

저밀도 폴리에틸렌의 친수성 표면개질에 미치는 플라즈마의 영향

황 승 노 · 전 범 주 · 정 일 현

단국대학교 화학공학과
(1998년 1월 9일 접수, 1998년 3월 5일 채택)

The Effect of Plasma on Hydrophilic Surface Modification of LDPE

Seung-No Hwang, Bup-Ju Jeon, and Il-Hyun Jung

Dept. of Chem. Eng., Dankook Univ., Seoul 140-714, Korea
(Received January 9, 1998, Accepted March 5, 1998)

요 약 : 플라즈마 기체 종류(O_2 , N_2 , O_2/N_2)에 따른 저밀도 폴리에틸렌의 친수성 표면개질에 미치는 영향이 표면에 생성된 기능성 그룹과 물의 접촉각과의 관계로부터 조사되었다. XPS와 FT-IR ATR 분석을 통하여 플라즈마 처리된 LDPE 표면은 카보닐, 카복실 등의 산소 기능기들이 생성되었고, 질소 플라즈마 처리와 산소와 질소 혼합 기체 플라즈마 처리에 의해 표면에 질소 기능기가 생성됨이 확인되었다. rf-출력과 처리시간에 대한 접촉각 변화에서 질소 플라즈마 처리가 가장 작은 값을 나타내었고, 플라즈마 기체 종류에 관계없이 복합매개 변수[(W/FM)t]가 520~550 GJ s/kg 부근에서 가장 효과적인 친수성 개질 반응이 이루어지는 최적조건임을 알 수 있었다.

Abstract : The effect of hydrophilic surface modification of low density polyethylene(LDPE) by the plasma gas(O_2 , N_2 , and O_2/N_2) was investigated from the point of view of the functionalities of the generated LDPE surfaces and the contact angle. By virtue of x-ray photoelectron spectra(XPS) and attenuated total reflectance(FT-IR ATR) analysis, the LDPE surfaces treated with plasma were generated with oxygen functionalities of carbonyl, carboxyl, and the like, nitrogen functionalities by nitrogen plasma and mixing of nitrogen and oxygen plasma treatment were identified with. It was found that nitrogen plasma treatment showed with minimum value at contact angle for rf-power and treatment time, we had obtained optimum condition for hydrophilic surface modification at composite parameter, [(W/FM)t] 520~550 GJ s/kg.

1. 서 론

우수한 물성과 경쟁적인 가격으로 인하여 산업적으로 광범위한 분야로 적용되는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 테프론 등의 상용 고분자 소재들은 화학구조상 강한 결합을 유도하는 극성기가 전혀 없으므로 페인트나 잉크 등을 도장하거나 접착제 등을 사용하여 다른 소재들과 접합하고자 할 때 접착력이 떨어지는 문제점이 있어 적절한 전처리가 요구된다. 이러한 문제점을 해소하기 위한 방법으로 화학적 처리(chemical treatment), 화염(flame) 처리, 코로나(corona) 처리, 플라즈마(plasma) 처리, U.V. 처리 등이 연구되고 있으며, 이 중 플라즈마 처리법은 저온 건식방법으로 반응이 얇은 표면층에 국한되어 균일하게 일어나므로 피처리물의 벌크(bulk) 물성에 영향을 주지 않으며, 처리된 표면을 안정하게 만들 수 있음과 동시에 저압에서 안정한 모든 물질을 처리할 수 있어 표면처리의 폭이 넓은 장점이 있다[1~7].

플라즈마 처리 공정에서 일어나는 고분자 재료의 친수성 표면개질은 플라즈마 상태인 활성종이 고분자 표면과 반응하게 되고 이에 대한 결과로서 카보닐(carbonyl), 카복실(carboxyl), 하이드록실(hydroxyl), 알데하이드(aldehyde), 아민(amine) 등의 기능성 그룹이 고분자 표면에 생성됨에 따라 나타난 결과이며, 이로 인하여 피착제에 대한 접착력이 향상된다[8~12]. 이러한 플라즈마 처리반응은 사용된 플라즈마 기체의 종류에 따라 표면에 생성된 기능기가 결정되며, 특히 플라즈마 활성종에 대한 영향 중에서, Inagaki 등[8]은 플라즈마내의 이온이나 전자보다 라디칼이 친수성 표면개질

에 미치는 영향이 더 크다고 발표하였다. 또한 고분자 재료 측면에서는 처리하고자 하는 소재의 결정성에 따라 플라즈마 개질정도가 좌우되는데, 일반적으로 고분자 표면은 플라즈마 처리후에 재배열될 수 있으며, 또한 처리되지 않은 상태로 전환될 수 있다. 예로서 처리후 재배열 될 수 있는 현상은 PDMS(polydimethylsiloxane)과 같은 무정형(amorphous) 구조에서 발견되며, 그러한 특성의 고분자는 체인(chain)과 시그멘탈 운동성(segmental mobility)이 다른 고분자에 비해 상대적으로 높은 특성을 나타내며, 폴리프로필렌과 같은 결정성 고분자는 반대의 특성을 나타낸다[9]. 최근에는 플라즈마 처리에 의하여 생성된 기능성 그룹의 두께 구배(depth profile)를 측정된 연구결과가 발표되기도 하였다[10]. 그러나 플라즈마 처리공정에서 플라즈마 기체 종류에 따른 친수성 성향과 생성된 기능성 그룹과의 관계에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산소, 질소, 산소와 질소 혼합 기체를 플라즈마로 사용하여 rf-플라즈마 반응기에 의한 플라즈마 개질실험을 수행하고자, LDPE(low density polyethylene) 필름을 기질로 사용하여 산소와 질소 대한 혼합비 등의 플라즈마 기체 종류, 처리시간, rf-출력 등을 변수로 플라즈마 표면처리를 수행하고, 이에 따른 물에 대한 접촉각을 구하여 최적조건을 조사하였다. 또한 각 조건에서 LDPE 표면에 미치는 플라즈마 기체의 영향을 살펴보고 위해 SEM 등을 통해 morphology 변화를 관찰하고 FT-IR ATR과 XPS 등의 분석을 이용하여 도입된 기능기와 접촉각과의 관계를 조사하였다.

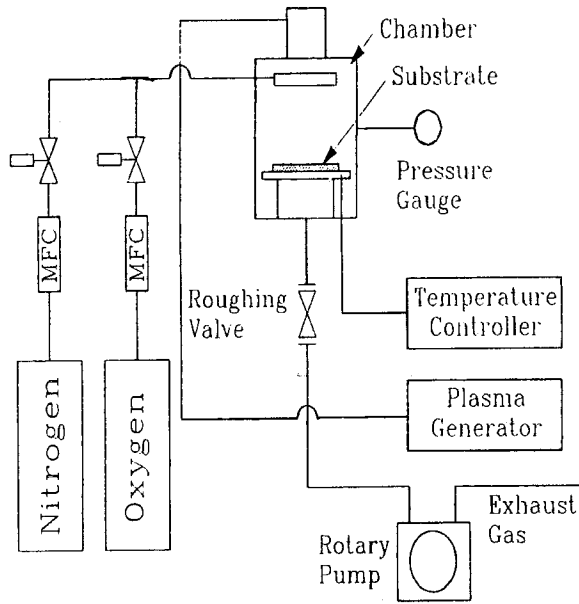


Fig. 1. Schematic diagram of rf-plasma system.

2. 실험

2.1. 실험 장치

본 연구에서 사용된 반응기는 rf-plasma 반응기(아텍 시스템 제작)로써 주파수가 13.56 MHz, 최대출력이 600 W로 반응기내 압력은 rotary pump를 이용하여 10 mTorr까지 유지할 수 있고, bell-jar 형으로 설계되어 있다. 반응기의 재질은 스테인레스(stainless)이고 직경이 29 cm, 높이가 24 cm이며 기판의 위치가 cathod로부터 4 cm 가 되도록 유지 조절하여 사용하였다. 또한 플라즈마 반사파의 증가로 발생될 수 있는 재현성 문제를 방지하기 위하여 반사파의 세기는 5% 이내로 유지되도록 설계되었으며, 플라즈마 반응기내의 압력을 확인하기 위하여 convectron vacuum gauge(Granville-Phillips Co.)가 사용되었고, 기체의 유량은 MFC(mass flow controller, hitachi co.)를 이용하여 조절하였다. Fig. 1에 본 연구에서 사용된 rf-플라즈마 반응기의 도식적 그림을 나타내었다.

2.2. 실험 방법 및 분석

본 연구에서는 필름 형태의 포장용 LDPE(low density polyethylene)가 표면개질될 고분자 재료로 사용되었으며, 모든 시료는 반응기에 도입되기 전에 초음파 세척기로 20 분간 증류수로 세척하였다.

플라즈마 표면개질 실험은 rotary pump로 반응기의 압력을 30m Torr로 낮춘 후 반응기 내부의 남아있는 공기 및 수분을 제거하기 위하여 Ar 기체를 5분간 흐르게 한 다음, 기판에 근접해 있는 링을 통하여 산소, 질소(이상 대성산소(주), 순도 99.999%)를 분사하여 반응기 압력 90 mTorr에서 플라즈마를 발생시켜, Table 1에서와 같은 조건으로 rf-플라즈마 반응기에서 표면처리를 수행하였다. 또한 실험 변수인 산소와 질소 기체의 혼합비(v/v %)는 2개의 MFC를 통하여 조절하였다.

LDPE의 플라즈마를 이용한 친수성 표면 개질특성 실험은 최대 출력 5mW의 laser radiation source 주사에 의한 stactic contact angle meter를 사용하여 microsyringe에 의해 5 μl의 증류수를 채취, 고분자 필름 표면에 주사하여 뒤에 있는 각도계를 읽는 방법으로 5번 이상 반복 측정하여 평균수치로 접촉각을 계산하였다. 또한

Table 1. Typical Experimental Conditions of the Plasma Treatment

rf-power	20~200 W
Treatment time	1~40 min
Gas flow rate	10~15 sccm
Pressure	90~110 mTorr
Temperature	28~30 °C
Plasma gas	O ₂ , N ₂ , O ₂ /N ₂
Mixing ratio(O ₂ : N ₂)	2.5 : 7.5~7.5 : 2.5

Table 2. Analytical Instrument Used for the Investigation of Modified LDPE Film by Plasma Treatment

Analytical instrument	Physical and chemical properties
SEM(scanning electron microscopy, Jeol, 5800)	Surface morphology
FT-IR ATR(attenuated total reflectance, Shimadzu, 8501)	Chemical structure
XPS(x-ray photoelectron spectra, EG sci EscaLab 220-IXL)	Quantitative element analysis
DSC(differential scanning calorimetry, Dupont, 2910)	Thermal properties

접촉각 측정은 rf-plasma 반응기에서 처리실험이 종료된 후 24시간 안에 수행하였다. 본 연구에서는 물의 접촉각을 플라즈마 영향에 대한 LDPE 표면의 친수성 개질 척도로 사용하였다.

또한 플라즈마 처리에 의해 LDPE 표면에 도입된 기능기와 표면 원소 조성비의 확인을 위하여 FT-IR ATR(attenuated total reflectance)과 XPS(X-ray photoelectron spectra)분석을 동시에 수행하였다. FT-IR ATR에서 스펙트럼의 해상도는 4 cm⁻¹, 20 scan으로 기록하여 스펙트럼을 얻었다. ATR 장비의 경우, prism으로 KRS-5 (eutectic mixture of thalium bromide and iodide, TI(BrI)) 결정이 사용 되었으며, 빔의 충돌각은 45도로 고정하여 분석하였다. XPS 분석에서 스펙트럼은 AlKα 광전자가 사용되었고 core level들에 대한 감도 계수는 각각 S(C_{1s}) = 1.00, S(N_{1s}) = 1.68, S(O_{1s}) = 2.64이다. 또한 플라즈마 기체에 따른 LDPE 표면의 morphology를 조사하기 위하여 SEM(scanning electron microscopy)가 이용되었으며 플라즈마 처리된 LDPE 필름의 열적 성질의 변화를 살펴보기 위하여 DSC(differential scanning calorimetry)를 사용하였다. 본 연구에서 이용된 분석기기를 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 플라즈마 처리된 LDPE의 열적 특성과 표면 morphology 변화

Table 3는 플라즈마 처리된 LDPE 필름의 DSC 결과이다. 표에서처럼 비처리된 LDPE 필름과 플라즈마 처리된 LDPE 필름의 용융점, 용융열 등의 열적 특성에 변화가 없음을 확인할 수 있으며, 산소 플라즈마 처리, 질소 플라즈마 처리, 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리 모두 동일한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이렇듯 플라즈마를 이용한 표면처리는 화학적 처리법 등의 다른 처리법보다 고분자 소재의 벌크 성질에 영향없이 표면만을 개질할 수 있는 장점이 있으며, 이러한 현상은 본 LDPE의 표면개질에서도 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. Thermal Properties of Plasma Treated Polymer Films

Experiment conditions	Melting temperature, °C	Heat of fusion, J/g
untreated LDPE	105.81	54
O ₂ plasma treated LDPE 120 W, 15 sccm, 10 min	105.47	55
N ₂ plasma treated LDPE 120 W, 15 sccm, 10 min	106.07	56
O ₂ /N ₂ plasma treated LDPE 120 W, 15 sccm, 10 min, O ₂ /N ₂ = 1	105.74	55

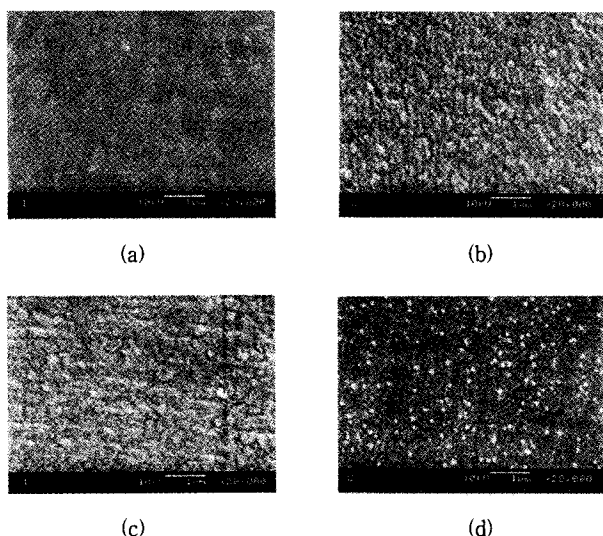


Fig. 2. SEM pictures of LDPE surfaces in treated with plasma gas(120 W, 10 min, 15 sccm): (a) untreated; (b) O₂ plasma; (c) N₂ plasma; (d) O₂/N₂ plasma.

Fig. 2는 일정조건에서 플라즈마 처리 따른 LDPE 필름의 표면 morphology 변화를 살펴보기 위한 SEM 사진 결과이다. 사진에서 처럼 비처리된 LDPE 표면(Fig. 2.(a))에 비하여 플라즈마 처리된 LDPE 표면(Fig. 2.(b), (c), (d))이 높은 플라즈마 에너지로 인해 표면조도(surface roughness)가 증가하였음을 확인할 수 있다. 또한 플라즈마 기체 종류에 따른 표면조도 결과에서 산소 플라즈마 처리가 가장 큰 영향이 있었음을 알 수 있는데(Fig. 2.(b)), 일반적으로 산소는 플라즈마 기체로 사용되었을 때 화학적 에칭(etching)이나 용삭(ablation)현상이 가장 잘 일어나는 것으로 알려져 있다 [3]. 산소와 질소의 혼합 플라즈마 처리(Fig. 2.(d))의 경우, LDPE 표면에서 작은 입자들이 확인되는데, 이는 산소와 질소가 플라즈마 상태로 활성화됨에 따라 반응기내에서 생성된 질소산화물 입자일 것으로 사료된다.

3.2. 플라즈마 처리된 LDPE 필름의 화학적 표면 분석

Fig. 3은 일정조건에서 플라즈마 처리된 LDPE 필름의 1500~2000 cm⁻¹ 범위의 FT-IR ATR 흡수 스펙트럼 결과이다. 그림에서 처럼 처리되지 않은 LDPE 표면(Fig. 3.(a))은 ν(C=C, diene)를 나타내는 1660 cm⁻¹ 피크만이 나타나지만, 산소 플라즈마 처리(Fig. 3.(b)), 질소 플라즈마 처리(Fig. 3.(c)), 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리(Fig. 3.(d))에 따라 카보닐, 카복실 그룹 등의 ν(C=O) 진동에

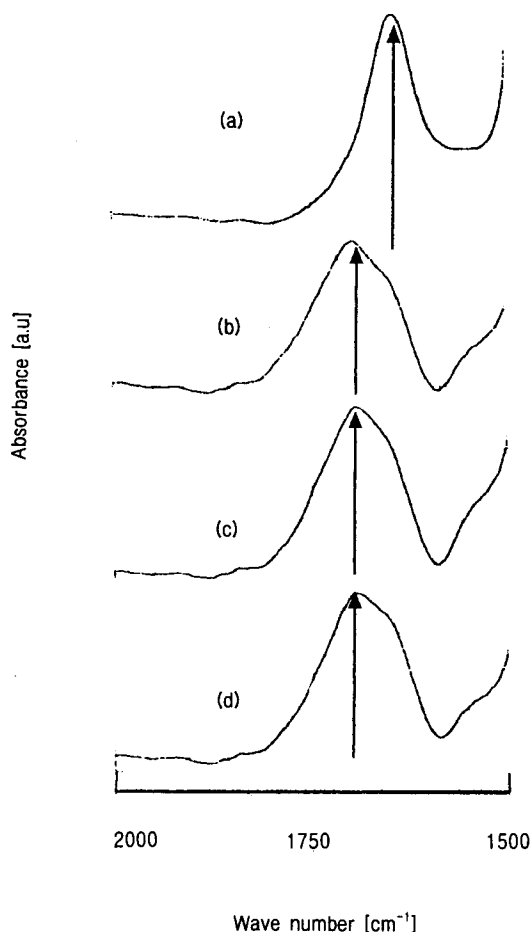


Fig. 3. Typical FT-IR ATR spectra of LDPE treated with different plasma (120 W, 10 min, 15 sccm, O₂/N₂=1): (a) untreated; (b) O₂ plasma; (c) N₂ plasma; (d) O₂/N₂ plasma.

의한 1690~1710 cm⁻¹ 범위에서 새로운 흡수피크가 생성되어 1660 cm⁻¹ 피크와 겹쳐지면서 넓은 피크가 나타남을 확인할 수 있다. 이로써 플라즈마 기체 종류에 관계없이 플라즈마 처리에 의해 LDPE 표면의 산소 기능성 그룹이 생성되었음을 알 수 있다. 그외의 FT-IR ATR 분석에서는 플라즈마 처리에 따른 피크 변화를 확인할 수 없었다.

플라즈마 처리에 의해 LDPE 표면에 변화된 원소조성과 생성된 기능성 그룹들이 XPS 분석에 의한 C_{1s}, O_{1s}, N_{1s}, core level의 상대 강도로 부터 조사되었다(Table 4). 비처리된 LDPE의 경우 탄소 원소외에 산소와 질소 원소가 검출되었는데, 이는 가소제, 가교제 등의 첨가물이 포함된 상용 LDPE 필름을 시료로 사용하였기 때문에 나타난 결과이다. 표에서 산소 플라즈마 처리(17.3%), 질소 플라즈마 처리(16.9%), 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리(16.4%) 모두 표면 산소 함유량은 비슷한 수치를 나타내고 있으나 질소 플라즈마 처리, 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리에서는 질소원소가 각각 5.4%, 2.6%나 검출됨을 확인할 수 있는데, 이는 질소 플라즈마 처리에 의해 LDPE 표면과 질소 활성화과정의 반응에 의한 결과라 할 수 있다. 일반적으로 플라즈마 처리된 고분자 표면은 플라즈마의 높은 에너지로 인해 생성된 자유 라디칼에 의해 활성점이 표면에 존재하여 반응이 끝난 후 대기중에 존재하는 산소분자와 결합하여 카보닐, 카복실, 알데히드 그룹 등의 산소 기능기들이 도입된

Table 4. Chemical Composition of LDPE Surface Treated with Different Plasma(120 W, 10 min, 10 sccm, O₂/N₂ = 1, (v/v%))

Composition Treatment	Carbon (%)	Oxygen (%)	Nitrogen (%)	O/C ratio	N/C ratio
Untreated	91.8	7.3	0.9	0.08	0.01
O ₂ plasma	81.9	17.3	0.8	0.21	0.01
N ₂ plasma	77.7	16.9	5.4	0.22	0.07
O ₂ /N ₂ plasma (O ₂ /N ₂ =1)	81	16.4	2.6	0.21	0.03

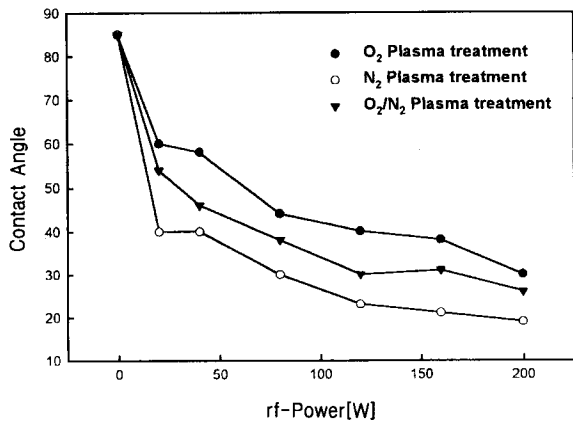


Fig. 4. Contact angle of plasma treated LDPE (10 min, 10 sccm, O₂/N₂ = 1) depending on rf-power.

다. 또한 플라즈마 개질 반응에서 고분자 소재의 기능성 그룹 도입은 플라즈마 반응기 내에서의 반응보다 플라즈마 표면 반응 후 생성된 활성점과 대기 중 산소와의 반응에 의한 영향이 더 크다고 알려져 있다[11]. 그러나 질소의 경우에는 대기 중에서 불활성 기체이기 때문에 플라즈마 표면 반응 후 고분자 표면에 생성된 활성점과 반응할 수 없다. Marchant 등[9]은 질소 플라즈마를 이용한 폴리프로필렌의 개질 실험에서 표면 질소원소가 7.5%나 검출되었음을 확인하였는데, 이를 니트로(nitro) 그룹 등의 산소-질소 기능기로 해석하였고, Inagaki 등[8]은 NO와 NO₂ 플라즈마를 이용한 폴리에틸렌의 표면개질 연구에서 아민(amine) 등의 질소 기능기가 생성됨을 확인하였다. 따라서 본 연구에서도 rf-플라즈마 반응기내에서 질소가 플라즈마 상태로 활성화되면서 LDPE 표면과 반응하여 질소 기능성 그룹이 생성되고, 이러한 결과에 의해서 LDPE 표면에 질소 원소가 증가하였다고 할 수 있다.

3.3. 플라즈마 기체 종류와 공정변수에 따른 접촉각 변화

Fig. 4는 플라즈마 처리된 LDPE 필름에서 물의 접촉각에 대한 rf-출력의 영향에 대하여 나타내었다. 본 연구에서는 물에 대한 LDPE 표면의 접촉각을 친수성 개질의 척도로 사용하였다. 결과에서 소수성을 나타내는 LDPE 표면(85°)이 rf-출력의 증가에 따라 접촉각이 선형적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있는데 이는 FT-IR ATR과 XPS 분석결과에서 나타난 것과 같이 플라즈마 처리에 의해 LDPE 표면에 기능성 그룹 도입됨으로 인하여 나타난 결과이다. 일반적으로 rf-출력의 증가는 플라즈마내의 활성종의 수를 증가시키고 반응성이 높은 입자들을 활동적이게 하며 이에 대한 결과로 고분자 표면과 반응속도를 증가시킨다[3]. 또한 플라즈마 기체 종류에 대한 영향에서 질소 플라즈마 처리가 rf-출력에

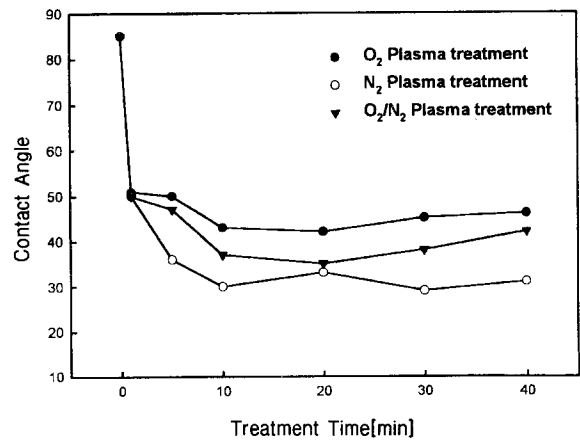


Fig. 5. Contact angle of plasma treated LDPE (80 W, 10 sccm, O₂/N₂ = 1) depending on treatment time.

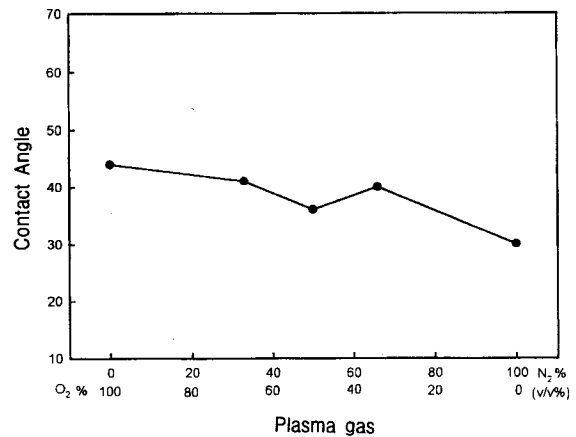


Fig. 6. Contact angle of plasma treated LDPE (80 W, 10 min, 10 sccm) depending on mixing ratio of plasma gas.

관계없이 가장 작은 접촉각을 나타내고 있으며, 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리, 산소 플라즈마 처리순으로 접촉각이 감소하고 있음을 알 수 있다. 따라서 LDPE 필름의 친수성 표면개질에 미치는 플라즈마 기체 영향 중 질소 플라즈마 처리가 가장 효과적임을 알 수 있다.

플라즈마 처리된 LDPE 필름 표면에서의 접촉각에 대한 처리시간의 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 결과에서처럼 처리시간 수분내에 표면이 친수성으로 개질되었음을 확인할 수 있으며, 처리시간 10~20 분을 지나면서 플라즈마 종류에 관계없이 접촉각이 약간 증가하는 경향을 알 수 있는데 이는 처리시간이 증가함에 따라 플라즈마와 탄소 원자간의 표면반응이 과도하게 일어남으로 인한 degradation 현상이 발생되어 나타난 결과로 사료된다. 또한 플라즈마 기체 종류에 대한 영향은 rf-출력에 대한 경향성에서와 같이 질소 플라즈마 처리에 의한 접촉각이 산소 플라즈마 처리보다 작게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

LDPE 필름에서 플라즈마 기체 종류가 친수성 표면개질에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 MFC로 조절된 산소와 질소 혼합비(N₂/O₂ = 0.3~0.7, v/v%)에 따른 접촉각 의존성을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서처럼 일관된 경향이라 볼 수 없지만 산소에 대한 질소의 혼합비(N₂/O₂)가 증가된 기체를 플라즈마로 사용할수록 접촉각이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 언급된 rf-출력과 처

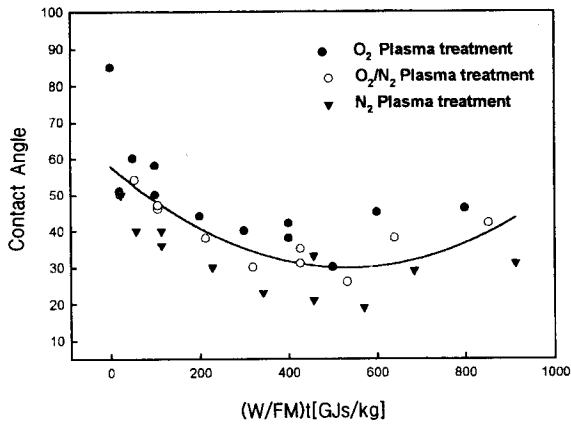


Fig. 7. The effect of composite parameter, (W/FM)t, on the plasma treated LDPE film ($N_2/O_2 = 1$).

리시간의 영향 결과처럼 LDPE 필름의 친수성 표면개질에서 질소 플라즈마 처리가 가장 효과적임을 나타내는 결과라 할 수 있다.

Fig. 7은 플라즈마 표면 처리에서의 플라즈마 공정변수가 복합적으로 고려된 전체 에너지 유입량의 영향을 살펴보기 위하여 복합매개 변수[(W/FM)t]에 따른 LDPE 필름의 접촉각 의존성을 나타내었다. 여기서 W, F, M, t는 각각 rf-출력, 기체의 유량과 분자량, 처리시간을 나타낸다. 플라즈마 처리공정에서 낮은 복합매개 변수에서는 표면반응이 주도적이고 높은 복합매개 변수에서는 식각공정이 표면반응보다 주도적이어서 탈착 등의 많은 불필요한 반응들이 일어나게 되어 개질 반응이 완벽하게 진행되지 않는다[3]. 따라서 효과적인 표면개질 공정이 이루어지기 위해선 이들 두 공정의 균형이 필요하다. 본 연구에서는 복합매개 변수가 증가함에 따라 접촉각이 감소하다가 복합매개 변수가 520~550 GJs/kg 부근에서 정점을 이루며 이후 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향은 앞서 설명한 것과 같이 (W/FM)t가 520 GJs/kg 이전에는 표면반응이 주로 일어나고 (W/FM)t가 550 GJs/kg 이후에는 식각이나 degradation 등의 용삭(ablation)공정이 주도적으로 일어남으로 인해 나타난 현상으로 설명될 수 있다. 따라서 LDPE 필름의 플라즈마 표면개질에서 플라즈마 종류에 관계없이 복합매개 변수가 520~550 GJs/kg 부근이 가장 효과적인 친수성 표면개질을 나타내는 최적조건임을 확인할 수 있다.

4. 결 론

LDPE 필름의 산소, 질소, 산소와 질소 혼합 등의 플라즈마 기체 종류에 따른 친수성 개질효과를 표면 화학조성과 접촉각 등의 물리화학적 분석을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 처리에 따른 LDPE의 표면 morphology 변화는 산소 플라즈마가 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.
- 2) 플라즈마 기체 종류에 관계없이 카보닐, 카복실 등의 산소 기능기가 LDPE 표면에 생성되었고, 질소 플라즈마 처리와 산소와 질소 혼합 플라즈마 처리시 질소 기능기가 생성됨이 확인되었다.
- 3) rf-출력과 처리시간에 따른 접촉각 변화를 통하여 질소 플라즈마 처리가 가장 작은 접촉각을 나타냄을 확인할 수 있었으며, 산소에 대한 질소 기체의 혼합비가 증가함에 따라 접촉각이 감소하고 있음을 알 수 있었다.
- 4) 복합매개 변수[(W/FM)t]가 520~550 GJs/kg인 부근에서 플라즈마 종류에 관계없이 LDPE 필름의 가장 효과적인 친수성 표면개질이 이루어짐이 확인되었다.

감 사

본 연구는 1999년도 단국대학교 대학연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. A. Nihlstrand, T. Hjertberg, and K. Johansson, *Polymer.*, **38**, 1557(1997).
2. N. Inagaki, S. Tasaka, H. Kawai, and Y. Yamada, *J. Appl. Polym. Sci.*, **64**, 831(1997).
3. H. Yasuda, "Plasma Polymerization", Academic Press, Orlando, FL, 1985.
4. E. T. Kang, K. L. Tan, K. Kato, Y. Uyama, and Y. Ikada, *Macromolecules*, **29**, 6872(1996).
5. J. R. Chen and T. Wakida, *J. Appl. Polym. Sci.*, **63**, 1733(1997).
6. A. Nihlstrand, T. Hjertberg, and K. Johansson, *Polymer.*, **38**, 3581(1997).
7. A. Nihlstrand, T. Hjertberg, and K. Johansson, *Polymer.*, **38**, 3591(1997).
8. N. Inagaki, S. Tasaka, J. Ohkubo, and H. Kawai, *J. Appl. Polym. Sci. : Appl. Polym. Symp.*, **46**, 399(1990).
9. R. E. Marchant, C. J. Chou, and C. Khoo, *J. Appl. Polym. Sci. : Appl. Polym. Symp.*, **42**, 125(1988).
10. E. Occhiello, M. Morra, G. Morini, F. Garbassi, and P. Humphrey, *J. Appl. Polym. Sci.*, **42**, 551(1991).
11. N. Inagaki, S. Tasaka, and H. Kawai, *J. Appl. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **33**, 2001(1995).
12. Y. Iriyama and H. Yasuda, *J. Appl. Polym. Sci. : Appl. Polym. Symp.*, **42**, 97(1988).