, 지방구의 크기와 점성간에는 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 본 연구에서 85% 마요네즈의 지방구의 크기가 80% 마요네즈의 경우보다 작지 않고 유사하였던 것은 85% 마요네즈 제조 시 유화 안정성이 떨어져 상전환의 문제로 충분히 교반을 하기 어려웠기 때문인 것으로 추정된다. 식용유의 함량이 75%일 때 마요네즈의 유화상태가 가장 안정하고, 85% 이상에서는 안정한 마요네즈를 제조할 수가 없으며, 97% 이상에서는 상의 전환이 일어나 O/W형의 에멀션이 W/O형의 에멀션으로 변화한다고 한 Oshida(1976)의 보고는 이를 뒷받침한다.

Thixotropy

제조된 3 종의 마요네즈의 전단속도에 따른 전단응력은 Figure 2와 같았다. 마요네즈는 thixotropy성을 지닌다고 보고된 바 있으며(Liu et al., 2007) 본 연구에서 제조된 모든 마요네즈는 측정된 전단속도 영역(0-150 s⁻¹)에서 thixotropy를 나타내었다. 즉 전단속도를 증가시키고 다시 감소시켰을 때, 일정 전단속도에 상응하는 전단응력이 일치하지 않고 전단시간의 증가에 따라 전단응력이 감소하여 hysteresis loop를 형성하였다. 이는 균질을 이룬 입자들이 전단시간이 증가함에 따라 변형과 파괴가 보다 빈번히 일어나기 때문

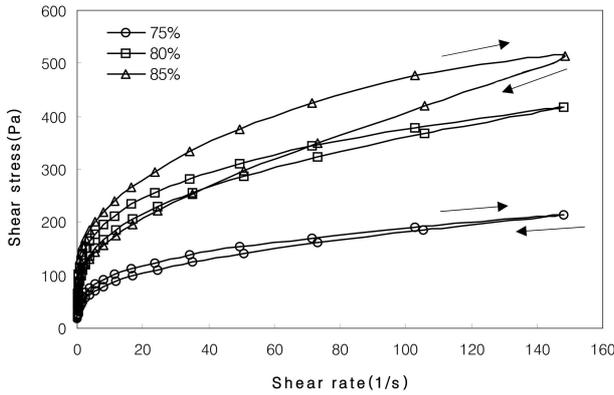


Fig. 2. Thixotropy flow curves for mayonnaises with various oil contents.

인 것으로 추정된다(Abu-Jdayil, 2003).

사용한 식용유 함량이 마요네즈의 thixotropy에 어떻게 영향을 미치는지를 조사하기 위하여 Figure 2에서 얻어진 loop의 면적을 구하여 thixotropy의 정도를 비교하였다. 식용유 함량이 75%에서 80%, 85%로 증가함에 따라 thixotropy는 9,850 Pa·s⁻¹에서 19,600 Pa·s⁻¹, 29,150 Pa·s⁻¹로 각각 증가하였다(Table 3). 즉 지방함량이 증가함에 따라 균집을 이룬 입자들의 비율이 증가하여 전단시간에 따른 변형과 파괴의 빈도가 증가하는 것으로 추정된다.

항복응력

전단속도 증가시 얻어진 전단속도($\dot{\gamma}$)와 전단응력(τ)의 자료로부터 Casson 모델식에 적용하여 항복응력을 구한 결과는 Table 3과 같았다. 마요네즈의 항복응력은 58.5-139.8 Pa의 범위를 나타내었으며 식용유 함량이 증가할수록 항복응력은 증가하였다는 다른 연구자들의 보고와 일치하였다(Ma & Barbosa-Canovas, 1995; Peressini et al., 1998). 75, 80, 85% 마요네즈의 항복응력이 각각 23, 115, 235 Pa이라고 보고한 Ma & Barbosa-Canovas(1995)의 결과와 비교하여 볼 때 본 연구의 결과는 75%와 80% 마요네즈의 경우는 각각 35.8 Pa, 18.5 Pa이 높았으나 85% 마요네즈의 경우는 오히려 95.2 Pa이 낮았다. 이는 본 연구에서 제조된 85% 마요네즈의 경우 제조시 안정성이 떨어져 충분히 교반을 하지 못하였기 때문인 것으로 추정된다.

점조도계수 및 유동성지수

마요네즈의 점조도 계수(K)는 4.52-12.6 Pa·sⁿ을 나타내었으며 식용유 함량이 증가할수록 K값도 증가하였다고 한 Ma & Barbosa-Canovas(1995)의 보고와 일치하였다. 마요네즈의 유동성 지수(n)는 1.0보다 낮은 0.76-0.78의 범위를 나타내었으며 식용유 함량이 증가할수록 n값이 다소 감소하였다(Table 3). 낮은 n값으로부터, 마요네즈는 전단속도가 증가함에 따라 점도가 감소하는 전단담화(shear-thinning) 거동이 큰 유체임을 알 수 있었다(Table 3). 분산된 입자들이 매우 밀집된 가운데서 균집(aggregate)을 이룬 3차원적인 network을 형성하고 있는 농축된 에멀션의 경우, 전단속도가 증가함에 따라 유체역학적으로 가하여지는 힘에 의하여 균집의 변형과 파괴가 일어나고 점도가 저하된다고 알려져 있다(McClements, 1999). 본 연구에 사용된 마요네즈는 식용유 함량이 75-85%로서 매우 농축된 유탕액임을 고려하여 볼 때 전단속도 증가에 따른 균집의 변형과 파괴로 전단담화 거동이 나타남을 알 수 있었다. 또한 식용유 함량이 증가할수록 겔보기점도도 증가하는 경향을 나타내었으며 이는 점조도계수와 유사한 경향을 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 85% 마요네즈 제조시 안정성이 떨어져, 상 전환의 문제로 충분한 교반을 가하기가 어려웠으며 따라서 제조된 마요네즈의 균일성 유지가 어려웠다. 이는 85% 마요네즈의 정상유통 특성 측정치에서 편차가 심한 것으로 나타났으며(Table 3), 측정된 항복응력, 겔보기 점도 등이 80% 마요네즈와 유사한 값을 지니게 된 원인으로 추정된다.

Strain sweep

식용유 함량을 달리한 마요네즈의 동적점탄성 실험을 통하여 마요네즈의 저장탄성계수(storage modulus, G')와 손실탄성계수(loss modulus, G'')를 측정하였다. 변형력과 변형률사이의 선형관계가 나타나는 구간을 결정하기 위하여 1.0 Hz에서 strain sweep을 실시한 결과는 Figure 3과 같았다. Strain에 대하여 G'과 G''을 도해하였을 때 변형력과 변형율이 선형관계에서 벗어나기 시작하는 시점은 마요네즈 별로 다소 다르게 나타났으며 75, 80, 85% 마요네즈의 경우 strain이 각각 6.4, 7.2, 11.4%이었다(Fig. 3). 즉 식용유 함량이 증가할수록 선형관계가 벗어나기 시작하는 strain의 값이 증가함을 나타내었다. 또한 이보다 strain이 증가하는 경우 G' 값은 감소하고, G'' 값은 증가하였다. Strain sweep의 경

Table 3. Model-fitting flow equation parameters of mayonnaises with various oil contents.

Mayonnaise	Thixotropy (Pa·s ⁻¹)	τ_0 (Pa)	R ²	K (Pa·s ⁿ)	n	R ²	$\eta_{a,10}$ (Pa·s)
75%	9850±52	58.5±1.81	0.967±0.01	4.52±0.21	0.78±0.01	0.895±0.01	11.4±0.19
80%	19600±218	133.5±0.48	0.967±0.01	9.16±0.23	0.76±0.01	0.903±0.01	24.5±0.07
85%	29150±6729	139.8±14.3	0.969±0.01	12.6±1.04	0.76±0.04	0.925±0.03	27.4±2.66

¹⁾ Apparent viscosity measured at $\dot{\gamma} = 10 \text{ s}^{-1}$

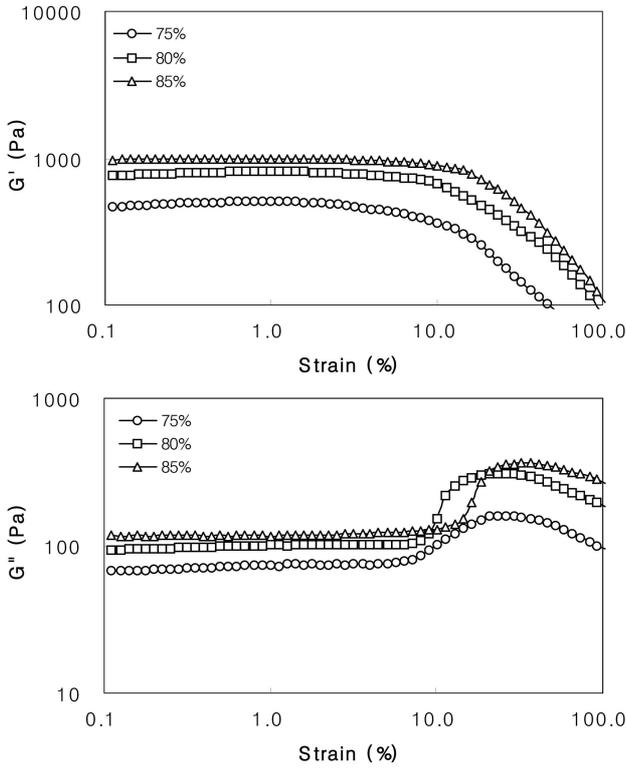


Fig. 3. Strain sweep of mayonnaises with various oil contents.

우 선형관계에서 벗어나는 시점의 strain 값이 6.4-11.4%로서 비교적 편기되는 시점별 차이가 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 모든 마요네즈에서 변형력과 변형율간의 선형관계가 유지된다고 확신할 수 있는 2% 변형율에서 frequency sweep을 실시하였다.

Frequency sweep

측정된 모든 frequency 범위(0.1-60 Hz)에서 마요네즈의 G'값은 G''보다 뚜렷이 높게 나타났다(Fig. 4). G'은 외부로부터 부여된 에너지가 물질내부에 저장되는 정도에 비례하며, G''은 열로 소산되는 정도에 비례하므로 G'은 탄성적 성질, G''은 점성적 성질을 각각 나타낸다. 따라서 본 연구에서 사용된 마요네즈는 모든 frequency 범위에서 점성적 성질보다 탄성적 성질이 우세함을 알 수 있었다. 이러한 경향은 식용유 함량에 관계없이 동일하였다. 또한 frequency가 증가함에 따라 G'과 G''은 모두 증가하는 추세를 나타내었다. G'과 G''의 frequency 의존성을 다음과 같이 power-law model에 적용하여 lnG' 및 lnG''과 lnω와의 직선회귀식들로부터 각각 n'과 K', n''과 K''을 구하여 정리하였다(Table 4).

$$G' = K' \omega^{n'} \tag{3}$$

$$G'' = K'' \omega^{n''} \tag{4}$$

G' : storage modulus

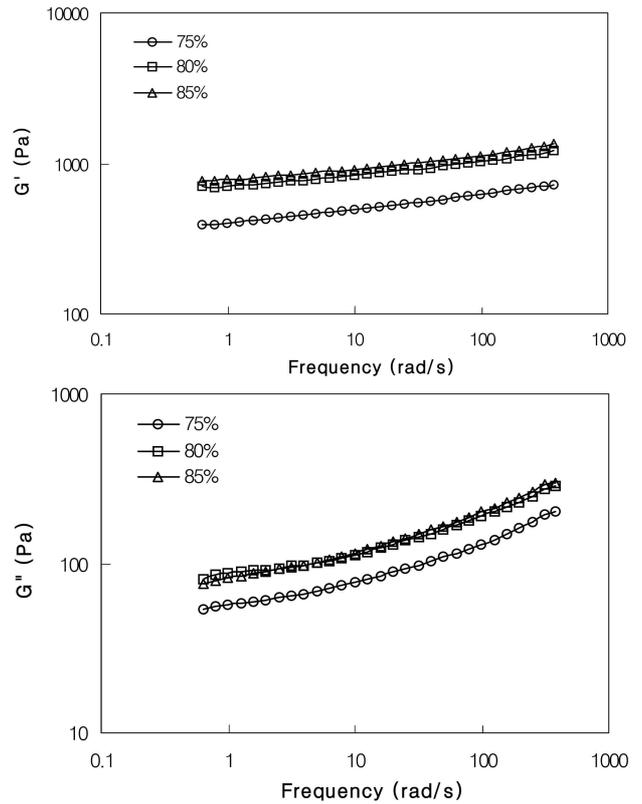


Fig. 4. Dynamic oscillatory response (G' and G'') of mayonnaises with various oil contents. Experiments were done at 2% strain amplitude.

G'' : loss modulus
 ω : angular frequency

Ross-Murphy에 따르면 true gel의 경우 n'과 n''은 0이 되나 weak gel 또는 고농축 용액의 경우 양의 값을 가지며 G' 값은 모든 frequency 영역에서 G'' 값보다 크며 동일한 frequency 또는 전단속도에서 얻어진 복소점도는 겔보기점도보다 큰 것으로 알려져 있다(Ross-Murphy, 1984).

본 연구에서 마요네즈의 n'값은 사용한 식용유의 함량에 관계없이 0.10 이었고 n''은 0.20 이었다(Table 4). 마요네

Table 4. Effect of oil content on n', n'', K' and K'' parameters at 20°C as determined from equations (3) and (4).

Parameter	75%	80%	85%
n'	0.10±0.00	0.10±0.00	0.10±0.00
G' K'	385.3±10.33	714.7±16.45	749.9±37.10
R ²	0.996±0.003	0.982±0.011	0.980±0.003
n''	0.20±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00
G'' K''	51.1±1.11	81.9±3.03	78.2±5.47
R ²	0.963±0.003	0.955±0.004	0.976±0.003

G' : storage modulus; G'' : loss modulus

즈의 식용유 함량이 증가함에 따라 G' 과 G'' 값은 모두 증가함을 나타내었다. 식용유 함량이 75%에서 80%, 85%로 증가함에 따라, $\omega = 10$ rad/s에서 G' 은 492 Pa에서 833 Pa, 912 Pa로, G'' 은 77 Pa에서 112 Pa, 115 Pa로 각각 증가하였다(Fig. 4). 또한 그 증가율은 G' 의 경우가 G'' 의 경우보다 높아서 $\omega = 10$ rad/s에서 loss factor($\tan \delta$) 값은 식용유 함량이 75%에서 85%로 증가함에 따라 0.16에서 0.13으로 감소하였다. 이상의 결과로부터 마요네즈는 weak gel의 성질을 가지고 있음을 알 수 있었다.

Cox-Merz 규칙

Cox-Merz 규칙에 의하면 식(5)에 제시된 바와 같이 동일한 전단속도와 frequency에서 얻어진 겔보기 점도 값과 복소점도는 동일한 값을 지닌다고 알려져 있으며 많은 합성 또는 천연 고분자 분산액이 이를 따르는 것으로 보고되고 있다(Da Silva & Rao, 1992).

$$\eta^* = \eta(\dot{\gamma}) \Big|_{\omega = \dot{\gamma}} \quad (5)$$

η^* : complex viscosity
 η : steady shear flow viscosity

그러나 균질을 이룬 천연 고분자 분산액(da Silva & Rao, 1992)과 복잡한 식품계(Bistany & Kokini, 1983)에는 적용되지 않는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 사용한 마요네즈의 겔보기점도(η_a)와 복소점도(η^*)를 전단속도와 frequency에 대하여 각각 도해한 결과는 Figure 5와 같았다. 동일한 전단속도 또는 frequency에서 마요네즈의 식용유 함량이 증가함에 따라 η_a 와 η^* 는 증가하였으며, η^* 는 η_a 보다 큰 값을 나타내었다. 따라서 마요네즈의 경우 Cox-Merz의 규칙을 따르지 않고 있음을 확인할 수 있었으며 이는 oil 함량이 매우 높아 균질을 이룬 형태임을 시사한다. 즉 동적점탄성 측정은 시료의 변형이 쉽게 회복될 수 있는, 변형율과 변형력이 선형관계가 이루어지는 작은 크기의 진폭하에서 이루어지므로, 평형상태를 유지하고 있어 구조의 파괴가 발생하지 않게 된다. 반면에 정상유동측정은 높은 전단속도에서 이루어져, 시료에 가하여진 변형과 파괴의 정도가 커지기 때문인 것으로 추정된다(Kulkarni et al., 2006).

한편 η^* 와 η_a 를 frequency와 전단속도에 관하여 각각 도해하였을 때의 기울기는 유사하였으며 따라서 두 직선이 겹칠 수 있도록 하기 위한 shift factor(α)를 식(6)에 의거하여 구하였다(Rao & Cooley, 1992).

$$\eta^*(\alpha\omega) = \eta(\dot{\gamma}) \quad (6)$$

그 결과 75, 80, 85% 마요네즈의 경우 α 값은 각각 0.13, 0.18, 0.20로 나타났다. 이는 식용유 함량이 증가함에

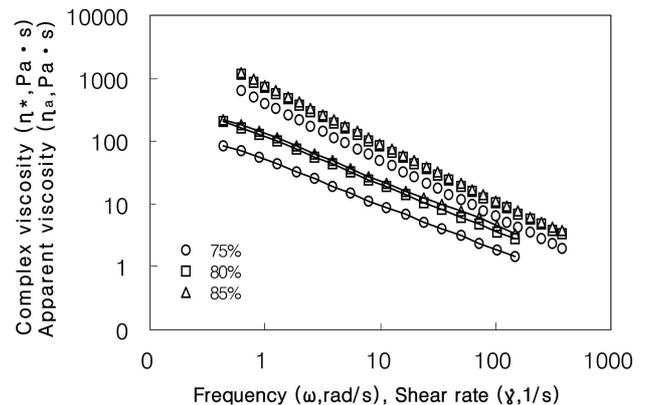


Fig. 5. Comparison of steady flow viscosity (η_a , solid lines) with complex viscosity (η^*) for mayonnaises with various oil contents.

따라 마요네즈는 Cox-Merz 규칙에서 벗어남이 적어짐을 의미하며 전단력에 의한 파괴의 정도가 상대적으로 적어짐을 시사하고 있다.

요 약

본 연구에서는 rheometer를 이용하여 식용유 함량을 75, 80, 85%로 달리하여 제조한 3 종류의 마요네즈의 정상유동특성과, 진폭을 작게 한 전단변형하에서의 동적유동특성을 광범위한 전단속도와 frequency 영역에서 측정하였다. 이들 결과로부터 정상유동특성의 전단속도 의존성 및 동적점탄성의 frequency 의존성을 조사하였다. 마요네즈는 항복응력과 shear-thinning 및 thixotropy성을 지니고 있었으며 이들 성질은 식용유 함량이 증가할수록 강화되었다. 점탄성의 측정결과 광범위한 frequency 영역에서 G' 값은 G'' 값보다 매우 크게 나타났으며 G' 과 G'' 의 frequency 의존성을 나타내는 척도인 n' 과 n'' 은 각각 0.10, 0.20이었으며 G'' 이 G' 보다 frequency 의존성이 더 큰 것으로 나타났다. 한편 75, 80, 85% 마요네즈의 부피평균직경은 각각 3.89 μm , 3.04 μm , 3.15 μm 로 식용유 함량이 75%인 경우가 가장 크게 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 강릉원주대학교 교수연구년 연구지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Abu-Jdayil B. 2003. Modelling the time dependent rheological behavior of semi-solid foodstuffs. *J. Food Eng.* 57: 97-102.
 AOAC. 1990. Official Method of Analysis 15th ed. Association of

- Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Batista AP, Raymundo A, Sousa I, Empis J. 2006. Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. *Food Hydrocolloids* 20: 44-52.
- Bistany KL, Kokini JL. 1983. Dynamic viscoelastic properties of foods in texture control. *J. Rheol.* 27: 605-620.
- Da silva JAL, Rao MA. 1992. Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. In: *Viscoelastic Properties of Foods*. Rao MA, Steffe JF (eds). Elsevier Applied Science, New York, USA, pp. 285-315.
- Figoni PI, Shoemaker CF. 1983. Characterization of time dependent flow properties of mayonnaise under steady shear. *J. Texture Stud.* 14: 431-442.
- Gallegos C, Berjano M. 1992. Linear viscoelastic behavior of commercial and model mayonnaise. *J. Rheol.* 36(3): 465-478.
- Juszczak L, Fortuna T, Kosla A. 2003. Sensory and rheological properties of Polish commercial mayonnaise. *Nahrung/Food* 47(4): 232-235.
- Kanatani A, Ishihara T. 1962. Studies on the viscosity of mayonnaise. Part I. The influence of concentration of oil on the viscosity of mayonnaise. *J. Japan. Agric. Chem.* 36: 928-932.
- Kim JW, Cha GS, Hong KJ, Choi CU. 1991. Changes in physical properties of salted egg yolks and their effects on functionalities in mayonnaise preparation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23(4): 389-393.
- Kim JW, Choi CU. 2002. Effects of pasteurization and frozen storage on changes in quality characteristics of 10% salted egg yolk. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34(3): 459-465.
- Kim JW, Hong KJ, Cha GS, Choi CU. 1990. Changes in physical properties of salted egg yolks as affected by refractive index during frozen storage and their effects on functionalities in mayonnaise preparation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 22(2): 162-167.
- Kim JW, Hur JW. 2002. Changes in functional properties of salted egg yolk for mayonnaise preparation during frozen storage. *Food Eng. Prog.* 6(2): 186-194.
- Kulkarni C, Belsare N, Lele A. 2006. Studies on shrikhand rheology. *J. Food Eng.* 74: 169-177.
- Lee YY. 1986. Studies on the viscometric behavior of mayonnaise. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 15(2): 119-127.
- Liu H, Xu XM, Guo SD. 2007. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 946-954.
- Ma L, Barbosa-Canovas GL. 1995. Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *J. Food Eng.* 25: 409-425.
- Maruyama K, Sakashita T, Hagura Y, Suzuki K. 2007. Relationship between rheology, particle size and texture of mayonnaise. *Food Sci. Technol. Res.* 13: 1-6.
- McClements DJ. 1999. *Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques*. CRC Press, New York, USA, pp. 262-265.
- Oshida K. 1976. Basic studies on mayonnaise manufacturing (Part V). Effect of volume concentration of oil, sodium chloride and acetic acid in water phase on emulsion's character and stability of mayonnaise. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 23(11): 549-561.
- Peressini D, Sensidoni A, de Cindio B. 1998. Rheological characterization of traditional and light mayonnaises. *J. Food Eng.* 35: 409-417.
- Rao MA. 1977. Rheology of liquid foods - a review. *J. Texture Stud.* 8: 135-168.
- Rao MA, Cooley HJ. 1992. Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. *J. Texture Stud.* 23: 415-425.
- Ross-Murphy SB. 1984. Rheological method. In: *Biophysical Methods in Food Research*. Chan HWS (ed) Blackwell Scientific Publications, London, UK, pp. 138-199.
- Stern P, Valentova H, Pokorny J. 2001. Rheological properties and sensory texture of mayonnaise. *European J. Lipid Sci. Technol.* 103: 23-28.