

열가소성 녹말의 유변학 성질, 열적 성질 및 기계적 성질에 관한 연구

부이 독냐, 손영곤*
공주대학교 신소재 공학부

Study on the rheological, thermal and mechanical properties of thermoplastic starch plasticized by glycerol

Duc Nhat Bui, Younggon Son*

Division of Advanced Materials Science and Engineering, College of Engineering,
Kongju National University

요 약 녹말에 가소제인 글리세롤을 혼합하여 열가소성 녹말 (thermoplastic starch, TPS)을 제조하였다. 혼합된 글리세롤은 20-35 wt.%의 비율이었고 TPS는 이중 압출기에서 제조하였다. 제조된 TPS의 전단 점도, 열적 성질 및 기계적 강도를 시험하였다. 제조된 TPS는 전단 속도가 증가할수록 점도가 감소하는 전형적인 고분자의 점도 거동을 보였다. 가소제인 글리세롤의 함량이 증가할수록 power index, n 은 증가하여 1에 가까운 값을 보였다. 이는 뉴턴성 유체인 글리세롤의 함량이 증가할수록 제조된 TPS의 점도 거동이 뉴턴성 유체에 가까워지기 때문이다. TPS의 열적 거동을 관찰한 결과 녹말과 글리세롤이 한 상 (single phase)을 보임을 확인 할 수 있었다. 또한 TPS를 상온에 하루 이상 방치하면 부분적 상용성을 보이는 것으로 관찰되었는데 이는 공기 중의 습기의 작용인 것으로 추정된다. TPS의 기계적인 성질은 가소제의 함량에 크게 의존하는 것을 볼 수 있었는데 가소제의 함량이 증가할수록 인성과 강성 모두 증가하는 것을 관찰하였다. 가소제의 함량이 증가할수록 강성이 증가하는 특이한 현상은 습도와 높은 아밀로즈 함량이 복합적으로 작용하여 생긴 결과임을 DSC 분석을 통해 알 수 있었다.

Abstract Thermoplastic starch (TPS) was prepared by mixing starch with glycerol as a plasticizer. The glycerol content ranged from 20 to 35 wt. % and TPS was prepared in a twin screw extruder. The shear viscosity, thermal and mechanical properties of the TPS were investigated. The viscosity of TPS exhibited typical shear thinning behavior: decreasing viscosity with increasing shear rate. The power index, n , increased with increasing glycerol content. This is because as the content of glycerol, a Newtonian fluid, increases, the viscosity behavior of the TPS becomes closer to that of a Newtonian fluid. The thermal behavior of TPS showed that starch and glycerol are miscible. In addition, when TPS was aged for more than one day at room temperature, TPS showed a partially miscible phase structure. The moisture absorbed into the TPS was assumed to change the phase behavior. The mechanical properties of TPS were found to be strongly dependent on the content of the plasticizer. Both the toughness and stiffness increased with increasing plasticizer content. DSC showed that this unusual result was due to the combined effect of humidity and the high amylose content in starch.

Keywords : thermoplastic starch, glycerol, viscosity, green materials, thermal processing

*Corresponding Author : Younggon Son(Kongju National Univ.)

Tel: +82-10-6224-6135 email: sonyg@kongju.ac.kr

Received April 9, 2018

Accepted June 1, 2018

Revised (1st May 2, 2018, 2nd May 4, 2018)

Published June 30, 2018

1. 서론

생분해성 고분자 및 생물체로부터 제조한 고분자는 환경분야, 의학 및 제약 분야에 적용 가능하기 때문에 이에 관한 연구가 최근에 많은 관심을 받고 있다. 가장 많이 연구된 생분해성 고분자로는 폴리락틱산 (PLA, polylactic acid), 폴리카프로락톤 (polycaprolactone, PCL), 폴리에틸렌옥사이드 (polyethyleneoxide, PEO) 폴리히드록시뷰티레이트 (poly(3-hydroxybutyrate, PHB), 폴리글리콜릭산 (polyglycolic acid, PGA) 및 열가소성 녹말 (thermoplastic starch TPS) 등이 있다. 이 중 TPS는 저가이고 생분해성이 높고 재생 가능한 자원으로부터 얻을 수 있기 때문에 일회용 제품에 적용하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

또한 TPC는 플라스틱 산업에서 많이 사용되는 기존의 고분자 가공 기술인 사출 성형, 압출 성형 등을 그대로 적용될 수가 있어서 새로운 고분자를 개발하는 방법보다 경제적인 장점이 있다 [1-2]. TPS는 녹말에 가소제를 혼합하여 제조하는데 가소제로는 글리세롤 (glycerol) [3-4], 소비톨 (sorbitol) [5], 에틸렌비스포름아마이드 (ethylenebisformamide) [6] 및 포름아마이드 (formamide) [7] 등이 흔히 사용된다. 가소제의 화학적 특성과 혼합비 등이 TPS 성능 중요한 영향을 미친다. 물, 폴리올, 우레아 (urea) [8-9], 구연산 (citric acid) [10]을 비롯한 여러 가소제가 이러한 목적으로 연구되었다. TPS는 일회용 제품에 사용되는 다른 합성 고분자와 비교하여 수용성이라는 점과 기계적 물성이 낮다는 큰 단점이 있다. 녹말의 분해온도가 낮기 때문에 낮은 가공 온도로 인한 저 유동성이 극복해야 할 또 하나의 단점이다. 이러한 단점은 합성 고분자와 혼합하여 개선시킬 수 있다.

현재까지 TPS에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이 중 TPS의 문제점인 나쁜 가공성 개선을 위해선 TPS의 유변 물성 측정이 필수적이다. Tajuddin 등은 글리세롤과 물을 다양한 비로 혼합한 TPS의 점도를 multi-pass rheometer를 이용하여 90, 110, 및 130 °C 의 세 온도에서 측정하였다 [11]. 측정결과 TPS는 전형적인 전단 담화 (shear-thinning) 현상을 보인다는 것을 관찰하였고 power-law index, n 이 측정 온도 보다는 가소제의 함량에 크게 영향을 받는다는 것을 관찰하였다. Willett 등은 TPS의 점도에 미치는 측정 온도, 첨가제 및 습도의 영향을 모세관 점도계 (capillary rheometer)를 이용하여 관

찰하였다 [12]. TPS는 면찰 담화 현상을 보이며 n 값은 온도에 따라 증가하는 것을 보고하였다. 또한 점도는 습도에 따라 감소하는 것을 관찰하였다. Gonzalez 등은 [3], 글리세롤과 혼합한 TPS를 제조하였고 압출기에 부착된 점도계를 이용하여 유변학적 성질을 측정하였다. 가소제인 글리세롤의 함량이 증가할수록 점도는 감소하였고 제조한 TPS의 점도가 LDPE보다 낮다는 것을 보고하였다. Jiugao 등은 [13] 두 종류의 가소제 효과를 비교하였다. 글리세롤보다 구연산을 사용한 TPS가 낮은 점도와 우수한 가공성을 보임을 보고하였다.

TPS의 점도를 모세관 다이 (단면이 원형인 다이)를 이용하여 측정한 연구는 많으나 단면의 형상이 직사각형인 슬릿 다이를 이용한 경우는 전혀 없다. 사출성형과 같은 고분자 가공방법은 둥근 다이를 통과하는 경우보다는 단면의 형상이 직사각형인 경우가 훨씬 더 많으므로 단면이 사각형인 슬릿 다이에서 점도를 측정할 필요가 있다. 이 연구에서는 슬릿다이를 이용하여 TPS의 점도를 다양한 조건에서 측정하였고 그 의미를 논하였다. 또한 TPS의 열적 성질 및 기계적 성질을 관찰하여 녹말/글리세롤 상 거동을 조사하였고 유변학적 성질과의 상관 관계를 논하였다.

2. 실험

재료: 함수율 11%인 옥수수 전분은 (주) 신동방에서 구입하여 항온 항습기 (90 °C) 에서 24시간 건조하여 함수율을 3% 이하로 낮추어 TPS 제조에 사용하였다. 전분의 가소제로는 글리세롤 (glycerol, Junsei Chemical Co.)을 사용하였다. 옥수수 전분과 글리세롤은 정해진 비율로 폴리에틸렌 백에서 미리 혼합을 한 후 이축 압출기에서 혼련을 하였다. 사용된 압출기는 동 방향 교합 이축압출기로 스크류 길이 $L = 440$ mm, 스크류 직경 $d = 11$ mm로 바우텍에서 생산된 BA-11이 있다. 압출 온도는 100-120 °C, 스크류 회전 속도는 30 rpm이었다. 시료의 명칭은 글리세롤의 양을 Code뒤에 나타냈다. 예를 들어 TPS25는 녹말 75g에 글리세롤 25g을 혼합한 재료를 의미한다.

제조한 TPS의 점도를 캐필러리 레오메터에 슬릿다이를 부착하여 측정하였다. 사용된 다이를 Fig. 1에 나타냈다. 슬릿 다이를 모세관 다이 대신 사용하여 압력(DP)과

유량 (Q)을 측정하고 DP versus Q 데이터로부터 전단 속도($\dot{\gamma}_w$) 및 전단 응력 (t_w)을 아래 식으로부터 구할 수 있다 [14].

$$\tau_w = \left(\frac{\Delta P}{2L} \right) \left(\frac{WH}{H+W} \right) = \left(\frac{\Delta PH}{2L} \right) \left(\frac{1}{H/W+1} \right) \quad (1)$$

$$\dot{\gamma}_w = \dot{\gamma}_a \left(\frac{2}{3} \right) \left(\frac{b^*}{f^*} + \frac{a^*}{f^* n} \right) \quad (2)$$

$$\dot{\gamma}_a = \left(\frac{6Q}{WH^2} \right) \left(1 + \frac{H}{W} \right) f^* \left(\frac{H}{W} \right) \quad (3)$$

여기서 L, H, W는 다이의 길이, 높이 및 폭이다. 또한 a^* , b^* , f^* 는 H/W의 함수로 참고문헌 [14]에서 찾을 수 있다.

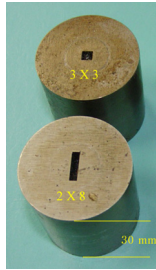


Fig. 1. Two rectangular dies used in this study. H/W = 3/3 and 2/8.

TPS의 전이 거동을 조사하기 위하여 시차주사 열량계 (DSC)를 이용하여 열분석을 하였다. 먼저 시료의 온도를 -120 °C까지 최대 속도로 하강시킨 후 3 분 동안 등온 유지시켰다. 그리고 100 °C 까지 20 °C/min로 속도로 승온시켜 heating thermogram을 얻었다. 사용된 DSC 장비는 TA사의 모델명 DSC Q1000이었다. 인장테스트는 만능시험기(model Hounsfield H25KS)를 사용하였다. 인장 속도 5 mm/min로 상온에서 5 kN의 load cell을 이용하여 측정하였고 인장 시편의 규격은 ASTM D412이다.

3. 결과 및 토론

3.1 유변 성질 (rheological properties)

제조한 TPS의 가공 특성을 파악하기 위하여 110°C에서 유동곡선 (flow curve)를 구하였고 Fig. 2에 나타냈다. 가소제인 글리세롤의 농도가 증가할수록 TPS의 전

단 응력이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이로부터 저분자량의 글리세롤이 고분자인 녹말 분자사이에 침투하여 분자 운동을 원활하게 하고 유동성을 높이는 가소제의 역할을 잘하고 있다고 판단할 수 있다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 전단 속도 (shear rate)와 전단응력 (shear stress)은 로그-로그 그래프에서 직선의 관계를 보이며 두 변수의 관계는 측정된 전단 속도 범위에서 power-law 식으로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

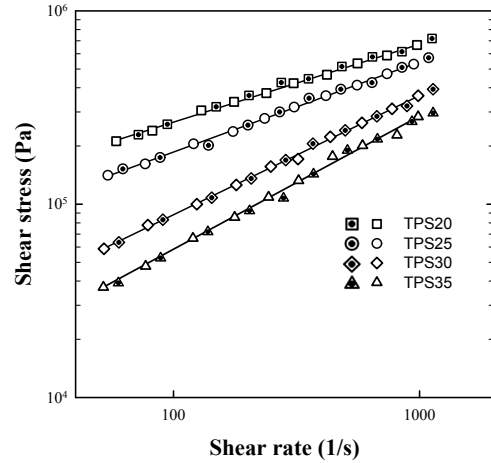


Fig. 2. Shear stress of different TPS having various compositions as a function of shear rate. Open symbols represent data measured from a die of 3 x 3 (mm/mm) and crossed symbols represent data measured from a die of 2 x 8 (mm/mm).

$$\tau_a = K \dot{\gamma}_a^n \quad (4)$$

$$n = \frac{d \log \tau_a}{d \log \dot{\gamma}_a} \quad (5)$$

식 (4), (5)로부터 구한 power law index, n과 flow consistency index, K를 Table 1에 나타냈다. n 값은 모두 1보다 작은 값을 나타냈는데 이는 연구에 사용된 TPS들이 모두 면찰 담화 유체 (shear thinning fluid)임을 나타낸다. 이 연구의 대상이 된 TPS는 일반 고분자 용융체와 마찬가지로 면찰 담화 현상을 보임을 관찰할 수 있었다. power law index, n은 측정 온도에는 크게 영향을 받지 않았으나 가소제인 글리세롤의 함량에는 큰 영향을 받았다. 가소제의 양이 많아질수록 n 이 1에 가까워지는 것을 볼 수 있는데 뉴턴성 유체인 글리세롤이 많아질수록 TPS의 유동 거동이 뉴턴성 유체에 가까워진

다는 것을 알 수 있다. 이런 거동은 글리세롤과 물에 의하여 가소화된 밀 전분 (wheat starch)에서도 관찰된다 [3]. K 값은 온도와 가소제가 증가할수록 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 온도 및 가소제의 양이 증가할수록 전체 점도는 감소하는 것을 의미한다. 이런 거동은 다른 연구에서도 관찰되는 현상이다 [4].

Table 1. Flow consistency index, K and power law index, n for various TPS investigated in this study.

Sample	Temp. (oC)	K(Pa.s)	n
TPS20	100	40740	0.407
	125		0.412
	140		0.413
TPS25	110	21880	0.467
	125		0.457
	140		0.465
TPS30	110	5128	0.618
	125		0.627
	140		0.637
TPS35	110	2398	0.693
	125		0.689
	140		0.703

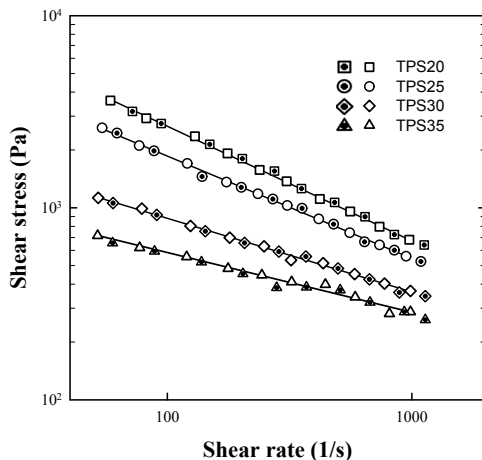


Fig. 3. Shear viscosity of different TPS having various compositions as a function of shear rate. Open symbols represent data measured from a die of 3 x 3 (mm/mm) and crossed symbols represent data measured from a die of 2 x 8 (mm/mm).

Fig. 3에 110 °C에서 측정된 TPS들의 점도를 나타냈다. TPS의 점도는 전형적인 고분자 용융체의 점도 곡선 형태를 보인다. 전단 속도가 높아질수록 전단점도는 낮아지는 면찰 담화 (shear thinning) 현상을 보이는데 이

는 전단 속도가 높아질수록 고분자가 흐름 방향으로 배향을 하게되어 흐름에 대한 저항이 낮아지기 때문이다. 가소제인 글리세롤의 농도가 높아질수록 점도-전단속도 곡선의 기울기가 작아지는데 이는 뉴턴성 유체인 글리세롤의 양이 많아져 TPS가 뉴턴성 유체에 가까워지기 때문이다.

단면이 정 사각형인 다이 ($H/W=3/3$)와 직사각형 다이 ($H/W=2/8$)에서 측정된 점도에는 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 상 분리된 고분자 블렌드는 유변 측정 방법이 달라지면 다른 측정 결과를 보여준다. 또한 같은 실험 방법에서도 fixture의 형상이 달라지면 서로 상이한 유변 물성을 나타낸다. 단면이 정사각형과 직사각형에서 측정된 점도는 그 값이 같았고 또한 이전의 연구들과 유사한 값을 보이는 것으로 보아 전분과 글리세롤이 서로 한 상 (single phase)을 이룬다는 것을 유변학적인 측정 결과로 확인할 수 있었다. 이 결과는 뒤에 나타난 열적 성질 관찰 결과와도 일치한다.

3.2 열적 성질 (thermal properties)

사용된 녹말과 글리세롤의 상호 작용을 알기 위해 시료들의 DSC heating scan을 구하여 Fig. 4에 나타냈다. 이 연구에서 제조된 TPS는 하나의 유리전이온도를 보였으며 글리세롤의 함량이 증가할수록 유리전이 온도가 감소하는 결과를 얻었다. 이는 글리세롤과 녹말이 친화력이 높아서 한 상 (single phase)을 이룬다는 의미이며 글리세롤이 가소제로서 제 역할을 잘 수행하고 있음을 의미한다. 유리전이 온도는 -53 ~ -39 °C의 범위를 보였는데, 문헌 값과 비교할 때 수분이 거의 없는 TPS의 값과 일치하였다.

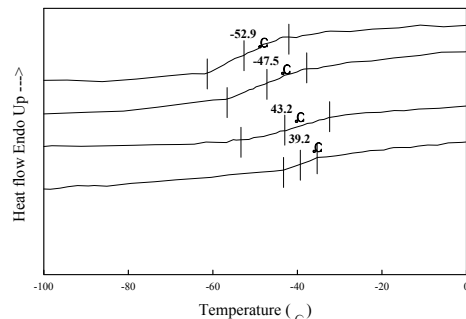


Fig. 4. DSC heating thermogram of TPS. The glycerol content in TPS is 35, 30, 25 and 30 wt. % from the top to the bottom. Heating scan was from -120 to 100 oC with a rate of 20 oC/min.

3.3 기계적 성질 (mechanical properties)

TPS의 기계적인 물성을 Fig. 5에 나타내었다. 이 연구에서 제조된 TPS들의 기계적인 물성은 글리세롤로 가소화된 TPS의 문헌 치와 비교하였을 때 파단 신율이 높은 편이었다. Wang등의 연구 결과에 의하면 글리세롤의 함량이 23% 일 때 파단신율이 1.2 % 인장 강도가 38 MPa이었으나 이 연구에서 조사된 TPS는 신율이 20% 이상으로 인성이 월등히 높았다 [15]. 이는 시료에 함유된 습도의 영향으로 해석된다. 수분은 녹말에 가소제로 작용하여 TPS에 습도가 함유되면 인성이 증가하고 강성은 감소한다고 보고되어 있다 [16]. 시료를 제조한 직후에는 습도가 없었으나 기계적 물성을 측정하기 위해 상온 65%의 습도에서 하루 이상 보관하는 과정에서 습기가 흡수되어 인성이 증가하고 강성이 감소한 것으로 판단된다. 상온에서 하루 보관한 시료의 DSC 결과를 보면 -52.9 °C 이외에도 50 °C 부근에서 T_g가 하나 더 나타나는데 이는 수분/글리세롤/녹말 삼성분계에서 나타나는 전형적인 유리전이 거동이다. Fig. 6에 나타낸 DSC heating 곡선에서 볼 수 있듯이 상온에서 하루 보관한 시료에는 건조 직후에는 볼 수 없는 새로운 흡열 피크가 50도 부근에서 볼 수 있다. 이는 수분 흡수에 의하여 생긴 새로운 상의 유리전이 피크이다. 이 피크는 고분자에서 나타나는 용융 피크와 유사하나 수분, 글리세롤 및 녹말의 삼성분에 의하여 생긴 부분 상용성 상 (partially miscible phase)중 녹말이 적은 상에서 나타나는 엔탈피 완화 (enthalpy relaxation)에 의한 전이 피크로 보고되어 있다 [17].

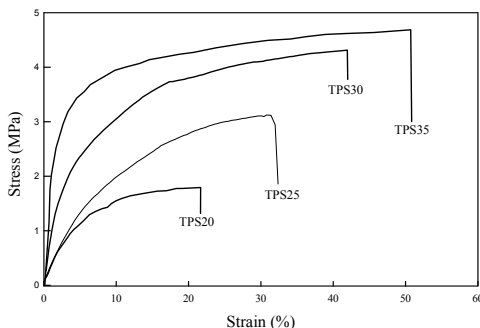


Fig. 5. Stress-strain curves for various TPS.

가소제인 글리세롤의 함량이 높아질수록 연성이 증가하는 것은 흔히 볼 수 있는 당연한 결과이지만 가소제의 함량이 높아질수록 인장 강도 및 탄성율까지 증가하는

것은 고분자/가소제 계에서 보기 드문 현상이다. 녹말은 아밀로스와 아밀로펙틴의 혼합물인데 Soest 등의 연구에 의하면 아밀로스의 양이 증가할수록 취성이 높다고 한다 [18]. 또한 가소제의 혼합에 따른 기계적 물성의 변화도 녹말에서 두 성분의 양에 따라 달라지는데 Yu 등의 연구에 의하면 아밀로스/글리세롤/수분 삼성분계의 기계적 물성이 본 연구의 결과와 유사한 것으로 보아 이 연구에서 사용된 녹말에는 일반 적인 녹말 보다 아밀로스의 함량이 높은 것으로 추정된다 [19].

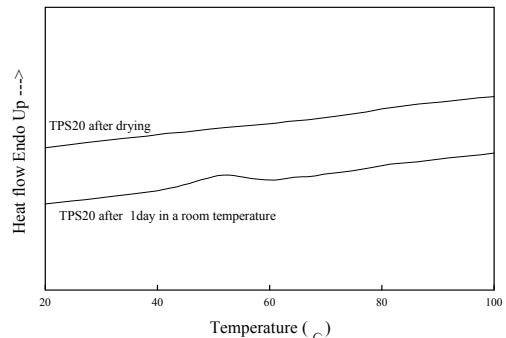


Fig. 6. DSC heating thermogram of TPS. The glycerol content in TPS is 35, 30, 25 and 30 wt. % from the top to the bottom. Heating scan was from -100 to 50 °C with a rate of 20 °C/min.

4. 결론

글리세롤은 녹말의 가소제로서 좋은 특성을 보이는 것으로 관찰되었다. 글리세롤의 함량이 20-35 wt. %의 범위에서 녹말과 글리세롤은 균일 상을 이루었으며 제조된 TPS는 열가소성 고분자의 특성을 보였다. TPS의 점도는 전단 속도에 따라 감소하는 전형적인 전단 담화 현상을 보였고 글리세롤의 함량이 증가할수록 점도가 감소하는 거동을 보였다. 제조된 TPS의 기계적 물성은 가소제인 글리세롤의 함량이 증가할수록 연성과 강성이 모두 증가하는 결과를 보였다.

References

- [1] H. Liu, F. Xie, L. Yu, L. Chen, L. Li, "Thermal processing of starch-based polymers", *Prog. Polym. Sci.*, vol. 34, pp. 1348 - 1368, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.07.001>

- [2] A. Carvalho, A. Job, N. Alves, A. Curvelo, A. Gandini, "Thermoplastic starch/ natural rubber blends", *Carbohydr. Polym.*, vol. 53, pp. 95 - 99, 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00005-5)
- [3] F. Gonzalez, B. Ramasy, B. Favis, "Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content", *Carbohydr. Polym.*, vol. 58, pp. 139 - 147, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.002>
- [4] D. Rosa, C. Guedes, C. Carvalho, "Processing and thermal, mechanical and morphological characterization of post-consumer polyolefins/thermoplastic starch blends", *J. Mater. Sci.*, vol. 42, pp. 551 - 557, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-006-1049-9>
- [5] T. Bourtoom, "Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch/chitosan", *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 149 - 165, 2008.
- [6] J. Yang, Y. Jiugao, X. Ma, "A novel plasticizer for the preparation of thermoplastic starch", *Chine. Chem. Lett.*, vol. 17, pp. 133 - 136, 2006.
- [7] N. Wang, Y. Jiugao, P. Chang, X. Ma, "Influence of formamide and water on the properties of thermoplastic starch/poly(lactic acid) blends", *Carbohydr. Polym.*, vol. 71, no. 1, pp. 109-118, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.025>
- [8] X. Ma, Y. Jiugao, J. Wan, "Urea and ethanolamine as a mixed plasticizer for thermoplastic starch", *Carbohydr. Polym.*, vol. 64, pp. 267 - 273, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.11.042>
- [9] X. Ma, Y. Jiugao, "The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch", *Carbohydr. Polym.*, vol. 57, pp. 197 - 203, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.04.012>
- [10] N. Wang, Y. Jiugao, X. Ma, W. Ying. "The influence of citric acid on the properties of thermoplastic starch/linear low-density polyethylene blends". *Carbohydr. Polym.*, vol. 67, pp. 446 - 453, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.014>
- [11] S. Tajuddin, F. Xie, T. Nicholson, P. Liu, P. Halley, "Rheological properties of thermoplastic starch studied by multipass rheometer", *Carbohydr. Polym.*, vol. 83, pp. 914 - 919, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.073>
- [12] J. Willett, B. Jasberg, C. Swanson, "Rheology of thermoplastic starch: Effects of temperature, moisture content, and additives on melt viscosity", *Polym. Eng. Sci.*, vol. 35, pp. 202 - 210, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.760350214>
- [13] Y. Jiugao, N. Wang, X. Ma, "The effects of citric acid on the properties of thermoplastic starch plasticized by glycerol." *Starch*, vol. 57, pp. 494 - 504, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1002/star.200500423>
- [14] Y. Son, "Determination of shear viscosity and shear rate from pressure drop and flow rate relationship in a rectangular channel", *Polymer*, vol. 48, no. 2, pp. 632-637, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.11.048>
- [15] N. Wang, J. Yu, P. R. Chang, X. Ma, "Influence of Citric Acid on the Properties of Glycerol-plasticized dry Starch (DTPS) and DTPS/Poly(lactic acid) Blends." *Starch*, vol. 59, pp. 409 - 417, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1002/star.200700617>
- [16] A.L. Da Roz, A.J.F. Carvalho, A. Gandini, A. A. S. Curvelo, "The effect of plasticizers on thermoplastic starch compositions obtained by melt processing", *Carbohydrate Polymers*, vol. 63, pp. 417 - 424, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.09.017>
- [17] R. L. Shogren, C. L. Swanson, A. R. Thomson, "Extrudates of cornstarch with urea and glycols-structure mechanical property relations", *Starch*, vol. 44, pp. 335-338, 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1002/star.19920440905>
- [18] J. J. G. Van Soest, D. B. Borger, "Structure and properties of compression molded thermoplastic starch materials from normal and high amylose maize starches", *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 64, no. 4, pp. 631-644, 1997.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970425\)64:4<631::AID-APP2>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970425)64:4<631::AID-APP2>3.0.CO;2-O)
- [19] J. Yu, J. Wang, X. Wu, P. Zhu, "Effect of Glycerol on Water Vapor Sorption and Mechanical Properties of Starch/Clay Composite Films", *Starch*, vol. 60, pp. 257-262, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1002/star.200700695>

부이 득낫(Duc Nhat Bui)

[정회원]



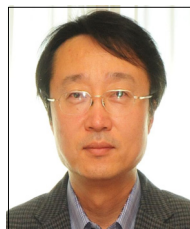
- 2017년 3월 베트남 호치민 대학 화학공학과 졸업
- 2017년 3월 ~ 2018년 2월 : (주) 효성 호치민 공장 근무
- 2018년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재 공학부 석사과정

<관심분야>

고분자 복합재료

손 영 곤(Younggon Son)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>

고분자가공, 고분자 블렌드