

대두분리단백 필름(soy protein isolate)에 옥수수 단백질(zein)과 밀 단백질(gluten)을 각각 적층하여 제조한 필름의 이화학적 성질

이명숙 · 마유현 · 박상규¹ · 배동호² · 하상도³ · 송경빈*

충남대학교 식품공학과, ¹광주과학기술원, ²건국대학교 응용생물화학과, ³중앙대학교 식품공학과

Physicochemical Properties of Soy Protein Isolate Films Laminated with Corn Zein or Wheat Gluten

Myoungsuk Lee, Yuhyun Ma, Sangkyu Park¹, Dong-Ho Bae², San-Do Ha³, and Kyung Bin Song*

Department of Food Science and Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University

¹Gwangju Institute of Science and Technology

²Department of Applied Biology and Chemistry, Konkuk University

³Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University

Soy protein isolate (SPI) film was laminated with corn zein or wheat gluten to improve functional properties. Both SPI/corn zein-laminated film (Film B) and SPI/wheat gluten-laminated film (Film C) showed increased tensile strength by 150%, compared to control (Film A). Film C showed significant 253% increase in percentage elongation. Water vapor permeability (WVP) of Films B and C decreased slightly compared to Film A. Solubility values of Films B and C were lower than that of Film A. Hunter color values of Films A and C were not significantly different, while Film B showed yellowness due to presence of corn zein. These results suggest SPI/wheat gluten-laminated film is suitable as packaging material.

Key words: laminate film, soy protein isolate, zein, gluten

서 론

최근 합성수지 포장재는 자연계에서 난분해, 환경 호르몬의 유출, 소각에 따른 대기오염으로 인해 환경오염의 큰 요인으로 대두되고 있다. 또한 합성수지 포장재가 생성하는 환경 호르몬으로 인해 식품과 직접 접촉되는 포장재의 유해성 여부에 대한 논란이 일고 있다. 따라서 생분해성 고분자 물질을 이용한 인체에 무해하고 환경 친화적인 포장재에 대한 관심이 증대되고 있다(1). 단백질, 탄수화물 등을 이용하여 제조한 가식성 필름은 고품질 및 편의성을 부여하고 또한 제품의 저장기간 연장으로 인한 유통기한의 증대에 기여한다(2). 특히, 생분해성 포장재의 원료로 사용되는 옥수수 단백질(3), 대두 분리 단백질(4,5), 밀 단백질(5,6), 우유 단백질(7,8,9), 계란 단백질(10)과 같은 단백질은

필름 형성 능력이 있어 광범위하게 연구되고 있지만 그 중 상업화된 것은 많지 않다.

일반적으로 단백질로 제조한 필름의 경우, 단백질에 친수성기가 많으므로 산소나 이산화탄소의 투과성은 낮지만 투습도는 높다(11). 높은 투습도는 포장재 내부에 있는 식품에 변패를 일으킬 수 있어 생분해성 고분자 필름의 물성에 중요한 역할을 한다. 생분해성 고분자 필름의 원료로 사용되는 콩, 옥수수, 밀 등의 단백질을 이용한 필름의 연구가 계속 진행되고 있는데(12-14), 특히 대두 단백질은 콩기를 제조 후 남은 대량의 부산물로서 가식성 필름의 좋은 원료가 되지만 다른 단백질 필름과 같이 친수성기가 많기 때문에 투습도가 높은 문제점이 있다. 따라서 투습도가 높은 생분해성 고분자 하나만을 사용한 필름을 제조하기 보다는 고분자간 상호 보완하는 적층 필름 등을 제조하려는 연구가 진행 왔는데(15), 특히 옥수수 단백질은 다른 단백질과 달리 소수성 아미노산 상당량이 존재하여 상대적으로 투습도가 낮아 적층 필름의 원료로 적당하다(16). 본 연구에서는 옥수수 단백질과 밀 단백질을 각각 대두 단백질 필름에 적층함으로써 적층 필름의 투습도 등 물리적 특성 변화를 연구함으로써 보다 나은 물성의 단백질 필름을 제조하고자 연구를 수행하였다.

*Corresponding author: Kyung Bin Song, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
Tel: 82-42-821-6723
Fax: 82-42-825-2664
E-mail: kbsong@cnu.ac.kr

재료 및 방법

실험 재료

대두 단백질(soy protein isolate, SPI)은 Dupont Protein Technologies(SUPRO 500E IP, St. Louis, MO, USA), 옥수수 단백질(corn zein)과 밀 단백질(wheat gluten)은 Sigma사(St. Louis, MO, USA)의 것을 사용하였다. 가소제인 glycerol과 polypropylene glycol(PPG)는 Aldrich사(St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다.

필름 용액의 제조

대두 단백질 필름은 대두 단백질 분말을 5%(w/v, film solution)가 되도록 증류수를 넣고 가소제로서 glycerol을 2.5%(w/v) 첨가하여 혼합한 후 대두 단백질 필름 용액의 pH를 1 N NaOH를 이용하여 pH 10으로 조정하였다. pH를 맞춘 필름용액을 70°C, 20분간 중탕 처리하였다. 옥수수 단백질 필름은 옥수수 단백질 분말을 10%(w/v, film solution)가 되도록 95% ethanol에 넣고 가소제로 glycerol과 polypropylene glycol을 각각 3%(w/v)씩 첨가하여 혼합 후 70°C에서 20분간 중탕 처리하였다. 밀 단백질 필름은 Gontard 등(17)의 방법에 따라 밀 단백질 분말 10%(w/v, film solution)가 되도록 ethanol(45%)에 첨가하고, glycerol을 3%(w/v), 환원제인 sodium sulfite를 0.3 g을 넣어 5분간 혼합 후 증류수를 넣어 혼합하고 70°C에서 5분간 가열한 뒤 원심 분리하여 상등액을 사용하였다.

필름 제조 및 건조

대두 단백질 필름 용액을 cheese cloth를 이용하여 teflon 필름으로 코팅한 수평의 유리판(24×30 cm)에 두께가 균일하게 대두 단백질 필름 용액 80 mL을 부은 후 실온에서 48시간 건조한 뒤 그 위에 옥수수 단백질 필름 용액 80 mL(필름 B)과 밀 단백질 필름 용액 80 mL(필름 C)을 각각 부어 실온에서 24시간을 더 건조시켰다. 필름 A 대조구는 다른 필름과 동일한 두께로 제조하기 위해 대두 단백질 필름 용액이 총 160 mL 되도록 하여 제조하였다. 건조된 필름은 투습도(2×2 cm), 필름 용해도(2.5×2.5 cm), 인장 강도(2.54×10 cm), 색도(7×7 cm) 측정용으로 구분하여 크기를 각각 절단하였다.

필름의 두께

절단한 필름 조각은 25°C, 50%의 상대 습도로 조절된 항온습기에서 2일간 저장하여 수분 함량을 조절된 뒤 필름 물성 측정에 사용하였다. 각 필름 시료의 두께는 micrometer (Mitutoyo, Model No. 2046-08, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다.

투습도(water vapor permeability, WVP) 측정용 시료는 중심부와 4개 주위 부분의 두께를 측정하여 그 평균값을 사용하여 투습계수의 계산에 사용하였으며, 인장강도(tensile strength, TS) 측정용 시료 역시 5개 부위의 두께를 측정하여 그 평균값을 사용하였다.

인장 강도 및 신장률

필름의 인장강도(tensile strength, TS)와 신장률(elongation at break, E)은 ASTM Standard Method D882-91 방법(18)에 따라 Instron Universal Testing Machine(Model 4484, Instron Corp., Canton, MA, USA)을 사용하여 측정하였다. 절단한 필름 조각은 25°C, 50%의 상대습도로 조절된 항온습기에서 2일간 저장하여 수분함량을 조절된 뒤 Kim 등(19)의 방법을 이용하여 초기

grip간의 거리는 5 cm, cross head의 속도는 500 mm/min로 사용하였다. 필름의 인장강도는 필름을 잡아 늘일 때 필름이 절단될 때까지 작용한 가장 큰 힘을 필름의 초기 단면적으로 나누어 계산하였고, 필름의 신장률은 필름이 절단될 때까지 움직인 grip간의 거리를 초기 grip간의 거리에 대한 백분율로 나타내었다.

투습계수

필름의 투습계수(Water vapor permeability, WVP)는 ASTM E 96-95 방법(20)에 따라 polymethylacrylate cup(20 mL)을 사용하여 수분투과도를 측정하였다(21). 25°C, 50%의 상대 습도로 조절된 항온습기에 보관하며 필름 층을 통한 cup 부의 수분 이동에 따른 매 시간마다 cup의 무게 감소를 측정하여 무게 감소율을 계산하였다. 수분 투과율(water vapor transmission rate, WVTR)과 투습계수(WVP)는 다음 식에 의해 계산하였다.

$$WVTR = \text{Slope} / \text{Film Area}$$

$$WVP = (WVTR \times L) / \Delta p$$

이 때, slope는 시간에 따른 컵의 무게 감소율, film area는 수분 이동이 일어나고 있는 필름의 넓이, L은 필름의 평균 두께, Δp 는 필름을 사이에 둔 cup 내부와 외부 수증기 부분압의 차이이다.

용해도

필름의 용해도(Water Solubility; WS)는 Rhim 등(22)의 방법에 따라 측정하였다. 25°C, 50%의 상대습도로 조절된 항온습기에서 2일간 저장하여 수분함량을 조절된 절단한 필름 조각(2.5×2.5 cm)을 100°C 건조기에서 24시간 건조하여 초기의 건물 함량을 측정하고, 50 mL 비커에 증류수 약 30 mL와 필름 조각(2.5×2.5 cm)을 넣고 25°C 정온기에서 흔들어 주며 24시간 동안 저장하였다. 24시간 후에 필름이 용해된 용액을 버린 후 필름을 100°C의 건조기에서 24시간 동안 건조시킨 뒤 건물의 함량을 측정하였다. 필름의 용해도는 초기 건물에 대한 물에 용해된 양의 백분율로 나타내었다.

색도

필름의 색도는 색차계(CR-300 Minolta Chroma Meter, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter L, a 및 b값을 측정 하였다. 여기에서 L값은 색의 밝기를 나타내는 것으로 L=0(black)에서 L=100(white)을 나타내고, a값은 a=-80(greenness)에서 a=100(redness)을 나타내고, b값은 b=-80(blueness)에서 b=70(yellowness)을 나타낸다(23).

통계 분석

필름 처리구에 의한 색도의 유의차 검정은 SAS program(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석 후 Duncan's multiple range test로 통계 처리하였다.

결과 및 고찰

인장 강도 및 신장률

적층한 대두 단백질 필름의 인장 강도는 Fig. 1과 같다. 대조구인 필름 A의 인장강도는 3.76 MPa, 옥수수 단백질 적층 필름(필름 B)은 6.21 MPa, 밀 단백질 적층 필름(필름 C)은 5.98 MPa로, 적층한 필름 B와 C의 인장강도가 필름 A에 비해 1.5배 이상 인장강도가 증가하였으며, 또한 밀 단백질 보다 옥수수 단백질

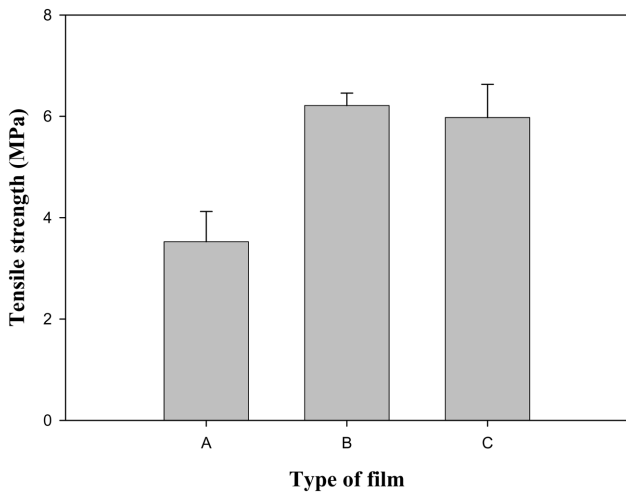


Fig. 1. Tensile strength of SPI laminated films.
Tensile strength values are average of 5 replicates. Bars indicate standard deviations. A, control (SPI film); B, SPI/corn zein laminated film; C, SPI/ wheat gluten laminated film.

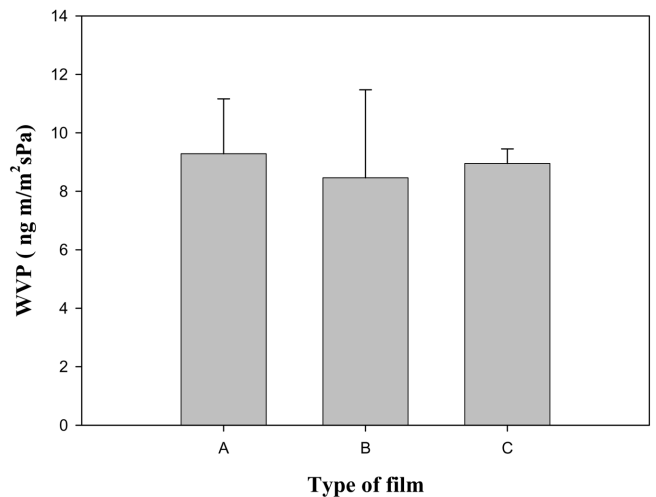


Fig. 3. Water vapor permeability of SPI laminated films.
A, control (SPI film); B, SPI/corn zein laminated film; C, SPI/ wheat gluten laminated film.

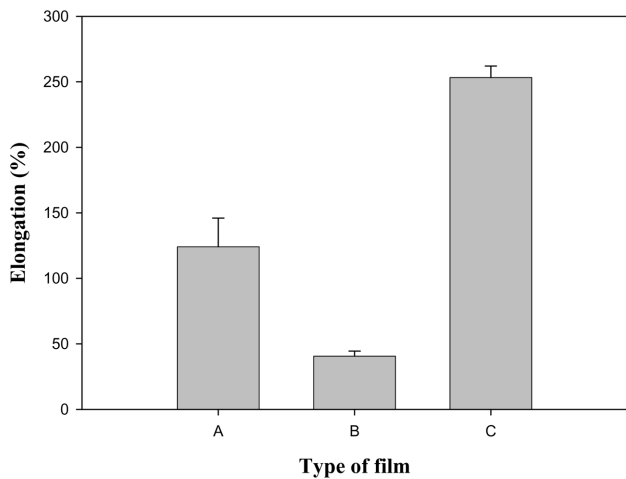


Fig. 2. Elongation of SPI laminated films.
A, control (SPI film); B, SPI/corn zein laminated film; C, SPI/ wheat gluten laminated film.

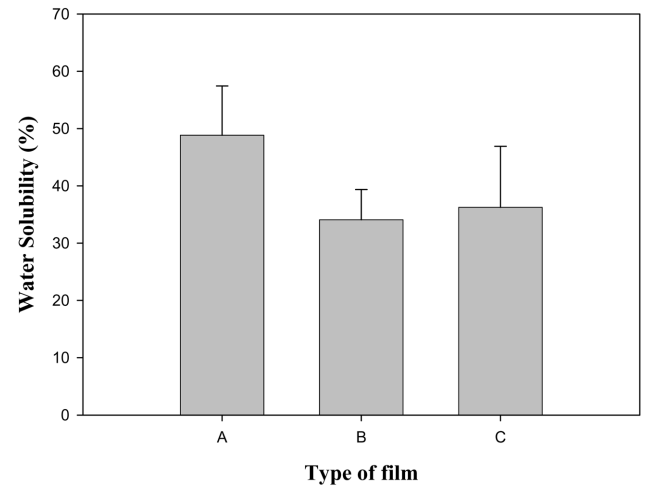


Fig. 4. Water solubility of SPI laminated films.
A, control (SPI film); B, SPI/corn zein laminated film; C, SPI/ wheat gluten laminated film.

으로 적층한 것이 인장강도가 더 높게 나타났다. 일반적으로 옥수수 단백 필름의 인장강도는 9.4-10.9 MPa 범위로 상업용 LDPE(low density polyethylene)의 인장강도 9-15 MPa과 비교할 때 LDPE만큼 높은 강도임을 알 수 있다(24). 따라서, 높은 인장강도를 가진 옥수수 단백을 대두 단백 필름에 적층한 B필름이 인장강도가 가장 높게 나온 것으로 판단된다. Pol 등(25)은 대두 단백 필름과 옥수수 단백 필름을 적층 시 인장강도가 증가함에 따라 신장률은 떨어진다고 보고하였는데 이것은 우리 실험 결과와 일치한다. 일반적으로 필름의 인장강도와 신장률 사이에는 반비례 관계가 있어 필름의 인장강도가 증가하게 되면 반대로 신장률이 감소하게 된다(24). 필름의 신장률은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 필름 A 136.58%, 필름 B 40.60%, 필름 C는 253.28%로 밀 단백 필름으로 적층 시 높은 신장률을 나타내었다. 밀 단백질은 다른 단백질과 달리 고유한 점탄성을 가지고 있어 대두 단백 필름과 적층한 필름 C의 신장률이 253.28%로 가장 높게 나타났다. 옥수수 단백 필름은 높은 인장 강도에 비하여 낮은 신장률을 가지고 있어 대두 단백 필름

과 적층 시에는 필름 C의 신장률이 40.60%로 가장 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그러므로, 필름 A의 물성을 개선한 필름 B와 필름 C의 인장강도는 모두 증가하지만, 필름 B는 신장률이 급격히 감소되기에 필름 B에 비해 필름 C가 식품 포장재로서의 활용이 가능하리라 판단된다.

투습계수

투습계수는 식품 포장재 선택 시 주요 결정 인자로서 식품 유통기한의 증대에 중요한 역할을 한다. 필름을 통한 투습 계수는 필름 양면의 수증기압 차이에 따른 확산에 의해 일어난다. 필름에 미세공이나 작은 균열 등이 있을 때는 수증기의 이동이 주로 capillary diffusion에 의하여 일어난다고 알려져 있다(26). 필름 A의 투습계수는 $9.28 \text{ ng} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, 필름 B는 $8.79 \text{ ng} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, 필름 C는 $8.95 \text{ ng} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ 이었다. 필름 B와 C의 투습계수는 대조구인 필름 A에 비하여 다소 감소하였음을 보여 주는데 옥수수 단백 필름을 제외한 대부분의 친수성 단백 필름은 높은 투습계수를 가지고 있어 문

Table 1. Hunter L, a, b values, total color difference (ΔE) and yellowness index (YI) of laminated SPI films

Type of film	L	a	b	ΔE	YI
A	95.92 ± 1.47 ^a	-1.20 ± 0.04 ^a	7.10 ± 0.23 ^a	5.53 ± 0.29 ^a	10.66 ± 0.36 ^a
B	89.44 ± 0.81 ^b	-8.76 ± 0.18 ^b	53.05 ± 52.35 ^b	52.35 ± 2.01 ^b	84.77 ± 4.07 ^b
C	93.32 ± 1.69 ^c	-2.73 ± 0.12 ^c	12.09 ± 1.60 ^c	11.83 ± 2.07 ^c	19.79 ± 2.89 ^c

^{a-c}Means of five replication ± standard deviations. Any means in the same column followed by the same letter are not significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

제가 되고 있다. 따라서, 단백질 필름의 높은 투습계수를 보완할 방법 중의 하나가 적층 필름임을 시사한다. Rhim 등(27)의 보고에 의하면 cross-linking agent를 첨가한 대두 단백질 필름의 경우 cross-linking agent의 농도에 따라 크기는 약 50% 정도 WVP가 감소하였지만 반대로 인장 강도는 떨어짐을 보고하였다. 또한, Lee 등(28)은 감마선 조사한 대두 단백질 필름의 투습계수가 선량이 증가할수록 낮아진다고 보고하였다. 본 실험 결과에 있어 Rhim 등(27)과 Lee 등(28)의 연구 결과와 비교하여 투습계수의 차이는 크지 않았다.

필름 용해도

일반적으로 저온 저장 시 상온 저장에 비해 저장고의 습도에 의한 포장재의 수분 접촉량이 많아지기 때문에 필름의 수분 저항성이 중요하다. 따라서 합성수지 포장재에 비하여 수분 용해도가 높은 가식성 단백질 필름은 필름의 용해도가 중요하다. 적층한 대두 단백질 필름의 용해도는 필름 A가 53.29%로 가장 높고 필름 C는 41.77%, 필름 B는 35.92%로 가장 낮게 나타났다(Fig. 5). 즉, 필름 B는 필름 A와 비교하여 32.6%, 필름 C는 21.6%의 감소효과를 나타내었다. 따라서, 옥수수 단백질 또는 밀 단백질과 적층한 대두 단백질 필름은 용해도의 감소를 가져오며, 저장 유통에 의한 필름의 물성 저하를 방지하는 효과적인 방법이라 판단된다.

색도

가식성 포장재의 색은 필름 적용에 있어 소비자들의 선택에 영향을 줄 수 있는 중요한 인자이다. Hunter L, a, b값과 색차(ΔE) 및 황색도(YI)가 Table 1에 나타내었다. 필름 A의 Hunter L, a, b값은 95.92, -1.20, 7.10으로 Gennadios 등(29)의 결과와 유사하였다. 밀 단백질 필름과 적층한 필름 C의 경우 필름 A와 비교하여 L, a, b값이 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 65°C에서 4분 동안 가열한 글루텐 필름의 L값이 89.41, a값이 -1.03, b값이 9.61, 색차(ΔE)가 10.70과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았기 때문이라 판단된다(30). 이와는 대조적으로 대두 단백질 필름과 옥수수 단백질 필름을 적층한 필름 B의 경우 황색이 증가하였다. 즉, 필름 B는 Hunter b값이 53.05로 증가하였고 황색도(YI) 역시 84.77로 필름 A와 C와 비교하여 큰 값을 나타내었다. 이러한 결과는 Lee 등(31)의 보고에서와 같이 옥수수 단백질 필름의 b값이 76.62로 옥수수 단백질 자체의 황색으로 인하여 필름 B가 황색을 나타내는 것이라고 판단된다. 따라서 필름 B가 상업적으로 이용되기 위해서는 황색도를 감소시키는 방법이 필요하다고 하겠다. Lee 등(32)의 연구 결과에 따르면, 50 kGy로 감마선 조사 시 옥수수 단백질 필름의 황색도(YI) 값이 약 3배 정도 줄어들기에 감마선 조사한 옥수수 단백질 필름 용액으로 대두 단백질 필름에 적층하면 필름의 황색도가 줄어들리라 예상된다.

요약

대두 단백질 필름의 물성을 개선하기 위하여 옥수수 단백질과 밀 단백질을 이용하여 적층하여 필름을 제조한 후 물성을 측정하였다. 옥수수 단백질(필름 B)과 밀 단백질(필름 C)으로 적층한 대두 단백질 필름의 인장강도가 대조구에 비해 1.5배 이상 증가하였고 필름 C에 비해 필름 B의 인장강도가 더 높게 나타났으며. 또한, 필름 C의 경우 신장률이 253%로 인장강도와 신장률 모두 증가하였다. 투습계수 측정 결과, 대조구인 필름 A와 비교해서 필름 B와 C는 그 차이는 적었지만 투습계수가 감소하였다. 하지만 적층한 필름의 투습계수에는 큰 변화가 없었다. 필름 용해도는 필름 B와 C가 대조구 보다 낮았다. 색도는 필름 A와 C는 큰 차이를 보이지 않았지만 옥수수 단백질로 적층한 필름 B의 b값과 YI값이 큰 차이를 보이며 황색을 나타냈다. 본 실험 결과는 밀 단백질 필름으로 적층한 필름 C가 여러 물성면에 있어서 식품의 포장재로써 효과적이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

문헌

- Rhim JW, Hwang KT, Park HJ, Jung ST. Water-vapor transfer characteristics of carragenan-based edible film. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 417-422 (1996)
- Kester JJ, Fennema OR. Edible films and coating: a review. *Food Technol.* 40: 47-59 (1986)
- Park HJ, Chinnan MS, Shewfelt RL. Edible corn-zein coatings to extend storage life of tomatoes. *J. Food Process Pres.* 18: 317-331 (1994)
- Brandenburg AH, Weller CL, Testin RF. Edible films and coatings from soy protein. *J. Food Sci.* 58: 1086-1089 (1993)
- Gennadios A, Brandenburg AH, Weller CL, Testin RF. Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1835-1839 (1993)
- Gennadios A, Weller CL, Testin RF. Property modification of edible wheat-gluten-based films. *Am. Soc. Agric. Eng.* 36: 465-470 (1993)
- Avena-Bustillos RJ, Krochta JM. Water vapor permeability of caseinate-based edible films as affected by pH, calcium cross-linking and lipid content. *J. Food Sci.* 58: 904-907 (1993)
- Maynes JR, Krochta JM. Properties of edible films from total milk protein. *J. Food Sci.* 59: 909-911 (1994)
- McHugh TH, Krochta JM. Milk-protein based edible films and coatings. *Food Technol.* 48: 97-103 (1994)
- Gennadios A, Weller CL, Hanna MA, Froning GW. Mechanical properties and barrier of egg albumen films. *J. Food Sci.* 61: 585-589 (1996)
- Krochta JM. Edible protein films and coatings. pp. 529-550. In: *Food Proteins and Their Applications.* Damodaran S, Paraf A

- (eds). Marcel Dekker, Inc, New York, NY, USA (1997)
12. Cherian G, Gennadios A, Weller CL. Thermo-mechanical behavior of Wheat gluten films: effect of sucrose, glycerin, and sorbitol. *Am. Assoc. Creal. Chem.* 72:1-6 (1995)
 13. Cunningham PN, Ogale AA, Dawson PL, Acton JC. Thermal processing and tensile properties of soy protein isolate films. *J. Food Sci.* 64: 668-671 (2000)
 14. Lai H, Padua G, Wei L. Properties of zein sheets plasticized with palmitic and stearic acids. *Cereal Chem.* 74: 83-90 (1997)
 15. Park JW, Park HJ, Jung ST, Rhim JW, Park YK, Hwang KT. Corn-zein laminated carrageenan film for packaging minced mackerels. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 1381-1389 (1998)
 16. Pedgett TR, Han IY, Dawson PL. Incorporation of food-grade antimicrobial compounds into biodegradable packaging films. *J. Food Protect.* 61: 1330-1335 (1998)
 17. Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *J. Food Sci.* 57: 190-199 (1992)
 18. ASTM. Standard test methods for tensile properties of plastics. D638M, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, PA, USA. pp. 59-67 (1993)
 19. Kim KM, Weller MA, Gennadios A. Heat curing of soy protein films at atmospheric and sub-atmospheric condition. *J. Food Sci.* 67: 708-713 (2002)
 20. ASTM. Standard test methods for water vapor transmission of materials. E 96-80, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, PA, USA. pp. 761-770 (1983)
 21. Park H, Manjeet S. Gas and water vapor barrier properties of edible films form protein and cellulose materials. *J. Food Eng.* 25: 497-507 (1995)
 22. Rhim JW, Gennadios A, Handa A, Weller CL, Hanna MA. Solubility, tensile, and color properties of modified soy protein isolate films. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4937-41 (2000)
 23. Clydesdale FM. Color measurement. Vol. 1, pp. 95. In: *Food Analysis Principles and Techniques*. Gruenwedel DW, Whitaker JR (eds). Marcel Dekker, Inc, New York, NY, USA (1984)
 24. Rhim JW. Modification of soy protein film by formaldehyde. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 372-378 (1998)
 25. Pol H, Dawson P, Acton J, Ogale A. Soy protein isolate/ corn-zein laminated films: transport and mechanical properties. *J. Food Sci.* 67: 212-217 (2002)
 26. Donhowe IG, Fennema O. Edible films and coatings: Characteristics, formation, definition, and testing methods. pp. 1-24. In: *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Krochta JM, Baldwin EA, Nispero-Carriedo M (eds). Technomic Publishing Company, Lancaster, PA, USA (1994)
 27. Rhim JW, Gennadios A, Weller CL, Hanna AM. Sodium dodecyl sulfate treatment improves properties of cast films from soy protein isolate. *Ind. Crop. Prod.* 15: 199-205 (2002)
 28. Lee M, Lee S, Song KB. Effect of γ -irradiation on the physico-chemical properties of soy protein isolate films. *Radiat. Phys. Chem.* 72:35-40 (2005)
 29. Gennadios A, Ghorpade VM, Weller CL, Hanna AM. Heat curing of soy protein films. *Trans. ASAE* 39: 575 (1996)
 30. Ali Y, Ghorpade VM, Hanna MA. Properties of thermally treated wheat gluten films. *Ind. Crop. Prod.* 6: 177-184 (1997)
 31. Lee S, Lee MS, Park SK, Bae DH, Ha SD, Song KB. Physical properties of protein films containing green tea extract and its antioxidant effect on fish paste products. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 1063-1067 (2004)
 32. Lee S, Lee MS, Song KB. Effect of γ -irradiation on physico-chemical properties of zein films. *J. Food Sci. Nutr.* 8: 343-348 (2003)

(2004년 10월 14일 접수; 2005년 1월 28일 채택)