

필라멘트 와인딩법에 의한 高機能性

複合材料 開發에 관한 研究

許 康文¹⁾ 金 秉善²⁾ 金 允海³⁾

A Study on the Development of High Functional Composites by Filament Winding Process

Kang-Moon, Hur Byung-sun, Kim Yun-Hae, Kim



Abstract

Filament winding process is widely used for composite fabrications using low viscosity liquid formation and processing a symmetrical structures of pressure vessel, pipe, rocket motor case etc.

Generally, filament winding has more less productive than the other methods, but could control flexible winding angle of designs. It has a good physical results, reinforcing the continuous fiber or short fiber. The filament winding method is affected by several parameters such as pot life of process time, viscosity of resin, filament winding temperature and schedules, curing state, post curing state of resin factor. The degree of resin impregnation and void contents were measured by tension. It was found that the proper condition of tension and the degree of resin impregnation is very good in our experimental range. To develop high functional composite materials the rotation(5, 10, 15, 20, 30rpm) was controlled by D.C motor. It is experimented that insert spring into strand parts to

1) 韓國海洋大學校 材料工學科 碩士課程 材料工學專攻

2) 韓國機械研究院 複合材料部 室長

3) 韓國海洋大學校 材料工學科 教授

give it proper tension because roving parts come very quickly. And the wiper to give proper tension was equipped between strand and resin bath. The resin is hooked by the design wiper and the viscosity of resin was measured by viscometer. The adequate cure schedule was found by DSC. NOL ring test is carried out to investigate the basic physical properties such as stress analysis, design technology of structure.

Key Words ; Continuous Fiber, Pot Life, Void, Wiper, NOL Ring Test,
High Functional Composite Material, Fiber Volume Fraction,

1. 序 論

복합재료는 성분이나 형태가 다른 두 가지 이상의 소재가 거시적(Macroscopic)으로 혼합되어 각각이 가진 물성의 장점을 살린 새로운 재료를 의미한다. 혼합된 재료는 주로 하중을 감당하는 보강재와 결합하여 하중을 보강재에 잘 전달하고 외부로부터 보강재로 나쁜 영향을 줄여주는 기지재료로 구별된다. 이러한 복합재료의 장점으로 는 高强度, 高剛性度, 耐環境性이 좋으며 재료의 機械的, 物理的 성질에 방향성이 있어서 부품의 하중 및 기타 상황에 따른 실제 적용의 효율화가 가능하며 부품의 일체화도 용이한 점 등이 장점이고, 생산공정의 자동화 및 수작업이 많아서 고른 품질관리가 어려우며 생산단가가 높고 사용되는 재료의 종류가 많으며, 상대적으로 단기간에 새로운 재료의 출현이 가능하므로 재료 및 성형공정의 자료축적이 용이하지 않다. 이방성을 고려한 제품의 최적설계 또한 쉽지 않다는 것이 단점이다. 본 논문에서는 복합재료가 우수한 비강도 및 비탄성률, 내피로특성, 내충격 특성을 가지기 때문에 항공기, 자동차, 스포츠·레저용품 및 기타 제품의 재료로 많이 쓰이고, 여러 성형공정 등으로 제조가 가능하지만, 본 연구에서는 필라멘트 와인딩의 성형기술 개발을 위한 요소기술을 확보하기 위해서 제조시 수반되는 여러가지 문제점에서 장력과 섬유함유량의 관계를 알아내어서 고기능성 복합재료의 개발함을 그 목적으로 한다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 실험장치

2.1.1 필라멘트 와인딩 기계의 구조와 기능

Fig. 1에 있는 필라멘트 와인딩 기계의 구성은 크게 본체(Main Body)와 조절기(Controller Panel)로 되어 있고, 고온 수지로 와인딩한 제품을 경화하기 위한 경화오븐(Curing Oven)과 성형품을 빼내기 위한 탈형기로 구성되어 있다.

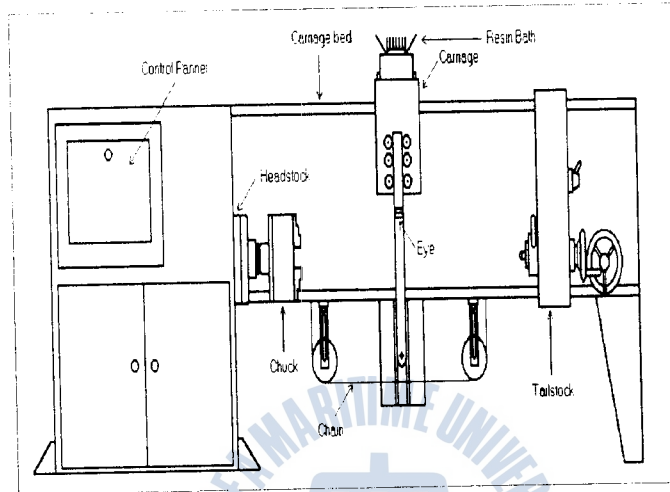


Fig. 1 Filament Winding Machine

(1) 본체(main body)

본체는 Headstock, Tailstock, Base, Carriage, Carriage Bed, Resin Bath, Eye, Eye Bath로 구성되어 있다.

(2) 큐어링 오븐(Curing Oven)

필라멘트 와인딩 기계에서 제작한 FRP파이프와 Molding제품을 경화하기 위한 용도로 경화오븐을 이용하였다.

(3) 탈형기

필라멘트 와인딩 기계에서 제작한 FRP 파이프와 몰딩(Molding)제품을 경화한 후 복합재료를 맨드렐로부터 탈형 시키기 위해서 탈형기를 사용하였다.

2.1.2 필라멘트 와인딩 기계에 의한 성형법

필라멘트 와인딩 방법에서 가장 널리 사용된 것은 함침식 와인딩 방법인데, 사용재료의 가격이 싸고 수지 혼합 장비를 갖고 있는 사용자는 다른 제품을 생산할때 각 제품의 특성에 맞도록 선택할 수 있는 장점이 있다. Fig. 2는 필라멘트 와인딩의 흐름도를 나타내었다.

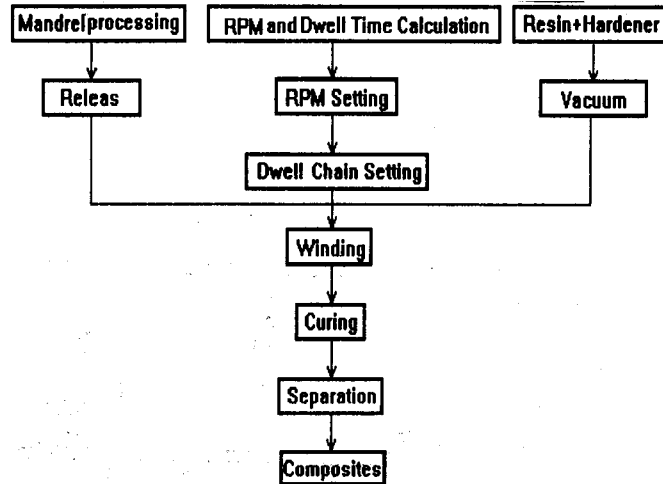


Fig. 2 Schematic Architecture of Filament Winding

2.2 사용재료

(1) 보강재료(Fiber)

본 실험에서는 고성능 복합재료의 특성과 설계조건에 맞추어 강도와 탄성률이 비교적 양호한 탄소섬유인 태광산업(한국)사의 TZ-307 탄소섬유와 오웬스 코어링(미국)사의 유리섬유인 S-2Glass 로빙(Roving)을 사용하였다.

(2) 수지

필라멘트 와인딩시 수지의 함침이 잘되도록 하기 위해서는 수지의 취급상 필요한 몇 가지의 조건이 필요한 데, 그 필요조건으로서 점도가 저점성이어야 하고, 가사수명이 가능한 긴 것이 좋지만, 일반적으로 6시간 이상이 되어야 하며, 유동성이 적어야 한다. 본 실험의 제작조건을 고려하여 저점성, 좋은 함침성(젖음성), 저탄성도, 긴 가사수명의 에폭시를 선택하였는데, 이것은 저온의 경화와 고온용이면서도 연신율이 커서 충격에도 양호한 특성을 갖고 있는 것으로서, IPCO National(주)의 24847A(resin)와 2347B(Hardener)를 선택하였다.

2.3 장력원리

와인딩시 장력장치의 개략도는 무게를 조절하는 장치를 만들어 장력을 부여하였다. 그리고 그 무게와 θ 의 값에 따른 T (장력값)를 계산하여 Fig. 3의 장력의 원리로서 값을 계산하였다.

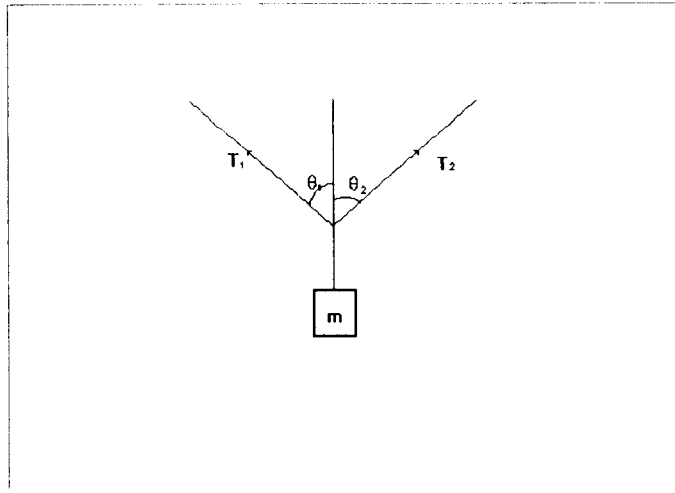


Fig. 3 Schematic of Tension

$$T_1 \cos \theta_1 + T_2 \cos \theta_2 = mg \quad \text{--- ①}$$

식 ①에서

$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta$ 이고, $T_1 \approx T_2 \approx T$ 이다.

$$2T \cos \theta = mg$$

$$T = \frac{mg}{2 \cos \theta} \quad \text{--- ②}$$

식 ②에서 장력(T)을 계산하여, 그 값에 따른 장력과 힘의 관계를 Fig. 4에 나타내었다.

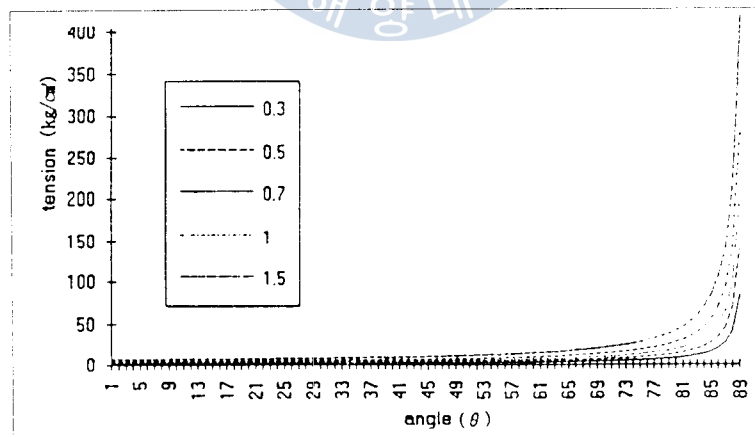


Fig. 4 Relationship between Angle and Tension

2.4 고기능성 복합재료의 신행

(1) 매트릭스 제작

- 맨드렐설계 → 자재구입 → 맨드렐가공 → 이형처리
 ▶ 치수설계 ▶ 고강도 Pipe ▶ 맨드렐 ▶ 세척 및 건조
 ▶ SC45 ▶ 탈형 및 가공치구제작 ▶ 열 및 왁스처리

(2) 성형의 조건 및 성형

필라멘트 와인딩 작업에서 와인딩 작업을 시작하기 전에 시뮬레이션을 하여야 한다. 저렴한 가격인 유리섬유로서 와인딩하여 실제 계산된 와인딩 데이터(Data)와 같다는 것을 확인하였다. Fig. 5~7는 CNG, Specimen, Tube의 성형과정을 나타내었다. CNG의 성형시 적절한 섬유 함유량의 조건을 찾아내기 위하여 Specimen을 제작하여 적절한 섬유함유량을 찾아서 Tube를 성형하였다. 성형의 조건은 Table 1에 나타내었다.

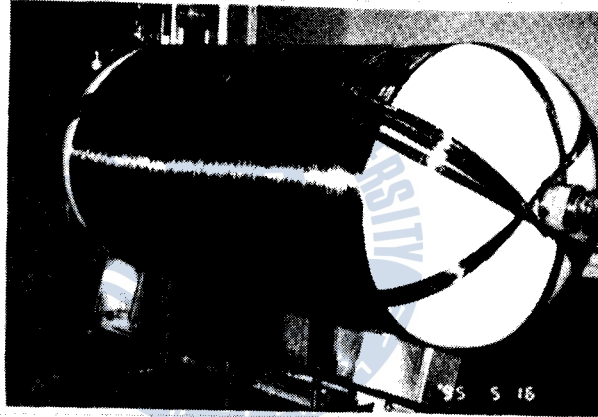


Fig. 5 CNG Process

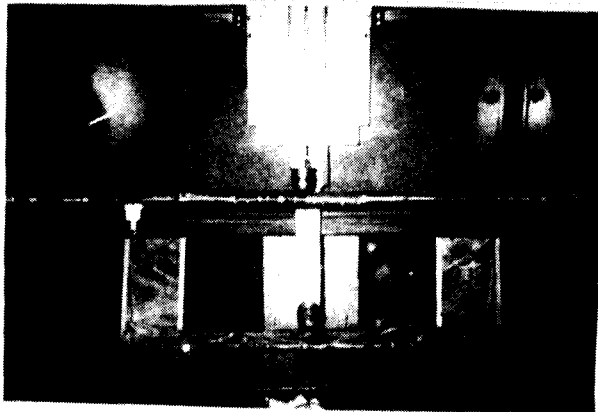


Fig. 6 Specimen Process

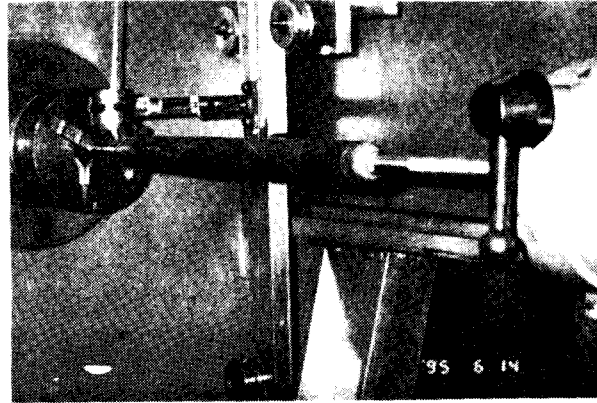


Fig. 7 Tube Process

Table 1 Items of Specimens during Process

Conditions		Goods	Specimen	Tube
Fiber	User		Carbon Fiber(Tae Kang ind.)	S 2 Glass Roving(Owens Corning)
	Width		3.4mm	6mm
	Use weight		50g	204g
Resin	User		Epoxy Resin(IPCO National): High Temp.	
	Mix		100g(Resin) + 7.5g(Hardener)	200g(Resin) + 15g(Hardener)
	Use weight		107.5g	215g
Winding	Helical	Spindle	Conditions	2.03RPM
		Carriage		1.13RPM
	Hoop	Spindle		6.00RPM
		Carriage		0.06RPM
Order		[90] ₂₀₋₅₀	[15] ₄ and [90] ₂₀₋₅₀	
Curing Schedule		25°C → 60°C (3hours) → 140°C (1hours) → Room temp. (3°C/min) (3°C/min) (3°C/min)		
Spending time	Winding	Hoop:1hour		Helical:50min(1layer) Hoop:5min Total:31hour 30min
	Curing	8Hours		8Hour
Weight	Mandrel			3824g
	Composites			276g(Resin+Hardener)+72g.Fiber (204g)
	Total			about 4100g

3. 實驗結果 및 考察

3.1 실험과정

3.1.1 Specimes 과 Tube

Fig. 8는 Specimes의 조건을 나타내었고, Table 2은 Specimen의 장력과 회전수 관계에서 시편의 번호를 나타낸 것이다. Fig. 9과 10에서 조직사진을 나타낸 것이다. Fig. 11는 Tube의

시편을 유리섬유와 탄소섬유를 사용하여 성형품을 나타낸 것이다. Fig. 12은 조직사진을 찍은 부분을 표시하였고, Fig. 13과 Fig. 14에 조직사진을 나타내었다.

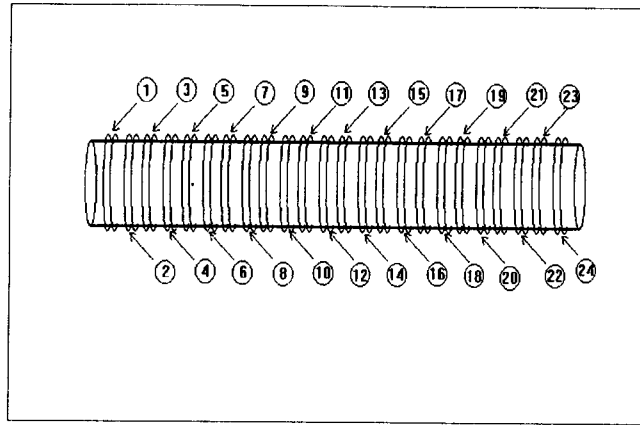


Fig. 8 Microstructural Parts of Specimens

Table 2 Relationship between Tension and Speed according to Specimens Number

Tension (Kg/cm ²) \ Rotation(rpm)	-	4 [300g]	5 [500g]	6 [700g]	7 [1000g]	8 [1500g]
5	1	5	9	13	17	22
10	2	6	10	14	18	23
20	3	7	11	15	19	24
25	4	8	12	16	20	25
30	-	-	-	-	21	26

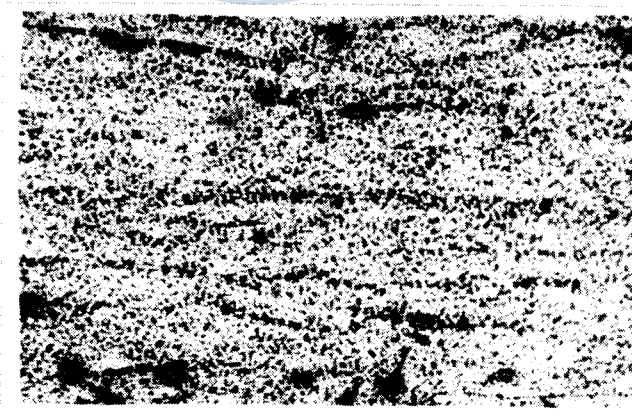


Fig. 9 Enlargement of Part 1 in Fig. 8 ($\times 100$)



Fig. 10 Enlargement of Part 21 in Fig. 8($\times 100$)

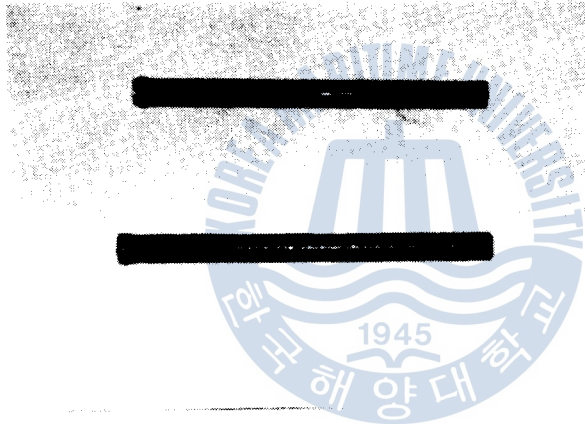


Fig. 11 Photograph of Tube

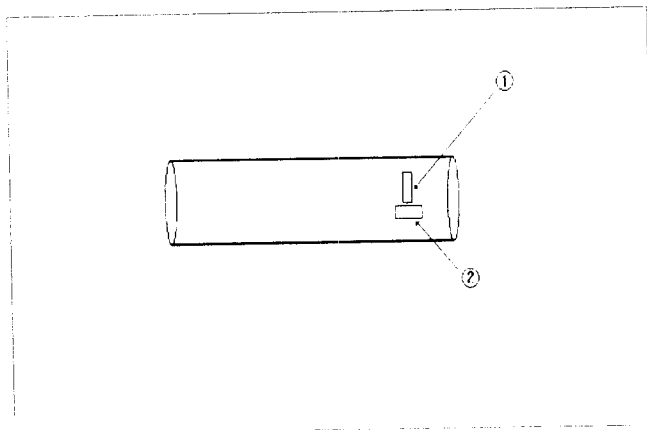


Fig. 12 Microstructural Parts of Tube



Fig. 13 Enlargement of Tube in Fig. 12($\times 100$)

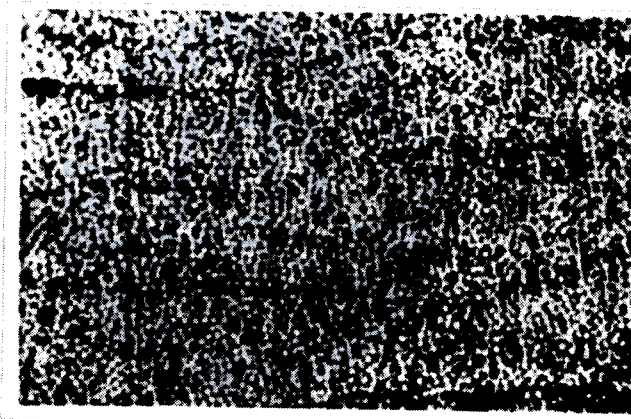


Fig. 14 Enlargement of Tube in Fig. 12($\times 200$)

3.2 섬유체의 체적함유율(Fiber Volume Fraction) 측정

섬유강화복합재료의 강성과 강도는 섬유의 충전상태와 섬유 및 모재의 구성방정식으로부터 결정되고, 일반적으로 평균적인 섬유간 거리는 섬유와 모재의 체적함유율로써 결정되어 진다. 섬유의 체적비를 구하는 방법에는 두 가지가 있는데, 첫번째 방법은 용제를 이용하여 기지재료를 녹여서 체적비를 구하는 방법이고 두번째 방법은 복합재료의 밀도만 측정하여 이미 알고 있는 섬유와 기지재료의 밀도로 체적비를 계산하는 방법이다. 본 측정에서는 이미지 애널리저(Image Analyser)로 측정하였다. Table 3~Table 5는 성형품의 섬유체적함유율의 측정값을 표시하였다. Fig. 15는 Table 4의 장력과 섬유의 체적함유율과의 관계를 표시하였다.

Table 3 Fiber Volume Fraction of CNG Vessel

Condition	Winding Method	Results
Specimen		
CNG	Hoop+helical	53.79%

Table 4 Fiber Volume Fraction of Specimens

Specimen NO.	Winding Method	Results	Specimen NO.	Winding Method	Results
1	Hoop	51.77%	14	Hoop	55.48%
2	Hoop	50.38%	15	Hoop	55.16%
3	Hoop	45.63%	16	Hoop	53.59%
4	Hoop	39.41%	17	Hoop	56.09%
5	Hoop	53.32%	18	Hoop	56.88%
6	Hoop	53.78%	19	Hoop	57.93%
7	Hoop	50.27%	20	Hoop	58.78%
8	Hoop	47.72%	21	Hoop	59.91%
9	Hoop	55.10%	22	Hoop	56.42%
10	Hoop	54.68%	23	Hoop	57.94%
11	Hoop	53.58%	24	Hoop	58.23%
12	Hoop	54.27%	25	Hoop	59.48%
13	Hoop	55.83%	26	Hoop	61.27%

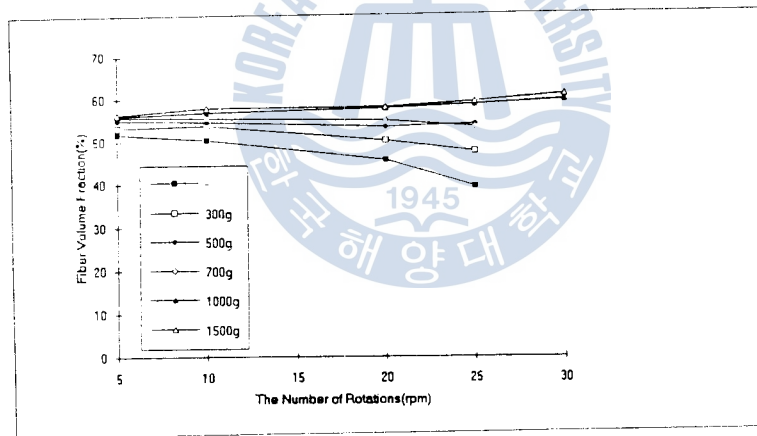


Fig. 15 Relationship between Tension and Fiber Volume Fraction

Table 9는 Fig. 20을 조사한 결과를 가지고 Tube를 성형하여 만든 복합재료를 조사한 결과를 나타낸 것이다.

Table 5 Fiber Volume Fraction of Tube

Condition	Winding Method	Results
Specimen		
Tube	helical	54.99%
		56.78%

4. 結 論

1) 필라멘트 와인딩법에서는 일반적으로 프리프레그 적층판보다 훨씬 기공함량이 많게 되는데, 이러한 높은 기공 함량은 낮은 변형에서도 수지에 균열을 생기게 하는 요인으로서 작용하므로 와인딩할 때 수지내의 기포를 최대한 줄이고, 기공을 제거해야만 한다. 본 연구에서는 회전수 및 장력에 의한 실험을 통해 적정한 수지의 함침이 이루어지면서 기공함량이 적은 고기능성복합재료의 성형이 가능하게 된다.

2) 섬유함유량, 기공 함량 및 섬유와 수지의 접착특성 등을 알아보기 위하여 일정한 장력을 주고, 회전수를 변화시켜 가면서 튜브시편을 제작하여 실험을 행한 결과, 장력이 500g~1kg이하 부근에서는 섬유함유량, 기공 함량이 큰 차이가 없으나, 1.5kg이상에서는 함침이 잘되지 않는다는 것을 알았다.

3) 필라멘트 와인딩시에 섬유가 장력에 의해서 수지의 함침이 다르게 나타나므로 와인딩 순서에 따라서 장력을 각각 다르게 하여야 수지의 함침이 적절하게 된다는 것을 알았다.

4) 경화시 갑자기 온도가 급상승하면 표면의 수지가 불규칙하여 표면이 울퉁불퉁한 형태로 되었다. 그러므로 경화시 적절한 온도상승이 요구 되었다.

5) Curing oven에서 심압대를 회전시키면서 경화하는데 심압대의 감속기가 너무 빠른 배율로 회전하면 수지가 성형품의 바깥부분에 물리는 것을 알수 있었고, 적절한 감속기 비율이 요구 되었다.

參 考 文 獻

1. S. T. Peters, W. D. Humphrey, R. F. Foral, Filament Winding Composite Structure Fabrication, 1991.
2. J. I. Kroschwitz, High Performance Polymers and Composites, John Wiley and Sons, Inc., pp.128~163, 1991.
3. "The Epoxy Resin Formulators Training Manual" The Society of the Plastics Industry, Inc.1984.
4. Engineered Materials Handbook ; Composites, ASM International, 1987.

5. P. K. Mallick and S Newman(Eds), Composite Materials Technology, Process and Properties, Hanser Publishers, Chater 6, 1990.
6. P. K. Mallick, Fiber Reinforced Composites Materials and Design, p351~361
7. D.V.Rosato, C.S.Grove Jr.: Filament Winding, Interscience Publishers, New York, 1962.
8. Renald R.Roser: Computers remove the burden of programming the Filament Winding Machine, proceedings of 29th National SAMPE Symposium, Reno, Nevada, U.S.A., April 3-5, 1981.
9. Mclean Anderson: W-2 Filament Winding Machine Operation Manual.
10. Mclean Anderson: Equipment for the Reinforced Plastics Industry, Cataloge No. 691.
11. ASME Boiler and Pressure Vessel Code X, Fiber Glass Reinforced Plastic Pressure Vessels
12. R.F.Lark, "Recent Advances in Light Weight, Filament-Wind Composite Pressure Vessel Technology", ASME PVP-PB-021 pp.17-50.
13. R.F.Lark, "Recent Advances in Light Weight, Filament-Winding Composite Pressure Bessel Technology", National Aeronautions and Space Admistration Research Center Cleveland, Ohio.
14. D.V.Rosato, C.S.Grove, "Filament Winding: its development manufacture, Applications, and design", John Wiley & Sons Inc. pp216-248.
15. T.T.Chiao, MahAMSTAD ETC., "Filament-Winding Kever49/Epoxy Pressure Bessel", NASA CR-134506.
16. EDITH A. TURI, Thermal Characterization of Polymeric Materials
17. Lucky Polymer Techology, "폴리에틸렌의 제조공정, 물성및 용도, 가공, 초정밀도 폴리에틸렌", No.11, Dec. 1989, p10~43
18. 植村益次, 日本複合 材料學會誌, 13.2(1987), pp10-20.
19. 최진복합재료: 진의진 외 3명 교학사
20. 복합재료 의학 및 가공론 : 이대길 성안당
21. Peter C. Powell, Engineering with Polymer, p45~46.

