

論文

VARTM 공정으로 성형된 Abaca 패브릭 복합재의 기계적 특성평가

변길재*, 하종록**, 김병선***, 조치룡*, 옥주선***

Mechanical Properties of VARTM Processed Abaca Fabric Composites

Gill Jae Byun*, Jong-Rok Ha**, Byung-Sun Kim***, Chee Ryong Joe*, Ju Seon Ok***

ABSTRACT

The objective of this study is to improve the mechanical properties in abaca fabric/epoxy composites produced using a VARTM process. The mechanical properties were improved by increasing the surface roughness of the fabric through plasma polymerization and improving the interfacial adhesion between the epoxy and the fabric through changing its hydrophilic properties to the hydrophobic properties. Plasma polymerization at atmospheric pressure and room temperature was used, and the optimal polymerization time to improve the mechanical properties was investigated. NaOH treatment on the fabric was also carried out for the comparison. The composite fabricated using the fabric polymerized for 10 seconds shows the highest tensile strength compared to that of none-polymerized or NaOH treated. Plasma polymerization for more than 20 seconds exhibits decrease in the tensile strength. As a result, the plasma polymerization for more than 20 seconds may have caused some damages on the surface of the fabrics. Also, the hydrophilic abaca represents a tendency of presenting the hydrophobic properties in absorption and sedimentation tests.

초 록

본 연구에서는 VARTM 공정으로 제조되는 에폭시/아바카 패브릭 복합재의 기계적 특성을 향상 시키고자 하였다. 표면처리를 통하여 패브릭 표면의 미세 거칠기를 증가시키고 친수성을 소수성으로 변화시켜 에폭시-패브릭간 계면결합력을 증가시켜 기계적 특성을 향상 시키고자 하였다. 이를 위해 상온·상압 플라즈마 처리법을 사용하였고 기계적 특성이 향상되는 최적 처리 시간을 찾고자 하였다. 플라즈마 처리 특성을 비교하기 위해 NaOH 처리법을 사용하였다. 플라즈마 10초 처리된 패브릭으로 제조된 복합재가 무처리, NaOH 처리 대비 가장 높은 인장강도를 보였으며 20초 이상 처리시 인장강도는 낮아졌다. 미세구조 분석결과 20초 이상 처리시 섬유에 생긴 미세 흠집으로 인해 인장강도가 저하됨을 알 수 있었다. 흡습 시험과 침강 시험을 통해 친수성의 아바카가 소수성의 경향을 보이는 것을 확인하였다.

Key Words : abaca, 복합재료(composite materials), 플라즈마(plasma), 수산화나트륨(NaOH), VARTM

접수: 2012년 9월 24일, 수정: 2012년 11월 01일, 게재승인: 2012년 11월 16일

* 창원대학교 기계설계공학과 대학원

** 한국기계연구원 부설 재료연구소 복합재료연구센터

*** 한국기계연구원 부설 재료연구소 복합재료연구센터, Corresponding author(E-mail:kbs@kims.re.kr)

* 창원대학교 기계설계공학과

*** 경남 테크노파크 항공우주센터

1. 서론

탄소섬유 강화 복합재(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic) 및 유리섬유 강화 복합재(GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastic)는 고강도, 고강성으로 산업 여러 분야에서 널리 이용되고 있으며 사용량도 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 하지만 탄소섬유 및 유리섬유 복합재는 이런 고강도 고강성이라는 장점에 비해 분해와 폐기의 어려움으로 공해와 환경오염의 문제를 발생시킨다. 자연섬유 강화 복합재는 친환경적이며 가격이 저렴하여 탄소 및 유리 섬유들의 대체 섬유 복합재로 사용되고 있으며 자연섬유의 활용은 공해를 억제하고 폐기의 어려움을 해결할 수 있는 대안이 될 수 있다.[1]

자연섬유는 펄리핀을 포함한 열대 국가에서 생성되는 식물들에게서 풍부하게 얻을 수 있는 것이 특징이다. 자연섬유는 일반적으로 친수성으로 소수성의 고분자 수지와 본질적으로 잘 접착되지 않는다. 따라서 자연섬유 복합재의 강도를 증가 시키기 위해 친수성의 자연섬유를 소수성으로 변환할 화학적 처리가 필수적이다. 이러한 친수성의 자연섬유에 NaOH 처리를 하게 되면 표면 거칠기가 증가함은 물론 수산기 그룹의 이산화 촉진으로 흡수성이 향상되어 기계적 성질이 향상되는 것은 이미 널리 알려진 공정 중 하나이다.[2]

하지만 NaOH 처리는 섬유의 종류와 특징에 따라 공정 최적화가 어려우며 NaOH 농도와 처리 시간이 증가 할 수록 섬유 조직이 파괴되어 기계적 성질을 저하시키는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 플라즈마 표면 처리 방법이 활발히 연구 중에 있다. 하지만 일반적인 플라즈마처리는 고온·저압에서 이루어 지며 비교적 열 적 특성이 좋지 못한 자연섬유의 표면 처리는 어려운 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 상온·상압 플라즈마처리법이 도입되는 추세이며 상온·상압 플라즈마 처리시 섬유 표면의 중합 과정뿐만 아니라 미세 흠집으로 인한 표면 거칠기가 증가되어 계면결합력을 증가 시킬 수 있다. 반면 처리를 오래 하게 되면 표면에 많은 흠집이 생겨 오히려 기계적 특성이 감소 되므로 최적 처리 시간을 찾는 것이 중요하다.

VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)은 양쪽 면이 모두 금형으로 되어있는 RTM과 달리 한쪽 면의 금형과 다른 한쪽 면은 Bagging film으로 이루어져 가격이 저렴하고 보다 손쉽게 대형 제품을 생산할 수 있는 성형 법이다. VARTM 공정은 진공 압력을 이용하여 수지를 보강섬유 속으로 함침시키는 공정으로 기존의 가압에 의한 수지 주입과 비교하여 금형에 가해지는 힘의 크기가 작고 복잡한 형상을 손쉽게 성형할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다. 또한 VARTM 공정은 RTM 및 오토클레이브 공법에 비해 성형비용이 적게 들며, Hand lay-up 공정보다 더 좋은 품질의 제품을 생산 할 수 있다.[3]

본 연구에서는 자연섬유 중 아바카 패브릭을 이용하여 VARTM 공정으로 복합재로 제작하였고 강도를 증가시키기 위해 패브릭 표면을 플라즈마처리를 하였다. 친수성의 아바

카 패브릭을 소수성으로 변화시키는 것은 물론 표면 거칠기 증가로 패브릭 - 에폭시의 결합력을 증가 시켜 자연섬유 복합재의 강도를 증가 시키고자 하였다. 플라즈마 처리와 비교하기 위하여 알칼리 처리 중 NaOH 처리방법을 이용하였다. NaOH 처리 및 플라즈마 처리한 아바카 패브릭을 VARTM법으로 제작한 후 기계적 특성을 평가를 확인하여 최적 공정을 위한 플라즈마 처리 시간을 찾으려 하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 아바카 패브릭은 필리핀에서 생산된 100% 아바카를 0/90도 방향으로 직조된 것을 사용하였으며 Cellulose 56-63%, Density 1.5g/cm³의 특성을 가진다. 기지재는 국도 화학의 Bisphenol-A 계의 YD - 128을 사용 하였으며 경화제는 KBH-1089(국도화학)가 사용되었다. 수산화 나트륨(NaOH)은 별도의 정제과정 없이 사용 되었으며 플라즈마 처리시 사용되는 Carrier Gas는 He(헬륨, 순도 99%)을 사용하였다. 모노머는 Acrylic-acid(Sigma Aldrich, UK)로 별도의 정제 없이 사용하였다.[4]

2.2 Processing

2.2.1 플라즈마 표면처리

상온·상압 플라즈마처리는 Fig. 1과 같이 버블러로 들어간 캐리어 가스인 헬륨(He)이 모노머(Acrylic-acid)를 기화 하여 플라즈마 챔버 내부로 채우게 되면 전압을 주어 전극 사이에서 플라즈마를 발생 시킬 수 있다.

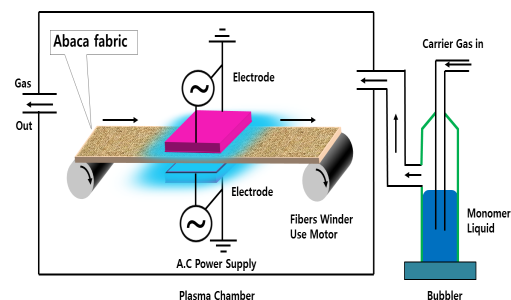


Fig. 1 Plasma polymerization for abaca fabric.

발생된 플라즈마는 섬유의 표면에 미세 흠집(micro defect)을 발생 시키며 그 과정에서 모노머가 결합하여 중합 과정을 거치게 된다.[5]

본 연구에서는 20 kHz 3 kV 전압을 주어 플라즈마를 발생 시키고 아바카 패브릭을 전극 사이를 통과 시키면서 연속적으로 플라즈마 처리를 하였다. 아바카 패브릭 플라즈마 처리는 5, 10, 20, 30초 간격으로 이루어 졌다.

2.2.2 NaOH 표면처리

아래의 Fig. 1은 아바카 패브릭의 NaOH 처리를 개략적으로 나타낸 것이다. NaOH 처리는 상온에서 시행하였으며 아바카 패브릭을 진공 오븐에서 건조 시킨 후 NaOH 1%의 농도를 가지는 증류수에서 15분 동안 처리 하였다.[6] 처리가 끝난 패브릭은 PH 7.0이 될 때까지 증류수로 반복적으로 충분히 세척하여 상온에서 3일 동안 건조 시켰다. 1% 농도와 처리시간 15분의 이유는 순수 아바카 섬유는 1% 농도와 15분 이상의 처리 시간을 가지면 기계적 성질이 저하되기 때문이다.

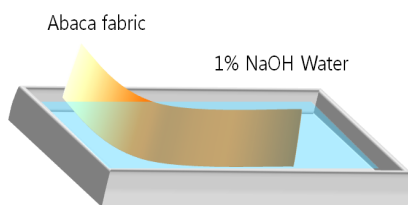


Fig. 2 NaOH treatment for abaca fabric.

2.3 VARTM 과정

NaOH 및 플라즈마 처리된 아바카 패브릭은 진공 오븐에서 수분을 제거 한 후 Fig. 3에 나타난 VARTM 공정을 통해 복합재로 제조되었다.

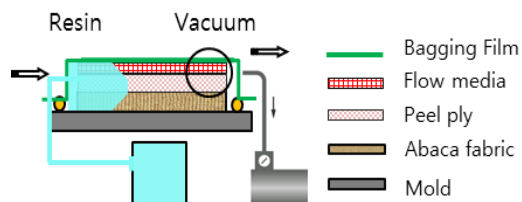


Fig. 3 Vacuum Assisted Resin Transfer Molding(VARTM) process.

제조 순서는 금형 위에 이형처리를 한 후 6장의 아바카 패브릭을 적층 하였고 그 위로 peel ply, flow media 순서로 적층 하였다. 적층이 끝난 후 bagging film으로 진공을 만들어 누수를 확인하고 진공이 끝난 시편은 60℃ 환경에서 수지를 주입하였다. 주입이 끝난 시편은 경화오븐으로 120℃에서 120분동안 경화 과정을 거쳐 복합재를 제작하였다. 제작된 복합재는 ASTM D3039 규격에 맞게 시편으로 제작 하였고 진공오븐에서 건조 과정을 거쳤다.

2.4 기계적 특성 평가

2.4.1 인장시험

시편의 기계적 특성 평가를 위한 인장 강도 측정은 만능물성 시험기(Instron 5882, USA)로 이루어 졌고 ASTM D3039 규격에 의해 이루어 졌다.

2.4.2 흡습시험

흡습 시험은 ASTM 570 규격에 따라 이루어 졌으며 실험 전, 건조 과정을 거친 후 무게를 측정하였고 측정이 끝난 시편들은 상온의 증류수에서 실험을 하였다. 흡습 되는 무게의 변화는 다음의 식에 의해 결정되었다.

$$WA (\%) = (M_c - M_o) / M_o \times 100,$$

M_o : 건조된 상태의 초기 시편의 질량.

M_c : 흡습이 이루어 진 상태의 시편 질량.[7]

2.4.3 침강실험

침강 실험은 표면 처리에 따른 패브릭의 침강 정도로 소수성을 확인 하기 위한 실험으로, 증류수에 무처리 패브릭과 플라즈마 처리된 패브릭을 넣어 약 24시간 후 변화를 확인 하였다. 패브릭의 사이즈는 1cm × 1cm 이었다.

2.4.4 미세구조 분석

무처리 및 플라즈마 처리, NaOH 처리된 패브릭 표면 분석 및 파단에 의한 단층 촬영은 전계 방사형 주사전자현미경(FE-SEM CZ/MIRA I LMH / H.S. Code: 9012.10.1000)로 이루어 졌다.

3. 결과 및 분석

3.1 플라즈마 처리 시간에 따른 기계적 특성비교

본 연구에서의 기계적 특성 평가의 시편은 총 5종류로 플라즈마 5, 10, 20, 30초 처리한 시편들과 아무런 처리하지 않은 무처리 시편으로 이루어 졌다.

시험한 결과 Fig. 4에 나타난 것과 같이 아무런 처리 과정을 거치지 않은 0초 (무처리) 일 때 인장강도는 86.81 MPa이 나왔다. 5초 플라즈마 처리시 인장 강도는 87.43 MPa이 나와 무처리일 때 보다 0.71% 상승 하였다. 10초 플라즈마 처리 하였을 때 인장강도는 91.16 Mpa으로 무처리 대비 인장강도가 4.97% 증가하여 기계적 특성이 높게 나왔다.

반면 20초 플라즈마 처리시 인장강도는 81.66 MPa, 30초 플라즈마 처리시에는 74.28 MPa로 플라즈마 10초 처리 시간 이후부터는 기계적 특성이 순차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 처리 조건에 따른 기계적 특성비교

처리 조건에 따른 기계적 특성 평가는 각각 무처리 시편, NaOH 처리된 시편, 플라즈마 10초 처리된 시편을 비교 하였다. 그 결과, Fig. 5에 나타난 것과 같이 NaOH 처리된 시편의 경우, 인장 강도가 87.81 MPa로 무처리 시편의 인장강도와 비교하여 1.15% 상승함을 알 수 있었다. 플라즈마 10초 처리된

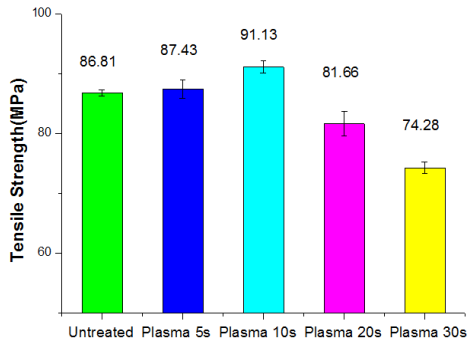


Fig. 4 Tensile strength at various plasma polymerization conditions.

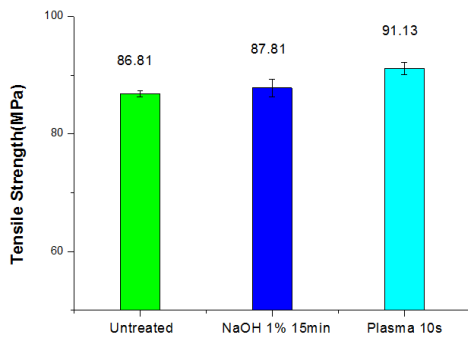


Fig. 5 Tensile strengths with various treatment conditions.

복합재의 인장 강도는 91.13 MPa로 세 종류의 시편 중에서 가장 높음을 알 수 있었다.

또한 Fig. 4의 5초 플라즈마 처리된 복합재의 인장강도인 87.43 MPa와 NaOH 처리된 복합재의 87.81 MPa를 비교해 보면, 두 경우 강도가 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 공정을 비교해 보면 습식 공정을 가지며 긴 건조 과정과 세척 과정을 가지는 NaOH 처리의 경우, 실험적 오차가 많이 발생하므로 연속공정으로 사용하기 힘들다. 하지만 상온·상압 플라즈마 처리 방법을 이용할 경우 건조 공정으로 짧은 처리 시간을 가지며 연속적으로 처리가 가능하므로 실험적 오차를 줄일 수 있었다. 이에 따라 플라즈마 처리가 NaOH 처리법 보다 더 효율적임을 알 수 있다.

3.3 흡수 시험

흡수 시험은 무처리, NaOH 처리, 플라즈마 10초 처리된 시편으로 이루어 졌으며 시험 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

그래프를 분석해 보면 초기 시간에서는 세 개의 시편이 거의 같은 기울기로 상승함을 보이며 초기에 NaOH 처리 시편이 다소 높은 흡수률을 보인다. 20시간 이후에서는 무처리

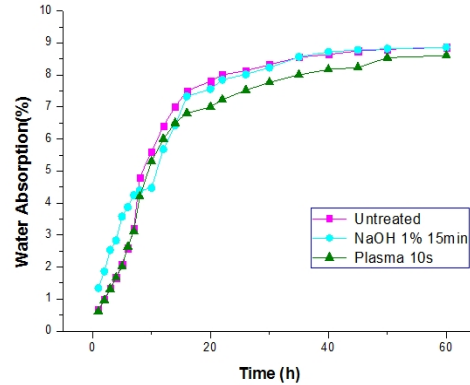
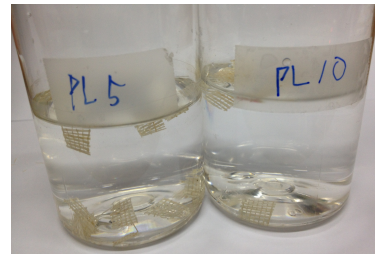


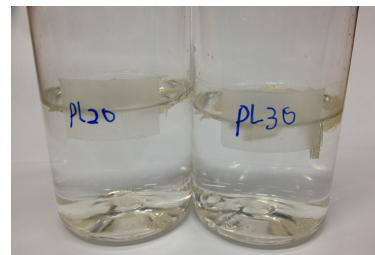
Fig. 6 Water absorption of abaca composites.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Precipitation test in water for different treatments ; (a) untreated and NaOH treated abaca fabric, (b) plasma 5s and 10s polymerized abaca fabric, (c) plasma 20s and 30s polymerized abaca fabric.

시편이 가장 높은 흡습률을 보이며 플라즈마 처리시 가장 낮은 흡습률을 보였다. 무처리 시편의 경우 흡습률이 8.87%로 가장 높았고 플라즈마 처리의 경우 8.60%로 무처리 시편에 비해 약 3.14% 낮게 나왔다.

무처리 시편과 플라즈마 처리 시편의 흡습률이 차이를 보이지 않는 이유는 아바카 패브릭은 다공성 섬유로 패브릭 내부에 수분이 흡습 될 가능성이 크기 때문으로, 흡습 시험만으로는 소수성과 친수성의 차이를 확실히 확인하기란 다소 어려움이 있었다.

3.4 침강 실험

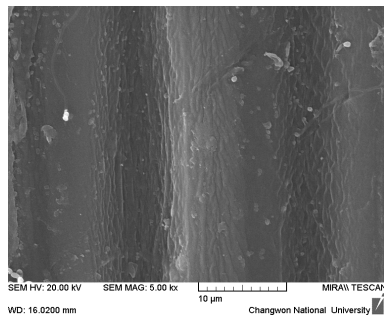
- 침강 실험은 24시간 이 지난 후 결과를 Fig. 7에 나타내었다.
- (a)에 나타난 바와 같이 무처리 패브릭은 거의 가라 앉았고 NaOH처리의 경우 무처리와 비슷한 양상을 보였다.
 - (b)의 경우 플라즈마 5초와 10초 처리를 비교한 것이며 5초 처리시 무처리 패브릭 보다 적은 양이 가라 앉았고 10초 처리의 경우 대부분 물위에 떠있음을 확인 가능하였다.
 - (c)의 경우 20초와 30초 처리된 경우로, 침강 실험으로는 플라즈마 처리 시간이 증가 할수록 물위에 떠있는 패브릭 수가 증가함을 알 수 있었다.

3.5 미세구조 분석

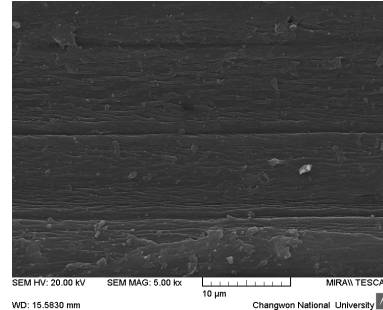
3.5.1 표면처리 된 아바카 패브릭

표면처리에 따른 아바카 패브릭 표면을 Fig. 8에 나타내었다.

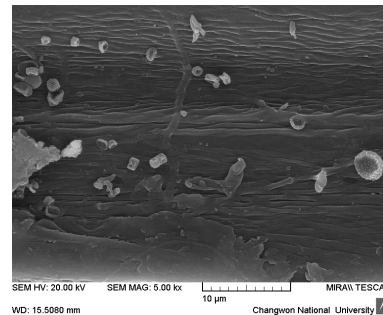
- (a)의 무처리 일 때의 섬유 표면은 매끄러운 표면을 가지고 있다.
- (b)의 플라즈마 5초 처리의 경우 무처리 표면과 큰 차이는 없지만 섬유 표면의 결이 선명 해졌다.
- (c)의 플라즈마 10초 처리 시 무처리, 5초 처리와 비교 하면 표면이 흠집들을 확인 할 수 있으며 무처리에 비해 섬유 결이 더욱 선명해 졌다.
- (d)의 플라즈마 20초 처리된 표면은 섬유 표면에 10초에 비해 많은 흠집을 확인 가능하였다.
- (e)의 플라즈마 30초 처리시 무처리 대비 섬유 표면에 섬유의 연결이 끊어진 것을 확인할 수 있고 20초 처리된 패브릭과 흡사한 정도의 흠집을 확인 할 수 있었다.



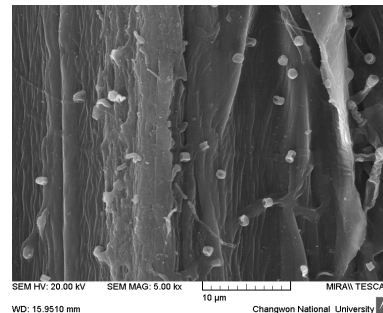
(a)



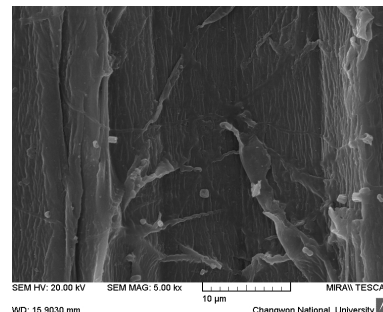
(b)



(c)



(d)



(e)

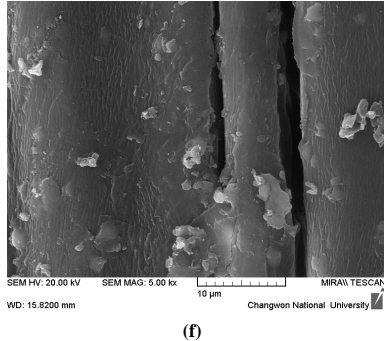


Fig. 8 FE-SEM images of abaca fabric with different treatments ; (a) untreated on abaca, (b) 5s plasma polymerized abaca fabric, (c) 10s plasma polymerized abaca fabric, (d) 20s plasma polymerized abaca fabric, (e) 30s plasma polymerized abaca fabric, (f) 1% 15min NaOH treated abaca.

(f)의 NaOH 처리된 표면은 무처리와 비교하여 표면이 거칠어졌으나 플라즈마 처리된 표면보다 규칙적이지 않았다.

이를 통해 아바카 패브릭은 플라즈마 10초 처리시 표면이 적절량의 흡집을 가지게 되어 높은 기계적 성질을 가지게 되고, 5초일 때에는 그 효과가 적고 20초 처리부터는 표면에 많은 흡집으로 인해 복합재의 기계적 성질이 저하 되었다고 판단 가능하였다.

3.5.2 파단 면 분석

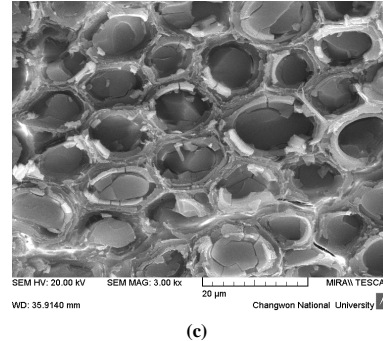
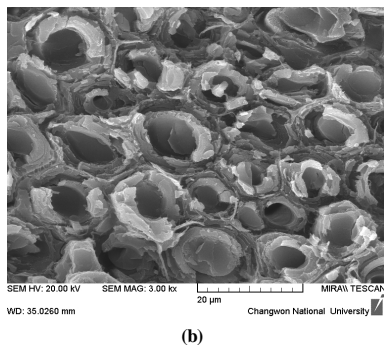
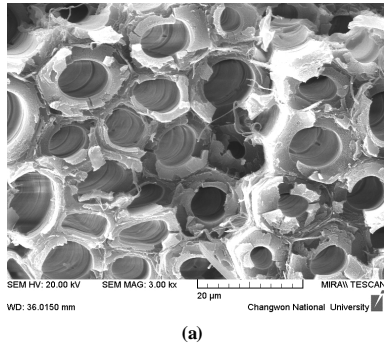


Fig. 9 FE-SEM images of cross section Abaca composites with three different treatments ; (a) Untreated on Abaca, (b) 1% 15min NaOH Treated Abaca, (c) 10s Plasma Polymerized Abaca Fabric.

무처리와 NaOH 1% 15분, 플라즈마 10초 처리한 아바카 패브릭 복합재의 인장시험 후 파단 면을 Fig. 9에 나타내었다.

(a)의 무처리 시편의 경우 섬유 중간에서 pull out 된 것이 확인되었다.

(b)의 NaOH 시편의 경우 에서는 무처리 시편보다 균일한 파단 면을 가지고 있었다.

(c)의 플라즈마 10초 처리한 시편은 (b)와 흡사하지만 조금 더 균일하게 파단 된 것을 확인할 수 있다.

이는 플라즈마 10초 처리시 무처리일 때보다 인장에 대한 저항력이 높았음을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 환경오염을 발생 시키는 탄소 섬유 및 유리 섬유를 대체하기 위하여 연구 되는 자연 섬유 중 아바카 패브릭 복합재의 기계적 특성에 대해 알아보았다.

자연섬유 복합재의 단점인 낮은 강도를 보완하기 위해 친수성을 띄는 아바카 패브릭을 소수성으로 변환 시키고 표면 거칠기를 증가 시켜 수지와와의 계면접착력을 향상 시키고자 하였다. 이를 위해 상온·상압 플라즈마 처리법과 이를 비교하기 위해 NaOH 처리법을 사용하였다. 표면처리 후 VARTM 공정으로 복합재를 제조하여 기계적 특성을 알아보았다.

인장 시험 결과, NaOH 처리시 무처리 된 시편보다 증가된 강도를 확인 할 수 있었으나 습식 공정으로 매우 긴 공정시간을 가졌고 그로 인해 재현의 문제점을 확인하였다.

플라즈마 처리된 시편은 10초 처리시 가장 인장 강도가 높았으며 20초 처리 이후부터는 인장강도가 감소 하였다. NaOH 처리와 비교하여 더 높은 인장강도를 확인하였으며 플라즈마 처리는 건식 공적으로 처리 시간이 짧아 NaOH 처리에 비해 효율적임을 확인하였다.

흡습 시험결과 플라즈마 처리시 흡습률이 낮게 나오는 경향을 보였으나 전체적인 흡습량은 큰 차이는 보이지 않았다.

하지만 침강 실험 결과 무처리에 비해 플라즈마 처리된 패브릭이 침강이 덜 되는 것으로 보아 친수성에서 소수성의 성향을 가지게 되었다고 판단할 수 있었다.

5, 10, 20, 30초 플라즈마 처리 일 때와 무처리, NaOH 처리 표면을 비교한 결과, 플라즈마 처리시 무처리와 비교하여 5초 일 때 보다 10초일 때 패브릭 표면이 더 개질 되었다. 반면 20초 이상의 플라즈마 처리가 이루어 질 경우 섬유에 많은 흠집이 생기며 30초 처리시 섬유가 끊어짐을 확인 하였고 이를 통해 20초 이후의 인장강도 저하 이유를 판단 가능하였다.

무처리 패브릭 복합재료 파단 면을 관찰한 결과 내부 섬유가 pull out 되는 것을 확인 하였고 플라즈마 처리와 NaOH 처리시 섬유가 균일 하게 파단 되는 것을 확인 하였다.

이를 통해 아바카 패브릭 복합재는, 패브릭에 플라즈마 10초 처리 하게 되면 표면처리가 잘되고 기계적 특성이 좋은 복합재를 제조 할 수 있다는 결론을 얻었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 국제공동연구과제, 2012~2013년도 경남 테크노파크 항공우주센터 연구과제 및 2011~2012년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구 되었으며 지원에 대해 진심으로 감사 드립니다.

참고문헌

- 1) Yoon, H.C., "Effect of fiber orientation on failure strength properties of natural fiber reinforced composites including adhesive bonded joints," *Journal of The Korean welding and joining Society*, Vol. 24, No. 5, 2006, pp. 43-48.
- 2) Nguyen, M.H., Kim, B.S., Ha, J.R., and Song, J.I., "Effect of plasma and NaOH treatment for rice Husk/PP composites," *Journal of Advanced Composite Materials*, Vol. 20, No. 5, 2011, pp. 435-442.
- 3) Kang, M.K., "Three- dimensional numerical simulation of mold-filling and void formation during vacuum-Assisted resin transfer molding," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 17, No. 3, 2004, PP. 1-7.
- 4) Kim, B.S., Kim, M.M., Ha, J.R., Um M.K., and Chun B.H., "Effect of plasma treatment on lyocell fabric/PLA," *High Performance Structures and Materials*, Vol. 112, No. 1, 2010, pp. 271-277.
- 5) Ha, J.R., Park, H.J., Kim B.S., and Song J.I., "Study of plasma polymerization on wood powder/PP composites Interface," *Proceeding of the Korean Society for Composite Materials*, Changwon, Korea, Nov. 2011, pp. 27-28.
- 6) Marissa, A.P., Blessie, A.B., Jo, A.S., and Kim, B.S., "Mechanical properties of alkaline woven abaca fabric composite," *Proceeding of the Korean Society for Composite Materials*, Changwon, Korea, Nov. 2011, pp. 55-56.
- 7) Kim, M.M., Nguyen, M.H., Kim, B.S., and Lim, J.Y., "Effect of plasma and NaOH treatments on rice husk/PP," *Proceeding of the Korean Society for Composite Materials*, Daejeon, Korea, Nov. 2009, pp. 297-300.
- 8) Ha, J.R., and Denni, K., "Effect of electrode size in atmospheric plasma polymerization on acetate taffeta fabric" *Proceeding of the Korean Society for Composite Materials*, Jeju, Korea, Nov. 2010, pp. 134-134.
- 9) Kim, B.S., Nguyen, M.H., Hwang, B.S., and Lee, S., "Effect of plasma treatment on the mechanical properties of natural fiber/PP composites," *Journal of High Performance structures and Materials*, Vol. 97, No. 12, 2008, pp. 159-166.