



## 희석제 첨가에 의한 에폭시수지의 물성 및 경화특성

이종근\* · 한승재\*\* · 정태영†

\*\*부경대학교(교수) · \*\*부경대학교(가야호)

### Mechanical Properties and Curing Characteristic of Epoxy Resin by Diluent Addition

Jong-Gun LEE\* · Seung-Jae HAN\*\* · Tae-Yeong JEONG†

\*†Pukyong National University(professor) · \*\*Pukyong National University(gayaho officer)

#### Abstract

For the Purpose of Development of Low Viscosity Epoxy Resin for Small Boats and Leisure Boats, Curing Behavior and Mechanical Properties of Epoxy Resin Diluents were added to control processability were investigated. Viscosity of Epoxy Resin was reduced with Lauryl alcohol Glycidyl Ether(LGE), Butyl Glycidyl Ether(BGE) and Dicyclopentadiene(DCPD) content increased. The Minimum Viscosity of 20wt% Addition was results. As Less amount of Diluents was use and cured the Mixture at higher Temperature, the shorter Curing Time was Required. The higher the Curing temperature, the higher the surface hardness, tensile strength and Impact strength. When DCPD was used as a diluent, surface hardness, tensile strength and impact strength were lower than BGE and LGE. BGE and LGE showed similar values. The viscosity decreased with used of diluents. But surface hardness, tensile strength and impact strength were about 10 ~ 15% lower than without diluents.

**Key words : Epoxy diluent, Impact strength, Tensile strength, Viscosity, Mechanical properties**

#### I. 서론

주5일 근무제가 산업체 전반에 의무화되고, 국민소득 수준 및 여가시간이 확대되면서 자연스럽게 레저 활동이 증가되고 있다. 특히, 우리나라는 삼면이 바다로 이루어진 여건으로 인하여 해양레저산업에 국민적 관심이 증가하고 있는 실정이다(Na et al., 2012). 특히 레저용 소형보트에 사용되는 재료는 에폭시수지에 충전제를 첨가하거나 탄소섬유로 강화시킨 복합재료의 사용이 증가하고 있다(Lee et al., 2012; Kim et al., 2015; Lee et al., 2017). 그중에서도 산업현장에서 소재산업재료로

사용 중인 PTFE(Polytetrafluoroethylene)재료와 생석회, 산화동, 합성실리카를 충전제로 사용하여 Pory-Dicyclopentadiene(DCPD)함유 에폭시수지 복합재료를 제조하여 조직검사 및 내마모성, 기계적물성치, 윤활유 마모량 및 무 윤활유 마모량을 실험적으로 비교한 연구도 있다(Lee at al., 2018).

산업현장에서 다양하게 사용되고 있는 에폭시수지는 화학용 소재산업재료로써 전기·전자, 우주항공, 도료, 건축 등 산업분야 전반에 필수적인 고기능성 소재로 사용되고 있다. 또한, 다양한 화학구조, 낮은 수축률, 우수한 접착력 그리고 화학적 안전성 및 내구성이 우수하며, 수분흡수율이

† Corresponding author : 051-629-5998, tyjeong@pknu.ac.kr/orcid.org/0000-0002-1151-263X

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

0.1%이하로 매우 낮아 레저용 소형보트, 소형선박 소재로 널리 사용되고 있다(Lee et al., 2015). 그 중에서도 에폭시수지를 사용하여 소형선박을 제조하는 방법으로는 수작업방법(Hand Lay-up), 압축성형법(Compressing Molding), 수지합침법(Resin Transfer Molding) 그리고 진공성형법(Vacuum Infusion Molding) 등이 있다.

최근, 항공우주분야 및 해양선박의 제조 등에 사용이 증가하고 있는 SCRIMP(Seeman Composite Resin Infusion Molding Process)에 적용하기 위해서는 진공에 의한 압력차를 이용하여 수지를 탄소섬유에 함침 시키는데 이때, 선박 모형의 반원, 모서리 등의 굴곡진 부분과 폭 파인 곳에 수지를 골고루 함침 시키기 위해서는 수지의 점도가 낮을수록 유리하다. 일반적으로 사용되고 있는 에폭시수지의 점도는 상온에서 11,500~13,500cps 으로 높아, 진공성형법을 이용하여 레저용 소형보트를 제조하기 위해서는 희석제를 첨가하여 점도를 낮추어야 한다.

에폭시수지의 성형 가공성을 증가시키기 위하여 반응성 희석제를 첨가하여 경화 특성 및 경화 후 기계적 물성치를 비교하였다(Kim et al., 1994; Choi et al., 2003).

본 연구에서는 에폭시수지를 진공성형법으로 레저용 소형보트 및 소형선박 제조에 적용하기 위하여 기본 액상 수지인 2관능성 에폭시수지를 기본으로 하여 고리지방족 아민변성 경화제로 경화시켰다. 이때 점도를 낮추어 성형 가공성을 증가시킬 목적으로 반응성희석제와 비 반응성 희석제를 첨가하여 에폭시수지 점도 변화에 따른 경화거동, 발열온도 그리고 표면경도, 인장강도 및 충격강도에 미치는 영향을 조사하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 에폭시 경화반응

에폭시수지는 구성 분자 내 에폭시기를 가지고

있다. 이러한 가교반응은 에폭시기와 경화제의 활성수소가 반응하여 이루어진다. 가교반응의 초기에는 화학반응에 의해 발생된 열에 대한 에폭시기가 개환되고 여기에 경화제의 활성수소가 결합되고, 내부온도가 상승하여 반응이 연쇄적으로 진행된다(K Dusek, 1986). 또한, 2차원 선형구조에서 발열에 의한 화학반응을 하여 3차원의 그물구조로 대단히 안정한 화합물이 되며, 경화온도 및 시간에 따라 기계적 특성이 결정된다(E. F. Oieink, 1986; Guillaume Tillet, 2011).

## 2. 기계적 특성치

### 가. 인장강도의 측정

인장강도 특성을 측정하기 위하여 아령형 시험편을 160mm(길이)×20mm(너비)×4.0mm(두께)로 제작하고 만능테스트기(Shimadzu corporation, UH-F100A)를 사용하여 측정하였다. 완성된 시험편을 24시간 상온에서 방치한 후 상온에서 2mm/min의 인장속도로 인장강도와 1mm/min의 인장속도로 측정하였다(KS M ISO 527-2, 2012).

### 나. 충격강도의 측정

충격강도 특성을 측정하기 위하여 시편을 80±2mm(길이)×10.0±0.2mm(너비)×4.0±0.2mm(두께)로 제작하고 Izod Impact Test(Oriental Co.)를 사용하여 측정하였다(KS M ISO 180, 2012).

### 다. 표면경도의 측정

표면경도 특성은 시편을 50±2mm(가로)×50±0.2mm(세로)×5.0±0.2mm(두께)로 제작하여 Durometer(TECLOCK Co.)를 사용하여 측정하였다(ASTM D2240, 2005).

## III. 실험

### 가. 제조원료

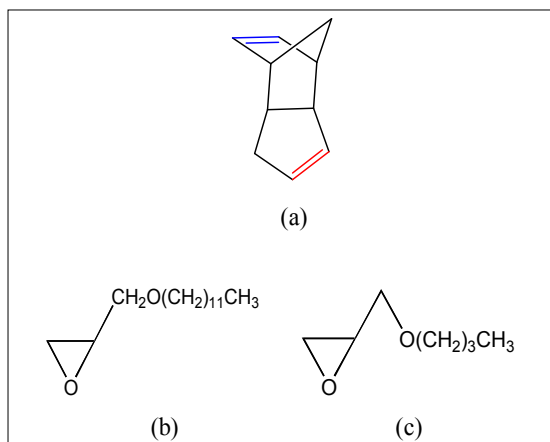
본 연구에서 사용한 에폭시수지는 기본 액상 수지인 2관능성 YD-128(KUKDO Chem.)와 경화

제는 고리지방족 변성아민 경화제(KH-831, KUKDO Chem.)을 사용 하였다.

희석제로는 반응성 희석제인 LGE(Lauryl Alcohol Glycidyl Ether, KUKDO Chem.)와 BGE(Butyl Glycidyl Ether KUKDO Chem.)를 그리고 플라스틱 가공 시 첨가제로 사용되는 상온에서 액체상태인 DCPD(80% Dicyclopentadiene, KOLON Ind.)를 사용하였다. 화학구조 및 물리적 특성치를 <Table 1>과 [Fig. 1]에 나타내고 있다.

<Table 1> Properties of Epoxy, Hardener and Diluent

	EEW(e/eq)	AHEW(e/eq)	Vis.(25°C,cps)
YD-128	187	-	11,500~13,500
KH-831	-	85	400~1,000
BGE	150	-	1~5
LGE	287	-	5~20
DCPD	-	-	1

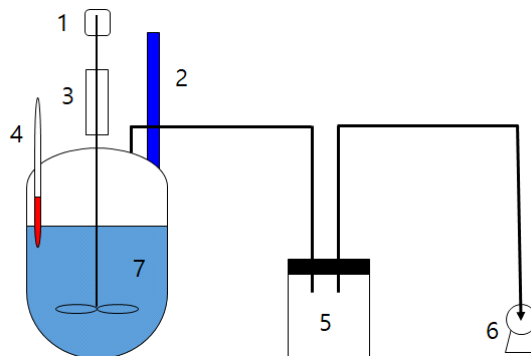


[Fig. 1] Chemical Structures of Diluents  
(a)Dicyclopentadiene (b) Lauryl alcohol Glycidyl Ether (c) Butyl Glycidyl Ether

나. 에폭시수지 제조방법

희석제가 첨가된 에폭시수지를 제조하는 실험을 수행하기 [Fig. 2]와 같은 장치에서 실험하였다. [Fig. 2]에 제시된 실험장치는 기밀장치가 부

착된 1000ml pyrex glass 4-neck flask를 사용하였다. YD-128와 희석제, 무기물 충전제 및 경화제 혼합시 공기를 제거하기 위하여 진공펌프를 사용하였다. 이러한 모든 과정은 상온상태에서 진행하였다.



[Fig. 2] Schematic Diagram of Experimental  
(1) Stirrer (2) Condenser (3) Mechanical Seal (4) Thermometer (5) Service Tank (6) Vacuum tank (7) 4Neck-Flask

다. 경화시험

YD-128 100g에 희석제(DCPD)를 에폭시 수지 성분내 대하여 5, 10, 15 및 20wt% 투입하고 상온(25°C)에서 60rpm으로 30분 혼합 후 1시간 정도 방치하여 내부 기포를 제거하였다. 그리고 경화제는 식(1)에 의해서 45g 투입하고 5~10분간 60rpm으로 완전히 혼합한 후 미리 준비된 시편틀에 붓고 외부온도를 20~25°C를 유지하면서 경화시켰다.

$$\text{투입량}(phr) = \frac{\text{활성수소당량}(AHEW)}{\text{에폭시당량}(EEW)} \times 100 \quad (1)$$

반응성 희석제인 BGE, LGE는 분자내 반응성 그룹인 에폭시기를 가지고 있으므로 식(2)에 의하여 혼합에폭시당량을 구한다. 그리고 식(1)으로 경화제 투입량을 결정한다. 혼합에폭시당량 및 경화제 투입량을 <Table 2>에 나타내고 있다.

$$\text{혼합에폭시당량} = \frac{\text{전체투입량}}{\left(\frac{\text{투입량}}{\text{YD128 당량}}\right) + \left(\frac{\text{투입량}}{\text{BGE 당량}}\right)} \quad (2)$$

<Table 2> Mixed Epoxy Equivalent Weight and Input Amount of Hardener

	Input(g)			
	5wt%	10wt%	15wt%	20wt%
BGE	48	51	54	57
LGE	47	48	49	51
DCPD	45	45	45	45

라. 점도 측정

YD-128 100g 에 희석제를 5~20wt% 첨가하고 완전히 혼합 후 상온에서 점도계(BROOKFIELD, LVDV-2)를 사용하여 각각의 점도를 측정하였다.

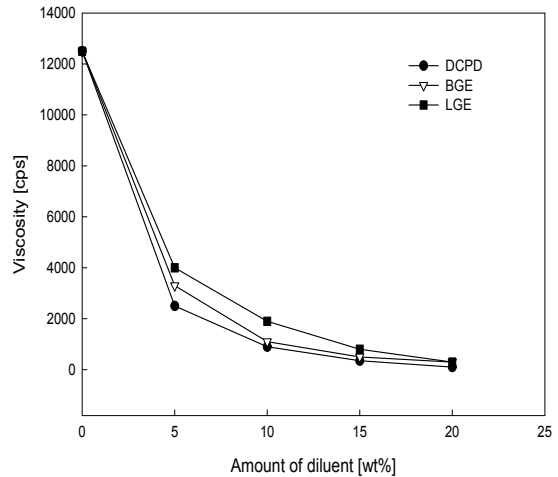
#### IV. 실험결과 및 고찰

가. 점도 특성

희석제 첨가에 의한 에폭시수지의 점도 변화를 측정하기 위하여 YD-128 100g에 반응성 희석제 BGE, LGE 그리고 비 반응성 희석제 DCPD를 각각 5~20wt% 첨가하고 상온에서 60rpm으로 30분간 충분히 혼합하고 1시간 방치하여 내부 기포를 제거한 후 점도계를 사용하여 점도변화를 측정된 결과를 [Fig. 3]에 나타내고 있다.

[Fig. 3]에서 보는 바와 같이 희석제의 첨가량이 증가 할수록 점도는 감소하는 경향을 보이고 있다.

이러한 반응성 희석제인 BGE와 LGE는 유사한 경향의 결과를 나타냈다. 그러나 비 반응성 희석제인 DCPD는 반응성 희석제 보다 약간 낮은 점도를 나타냈다. 이와 같이 상기의 실험결과를 통해 희석제를 적절히 선택하면 성형 가공 시 유리한 점도를 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

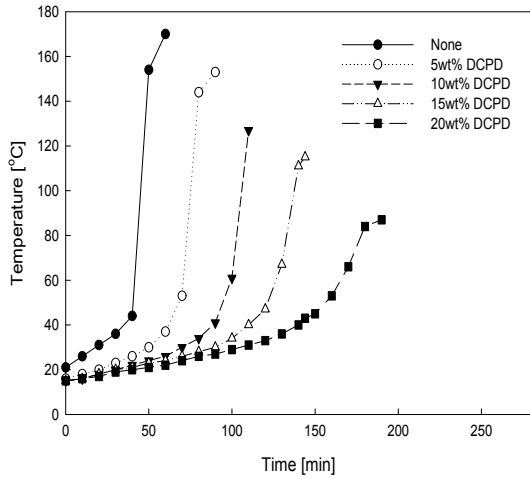


[Fig. 3] The Effect of Diluent Content on the Viscosity Exchange of Epoxy Resin.

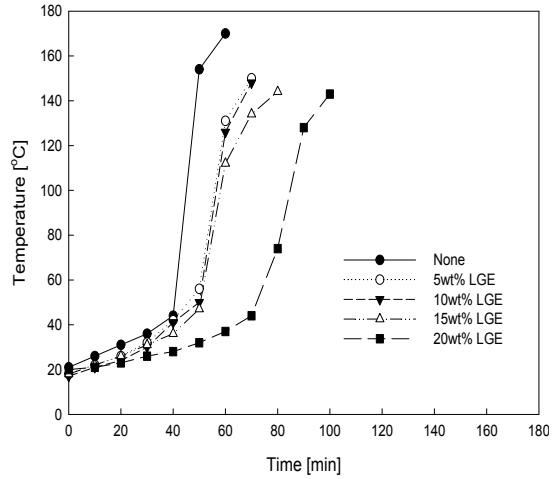
나. 발열 및 경화특성

YD-128 100g에 반응성 희석제 BGE, LGE 그리고 비 반응성 희석제 DCPD를 각각 5~20wt% 첨가하고 상온에서 60rpm으로 30분간 충분히 혼합하고 1시간 방치하여 내부 기포를 제거한 후 경화제를 <Tab. 2>에 따라 투입하고 외부온도를 20~25℃로 유지하면서 시간에 따른 온도변화를 측정된 결과를 [Fig. 4-6]에 나타냈다.

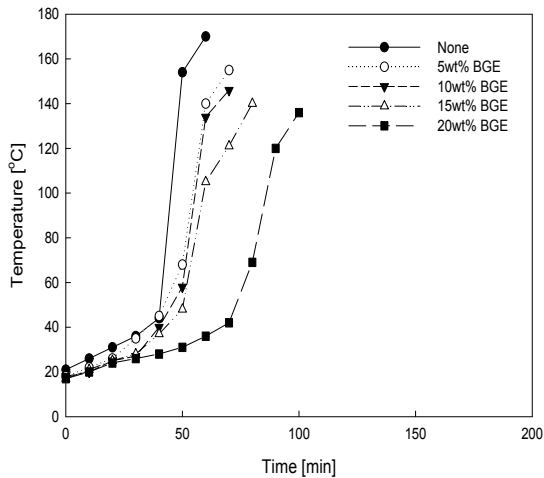
BGE, LGE 투입량이 증가 될수록 경화시간은 증가하고 발열온도는 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 경화시간은 80~120분으로 비슷하게 보이고 있다. 그리고 무첨가의 경우보다는 증가하였다. DCPD를 희석제로 사용한 경우에도 첨가량이 증가 할수록 경화시간은 증가하였으며 발열온도는 낮았다. 특히, DCPD 20wt%를 첨가한 경우 200분으로 가장 긴 경화시간을 나타냈다. 이러한 이유는 분자내 에폭시기가 없어 상대적으로 가교밀도 상승이 늦게 나타나기 때문인 것으로 추정된다. 경화진행과정은 육안관찰 시 백연 발생과 동시에 중심부분이 가교반응에 의해 점성이 줄어들면서 가장자리부분으로 진행되었다. 희석제를 사용하지 않은 경우 상온에서 70분 경화시키면 완전히 경화 되었다.



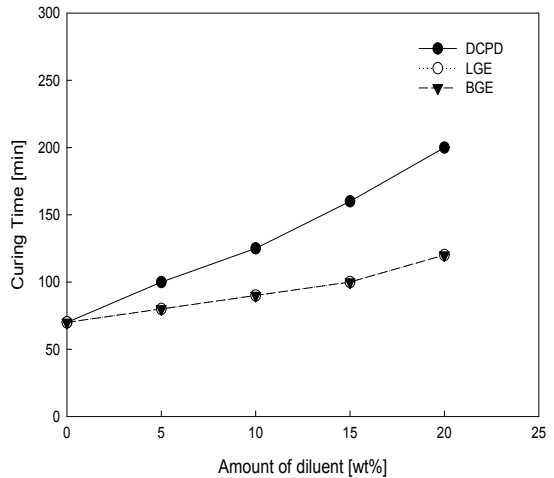
[Fig. 4] The Effect of DCPD Content on the Various Temperatures of Epoxy Resin.



[Fig. 6] The Effect of LGE Content on the Various Temperatures of Epoxy Resin.



[Fig. 5] The Effect of BGE Content on the Various Temperatures of Epoxy Resin.



[Fig. 7] The Effect of Diluent Content on the Curing Time of Epoxy Resin.

[Fig. 7]에서는 희석제 투입량에 따른 경화시간을 그리고 [Fig. 8]은 최대발열온도를 나타냈다. 희석제를 첨가하지 않은 경우 경화시간은 70분이었으며, DCPD 첨가량이 증가 할수록 70분에서 200분으로 증가 하였다. BGE, LGE는 120분으로 동일한 결과를 보였다.

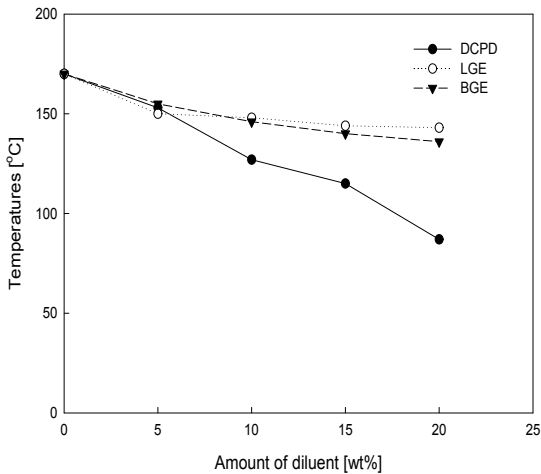
최대발열온도의 경우는 희석제를 첨가하지 않은 경우 170°C까지 상승하였다.

이와 같이 DCPD를 희석제로 첨가한 경우 첨가량이 증가할 수 록 감소하였고, 그 중에서도 20wt% 첨가 시 87°C로 감소하였다. 그리고 BGE, LGE의 경우는 비슷한 경향을 보이고 있다. 20wt% 첨가 시 최대발열온도는 120°C로 나타났다.

이러한 결과를 나타낸 이유는 희석제 분자 내에 에폭시기의 유무에 따라 가교반응의 속도 차

에 의한 것으로 판단된다.

그 중에서도 DCPD의 경우에는 분자 내 존재하는 이중결합이 발열반응에 의해 일부분이 개환되어 오히려 가교반응을 방해한 것으로 추정된다.



[Fig. 8] The Effect of Diluent Content on the Curing Temperatures of Epoxy Resin.

다. 기계적 특성

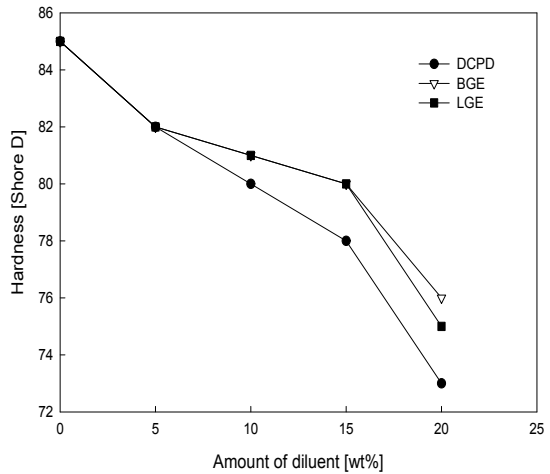
YD-128 100g에 희석제를 각각 5~20wt% 첨가하고 여기에 경화제를 Tab. 2에 따라 투입하여 경화시킨 후 희석제 첨가량에 따른 표면경도, 인장강도 및 충격강도를 측정하고 그 결과를 [Fig. 9~11]에 나타냈다.

[Fig. 9]에서 희석제를 첨가하지 않은 경우는 85였으나, 희석제 첨가량을 증가 시키면 표면 경도는 낮아져 20wt% 첨가 시에 가장 낮은 값을 나타냈다.

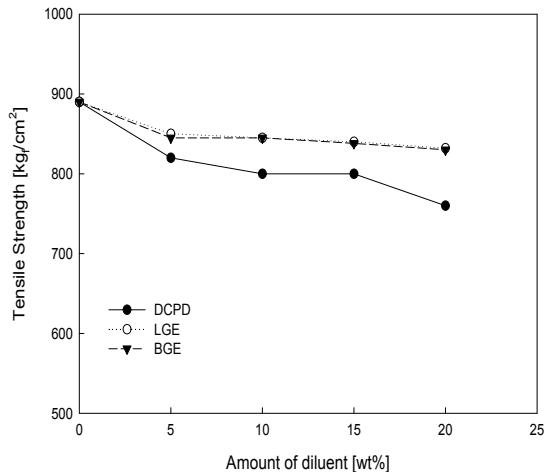
BGE, LGE는 75, 76으로 비슷한 값을 나타냈지만 DCPD는 73으로 상대적으로 낮게 나타났다.

인장강도의 경우 BGE, LGE 및 DCPD 첨가량이 증가 할수록 모두 감소하는 경향을 보였으며 20wt% 첨가 시 각각 830kgf/cm<sup>2</sup>, 832kgf/cm<sup>2</sup> 으로 희석제를 첨가하지 않은 경우 890kgf/cm<sup>2</sup> 보다 낮게 나타났다. 그 중에서도 [Fig. 10]을 보면

DCPD는 760kgf/cm<sup>2</sup> 로 가장 낮게 나타났다.



[Fig. 9] The Effect of Diluent Content on the Surface Hardness of Epoxy Resin.

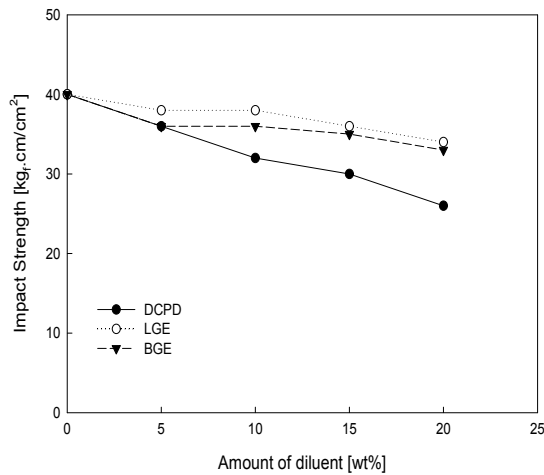


[Fig. 10] The Effect of Diluent Content on the Tensile Strength of Epoxy Resin.

[Fig. 11]에서 보는 바와 같이 희석제 첨가량에 따른 충격강도 결과를 보이고 있다. 충격강도 또한 표면경도와 인장강도의 결과처럼 희석제 첨가량이 증가 할수록 감소하는 경향을 나타냈다. BGE, LGE는 33kgf·cm/cm<sup>2</sup>, 34kgf·cm/cm<sup>2</sup>로 비슷하였으나 DCPD는 26kgf·cm/cm<sup>2</sup>로 가장 낮게 나타났다.

이상의 결과로부터 추측 할 수 있는 것은 에폭시수지가 2차원 선형구조에서 3차원그물구조로 전환되는 과정에서 경화제의 활성수소와 반응 할 수 있는 에폭시기의 유무 그리고 발열온도 등이 에폭시수지의 기계적 물성치를 좌우 하는 것으로 확인 되었다.

또한, 에폭시기를 가지고 있는 반응성 희석제의 경우 점도 감소효과는 있었지만 기계적 물성치는 희석제를 첨가하지 않은 경우보다 조금 낮게 나타났다.



[Fig. 11] The Effect of Diluent Content on the Impact Strength of Epoxy Resin.

## V. 결론

에폭시수지를 진공성형법으로 레저용 소형보트 및 소형선박 제조에 적용하기 위하여 기본 액상수지인 2관능성 에폭시수지와 고리지방족 아민변성 경화제로 경화반응 시 희석제 첨가량에 따른 점도변화 및 기계적 물성치에 미치는 영향을 조명한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

가) 희석제 첨가량이 증가할수록 점도는 감소하였다. 그 중에서도 20wt% 첨가 시 가장 낮은 점도를 나타내고 있다.

나) 발열온도가 높을수록 표면경도, 인장강도

및 충격강도는 높게 나타내고 있다.

다) DCPD를 희석제로 사용한 경우 BGE, LGE보다 표면경도, 인장강도 및 충격강도는 낮게 나타났다. 그리고 BGE, LGE는 비슷한 값을 보이고 있다.

라) 이와 같이 희석제를 사용하면 점도 감소효과는 있었지만, 표면경도, 인장강도 및 충격강도는 희석제를 사용하지 않은 경우보다 약 10~15% 정도 낮게 나타났다.

## References

TeASTM D2240(2005). Standard st Method of Rubber Property-Durometer Hrdness, 1~12.

Choi SG and Lee NT(2003). Influence of Reactive Diluent on the Physical Properties of Epoxy Resin J. Kor. Ind. Eng. Chem., 14(4). 433~439.

Ellis B(1993). Chemistry and Technology of Epoxy Resins, Springer Netherland, 37~71. (10.1007/978-94-011-2932-9)

Guillaume Tillet(2011). Chemical reaction of polymer crosslinking and post-crosslinking at room and medium temperature Progress in Polymer Science, 36. 191. (10.1016/j.progpolysci.2010.08.003)

Kim WY, Lee DS, Kim HS and Kim JG(1994). Effect of Reactive Diluents on the Curing Behavior of Epoxy Resin, J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, 5(6). 1030~1035.

Kim SY, Koo SJ, Ju CS and Park JY(2015). A Study on the Polymerization of Dicyclopentadiene Production and Applied to Boat Materials Journal of the Kor. Soc. for Power Sys. Eng., 19(5). 86~91. (10.9726/kspse.2015.19.5.086)

K. Dusek(1986). Epoxy Resin and Composites II Springer-Verlag, Heidelberg, New York, Tokyo, 85~99. (10.1002/pi.4980180514)

KS. M ISO 180(2012). Plastics-Deternination of Izod impact Strength, 1~9.

KSM. ISO 527-2(2012). Plastics-Deternination of Tensile Strength properties, 1~10.

Lee JK, Kim SY and Ju CS(2012). Improvement of Tensile Strength of Polyester Resin Using Silica/Chopped Glass Fiber Modified by Coupling

- Agent Korean Chem. Eng. Res., 50(1). 30~34.  
(10.9713/kcer.2012.50.1.030)
- Lee N, Lee DH, Lee JH and Min KS(2010).  
Determination of Epoxy/Anhydride Mixing Ratio  
for the Highly Silica Filled Compounds with  
Chromium(III) Octoate Catalyst Elastomers of  
Composites, 50(2). 103~109.  
(10.7473/ec.2015.50.2.103)
- Lee JG, Han SJ and Min KC(2017). A Study on  
the Preparation and Mechanical Properties of  
Pory-DCPD type Epoxy Resin The Journal of  
Fisheries and Marine Sciences Education, 29(5).  
pp. 1633~1639.  
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.5.1633>
- Lee JG, Han SJ, Ha YR, Min KC and Kim  
IC(2018). A Study on the Abrasion Resistant  
Properties of the Pory-DCPD type Epoxy Resin,  
The Journal of Fisheries and Marine Sciences  
Education, 30(3). pp. 982~990.  
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2018.06.30.3.982>
- Na SE, Choi HO, Lee JK, Kim SY and Ju  
CS(2012). The Effect of Additives on the  
Mechanical Properties of Rigid Polyurethane,  
Korean Chem. Eng. Res., 50(5). 783~788.  
(10.9726/kspse.2012.08.50.5.783)
- 
- Received : 12 August, 2019
  - Revised : 05 September, 2019
  - Accepted : 17 September, 2019