

단백질 기반 Oxygen High Barrier 소재의 전과정평가를 통한 환경 영향 측정

강동호¹ · 신양재^{2*}

¹한국생산기술연구원패키징기술센터

²고려대학교식품공학과

Environmental Evaluation of Protein Based Oxygen High Barrier Film Using Life Cycle Assessment

DongHo Kang¹ and YangJai Shin²

¹Korea Institute of Industrial Technology

²Korea University Department of Food Bioscience and Technology

Abstract Environmental evaluation of two different oxygen high barrier films were performed using life cycle assessment. One of the films (traditional film) was composed of aluminum oxide coated PET film, ink, LDPE and LLDPE. Another film (new film) was consists of PET, ink, protein based coating material, LDPE, LLDPE. Main layer to achieve the high oxygen barrier for traditional film was aluminum oxide coated PET film, whereas the protein based coating material act as oxygen barrier layer for new film. Functional unit of this study was 1000 pouches made of traditional and new film. System boundary was factory to gate. The results of this study revealed that the new film shows better environmental performance for most of impact indicator than traditional film, except marine eutrophication and fine particulate matter formation due to extra coating process in new film system.

Keywords Environmental Evaluation, Life Cycle Assessment, Oxygen High Barrier Film, Protein-based

서 론

한국 공업 규격 (KS T 1001-2009¹⁾에 따르면 포장이란 물품의 유통과정에 있어서, 그 물품의 가치 및 상태를 보호하기 위하여 적합한 재료 또는 용기 등으로 물품을 포장하는 방법 및 포장한 상태를 말하여, 이것을 날포장, 속포장 및 겉포장 3종으로 분류한다. 특히, 식품 포장의 경우 식품의 부패를 막고 유통기한을 증진시키기 위해 빛, 수분, 산소 등과 같은 요소들을 막기 위한 높은 수준의 기준을 요한다.

이 중에서도 수분과 산소의 경우 포장재료의 투과를 통해 식품에 변질에 영향을 미치는 가장 중요한 핵심 화합물

이다. 수분의 경우 식품과 약한 수소 결합에 의한 가역적 반응 (Reversible interaction)인데 반해 산소의 경우 비가역적 반응을 통해 식품 자체에 영구적 변화를 일으키는 화합물로서 이러한 산소 투과를 막는 것이 식품 포장에서 가장 중요한 역할로 대두되어왔다.

이러한 외부 산소를 차단하기 위한 한가지 방법으로 산소 차단성이 뛰어난 Ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH)이나 Polyvinylidene chloride (PVDC)을 활용한 공압출 다층필름 (Coextruded multilayer film)이나 라미네이션 다층 필름 (Laminated multilayer film)이 패키징 산업에서 사용되어왔다²⁾.

또 다른 방법으로는 일반 고분자 필름에 알루미늄 증착 (Deposition of evaporated aluminum)이나 플라즈마 유도 무기물 증착 (Plasma-assisted Deposition of inorganic layers)을 통해 차단능을 높이는 것이다³⁻⁴⁾.

공압출, 라미네이션 및 표면 처리의 경우 산소 차단능을

*Corresponding Author : YangJai Shin
Korea University Department of Food Bioscience and Technology
Tel : +82-2-3290-4279, Fax : +82-2-927-5201
E-mail : shinyj5912@gmail.com

높여 주지만 여러가지 단점 (높은 에너지 및 비용)들이 존재한다. 또한 이렇게 공압출 및 라미네이션이 된 소재의 경우 재활용이 불가능하여 환경 오염에 큰 영향을 미치고 있다. 플라스틱 재활용의 경우 플라스틱 종류별 선별, 분쇄, 세척 후 가공을 통해 저품질 재생원료 제품으로 활용된다. 이러한 과정 속에서 공압출, 라미네이션 및 표면 처리가 되어있는 소재의 경우 선별 과정에서 플라스틱 종류별로 분리가 불가능하다⁵⁾.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 생분해성 고분자의 생산 및 적용이 확대되고 있다. 하지만 대다수의 생분해성 고분자의 경우 합성 고분자에 대비해 차단성 (Barrier properties)이 낮아 식품 패키징으로 적용하기에 한정적이다. 그에 따라 생분해 특성을 유지하면서도 차단성을 높이기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 이러한 방법 중 한가지로 산소 차단성이 뛰어난 생분해성 고분자나 biopolymer와 기존 합성 고분자와 적층 구조 (Laminated structure)를 이루는 것이다. 다양한 천연 물질로부터 유래된 biopolymer의 경우 코팅이나 필름으로 생산되어 활용되어 왔으며 polysaccharides, lipids 및 단백질 류를 기반으로 하는 biopolymer의 물성과 잠재적 사용처로서 다양한 리뷰가 이뤄졌다⁶⁻¹⁰⁾. 이 중에서도 단백질 류, 특히 유청단백질 (Whey protein)의 경우 산소 및 향 차단성이 뛰어난 것으로 알려져 식품 패키징의 산소 차단 코팅재로 활용되어왔다.

이번 실험에서는 고차단성을 요할 시 적용하는 기존 식품 패키징의 산화알루미늄 증착 필름과 천연 단백질 기반의 고차단성 필름의 환경영향을 비교분석하는 것을 목적으로 한다. Base matrix의 경우 Polyethylene terephthalate을 활용하였으며 기존 필름의 경우 산화 알루미늄 증착 (Traditional film)을 통해 산소 차단성을 증진시켰으며 새롭게 개발된 필름 (New film)의 경우 단백질 기반의 코팅재를 통해 산소 차단성을 증진시켰다. 환경 영향을 비교 분석하기 위해 전과정평가 (Life cycle assessment)를 활용하였다.

Materials & Method

1. Materials

Traditional film의 경우 Fig. 1에 나와있듯 AlOx coated Polyethylene terephthalate (AlOx-PET), Ink, Low density polyethylene (LDPE), Linear low density polyethylene (LLDPE)의 구조로 이루어져있으며 AlOx-PET의 경우 일본 돗판사, LDPE의 경우 LG화학, LLDPE의 경우 동신 이엔피, Ink의 경우 동양인크에서 생산하였다. New film의 경우 PET, Ink, 천연물 코팅재 (NB), LDPE, LLDPE의 구조로 이루어져있으며 PET의 경우 코오롱, Ink의 경우 동양인크, 천연물 코팅재의 경우 에버캠텍 자체개발, LDPE의 경우 LG화학, LLDPE의 경우 동신 이엔피에서 생산하

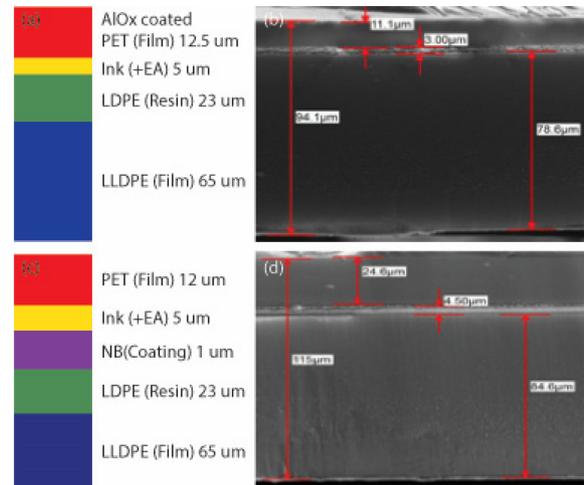


Fig. 1. Schematic draw of film structure for traditional film (a) and new film (b), and SEM picture of traditional film (c) and new film (d).

였다. Mocon사의 OX-TRAN 702를 활용하여 산소 차단능을 측정하였으며 Traditional film의 경우 $0.30 \text{ cc}\cdot\text{mil}/\text{m}^2\cdot\text{day}$, New film의 경우 $1.04 \text{ cc}\cdot\text{mil}/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 를 기록하였다.

2. Functional unit and system boundary

전과정평가 수행을 위한 기능 유닛 (Functional unit) 설정으로는 1000매의 3방 파우치 ($135 \text{ mm}\times 170 \text{ mm}$)를 만들기 위해 필요한 Traditional 및 New film으로 정하였다 (Fig. 2). 을 활용하여 1000매의 파우치를 생산하여 공장 문 밖을 나서지 전까지 (Factory to gate) 사용되는 모든 물자와 에너지 그에 따른 배출물로 설정하였다. 기능 유닛에 맞춰 사용된 각각의 소재 별 출처 및 사용량은 Table 1에 설명하였다. Fig. 3와 4는 이번 전 과정 평가에서 분석할 Traditional film과 New film 시스템의 범위를 설명하고 있다. 이번 실험에서는 향후 결과 분석을 용이하게 하기 위해 각각의 시스템 별 세부 공정을 4개의 단계로 묶어서 분석하였다. 4개의 단계는 Material production, Intermediate process, Transportation 그리고 Waste management로 설정하였다.

Traditional film의 Material production 단계의 경우 PET resin, aluminum, Ink, Solvent (Ethyl acetate), LDPE 및 LLDPE 생산이 포함되었다. Intermediate process의 경우 PET film 생산을 위한 Extrusion, Aluminum을 활용한 증착, 그라비아 프린팅 및 라미네이션까지 포함되었다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다. Waste treatment 단계의 경우 Lamination 공정 중 발생하는 3%의 불량률과 제대 공정에서 발생하는 7%의 불량률 및 가장자리 폐기물의 처리 과정이 포함되었으며 이번 연구에서는 소각 (Incineration)을 통해 처리하였다. 제대 공정 및 외포장 작업의 경우 New film 공정 시스템과 중



Fig. 2. Pouch made of new film (a) and traditional film (b).

Table 1. General specification and mass of each material for 1000 pouches

Film type	Materials	Volume (cm ³)	Density (g/cm ³)	Thickness (um)	Mass (g)
Traditional Film	AlOx PET	550.8	1.38	12	760.1
	Ink+EA	229.5	1.05	5	241.0
	LDPE	1055.7	0.93	23	981.8
	LLDPE	2983.5	0.94	65	2804.5
New Film	PET	550.8	1.33	12	732.6
	NB	45.9	0.95	5	43.6
	Ink+EA	229.5	1.05	1	241.0
	LDPE	1055.7	0.93	23	981.8
	LLDPE	2983.5	0.94	65	2804.5

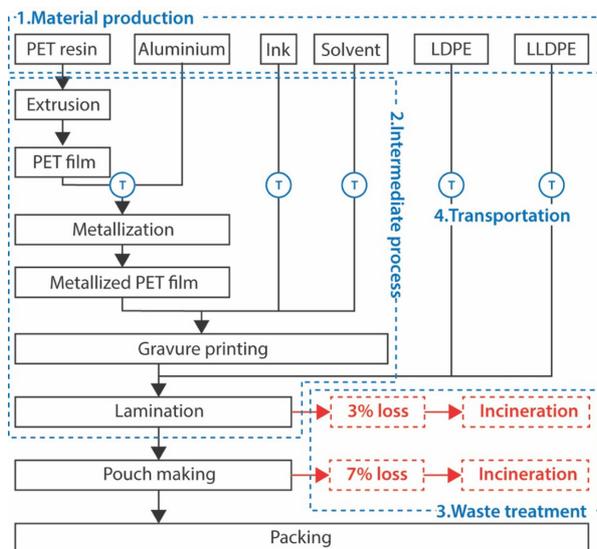


Fig. 3. System boundary of traditional film.

첨되는 부분으로 이번 연구에서 제외하였다.

New film의 Material production 단계의 경우 PET resin, NB, Ink, Solvent (Ethyl acetate), LDPE 및 LLDPE 생산이 포함되었다. Intermediate process의 경우 PET film 생

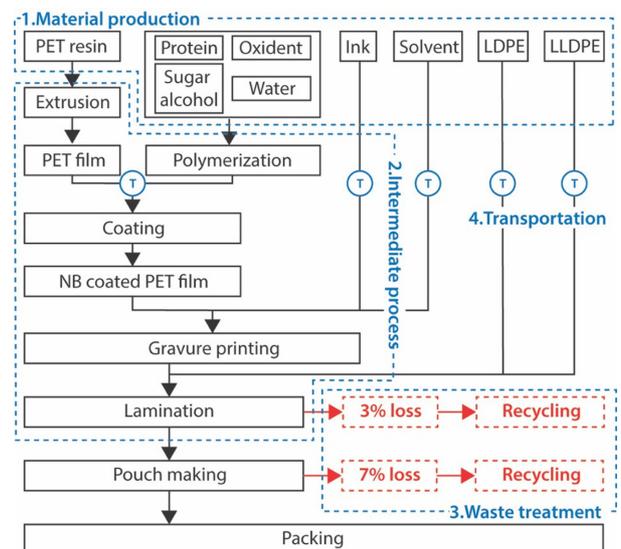


Fig. 4. System boundary of new film.

산을 위한 Extrusion, NB 물질의 PET 코팅, 그라비아 프린팅 및 라미네이션까지 포함되었다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다. Waste treatment 단계의 경우 Lamination 공정 중 발생하는 3%의 불

Table 2. Summary of database used in this study

Product name	Simapro product name	Database	Description
PET	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {RoW} production APOS, U	Ecoinvent 3	Average data for the production of amorphous pET out of ethylene glycol and PTA. The data include material and waste as well as air and water emissions.
LLDPE	Polyethylene, linear low density, granulate {RoW} production APOS, U	Ecoinvent 3	Aggregated data for all processes from raw material extraction until delivery at plant
Film production	Extrusion, plastic film {RoW} production APOS, U	Ecoinvent 3	This process contains the auxiliaries and energy demand for the mentioned conversion process of plastics (1 kg of this process = 0.976 kg of extruded plastic film)
Gravure Printing	Carton board box production service, with gravure printing {RoW} APOS, U	Ecoinvent 3	Exclude cartonboard, This module includes the production of boxes out of cartonboard. It contains the steps of cutting, folding and printing with a gravure machine and therefore ink and glues are considered as well as the electricity consumption
Extrusion Laminating + Cutting process	Laminating service, foil, with acrylic binder {RoW} APOS, U	Ecoinvent 3	Estimation of electricity use for the laminating and cutting of foils. Only glue for laminating process included. Estimation process of glue overspray included. Materials with are laminated are not included
Incineration	Waste incineration of plastics (PET)	ELCD	
	Waste incineration of plastics (PE)		
Aluminum deposition	Environmental Life Cycle Comparison of Aluminum based High Barrier Flexible Packaging Lamintates, Theses, Jacob A. Bayus, Rochester Institute of Technology		
NB-A and B	Used in nature material database of SimaPro		

량물과 제대 공정에서 발생하는 7%의 불량물 및 가장자리 폐기물의 처리 과정이 포함되었으며 이번 연구에서는 재활용 (Recycling)을 통해 처리하였다. 제대 공정 및 외포장 작업의 경우 Traditional film 공정 시스템과 중첩되는 부분으로 이번 연구에서 제외하였다.

3. Main assumptions

다음과 같은 가정들을 통해 전 과정 모델과 실제 제품의 전 과정 사이의 차이를 줄이려고 했다. 부족한 데이터 베이스를 보충하기 위해 다음과 같은 가정 및 제한 점들이 고려되었다.

- 제대 공정 및 외포장 단계의 경우 Traditional film과 New film 사이 차이가 존재하지 않아 분석에서 제외하였다.
- 알루미늄 증착 공정의 경우 데이터 베이스 부족으로 인해 Bayus et al.의 논문인 Environmental Life Cycle Comparison of Aluminum-based High Barrier Flexible Packaging Laminates에서 데이터를 추출하여 사용
- NB 코팅 공정의 경우 데이터 베이스 부족으로 인해 전과정평가 프로그램 상에 존재하는 데이터베이스 중 Film coating 공정을 추출하여 사용
- 대다수의 Intermediate process에 포함된 공정 데이터 베이스는 유럽을 기준으로 구축되어있음
- Transportation 단계에서 활용된 트럭 및 화물선의 경우 공장까지 가득 채워서 운송하고 돌아올 때는 빈 차였던 것으로 가정

4. Life cycle inventory analysis

앞서 정해진 System boundary에 맞춰 1차 수집 데이터 이외에 부족한 Data의 경우 이번 연구에서 활용한 Simapro 8.5 (Pre Sustainability, Netherlands) 소프트웨어의 Database를 활용하였으며 자세한 설명은 Table 2에 명시하였다. 알루미늄 증착 (Aluminum deposition)의 경우 Jacob A. Bayus¹¹⁾의 논문을 참조하였다. 나머지 소재 및 공정의 경우 Ecoinvent 3 (Ecoinvent, Switzerland)의 Database를 활용하였다.

5. Life cycle impact assessment

앞선 Life cycle inventory analysis의 결과를 해석하기 편하기 위해 각각의 환경영향 범주 (Life cycle impact category)로 분류하여 환경영향을 분석 평가하였다. 이번 연구에서는 Goedkoop et al.¹²⁾이 개발한 전 과정 영향 평가 방법인 ReCiPe2016을 활용하였다. 이 방법에서 설정한 환경부하 항목은 다음과 같다.

Results and discussion

1. Results

1) Global warming

두 시스템 분석 결과 New film (23.3 kg CO₂ eq)이 Traditional film (88.6 kg CO₂ eq)보다도 73% 정도 더 낮은 Global warming 영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로

Table 3. Impact categories of ReCiPe2016 used in this study

Impact category	Unit
Global warming	kg CO2 eq
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq
Ozone formation, Human health	kg NOx eq
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq
Terrestrial acidification	kg SO2 eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB
Land use	m2a crop eq
Mineral resource scarcity	kg Cu eq
Fossil resource scarcity	kg oil eq
Water consumption	m ³

는 Waste management 단계에서 Traditional film의 경우 소각에 따른 배출물들이 Global warming에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 단계 별로는 Traditional film의 경우 Waste treatment, Material Production, Intermediate Process, Transportation 순으로 영향을 미쳤으며 New Film의 경우 Material production, Intermediate Process, Transportation 순으로 영향을 미쳤다. 세부적으로 Material production 단계에서 Traditional film의 경우 LLDPE 생산이 가장 큰 기여를 하였으며 Waste management의 경우 Ink와 LDPE의 소각이 가장 큰 기여를 하였다. New film의 경우 Material production 단계에서 똑같이 LLDPE 생산이 가장 큰 기여를 하였으며 Intermediate process의 경우 제작 공정 중 활용된 화석 연료가 가장 큰 기여를 하였다.

2) Stratospheric ozone depletion

두 시스템 분석 결과 New film (3.42×10^{-6} kg CFC-11 eq)이 Traditional film (3.58×10^{-6} kg CFC-11 eq)보다도 4.4% 정도 더 낮은 Stratospheric ozone depletion 영향을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Waste management 단계에서 Traditional film의 경우 소각에 따른 배출물들이 Stratospheric ozone depletion에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다. 단계 별로는 Traditional film의 경우 Material Production, Intermediate Process, Waste treatment, Transportation 순으로 영향을 미쳤으며 New Film의 경우 Material production, Intermediate Process, Transportation 순으로 영

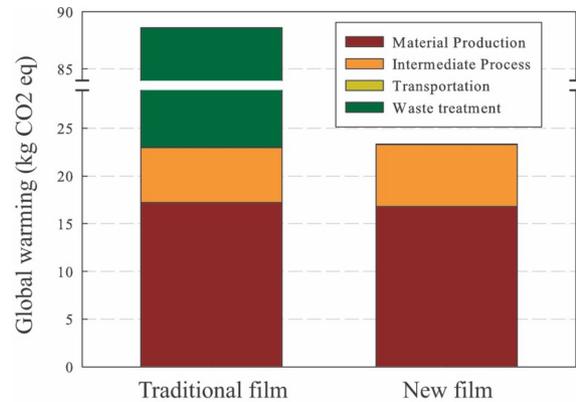


Fig. 5. Global warming potential of traditional film and new film.

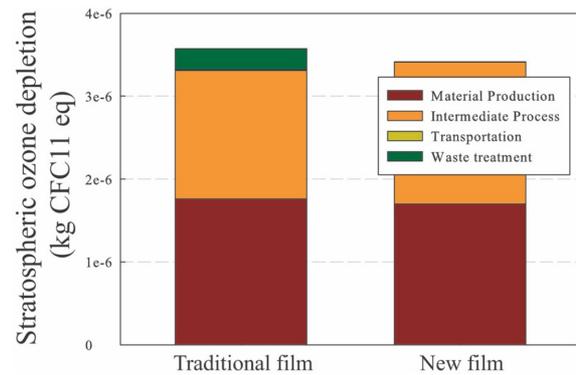


Fig. 6. Stratospheric ozone depletion of traditional film and new film.

향을 미쳤다. 세부적으로 Material production 단계에서 Traditional film과 New film의 경우 LLDPE 생산이 가장 큰 기여를 하였으며 Intermediate Process의 경우 생산 공정에 활용된 전기 생산이 가장 큰 기여를 하였다.

3) Ionizing radiation

두 시스템 분석 결과 New film (0.64 kBq Co-60 eq)이 Traditional film (0.67 kBq Co-60 eq)보다도 4% 정도 더 낮은 Ionizing radiation 영향을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Material production 단계에서 나타났으며 Traditional film의 Waste management 단계에서는 원자력 발전에 따른 우라늄 폐기물이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

4) Ozone formation, Human health

두 시스템 분석 결과 New film (0.035 kg NOx eq)이 Traditional film (0.042 kg NOx eq)보다도 16% 정도 더 낮은 Ozone formation, Human health 영향을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Waste management 단계에서 나타났으며 Traditional film의 Waste management 단계에서는 잉크와 LDPE의 소각이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

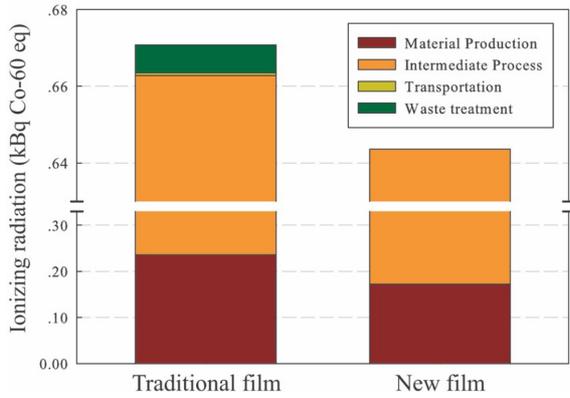


Fig. 7. Ionizing radiation of traditional film and new film.

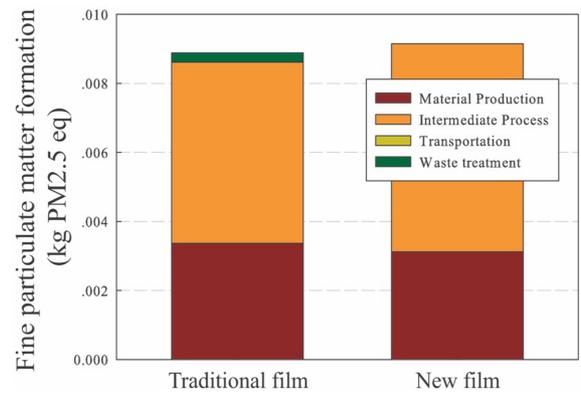


Fig. 9. Fine particulate matter formation of traditional film and new film.

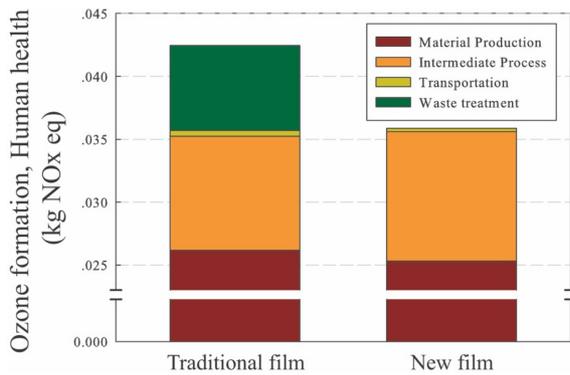


Fig. 8. Ozone formation, Human health of traditional film and new film.

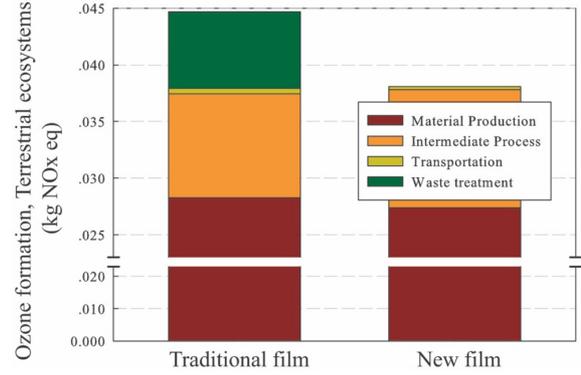


Fig. 10. Ozone formation, Terrestrial ecosystems of traditional film and new film.

5) Fine particulate matter formation

두 시스템 분석 결과 New film (0.0091 kg PM2.5 eq)이 Traditional film (0.0089 kg PM2.5 eq)보다도 3% 정도 더 높은 Fine particulate matter formation영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Intermediate process 단계에서 나타났으며 New film의 Intermediate process단계의 경우 코팅 공정의 추가에 따른 전기 소비량 증가가 이러한 차이점을 나타낸 것으로 분석되었다.

6) Ozone formation, Terrestrial ecosystems

두 시스템 분석 결과 New film (0.038 kg NOx eq)이 Traditional film (0.045 kg NOx eq)보다도 15% 정도 더 낮은 Ozone formation, Terrestrial ecosystems영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Waste management 단계에서 나타났으며 Traditional film의 Waste management 단계에서는 잉크와 LDPE의 소각이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

7) Terrestrial acidification

두 시스템 분석 결과 New film (0.053 kg SO2 eq)이

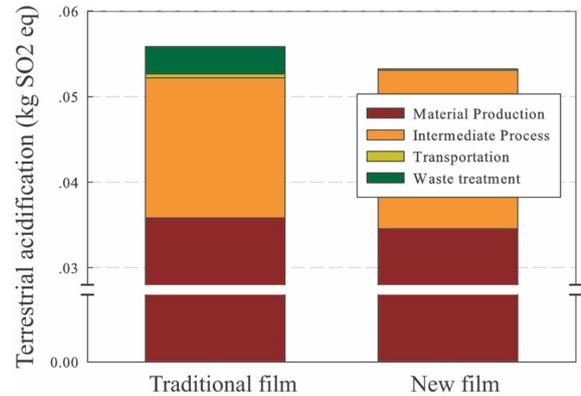


Fig. 11. Terrestrial acidification of traditional film and new film.

Traditional film (0.056 kg SO2 eq)보다도 5% 정도 더 낮은 Terrestrial acidification영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Waste management 단계에서 나타났으며 Traditional film의 Waste management 단계에서는 잉크의 소각이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

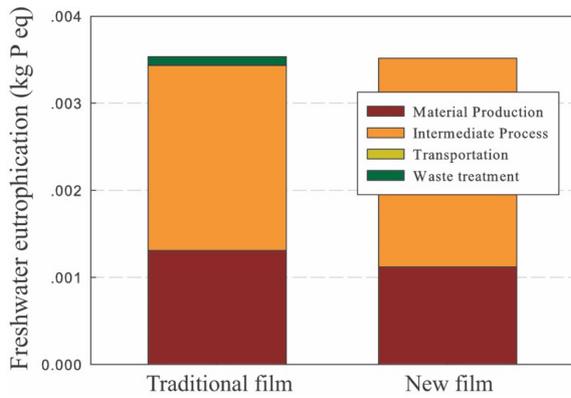


Fig. 12. Freshwater eutrophication of traditional film and new film.

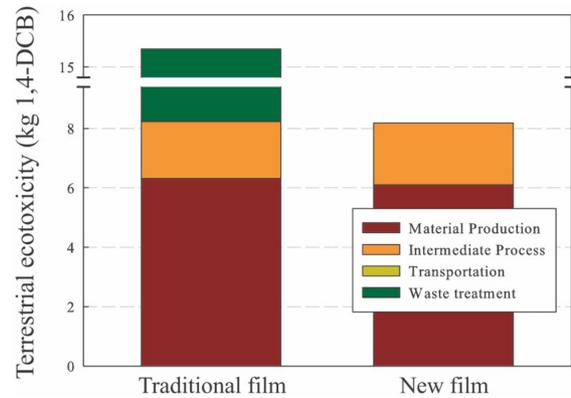


Fig. 14. Terrestrial ecotoxicity of traditional film and new film.

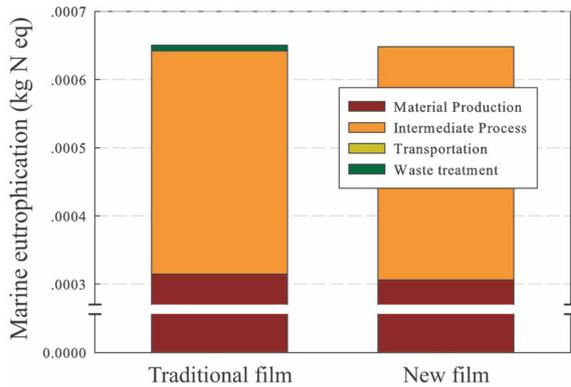


Fig. 13. Marine eutrophication of traditional film and new film.

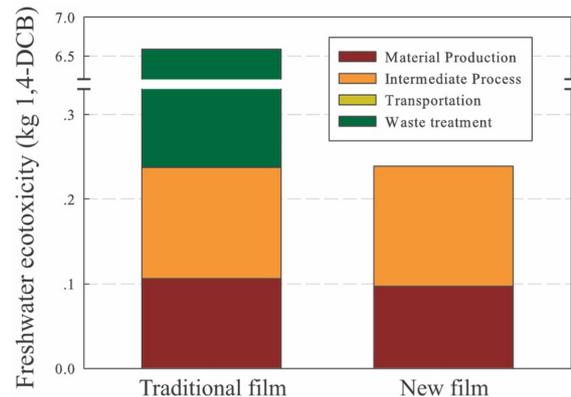


Fig. 15. Freshwater ecotoxicity of traditional film and new film.

8) Freshwater eutrophication

두 시스템 분석 결과 New film (0.00351 kg P eq)과 Traditional film (0.00353 kg P eq)이 0.5% 차이를 보여 거의 비슷한 Freshwater eutrophication 영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Intermediate Process 단계에서 나타났으며 New film의 Intermediate Process 단계에서는 전기 생산을 위해 사용된 Lignite과 Hard coil 채굴 중 발생한 폐기물의 매립이 가장 큰 기여를 하였다. 하지만 Traditional film의 Waste management의 기여로 인해 전체 Freshwater eutrophication 비교 시 New film이 Traditional film보다도 낮게 나왔다.

9) Marine eutrophication

두 시스템 분석 결과 New film (0.000648 kg N eq)과 Traditional film (0.000651 kg N eq)이 0.4%의 차이를 보여 거의 비슷한 Marine eutrophication 영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Intermediate Process 단계에서 나타났으며 Freshwater eutrophication 과 마찬가지로 Lignite과 Hard coil 채굴 중 발생한 폐기물의 매립이 가장 큰 기여를 하였다. 하지만 Traditional film의 Waste management

의 기여로 인해 전체 Marine eutrophication 비교 시 New film이 Traditional film보다도 낮게 나왔다.

10) Terrestrial ecotoxicity

두 시스템 분석 결과 New film (8.18 kg 1,4-DCB)과 Traditional film (15.34 kg 1,4-DCB)이 46.7% 더 낮은 Terrestrial ecotoxicity 영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 잉크, PE 및 PET의 소각에 따른 배출물의 영향이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

11) Freshwater ecotoxicity

두 시스템 분석 결과 New film (0.24 kg 1,4-DCB)과 Traditional film (6.59 kg 1,4-DCB)이 96.4% 더 낮은 Freshwater ecotoxicity 영향력을 보였다. Terrestrial ecotoxicity와 마찬가지로 가장 큰 차이점으로는 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 잉크, PE 및 PET의 소각에 따른 배출물의 영향이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

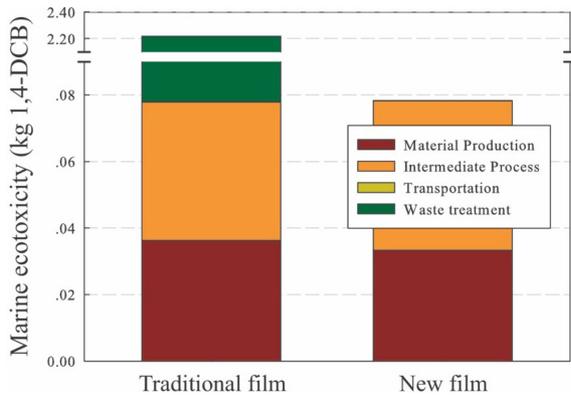


Fig. 16. Marine ecotoxicity of traditional film and new film.

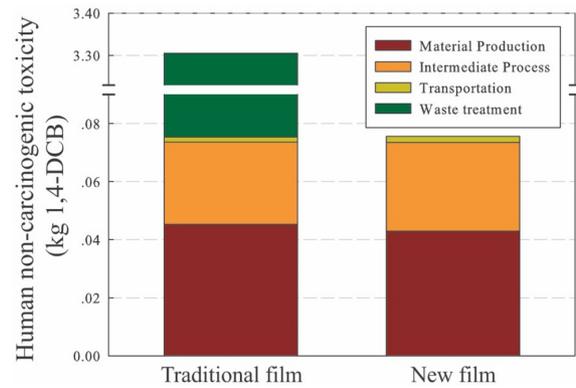


Fig. 18. Human non-carcinogenic toxicity of traditional film and new film.

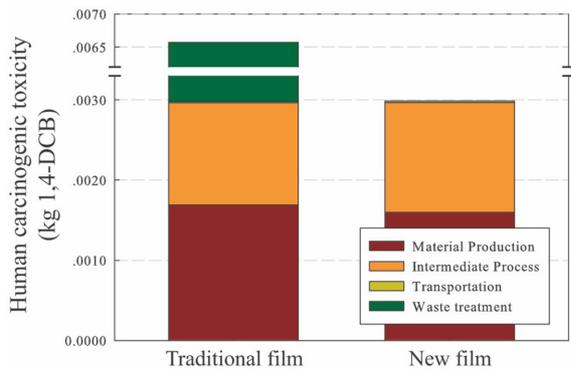


Fig. 17. Human carcinogenic toxicity of traditional film and new film.

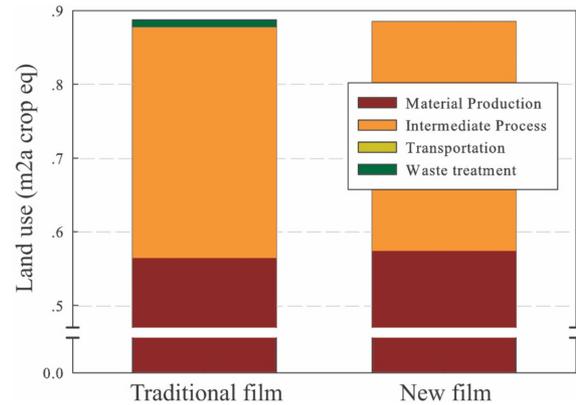


Fig. 19. Land use of traditional film and new film.

12) Marine ecotoxicity

두 시스템 분석 결과 New film (0.078 kg 1,4-DCB)과 Traditional film (2.22 kg 1,4-DCB)이 96.5% 더 낮은 Marine ecotoxicity영향력을 보였다. Terrestrial ecotoxicity 및 Freshwater ecotoxicity와 마찬가지로 가장 큰 차이점은 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 잉크, PE 및 PET의 소각에 따른 배출물의 영향이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

13) Human carcinogenic toxicity

두 시스템 분석 결과 New film (0.00298 kg 1,4-DCB)과 Traditional film (0.00657 kg 1,4-DCB)이 54.6% 더 낮은 Human carcinogenic toxicity영향력을 보였다. 가장 큰 차이점은 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 잉크 소각에 따른 배출물의 영향이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

14) Human non-carcinogenic toxicity

두 시스템 분석 결과 New film (0.0755 kg 1,4-DCB)과 Traditional film (3.308 kg 1,4-DCB)이 97.7% 더 낮은

Human non-carcinogenic toxicity영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 잉크 소각에 따른 배출물의 영향이 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

15) Land use

두 시스템 분석 결과 New film (0.885 m2a crop eq)과 Traditional film (0.888 m2a crop eq)이 0.2%의 차이를 보여 거의 비슷한 Land use영향력을 보였다.

16) Mineral resource scarcity

두 시스템 분석 결과 New film (0.0126 kg Cu eq)과 Traditional film (0.0160 kg Cu eq)이 21.1% 더 낮은 Mineral resource scarcity영향력을 보였다. 가장 큰 차이점으로는 Traditional film의 Waste management 단계에서 나타났으며 세부적으로는 Municipal waste incineration facility 구축을 위한 철 소비가 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났다.

17) Fossil resource scarcity

두 시스템 분석 결과 New film (9.632 kg oil eq)과

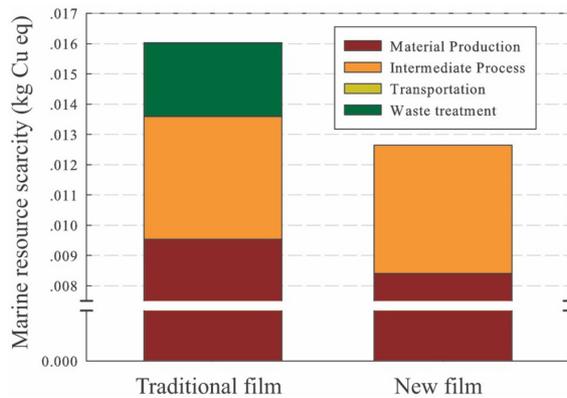


Fig. 20. Mineral resource scarcity of traditional film and new film.

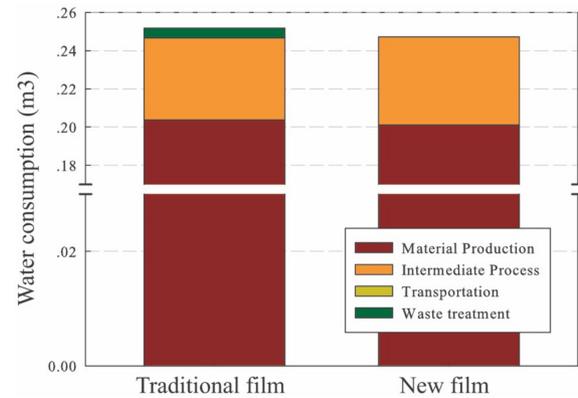


Fig. 22. Water consumption of traditional film and new film.

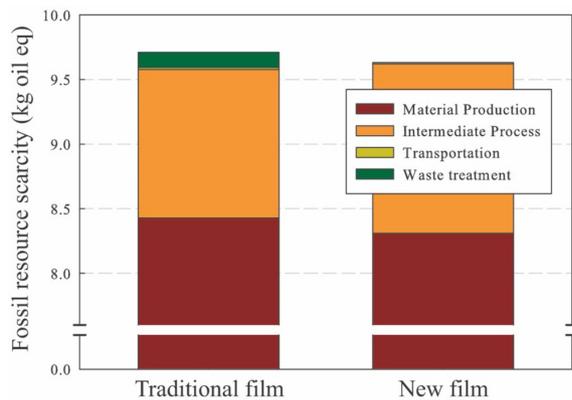


Fig. 21. Fossil resource scarcity of traditional film and new film.

Traditional film (9.710 kg oil eq)이 0.8%의 차이를 보여 거의 비슷한 Fossil resource scarcity영향력을 보였다.

18) Water consumption

두 시스템 분석 결과 New film (0.247 m³)과 Traditional film (0.252 m³)이 1.8%의 차이를 보여 거의 비슷한 Water consumption영향력을 보였다.

Conclusion and Summary

1. Conclusion

전과정평가 분석 결과 대다수의 환경영향범주에서 New film이 Traditional film 대비 낮은 값이 나왔으며 구체적으로 Global warming, Stratospheric ozone depletion, Ionizing

Table 4. Summary of results of life cycle impact assessment for this study

Impact category	Traditional film	New film	Main contributor to differentiate the impact category
Global warming (kg CO2 eq)	88.6	23.3	Incineration of plastic waste
Stratospheric ozone depletion (kg CFC-11 eq)	3.58×10^{-6}	3.42×10^{-6}	Incineration of plastic waste
Ionizing radiation (kBq Co-60 eq)	0.67	0.64	Uranium waste (nuclear power generation)
Ozone formation, Human health (kg NOx eq)	0.042	0.035	Incineration of ink, PE, PET
Ozone formation, Terrestrial ecosystems (kg NOx eq)	0.045	0.038	Incineration of ink, PE, PET
Terrestrial acidification (kg SO2 eq)	0.056	0.053	Incineration of ink
Freshwater eutrophication (kg P eq)	0.00353	0.00351	Lignite and hard coal mining to produce electricity for coating process
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DCB)	15.34	8.18	Incineration of ink, PE, PET
Freshwater ecotoxicity (kg 1,4-DCB)	6.59	0.24	Incineration of ink, PE, PET
Marine ecotoxicity (kg 1,4-DCB)	2.22	0.078	Incineration of ink, PE, PET
Human carcinogenic toxicity (kg 1,4-DCB)	0.00656	0.00298	Incineration of ink
Human non-carcinogenic toxicity (kg 1,4-DCB)	3.308	0.0755	Incineration of ink
Land use (m2a crop eq)	0.888	0.885	-
Mineral resource scarcity (kg Cu eq)	0.0160	0.0126	-
Fossil resource scarcity (kg oil eq)	9.710	9.632	-
Water consumption (m³)	0.252	0.247	-
Marine eutrophication (kg N eq)	0.000651	0.000648	Lignite and hard coal mining to produce electricity for coating process
Fine particulate matter formation (kg PM 2.5 eq)	0.0089	0.0091	Coating process

radiation, Ozone formation (Human health), Ozone formation (Terrestrial ecosystems), Terrestrial acidification, Freshwater eutrophication, Terrestrial ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity, Marine ecotoxicity, Human carcinogenic toxicity, Human non-carcinogenic toxicity, Land use, Mineral resource scarcity, Fossil resource scarcity, Water consumption와 같은 환경영향 범주에서 낮은 값을 보였다. 하지만 Marine eutrophication와 Fine particulate matter formation 범주에서는 New film이 Traditional film대비하여 더 높게 나왔으며 구체적으로는 Coating 공정의 추가에 따른 전력 소비 및 전력 생산을 위한 원자재 채굴에 의한 것으로 나타났다.

2. Summary

이번 연구에서는 식품 포장재로 많이 활용하고 있는 산소 고차단성 필름 두 종류의 환경 영향을 평가하는 것이었다. Table 4의 경우 환경 영향 모델에 따라 계산된 Traditional film과 New film의 각 환경 영향 범주 별 비교 값 및 이러한 차이를 보인 가장 영향력 있는 공정을 설명하였다.

Reference

1. Korea Standard. 2009. Glossary of terms for packaging. KS T 1001.
2. Selke, S.E. and Culter, J.D., 2016. Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
3. Inagaki, N., Tasaka, S. and Hiramatsu, H. 1999. Preparation of oxygen gas barrier poly (ethylene terephthalate) films by deposition of silicon oxide films plasma-polymerized from a mixture of tetramethoxysilane and oxygen. J. APPL. POLYM. SCI. 71(12): 2091-2100.
4. Inagaki, N., Tasaka, S. and Nakajima, T. 2000. Preparation of oxygen gas barrier polypropylene films by deposition of SiO_x films plasma-polymerized from mixture of tetramethoxysilane and oxygen. J. APPL. POLYM. SCI. 78(13):2389-2397.
5. Bugnicourt, E., Schmid, M., Nerney, O.M., Wildner, J., Smykala, L., Lazzeri, A. and Cinelli, P. 2013. Processing and validation of whey-protein-coated films and laminates at semi-industrial scale as novel recyclable food packaging materials with excellent barrier properties. ADV. MATER. SCI. ENG. 2013.
6. Kester, J. J., & Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: a review. FOOD. TECHNOL. 40:47-59.
7. Krochta, J. M., Baldwin, E. A., & Nisperos-Carriedo, M. O. 1994. Edible coatings and films to improve food quality. Technomic Publ. Co.
8. Han, J. H. 2014. Innovation in food packaging. Academic Press, pp. 213-255.
9. Shit, S. C., & Shah, P. M. 2014. Edible polymers: challenges and opportunities. J. POLYM. 2014.
10. Bourtoom, T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. INT. FOOD. RES. J. 15(3): 237-248.
11. Bayus, J. A. 2015. Environmental Life Cycle Comparison of Aluminum-based High Barrier Flexible Packaging Laminates. MS.c. Theses, Rochester Institute of Technology, Rochester, USA.
12. Goedkoop, M.J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. and van Zelm, R. 2016. ReCiPe 2008 (revised) - a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level.

투고: 2019.04.20 / 심사완료: 2019.04.26 / 게재확정: 2019.04.29