

# 보트제작 공정융합과 자동화를 위한 배콤판입퓨전 시스템 구현

## Vacuum Infusion System for Manufacture Process Convergence and Automation of Boat

윤 달 환<sup>★</sup>, 조 상<sup>\*</sup>, 이 철 호<sup>\*\*</sup>  
Dal-Hwan Yoon<sup>★</sup>, Zhao Xiang<sup>\*</sup>, Cheol-Ho Lee<sup>\*\*</sup>

### Abstract

In this paper, we have developed the vacuum infusion automation system for the safety and quality advancement of the boat. It is necessary for the precise mixing rate of resinoid and curingagent to inject in an inner ship and deck at short time. We need for the optimal condition to a strengthen construction of boat. This one can solve the post deformability of the strengthen structure and can control the precise mixing rate of resinoid and curingagent to the resinoid fluidity and flowing rate per time. Under these condition, we can advance the an quality construction that based on the model and database information of the boat. Also, we can have an effective process management and retrench the production cost.

### 요 약

본 논문에서는 보트 안정성 및 품질 향상을 위해 배콤판입퓨전(vacuum infusion) 자동화 기술을 개발한 다. 보트 생산시 매우 짧은 시간에 정확한 혼합비율로 수지와 경화제가 혼합되어 진공으로 선체와 데크 내부에 흡착되기 때문에 강도 변형 및 후(後) 변형성 등은 매우 중요하다. 배콤판입퓨전 시스템을 이용하면 수지와 경화제의 혼합 비율 등의 조건을 정확하게 제어하고, 보트의 건조 및 강성 확보를 위한 최적 조건을 찾는 것이 가능하게 된다. 시간대별 수지 유동율 및 수지 흐름도 등은 작업 조건에 대한 모델별 정보 분석 및 최적화 정보를 DB화하여 내구성 등의 품질을 향상시킨다. 또한 다수 작업장에서 소수 작업 인원으로 효율적인 생산 공정 관리가 가능하여 생산비를 절감 한다.

*Key words : manufacture process, convergence, automation, vacuum infusion, fluidity analysis*

\* Dept. of Electronics Engineering, Semyung University  
\*\*\*www.carinaboat.com/ Dongyeonboat Co., Ltd.

★ Corresponding author

E-mail: yoonhdh@semyung.ac.kr, Tel: +82-43-649-1308

Manuscript received Jun. 6, 2018; revised Jun. 14, 2018;  
Accepted Jun. 25, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서론

해양스포츠 및 레포츠 산업 시장이 확대되면서 보트제작 기술의 확보가 경쟁력 확보의 중요성으로 대두되고 있다. 우리나라의 보트제조 업체는 대부분 규모가 작고 기술력이 부족한 현실이다. 생산 작업 또한 여전히 수작업에 의존하고 있으며, 새로운 설계 및 제작 기술 개발에 한계가 있어 외국 업체에 대한 차별화된 경쟁력을 갖추기에는 많은 어려움이 따른다[1].

그림 1 보트생산 공정을 나타낸 것이다. 보트생산은 다품종 소량 생산형태가 주류를 이루고, 공정이 대부분 수작업으로 진행됨에 따라 작업자의 작업

효율과 제품의 품질이 결정된다. 특히, 작업자의 제작 경험에 의존하여 수지와 경화제가 혼합되어 수작업으로 칠해지므로 체계적 품질 관리에 어려움이 따르고, 따라서 불량 발생 시 능동적 대처가 어려운 형편이다[2]. 또한, 작업장마다 작업자 배치는 생산 효율성이나 제작비의 상승 문제를 초래한다. 따라서 현재 선체 몰드와 성형의 생산성 향상을 위한 배급 인퓨전 공정자동화 기술 설계가 필요한 실정이다.

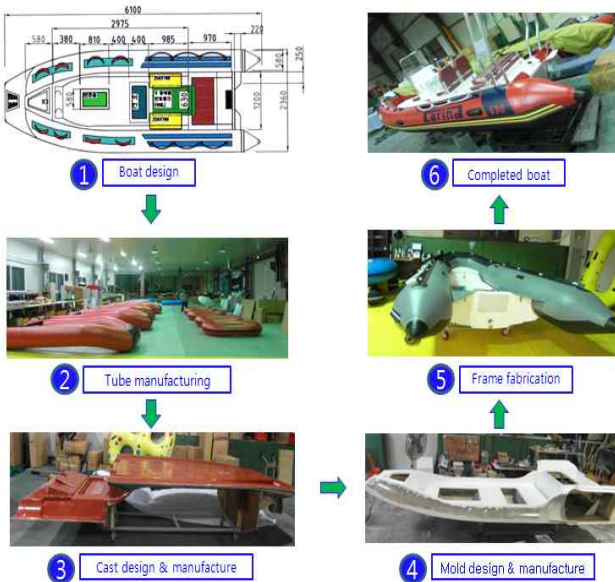


Fig. 1 Production flow of boat  
그림 1. 보트생산 흐름도

보트 제작의 성형장치와 성형방법은 상부 몰드, 하부 몰드 및 상하부 몰드 사이에 에폭시 수지와 같은 성형 재료를 수용하기에 적합한 원통형 몰드 공동을 포함하는 성형 장치가 개발되었다[3]. 이때 몰드 공동 부근과 하부 몰드에서는 환형의 오목부가 형성되고, 오목부에는 납으로 제조된 가스켓(gasket)이 끼워진다. 하부 몰드에는 오일 통로가 형성되고, 가압 액체로서의 실리콘 오일이 오일 통로를 통해 오목부로 공급되며, 가스켓을 상부 몰드에 대해 가압한다[4].

본 논문에서는 보트 안정성 및 품질 향상을 위해 배급인퓨전(vacuum infusion) 자동화 기술을 개발한다. 이 시스템은 매우 짧은 시간에 수지와 경화제를 정확한 혼합비율로 진공에 의하여 선체와 데크 내부에 흡착시키고, 강도 증가 및 후(後) 변형성 등의 문제를 해결한다. 이때 수지와 경화제의 혼합 비율 등의 조건을 정확하게 제어하여

보트의 건조 및 강성 확보를 위한 최적 조건을 찾게 함으로써, 시간대별 수지 유동을 및 수지 흐름 등의 작업 조건에 대한 모델별 정보 분석 및 최적화 정보를 DB화하여 품질향상 및 작업장에서 소수 작업 인원으로 효율적인 생산 공정 관리가 가능하고 생산비를 절감한다.

## II. 배급인퓨전 공정융합 시스템 구현

### 2.1 보트의 3D 유동성 해석

내장확장형 몰드 설계 및 성형 기술 개발은 몰드 후면 격자 보강을 통한 내구성 확보가 관건이다. 커플링(Coupling) 장치를 이용한 자동 접합과 비닐 에스터 겔코팅을 통한 고풍택 유지 및 3D 유동 해석을 기반으로 한 보트 설계 최적화는 다수 작업 공정을 줄여 시스템의 표준화 및 안정적인 생산에 중요한 역할을 한다. 유동해석을 위한 힘의 모멘트 평형식은 다음과 같다.

$$M_p = F_b - (M_r + M_i + M_t + M_m) \quad (1)$$

$$X_p = \frac{1}{M_p [F_b X_b - (M_r X_r + M_i X_i + M_t X_t + M_m X_m)]} \quad (2)$$

식(1)에서  $M_p$ 는 배의 전체 무게중심이고,  $M_r$ ,  $M_i$ ,  $M_t$  및  $M_m$ 은 그림 2에 제시한 하부 선체로부터 상체로 변환되는 무게중심 변수를 나타낸다. 식(2)에서  $X_p$ 는 하체에서 상체로 변화되는 무게중심의 거리를 나타낸다. 이러한 식(1)과 (2) 해석을 기반으로 3D 유동 해석을 위한 힘과 모멘트 평형식 및 무게중심이 설계된다.

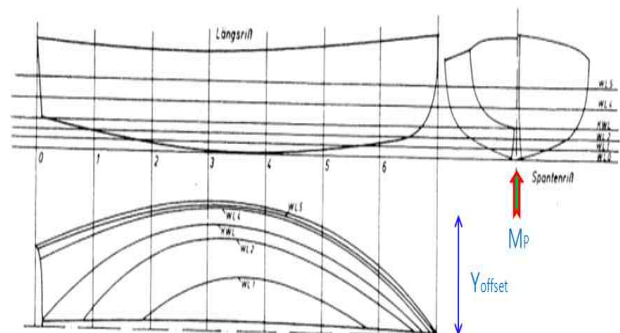


Fig. 2. 3D fluidity analysis for moment valance and weighting center of boat.  
그림 2. 보트의 평형 및 무게중심 3D 유동 해석

그림 3은 그림 2의 유동해석을 기반으로 설계된 보트 도면을 나타낸다.

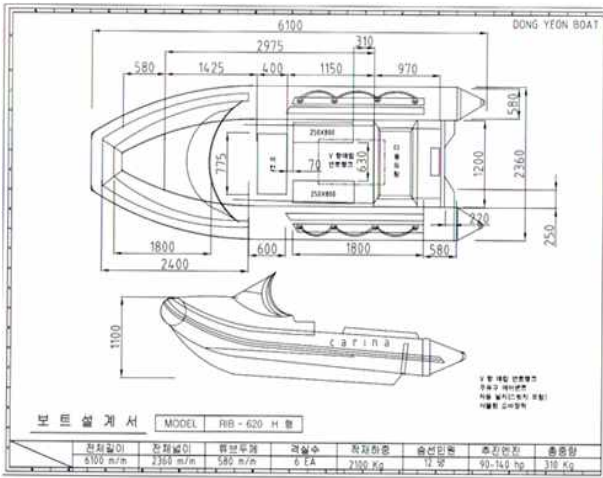


Fig. 3. Boat diagram using 3D fluidity analysis  
그림 3. 유동해석을 통한 보트도면

2.2 배콤파인업 통합공정 자동화 설계

배콤파인업 통합공정 자동화 기술 개발은 수지와 경화제의 혼합비율을 자동 조절하고, 혼합된 수지와 경화제의 토출량을 자동 조절 기능을 갖도록 한다. 그림 4는 배콤파인업 공정자동화 설계의 흐름도를 나타낸다.

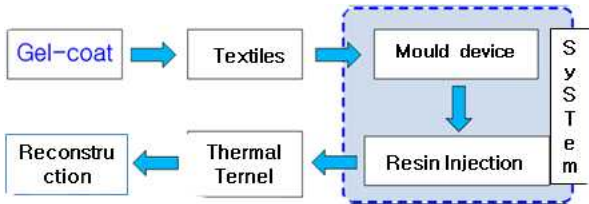
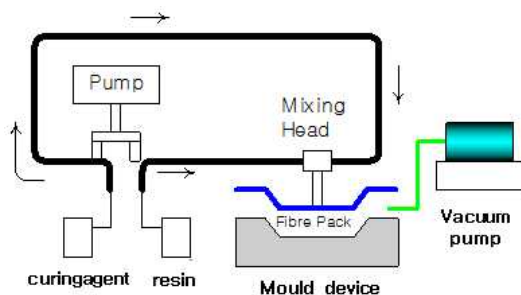


Fig. 4. Convergence of production process  
그림 4. 생산공정의 융합

그림 5는 그림 4의 시간대별 수지 유동을 및 수지 흐름도 등 작업 조건에 대한 정보를 분석하여 최적화 방안 마련을 위한 (a) 배콤파인업 배선도 (layout)이고, (b)는 진공설비 수지주입기 3D 도면을 나타낸다. 이는 다수 작업장에서 소수 작업 인원으로 효율적인 생산 공정 관리를 하기 위함이다.



(a) 배콤파인업 배선도



(b) 진공설비 수지주입기 3D 도면과 시스템

Fig. 5. Design of vacuum infusion process system  
그림 5. 배콤파인업 공정시스템 설계도

그림 5의 섬유적층 및 진공상태의 수지주입기 개발은 RTM과 인퓨전 병용작업이 가능하도록 하고, 원하는 시간당 토출량을 계산 후 조절 기능을 수행한다. 이때 경화제 혼합방식으로 식(3)은 0.5~ 4% 혼합율에 따른 변동식이고, 식(4)는 함침속도응 나타낸다.

$$Q = \frac{kA}{\eta} \left[ \frac{P_1 - P_2}{L} \right] \tag{3}$$

$$\text{함침속도} = \frac{\text{직물 투과성}}{\text{수지점도} \times \text{유동거리}} \tag{4}$$

여기서  $Q$  는 수지유동비,  $k$ 는 직물투과성,  $A$ 는 흐름 중단면,  $\eta$ 는 점도,  $L$ 은 길이,  $P_1 - P_2$ 는 압력차를 나타낸다.

그림 6은 자동화 연동 회로 제어부 PLC 알고리즘을 나타낸다. 전원공급에서 전원이 입력되면, SSR 출력을 통하여 각 릴레이(Relay)로 통제한다. 이때 RS485는 필요에 따라 데이터를 PC 와 병행하여 관리하고, 각 릴레이 부분들은 수지재료를 배합하는 기능을 수행하며, 노즐에 연결되어 성형에 사용된다. 이러한 몰드 설계 및 제작 과정의 공정 개선에 CAE /CAD 설계 방식을 도입하여 설계 과정의 표준화 및 최적화 할 수 있고, 제작 공정 과정 중에 나타나는 품질 문제점 파악함으로써 유효성이 검증된 데이터 활용을 통해 품질 및 생산성 향상을 가져올 수 있다.

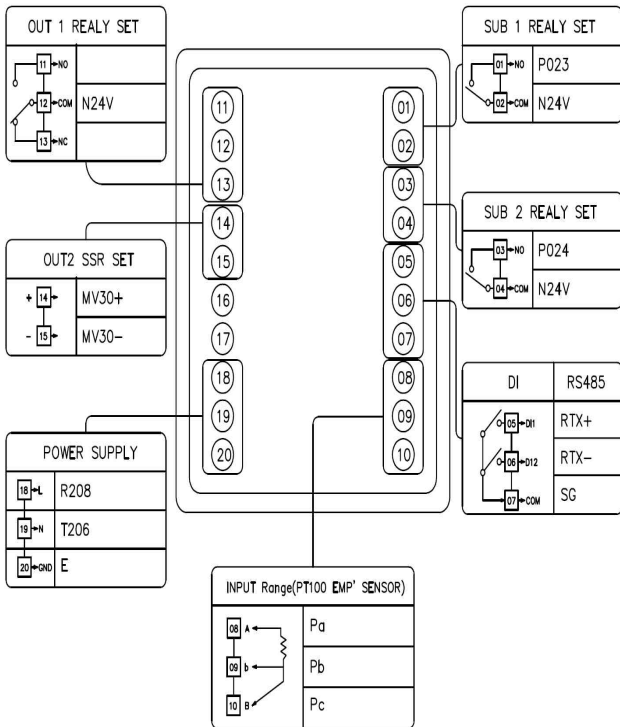


Fig. 6. PLC algorithm of circuit control  
그림 6 회로제어 PLC 알고리즘

표 1은 SSR과 릴레이 스위치부 기능을 나타낸다.

Table 1. Construction data  
표 1. 구성내용

Terms	Contents	Circuit
heater	• Nikel 1	
Relay switch	• PLC (MASTER -K200S)	
	• Thermal Relay (GTH-9) • Power Relay S/W DC30[V]/60[A]	

복합 센서 무선제어기에 사용된 전자식릴레이 (SSR)은 부피가 작고 반영구적이며, 전력이 가장 작은 시점을 스스로 검출하여 On/Off 동작을 함으로써 스파크가 발생하지 않는다. 따라서 SSR을 사용하여 일반 램프 및 안정기, LED 램프의 전력을 간단하게 제어 가능하다.

그림 7은 배꼽인퓨전 자동화 기기의 부위별 설명도로 자동화 기기의 계기판, 교반장치 및 토출량 조정장치, 공기제거용 모터 및 수지 경화제 위치 교정 및 내부토출 압력 펌 등으로 구성된다.

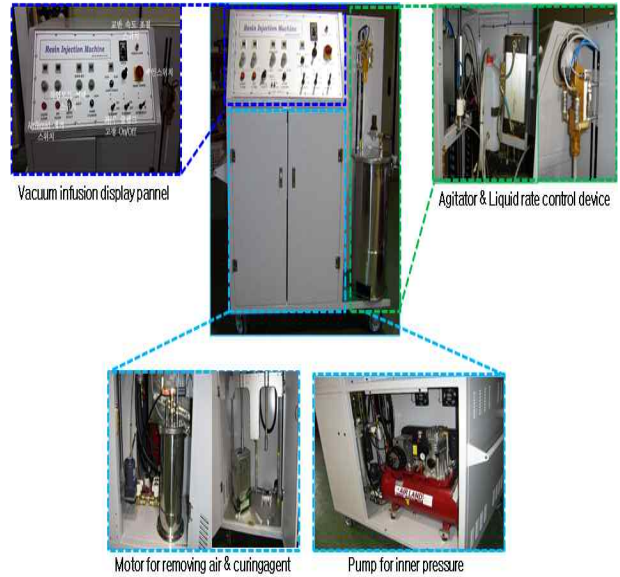


Fig. 7. Partial function of vacuum infusion system  
그림 7. 배꼽인퓨전 자동화 시스템 부위별 기능

### III. 실험결과

한국 건설생활환경시험연구원에서 수작업과 배꼽인퓨전 인장강도 시험을 비교함으로써 공정자동화 기술에서 자동화를 통한 제품 품질 향상을 얻을 수 있다. 데이터베이스도입은 수지와 경화제의 정밀 혼합을 유지, 센서 및 구동기를 이용한 수지와 경화제 혼합물의 토출량 등을 자동 조절하고, 수지와 경화제의 혼합 비율에 따른 수지 유동율과 흐름도에 따라 제작된 선체와 데크의 인장강도 및 압축강도를 통해 진공 유지 작업의 성능을 보장한다. 그림 8은 몰드 설계와 재료 선정을 통해 수지주입기로 데크몰드 공정을 나타낸다.



Fig. 8. Mold design and manufacture  
그림 8. 몰드설계 및 제작



그림 9는 데이터베이스 구축과 성능분석을 위한 배콕인퓨전 작업 중 시편 제작과 무게중심 분석과정을 나타낸다.

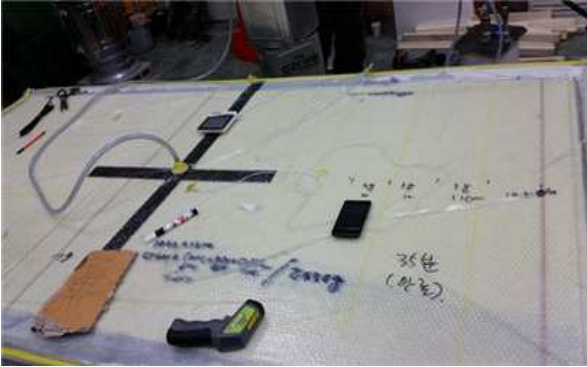


Fig. 9. Partial manufacture and weighting analysis  
그림 9. 시편제작과 무게분석

그림 10은 배콕인퓨전 작업과 성능평가를 위한 테스트 공정으로 (a) 진공상태 확인시험, (b) 수지주입 및 흐름도 시험, (c) 흡착 테이프 위치와 수지 방향성 시험, (d) 수지주입 시간시험, (e) 선체 진공 필름 및 데크 진공시험을 나타낸다.



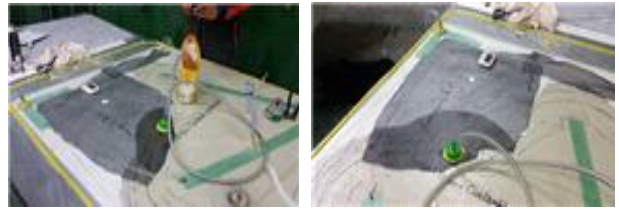
(a) 진공 상태 확인시험  
(a) Test of a vacuum state



(b) 수지주입 및 흐름도 시험  
(b) Flowing test of resin input



(c) 흡착 테이프와 수지 방향성 시험  
(c) Test of adsorption tape and resin direction



(d) 수지주입시간 시험  
(d) Test of resin input time



(e) 선체 진공 및 데크 진공시험  
(e) Test of a mold and deck vacuum

Fig. 10. Test process for performance evaluation  
그림 10. 성능평가를 위한 시험공정

배콕인퓨전과 수작업의 인장/압축강도 비교를 위한 시편 제작은 그림 11과 같다. 동일한 크기의 시편임에도 불구하고 수작업으로 제작된 시편보다 배콕인퓨전으로 제작된 시편의 무게가 평균 48% 정도 더 가볍다. 즉, 사용된 수지의 양이 더 작음을 확인할 수 있다.



Fig. 11. Partial samples  
그림 11. 시편샘플

그림 11의 두 작업으로 제작된 시편의 두께 및 중량에 대한 Database는 표 2와 같다.

Table 2. Partial width and weight  
표 2. 시편의 두께 및 중량

		1	2	3	4	5	Ave
Manual Process 01	Thickness (mm)	11	9.2	9.5	10	11	10.1
	Weight (g)	11.5	12	9.6	11	10	10.7
Manual Process 02	Thickness (mm)	10.8	12	9.2	10	10.5	10.5
	Weight (g)	10.9	12.1	9.6	10.2	10.6	10.6
Vacuum infusion 01	Thickness (mm)	6	6.2	6	6	6.3	6.1
	Weight (g)	5.8	6	6	5.8	6.1	5.9
Vacuum infusion 02	Thickness (mm)	6	5.6	5.8	6	5.9	5.6
	Weight (g)	5.9	5.6	5.7	6	5.9	5.8

인퓨전 작업의 경우 두께 및 중량의 차이는 거의 무시할 수 있는 수준이었으며, 이는 수지 함유량이 일정함을 의미하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 인퓨전 작업을 통하여 선체 및 데크 중량 및 수지 소모량을 수작업의 경우보다 40% 이상 절감할 수 있다. 보트 전체 작업 시 수작업에 비해 배큘인퓨전 작업 시 50% 이상의 수지 절감 효과는 물론, 선체 중량 감소효과를 기대할 수 있다. 결과적으로 보트 전체 중량의 저하로 높은 연비 상승의 부수 효과도 기대할 수 있다.

배큘인퓨전과 수작업의 인장 및 압축강도 시험 평가에서 고품질의 레저보트를 제작하기 위해서는 미려한 외관을 위한 고른 성형뿐만 아니라 고속 및 경량화가 필요하다. 최근 선진 국에서는 배큘인퓨전에 의한 제작 방법을 널리 사용한다.

국내에서는 배큘인퓨전 방법은 도입단계로서 배큘인퓨전 방식의 물성치, 재료별 및 두께별로 Database 화의 필요가 대두되고 있는 실정이다.

본 사업에서는 배큘인퓨전과 수작업으로 제작된 복합재의 인장 및 압축강도 비교를 통해 시편을 제작하고, 이에 대한 시험 성적서를 바탕으로 물성치의 Database화 작업을 시작하였다[표 3]. 여기서 배큘인퓨전 방식으로 제작된 시편의 인장 강도는 수작업에 의하여 작업된 시편과 비교할 때, 시편의 두께는 30%밖에 되지 않지만 인장강도는 무려 50% 이상 더 우수한 성질을 보유하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. Experimental test of 5 samples

표 3. 각 시험별 5개 시료 인장 강도 및 압축 강도 시험 결과

		1	2	3	4	5	Ave
Manual	Thickness (mm)	6.7	6.8	6.6	6.7	6.7	6.7
	Strengthen power	Ave. 18.46 $kg/mm^2$ (181 MPa)					
	Depression power	Ave. 20.40 $kg/mm^2$ (200 MPa)					
Vacuum infusion	Thickness (mm)	2.4	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3
	Strengthen power	Ave. 27.44 $kg/mm^2$ (269 MPa)					
	Depression power	Temp. value (Thickness 6.7mm) - Ave. 32.68 $kg/mm^2$ Real value (Thickness 2.3mm) - Ave. 11.22 $kg/mm^2$					

한편, 수작업으로 제작된 시편의 압축 강도 20.40  $kg/mm^2$ 와 비교할 때, 배큘인퓨전으로 제작된

시편의 압축강도가 11.22  $kg/mm^2$ 으로 보다 작은 것을 확인하였다. 하지만 이는 배큘인퓨전으로 제작된 시편의 두께가 수작업으로 제작된 시편 두께의 35% 정도 밖에 되지 않는다는 것을 감안할 때 당연한 결과이며, 본 연구에서는 같은 두께의 두 시편의 압축강도를 비교하기 위하여 보정을 하였다. 표 3을 참고하면 같은 두께의 시편의 경우 압축강도는 역시 배큘인퓨전 방식으로 제작된 것이 훨씬 우수한 것을 알 수 있다. 또한 DB에는 매트 적층 및 수지 종류에 따른 두께, 중량 및 수지 유동율(min/cm)를 분석하기 위한 분석 조건을 축적한다. 표 3에서 확인한 바와 같이 적층매수가 같을 때, 수작업의 경우보다 배큘인퓨전의 경우가 두께와 중량이 모두 작았고, 이것은 배큘인퓨전으로 작업된 제품에 흡수된 수지의 비율이 작다는 것을 의미한다.

표 4는 조건에 따라 제작된 제품의 두께, 중량 및 유동율의 변화에 대한 결과를 분석한 표이며, 이에 따르면 분석하기 배큘인퓨전 방식은 두께와 중량 감소의 효과와 더불어 작업 시간의 단축 및 균일한 성형제품 생산 등의 장점을 지니고 있음을 확인할 수 있다.

Table 4. Effectiveness analysis of thickness, weight and fluidity rate

표 4. 두께, 중량 및 유동율의 영향 분석

	Terms	Manual	Vacuum	Note
1	Resin weight	160 kg	80 kg	50%(↓)
2	Glass fiber	80 kg	60 kg	25%(↓)
3	Ship weight	240 kg	140 kg	42%(↓)
4	Manufacture	10	8	20%(↓)
5	Intensity	181 MPa	269 MPa	49%(↑)
6	Pressure strengthen	200 MPa	320 MPa	60%(↑)
7	Ship edge effectiveness	Minimize the friction area between ship and water for the sharpened ship edge part		
8	Ship out part	no bending the line and surface		
9	Speed up	About 15 %		
10	Fuel efficiency	10%		
11	Safety	Safety sense for 7 estimated terms		

#### IV. 결론

본 사업에서는 배큘인퓨전과 수작업으로 제작된 복합재의 인장 및 압축강도 비교를 통해 시편을

제작하고, 이에 대한 시험 성적서를 바탕으로 물성치의 Database화 작업을 시작하였다. 배꼽인퓨전 방식으로 제작된 시편의 인장 강도는 수작업에 의하여 작업된 시편과 비교할 때, 시편의 두께는 30%밖에 되지 않지만 인장강도는 무려 50% 이상 더 우수한 성질을 확인할 수 있다.

## References

- [1] Seung-Woo Lee, Seung-Gwi Kim, Jong-Hoon Lee, Jang-Won Hong, Yeun-Jeng Lee, Henry Schwarzbach, "A Study on Marine Tourism Policies to Upgrade the Marine and Pleasure Boat Industry of Korea," Korea Maritime Institute, Dec. 2008
- [2] Dupon-Mitsi Poly-Chemical, "Resin Modeling Device, Resin Modeling Method, and Resin Container", Patent No. 101059936, Aug. 2011
- [3] Ube-Gokai, "Laminate Modeling Device and Method," PCT/JP2010/058649, Japan May. 2010
- [4] Dyi Nippon Kabusikigaisha, "Process and Apparatus for Effecting Injection-molded in Foil Decoration," Patent, No.100350582, Aug. 2002

## BIOGRAPHY

### Yoon Dal-Hwan (Member)



1984 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1986 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1994 : PhD degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1987. 7 ~ 1994. 6 : Professor in Electronic Engineering, Korea Military Academy. 2005. 7 ~ 2009. 2 : President of HIWIN Co. Ltd. 1995. 3 ~ Professor in Electronic Engineering, SeMyung University  
 Main : Communication and Signal Processing, Medical Signal Processing, Management System for LED&IT Convergence, Low Temperature Fluidity Test System for Fuel Heater Test in Cars, Plants. Others

### Zhao Xiang (Student Member)



2009.09~2013.08 : BS degree in Electrical Engineering, Semyung University.  
 2013.9 ~ 2015.08 : MS degree in Electrical and Electronic Engineering, Semyung University.

2015. 09 ~ current : Ph. D course of Electrical and Electronic Engineering, Semyung University.  
 2014. 04 ~ 2016.03 : AnyWood Co. Ltd. Research & Development Institute, Researcher  
 Main : Communication and Signal Processing, Low Temperature Fluidity Monitoring system for Fuel Heater & Test System in Cars.

### Lee Cheol-Ho (Member)



1967.03.01: Su san lee, seolsung myun, icheon gun, KyungGi Do.  
 2003.08 ~ current : President of DongYeon Carina Boat

Main items : AR boat, RIB boats, Dinghy boats, River rafting boat and water sled for marina leisure