

## 용융 전분 압축 성형물의 유변학적 특성

심재용

한경대학교 식품공학과

### Rheological Properties of Starch Melts

Jaeyong Shim

Dept. of Food Science & Technology and Food and Bio-industrial Research Center,  
Hankyong National University, Ansung 456-749, Korea

#### Abstract

The rheological properties of corn starch melts were studied in the presence of additives (gluten and agar) by large and small-strain tests. Starch melts were prepared by using a special compression molding device at high pressure (150 psi) and high temperature (165°C). The effect of the relative humidity (RH) on the rheological properties of starch melts was also evaluated. In large-strain tests, starch melts with gluten and agar showed lower values of critical strain, critical stress and toughness than pure starch melts. The critical stress and toughness of pure starch melts increased with increasing RH, while those of starch melts including additives decreased. These results imply that additives in starch melts have higher water absorbance than starch, resulting in softening the networks. Gluten showed higher water absorbance than agar. In small-strain test, starch melts showed higher frequency dependence than styrofoam. At all RH, starch melts showed higher values of complex modulus ( $G^*$ ) and more stress relaxation than styrofoam. In particular, starch melts with agar showed higher values of  $G^*$  than starch melts with gluten at 85% RH. As a result, starch melts could be used as bio-degradable solid packaging materials by adding proper additives.

**Key words:** starch melt, gluten, agar, bio-degradable packaging

## 서 론

석유계 플라스틱 포장재료인 발포 폴리스티렌 (스티로폼)은 1960년대 미국의 다우 케미칼(Dow Chemical Co.)에서 처음 선보인 후 이의 우수한 기계적 물성과 완충성, 화학적-생물학적인 안정성, 성형의 용이함과 낮은 가격으로 인해 식품의 일회용 포장재로 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 일회용 플라스틱 포장재가 자연환경에서 분해되지 않고 도시 고형 폐기물 중에서 차지하는 비중이 늘어감에 따라 환경 오염의 주요 원인으로 간주되어

이를 대체하기 위하여 여러 가지 생분해성 고분자를 이용한 포장재 개발이 활발히 진행되고 있다 (Lenz, 1993; Bhatnagar와 Hanna, 1996; Petersen *et al.*, 1999).

대표적인 대체 물질로서 전분을 이용한 포장재 연구가 널리 이루어지고 있는데 이는 전분의 낮은 가격과 재생성 그리고 생분해성 때문이다(Blanshard, 1987). 하지만 전분을 이용하여 만든 생분해성 포장재질은 기계적 물성이 나쁘고 물에 약한 단점을 가지고 있어 다양한 물리적 처리, 첨가제 사용, 기계적 물성과 수분저항력이 우수한 여러 가지 합성 고분자와의 용융 배합(Griffin, 1994; Averous *et al.*, 2000) 및 공압출에 의한 다층 필름막 형성법(Wang *et al.*, 2000) 등을 통해 기계적 물성이나 수분 저항성 등을 향상시켜 상품으로서의 가치를 높이는 연구가 활발히 수행되고 있다.

Corresponding author: JaeYong Shim, Dept. of Food Science and Technology, Hankyong National University, 67 Sukjong-dong, Ansung city, Kyonggi-do, 456-749, Republic of Korea. Phone: +82-31-670-5158, Fax: +82-31-670-5015  
E-mail: jyshim@hnu.hankyong.ac.kr

낮은 수분함량(15~40%)을 포함한 전분은 고온, 고압하에서 높은 기계적 변형을 주었을 때 열가소성(thermoplastic) 물질로 변형된다. 이는 상대적으로 높은 수분함량(>61%)에서 온도를 높여주었을 때 전분이 호화되는 과정과는 다른 과정으로 고온·고압에 의해 전분입자의 결정(crystallin) 구조가 완전히 파괴되어 무정형의 용융물(melt)로 변화된다. 이러한 열가소성 고분자 형태의 전분 용융물을 압출기를 이용하여 압출성형하거나 압축성형을 통해 식품포장용 트레이나 강성포장 포장재료로 사용할 수 있다. 그동안 열가소성 전분의 포장재료의 이용에 대한 많은 연구가 수행되어져 있다. 예를 들어 결정구조가 파괴된 열가소성 전분을 압출성형시켜 loose-filler 같은 수용성 완충 충전용 포장재(Hong *et al.*, 1998)로 사용하거나 high amylose 전분을 압출 성형하여 포장용 완충재로 사용하는(Altieri, 1992) 등의 연구들이 있다. 이렇게 만들어진 생분해성 포장용 완충재는 발포 폴리스티렌(스티로폼) 대용품으로 사용할 수 있다.

전분의 변성에 영향을 줄 수 있는 첨가물이 많이 있는데 그 중 가소제(plasticizer)는 일반적으로 고분자의 유연성을 향상시키는 역할을 하며(Kester, 1989) 대표적으로 물, glycerol, sorbitol, sucrose, propylene glycol과 polyethylene glycol과 같은 polyol 등이 사용되고 있다(송재철과 박현정, 1989). 이에 대한 연구로 열가소성 전분 제조시 글리세롤을 첨가하여 기계적 물성을 향상시키고 노화를 방지하거나(van Soest *et al.*, 1994) 고분자 형태로 만들어진 용융 전분에 glycols, urea를 첨가하여 기계적 성질을 향상시키는 방법(Shogren, 1992) 등이 보고되어 있다.

첨가제로서 글루텐이 전분의 호화에 미치는 영향은 글루텐으로 인해 호화에 필요한 물이 감소함으로써 호화 온도가 증가하고 엔탈피 변화가 감소한다는 연구가 있었으나(Eliasson, 1983) 이는 수분의 함량이 많고 정상상태의 가열시에만 유용하며, 수분 함량이 적고 고온·고압에서 생성되는 전분 melt에 대한 연구는 미미한 실정이다. 또한 가소제 및 다른 첨가물들이 압축 성형된 용융 전분 물질의 유변학적인 물성 변화에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구는 이루어져 있지 않다. 전분의 아밀로스와 아밀로 펙틴 함량이 합성 고분자와의 용융배합시 물성에 영향을 준다는 연구가 있었고(Mani와 Bhattacharya, 1998) 시간이 지남에 따라 노화에 의한 재결정화로 물성의 변화도 일어날 수 있다(van Soest와 Vliegthart, 1997). 이러한 시간에 따른 물

성 변화나 수분에 따른 물성변화는 얇은 두께를 필요로 하는 강성 포장 트레이의 경우 좋지 않은 결과를 가져올 수 있기 때문에 이의 방지를 위한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 옥수수 전분을 압축가열하여 열가소성 고분자 형태로 만든 후 냉각된 압축 성형물의 여러 가지 유변학적 특성을 texture-analyzer를 이용하여 큰 변형시 일어나는 물성 변화와 rheometer를 이용하여 미세 변형시 일어나는 물성 변화를 측정 비교하였다. 그리고 첨가제로서 글루텐과 agar의 영향에 대해서도 연구하였다. 또한 용융 전분 성형물의 스티로폼 대체재로서의 가능성을 검증하기 위하여 스티로폼의 물성과도 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 옥수수 전분은 Cerestar(USA)에서 구입하여 사용하였으며 전분 가루의 수분함량은 9%였다. 첨가제로서 사용된 agar와 글루텐은 Sigma Chemical사(St. Louis, USA)에서 구입하였으며 가소제로 글리세린을 이용하였다.

## 실험 방법

### 압축성형기

용융 전분 압축 성형물(starch melt)은 폴리에틸렌 압축 mold 제조를 위한 성형장치를 모방하여 제작한 장치와 표준 방법(ASTM Designation D1928-96)을 이용하여 만들었다. 성형장치는 크게 두 부분으로 나누어진 알루미늄 몸체와 이들을 고정시키는 장치로 이루어져 있다. 암수가 구별되어져 있는 원형 홈(직경 82 mm)과 원형 돌출부(직경 80 mm)로 구성되어있는 알루미늄 몸체를 알루미늄 호일로 감싼 후 가압·가열시 시료의 이탈을 막고 확실한 압축을 위해 원형의 홈 사이에 고무로 만들어진 O-ring을 끼워 넣었다. 시료는 알루미늄 몸체의 원형 홈 사이에 놓이지며 몸체는 볼트와 너트로 고정하였다.

### 용융 전분 성형물 제조

전분시료에 물과 글리세린을 1:1 비율로 첨가하여 전체 가소제(물+글리세린)의 함량이 전체중량(10 g)의 30%가 되도록 하고 첨가제로서 agar 및 글루텐을 각각 전체 중량의 0, 10, 25%가 되도록 첨

가하여 골고루 혼합하였다. 시료를 15분간 실온에 방치하여 완전히 수화시킨 후 압축 성형기 흡사이에 고르게 퍼 넣은 후 고정장치를 이용하여 고정시켰다. 압축 성형장치를 유압으로 작동되는 압축기(Loomis Engineering and Manufacturing Co., Caldwell, NJ, USA) 사이에 넣고 500 psi의 압력을 가한 뒤 165°C로 60분간 가열하였다. 가열 후 성형장치를 ice bath에서 급냉시킨 후 만들어진 용융 전분 성형물을 성형 장치에서 조심스럽게 분리하였다. 이 시료들을 포화 염용액이 담긴 상대습도 75%와 85%의 dessicator에 3일간 보관하여 평형을 이루게 한 후 이들의 물성을 측정하였다.

### 인장 특성 측정

용융 전분 성형물의 인장특성은 인장 특성 측정을 위한 ASTM Standard를 약간 변형하여 조직감 분석기(TA-XT2 Texture Analyzer)를 사용하여 측정하였다. 75%와 85%의 상대습도에서 평형을 이룬 각각의 시료들을 직사각형 형태(40 mm×10 mm)로 자른 후 중앙 양쪽에 1 mm씩의 금을 내어 정확히 시료의 중앙에서 절단 또는 파괴가 이루어지게 하였다. 먼저 시료의 정확한 두께를 micrometer를 이용하여 측정하고 조직감 분석기 양쪽의 고정장치 사이에 간격이 25 mm가 되도록 고정시켰다. 시료를 일정한 속도(0.2 mm/s)로 파괴될 때까지 인장시키면서 변형도(strain)에 따른 시료의 인장 응력(tensile stress)변화를 측정하였다. Strain이 계속 증가하면서 어느 시점에서 시료가 파괴되는데 이 시점의 strain을 임계 변형도(critical strain), stress를 임계 응력(critical stress)이라 하고 그래프의 면적을 구하여 시료의 toughness라 한다. Strain과 stress는 다음과 같이 정의 된다.

$$\text{Strain} = (L - L_0) / L \quad (1)$$

여기서 L: 인장시 시료의 길이 (mm)

$L_0$ : 시료의 초기 길이 (mm)

$$\text{Stress} = \text{작용된 힘(N)} / \text{시료의 단면적(mm}^2) \quad (2)$$

### 동적 점탄성 측정

용융 전분 성형물의 동적 점탄성(dynamic viscoelasticity)은 Bohlin VOR Rheometer(Bohlin Instruments Inc, Cranbury, NJ, USA)의 solid fixture system을 이용하여 측정하였다. 시료를 직사각형 형태(30 mm×10 mm)로 자른 후 시료의 정확한 두께를 micrometer

를 이용하여 측정하고 rheometer의 solid fixture attachment에 고정하였다. 두 그립 사이의 간격은 20 mm로 일정하게 유지하면서 90.32 g·cm의 torsion bar를 사용하여 상온에서 측정하였다. 먼저 시료의 선형 점탄성 영역을 검사하기 위해 strain sweep을 1 Hz에서 0.0017~1.7의 strain 범위에서 수행하였다. 각 시료의 선형점탄성 영역에 포함되는 변형률(0.08)을 이용하여 시료의 복합탄성률(complex modulus, G\*)을 0.01~10 Hz 범위내에서 frequency sweep에 의해 측정하였다. 마지막으로 0.08의 변형률을 적용하여 5000초 동안 stress-relaxation test를 실시하여 시료의 시간에 대한 안정성을 측정하였다. 각 측정치는 2회 반복 측정값의 평균값으로 표시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 용융 전분 성형물의 인장곡선

Fig. 1은 옥수수 전분으로 만들어진 압축 성형물과 10%와 25%의 비율로 첨가제(글루텐, agar)를 첨

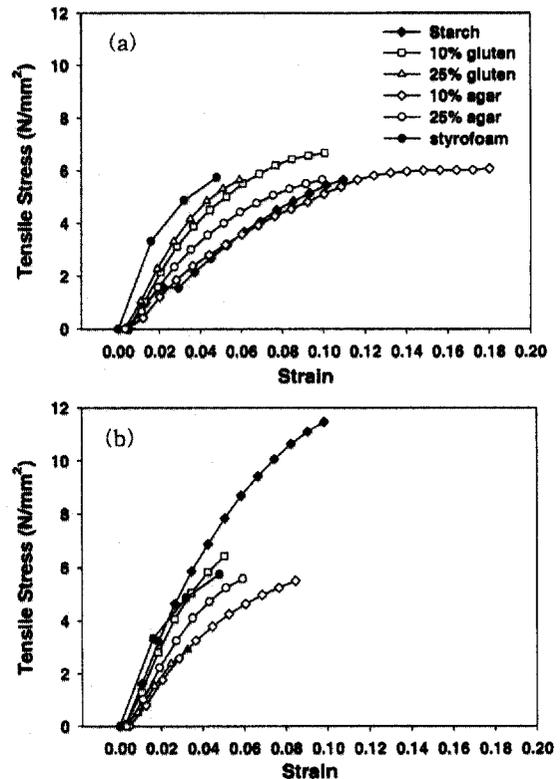


Fig. 1. Tensile stress-strain curves of starch melts including gluten and agar at RH 75%(a) and RH 85%(b).

가하여 만든 압축 성형물을 다른 상대 습도(75%, 85%)에서 보관 전처리한 후 인장실험에 의해 얻어진 그래프로 strain의 변화에 따른 시료의 tensile stress 변화를 보여주고 있다. 비교시료로서 styrofoam도 사용하였다.

모든 시료는 변형이 증가됨에 따라 인장응력이 증가하는 경향을 보이는데 시료 성분과 상대습도에 따라 증가하는 형태와 파괴시점이 다를 수 있다. 변형이 증가하면서 어느 한계점에 이르면 시료가 파괴되는데 이 시점의 변형도가 critical strain이고 stress가 critical stress이다. 그래프의 면적을 이용하여 시료의 toughness를 나타냈다.

각 시료의 critical strain, critical stress, rupture energy 및 elastic modulus는 Table 1에 자세히 나타내었다.

**임계 변형도 측정**

첨가제 혼합과 상대습도에 따른 전분과 호화전분 압축성형물의 임계변형도의 변화를 Table 1에 나타내었다. 75% RH에서 10% agar를 포함한 시료를 제외한 모든 첨가제를 함유한 시료의 임계 변형도가 모든 상대습도에서 전분시료보다 낮은 결과를 보였는데 agar를 포함한 시료가 글루텐을 포함한 시료보다 높은 임계변형도를 보였다. 즉 첨가제를 함유한 시료가 전분시료보다 늘어나는 성질이 약하다는 것을 알 수 있었다. 각 시료에 대한 수분의 영향을 보면 상대습도가 증가함에 따라 임계변형도가 시료에 따라 9.1~53% 정도 감소하였는데 10%의 agar를 포함한 시료가 -52.8%로 가장 큰 감소를 보였고 전분시료가 -9.1%로 가장 작은 감소를 보였다. 상대습도가 올라감에 따라 첨가제의 함량이 높아짐에 따른 임계변형도의 감소가 줄어들음을 알 수 있었다. 하지만 이러한 임계변형도의 변화는 그리 크지 않아 글루텐이나 agar의 첨가가 용융전분 성

형물의 인장 변형도에는 결정적 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 이들의 임계변형도와 비교물질인 스티로폼의 임계변형도를 비교하였을 때 유사하거나 조금 증가된 값을 보였다.

**임계 응력 측정**

75%의 상대습도에서 전처리된 시료의 경우 첨가제를 함유한 시료는 전분시료의 임계응력(5.78)보다 약간 증가하거나 감소한 임계응력(5.70~7.50)을 보였으나 85%의 상대습도로 전 처리하였을 경우 첨가제를 함유한 시료의 임계응력은 3.01~6.68로 순수 전분 시료의 임계응력인 11.58보다 현저히 낮은 결과를 보여주고 있다(Table 1). 이는 높은 상대습도(85%)시 첨가제에 의한 물의 흡수가 급격히 증가되어 흡수된 수분이 시료 내에서 가스제로 작용을 하여 조직의 강도가 약해져 인장응력이 낮아짐을 의미한다. 첨가제의 함량에 따른 임계응력의 변화를 보면 대체적으로 모든 상대습도에서 첨가물의 함량이 높아질수록 임계응력이 낮아짐을 볼 수 있는데 이는 첨가물의 함량이 높아짐에 따라 수분의 흡수가 많아져 조직의 연화를 가져옴을 알 수 있는데 글루텐의 경우 더욱 큰 감소를 보였다. Eliasson (1983)에 따르면 글루텐 존재 시 전분의 호화과정에서 단백질로의 물의 이동이 일어난다고 보고되었다. 이와 마찬가지로 전분과 글루텐 혼합 melt에서 흡수된 물이 상대적으로 글루텐으로 이동하여 글루텐 구조의 연화를 가져와 전분구조보다 상대적으로 약해져 전체적으로 전분구조와의 결속력이 약해져 임계응력이 낮아졌을 것이다. 이 같은 결과는 글루텐의 첨가시 보다 낮은 임계변형도를 가진 결과에 부합된다. 상대습도가 증가함에 따른 각 시료의 임계응력의 변화를 보면 순수 전분 시료의 경우 상대 습도 85%에서 전처리된 경우 임계응력값이 75%의 상대습도에서 전처리된 경우보다 약 100% 증가하

**Table 1. Critical strain, stress and toughness of starch melts and starch melts with different % of additives at 75% and 85% RH**

	Critical Strain		Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> )		Toughness [Area (N/mm <sup>2</sup> )]	
	75% RH	85% RH	75% RH	85% RH	75% RH	85% RH
Regular starch	0.11	0.10	5.78	11.58	0.51	0.77
Regular starch + 10% gluten	0.10	0.05	7.50	6.68	0.50	0.31
Regular starch + 25% gluten	0.06	0.033	5.71	3.01	0.25	0.06
Regular starch + 10% agar	0.18	0.085	6.09	5.62	0.63	0.35
Regular starch + 25% agar	0.10	0.06	5.70	5.68	0.43	0.28
Styrofoam	0.05	0.05	5.88	5.88	0.23	0.23

는 결과를 보였으나 나머지 첨가물을 함유한 시료들은 전처리 상대습도가 증가함에 따라 약 10%~47% 가량 임계응력이 감소하였다. 그 중 25%의 글루텐을 함유한 시료가 가장 큰 감소(47.3%)를 보였다. 상대습도가 증가함에 따라 순수 전분 시료의 인장강도가 증가함은 압축 성형된 본 실험의 전분 성형물의 경우 수분을 흡수함에 따라 전분 chain들 사이에 재배열이 고르게 일어나 더욱 elastic한 strand로 형성된 homogeneous한 구조로 변하기 때문일 것으로 추측된다. 이러한 결과는 수분을 함유함으로써 전분압출물의 압축강도가 감소한다는 Hong *et al.*(1998)의 연구결과와는 다른 양상인데 전분성형물의 인장에 대한 저항력과 압축에 대한 저항력이 다르고 사용된 전처리 상대습도가 다르기 때문일 것이다. 첨가제를 함유한 시료의 경우 첨가물에 의해 수분 흡수력이 증가되어 연화된 첨가제에 의한 구조와 전분과 첨가제간의 incompatibility에 의한 결합력 감소 때문에 인장응력이 감소한 것으로 추측된다. 그리고 스티로폼은 습도에 따른 인장응력의 변화가 거의 없었으며 다른 시료에 비해 대체적으로 낮은 인장응력을 가지고 있었다. 그러므로 전분을 이용한 압축성형물은 강성포장에 필요한 충분한 인장응력을 가지고 있음을 알 수 있는데 이는 습도가 낮은 경우 더욱 뚜렷해짐을 알 수 있었다.

### Toughness 측정

대체적으로 첨가물을 함유한 시료의 toughness는 전분 시료의 toughness보다 낮은 결과를 보였다 (Table 1). 첨가제를 함유한 시료는 수분의 흡수가 많아져 연화된 첨가물 조직과 전분조직간의 결합력 감소와 heterogeneous한 구조 때문에 균질한 구조를 가진 전분시료에 비해 시료 파괴에 필요한 에너지가 감소되어 이로 인해 시료의 toughness가 감소했음을 추측할 수 있다. 전분 시료의 경우 toughness는 상대습도가 증가함에 따라 크게 증가하였으나 글루텐과 agar를 첨가하였을 때는 상대습도가 증가함에 따라 급격히 toughness가 감소함을 볼 수 있었다. 특히 85%의 상대습도로 전처리한 25%의 글루텐을 함유한 시료의 감소가 76%로 가장 컸다. 또한 글루텐을 첨가한 시료가 agar를 첨가한 시료보다 낮은 toughness를 보였는데 이는 글루텐의 수분흡수력이 agar보다 커서 첨가제 조직의 더 큰 연화를 가져왔음을 알 수 있다. 인장응력과 마찬가지로 스티로폼의 toughness는 상대습도에 상관없이 0.23의 값을 보였는데 이는 전분시료보다 유의적으로 낮은 값

으로 첨가제를 적당량 첨가함에 의해서 스티로폼과 비슷한 성질의 포장재를 만들 수 있음을 의미한다.

결과적으로 인장실험을 통해 첨가제는 전분 압축 성형물의 인장강도와 파괴시 필요한 에너지를 감소시켜 toughness를 감소시키므로 전분만으로 만들어진 brittle한 구조의 압축 성형물을 좀 더 유연하게 만들어 줌으로써 결과적으로 대체재인 스티로폼과 비슷한 인장물성을 가지게 할 수 있었다.

### Strain sweep 측정

Fig. 2는 일정한 상대습도(75%와 85%)에서 전처리된 시료의 변형이 증가할 때 복합탄성률( $G^*$ )이 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 변형이 증가함에도 불구하고 모든 시료의  $G^*$ 가 같거나 약간 감소할 뿐 크게 감소하지 않음을 볼 수 있는데 이는 본 실험에서 사용한 변형도의 범위는 모두 선형점탄성(linear viscoelastic) 구역에 포함되어 있음을 알 수 있었다. 시료의 종류에 따른  $G^*$ 의 크기를 비교해 보면 모든 시료의  $G^*$ 가 스티로폼의  $G^*$ 보다 큰 값을 가지고 있었으며 이는 상대습도가 낮은 경우 더욱 큰 차이를 보였다. 또한 상대습도가 높아짐에

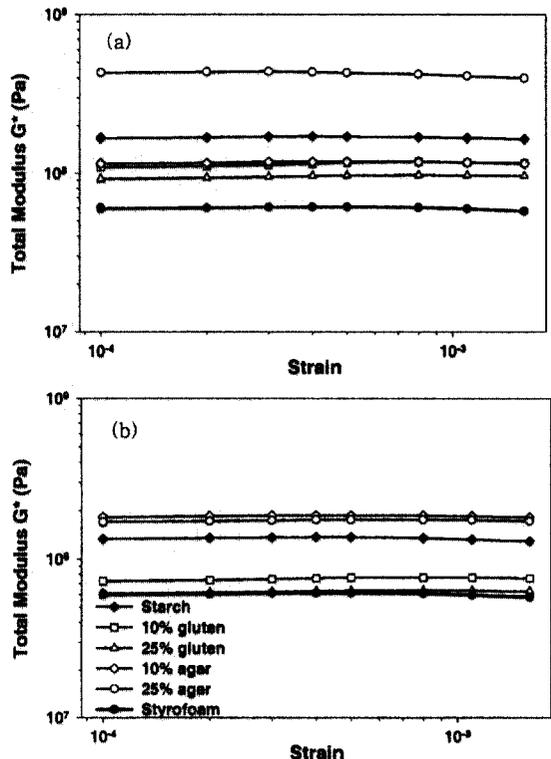


Fig. 2. Strain sweep tests for starch melts including gluten and agar at RH 75%(a) and RH 85%(b).

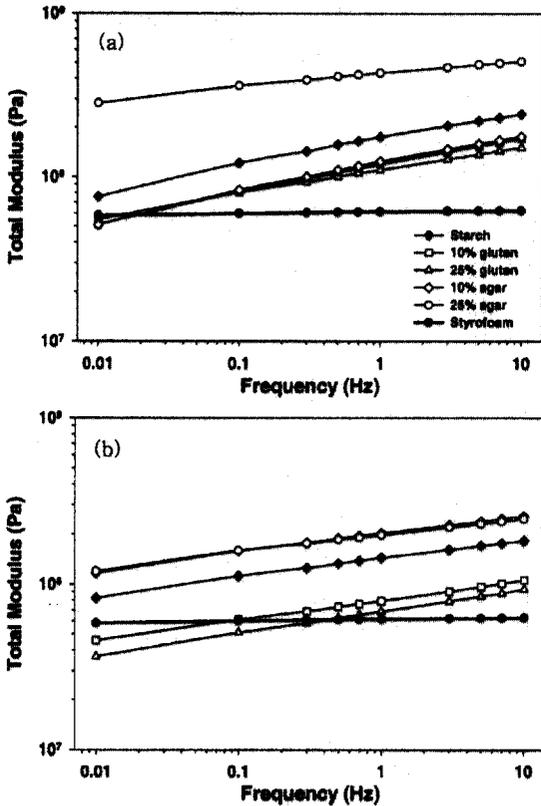


Fig. 3. Frequency sweep tests for starch melts including gluten and agar at RH 75%(a) and RH 85%(b).

따라  $G^*$ 가 감소함을 알 수 있었다. 첨가물을 함유한 시료의 경우 75%의 상대습도 시 전분시료보다 낮은  $G^*$  값을 보였으나 예외적으로 25%의 agar를 포함한 시료는 높은  $G^*$ 값을 보여주었다. 85%의 상대습도에서는 글루텐을 함유한 시료는 전분시료보다 낮은  $G^*$ 값을 보였으나 agar를 함유한 시료는 전분시료보다 높은  $G^*$ 값을 보였다. Small-strain을 이용한 실험은 large-strain을 이용한 인장실험과는 다른 양상을 띠는데 이는 전체적인 구조에 영향을 미치지 않는 작은 변형을 주는 small-strain test는 전체적인 구조보다는 구조를 이루는 각각의 strand의 성질을 알려주기 때문이다. agar가 함유된 시료는 agar에 의해 흡수된 수분으로 인해 구조의 연화를 가져오지만 이를 상쇄할 수 있는 전분 구조와의 어떤 결합이 있음을 추측해 볼 수 있다.

**Frequency sweep 측정**

Fig. 3은 주파수(frequency)의 변화에 따른 시료들

Fig. 4. Stress relaxation tests for starch melts including gluten and agar at RH 75%(a) and RH 85%(b).

의  $G^*$ 의 변화를 나타낸 것이다. 75%와 85%의 상대습도시 각 시료의  $G^*$ 값의 크기 변화는 strain sweep test시 얻어진 경향과 같은 양상을 띠고 있었다. 이는 strain sweep test시 1 Hz의 주파수에서 측정하였기 때문이다. 스티로폼의 경우  $G^*$ 값은 주파수의 변화에 관계없이 일정한 값을 가지고 있었으며 전분 압축 성형물들은 주파수에 따라 증가하는 양상을 보였다. 이는 스티로폼은 주파수 의존성이 없는 안정한 형태를 띠지만 전분 압축 성형물들은 주파수 의존성이 높은 불안정한 형태를 가짐을 알 수 있었다.

**Stress relaxation 측정**

일정한 변형을 가한 뒤 일정시간동안 stress의 변화를 측정하여 시료의 시간에 따른 안정성을 측정하는 stress relaxation 측정을 각 시료별로 하여 Fig. 4에 나타내었다. Y축은 표준화된 값으로 시간에 따른  $G$ 값(relaxation modulus)을 각각의 초기  $G_0$ 값으로 나누어준 값이다. 스티로폼의 경우 시간에 따른  $G/G_0$ 의 변화가 거의 없었는데 이는 스티로폼은

규격화된 3차원적 망상구조의 형태를 띤 완전한 탄성체로서 안정한 상태임을 알 수 있으며 이와는 달리 전분 압축 성형물들은 시간에 따라 크지는 않지만  $G/G_0$ 가 감소하는 양상을 보였는데 이는 전분압축성형물들의 구조가 스티로폼에 비해 규격화 되어 있지 않은 불규칙한 구조의 망상구조를 가져 시간에 따라 불안정하다고 추정할 수 있다. 상대습도에 따른 안정성을 비교해 보면 상대습도가 높아짐에 따라서 모든 시료의 안정성이 높아짐을 알 수 있는데 이는 85%상대습도에서 높은 수분의 흡수에 의해 연화된 각 성분들의 chains의 재배열에 의해서 외부 변형에 대한 안정성이 좋아졌으리라 추측할 수 있다.

## 요 약

순수한 전분과 첨가제로서 글루텐과 agar를 첨가하여 만든 용융 압축 성형물을 각각 75%와 85%의 상대습도에서 전처리하여 이들의 레올로지적 성질을 Texture Analyzer와 Rheometer를 이용하여 측정하였다. 대체적으로 첨가제를 포함한 시료는 전분 시료에 비해 낮은 임계변형도, 임계응력 그리고 낮은 toughness 가짐을 large-strain test에 의해 알 수 있었다. 첨가제를 함유한 압축 성형물의 경우 전분으로만 만들어진 압축 성형물에 비해 전분과 첨가제 strand 사이에 상대적으로 약한 결속력으로 인해 인장시 쉽게 파괴되며 파괴시 드는 에너지가 작아 낮은 toughness를 가짐을 알 수 있다. 또한 전처리 상대습도의 증가로 인한 수분의 증가에 따른 변화는 순수 전분 시료의 경우 임계응력과 toughness는 크게 증가하였으나 첨가제를 함유한 시료의 경우 수분증가에 따른 임계응력과 toughness는 크게 감소하였다. Small strain 실험의 경우 전분시료 및 첨가제를 함유한 시료의 경우 스티로폼 시료보다 높은  $G^*$ 과 주파수에 의한 의존성이 크고 시간에 따른 구조의 안정성이 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 agar를 함유한 시료가 글루텐을 함유한 시료보다 높은  $G^*$  값을 보였다.

전분을 이용하여 생분해성 강성포장재를 만들어 스티로폼을 대체하기 위해서는 전분의 stiff 한 구조를 적당한 첨가제를 첨가하여 유연화시키고 또한 용융압출물의 구조를 스티로폼과 같이 좀더 homogeneous한 구조로 만들어 줌으로서 가능해 짐을 알 수 있었다. 앞으로 용융압출물들의 미세구조를 관찰하여 구조와 레올로지적 성질의 연관성을

확립시키기 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

## 문 헌

- 송재철, 박현정. 1998. 식품첨가물학. 내하출판사. pp. 283-291
- Altieri, P.A. 1992. Biodegradable shaped products from modified starches. U.S Pat. 5153037. pp. 10
- Averous, L., L. Moro, P. Dole and C. Fringant. 2000. Properties of thermoplastic blends: starch-polycaprolactone. *Polymer*. **41**(11): 4157-4167
- Bhatnagar, S. and M.A. Hanna. 1996. Starch-based plastic foams from various starch sources. *Cereal Chem.* **73**(5): 601-604
- Blanshard, J.M.V. 1987. Starch granule structure and function: a physicochemical approach. In: Starch Properties and potential. Galliard, T. (ed). John Wiley & Sons for SCI, Chishester. pp. 16-54
- Eliasson, A.C. 1983. Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixture. *J. Cereal Sci.* **1**(3): 199-205
- Griffin, G.J.L. 1994. Chemistry and Biochemistry of polymer degradation. In: Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers, Blackie Academic & Professional, London. pp. 135-149
- Hong, S.I., C.T. Kim and C.J. Kim. 1998. Comparison of physical properties of starch based extruded loose-fill with different mixing formulas. *Food Engineering Progress.* **2**(1): 68-74
- Kester, J.J. and O.R. Fennema. 1989. Edible films and coating A review. *Food Technol.* **43**(12): 47-59
- Lenz, R.W. 1993. Biodegradable polymers. *Adv. Polym. Sci.* **107**(Biopolymers I): 1-40
- Mani, R. and M. Bhattacharya. 1998. Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends-III. Effect of amylopectin to amylose ratio in starch. *Eur. Polym. J.* **34**(10): 1467-1475
- Petersen, K., P.V. Nielsen, G. Bertelsen, M. Lawther, M.B. Olsen, N.H. Nilsson and G. Mortensen. 1999. Potential of biobased materials for food packaing. *Trends in Food Sci. Technol.* **10**(2): 52-68
- Shogren, R.L. 1992. Effect of moisture content on the melting and subsequent physical aging of corn starch. *Carbohydr. Polym.* **19**(2): 83-90
- van Soest, J.J.G. and J.F. Vliegthart. 1997. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends in Biotechnology* **15**(5): 208-213
- van Soest, J.J.G., D. de Wit, H. Tournois and J.F.G. Vliegthart. 1994. The influence of glycerol on structural changes in waxy maize starch as studied by Fourier transform infrared spectroscopy. *Polymer* **35**(22): 4722-4727
- Wang, L., R.L. Shogren and C. Carriere. 2000. Preparation and properties of thermoplastic starch-polyester laminate sheets by coextrusion. *Polym. Eng. Sci.* **40**(2): 499-506