



ISSN 1225-8024(Print)
ISSN 2288-8403(Online)

<연구논문>

한국표면공학회지

J. Korean Inst. Surf. Eng

Vol.54, No.2, 2021.

<https://doi.org/10.5695/JKISE.2021.54.2.77>

산화그래핀(GO)의 플라스틱(PS) 표면 코팅방법에 대한 연구

박재범^a, 이지훈^a, 허증수^a, 박단비^b, 임정옥^{b*}

^a경북대학교 융복합시스템공학과, ^b경북대학교 생명의학연구소

Investigation on the polystyrene surface coating method of graphene oxide

Jaebum Park^a, Jihoon Lee^a, Jeung Soo Huh^a, Danbi Park^b, Jeong Ok Lim^{b*}

^aSchool of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University, Sangju-si, 37224, Republic of Korea.

^bBiomedical Research Institute, Joint Institute for Regenerative Medicine, Kyungpook National University, School of Medicine, Kyungpook National University Hospital, Daegu, 41940, Republic of Korea

(Received 02 April, 2021 ; revised 19 April, 2021 ; accepted 24 April, 2021)

Abstract

In this study, we investigated various coating methods of graphene oxide on the surface of a petri dish made of polystyrene and analyzed the physical and chemical properties of the coated surface. For coating, spinning, spraying and pressing methods were attempted. The coated surface was characterized by SEM, Raman Spectroscopy, AFM, FT-IR, UV-Vis Spectroscopy and Contact Angle measurement. By spin coating and spray coating, well distributed graphene oxide in the form of multiple islands on the plastic surface with an average size of 5 to 20 μ m are observed by SEM, and high binding energy between graphene oxide and plastic surface is measured by AFM. In case of hand press coating, graphene oxide of 10 μ m or more was observed, and low surface energy was measured. By FT-IR and Raman Spectroscopy analysis, surface coating of graphene oxide was confirmed.

Keywords : Graphene oxide, Spin coating, Spray coating, Hand-press coating

1. 서 론

그래핀(graphene)은 2004년 안드레 게임(Andre

Geim) 교수와 콘스탄틴 노보셀로프(Konstantin Novoselov) 박사가 흑연 덩어리에 스킨치테이프를 붙였다 떼는 아주 간단한 실험으로 발견하였다. 그래핀은 sp^2 결합의 탄소 원자들이 벌집 모양으로 2차원 평면을 이루고 있는 물질로 전기 전도성, 열 전도도 등 우수한 열적, 기계적 성질을 가지고 있어 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있는 신소재이다.[1,2] 그래핀을 만드는 방법으로는 물리적 박리법과 화학적 박리법 등 여러 가지 방식으로 더

*Corresponding Author: Jeong Ok Lim
Biomedical Research Institute, Joint Institute for Regenerative Medicine, Kyungpook National University, School of Medicine, Kyungpook National University Hospital
Tel: +82-53-200-6950; Fax: +82-53-427-5447
E-mail: jolim@knu.ac.kr

우수한 그래핀을 만드는 연구가 진행되고 있다.[3-5] 그러나 그래핀의 경우 각 그래핀 층 사이의 힘(π - π stacking, Van der Waals force) 때문에 한 장의 그래핀을 박리시키기 어려워 이를 보완하기 위하여 산화그래핀(graphene oxide, GO)의 형태로 합성한 뒤 환원시켜 환원 산화그래핀(reduced graphene oxide, RGO)로 변형시키는 방식이 이용되고 있다. 이 때 만들어진 산화그래핀은 그래핀의 sp^2 결합이 깨지고 sp^3 결합으로 바뀌면서 다양한 산소 작용기들이 결합된 형태이다. 정확한 화학 구조가 아직까지 규명되지 못하였으나 일반적으로 하이드록시기(hydroxyl group), 에폭시기(epoxy group), 카르복실기(carboxyl group)와 케톤기(ketone group)가 존재한다고 알려져있다. sp^2 결합이 깨지기 때문에 전기 전도도 등 그래핀의 우수한 물리적 특성이 없어지지만 다양한 산소 작용기들로 인하여 친수성을 띄게 되며 여러 작용기로 인한 다양한 결합을 통한 응용이 가능하다.[6,7]

우수한 기계적 성질과 다양한 작용기를 가진 산화 그래핀은 고분자 나노재료 및 금속 나노복합재료와 합성을 통한 복합재료로서 디스플레이, 연료전지 등의 공학적 소재뿐 아니라 의공학적 소재로도 많이 사용되어 지고 있다.[8-11] 하지만 산화그래핀의 나노복합재료를 합성하는 과정에서 많은 에너지가 요구되어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하면서 산화그래핀의 기계적 특성을 살리기 위해 본 연구에서는 다른 물질과의 합성이 아닌 저비용 저에너지의 코팅방법을 찾고자 하였다.[12] 일반적으로 사용되는 코팅방법으로는 스펀 코팅(spin coating), 스프레이 코팅(spray coating), 딥 코팅(dip coating), 전기영동법(electrophoresis), 화학적 증착법(chemical vapor deposition, CVD) 등이 있다. 이 중 본 연구의 목적에 맞는 코팅방법을 선택하여 연구를 진행하였다. 또한 코팅할 소재로서는 충격성과 연진성이 우수하고 값싼 가격으로 넓은 범용성으로 많은 분야에서 사용되어지고 있는 고분자 소재인 폴리스티렌(polystyrene, PS)의 표면에 코팅하였다. 다양한 코팅 방법과 소재를 통해서 접근성, 재현성, 경제성을 향상시키고 폴리스티렌(PS)에 코팅된 산화그래핀의 특성과 코팅성을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 재료

본 연구에서 사용된 graphene oxide powder는 (주)참그래핀(Gyeonggi-do, Korea)으로부터 구입하여 hand-press coating에 사용하였으며, Ultra highly concentrated single-layer graphene oxide solution(6.2mg/ml, 이하 US GO)은 graphene supermarket(New York, USA)에서 구입하여 spin coating, spray coating에 사용하였다. 폴리스티렌은 세포배양에 사용되는 petri dish(35*10mm, PS, 이하 polystyrene dish)는 SPL LIFE SCIENCES(Gyeonggi-do, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

2.2 코팅방법

본 연구팀에서 산화그래핀 농도 선정을 위한 사전 연구를 통해 사용량 대비 코팅 효율이 가장 높았던 0.5mg/ml를 선택하여 spin coating, spray coating, hand-press coating을 진행하였다.

2.2.1 Spin coating

Spin coating 방법으로는 spin coater(ISP-200FH, IMPEC Co. Korea) 위에 polystyrene dish를 진공으로 고정시켰다. US GO solution을 0.25ml 1회 넣은 뒤 0~10초 1000RPM, 10~50초 2000RPM, 50~60초 1000RPM 과정으로 1회 spin coating을 진행하였다. 이 과정을 3회 반복한 뒤 증류수 3회, 에탄올 3회로 세척 후 US GO 0.375mg이 spin coating된 polystyrene dish를 제작하였다.

2.2.2 Spray coating

Spray coating 방법으로는 hot plate 위에 polystyrene dish를 올려 110℃의 온도로 3분간 예열시켰다. 이후 hot plate 15cm 위에 고정된 air gun(Richpen 112B, Fuso Seiki Co. Japan)을 통해 N₂ 가스 10psi의 압력으로 제작한 US GO solution 0.25ml 1회 넣은 뒤 polystyrene dish 중앙에 분사시켜 spray coating을 진행하였다. 이것을 3회 반복하여 증류수 3회, 에탄올 3회로 세척 후 US GO 0.375mg이 spray coating된 polystyrene dish를 제작하였다.

2.2.3 Hand-press coating

Hand-press coating 방법으로는 graphene oxide powder 0.375mg을 polystyrene dish에 표면에 물리적으로 퍼서 압력을 가하며 hand-press coating을 진행하였다.

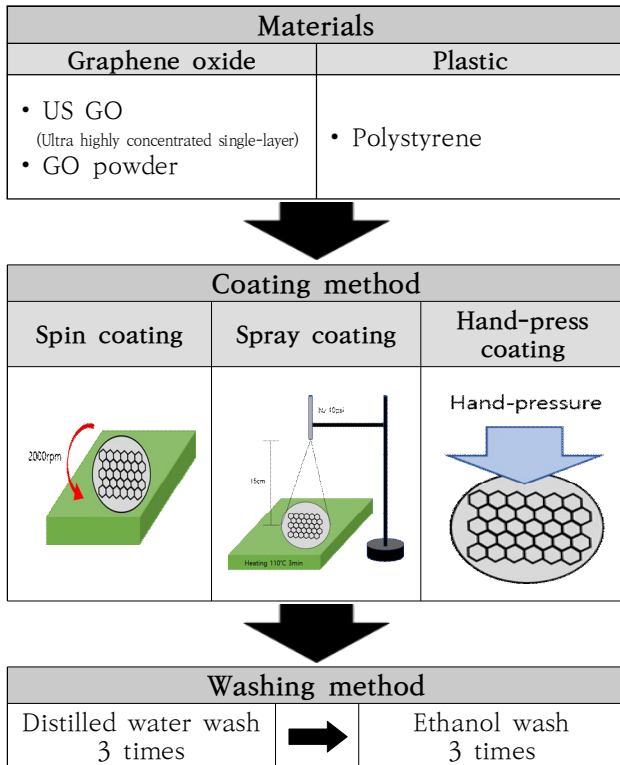


Fig. 1 Schematic diagram of the fabrication process

2.3 분석방법

2.3.1 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)

Spin coating, spray coating, hand-press coating된 polystyrene dish의 코팅된 표면의 부착된 산화그래핀의 형태와 분포를 관찰하기 위해 주사전자현미경(Phenom, Phenom-World Co. Netherlands)을 사용하였다. 시편은 20mA로 3분 동안 2회씩 pt코팅하여 제작하였다.

2.3.2 라만 분광법&푸리에 변환 적외선 분광법

Polystyrene dish 표면의 산화그래핀 코팅 유무와 코팅된 산화그래핀의 특성을 확인하기 위해 라만 분광기(Raman spectrometer, inVia reflex, Renishaw Co. NK), 적외선/근적외선 분광광도계(FT-IR/NIR spectrophotometer, Frontier, PerkinElmer Co. USA)를 이용하였고, 라만 분광분석을 위해 532nm의 파장 조건으로 라만 스펙트럼을 분석하였다.

2.3.3 원자력 간 현미경(Atomic Force Microscopes, AFM)

산화그래핀이 부착된 polystyrene dish 표면의 거칠기와 접착력을 확인하기 위해 AFM 장비(MEP-3D-BIO, Asylum research Co. UK)와 Probe(BL-TR 400PB, Mikromasch Co. Bulgaria)를 사용하여 contact mode로 air mode(tapping, morphology), contact(force analysis)의 조건에서 측정하였다.

2.3.4 분광광도계(UV/Vis spectrophotometer)

Polystyrene dish 표면의 투과도 측정을 위해 UV/Vis 분광광도계(UV/Vis spectrophotometer, UV-160A, Shimadzu Co. Japan)를 사용하여 가시광선 영역대(400~700nm)에서 측정하였다. 사용된 polystyrene dish의 경우 투명한 재질이므로 코팅 후 표면의 불투명성을 통해 코팅성을 평가하였다.

2.3.5 접촉각 측정기(Contact angle measurement)

산화그래핀이 코팅된 polystyrene dish 표면의 표면에너지와 젖음성(wettability)을 확인하기 위해 접촉각 측정기(Contact angle measurement, DSA100, KRUSS Co. Germany)를 통해 접촉각을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SEM

Spray coating, spin coating, hand-press coating된 polystyrene dish의 표면을 SEM으로 촬영하여 그림.2에 나타내었다. Spin coating이 된 polystyrene dish 표면에서는 뭉쳐진 산화그래핀이 관찰되었으며 그 크기는 5~10 μ m의 작은 산화그래핀과 20~40 μ m의 중간 크기의 산화그래핀이 관찰되었으며 50 μ m이상의 큰 산화그래핀도 관찰되었다.(그림.2a) Spray coating이 된 polystyrene dish 표면에서 또한 크기가 5~10 μ m의 작은 산화그래핀과 20~40 μ m의 중간크기의 산화그래핀이 관찰되었으며 50 μ m이상의 큰 산화그래핀도 소수 관찰되었다.(그림.2b) 그리고 spray coating에 비해 spin coating의 경우, 산화그래핀이 대체적으로 더 큰 것을 관찰할 수 있었다. 이는 spin coating의 경우 낮은 원기둥 형태인 polystyrene dish 안에서 분사된 산화그래핀이 벽에 부딪치면서 서로 뭉쳐지는 현상이 일어나

spray coating에 비해 큰 산화그래핀이 만들어진 것으로 판단된다. Hand-press 코팅된 polystyrene dish 표면은 $10\mu\text{m}$ 이상의 산화그래핀이 불규칙하게 관찰되었으며 작은 크기의 산화그래핀이 많이 관찰되지 않았다.(그림.2c) 또한 표면에 코팅이 이루어지지 않은 부분이 다소 관찰되었는데, 이는 손을 통해 주는 압력과 힘이 일정하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

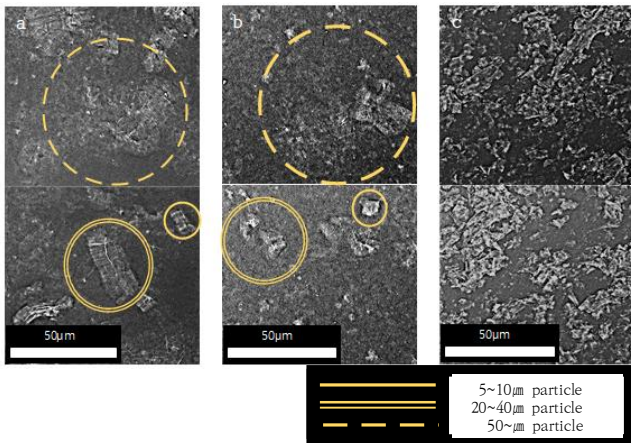


Fig. 2 SEM micrograph(x1500) of spin coating (a), spray coating (b), and hand-press coating (c) Compared to spray coating, in the case of spin coating, it was observed that the size of the coated GO is larger. In the case of hand-press coating, it was observed that GO with a size of $10\mu\text{m}$ or more entirely coated the surface.

3.2 Raman&FT-IR

라만 분광계는 라만 효과(Raman effect) 즉 물질에 강한 단일 파장의 빛을 통해 산란광을 분광하게 되면 입사광과 같은 파장을 가진 빛 이외에 파장들의 스펙트럼선이 관측되는 현상을 이용하여서 분자의 진동 스펙트럼을 측정하여 분자의 진동 구조 및 측정물질의 정성, 정량 분석에 사용된다. 특히 흑연계 재료의 구조를 정의하는데 있어서 많이 사용되며 그래핀에서 전자의 거동을 이해하는데 큰 도움이 된다. 그래핀 계열의 물질에서 중요한 피크는 D peak와 G peak가 있다. D peak는 그래핀 구조의 disorder에 의해 발생하며 G peak는 흑연계 물질에서 공통적으로 측정되는 피크이며 2D peak는 2차 산란에 의한 피크이며 다층구조 그래핀일수록 에너지 밴드 수가 증가하기 때문에 다양한 산란과정이 발생하며 2D peak가 증가하게 된다. D peak는 대략 1350

cm^{-1} , G peak는 대략 $1580\sim 1585\text{cm}^{-1}$ 에서 관찰된다. 2D peak는 대략 2680cm^{-1} 이상에서 관찰된다.

일반적으로 그래파이트(graphite)를 구성하고 있는 sp^2 탄소가 산화그래핀으로 전환되면서 형성된 여러 작용기들의 결합들이 sp^2 탄소와 공유결합을 형성함으로 sp^3 혼성탄소가 형성되면서 disorder를 나타내는 D peak G peak의 상대적인 강도 비율(ID/IG)값이 그래핀보다 증가하게 된다.[13] Spin coating의 ID/IG의 계산 값은 0.97, spray coating은 0.96, hand-press coating은 1.01로 나타났다. 3개 다 비슷한 ID/IG 값을 나타내었지만 hand-press coating의 경우 2D 피크가 spin, spray coating보다 크게 나타나는데 이는 사용한 산화그래핀의 종류의 차이 때문에 나타난 것으로 예상 된다.(그림.3) Polystyrene의 화학구조는 $(C_8H_8)_n$ 로 되어있다. FT-IR 측정 결과 hand-press coating에 산화그래핀의 C-O, C=O 결합이 관찰되는데, 이는 polystyrene에 없는 탄소와 산소의 공유결합이므로 polystyrene에 산화그래핀이 코팅됨을 알 수 있다. (그림.4)

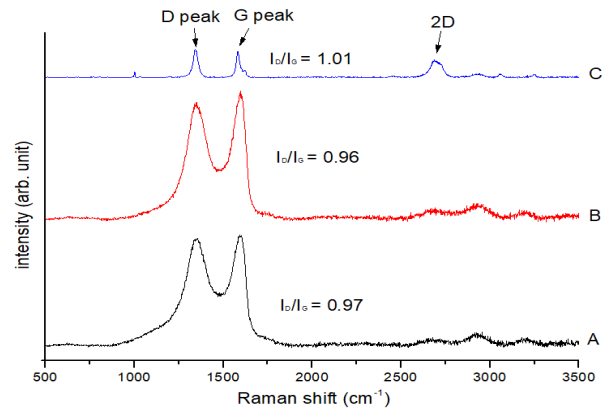


Fig. 3 Raman spectrum of US GO 0.375mg spin coating (A), US GO 0.375mg spray coating (B) and GO powder 0.375mg hand-press coating (C)

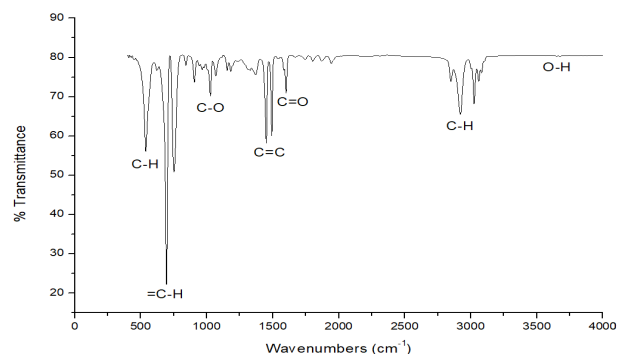


Fig. 4 FT-IR of GO powder 0.375mg hand-press coating

3.3 AFM

원자력 간 현미경(Atomic Force Microscope, AFM)은 탐침(probe)과 시료 사이의 간격이나 상호작용으로 달라지는 반데르발스 힘(Van der Waals Force)에 의하여 탐침이 움직이는 것을 측정한다. 이를 통해 시료 표면의 원자 구조와 형태를 측정하거나 표면의 거칠기, 접착력을 분석한다. AFM을 통해 플라스틱(PS) 표면과 코팅된 산화그래핀의 접착력을 측정하고 코팅된 표면의 형태를 관찰하였다.

Spin coating은 표면의 굴곡의 표준편차가 32.259nm로 측정된다.(그림.5a) Spray coating은 표면의 굴곡의 표준편차가 17.771nm로 측정된다.(그림.5b) Hand-press coating은 표면의 굴곡의 표준편차가 47.181nm로 측정된다.(그림.5c) 특정한 라인에서의 플라스틱(PS) 표면과 코팅된 산화그래핀의 높낮이 차이가 spin coating 195.67nm, spray coating 196.22nm, hand-press coating 255.33nm으로 측정된다. Spin coating과 spray coating은 큰 차이가 없는 것으로 측정되었는데 이것은 SEM 관찰에서도 spin, spray coating 둘 다 중간 크기의 산화그래핀이 많이 관찰된 것과 hand-press coating은 SEM 관찰에서도 큰 입자의 산화그래핀을 관찰할 수 있는 것과 상응하는 결과라고 판단된다.

Spin coating의 surface adhesion intensity는 27.05GPa, spray coating은 42.96GPa, hand-press coating은 4.05GPa로 측정된다.(표.1) Surface adhesion intensity는 young's modulus값을 나타내며 surface adhesion intensity가 클수록 polystyrene에 부착된 산화그래핀과 탐침과의 힘이 큰 것을 나타낸다. 이것은 산화그래핀이 polystyrene에 부착되어있는 힘이 크다는 것을 의미하므로 surface adhesion intensity가 큰 spray coating에서 산화그래핀이 polystyrene 표면에 가장 잘 부착되어 있는 것으로 판단된다.

Table. 1 Surface adhesion intensity of samples, Spin coating (a) Spray coating (b) and Hand-press coating (c) It was confirmed that the surface adhesion intensity was large in the order of hand-press coating (4.05GPa), spin coating (27.05GPa), and spray coating (42.96GPa). The larger the surface adhesion intensity is, the greater the force between the tip and the GO on the surface.

	Spin coating	Spray coating	Hand-press coating
Surface adhesion intensity(GPa)	27.05	42.96	4.05
Reduced Modulus(GPa)	25.37	36.74	4.41

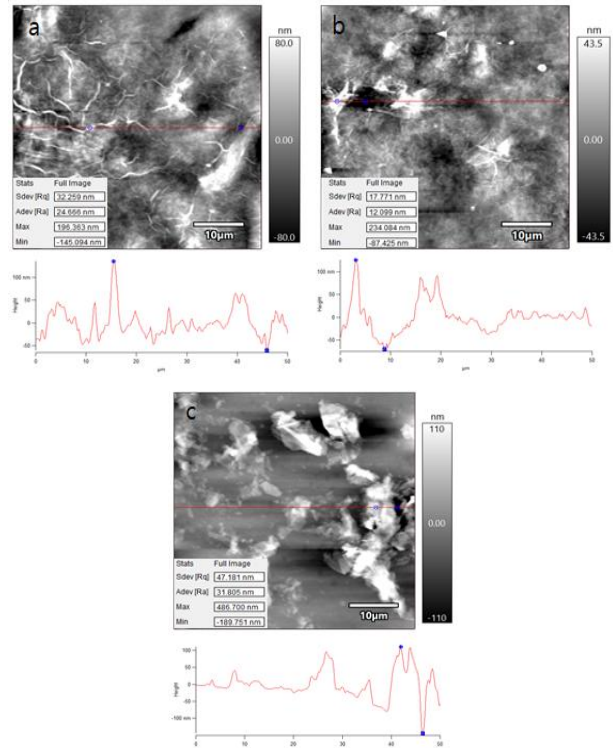


Fig. 5 AFM images of roughness, spin coating (32.259nm) (a), spray coating(17.771nm) (b), and hand-press coating(47.181nm) (c) B the line, the height difference of spin coating is observed as 196.67nm, spray coating as 192.22nm, hand-press coating as 255.33nm. The difference in height of hand-press coating is greater than that of spray coating and spin coating.

3.4 투과도

산화그래핀이 코팅되지 않은 polystyrene dish를 기준으로 하여 상대적인 투과도 값을 측정하였다. 평균 투과도는 spray coating은 84.04%T, spin coating은 78.70%T, hand-press coating은 34.04%T로 나타났다.(그림.6) 이는 코팅방법에 따라서 polystyrene dish 표면에 코팅되어 적층되는 산화그래핀의 양이 달라지고 두께가 적층 될수록 투과도가 낮아진다고 관찰된다. 이 중 특히 spray, spin coating과 hand-press coating의 경우 큰 차이가 나타나는데 이는 코팅방법의 차이뿐만 아니라 산화그래핀의 종류의 차이에 따라 다르게 나타난 것으로 보인다.(그림.6) 이는 US GO의 경우 단일 층인 반면 graphene oxide powder의 경우 다층 이기에 재료 자체의 층 차이로 인해 투과도 차가 큰 것으로 판단된다.

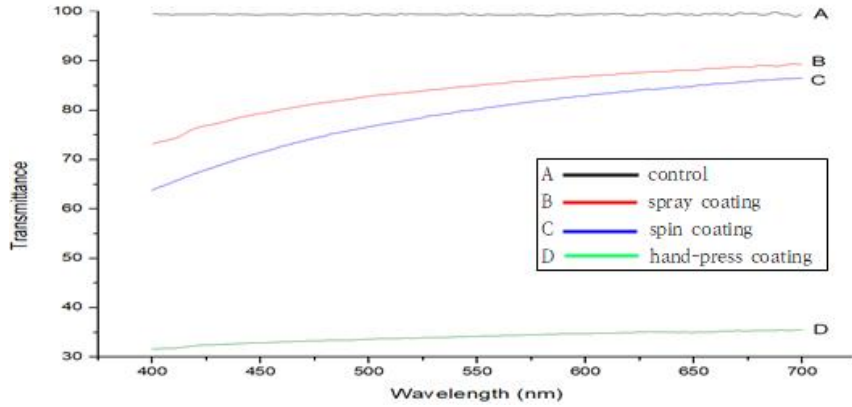


Fig. 6 UV/Vis spectrophotometer of samples, control (A), US GO 0.375mg spray coating (B), US GO 0.375mg spin coating (C) and Charm graphene Co. Ltd. GO 0.375mg hand-press coating (D) Average transmittance is A: 84.04%T, B: 78.70%T, C: 34.04%T. Hand-press coating shows lower transmittance than other coating methods, which is evaluated by the difference between the coating method and the graphene oxide layer.

3.5 접촉각

접촉각이란 액체가 고체 표면 위에 열역학적으로 평형을 이루는 각을 나타낸다. 즉 고체와 액체, 액체와 기체상의 접촉점에서의 접선들이 이루는 각 중 액체를 포함한 쪽의 각을 그 액의 고체에 대한 각을 의미한다. 접촉각 측정을 통해 젖음성(wettability)과 표면에너지를 알 수 있다. 낮은 접촉각은 높은 젖음성 즉 친수성(hydrophilic)과 높은 표면 에너지를 가지고 높은 접촉각은 낮은 젖음성 즉 소수성(hydrophobic)과 낮은 표면 에너지를 가진다.[14] 적하량은 4 μL씩 5회를 통해서 측정한 결과 평균값을 계산하였다. Spray coating은 44.4°, spin coating은 48.3°, hand-press coating은 80.9°로 측정되었다.(표.2)

Table. 2 Contact angle of sample Spin coating and spray coating rendered similar hydrophilic property to the surface while hand press coating produced hydrophobic surface.

Coating method	Spin coating	Spray coating	Hand-press coating
Contact angle(°)	48.3	44.4	80.9

Spray, spin coating은 친수성을 띄며 높은 표면 에너지를 가지며 hand-press coating은 소수성을 띄며 낮은 표면에너지를 가진 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 산화그래핀을 Spin coating, Spray coating, Hand pressing 등 세 종류의 코팅방법을 통해 polystyrene dish 표면에 코팅하였고, 코팅된 표면의 특성을 평가하여 그 결과를 요약하여 표.3에 나타내었다.

Table. 3 Summary of characteristics according to coating method

	Spin coating	Spray coating	Hand-press coating
GO particle size(μm)	5 ~ 40, 50 ~	5 ~ 40, 50 ~	10 ~
GO particle distribution	Particles of various sizes are formed	Particles of various sizes are formed	The particles are distributed into irregular shapes
Bonding Intensity between GO(ID/IG)	0.97	0.96	1.01
Roughness (nm)	32.259	17.771	47.181
Surface adhesion Intensity (GPa)	27.05	42.96	4.05
Transmittance (%T)	78.70	84.04	34.04
Contact angle(°)	48.3	44.3	80.9

Raman, AFM, 투과도, 접촉각을 통하여 평가한 결과, spin coating의 경우 전체적으로 코팅은 이루어지나 큰 산화그래핀이 표면에 존재함으로 인해 표면과 산화그래핀 간의 결합력이 부족한 것으로 나타났으며 spray coating의 경우 spin coating 보다 작은 산화그래핀이 존재하며 표면과 산화그래핀 간의 결합력 또한 충분한 것으로 나타났다. 또한 투과도면에서도 더 투명하며 보다 친수성을 띄는 것으로 나타났다.

Hand-press coating의 경우 표면에 10μm크기 이상의 산화그래핀이 분포하였으며 산화그래핀 사이에 coating이 이루어지지 않은 부분이 일정 부분 존재하였다. 또한 매우 불투명하며 소수성을 띄는 것으로 나타났다. 친수성과 광학현미경 관찰이 요구되는 바이오

분야에서는 spin coating과 spray coating을 선택하여 사용하는 것이 적합하다고 생각되며 불규칙한 압력과 힘을 통해 hand-press coating이 이루어졌기 때문에 이를 보완하여 기계적인 방법을 통해 압력과 힘을 조절할 수 있는 press-coating방법으로 더 나은 코팅결과를 얻을 수 있다고 사료된다.

후 기

이 연구는 코아스팀(주)의 지원을 받아 수행하였기에 이에 감사드립니다.

References

- [1] Yanwu Zhu, Shanthi Murali, Weiwei Cai, Xuesong Li, Ji Won Suk, Jeffrey R. Potts, Rodney S. Ruoff, Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications, *Adv. Mater.* 22 (2010) 3906-3924
- [2] Chang-gu Lee, Mechanical Properties of Graphene, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.* 53(9) (2013) 31-35
- [3] Chun Hung Lui, Li Liu, Kin Fai Mak, George W. Flynn & Tony F. Heinz, Ultraflat graphene. *Nature* 462 (2009) 339-341
- [4] Il-Kwon Oh, Jin-Han Jeon, Graphene Syntheses and Graphene-based Actuator, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.* (2011) 3151-3152
- [5] Ahn, Jong-Hyun, Large Area Synthesis and Application of Graphene Films, *Polym. Sci. Techn.* 22(2) (2011) 126-129
- [6] Wei Gao, The chemistry of graphene oxide. *Graphene oxide* (2015) 61-95
- [7] K. Andre Mkhoyan, Alexander W. Contryman, John Silcox, Derek A. Stewart, Goki Eda, Cecilia Mattevi, Steve Miller, and Manish Chhowalla, Atomic and Electronic Structure of Graphene-Oxide. *Nano Lett.* 9(3) (2009) 1058-1063
- [8] Gyeong-Nam Kim, Graphene technology development trend and application, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.* 29(6) (2016) 3-11
- [9] Jong-sung Park, Dong-Su Kim, and Ji-Kwan Kim, Fabrication and Application of Graphene Composite with Various Modifications, *JJ. Sens. Sci. Technol.* 29(3) (2020) 201-204
- [10] Woo-Jun Jeong, Ye-Chan Oh, and Sang-Ho Kim, Electrochemical Property of the Composite Electrode with Graphene Balls and Graphene Oxide for Supercapacitor, *J. Korean Inst. Surf. Eng.* 53(5) (2020) 213-218
- [11] Byeong-Joo Lee, Goo-Hwan Jeong, Graphene Doping by Ammonia Plasma Surface Treatment, *J. Korean Inst. Surf. Eng.* 48(4) (2015) 163-168
- [12] Yeong-Ah Cheon, Jin-su Nam, Kyung-Soo Son, Young-Tae Im, Won-Kee Ahn and Bong-Geun Chung, Development and Analysis of Graphene Oxide Thin Film Coating, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, 39(5) (2015) 463-469
- [13] Yeon-jun Jeong, Byung-Chul Moon, Min-Chae Jang, and Yang-soo Kim, Preparation and Characterization of Conducting Polymer Nanocomposites Including Graphene Oxide via In-situ Chemical Polymerization, *Polymer(Korea)* 38(2) (2014) 180-187
- [14] Youngho-Kim, Contact angle & surface energy, *Prospectives of Industrial Chemistry* 8(3) (2005) 82-93