

# AL6061과 PBT 재료의 인서트 사출공정조건에 따른 접합강도 특성 분석

정용준\*, 김영신\*\*, 전의식\*\*\*,#

\*공주대학교 기전공학과, \*\*공주대학교 생산기술연구소, \*\*\*공주대학교 미래융합공학과

## Analysis of Variations in the Bonding Strength Characteristics of the AL6061-PBT-Polymer Composite with Injection Parameters

Yong-Jun Jung\*, Young-Shin Kim\*\*, Euy-Sik Jeon\*\*\*,#

\*Department of Mechanical and Electrical Engineering Graduate School of Kongju National Univ.,

\*\*Industrial Technology Research Institute, Kongju National Univ.,

\*\*\*Department of Future Convergence Engineering, Kongju National Univ.

(Received 09 April 2021; received in revised form 15 April 2021; accepted 19 April 2021)

### ABSTRACT

As a trend of lightening automobiles and electronic products, several studies are currently underway to replace parts of metals with resins. In particular, heterojunctions between metals and resins are now under the spotlight. This study aims to evaluate the variation in bonding strength with process conditions when the polybutylene terephthalate (PBT) polymer is bonded to a specimen of the lightweight 6061 aluminum alloy (AL6061). Conditions of the bonding surface of the AL6061 specimen, the temperature of the injection mold, and the content of the glass fiber were considered to be process variables. Bonded specimens were manufactured for different values of these variables. Bonding strength tests were then performed on these specimens and variations were analyzed in their characteristics corresponding to those of the process conditions. Fractures in these specimens were assessed using scanning electron microscopy (SEM) to assess the fracture surface. This was then used to analyze the fracture shape and determine whether anodizing the specimen led to the development of cracks on the joint surface. Results of the above test indicated that while the surface condition of the specimen and the temperature of the injection mold significantly influenced the strength of bonding, the content of the glass fiber did not.

**Key Words** : Polymer-metal(고분자-금속), Nanopores(나노앵커), Direct Bonding(직접접착), Mechanical Interlocking(기계적체결), Nano-rivets(화학적체결)

## 1. 서 론

최근의 경량화 트렌드로 금속 부재를 수지로 대체하는 연구가 활발하게 추진되고 있다<sup>[1]</sup>. 모든 금

속 부재를 수지로 전환하는 것은 불가능하기 때문에 반드시 금속과 수지의 접합 부분이 존재하게 된다. 예를 들어 자동차 차체, 필터, 빔, 스마트폰 전자 제품, 자전거 프레임 등이다. 그렇기 때문에 금속과 수지의 인접 부분을 강고하게 접합하는 기술이 반드시 필요하게 된다. 종래의 기술로는 셀프피어싱<sup>[2]</sup>, 클린칭<sup>[3]</sup>, 볼트나 리벳에 의한 기계적 체결

# Corresponding Author : osjun@kongju.ac.kr

Tel: +82-41-521-9284

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

이나 접착제를 사용하는 화학적 접합이 있으며 이 공정들의 공통된 문제는 응력집중, 비틀림, 체결 압력에 의한 파손, 소재에 대한 제약 및 공정 처리 시간이 늘어나기 때문에 금속과 수지를 직접 접합하는 기술이 각광 받고 있으며, 여러 연구가 진행되고 있다<sup>4)</sup>. 금속과 수지를 직접 접합하는 방법으로는 금속 부품, 수지 부품을 독립적으로 제작, 그 후 양 부품을 가열해 접합하는 ‘성형 후 접합’<sup>2-4)</sup> 및 금속과 수지의 복합체를 금형 내에서 일체 성형하는 ‘성형접합’<sup>15,6)</sup>이 있다. 성형 후 접합의 예로서는 금속-수지 계면에 레이저를 집광해 그 열에 의해 접합하는 방법<sup>7)</sup>, 초음파<sup>8)</sup>나 마찰 교반<sup>3)</sup>을 이용하는 방법 등을 들 수 있다. 표면처리는 수지와 금속의 화학 결합성이 높은 결합 막을 생성해 화학적 접합을 유기 시키는 방법과 금속재료에 구조를 만들어 기계적인 앵커 효과를 촉진 시키는 방법이 있다. 성형 후 접합과 성형 접합은 접합시키고 싶은 대상에 따라 구분사용하게 되는데, 성형 접합은 일체 성형을 하기 때문에 가공시간이 단축되고 가공임의성이 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 성형 접합에서는 처리가 비교적 용이 하고 재료 선택성이 높은 복잡형상구조가 용이해 연구 개발의 주류로 되어 있다. 이중 접합에서 접합강도는 매우 중요한 요인이다. 접합 강도가 낮다는 것은 두 재료가 균일하게 접합되지 않았다는 것을 증빙하므로 고기밀 방수성을 기대할 수 없다. 후공정에서도 색 번짐과 같은 불량을 예단 할 수 있으며, 가벼운 충격에도 파손이 발생된다. 위와 같은 문제로 인하여 국내 전자 제품의 최소 접합강도를 25Mpa를 규정하고 있다. 본 논문에서는 성형접합 공정 중 하나인 인서트사출 공정을 이용한 이중 접합에 강도를 평가 하는데 목적이 있다. 실험의 파라미터 구성은 Al6061 모재의 접합 계면의 표면 거칠기를 황/정삭으로 구분하였다<sup>9,10)</sup>. 부재인 PBT 재료의 Glass Fiber의 함유량을 35%, 40%, 45%로 각각 구분하여 시편을 제작 하였다. 접착면의 표면은 산업현장에서 가공시간에 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 본 실험의 결과 값으로 불필요한 가공시간을 단축할 수 있어 최적 공정설계가 가능하다. 또한 사출시 금형 온도를 80℃, 130℃로 구분하여 사출 온도에 따른 인과 관계와 인장시험을 통해 접합강도와의 상관관

계를 규명 하였다.

## 2. 실험대상 및 방법

### 2.1 실험장치 및 대상

인장 실험에 사용된 장치는 UTM 제조사, Instron5967 모델이며, 장비의 제원은 Table 1과 같다. 실험에 사용된 시편은 항공기산업 및 로봇 장비, 반도체 장비산업에서 가장 많이 사용되는 AL6061 소재를 적용하였다. Fig. 1는 모재인 실험 시편이며 인서트 사출과 접촉되는 계면으로 표면 거칠기를 황삭, 정삭으로 구분 하여 준비 하였다. 조도측정은 Mitutoyo/C의 SJ-210 조도측정기 사용하였으며, 접착 계면을 측정 한 결과 정삭[5.76 $\mu$ m], 황삭[12.7 $\mu$ m]로 측정 되었다. 성형 접합을 위해 Al6061 시편에 TRI[Technology Rising from Iwata] 표면처리를 진행하였다. 복합 소재 PBT는 Shinkong/C 제품을 사용하였으며, G/F Nittobo/C, 접착제는 Hanwha Compound 제품으로 실험 하였다 자세한 물성은 Table 2와 같다.

**Table 1 Specification of the Tensile tester**

Measure of Capacity	[kN]	30
Minimum Speed	[mm/min]	0.001
Maximum Speed	[mm/min]	1,000
Crosshead Travel	[mm]	1,140
Vertical Test Space	[mm]	1,212
Culumn Spacing	[mm]	418
Area Dimensions	H x W x D [Cm]	163x78X73

**Table 2 Materials Information**

Item	Manufacturing Company	Item Number
PBT	Shinkong	Shinite K011
Glass Fiber	Nittobo	830S
Glue (Compound)	Hanwha Compound	BS-41

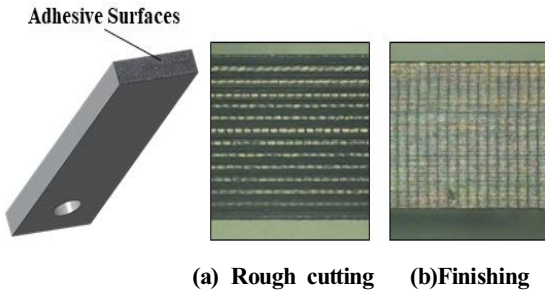


Fig. 1 Surface Roughness

## 2.2 실험 방법

시험편은 표준시험 규격이 지정되어있지 않아 'L'사와 'S'사에서 지정한 82.0mm x 12.0 x 3.0(t) 크기로 제작 하였다. 모재인 AL6061 알루미늄 시험편에 PBT 소재를 인서트사출 공법을 이용하여 접합 하였다. 시험편의 크기와 형태를 Fig. 2에 나타내었다. 인서트 사출은 WIZI Company WIZ110E-i2.4 B Model을 사용하였으며 제원은 Table 3과 같다. 모재인 알루미늄 시험편의 접착 계면의 표면을 황삭, 정삭으로 구분하였고 부재의 PBT에 G/F 함유량을 35%, 40%, 45%로 구분 하였으며, 사출 온도를 80°C, 130°C 적용하여 시험 시험편을 각각 제작 하였다. 제작 된 시험편을 인장 시험기를 이용하여 인장 강도를 측정 하였다. 시험 시험편은 인서트 사출 후 24시간 항온 항습(24°C/50%) 보관 후 테스트하였으며 인장 시험기의 시험 속도는 5mm/min으로 진행 하였다. 인장 시험 이외에 제작된 시험편의 상면을 0.1mm 가공하여 AL6061 시험편과 PBT의 접촉계면을 확대 촬영하여 가공성에 대한 평가를 진행 하였다. MCT 장비의 제원은 Table 4와 같다. Fig. 3는 시험편의 가공 전, 후를 나타내었다. 가공 시험편은 Anodizing<sup>[11]</sup> 처리를 진행하였는데 Anodizing 재료의 변색 및 번짐 현상을 확인하기 위함이다.

이 현상은 휴대폰 및 전자 제품에서 주로 발생되는 불량으로 제품이 제대로 접착되지 않아 외관 불량이 발생 되어 산업 현장에 많은 손실을 발생 시킨다. 특히 Anodizing 공정 중 탈지, 에칭, 화학 연마 공정에서 크랙 및 화학변화 같은 불량이 예상된다. 앞서 설명한 가공 및 후처리 불량 사례를 Fig. 4에 나타내었다.

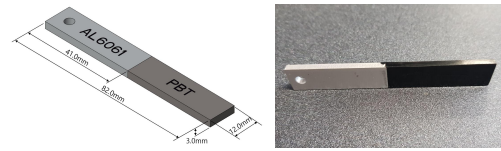


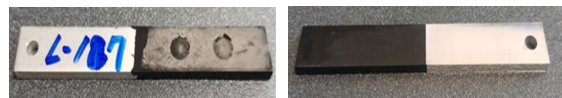
Fig. 2 Geometry of specimen

Table 3 Specification of the Injection Molding

Barrel temperature		Average	
Zone	Temperature(°C)		
Rear	250~270	Drying Temperature	80~120°C 4~6h
Center	250~280		
Front	260~290	Injection pressure	100~140 Mpa
Nozzle	270~290		
Melt	225	Screw rotational speed, sec	20~40 rpm
Mold	80~130		

Table 4 Specification of the MCT Machine

MCT	FANUC, 24,000RPM
TOOL	Face Cut, end mill
Spindle speed	800 mm/min
Spindle RPM	12,000



(a)Before MCT processing (b)After MCT processing

Fig. 3 Geometry of specimen

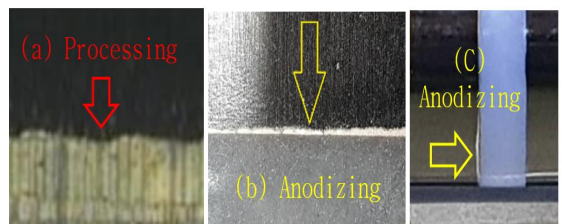


Fig. 4 Example of Defect (SABIC Company)

**Table 6 Tensile characteristic result data (130℃)**

Roughness	G/F [%]	Value[Mpa]		Average
		NON	Anodizing	
Rough Cutting	G/F 35	41.1	39.2	42.7 /35.5
		44.5	35.5	
		42.5	32.0	
	G/F 40	32.3	27.7	36.9 /32.3
		39.6	33.5	
		38.7	35.8	
	G/F 45	37.6	34.9	41.1 /33.4
		46.5	36.8	
		39.1	28.5	
Finishing	G/F 35	41.5	34.6	38.6 /32.2
		36.5	32.9	
		37.8	29.1	
	G/F 40	35.8	35.8	35.5 /32.0
		36.9	29.6	
		33.7	30.7	
	G/F 45	33.1	35.1	36.6 /33.0
		38.4	32.6	
		38.4	31.3	

### 3. 결과 분석

#### 3.1 공정 조건에 따른 강도 특성 분석

인장시험은 AL6061시편의 접착 계면을 표면 거칠기 차이와 G/F 함유량을 구분하여 각 시편을 3개씩 제작하여 인장시험을 진행하였다. 사출온도 시편 제작 중 80℃에서는 G/F 35%의 시편이 접합되지 않아 시험결과를 얻지 못하였다. 사출 온도 80℃ 시험 결과는 Table 5와 같다. 황삭 표면이 정삭 표면보다 인장강도가 높게 측정 되었으며 G/F 함유량이 낮을수록 접합강도가 높아졌다. 130℃ 시험 결과는 Table 6과 같다. 80℃와 같은 결과로 황삭이 정삭보다 접합 강도가 높았으며 G/F 함량 변화에 따른 접합강도의 경향을 찾기는 어려웠다. 사출온도는 높을수록 접합강도가 높아지는 것을 확인하였다.

사출온도 130℃의 시편에 Anodizing 처리 후 인장시험을 진행하였다. Table 6과 같은 결과를 얻었다. Anodizing 처리 전 시편보다 약 10~16% 접합강도가 낮아짐을 확인하였다. 인장시험 외에 가공성을 확인하기 위하여 접합 계면을 확대 촬영하였다. Table 7과 같은 결과를 얻었으며 크랙은 확인되지 않았다.

접합강도에 영향을 미치는 인자분석을 위해 분산분석을 수행하였다. Table 8은 분산분석 결과를 나타낸 것이다. 접합강도에 영향을 미치는 인자는 사출금형 온도 및 가공면의 상태가 접합강도에 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 G/F의 함량에 따른 접합강도의 영향은 유의하지 않음을 확인할 수 있다. 또한 온도와 다른 인자들 간의 교호작용이 발생함을 알 수 있다. 모형의 R<sup>2</sup> 값은 77.49%이며 수정된 R<sup>2</sup> 값은 74.27%의 신뢰도를 보인다. 실험결과값의 잔차도를 Fig. 5에 나타내었다. 정규확률도는 점들이 일직선으로 보이며 정규분포를 보임을 알수있고 히스토그램의 경우 정규분포를 보이며 보이므로 모형의 정규성을 확인할 수 있다. 전차 대 적합지의 경우 다른 특이경향이 없으며 잔차 대 데이터 순서 그림에서도 특이 경향이 없어 잔차들의 독립성을 확인할 수 있으며 실험이 랜덤하게 수행되었음을 확인할 수 있다.

주효과도 분석결과 사출 금형온도는 높고, 표면 가공 상태는 황삭일 경우 그리고 유리섬유의 함량의 경우 40%일 경우, 후가공을 적용하지 않은 경우 접합강도가 높음을 확인할 수 있다. Fig. 6은 접합강도에 대한 주효과도를 나타낸 것이다.

#### 3.2 공정 조건에 따른 표면 분석

인장시험 후 분리된 시편을 SEM 촬영하였다. 시편은 사출온도 130℃ G/F 35%로 진행하였고 황삭, 정삭으로 구분하였다. 표면 거칠기를 SEM을 통해 관찰한 사진들을 Table 9에 나타내었다. SEM 촬영은 G/F(Flat Type)에 PBT의 결속력을 확인 하기 위한 방법이다. Fig. 6은 황삭과 정삭 시편의 파단면을 촬영한 사진이다. G/F가 떨어져 나갔음을 확인할 수 있으며, 황삭과 정삭에서의 G/F와 PBT 재질의 결속력은 차이가 없음을 확인할 수 있다.

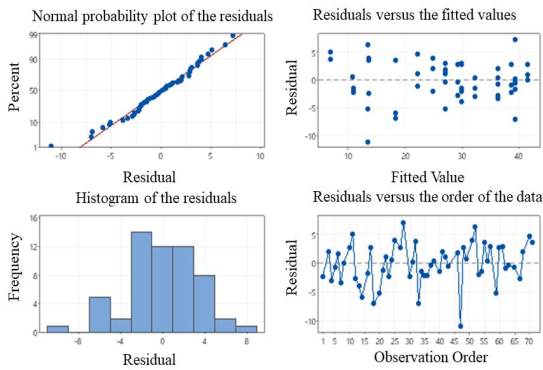


Fig. 5 Residual plot for Bonding strength

Table 7 Processed sample image

Temp.	NON	Anodizing
80°C		
130°C		

Table 8 ANOVA

Source	DF <sup>1)</sup>	Adj SS <sup>2)</sup>	Adj MS <sup>3)</sup>	F-Value <sup>4)</sup>	p-Value <sup>5)</sup>
Model	7	5085.89	726.56	24.09	0
linear	4	4944.44	1236.11	40.99	0
Temp.	1	4042.13	4042.13	134.04	0
Surface	1	639.47	639.47	21.21	0
Glass/F	2	40.67	20.33	0.67	0.514
2-Way interactions	3	341.16	113.72	3.77	0.016
Temp.*Surface	1	224.24	224.24	7.44	0.009
Temp.*Glass/F	2	163.12	81.56	2.7	0.077
Error	49	1477.6	30.16		
Total	56	6563.49			

1)DF : Degree of freedom; 2)AdjSS : Sumofsquares; 3)AdjMS : Meanofsquare; 4)F-Value : MSTR/MSE; 5)p-Value : The criterion for determining the significance level and the reference value is less than 0.05.

Table 5 Tensile characteristic result data (80 °C)

Roughness	G/F[%]	Value[Mpa]	Average
Rough Cutting	35	0	Failed
		0	
		0	
	40	27	26.3
		22.8	
		28.9	
45	21	23.8	
	23.4		
	26.9		
Finishing	35	0	Failed
		0	
		0	
	40	11.4	15.4
		17.7	
		17.3	
	45	8.8	9.1
		9.6	
		9	

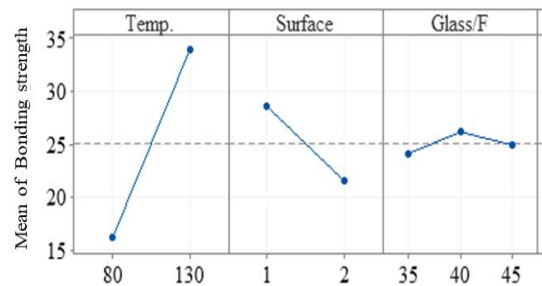
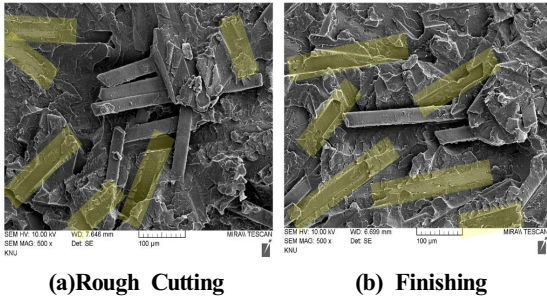


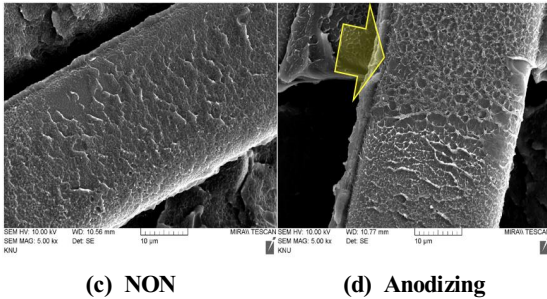
Fig. 6 Main effect plot

Fig. 7, Fig. 8 사진은 G/F와 PBT의 Coupling Agent가 잘 작용하였는지 검토하였다. 황삭 정상 모두 Coupling Agent 효과가 잘 이루어졌다.

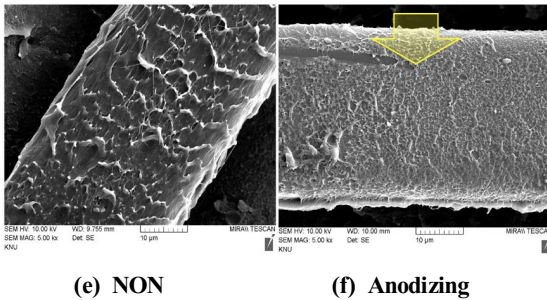
다만 후처리 후 사진의 PBT 재질에 데미지가 발생 되었는데 Table 6의 인장시험 결과와 같이 접합 강도에 영향을 미치는 주요 요인으로 확인된다. 이 데미지는 Anodizing 공정 중 발생된 것으로 예상 되는데 Anodizing 공정 중 탈지→에칭→화학연마(질산 +인산/105~100°C) 공정에서 데미지 발생 되는 것으로 예상된다.



(a) Rough Cutting  
Fig. 6 Adhesive Surfaces



(c) NON (d) Anodizing  
Fig. 7 The surface SEM image of the Rough Cutting



(e) NON (f) Anodizing  
Fig. 8 The surface SEM image of the Finishing

#### 4. 결론

본 연구는 성형접합의 공정중 인서트 사출을 이용한 이중 접합 강도를 평가하였다. 모재인 AL6061에 접합 계면의 조도를 황/정삭으로 구분하여 부재인 PBT를 접합하여 인장 강도를 분석하였다. 주요 인자는 금형의 사출 온도와 G/F의 함유량으로 구분하여 인장 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 9 The surface SEM image of the Al alloy

		SEM ( $\mu m$ )
Rough Cutting	NON	
	Anodizing	
Finishing	NON	
	Anodizing	

1. 접합 계면이 정삭보다는 황삭일 경우 접합강도가 높아졌다. 휴대폰 같은 제품은 그동안 연삭에 가까운 조도로 부품을 제작하여 이중 접합하였다. 이번 연구로 표면 조도를 조정하여 가공 시간을 줄이고 접합 강도를 조절하는 최적 제품 설계가 가능할 것으로 사료된다.
2. 금형 온도가 높을수록 접합강도는 높음을 확인하였다. G/F는 PBT 재질의 강성을 올리는 중요한 재료이며 PBT 재질의 광 정도를 결정하는 중요한 요인이다.
3. 시편의 계면을 가공하여 가공성에 대한 평가를 하였으며 Anodizing 후 접합 강도를 분석 하였

다. Anodizing 처리한 시편이 Anodizing 전 시편보다 10~16% 접합 강도가 낮아 졌으나 접합면의 크랙이 관찰되지 않았다. 서론에서 설명하듯이 국내 가전제품의 접합 강도는 25Mpa 이상을 규정하고 있기 때문에 본 연구에서 도출된 결과를 이용하여 최적의 제품 Design이 가능할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- Xie, Y., Zhang, J., Zhou, T., "Large-area mechanical interlocking via nanopores: Ultra-high-strength direct bonding of polymer and metal materials," Applied Surface Science, China, pp. 558-570, 2019.
- Jeon, N. K., Lee, S. H., Kam, D. H., "Parametric Study of Self-Piercing Riveting for CFRP-Aluminum Dissimilar Joint," The Korean Welding & Joining Society, Vol. 36, No. 3, pp. 8-17, 2018.
- Ahn, N. S., Lee, C. J., Lee, J. M., Ko, D. C., Lee, S. B., Kim, B. M., "Joining High-Strength Steel and Al6061 Sheet Using Hole Clinching Process," The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 36, No. 6, pp. 691~698, 2012.
- Kim, Y., Park, K. Y., Kwak, S. B., "Mechanical fastening and joining technologies to using multi mixed materials of car body," The Korean Welding & Joining Society, Vol. 33, No. 3, pp.12-18, 2015.
- Park, H. P., Cha, B. S., Kim, S. G., Ko, Y. B., Lee, J. W., Jeon, Y. J., "A Study on the Effects in Adhesion of Liquid Silicone Rubbers in Mold Surface and PBT Insert at LSR/PBT Multi component Injection Molding," Korean Society for Precision Engineering, pp.508-509, 2014.
- Han, S. R., "Improvement of Insert Molding for Refrigerator Glass Shelves Using Numerical Analysis," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 50~57, 2016.
- Yoon, S. C., Choi, H. W., "A study on the Laser Bonding for the CNC Combined 100m Processing," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 39, No. 7, pp. 701~706, 2015.
- Park, W. Y., Jang, H. S., Park, D. S., "The Establishment of Bonding Conditions of Cu Sheet using an Ultrasonic Metal Welder," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 66-72, 2012.
- Hwang, Y. K., Lee, C. M., "A Study on the Spindle Run-out Effects on Cutter Mark and Surface Roughness", The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 84-91, 2007.
- Kim, C. Y., Lee, H. C., "A Study on the Surface Roughness Characteristics of Machining Center Using Al6061," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 143-143, 2018.
- Moon, S. H., Moon, S. M., Song, P. K., "A Study on the Growth and Burning of Anodic Oxide Films on Al6061 Alloy During Anodizing at Constant Voltages," The Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 15-21, 2007.