

포장완충재용 펄프 섬유 압출물의 물리적 특성

송대빈*¹ · 김철환[†] · 정효석*¹ · 이영민 · 김재옥 · 김경윤 · 박종열
(2005년 4월 11일 접수: 2005년 8월 10일 채택)

Physical Properties of Shock-Absorbing Materials Made of Pulp Fibers for Packaging

Dae-Bin Song*¹, Chul-Hwan Kim[†], Hyo-Suk Jung*¹, Young-Min Lee,
Jae-Ok Kim, Gyeong-Yun Kim, and Chong-Yawl Park
(Received on April 11, 2005: Accepted on August 10, 2005)

ABSTRACT

Styrofoam as shock-absorbing materials for packaging has been regarded as one of non-biodegradable products leading to soil contamination at a landfill and release of dioxine during its incineration. For avoiding severe burdens on our environments by styrofoam, it must be replaced by environment-friendly materials. In order to evaluate availability of pulp fibers as a substitute for styrofoam, various extrusion processes were applied for making optimal biodegradable products. Then thermomechanical pulp fibers made of *Pinus radiata* and *Pinus rigida* were uniformly mixed with other additives such as starch and polyvinyl alcohol prior to expansion. The physical properties of the final products were examined by measuring expansion efficiency, compression strength, and elastic modulus. Wheat starch played a key role to maintain optimal flowing conditions within the barrel of the extruder irrespective of addition of soluble starch and polyvinyl alcohol. However, as the amounts of wheat starch in raw-materials increased, the elastic modulus of the expanded materials greatly increased. High elastic modulus is not suitable as shock-absorbing products for packaging. Thus the wheat starch must be added at a mini-

• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Forest Science, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)
*1 경상대학교 농업생명기계공학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Agricultural Engineering, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author) : E-mail : jameskim@gsnu.ac.kr

mum if possible, that is, below 20% based on oven-dried weight of pulp fibers. the elastic modulus of the expanded products was decreased as their moisture contents increased. For the products containing 20% wheat starch, the lowest elastic modulus, 844.64 kPa was obtained under 10% of the moisture content. This was similar to that of styrofoam.

Keywords : shock-absorbing materials, packaging, biodegradable, pulp fibers, extrusion.

1. 서 론

석유계(petroleum based products) 플라스틱 제품의 난분해성으로 인한 환경오염은 폐기 지역의 문제를 떠나 지구촌 전체 문제로 대두되고 있다. 특히 육지에서 버려진 폐플라스틱 제품들은 하천과 강물을 따라 바다로 이동되면서 해마다 약 백만 톤의 플라스틱 제품들이 바다에 폐기되고 있으며 이로 인해 심각한 해양 오염 및 생태계 파괴가 초래되고 있다.¹⁾

이러한 폐플라스틱이나 스티로폼 등으로 인한 환경오염 문제를 극복하고자 최근 들어 전분을 주 원료로 하는 생분해성 플라스틱 제품 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 전분이 갖고 있는 생분해성, 재생 특징 및 저렴한 제조비용 등의 장점으로 식품 포장용 필름 및 용기제조에 적용되고 있다. Martin 등은 전분이 수분과 결합하여 조직이 분해되는 단점을 해소하고자 밀가루 전분에 폴리스테르를 사용하여 수분저항성을 높인 포장용 다중 필름을 압출과 압축공정으로 제조하여 기계적인 특성을 제시하였다.²⁾ Hong 등은 옥수수 전분에 염, 유화제 및 가소제를 첨가한 원료를 이축압출기를 사용하여 압출물의 특성을 분석한 바, 압출물 함수율이 18~23%(wt)의 범위에서 압축력과 복원력이 어느 정도 유지되었으나, 완전 건조 시 전분의 노화로 압출물이 부서지는 성질 때문에 완충용 포장재로는 미흡하다는 결론을 얻었다.³⁾ Averous 등은 전분 노화 시 나타나는 기계적 성질을 개선하기 위해 밀 전분, 글리세롤, 셀룰로오스 섬유를 혼합한 원료를 사용하여 압출공정을 통해 팽연화된 시트형 및 용기형 포장재를 제조한 후 기계적 성질 및 노화 시 기계적 성질의 변화를 관찰하였다.⁴⁾

스티로폼이나 플라스틱용 완충소재는 자연계에 매립되거나 수거 후 소각할 때 여러 가지 심각한 환경 관련 오염원을 발생시킬 수 있기 때문에 새로운 친환경적 완충소재의 개발이 절실히 필요한 시점이다. 목재로부터 추출하여 얻어지는 펄프 섬유는 종이의 일차적 원료로 사용되는 친환경적 소재(eco-materials)이다. 토양에 매립되었을 때 분해가 빠를 뿐만 아니라 수거 후 재활용도 가능하여 스티로폼이나 플라스틱 소재를 대체할 수 있는 매우 우수한 자원임이 널리 알려져 있다. 그러나 펄프 섬유가 스티로폼이 갖는 완충 성능을 갖기 위해서는 셀룰로오스 섬유들이 가지고 있는 자체 결합력만으로는 완충 성능을 부여하기 위한 팽연력(혹은 팽창력, expanding force)을 극복할 수 없다. 따라서 펄프 섬유의 팽연 시 형상 유지가 가능하도록 팽연보조제가 필요한데 앞서의 연구결과¹⁻⁴⁾를 토대로 전분을 가장 이상적인 팽연보조제로 선정하였다. 전분은 친수성 생분해 물질로 압출공정을 이용하여 다양한 형태의 포장제품을 제조할 수 있는 장점이 있는 반면, 노화 시 제품의 탄성계수가 급격하게 증가하여 완충재로 사용하기에는 곤란한 문제점이 있기 때문에⁵⁾ 제품 노화 시 탄성계수가 증가되지 않는 적절한 소재와 함께 사용할 필요가 있다. 펄프 섬유는 주성분이 셀룰로오스 섬유질로 구성되어 있으며 전분과 화학적으로 결합할 수 있고 기계적 성질이 안정적이다. 따라서 펄프 섬유에 전분 등과 같은 적절한 결합보조제를 혼합한 원료를 사용하면 기계적 성질이 안정적인 포장완충재의 개발이 기대된다.

따라서 본 연구에서는 팽연 완충소재 개발을 위해 펄프 섬유를 주원료로 하고 밀가루 전분, 공업용 전분, 폴리비닐알코올과 같은 팽연보조제를 혼합한 원료의 압출특성과 압출물의 물리적 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 장치

펄프 섬유의 압출 특성 분석을 위해 단축식 압출기(single screw extruder)를 설계·제작하였고, 이를 사용하여 목재 분말의 압출 특성 실험을 실시하였다. 제작된 압출기의 제작도 및 사진은 Fig. 1과 같고, 제원은 Table 1과 같다.

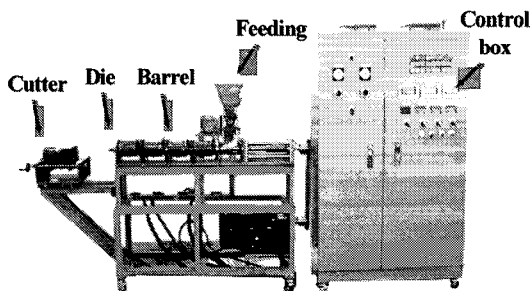


Fig. 1. Photograph of experimental apparatus.

2.2 공시 재료

본 실험에 이용되어진 펄프 섬유(TMP, Thermo mechanical pulp)는 직경이 15 cm 미만의 침엽수류(Pinus rigida, Pinus radiata)를 이용하여 약 2.5×2.5×10 mm 크기로 치핑한 후 다이제스터에서 120~140℃, 3~4 kg/cm³로 1시간 예열한 후 싱글 디스크 리파이너를 이용하여 제조되었다. 팽연보조제로 사용된 폴리비닐알코올(PVA, polyvinyl alcohol)은 대정화금(주)에서, 밀 전분과 용해용 전분은 덕산화학(주) 제품을 이용하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 압출기 운전

원료 공급구를 기준으로 공급용 스크류(L=40) 3개, 계량용 스크류(L=30) 5개, 압축용 스크류(L=20) 10개로 스크류를 조합하였다. 배럴온도는 투입구 60℃, 중간부 100℃, 다이부 120℃로 하였으며, 스크류 회전수는 100 rpm으로 하였다. 다이 구경은 20 mm로 하였다.

2.3.2 원료 혼합

최적의 압출 조건을 위하여 펄프 섬유에 대한 수분의 비율을 1:1로 하였으며, 팽연 보조제는 펄프 섬유의 전건 중량을 기준으로 하여 10, 20, 30, 40% 첨가하여 혼합 하였다.

2.3.3 팽연율 측정

압출물의 직경을 버니어 캘리퍼스로 측정하고 이를 다이 직경과의 비로 환산하여 팽연율로 하였다. 각 시료별로 5회 측정하고 평균값을 사용하였다. 팽연율 환산식은 다음과 같다.

$$\text{Expanding Efficiency}(\%) = \frac{\text{압출 후 시료 직경}(mm)}{\text{다이 직경}(mm)} \times 100 \quad [1]$$

팽연화기로부터 압출된 섬유들은 팽연화기 다이(die)의 최초 직경보다 훨씬 큰 직경으로 팽연 된다. 따라서 펄프 섬유 시료의 팽연화율(%)은 항상 100보다 큰 값을 갖게 될 것이다.

2.3.4 팽연율 측정

또한, 압출물의 팽연화 정도를 육안으로 관찰하

Table 1. Specification of experimental apparatus

| Description | Specification | Remarks |
|------------------------|---------------|----------|
| Screw dia.(mm) | 40 | |
| Screw length/dia.(L/D) | 5 | |
| Screw revolution(rpm) | 150(Max.) | Variable |
| Outlet capacity(kg/hr) | 50 | Variable |
| Barrel temp.(℃) | 0~150 | Variable |
| Inlet capacity(kg/hr) | 100(Max.) | Variable |

Table 2. Experimental cof pulp fiber

| Items | Adding amount | Remarks |
|------------------------|--|---|
| TMP fibers | 600 g | |
| Expanding additive (%) | 10, 20, 30, and 40% respectively (Wheat starch, soluble starch, and PVA) | The addition ratios were based on OD pulp weight(g) |
| Water | 600 mL | |

Table 3. Experimental conditions of expanding additives

| Items | Adding amount | Remarks |
|-------------------------|--|--|
| TMP fibers | 600 g | |
| Expanding additives (%) | Wheat starch(10, 20 and 30%) added with 10% of soluble starch and PVA respectively | The addition ratio of wheat starch was based on an oven-dried weight of pulp fibers. The addition ratio of soluble starch and PVA were based on weights of wheat starch respectively. |
| Water | 600 mL | |

기 위하여 주사전자현미경(JSM-6400, JEOL)을 이용하여 팽연소재의 단면을 관찰 하였다.

2.3.5 탄성계수 측정

시료의 길이를 20 mm로 절단하여 탄성계수 측정용 시료를 제조하였다. 물성분석기(Texture analyzer, TA-XT2i, England)를 사용하여 하중 재하속도(loading speed)는 ASAES 368.3에서 규정하고 있는 2.530~30 mm/min의 범위 내의 속도인 30 mm/min로 접촉시킨 후 변형 5 mm로 하여 시료의 횡방향 탄성계수를 측정하였다.

2.3.6 압출 특성 분석

2.3.6.1 펄프 섬유에 압출 특성

펄프 섬유 600 g에 밀 전분, 용해용 전분, PVA를 펄프 섬유 중량 기준으로 일정량씩 배합하여 압출 특성을 분석하였다. 상세한 실험 조건은 Table 2와 같다.

2.3.6.2 팽연보조제 혼합에 따른 압출 특성

펄프 섬유에 팽연보조제(밀 전분, 용해용 전분, PVA)를 서로 혼합하여 압출 특성을 분석하였다. 상세한 실험 조건은 Table 3과 같다.

2.3.6.3 함수율에 따른 압출 특성 분석

압출물의 습량기준 함수율을 0%, 10%, 20% 및 30%로 조절하여 함수율 변화에 따른 압출 특성을 분석하였다. 압출물의 함수율은 항온항습기(JEOTEK, Korea)를 사용하여 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프 섬유의 압출 특성

펄프 섬유에 팽연보조제를 첨가한 압출물의 압출특성은 Table 4와 같다. 밀 전분 첨가량이 20% 이상일 때 압출 작업이 가능하였으며, 용해용 전분과 PVA는 첨가량에 관계없이 압출 작업이 불가능하였다. 따라서 사용 원료에 관계없이 용해용 전분과 PVA는 압력을 받았을 때 펄프 섬유와 전분 분자들 사이에 충분한 결합력이 나타나지 않아 압출

Table 4. Extrusion status of pulp fiber mixed with expanding additives

| Expanding additives | Added weights(%)* | | | | Remarks |
|---------------------|-------------------|----|----|----|--------------------------------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | |
| Wheat starch | ○ | ○ | ○ | ○ | ○: extruded ×: not extruded |
| Soluble starch | × | × | × | × | |
| PVA | × | × | × | × | |

* based on oven-dried weight of pulp fibers

시 형상 유지가 되지 않기 때문에 팽연보조제로써의 사용은 불가능함을 알 수 있었다. 이것은 용해용 전분이나 PVA가 팽연완충소재에 함유된 과도한 수분으로 인하여 압출 순간에 적용된 수증기의 팽창력을 이겨낼 수 있는 섬유간 결합이 충분히 형성하지 못해 완충소재의 형상 유지가 되지 않은 것이기인한 것으로 사료된다. 특히 용해용 전분의 경우 팽연화기의 배럴(barrel) 내부에서 호화될 수 있는 시간이 충분히 주어지지 않았기 때문에 펄프 섬유들과의 충분한 수소결합이 일어나지 못한 것으로 보인다. 그러나 밀 전분의 경우에는 호화가 쉽게 되었지만 첨가량이 펄프 섬유의 중량에 대하여 20% 미만일 때는 압출 작업이 거의 불가능함을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 압출 작업이 가능한 밀 전분을 팽연보조제로 사용하여 제조한 펄프 섬유 압출물을 건조기에서 건조하여 수분을 완전히 제거시킨 시료의 탄성계수와 팽연율을 나타낸 것이다. 첨가량 20, 30 및 40%에서 탄성계수는 각각 1870.68, 2731.28 및

3675.97 kPa로 나타났으며, 팽연율은 189.93, 162.33 및 145.60%로 나타났다. 밀 전분의 첨가량에 따른 탄성계수와 팽연율의 경향을 나타낸 것으로 밀 전분 첨가량이 증가함에 따라 탄성계수는 증가하는 반면 팽연율은 뚜렷하게 감소하는 것을 알 수 있었다.

이상적인 팽연완충소재의 제작을 위해서는 최대 팽연율을 가지면서 낮은 탄성계수를 갖는 소재의 제작이 무엇보다 필요하다. 그러나 전분 첨가량의 증가는 오히려 탄성계수는 증가시키면서 팽연율의 저하를 초래하여 이상적인 소재 제작 조건을 형성하지 못하였다. 이는 펄프 섬유에 혼합된 전분이 건조되면서 셀룰로오스 섬유들과 전분 입자 상호간에 강한 수소결합을 형성함으로써 팽연완충소재의 고밀화를 촉진하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 전분 혼입량을 가능한 감소시킨 상태에서 제작하는 것이 충격 흡수를 극대화할 수 있는 완충소재가 만들어 질 것으로 판단되었다.

Fig. 3는 펄프 섬유에 밀 전분의 첨가량을 달리해서 압출시킨 완충소재들의 형상들이며, Fig. 4는 압출 시료의 단면을 주사전자현미경을 이용하여 촬영한 사진들이다. Fig. 4에서 보듯이 20%의 밀 전분이 첨가된 펄프 섬유 압출물에서는 섬유의 내강이 붕괴되지 않고 원형 그대로 유지된 상태로 팽연되었기 때문에 충격을 흡수할 수 있는 공간이 형성되어 완충능력을 갖게 되었다. 그러나 전분 첨가량이 증가할수록 섬유와 밀 전분 사이에 과도한 응집이 발생하여 압출 과정에서 섬유내강이 붕괴되고 섬유들 사이의 약한 결합 부위가 터지면서 팽연이 거의 이루어지지 않은 것을 볼 수 있다.

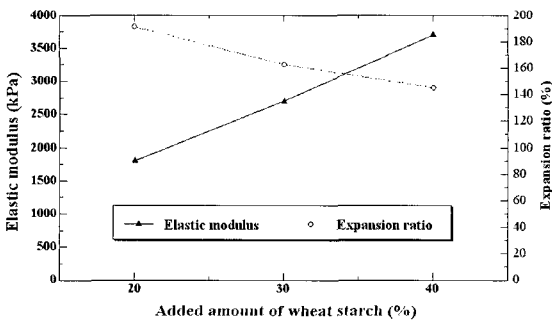


Fig. 2. Elastic modulus & expansion ratio of pulp fibers extrudates.

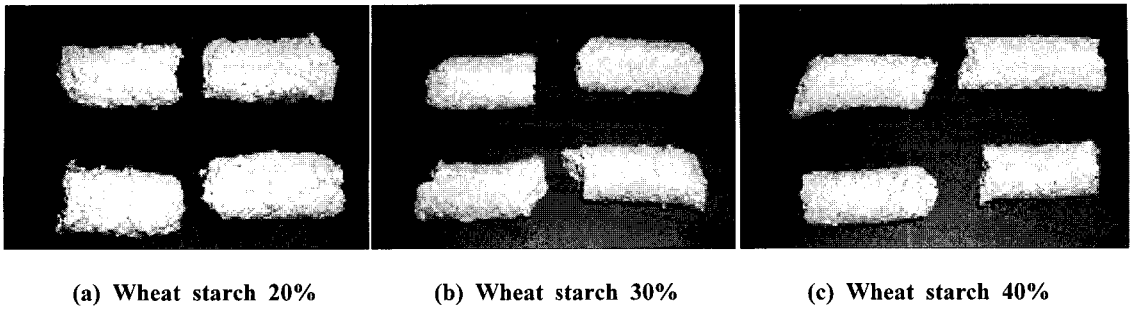


Fig. 3. Photographs of pulp fiber extrudates mixed with wheat starch.

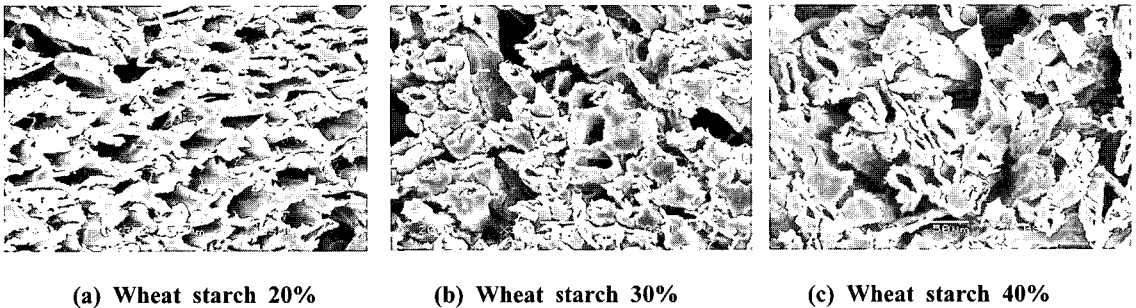


Fig. 4. SEM photograph of pulp fiber extrudates mixed with wheat starch.

3.2 팽연보조제 혼합에 따른 압출 특성

팽연완충소재의 결합력과 팽연성을 보완하기 위하여 펄프 섬유에 용해용 전분과 PVA와 같은 팽연보조제를 서로 혼합하여 첨가한 압출물의 압출특성은 Table 5에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 밀가루 전분과 혼합된 경우는 압출 작업이 가능하였고, 용해용 전분과 PVA를 혼합한 경우는 압출 작업이 불가능하였다. 용해용 전분 자체의 중합도가 낮고 수분이 존재하는 상태에서 섬유와의 결합

력을 유지하기 어렵기 때문에 친수성 고분자인 PVA를 혼합시켰음에도 불구하고 압출이 쉽게 이루어지지 않는 것으로 보인다. 특히 밀 전분에 용해용 전분 및 PVA를 각각 혼합하는 경우 밀 전분 중량의 10%에 해당하는 혼합비에서만 압출 작업이 가능하였다, 이보다 높거나 낮은 경우에는 전분의 결합력이나 유체 유동성에 문제가 있어 압출 작업이 불가능하였다. 따라서 팽연보조제를 서로 혼합하는 경우에는 혼합 비율이 매우 중요한 요소가 되는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Extrusion status of pulp fiber mixed with combined expansive ingredients

| Material | Combined expansive ingredients | | | Remarks |
|------------|--------------------------------|----------|----------|---|
| | WS +SS | WS + PVA | SS + PVA | |
| Pulp fiber | ○ | ○ | × | WS : wheat starch SS : soluble starch PVA : polyvinyl alcohol ○ : extruded × : not extruded |

Table 6. Extrusion properties of pulp fibers mixed with wheat starch and soluble starch

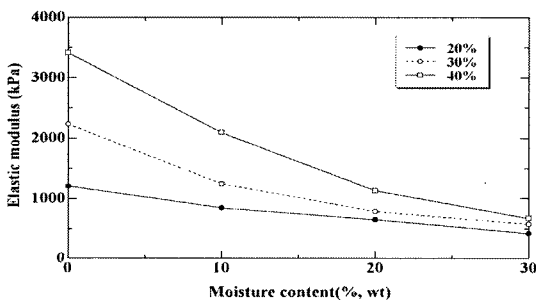
| Material | Wheat starch | Soluble starch | Extrudate sample | Coefficient of elastic(kPa) | Expansion ratio(%) |
|------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pulp fiber | 20% of pulp fiber | 10% of Wheat starch | Mean S. D. | 1204.39 60.12 | 197.13 30.56 |
| | 30% of pulp fiber | 10% of Wheat starch | Mean S. D. | 2231.19 76.51 | 188.87 32.58 |
| | 40% of pulp fiber | 10% of Wheat starch | Mean S. D. | 3411.27 214.75 | 151.13 24.88 |

Table 7. Extrusion properties of pulp fibers mixed with wheat starch and PVA

| Material | wheat starch | PVA | Extrudate sample | Coefficient of elastic(kPa) | Expansion ratio(%) |
|------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pulp fiber | 20% of pulp fiber | 10% of wheat starch | Mean S. D. | 1155.19 117.54 | 181.40 26.22 |
| | 30% of pulp fiber | 10% of wheat starch | Mean S. D. | 2302.62 185.87 | 169.20 33.12 |
| | 40% of pulp fiber | 10% of wheat starch | Mean S. D. | 4126.24 32.36 | 159.07 26.99 |

압출 작업이 가능한 밀 전분과 용해용 전분, 밀 전분과 PVA의 압출 특성을 Table 6과 Table 7에 나타내었다. 앞의 실험 결과와 동일하게 밀 전분의 첨가량이 증가함에 따라 탄성계수는 증가하고, 팽연율은 감소하였다. 완충 성능을 확보하기 위해서는 탄성계수가 가능한 작아야 한다는 측면에서, 펄프 섬유의 전건중량에 대하여 밀 전분 20%를 첨가하고, 밀 전분 중량에 대하여 용해용 전분 10%를 첨가한 경우의 탄성계수는 1204.39 kPa로 밀 전분

만 첨가했을 때의 1870.68 kPa 보다 적게 나타났으며 압출시의 성형성도 향상된 것으로 나타났다. 밀 전분에 PVA를 혼합한 경우 탄성계수는 1155.19 kPa, 팽연율은 181.40%로 용해용 전분을 첨가한 경우보다 모두 적게 나타났다. 이것은 팽연율이 커야지만 충격흡수에 적합한 낮은 탄성계수를 얻을 수 있음을 의미하기 때문에 PVA보다는 용해용 전분이 팽연보조제로 더 적당한 것으로 나타났다. Fig. 5는 각 조건에서 압출 시료를 나타낸 사진이다.

**Fig. 5. Elastic modulus of pulp extrudates mixed with wheat starch.**

3.3 함수율에 따른 압출 특성

앞서 나타낸 탄성계수는 각 실험 조건에서 압출된 시료를 105±3°C의 조건에서 3시간 건조시킨 후 조습처리 없이 바로 측정한 값이다. 일반적으로 대부분의 전분 팽연제는 수분을 제거시키면 전분을 구성하는 아밀로스 사슬과 아밀로펙틴 사이에 재결합이 일어나면서 단단하게 굳어졌다. 따라서 적정 함수율을 유지시켜주지 않는다면 팽연보조제의 첨가량에 상관없이 외부 충격을 흡수할 수 있는 완충

성능을 발현하지 못한다. 따라서 완충재로서의 기능을 부여하기 위해 압출 시료가 대기 중에 노출되었을 때 흡습 가능한 함수율 상태에서 탄성계수를 측정할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

Fig. 5, 6 및 7은 펄프 섬유에 밀 전분 20, 30, 40%만을 첨가하고, 밀 전분 첨가량의 10%에 해당하는 용해용 전분 및 PVA를 각각 팽연보조제로 사용한 경우 압출 시료의 함수율에 따른 탄성계수를 나타낸 것이다. 펄프 섬유에서와 같이 함수율이 증가함에 따라 탄성계수가 급격하게 줄어드는 것을 볼 수 있으며, 함수율 30%에서는 팽연보조제의 첨가량에 관계없이 비슷한 탄성계수를 나타내었다.

함수율 10%에서 펄프 섬유에 밀 전분 20%를 사용한 경우 탄성계수는 1232.09 kPa, 용해용 전분을 혼합하여 사용한 경우 탄성계수는 844.64 kPa로 가장 적게 나타났다. 따라서 이상적인 완충재 개발을 위한 조건은 펄프 섬유에 20% 정도의 밀 전분을 첨가하고 여기에 밀 전분 첨가량의 10% 정도의 용해용 전분을 혼합하는 경우로 판단되었다.

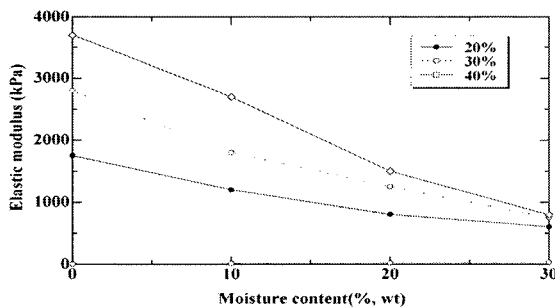


Fig. 6. Elastic modulus of pulp extrudates mixed with wheat starch and soluble starch.

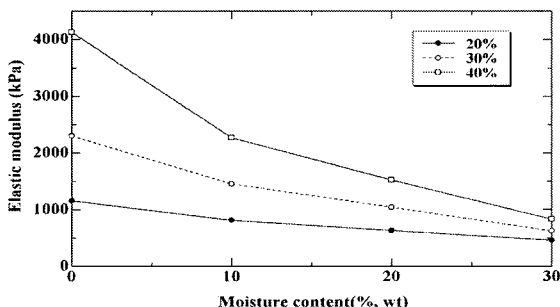


Fig. 7. Elastic modulus of extrudates mixed with wheat starch and PVA.

4. 결론

팽연 완충소재 개발을 위해 소경목 및 폐잔재로부터 제조된 TMP 섬유를 주원료로 하고 밀 전분, 용해용 전분 및 PVA와 같은 팽연보조제를 혼합한 원료의 압출특성과 제조된 팽연완충소재의 물리적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 팽연보조제로 사용한 용해용 전분과 PVA의 경우 첨가량에 관계없이 압출작업이 불가능하였으며, 밀 전분의 경우도 첨가량 20% 이하에서는 압출작업이 불가능하였다. 팽연보조제를 서로 혼합한 실험 결과 용해용 전분과 PVA는 밀 전분 중량의 10%에 해당하는 원료 조성에서만 압출작업이 가능하였으며 용해용 전분과 PVA를 서로 혼합한 경우 팽연화기의 배럴 안에서 원료 유동이 불량해지면서 압출이 되지 않았다. 따라서 압출공정을 이용한 팽연완충소재 개발 시 밀 전분의 사용이 매우 중요함을 알 수 있었다.
- (2) 밀 전분을 20, 30, 40% 첨가한 경우 탄성계수는 1870.68, 2731.28, 3675.97 kPa, 팽연율은 189.93, 162.33, 145.60%로 각각 나타나 밀 전분 첨가량이 증가할수록 탄성계수는 커지고 팽연율은 작아지는 경향을 보였다. 밀 전분 20%와 밀 전분 중량의 10%에 해당하는 용해용 전분과 PVA를 첨가한 경우 탄성계수는 1204.39, 1155.19 kPa로 밀가루 전분 보다 작게 나타났다. 따라서 펄프 섬유를 사용한 팽연완충소재 개발 시 팽연보조제로 밀 전분과 용해용 전분 및 PVA를 각각 혼합 사용하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단되었다.
- (3) 압출시료를 함수율 0, 10, 20 및 30%(wt)로 조절하여 탄성계수를 측정한 결과 팽연소재의 함수율이 증가할수록 탄성계수는 작아졌으며 함수율 30%에서는 원료조성에 관계없이 비슷하게 나타났다. 특히 펄프 섬유 중량의 20%에 해당하는 밀 전분, 밀 전분 중량의 10%에 해당하는 용해용 전분을 혼합한 경우 함수율 10%(wt)에서 탄성계수가 844.64 kPa로 가장 작게 나타나 이상적인 완충소재가 될 수 있을 것으로 판단되었다.

인용문헌

1. Fritz, J., Link. U., and Braun. R., Environmental impacts of biobased/biodegradable packaging. *Starch* 53:105-109 (2001).
2. Martin, O., Schwach. E., Averous. L., and Couturier. Y., Properties of biodegradable multilayer films based on plasticized wheat starch. *Starch* 53:372-380 (2001).
3. Hong, S. I. Kim. C. T., and Kim., C. J. Comparison of physical properties of starch based extruded loose-fill with different mixing formulas. *Food Engineering Progress*. 2(1):68-74 (1998).
4. Averous, L., Fringant. C., and Moro. L., Starch-based biodegradable materials suitable for thermoforming packaging. *Starch* 53:368-371 (2001).
5. 김진성, 김영기, 임승순, 송자량, 임대영, 임상현, 한정석, 완충재용 전분발포물의 구조와 물성에 관한 연구, 1994년 한국섬유공학회 추계학술발표, pp.51-52 (1994).