

Preparation of solvent-based eco-friendly stone paper

Seok Ju Jeong, Do Yoon Kam*, Eun Ok Choi*, Hyun Cho** and Byeong Woo Lee†

Department of Ocean Advanced Materials Convergence Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea
*Frienderma Cosmetic Co., Ltd., Busan 48054, Korea

**Department of Nanomechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received July 21, 2023)

(Revised August 18, 2023)

(Accepted August 22, 2023)

Abstract Stone papers made of inorganic filler and plastic polymer do not use pulp, which is the main raw material of existing papers, so they contribute to the preservation of nature and can be used as more eco-friendly materials when they have biodegradability. Since most stone papers are manufactured by hot extrusion, the amount of ceramic fillers and related physical properties are limited to control manufacturing workability. In this study, the stone paper composition was prepared in a liquid form using solvents, so that there was little limitation on the amount of ceramic filler added and it was also easy to add additives to control biodegradability. They were fabricated from eco-friendly raw materials using waste oyster shells as an inorganic filler and (recyclable) PVC materials as an organic binder. After making a solution using common solvents for PVC, inorganic filler and cellulose to impart biodegradability were mixed and processed into sheets to prepare solvent-based stone papers, and their paper properties were evaluated.

Key words Stone paper, Solvent based, Eco-friendly, Calcium carbonate, PVC

용제기반 친환경 stone paper의 제조

정석주, 감도윤*, 최은옥*, 조현**, 이병우†

한국해양대학교 해양신소재융합공학과, 부산, 49112

*프렌더마 코스메틱(주), 부산, 48054

**부산대학교 나노메카트로닉스공학과, 부산, 46241

(2023년 7월 21일 접수)

(2023년 8월 18일 심사완료)

(2023년 8월 22일 게재확정)

요약 무기충진제와 가소성 폴리머로 이루어진 스톤페이퍼는 기존 종이의 원료인 펄프를 사용하지 않아 자연보존에 기여하고 생분해성을 가지게 되면 보다 친환경적인 소재로 사용이 가능하다. 현재 대부분의 스톤페이퍼는 가열압출성형법으로 제조하고 있어 작업성을 증진시키기 위해 세라믹 충진제의 양이 제한되어 다양한 물성을 가질 수 없다. 본 연구에서는 이러한 스톤페이퍼 조성을 용제를 사용한 액상으로 제조하게 됨으로써 세라믹 충진제 첨가량에 제한이 적고 생분해성 조절을 위한 첨가제 투입도 용이하였다. 폐패각인 굴껍질을 열처리하여 무기충진제로 사용하였고, 재활용 소재로도 쉽게 구할 수 있는 폴리비닐클로라이드를 유기결합제로 사용하였다. 일반적인 폴리비닐클로라이드용 유기용제를 사용하여 폴리비닐클로라이드를 용해시킨 후 무기충진제와 생분해성을 부여하기 위한 셀룰로스를 혼합하여 시트 형태로 가공하여 용제기반 스톤페이퍼를 제조하여 그 물성에 대해 분석하였다.

1. 서론

종이를 만드는 데는 펄프를 얻기 위해 수많은 나무를 베어야 하고 이로 인한 산림의 파괴와 지구의 허파라고

하는 수많은 밀림들이 파괴되고 있다. 지구의 자연을 보호할 수 있는 방법으로 최근 스톤페이퍼(stone paper, rich mineral paper)가 개발되어 그 사용이 증가하고 있다[1,2]. 스톤페이퍼의 조성으로는 세라믹 분말 충진제(filler)와 결합제(binder)인 열가소성 폴리머(polymer)를 사용하고 가열 혼합하여 압출성형(hot melt extrusion method)하는 방법을 통해 제조하고 있다. 이 방법을 사

†Corresponding author
E-mail: bwlee@kmou.ac.kr

용하여 시트(sheet)형으로 가공하여 종이형태를 얻을 수 있고 또한 사출성형(injection molding)을 통한 복잡한 형태 및 압축성형(compression molding)을 통한 성형가공도 가능해 파이프, 음식용기, 봉, 봉투, 섬유 등으로도 가공이 가능하다. 종이 외에 이렇게 제조된 여러 제품들도 그 사용이 계속 늘고 있다. 일반적으로 무기충진제로는 주성분이 탄산칼슘(석회석, CaCO_3)인 광물이나 폐석재들이 주로 사용되고 있으며 유기결합제로는 고밀도-폴리에틸렌(HDPE, high density polyethylene) 또는 폴리락트산(PLA, polylactic acid) 등이 사용된다고 알려져 있다[1-4].

나무에서 얻어지는 펄프(pulp)를 사용하지 않아 자연친화적(eco-friendly)이라고 불리는 스톤페이퍼들은 결합제로 분해성 폴리머를 사용하여 자연에서 손쉽게 분해되어 자연친화적인 소재라고 선전하고 있다. 하지만 고밀도-폴리에틸렌 결합제의 경우 분해에 강한 자외선이 필요하고[5], 폴리락트산의 경우에도 흙에 묻힌 상태에서 분해에 1년 이상의 시간이 걸려 자연 또는 생분해성 소재라는데 의문과 비판이 일고 있다[6].

또한 스톤페이퍼 조성에 대한 압출성형 시, 무기충진제와 유기결합제의 비율에 따라 성형성(작업성, workability)과 글씨가 써지는 종이의 특성인 인쇄성(printability)이 결정되며, 자연친화성 즉 자연 분해 능력 및 시간도 결정된다. 즉 스톤페이퍼 제작을 위한 작업성을 가지기 위한 조성과 글씨를 쓰거나 프린트하기 위한 페이퍼로써의 특성을 가지기 위한 조성이 다를 경우 추가적인 공정이나 조성이 필요하는 등 공정이 복잡해지고 비용이 늘어날 수 있다. 예를 들면 작업성을 높이기 위해 열가소성 폴리머의 양을 늘릴 경우 필기나 인쇄가 되지 않아 스톤페이퍼 표면에 인쇄가 가능하도록 미세기공을 형성시키기 위해 스트레칭(stretching), 엠보싱(embossing roll), 코로나 처리(corona discharge) 등의 추가공정이나 마이크로 포어(pore)를 형성할 수 있는 조성첨가 등 추가적인 조성이 필요하게 된다[4]. 따라서 무기충진제 및 유기결합제의 양과 그 종류가 매우 중요하다.

무기충진제인 탄산칼슘(CaCO_3)을 다량 함유한 농수산 부산물을 단순히 폐기물로 처리될 경우, 오염 및 환경훼손을 유발하고 비용이 발생하게 된다. 따라서 이러한 부산물들을 산업적 유용자원으로 이용하려는 노력이 국내에서도 지속적으로 이루어지고 있다[7-11]. 본 연구에서는 무기충진제로 폐석재 등을 이용하는 기존 원료와 달리 폐패각을 이용하는 연구를 수행하였다.

탄산칼슘 함유 농수산 부산물로는 굴이나 조개 패각들이 대표적이고 이들을 900°C 이상 가열할 경우 96% 이상의 비교적 고순도의 반응성 높은 Ca-원료를 얻을 수 있다[9-11]. 패각을 이러한 스톤페이퍼 제조에 사용

하기 위해서는 분말의 순도와 백색도가 높아야 하고 다른 상에 비해 탄산칼슘 비율이 높아야 된다. 본 연구의 목적은 이제까지 스톤페이퍼 제조에 시도되지 않은 폐기부산물 원료의 선택과 사용 후 생분해성을 가지는 친환경성 스톤페이퍼를 용액으로부터 제조하는 연구이다. 용제를 사용하여 유기 결합제인 폴리비닐클로라이드(PVC)를 녹여 용액을 만든 후, 굴 패각을 열처리하여 얻은 무기충진제를 혼합하여 시트형태로 가공하여 친환경적 스톤페이퍼를 제조하였으며, 그 물성에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1. 굴 패각으로부터 무기충진제 분말의 제조

출발물질로 사용한 굴 패각을 Fig. 1에 보였다. 세척한 굴패각은 $500\sim 900^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 열처리하여 온도에 따른 상과 색의 변화를 알아보았다. 충진제용 무기물은 다음 과정을 거쳐 제조하였다. 900°C 에서 1시간 가열하여 유기물, 휘발성 성분 및 분해생성물들을 제거하였고, 유발에서 분쇄하여 분말을 제조하였다. 900°C 에서 CO_2 가 분해된 패각은 유발로도 쉽게 분쇄되어 불밀 같은 추가적인 분쇄방법을 거치지 않았고 이 분말을 2주 이상 상온에서 보관(aging)한 후 무기충진제 분말로 사용하였다.

굴 패각에 대한 열처리온도에 따라 제조된 분말의 결정상을 X-선 회절분석기(X-ray Diffractometer(XRD, $\text{Cu-K}\alpha$))를 사용하여 분석하였다.

2.2. 용제를 사용한 폴리비닐클로라이드 결합제 용액의 제조

유기결합제인 폴리비닐클로라이드(PVC: poly vinyl chloride, Junsei, Japan) 10 g을 500 ml 비이커에 넣고 주



Fig. 1. Oyster waste shells used to prepare inorganic fillers.

Table 1
Solution composition to prepare the stone papers

Samples	Compositions (g)						
	PVC	CaCO ₃	THP	MEK	ACT	SO	MC
SP-1	10	80	80	15	30	8	
SP-2	10	80	80	15	30	8	0.5
SP-3	10	40	80	15	30	5	
SP-4	10	40	80	15	30	5	0.5

용제인 테트라하이드로퓨란(THP, tetrahydrofuran, Junsei, Japan) 80 g과 보조 용제인 메틸에틸케톤(MEK, methyl ethyl ketone, Junsei, Japan) 15 g 및 아세톤(ACT, acetone, SK Chem., Korea) 30 g을 넣고 교반하면서 완전히 녹인다. 용액의 점도를 낮추고 폴리비닐클로라이드의 연신율을 높이기 위한 가소제(plasticizer)로 프탈레이트(phthalate)를 사용하지 않고 그 대체재로 식용 대두유(SO, soybean oil)를 사용하였다. 또한 스톤페이퍼의 생분해성에 대한 셀룰로스의 효과를 알아보기 위해 메틸셀룰로스(MC, methyl cellulose, YP Chem., Japan)를 첨가하여 그 효과를 분석하였다.

2.3. 스톤페이퍼 시트의 제조

스톤페이퍼 시트를 제조하기 위해 용제에 녹은 폴리비닐클로라이드 용액에 굴 껍질을 열처리하여 얻은 무기충진제를 첨가하고 교반하였다. 이때 무기충진제 조성은 폴리비닐클로라이드 대비 80~90 weight%(이하 %) 사이로 첨가하였다. Table 1에 본 연구에 사용한 스톤페이퍼 시트 조성과 각 조성별 첨가량을 정리하였다. 본 연구에서 얻은 스톤페이퍼 시트는 한번에 ~0.15 mm 정도의 두께를 가질 수 있도록 조절하였다.

2.4. 스톤페이퍼 물성분석

2.4.1. 연필경도(Pencil hardness)

제조된 스톤페이퍼 시트는 연필경도를 측정하였으며 연필경도 측정기(CT-PC1, Core Tech., Korea)에 경도 측정용 연필을 45° 각도로 끼우고, KS G 2603에 의해 1 kgf (9.8 N)의 일정 하중을 가하여 측정하였다. 이때 Mitsubishi 6B~9H의 강도를 나타내는 연필을 사용하였다.

2.4.2. 생분해성

제조된 스톤페이퍼 시트는 일반적인 주변 흙을 담은 용기의 20 cm 아래에 묻어 생분해성을 관찰하였다. 이를 한번씩 물을 스프레이하여 흙이 건조되는 것을 방지하였다. 시료들은 4주간 흙속에 유지시킨 후 꺼내 연신율을 측정하여 생분해의 가능성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 스톤페이퍼 충전제용 굴 껍질의 열처리에 따른 색 및 상변화

탄산칼슘이 주성분인 굴 껍질을 비롯한 패각들은 각종 유기물을 함유하고 있어 진한 색으로 인해 스톤페이퍼에 직접 사용할 수 없어 열처리를 통해 유기물을 분해하여 사용해야 한다. Figure 2는 굴 껍질 분말을 500, 700, 900°C에서 1시간씩 열처리한 후 그 색을 비교한 결과를 보여주고 있다. 500°C 열처리한 분말의 색이 가장 진했으며 이는 유기물들의 탄화로 인한 영향으로 보인다. 가열 온도가 더 높은 경우 색이 옅어지면서 백색도가 좋아져 900°C에선 기존의 A4 용지와 구분이 잘되지 않는다.

CaCO₃를 주성분으로 하는 대부분의 패각들을 900°C 이상 열처리하면 CO₂가 분해되어 CaO가 형성된다(식 (1)).

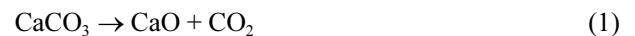


Figure 3에 열처리하지 않은 굴 껍질과 500, 700 및 900°C에서 열처리한 굴 껍질의 XRD 회절결과를 나타내었다. 알려진 바와 같이 굴 껍질은 칼사이트(calcite, 방해석)상을 가지는 CaCO₃로 구성되어 있음을 알 수 있다 [9-11]. 이를 가열 할 경우 CaCO₃에서 CO₂가 분해되어 CaO가 합성됨을 알 수 있다.

이와 같이 형성된 CaO는 반응성이 높아 공기 중에 보면

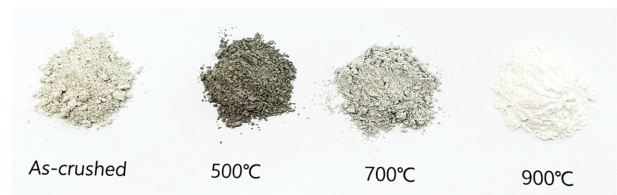


Fig. 2. Color change of the oyster shell powders heat treated at different temperatures.

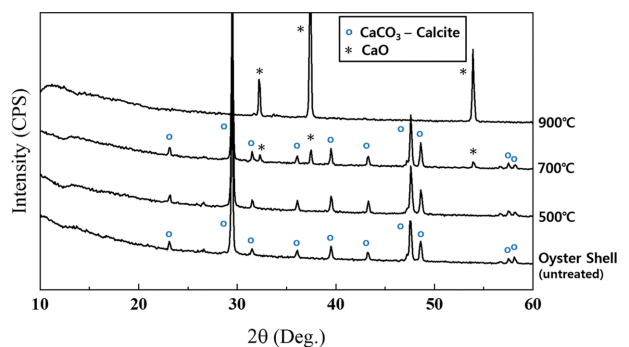


Fig. 3. XRD patterns of the oyster shells heat treated at different temperatures.

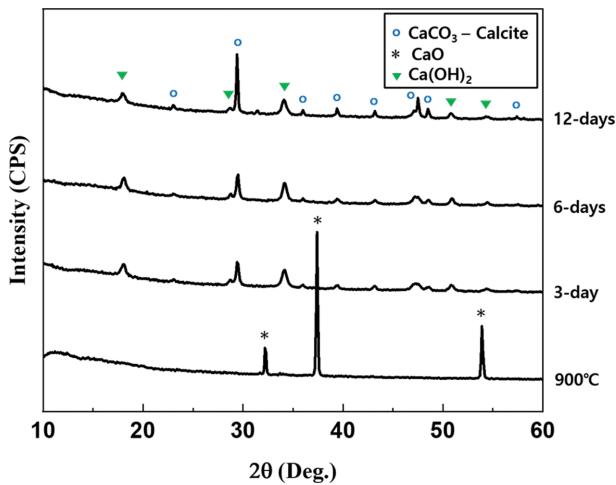


Fig. 4. XRD patterns of oyster shells aged in air after heat treatment at 900°C.

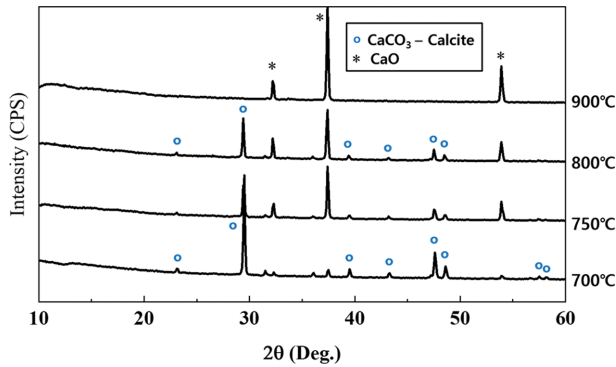


Fig. 5. XRD patterns of the oyster shells heat treated at different temperatures from 700 to 900°C.



Fig. 6. Color change of the oyster shell powders heat treated at different temperatures from 700 to 900°C.

할 경우 공기 중의 탄소와 수분과 만나 CaCO₃(calcite)와 Ca(OH)₂(식(2))로 변화하였다.



상온에서 CaO는 CaCO₃와 Ca(OH)₂로 쉽게 변화하며 열처리 후 보관시간에 따라 Ca(OH)₂ 대비 CaCO₃의 함량이 점점 증가하고 있다(Fig. 4). 스톤페이퍼 충전제로 사용될 열처리한 굴 폐각은 반응성이 크게 높은 CaO나 역시 반응성이 높은 Ca(OH)₂ 보다 가능한 한 안정한 CaCO₃를 사용하는 것이 바람직하다. Figure 5와 Fig. 6

은 각각 700~900°C에서 1시간 동안 열처리한 분말들의 상과 색상을 비교한 결과를 보여주고 있다. Figure 5의 XRD 결과를 보면 700°C 이상에서부터 CaCO₃의 분율이 감소하면서 CaO가 생성되기 시작하여 900°C에선 완전히 CaO가 생성되었다. CaCO₃의 CaO로의 완전한 분해가 일어나지 않는 750°C 및 800°C에서 열처리한 경우 반응성 높은 CaO로 분해가 모두 발생한 900°C에서 열처리한 분말에 비해 충전제로 바람직한 CaCO₃의 함량이 높고 Fig. 6에서 보이듯이 백색도의 차이도 크지 않아 스톤페이퍼 원료로 사용이 가능하다고 여겨진다. 본 연구에서는 분말의 백색도를 고려하여 900°C에서 열처리한 분말을 Ca(OH)₂ 대비 CaCO₃의 함량이 높아진 2주 이상 보관한 후 충전제 원료로 사용하였다. 이는 폐석재를 충전제로 사용한다고 알려진 기준에 상분화된 친환경 스톤페이퍼의 경우와 함께 폐자원인 폐각의 활용면에서 의미가 있다고 생각된다.

3.2. 용액으로부터 스톤페이퍼의 제조 및 물성 분석

현재 상용 스톤페이퍼는 주로 CaCO₃를 충전제로 사용하고 자외선 분해(경화)가 가능하다고 알려진 고밀도-폴리에틸렌을 결합제로 사용하거나 흡속에서 생분해가 가능하다고 알려진 폴리락트산을 결합제로 사용하여 자연에서 분해가 가능하여 친환경적 소재임을 강조하고 있다. 하지만 고밀도-폴리에틸렌의 경우 매립되거나 겹쳐져서 자외선이 충분히 표면에 조사되지 않을 경우 분해가 잘되지 않으며 충분히 분해되지 않은 상태에서 경화되어 부스러지면 미세플라스틱 양만 늘리는 결과를 가져올 수도 있다. 폴리락트산의 경우 생분해성을 가지고 있으나 상황에 따라 그 분해 기간이 몇 달 또는 몇 년이 지나도 분해가 되지 않을 가능성도 있어 자연 친화적 생분해성을 갖는다는 것에 대한 추가적인 연구와 정의가 필요한 시점으로 생각된다.

폴리비닐클로라이드는 내열성, 내후성, 발수성, 내수성, 내약품성 및 부식방지 성능이 우수하고 고온에서도 변색되지 않고 광택을 유지하여 다양한 분야에 사용되고 있다[12]. 또한 폴리비닐클로라이드는 특정 용제에 쉽게 녹아 용액을 사용한 도막형성(페인트 등)에 응용이 가능하다. 본 연구에서는 주 용제인 테트라하이드로퓨란과 보조 용제들을 이용하여 완전히 녹여 용액을 만든 후, 굴 폐각을 900°C에서 열처리하여 얻어진 분말을 무기충진제로 사용하여 스톤페이퍼를 제조하였으며 기본적인 물성을 측정하여 Table 2에 나타내었다.

SP-1과 SP-2는 폴리비닐클로라이드 대비 무기충진제의 양이 90%이고 SP-3와 SP-4의 경우 무기충진제의 양이 80%이다. SP-2와 SP-4는 메틸셀룰로스가 첨가된 조성으로 메틸셀룰로스가 첨가되지 않은 조성 대비 연성

Table 2
Properties of the prepared stone papers

Samples	Properties			
	Pencil hardness	Elongation, %	Printability	Elongation after 4 weeks in soil, %
SP-1	9H (Max.)	75	○	60
SP-2	9H (Max.)	15	○	×
SP-3	9H (Max.)	75	○	60
SP-4	5H	25	○	×

(elongation)이 떨어지며 SP-4의 경우 무기충진제의 양이 적어 폴리머 적인 물성이 높아 연성 감소폭이 낮았다. 연필 경도의 경우 SP-4의 경우 무기충진제의 양이 적고 연성을 낮추는 메틸셀룰로스가 첨가되어 다른 조성들에 비해 상당히 낮은 5H를 보였으며 다른 조성들에서는 최고 경도인 9H 이상으로 측정되었다. 일반 A4 용지의 경우 연필 경도는 8H로 측정되었으며 이는 70% 이상인 높은 습도의 영향 등을 고려해야 할 것으로 보인다.

기존 생분해성 플라스틱의 분해 기간이 1년여 소요됨을 고려할 때[6], 단기간의 실험기간에 생분해의 가능성을 확인하기 힘들지만 4주간 흡수에 유지시킨 후 꺼내 연신율을 측정하여 생분해의 가능성을 확인하였다. Table 2에 보이는 결과와 같이 4주간 흡에서 유지 시킨 샘플들의 생분해성을 연신율로 측정하였다. 폴리비닐클로라이드에 셀룰로스의 첨가는 폴리비닐클로라이드의 생분해성을 크게 증진시킨다고 알려져 있으며[12,13], 본 연구에서도 폴리비닐클로라이드계 스톤페이퍼에 첨가된 셀룰로스의 효과가 매우 큼을 알 수 있다. 셀룰로스가 첨가되지 않은 경우 젖은 흡에 묻어진 무기충진제에 습도가 영향을 주어 연신율이 일정부분 감소하였으며 셀룰로스를 첨가한 경우 연신율이 전혀 없이 찢어짐을 확인하였다. 이는 셀룰로스를 함유한 스톤페이퍼의 높은 생분해성을 보여주는 결과로 여겨진다.

페이퍼의 고유 특성상 스톤페이퍼의 인쇄성 역시 고려해야 할 중요한 특성으로 폴리머 대비 무기충진제의 양이 적을 경우 플라스틱 물성이 전체물성을 지배하게 되어 인쇄성이 낮아지게 된다. 무기충진제가 유기물 대비 80% 이상일 경우 표면에 충분한 기공이 형성되어 인쇄성이 좋아지고 고밀도-폴리에틸렌 결합체의 경우 무기충진제의 양이 80% 이상이어도 압출성형의 가공성이 좋아 비교적 인쇄성 좋은 스톤페이퍼의 제조가 가능하나, 폴리락트산 결합체를 사용하는 경우 가공성이 좋지 않아 무기충진제의 양이 60% 이하로 조절되어야 해 스톤페이퍼의 인쇄성이 떨어지게 된다. 본 연구의 휘발성 용제를 사용한 용액을 통한 제조에서 가공성의 제약이 거의 없어 무기충진제의 양을 원하는 만큼 첨가할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 인쇄성 증진을 위한 무기충진

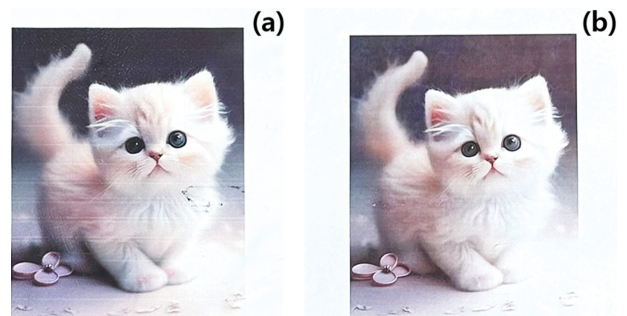


Fig. 7. Printability examples of the stone papers: prints from (a) a ink-jet and (b) a laser printer.

제의 양(80% 이상)을 적절히 조절할 수 있다.

열가소성 폴리머들을 사용하는 기존의 스톤페이퍼들은 인쇄성을 갖추고 있더라도 용융온도가 낮아 인쇄 시 최대 170°C 정도로 온도가 올라가는 레이저프린터에는 사용이 불가능했다. 하지만 역시 열가소성 폴리머이지만 본 연구에서와 같은 높은 내열성을 가지는 폴리비닐클로라이드를 결합체로 사용할 경우 레이저프린터에서도 인쇄가 가능한 이점을 가지게 된다. Figure 7에 잉크젯 및 레이저프린터를 이용한 인쇄물들을 나타내었다. 종이에 정형화된 기존의 프린터에 연성이 있는 스톤페이퍼를 바로 사용할 수 없어 잉크젯 인쇄물(Fig. 7(a))은 얇은 SP-2 스톤페이퍼를 A4 용지에 붙인 후 인쇄하였고 레이저프린트물은 고온 인쇄성을 확인하기 위해 SP-2 스톤페이퍼 용액에 A4 용지를 담지하여 코팅한 후 인쇄한 결과물(Fig. 7(b))이다. 두 경우 모두 인쇄성이 좋아 기존 프린터들을 사용하여 스톤페이퍼의 인쇄용용이 가능하다고 여겨진다.

본 연구에서 굴 폐각을 무기충진제 원료로 이용하고 재활용품으로도 쉽게 구할 수 있는 폴리비닐클로라이드를 결합체로 이용하여 친환경 신소재로 여겨지는 스톤페이퍼를 제조하였다. 이러한 방법은 CaCO₃를 가지고 있는 모든 농수산 부산물을 사용하여 적용할 수 있으며, 본 연구에서는 시약급 폴리비닐클로라이드 원료를 사용했지만 폐플라스틱(PVC) 자원의 재활용에도 기여가 가능한 원료 합성법으로 생각된다. 국내에서는 아직 활발한 연구 및

응용이 이루어지지 않는 스톤페이퍼를 용액을 통한 새로운 효율적인 방법으로 제조할 수 있는 가능성을 보여줘 본 연구의 실용화 가능성이 크다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서 굴 껍질을 무기충진제 원료로 이용하고 폴리비닐클로라이드를 결합제로 이용하여 친환경 생분해성 스톤페이퍼를 제조하였다. 주성분이 CaCO_3 이고 손쉽게 구할 수 있는 폐폐각인 굴 껍질을 900°C 로 열처리하여 무기충진제의 원료로 사용하였고, 재활용 소재로도 쉽게 구할 수 있는 폴리비닐클로라이드를 유기결합제로 사용하였다. 폴리비닐클로라이드는 휘발성 유기용제를 사용하여 용액을 만든 후 무기충진제와 생분해성을 부여하기 위한 셀룰로스를 혼합하여 시트 형태로 가공하여 용액기반 스톤페이퍼를 제조하였다.

폴리비닐클로라이드 대비 무기충진제의 양을 80%와 90% 첨가하고 메틸 셀룰로스의 첨가유무에 따른 물성을 측정하였다. 무기충진제의 양이 적을 경우 경도가 낮아지고 연성이 증가하는 예상할 수 있는 결과를 보이며 동일 조성에서 셀룰로스를 첨가함에 따라 연성이 상당히 감소하였다. 생분해성을 측정하기 위한 실험에서 셀룰로스를 첨가한 경우 폴리비닐클로라이드의 생분해성이 크게 증진됨을 시험편의 연신율로 측정하였다.

본 연구의 용액을 이용하여 제조된 스톤페이퍼의 경우 무기충진제의 양 조절이 쉽고 그 첨가량에도 제한이 없어 우수한 인쇄성을 보이는 조성으로 제조가 가능하며 PVC의 높은 열 안정성으로 인해 인쇄 시 온도가 높아 기존의 스톤페이퍼로는 인쇄가 불가능한 레이저 프린터를 이용한 인쇄도 가능하였다. 이러한 결과들은 저비용, 고가용성을 가지는 경제적인 새로운 출발물질로부터 친환경적 고부가가치 스톤페이퍼를 제조할 수 있는 가능성을 보여주었다.

References

- [1] L. Indriatil, M.A. Nugraha and Y.S. Perng, "Stone paper, an eco-friendly and free-tree papers", AIP Conf. Proc. 2243 (2019) 030010-1.
- [2] M.A. Hubbe, "Paper or plastic? Yes, but not as a mixture", BioResources 11 (2016) 5656.
- [3] C. Chu and P. Nel, "Characterization and deterioration of stone papers", AICCM Bulletin 40 (2019) 37.
- [4] M. Sakamoto, "Biodegradable synthetic paper", Jap. Patent JPH11322962A (1998).
- [5] A. Fairbrother, H.C. Hsueh, J.H. Kim, D. Jacobs, L. Perry, D. Goodwin, C. White, S. Watson and L.P. Sung, "Temperature and light intensity effects on photodegradation of high-density polyethylene", Polym. Degrad. Stab. 165 (2019) 153.
- [6] R. Slezak, L. Krzystek, M. Puchalski, I. Krucinska and A. Sitarski, "Degradation of bio-based film plastics in soil under natural conditions", Sci. Total Environ. 866 (2023) 236.
- [7] S.H. Ha, M.K. Cha, K.J. Kim, S.H. Kim and Y.K. Kim, "Mineralogical and chemical characteristics of the oyster shells from Korea", J. Miner. Soc. Korea 30 (2017) 149.
- [8] J.S. Lee, J.H. Cho, D.Y. Kim and K.H. Hwang, "Strategies for eco-friendly utilization and industrialization of fishery by-products", Korea Maritime Institute 2013-13 (2016).
- [9] B.H. Lee, B.H. Moon and I.C. Cho, "Application of oyster shell and zeolites for P and NH_4^+ -N removal", J. Kor. Soc. Environ. Anal. 9 (2006) 55.
- [10] O.N. Syazwani, S.H. Teo, A. Islam and Y.H. Taufiq-Yapa, "Transesterification activity and characterization of natural CaO derived from waste venus clam (Tapeschelcheri S.) material for enhancement of biodiesel production", Proc. Safe. Environ. Protec. 105 (2017) 303.
- [11] H.E. Woo, K.M. Kim, I.C. Lee and K.H. Kim, "A study on phosphate removal efficiency by pre-treatment conditioning of oyster shells", J. Kor. Soc. Marine Environ. & Safety 24 (2018) 25.
- [12] C. Mijangos, I. Calafel and A. Santamaria, "Poly(vinyl chloride), a historical polymer still evolving", Polymer 266 (2023) 125610.
- [13] H. Kaczmarek, K. Bajer and A. Podgorski, "Properties of poly(vinyl chloride) modified by cellulose", Polym. J. 37 (2005) 340.