

<연구논문(학술)>

에폭시 수지 적용 아라미드 및 탄소섬유 복합재료의 물성연구

서대경 · 하나라 · 이장훈 · 박현규¹ · 배진석^{1,†}

DYETEC연구원, ¹경북대학교 섬유시스템공학과

Property Evaluation of Epoxy Resin based Aramid and Carbon Fiber Composite Materials

Dae-kyung Seo, Na Ra Ha, Jang-hun Lee, Hyun-Gyu Park¹ and Jin-Seok Bae^{1,†}

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

¹Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: November 13, 2014 / Revised: December 26, 2014 / Accepted: March 17, 2015)

Abstract: Recently, super fiber reinforced composite materials are widely used in many industries due to high mechanical properties. In this study, 2 different types of composite materials were manufactured in order to compare their mechanical properties. Carbon and Aramid fibers were used for reinforcement materials and Bisphenol-A type epoxy resin was for matrix. Two kinds of fiber-reinforced materials were manufactured by RIM(Resin Injection Molding) method. Before manufacturing composite materials, the optimal manufacturing and curing process condition were established and the ratio of reinforcement to epoxy resin was discussed. FT-IR analysis was conducted to clarify the structure of epoxy resin. Thermal and mechanical property test were also carried out. The cross-section of composite materials was observed using a scanning electron microscope(SEM).

Keywords: RIM method, epoxy resin, composite materials, mechanical properties, FT-IR and DSC analysis

1. 서 론

현재 세계적으로 의류용 섬유 소재와 더불어 산업용 섬유 소재에 대한 필요성의 증가와 개발에 대한 시급성이 강조되고 있는 가운데 다양한 분야의 연구개발이 진행되고 있다. 특히 건축 및 토목용 소재, 전기 전자 제품용 소재, 산업용 벨트, 스포츠 용품, 우주 및 항공기 소재, 풍력 발전, 자동차 소재 등의 분야에서 많은 연구 개발이 진행되고 있는 가운데 복합재료 소재에 대한 관심이 증대되고 있다^{1,2)}.

복합재료는 금속 보다 가볍고 강도가 뛰어나며 화학적인 물성도 지니고 있어 많은 분야에서 사용되고 있다. 복합재료는 기지 재료(Matrix material)와 강화 재료(Reinforcing material)로 구성되며 대표적

인 기지 재료는 열경화성 특성을 가진 에폭시 수지가 있다. 에폭시 수지는 경화 시 저 수축성 특성을 가지며 경화 후 기계적, 화학적, 열적 우수한 특성과 전기절연성을 나타내 복합재료 성형 시 많이 사용된다. 또한 강화재료로써 아라미드 섬유와 탄소 섬유는 섬유 자체적으로 우수한 강도를 지니며, 에폭시 수지와 같이 경화시키면 비강도, 비탄성률이 뛰어난 복합재료 제품을 만들 수 있다^{3,4)}.

본 연구에서는 산업 전반에 걸쳐 사용 빈도가 높아지고 있는 복합재료의 물성연구를 실시하여 최적의 복합재료 제작을 하고자 한다.

2액형 비스페놀 A형 에폭시 수지를 사용하여 탄소 섬유, 아라미드 섬유 강화 복합재료를 RIM(Resin Injection Molding) 방식으로 성형하여 각각의 물리·화학적 물성 테스트를 실시하고자 한다⁵⁾.

복합재료 제작에 앞서 에폭시 수지 분석을 통해 물성을 파악하였으며, 연구를 통해 정해진 실험조건으로 각각의 복합재료를 성형한 후 각 샘플들의

[†]Corresponding author: Jin-Seok Bae (jbae@knu.ac.kr)

Tel.: +82-53-950-7281 Fax.: +82-53-950-6617

©2015 KSDF 1229-0033/2015-3/11-17

물리적, 화학적 강도 비교 테스트를 실시하고자 한다^{6,8)}.

2. 실험

2.1 실험 재료

본 실험의 강화 재료로 사용된 아라미드 섬유는 파라 아라미드 Heracron(1500d) 원단(Kolon Industries Inc., Korea)을 사용하였으며, 탄소섬유는 NCF(Non Crimp Fiber)형의 12k 탄소섬유 직물(Toray Co., Ltd., Korea)을 사용하여 잔사풀림 현상을 적게 발생시켜 물성 구현을 최대화 하였다⁹⁾. 각각의 섬유 두께는 아라미드섬유는 0.54mm, 탄소섬유는 0.36mm 이며, 몰드의 크기에 맞게 360mm x 85mm 크기로 절단하였다. 매트릭스 소재로는 2액형 에폭시 수지를 사용하였으며, 수지로써 Bisphenol A형의 에폭시 수지 KFR-120(Kukdo Chemical Co., Ltd., Korea)와 경화제로써 KFH-163 제품을 사용하였으며 수지와 경화제는 Table 1과 같은 성질을 가진다.

2.2 복합재료 성형

복합재료 제조에 사용된 성형기는 IL-BEOM사에서 제작된 저압 RIM 성형장치(VMP-2000)이며 몰드를 사용하여 탄소섬유, 아라미드섬유가 각각 1겹, 2겹, 3겹을 적층한 사이즈 가로 세로 360mm x 90mm, 두께 3T의 복합재료를 성형하였다. 또한 Table 2와 같은 양의 에폭시수지와 경화제를 혼합

하여 진공상태에서 몰드안으로 주입하였다.

2.3 경화조건

성형 과정을 통해 몰드 안에 충분한 양의 강화 섬유와 에폭시 수지가 함침하게 되면 경화과정을 통해 복합재료가 제작된다. 만약 복합재료의 경화를 위해 100℃ oven에서 열에 의한 경화가 이루어지면 에폭시 수지의 발열반응에 의한 밀도 불균일, 발포 등의 문제로 물성저하를 일으킬 수 있다¹⁰⁾. 또한 알루미늄 소재의 몰드에 열을 가하였다가 냉각시키게 되면 열팽창 및 수축에 의해서 복합재료 탈착에 어려움을 겪게 된다. 따라서 상온경화가 가능한 2액형 에폭시 수지 KFR-120를 사용하여 상온에서 하루동안 경화를 시켜준 후, Figure 1과 같은 경화조건을 통해 160℃에서 12시간 후경화를 시켜 주었다.

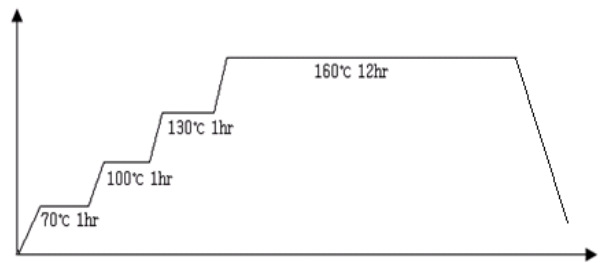


Figure 1. After-Curing process condition.

Table 1. Properties data of KFR-120 and KFH-163

	Epoxy/ Hardener (wt%)	Density of mixture (g/mL)	Viscosity of mixture (cps)	Pot life(min)	
				25 °C	65RH 100g scale
Epoxy	KFR-120	1.0~1.2	200~400	350	
Hardener	KFH-163				

Table 2. Resin weight of tank A, B according to pump(rpm)

Tank	Pump(rpm)	Weight(g)
A(Epoxy)	204	226.86
B(Hardener)	125	65.66

2.4 에폭시 수지 특성 평가

복합재료 성형 전 에폭시 수지의 열적 특성 및 구조 분석을 위해 DSC(Differential scanning calorimetry) 시험과 FT-IR 구조 분석을 실시하였다. 유리전이온도(Tg), 경화온도, 용융점(Tm)을 측정하기 위해 DSC 분석을 실시하였으며, 0~500°C, 10°C/min 속도로 열을 가해주고 다시 서서히 냉각하여 열용량의 변화를 측정하였다. 또한 Bisphenol-A 형의 에폭시 수지가 가진 특정 작용기의 존재유무를 파악하기 위해 FT-IR 분석을 실시하였다.

2.5 복합재료의 물성 평가

본 실험을 통해 성형한 각각의 섬유강화 복합재료의 기계적/화학적 물성평가를 실시하였다.

복합재료의 물리적 물성평가를 위해 인장시험을 실시하였으며 KS M ISO-527-2에 준하여 5mm/min 속도로 시료를 인장시켰으며 시편은 90mm x 15mm의 3T 두께로 준비하였다^{11,12}. 또한 복합재료의 계면간의 힘과 함침성을 관찰하기 위해 층간전단강도 시험과 SEM(Scanning electron microscope) 촬영을 실시하였다. 열적안정성 TEST를 위해 TGA (Thermogravimetric analyzer)분석을 실시하였으며 5°C/min의 속도로 승온시켜 열에 의한 중량 감소를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 에폭시 수지의 DSC 분석

에폭시 수지의 열에 의한 형태거동을 알아보기

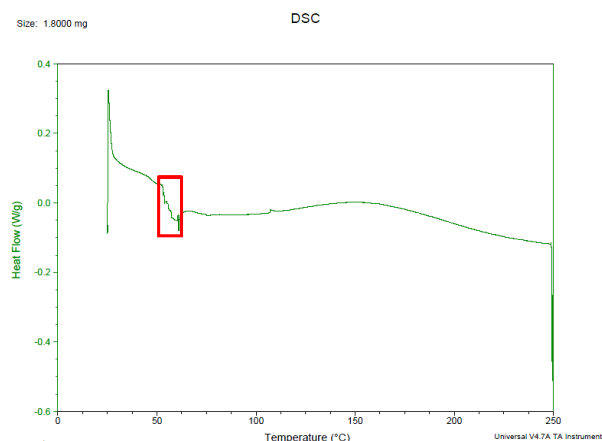


Figure 2. The result of DSC test for cured epoxy resin.

위해 DSC 분석을 실시하였다.

Figure 2는 경화된 고체상태의 에폭시의 DSC 분석 값이며, 50°C부근 부터 60°C까지 흡열반응이 일어나는 것을 볼 수 있으며 이 구간에서 에폭시 수지의 고분자 분자사슬의 무정형 영역 일부분이 열에 의해 회전하기 시작하며 이 온도 범위를 유리전이온도라고 한다. 유리전이온도 이후 에폭시 수지는 특별한 열 유속 변화를 관찰할 수 없다.

에폭시 수지의 경화온도와 용융점을 측정하기 위해 100:29(wt%)로 혼합된 에폭시 수지와 경화제를 사용한 DSC 결과 값으로 Figure 3과 같이 123°C 부근에서 peak가 가장 높았다. 이것은 액체상태의 에폭시 수지의 경화에 의한 발열반응으로 해석할 수 있으며, 325°C에서 흡열반응을 보였다. 이를 통해 이 부근에서 경화된 에폭시의 상태 변화가 일어난 것을 관찰할 수 있다.

3.2 FT-IR 분석

에폭시 수지의 FT-IR 분석을 함으로써, 본 실험에 사용된 KFR-120의 분자구조 분석을 실시하였다. 기본적인 에폭시의 분자구조는 Figure 4와 같으며 Figure 5는 대표적인 Bisphenol A형의 에폭시 수지인 Diglycidyl ether of bisphenol A(DGEBA)를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 KFR-120 에폭시 수지 역시 Bisphenol A형으로 넓은 O-H 작용기 peak를 3675cm⁻¹-3685cm⁻¹에서 발견할 수 있었다. 다음 2900cm⁻¹대의 강한 peak는 SP³형태의 C-H(stretching 구조)이며, 1607cm⁻¹과 1582cm⁻¹ 영역에서 조금 약한 peak를 통해 벤젠고리에 위치한 C-C 구조를 발견할 수 있다. 그 다음 1230cm⁻¹에서 발견할 수 있는 peak는

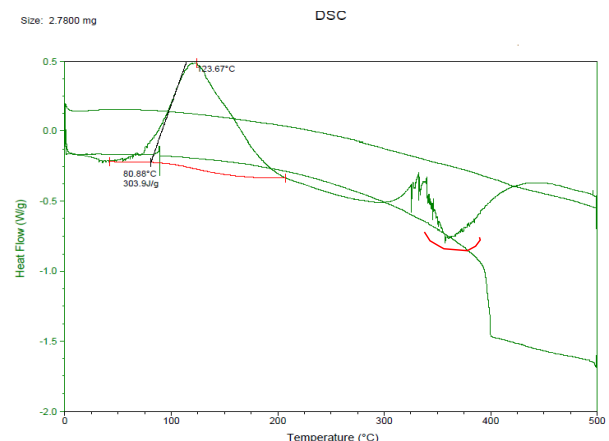


Figure 3. The result of DSC test for hardener mixed liquid epoxy resin.

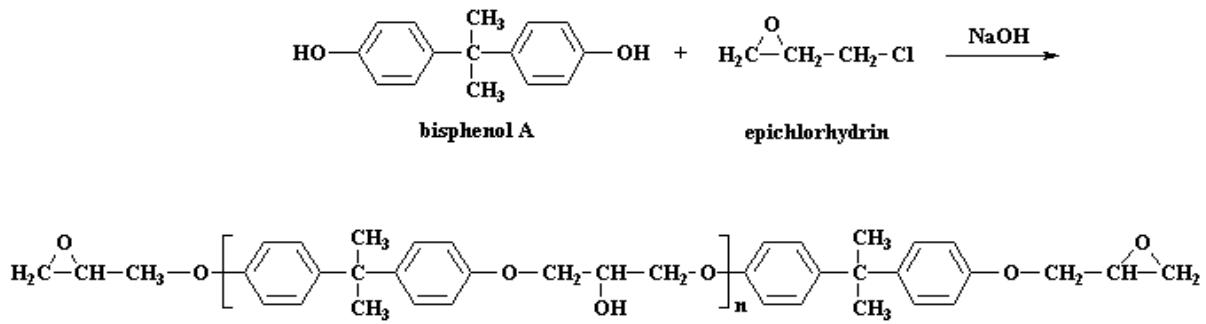


Figure 4. Synthesis process of diglycidyl ether of bisphenol A(DGEBA).

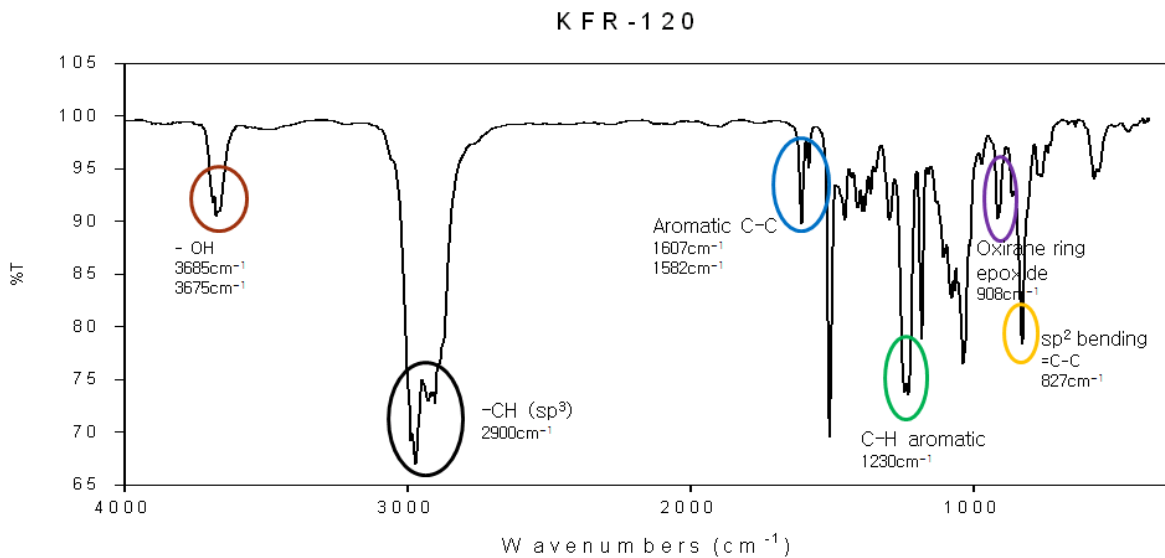


Figure 5. FT-IR analysis of epoxy structure.

평면구조인 벤젠고리에서 C-H를 나타내며, 908cm⁻¹에서 중간세기의 peak가 발견되는데 이것은 에폭시 수지 말단의 oxirane ring으로 여겨지며 에폭사이드(cyclic ether)의 존재를 확인할 수 있다. 마지막으로 827cm⁻¹에서 나타난 것은 벤젠고리에 있는 bending형 sp²형태인 =C-H 구조로 해석된다. 이를 통해 에폭시가 가지는 물리/화학적 특성을 잘 나타낼 것으로 예상된다.

3.3 섬유 단면 관찰

복합재료 아라미드 복합재료의 자른 단면 부분의 SEM 분석결과 2겹, 3겹을 적층시킨 복합재료 모두 에폭시 함침이 전체적으로 잘 되어 있는 것을 관찰할 수 있었다(Figure 6).

하지만 복합재료 일부는 수지의 함침이 제대로

이루어지지 않았으며 미세한 파단면 조직을 보여주고 있다. 이것은 아라미드 복합재료 성형 중 미세한 섬유조직 사이로 에폭시 수지의 함침이 제대로 이루어지지 않은 채 경화가 되었거나 경화를 마친 복합재료의 water-jet을 통한 절단 과정 중 경화된 에폭시 일부가 떨어져 나간 것으로 생각되며 이를 통해 물리적 물성 값이 다소 감소할 것이라 예상된다.

3.4 인장강도 특성

복합재료의 인장강도를 측정하기 위해 시편은 5mm/min 속도로 인장시켜 주었다. 실험 결과 모든 부분에서 3겹을 적층한 아라미드, 탄소섬유 복합재료가 우수한 물성을 나타내었으며 각각의 AFRP, CFRP는 Table 3, Table 4와 같은 인장특성을 나타내었다.

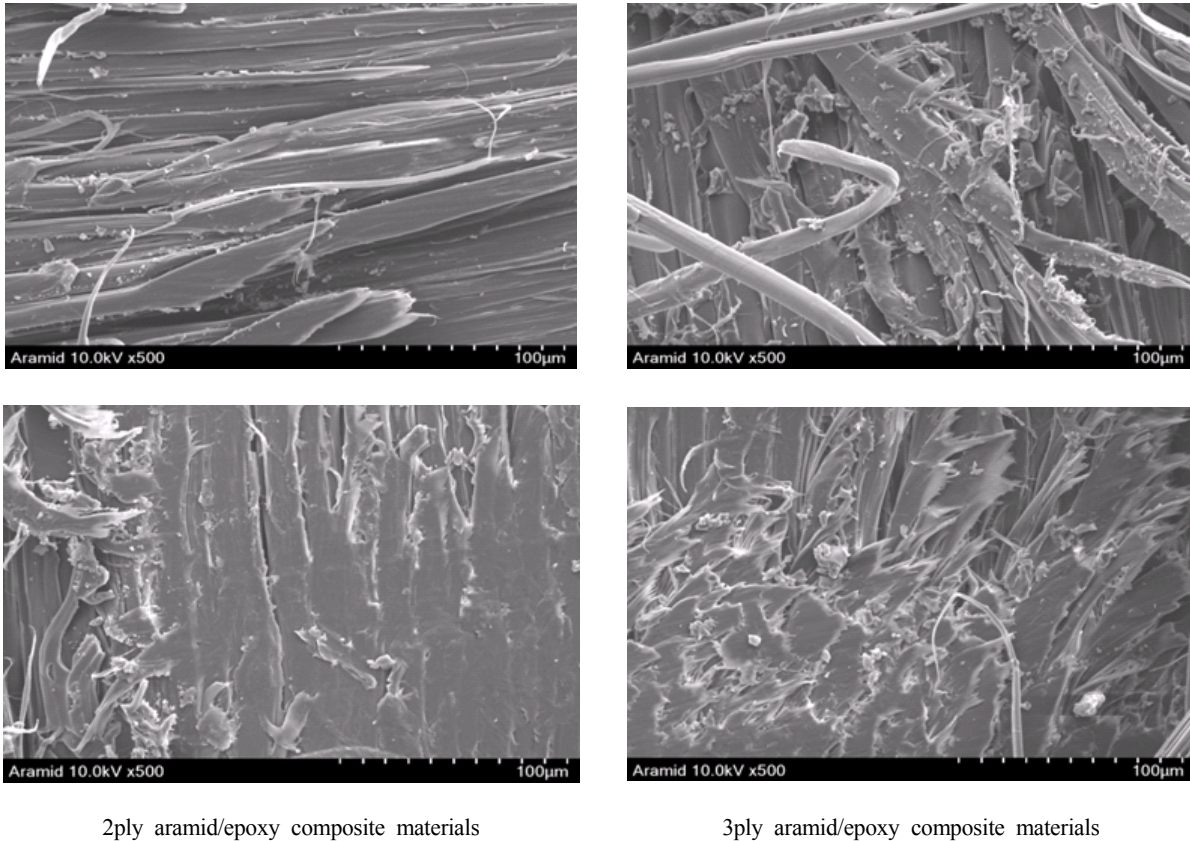


Figure 6. SEM image of cross-section of aramid/epoxy composite materials(x500).

3.5 층간전단시험

본 TEST의 실험조건은 3000N의 로드셀을 사용하여 1mm/min의 속도로 힘을 가해주었다. 또한 시료의 크기는 폭 6mm, 두께 3mm로 절단하여 TEST를 진행하였다. 결과는 Table 5와 같이 나타났다. 탄소섬유 복합재료가 아라미드 복합재료보다 층간전단강도 값은 인장특성과 같이 더 높은 물성을 구현하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

DGEBA형의 KFR-120 에폭시 수지의 물성연구와 경화제(KFH-163)를 이용한 아라미드 섬유 복합재료를 저압 RIM 성형기를 이용하여 제조하였다. 성형한 복합재료의 물성 평가를 위해 각 샘플들의 여러 가지 TEST가 진행되었으며, 사용되는 강화섬유수에 따른 복합재료 샘플의 물성 비교를 실시하였다. 본 실험을 통해 연구하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 에폭시 수지의 DSC 분석결과 50℃ 부근에서 Tg, 123℃에서 에폭시수지와 경화제가 열에 의한 경화가 일어났으며 325℃ 부근에서 상태변화가 나타났다.
2. FT-IR 분석결과 DGEBA형의 에폭시 수지에서 나타나는 대표적인 작용기를 KFR-120에서도 발견할 수 있었다.
3. SEM촬영을 통한 복합재료 단면부를 관찰해보면 전반적으로 수지가 섬유상에 함침이 잘 이루어져 있는 것을 볼 수 있다.
4. 인장강도, 층간전단강도 TEST 결과 아라미드 탄소섬유의 적층수에 따른 물리적 강도 향상을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통산자원부 슈퍼소재융합제품산업화사업(10046278, 슈퍼섬유소재 불소수지코팅 및 열경화성수지를 활용한 복합재료 제품화 기반 기술개발)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

Table 3. Tensile properties of AFRP(Aramid fiber reinforced plastics)

	No.	MAX strength [N]	Max elongation [%]	Young's modulus [MPa]	Tensile strength [MPa]
1ply	1	4,125.4	1.7	6,748.1	91.68
	2	3,894.2	1.5	6,185.2	86.55
	3	3,785.2	1.5	6,233.4	84.13
2ply	1	4,361.8	2.0	7,475.4	96.93
	2	5,028.2	2.6	7,011.4	111.74
	3	5,060.0	2.9	7,159.7	112.45
3ply	1	6,788.3	3.7	7,939.1	150.85
	2	6,722.9	3.6	8,342.3	149.40
	3	6,503.8	3.0	8,751.2	144.53

Table 4. Tensile properties of CFRP(Carbon fiber reinforced plastics)

	No.	MAX strength [N]	Max elongation [%]	Young's modulus [MPa]	Tensile strength [MPa]
1ply	1	4,524.3	1.9	7,848.1	100.56
	2	4,468.2	2.0	7,246.2	99.31
	3	4,675.4	2.2	7,411.2	103.91
2ply	1	6,181.8	3.3	8,142.8	137.39
	2	6,045.7	2.9	8,054.8	134.37
	3	5,984.7	3.2	7,942.5	133.01
3ply	1	7,345.2	3.8	9,154.5	163.25
	2	7,551.3	4.1	9,024.3	167.83
	3	7,483.5	3.9	8,875.2	166.33

Table 5. Interlaminar shear strength(ILSS) of AFRP and CFRP

	AFRP		CFRP	
	No.	ILSS (N/mm ²)	No.	ILSS (N/mm ²)
1ply	1	112.14	1	138.15
	2	120.84	2	130.22
	3	121.45	3	129.24
	avg.	118.14	avg.	132.54
2ply	1	95.81	1	149.13
	2	147.61	2	156.95
	3	146.70	3	153.56
	avg.	130.04	avg.	153.21
3ply	1	133.30	1	158.12
	2	145.11	2	160.34
	3	146.43	3	162.74
	avg.	141.61	avg.	160.40

References

1. J. W. S. Hearle, "High-Performance Fibers", Woodhead Publishing Ltd., New York, pp.23-58, 2001.
2. W. Brostow, J. Kubat, and M. M. Kubat, "In Physical Properties of Polymers Handbook", Wiley-Interscience, New York, pp.313-334, 1996.
3. M. Lee, S. B. Bae, J. K. Park, and S. G. Lee, The Development of High Performance Non-composites with Carbon Nanotube, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(2), 71(2014).
4. C. A. Harper, "Handbook of Plastics, Elastomer and Composites, 3d ed.", McGraw-hill, New York, 1996.
5. S. H. Lim, C. S. Ha, and W. J. Cho, Short Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites 2, Effect of Curing Acceleration of Epoxy Matrix and Mechanical Properties of Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites, *Polymer*, **16**(2), 216(1992).
6. M. C. Andrews, D. J. Bannister, and R. J. Young, Review The Interfacial Properties of Aramid/Epoxy Model Composites, *J. of Materials Science*, **31**, 3893(1996).
7. G. C. Huang, C. H. Lee, and J. K. Lee, Thermal and Mechanical Properties of Short Fiber-Reinforced Epoxy Composites, *Polymer*, **33**(6), 530(2009).
8. S. H. Lee and J. O. Lee. Matrix Resin Systems with Different Molar Ratios to Improve the Properties of Fiber-reinforced Composites, *Polymer*, **24**(4), 459(2000).
9. J. W. Cho, S. J. Kwon, J. D. Choe, S. T. Kim, B. C. Ji, and J. H. Yeum, Preparation and Charaterization of Shock Energy Absorber Lanyard used Super Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(3), 173(2014).
10. J. Y. Han, M. H. Kim, and S. S. Kang, A Study on the Physical Property of Epoxy Resin Due to After-Curing Condition, *J. of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, **21**(6), 976(2012).
11. Y. Du, Y. Xue, and H. L. Frisch, "In Physial Properties of Polymers Handbook, edited by J. E. Mark", Wiley-Interscience, New York, pp.227-239, 1996.
12. G. C. Huang, C. H. Lee, and J. K. Lee, Thermal and Mechanical Properties of Short Fiber-Reinforced Epoxy Composites, *Polymer*, **33**(6), 530(2009).