

카라기난 필름의 투습 특성

임종환 · 황금택 · 박현진 · 정순택
북포대학교 식품공학과

Water-Vapor Transfer Characteristics of Carrageenan-Based Edible Film

Jong Whan Rhim, Keum Tack Hwang, Hyun Jin Park and Soon Teck Jung
Department of Food Engineering, Mokpo National University

Abstract

Water-vapor transmission rate and water-vapor permeability of carrageenan-based edible film with three different thicknesses of 0.05, 0.08 and 0.11 mm were measured to investigate the potential applicability of the films to powder foods at five different temperatures (20, 25, 30, 35 and 40°C) and three different relative humidities (50, 70 and 90% RH). Water-vapor transmission rate of the carrageenan-based film was found to be 2.3 times higher than that of polyethylene (PE) film and water-vapor permeability of the film was 45-230 times higher than that of PE film. Water-vapor permeability of the film seemed to increase linearly with the film thickness like other hydrophilic edible films. Water-vapor transmission rate was found to be dependent on the temperature. Activation energies of the water-vapor transmission rate of the film were found to be between 7.898 and 12.872 kJ/mol depending on the film thickness. The water-vapor transmission rate of the film showed the typical kinetic compensation effect between activation energies and preexponential factors, which was proved by the linear increase of activation energy values with increase in the value of logarithms of preexponential factor.

Key words: carrageenan-based edible film, water-vapor transmission rate, water-vapor permeability, kinetic compensation effect

서 론

최근 플라스틱 포장재에 의한 환경오염 문제가 대두되면서 세계 여러 나라에서는 플라스틱 포장재의 사용 및 폐기에 대한 법적인 규제가 강화되고 있으며, 이에 대한 대처 방안 중의 하나로 분해성 포장재의 개발 및 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 분해성 포장재는 분해 기작에 따라 광분해성과 생분해성 또는 생분괴성 포장재로 나눌 수 있다^(1,2). 광분해성 포장재는 비분해성 플라스틱의 주쇄 내에 광증감제를 첨가하여 주로 햇빛, 특히 290-320 nm 사이의 자외선에 의해 분해되는 포장재를 의미하며⁽³⁾, 생분해성 포장재는 미생물에 의해서 완전히 분해되는 것을 의미하는데, 이는 그 소재에 따라 polyamides, polyvinyl alcohol, polyvinyl acetate, polylactic acid, polycaprolactone 등과

같은 생분해성 합성 고분자를 이용한 것과 탄수화물, 단백질, 지질 등과 같은 천연 생고분자를 이용하는 것으로 구분된다⁽⁴⁾. 반면에 생분괴성 플라스틱은 비분해성 플라스틱에 주로 전분을 6-90%까지 첨가하여 제조한 것으로⁽⁵⁾ 주로 미생물과 화학작용에 의하여 분해된다. 분해성 포장재는 현재로서는 기존의 플라스틱 포장재에 비해 생산가가 높고, 물성이 열악하여 기존의 플라스틱 포장재를 대체하기에는 어려움이 있으며⁽⁶⁾, 현재로서는 쓰레기 봉투, grocery sack, 농업용 mulch film, 수술용 봉합사 등과 같은 용도 외에는 광범위하게 이용되지 않고 있는 실정이다^(3,7). 분해성 포장재는 폐기된 후 토양미생물에 의해 분해되어 환경오염을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 현재 경험하고 있는 바와 같은 플라스틱 포장재의 사용에 따른 쓰레기 문제와 폐기물처리 비용의 증대와 같은 문제점을 해소할 수 있으며, 또한 최근에 일반 대중의 환경문제에 대한 인식이 높아짐에 따라 분해성 포장재의 사용은 필연적이라 할 수 있다^(8,9).

Corresponding author: Jong Whan Rhim, Department of Food Engineering, Mokpo National University, 61 Dorim-ri, Chonggye-myon, Muan-gun, Chonnam 534-729, Korea

분해성 포장재 중에서 식품분야에서 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야가 가식성 필름이라 불리는 생고분자로 제조한 생분해성 포장재에 관한 연구이다⁽¹⁰⁻¹⁴⁾. 생고분자는 주로 필름의 형태나 코팅제로 사용되고 있는데, 생고분자로 제조된 포장재는 사용재질이나 목적에 따라 수증기, 산소, 이산화탄소, 향기성분 등의 기체의 이동에 대한 효과적인 조절이 가능하고, 수분 및 유지의 이동을 차단할 뿐 아니라 필름에 향, 색소, 항산화제 및 식품보존료 등을 첨가하여 저장중 식품의 품질을 향상시킬 수 있으며 식품과 직접 접촉할 수 있는 포장재로의 사용이 가능한 장점이 있어 식품분야에 광범위하게 사용될 것으로 기대되고 있다⁽¹⁴⁻¹⁹⁾.

이러한 생분해성 소재 중의 하나인 카라기난은 주로 홍조류인 *Chondrus crispus*에서 추출된 복합 다당류로서 겔 형성 능력, 안정성, 및 필름 형성 능력이 뛰어나 새로운 생분해성 필름 소재로서 주목을 받고 있다^(20,21).

그런데 포장용 필름의 투습도는 온도나 습도에 따라 변화하며, 그 변화의 정도는 포장재의 종류에 따라 큰 차이가 있다. 따라서 포장재에 대한 투습도의 온도 및 습도 의존성을 안다는 것은 실제 사용상의 입장에서는 중요한 일이다. 특히 카라기난 필름과 같은 고분자 물질에 있어서의 확산에 의한 수증기의 투과성은 온도 및 습도에 영향을 받는 정도가 강하므로 포장 설계상에서도 주의해야 할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 카라기난 필름의 투습도를 여러 온도 및 습도조건에서 측정하여 투습계수의 온도 및 습도 의존성을 검토하여 카라기난 필름의 새로운 포장법 개발을 위한 기초자료를 마련하는데 있다.

재료 및 방법

재료

필름 제조용 카라기난은 전남 순천에 소재하는 한국 카라젠(주)에서 생산한 κ -carrageenan을 구입하여 사용하였다.

카라기난 필름의 제조

카라기난 필름은 박 등⁽²²⁾의 방법에 따라 κ -carrageenan 필름을 두께 별로 제작하여 사용하였다. 즉, 2%의 κ -carrageenan 분말을 증류수에 넣고 여기에 0.1%의 KCl과 polyethylene glycol 400 (PEG 400, Aldrich Chem., USA)과 glycerol (Aldrich Chem., USA)을 각각 0.375%를 첨가하여 충분히 혼합한 후 가열 용해

시켜 Pearlized OPP 필름으로 덮은 30×30 cm 크기의 유리판에 균일하게 붓고 수평을 잡아 두께를 일정하게 조절한 다음 75°C의 건조기에서 12시간 건조한 후에 유리판으로부터 떼어내어 실험용 필름을 제조하였다. 필름은 두께별로 3종(0.05, 0.08, 0.11 mm)을 제조하였는데, 유리판에 붓는 카라기난 용액의 양을 변화시키므로써 필름의 두께를 조절하였다. 필름의 두께는 0.0025 mm의 정밀도를 갖는 dial calipers (Mitutoyo, Japan)를 사용하여 무작위로 취한 필름의 5부위의 두께를 측정하여 각 부위의 두께의 변이가 3% 이내의 것만을 선택하여 시료로 사용하였으며, 두께는 각 필름 두께의 평균값을 사용하였다.

포장재의 투습도 측정

투습도에 미치는 온도 및 습도의 영향을 조사하기 위하여 각기 다른 온도와 상대습도 하에서 카라기난 필름의 투습도를 측정하였다. 투습도를 측정하기 전에 모든 필름은 25°C, 0%의 상대습도로 조절된 데시케이터 안에서 1일간 저장하여 포장지의 습도를 조절된 후 사용하였다. 필름의 투습도는 KS A 1013 방법^(23,24)을 사용하여 측정하였으며, 이 때 사용한 투습컵은 알루미늄 재질로서 KS 규격에 따라 제작하여 사용하였다⁽²⁵⁾. 투습도의 측정은 20, 25, 30, 35, 40°C의 5가지의 온도와 50, 70, 90%의 3가지 상대습도 하에서 측정하였으며, 온도와 습도의 조절은 Controlled Temperature Humidity Chamber (Han Back Scientific Co.)를 사용하였다. Humidity chamber 내에는 0.5마력의 모터로 작동되는 송풍기를 설치하여 내부의 공기가 잘 순환되도록 하였다. 우선 필름을 완전히 건조된 CaCl₂가 들어 있는 투습컵에 완전 밀봉이 되게 장착시킨 후, 일정한 온도와 상대습도로 조절된 humidity chamber에 보관하면서 정기적으로 투습컵의 무게의 증가를 측정하므로써 필름을 투과하는 수증기의 양을 측정하였다. 이 때 투습컵의 무게변화를 0.0001 g 단위까지 측정하였다. 투습컵의 무게 증가를 시간에 대해 도시하여 투습곡선을 작성하였는데, 이 투습곡선의 기울기를 직선회귀법을 사용하여 조사하였다. 투습곡선의 기울기 값을 사용하여 카라기난 필름의 수증기투과율(water vapor transmission rate; Q)과 투습계수(water vapor permeability; P)를 다음 식에 의해 계산하였다^(16,26).

$$Q = \Delta w / \Delta t \cdot A$$

$$P = Q \cdot x / (p_1 - p_2)$$

여기에서 Q는 필름의 투습도 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ hr}$), $w/\Delta t$ 는

단위시간당 필름을 투과하는 수증기의 양 (g/24 hr) 으로서 투습곡선의 기울기와 같으며, A는 투습면적(m²)을 나타내며, P는 필름의 투습계수(g · mm/m² · hr · kPa), x는 필름의 두께(mm), (p₁-p₂)는 필름 양면의 수증기압 차(kPa)를 나타낸다. 필름의 투습도 측정은 각 조건에서 3회 반복실험을 실시하여 평균값을 사용하였다.

결과 및 고찰

카라기닌 필름의 투습도

카라기닌 필름을 앞서 제시한 방법에 따라 반복하여 제작해 본 결과 비교적 균일한 두께의 투명한 필름을 얻을 수 있었다. 카라기닌 필름의 투습도에 미치는 온도, 상대습도 및 필름의 두께의 영향을 3종의 두께(0.05, 0.08, 0.11 mm)로 제작된 카라기닌 필름을 사용하여 5가지의 온도(20, 25, 30, 35, 40°C)와 3가지의 상대습도(50, 70, 90%RH) 조건에서 투습도를 측정하였다. Fig. 1에는 35°C와 상대습도 70%에서 측정된 두께 0.11 mm인 카라기닌 필름의 투습곡선을 나타냈다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 카라기닌 필름의 투습량은 각 조건에서 모두 직선적으로 증가하는 전형적인 투습곡선의 모습을 나타냈는데 이는 시간이 경과함에 따라 투습량이 비례적으로 증가함을 의미한다. Fig. 1에는 6시간 까지의 실험결과를 표시하였는데, 30시간까지 측정할 경우에도 동일한 직선을 나타냈으므로 카라기닌 필름의 투습도는 6시간까지 측정하여 사용하였다. 이는 일반적으로 널리 사용되고 있는 플라스틱 필름의 투습도 측정시 약 2-3일까지 걸리는 것에 비해^(28,29) 카라기닌 필름은 매우 빠르게 정상상태에 도

달함을 알 수 있다. 또한 플라스틱 필름의 투습도 측정시에는 수분이동의 초기에 비정상상태의 수분이동이 일어나 정상상태에 도달하기까지 다소의 시간이 지연되어 투습곡선상의 초기에는 직선으로부터 벗어나는 것을 흔히 관찰할 수 있는데⁽²⁹⁾, 카라기닌필름의

Table 1. Water vapor permeability of κ-carrageenan-based film

Temp. (°C)	Thickness (mm)	RH (%)	WVTR ¹⁾	Permeability ²⁾	
20	0.05	50	0.924	0.948	
		70	1.697	1.244	
		90	2.412	1.379	
	0.08	50	0.794	1.304	
		70	1.645	1.930	
		90	2.456	2.242	
		0.11	50	0.730	1.649
			70	1.873	3.022
			90	2.856	3.584
25	0.05	50	1.211	0.918	
		70	2.095	1.134	
		90	3.167	1.334	
	0.08	50	1.064	1.291	
		70	2.114	1.831	
		90	3.076	2.072	
		0.11	50	0.958	1.597
			70	2.259	2.690
			90	3.606	3.341
30	0.05	50	1.855	1.050	
		70	2.838	1.147	
		90	4.231	1.330	
	0.08	50	1.421	1.286	
		70	2.458	1.590	
		90	4.332	2.19	
		0.11	50	1.539	1.915
			70	2.417	2.149
			90	4.585	3.171
35	0.05	50	2.167	0.925	
		70	3.900	1.189	
		90	6.323	1.500	
	0.08	50	1.801	1.230	
		70	3.444	1.680	
		90	7.333	3.826	
		0.11	50	1.703	1.599
			70	3.905	2.620
			90	7.333	3.826
40	0.05	50	2.501	0.814	
		70	4.240	0.986	
		90	10.008	1.810	
	0.08	50	2.144	1.117	
		70	3.986	1.483	
		90	8.434	2.440	
		0.11	50	2.126	1.522
			70	4.213	2.155
			90	10.290	4.093

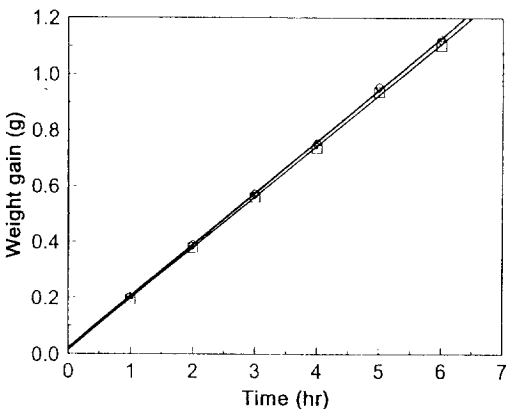


Fig. 1. Determination of water vapor transmission rate of a κ-carrageenan-based film (Temp.=35°C; RH=70%; Film thickness=0.11 mm)

¹⁾Water vapor transmission rate (g/m² · 24 hr)

²⁾Water vapor permeability (g · mm/m² · hr · kPa)

경우는 이러한 현상을 관찰할 수 없었다. 이는 카라기난의 강한 보습력에 기인하는 것으로 판단되며⁽²⁰⁾, 카라기난 필름의 이러한 성질을 이용하여 이 필름을 분말식품이나 냉동식품의 포장시 sacrificing agent로 사용할 수 있을 것으로 기대되고 있다^(30,31).

온도 35°C, 상대습도 70%, 두께 0.11 mm 이외의 조건에서 측정된 투습곡선도 Fig. 1과 유사한 직선을 나타냈는데, 각 투습곡선의 기울기와 필름의 투습면적으로부터 카라기난 필름의 수증기투과율과 투습계수의 값을 결정하여 그 결과를 Table 1에 표시하였다. 이들 카라기난 필름의 수증기투과율은 일반적으로 널리 사용되고 있는 플라스틱 필름보다 다소 높은 값을 나타내고 있다. 같은 방법으로 측정된 polyethylene (PE) 필름의 경우(두께: 0.05 mm, RH: 약 90%) 수증기투과율이 30°C와 40°C에서 각각 1.89, 4.18 g/m²·24 hr를 나타낸 것⁽²⁴⁾과 비교할 때 카라기난 필름의 수증기투과율은 PE에 비해 약 2.3배 정도 높은 것을 알 수 있다.

카라기난 필름의 투습계수는 조건에 따라 0.814-4.093 g·mm/m²·hr·kPa를 나타냈는데 이는 PE 필름에 비해 조사된 값⁽²⁴⁾인 0.018 g·mm/m²·hr·kPa (30°C, 95% RH에서 측정)과 0.0305 g·mm/m²·hr·kPa (40°C, 92.2% RH에서 측정)에 비해 약 45-230배 정도 큰 것을 알 수 있다. 또한 카라기난 필름의 투습계수 값은 cellulose를 기초로 하여 제작된 가식성 필름에 대해 보고된 투습계수 값⁽³²⁾인 0.042-0.255 g·mm/m²·hr·kPa보다도 약 15-20배 정도 높은 것으로 나타났다.

두께의 영향

카라기난 필름의 투습계수와 필름의 두께의 관계는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 각 상대습도하에서 측정된 카라기난 필름의 투습계수는 필름의 두께가 증가할수록 직선적으로 증가하며, 그 증가 속도는 상대습도가 높을수록, 즉 필름 내외의 수증기압차가 클수록 더 빠르게 증가하였다. 일반적으로 이상적인 플라스틱 포장재의 투습계수는 두께에 무관하나⁽³³⁾ 단백질이나 탄수화물과 같은 hydrophilic한 재질로 제조된 포장재의 투습계수는 필름의 두께에 영향을 받는 것으로 알려져 있다⁽³⁴⁾. 대부분의 가식성 필름은 친수성을 나타내는데 이들 친수성을 갖는 필름들은 투습계수에 대해 특징적인 두께의 영향을 나타낸다⁽³⁵⁾. 친수성 필름의 투습계수는 필름의 두께가 증가함에 따라 직선적으로 증가하는 것으로 알려져 있는데⁽³⁶⁾, 이러한 사실은 cellulose를 기초로 하는 가식성 필름⁽³²⁾, 옥수수 단백질 및 단백질 필름⁽³⁷⁾ 및 우유 단백질 필름⁽³⁵⁾ 등에서 밝혀진 바 있

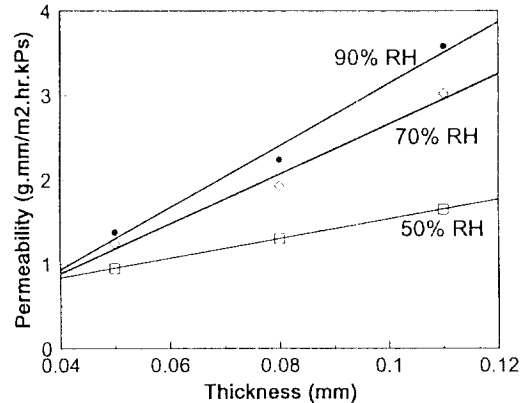


Fig. 2. Relationship between film thickness and water vapor permeability for a κ -carrageenan-based film at 20°C

Table 2. Relationships between thickness (X)¹⁾ and water vapor permeability (P)²⁾ of κ -carrageenan-based film

Temperature (°C)	RH (%)	Regression equation	R ²
20	50	P=0.366+11.678X	1.000
	70	P=-0.304+29.623X	0.983
	90	P=-0.539+36.760X	0.984
25	50	P=0.363+11.323X	0.997
	70	P=-0.189+25.933X	0.996
	90	P=-0.427+33.453X	0.977
30	50	P=0.257+14.428X	0.925
	70	P=0.293+16.694X	0.996
	90	P=-0.228+30.680X	0.998
35	50	P=0.353+11.235X	0.997
	70	P=-0.078+23.847X	0.968
	90	P=-0.576+38.773X	0.960
40	50	P=0.207+11.800X	0.993
	70	P=-0.017+19.240X	0.993
	90	P=-0.264+38.060X	0.937

¹⁾X in [mm]

²⁾P in [g·mm/m²·hr·kPa]

다. Hauser와 McLaren⁽³⁸⁾은 cellulose 필름을 사용하여 같은 결과를 얻었는데, 이들은 cellulose 필름의 투습계수가 필름의 두께가 증가함에 따라 변화하는 이유를 필름의 두께가 달라짐에 따라 필름의 구조가 변하기 때문이라고 설명하였다. Banker 등⁽³⁶⁾은 이러한 현상이 필름과 수분의 친화력의 증가에 의한 필름의 swelling에 기인하며, 필름의 swelling의 결과 필름의 구조가 변하기 때문이라고 설명하였다.

Fig. 2에는 편의상 20°C에서 측정된 결과만을 표시

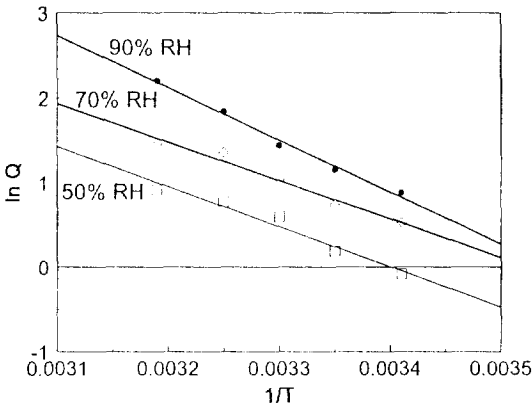


Fig. 3. Temperature dependency of water vapor transmission rate for a κ -carrageenan-based film with the thickness of 0.05 mm

하였는데, 다른 온도에서도 유사한 결과를 얻었으며, 그 결과를 Table 2에 표시했다. 이들 결과는 카라기난 필름의 두께가 증가함에 따라 카라기난 필름의 투습 계수가 직선적으로 증가함을 잘 나타내고 있다.

온도의 영향

일반적으로 O₂, CO₂, 수증기, 향기성분 및 기타 가스의 필름에 대한 투습계수는 온도의 변화에 대해 Arrhenius식으로 적절히 표시될 수 있는 것으로 알려져 있으나^(14,29), 카라기난 필름의 투습계수와 온도 사이에는 이러한 관계를 발견할 수 없었다. Donhowe와 Fennema⁽¹⁴⁾는 cellophane의 경우와 같이 permeant 가스와 필름 사이의 상호반응이 온도변화에 대해 직선적으로 변하지 않는 경우와 실험범위 내에서 필름의 구조가 변하는 경우에는 필름의 투습계수와 온도 사이에 Arrhenius식이 적용되지 않는다고 설명하였다. 비록 카라기난 필름의 투습계수에 대한 온도 의존성은 발견할 수 없었으나 카라기난 필름의 수증기투과율은 온도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있었다(Table 1). 따라서 카라기난 필름의 수증기투과율과 온도와의 관계에 대해 Arrhenius 식을 적용해 본 결과 카라기난 필름의 수증기투과율은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 Arrhenius 식으로 적절히 표시되어 카라기난 필름의 수증기투과율은 온도의 영향을 받음을 확인할 수 있었다. Fig. 3에는 두께가 0.05 mm인 필름에 대한 결과만을 표시하였으나, 두께가 0.08, 0.11 mm인 경우에 대해서도 역시 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이들 Arrhenius식으로 표시되는 직선 식에 대한 직선회귀식을 Table 3에 정리하였다. 이들 직선 식으로부터 카라기

Table 3. Temperature dependency of water vapor transmission rate of κ -carrageenan-based film

Thickness (mm)	RH (%)	Regression equation	R ²
0.05	50	ln Q=16.127-4739.5(1/T)	0.964
	70	ln Q=15.907-4509.5(1/T)	0.978
	90	ln Q=22.906-6478.3(1/T)	0.982
0.08	50	ln Q=15.560-4621.6(1/T)	0.993
	70	ln Q=14.636-4145.7(1/T)	0.986
	90	ln Q=21.732-6123.3(1/T)	0.972
0.11	50	ln Q=16.757-4994.6(1/T)	0.962
	70	ln Q=14.144-3974.8(1/T)	0.925
	90	ln Q=21.422-5995.0(1/T)	0.976

Table 4. Arrhenius kinetic parameters for water vapor transmission rate of κ -carrageenan-based film

Thickness (mm)	RH (%)	Preexponential factor	Activation energy (kJ/mol)
0.05	50	1.009 × 10 ⁷	9.417
	70	8.097 × 10 ⁶	8.960
	90	8.871 × 10 ⁹	12.872
0.08	50	5.723 × 10 ⁶	9.183
	70	2.272 × 10 ⁶	8.238
	90	2.742 × 10 ⁹	12.167
0.11	50	1.894 × 10 ⁷	9.924
	70	1.819 × 10 ⁶	7.898
	90	2.011 × 10 ⁹	11.912

난 필름의 수증기투과율에 대한 kinetic parameters 값들을 결정하여 그 결과를 Table 4에 표시하였다. 카라기난 필름의 수증기투과율에 대한 활성화 에너지(activation energy) 값은 7.898-12.872 kJ/mol, 지수앞인자(preexponential factor)는 1.819 × 10⁶-8.871 × 10⁹ g · mm/m² · hr · kPa의 범위의 값을 얻었다. 카라기난 필름의 수증기투과율에 대한 활성화 에너지 값은 일반적인 확산에 의해 일어나는 반응에 대한 활성화 에너지 값의 범위에 속함을 알 수 있다⁽³⁰⁾.

Kinetic compensation effect

활성화 에너지와 지수앞인자 값들이 변하는 모습을 살펴보면 이들의 변화에는 일정한 pattern이 있음을 알 수 있는데, 이러한 관계를 살펴보기 위해 Rhim 등⁽⁴⁰⁾이 제시한 바와 같이 지수앞인자의 대수값(ln Q₀)을 활성화 에너지(E_a)에 대해 도시하여 Fig. 4와 같이 두 변수 사이에 직선관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 활성화에너지 값이 커짐에 따라 지수앞인자의 값도

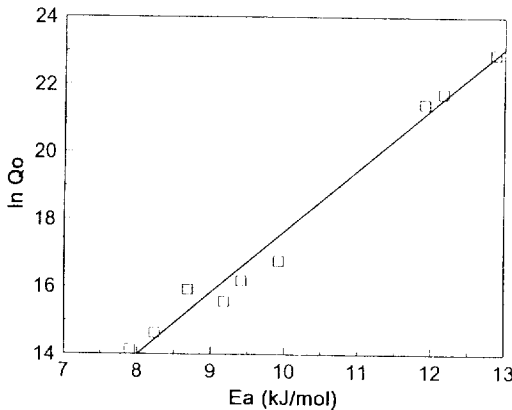


Fig. 4. Kinetic compensation effect between activation energy and preexponential factor for water vapor transmission rate of a κ -carrageenan-based film

커짐을 의미하는데, 이는 필름내의 active site의 수와 가스투과 반응에 대한 활성화의 확률 사이의 관계에 기인하는 것으로 알려져 있다⁽⁴¹⁾. Doty⁽⁴²⁾도 합성고분자의 증기확산에 관한 연구에서 투습계수의 활성화에너지와 지수앞인자의 대수값 사이에 직선적인 관계가 있음을 보고한 바 있다. 이러한 현상을 kinetic compensation effect라고 한다^(40,42). 이들 값에 대한 물리적인 의미는 분명치 않으나 이들 파라미터들은 Arrhenius식을 활용하여 일정한 온도와 상대습도 하에서 포장재의 투습율을 예측하여 포장된 제품의 저장수명을 결정하기 위한 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

카라기난을 사용하여 제조한 생분해성 필름의 분말 식품에 대한 응용성을 조사하기 위한 연구의 일환으로 3종의 두께(0.05, 0.08, 0.11 mm)로 제작된 카라기난 필름을 사용하여 5가지의 온도(20, 25, 30, 35, 40°C)와 3가지의 상대습도(50, 70, 90%RH) 조건에서 수증기투과율을 측정하여 카라기난 필름의 투습 특성을 조사하였다.

카라기난 필름의 수증기투과율은 PE 필름보다 2.3배 정도 높았으며, 투습계수는 PE 필름보다 45-230배 정도 높아 수증기투과도가 높음을 알 수 있었다. 카라기난 필름의 투습계수는 다른 친수성의 가식성 필름과 마찬가지로 필름의 두께가 증가할수록 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 카라기난 필름의 투습계수는 온도에 대한 의존성을 나타내지 않았

나, 수증기투과율은 온도에 대한 의존성을 나타냈다. 카라기난 필름의 수증기투과율의 활성화 에너지는 필름의 두께에 따라 7.898-12.872 kJ/mol의 값을 보였다. 카라기난 필름의 수증기투과율은 활성화 에너지 값이 커짐에 따라 지수앞인자의 값도 증가하는 kinetic compensation 현상을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 1994년 한국과학재단의 특정연구 목적기초(3년) 사업인 "바닷말을 원료로 한 100% 생분해성 필름제조와 응용에 관한 연구" (과제번호: 94-0402-04-02-3)의 제2세부과제 연구결과와 일부이며, 연구비를 지원하여 준 한국과학재단에 깊이 감사를 드립니다.

문 헌

1. 이용현 : 생분해성 신기능 고분자 물질의 영역과 개발 동향. 미생물과 산업, **18**(1), 14 (1992)
2. Hocking, P. J.: The Classification, preparation, and utility of degradable polymers. *J. M. S. Rev. Macromol. Phys.*, **C32**(1), 35 (1992)
3. Johnson, R.: An overview of degradable plastics. *J. of Plastic Film & Sheeting*, **4**, 155 (1988)
4. Kaplan, D. L., Mayer, J. M., Ball, D., McCassie, J., Allen, A. L. and Stenhouse, P. S.: Fundamentals of biodegradable polymers. In *Biodegradable Polymers and Packaging*, Ching, C., Kaplan, D. L. and Thomas, E. L. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.1 (1993)
5. Pettijohn, T. M.: Starch/polyolefin blends as environmentally degradable plastics. *CHEMTECH*, October, 627 (1992)
6. Evans, J. D. and Sikdar, S. K.: Biodegradable plastics: An idea whose time has come? *CHEMTECH*, January, 38 (1990)
7. Cole, M. A.: Constraints on decay of polysaccharide-plastic blends. In *Agricultural and Synthetic Polymers: Biodegradability and Utilization*, Glass, J. E. and Swift, G. (Ed.), American Chemical Society, p.76 (1990)
8. Taylor, L.: Degradable plastics: solution or illusion? *CHEMTECH*, September, 542 (1979)
9. Steinbuechel, A.: Biodegradable plastics. *Current Opinion in Biotechnology*, **3**, 291 (1992)
10. Kester, J. J. and Fennema, O. R.: Edible films and coatings: A review. *Food Technol.*, **42**(12), 47 (1988)
11. Guilbert, S.: Technology and application of edible protective films. In *Food Packaging and Preservation*, Mathlouthi, M. (Ed.), Elsevier Applied Science Publishers, London, p.371 (1986)
12. Gennadios, A. and Weller, C. L.: Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *Food Technol.*, **44**(10), 63 (1990)
13. McHugh, T. H. and Krochta, J. M.: Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technol.*, **48**(1), 97

- (1994)
14. Donhowe, I. G. and Fennema, O.: Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.1 (1994)
 15. Baldwin, E. A.: Edible coatings for fresh fruits and vegetables: Past, present, and future. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.25 (1994)
 16. Wong, D. W. S., Camirand, W. M. and Pavlath, A. E.: Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.65 (1994)
 17. Baker, R. A., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. O.: Edible coatings and films for processed foods. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p. 89 (1994)
 18. Reineccius, G. A.: Flavor encapsulation. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.105 (1994)
 19. Cuppett, S. L.: Edible coatings as carriers of food additives, fungicides and natural antagonists. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.121 (1994)
 20. Dziezak, J. D.: Special report: A focus on gums. *Food Technol.*, **45**(3), 116 (1991)
 21. Nisperos-Carriedo, M. O.: Edible coatings and films based on polysaccharides. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Krochta, J. M., Baldwin, E. A. and Nisperos-Carriedo, M. (Ed.), Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, p.305 (1994)
 22. 박현진, 임종환, 정순택, 강성국, 황금택, 박양균 : 카라기닌 생고분자 필름의 기계적 물성에 관한 연구. 한국포장학회지, **1**, 38 (1995)
 23. 공업진흥청 : 방습포장재료의 투습도 시험방법 (KS A 1013). 한국공업표준협회 (1981)
 24. 임종환 : 조미건조김의 흡습특성에 관한 연구. 한국영양식량학회지, **22**, 476 (1993)
 25. 박형우, 고하영, 강통삼, 신동화 : 플라스틱 필름류의 투습도 측정방법. 한국식품과학회지, **21**, 235 (1989)
 26. Heiss, R.: Shelf-life determinations. *Mod. Packag.* **31**(12), 119 (1958)
 27. Karel, M., Proctor, B. E. and Wiseman, G.: Factors affecting water vapor transfer through food packaging films. *Food Technol.* **13**, 69 (1959)
 28. Cairns, J. A.: Measurement of permeability. In *Packaging for Climactic Protection*, Cairns, J. A., Oswin, C. R. and Paine, F. A. (Ed.), Newnes-Butterworths, London, p.23 (1974)
 29. Paine, F. A.: The theory of permeation. In *Packaging for Climactic Protection*, Cairns, J. A., Oswin, C. R. and Paine, F. A. (Ed.), Newnes-Butterworths, London, p.4 (1974)
 30. Stoloff, L. S.: Seaweed extractives-Find versatile uses in foods. *Food Eng.* **24**(5), 114 (1952)
 31. Shaw, C. P., Secrist, J. L. and Tuomy, J. M.: Method of extending the storage life in the frozen state of precooked foods and product produced. U. S. patent 4,196,219 (1980)
 32. 김영호, 박현진, 김동만, 김길환 : 셀룰로오스 포장지의 기능성. 한국식품과학회지, **26**, 133 (1994)
 33. Crank, W. M.: *The Mathematics of Diffusion*. Oxford University Press, London (1975)
 34. Schwartzberg, H. G.: Modeling of gas vapor transport through hydrophilic films. In *Food Packaging and Preservation. Theory and Practice*, M. Mathlouthi (Ed.), Elsevier Applied Science Pub. Co., London, p.115 (1986)
 35. McHugh, T. B., Avena-Bustillos, R. and Krochta, J. M.: Hydrophilic edible films: Modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* **58**, 899 (1993)
 36. Banker, G. S., Gore, A. Y. and Swaebrick, J.: Water vapor transmission properties of free polymer films. *J. Pharm. Pharmac.* **18**, 457 (1966)
 37. Park, H. J. and Chinnan, M. S.: Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J. Food Engineering*, **25**, 497 (1995)
 38. Hauser, P. M. and McLaren, A. D.: Permeation through and sorption of water vapor by high polymers. *Ind. Eng. Chem.* **40**, 112 (1948)
 39. Thompson, D. R.: The challenge in predicting nutrient changes during food processing. *Food Technol.*, **36**(2), 97 (1982)
 40. Rhim, J. W., Nunes, R. V., Jones, V. A. and Swartzel, K. R.: The appearance of a kinetic compensation effect in the acid-catalyzed hydrolysis of disaccharides. *J. Food Sci.*, **54**, 222 (1989)
 41. Doty, P. M.: On diffusion of vapors through polymers. *J. Chem. Phys.*, **4**, 244 (1946)
 42. Labuza, T. P.: Enthalpy/entropy compensation in food reactions. *Food Technol.*, **34**(2), 67 (1980)

(1996년 2월 26일 접수)