

블랙 알루미나의 연삭가공에 관한 연구

박종남¹, 노승희^{1*}, 이동길²
¹조선이공대학교 기계과, ²(주)엔씨티

Study on grinding of the black alumina

Jong-Nam Park¹, Seung-Hee Noh^{1*}, Dong-Gil Lee²

¹Department of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Technology
²NCT Co., Ltd.

요 약 반도체 시장에서 소재 개발 및 제조 공법에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 일반적으로 자동 로봇용 End Effector는 알루미나(Al_2O_3)와 탄화규소(SiC) 등의 세라믹이 사용되었다. 본 연구는 대량생산이 가능한 분말 성형 프레스 법을 통해 반도체 현장에서 사용되는 블랙 알루미나를 개발하였다. 그리고 알루미나와 블랙 알루미나를 자동 로봇의 End Effector에 적용될 수 있도록 평면 연삭기를 사용하여 연삭가공을 실시하였다. 연삭가공을 통해 블랙 알루미나 대한 표면 거칠기(Ra)를 비교·분석하여 최적의 절삭 조건을 확인 할 수 있었다. 알루미나 표면 거칠기는 이송 속도가 0.72 mm/sec이고 회전수가 1,700 rpm에서 0.4876 μ m로 가장 양호하였다. 블랙 알루미나 표면 거칠기는 대부분의 절삭 조건에서 0.2 μ m이하의 정밀도를 나타내었으며, 이송 속도가 0.72 mm/sec이고 회전수가 1,900 rpm에서 0.1364 μ m로 가장 양호하였다. 블랙 알루미나의 표면 거칠기는 알루미나 보다 0.35 μ m ~ 0.47 μ m 정도 양호하였다.

Abstract Generally, end effectors for automatic robots can use ceramics such as alumina(Al_2O_3) and silicon carbide(SiC). In this study, black alumina was developed and used in the semiconductor field through powder molding press forming. The black alumina can be mass produced. Alumina and black alumina were ground using a plane grinder to apply to the end effector of an automatic robot. The optimal cutting conditions were found by analyzing the surface roughness(Ra) of black alumina through grinding. The alumina surface roughness is the feed rate was about 0.72 mm/sec, and the number of revolutions was best at 0.4879 μ m at 1700 rpm. In addition, the black alumina surface roughness shows a precision of less than 0.2 μ m in most cutting conditions. The feed rate was about 0.72 mm/sec, and the number of revolutions was best at 0.1361 μ m at 1900 rpm. The surface roughness of black alumina was better than that of alumina by about 0.35 to 0.47 μ m.

Keywords : Automatic Robot, Black Alumina, Cutting Condition, Grinding, Semiconductor, Surface Roughness

1. 서론

최근 반도체 시장은 세계 점유율 등으로 요동치고 있는 가운데 시장 경쟁체제의 국내 반도체산업에서도 제품 생산비용에 대한 원가절감은 매우 절박한 상황에 이르고

있다. 이런 이유뿐만 아니라 근래에는 반도체의 초고집적화 와 대구경화는 반도체의 공정장비에 사용되는 부품소재의 뛰어난 기계적 특성, 내열성, 내식성, 내화학성 및 열-전기적 특성 등 다양한 성질들이 요구되어지고 있다. 이러한 다양한 요구에 부합하는 반도체 소재 개발 및 신

*Corresponding Author : Seung-Hee Noh(Chosun College of Science & Technology)
email: sh978@cst.ac.kr

Received July 19, 2019

Accepted November 1, 2019

Revised August 13, 2019

Published November 30, 2019

제조공법 등에 대한 연구들이 진행되고 있으며[1-3], 4차 산업혁명이 주도할 세계시장 경쟁과 반도체산업의 한 단계 발전을 위해서도 지속적인 연구개발들이 진행되어야 할 것이다.

반도체 산업현장에서 자동로봇에 설치되어 실리콘 웨이퍼를 이송시키는 작업수행을 하고 사람의 손과 같은 중요한 역할에 적용되는 End Effector는 일반적으로 알루미나(Al_2O_3)와 탄화규소(SiC) 등의 세라믹 제품을 사용한다. Al_2O_3 및 SiC 등은 내마모성이 우수함에도 불구하고 End Effector는 웨이퍼 이송 시에 웨이퍼와의 접촉과 간섭이 수만 번 이상 이루어지면서 매우 미세하게 마모되고, 이로 인한 마모현상은 자동화 생산에 불필요한 리드타임(lead time)을 유발하게 된다. Al_2O_3 와 SiC 등의 기존 세라믹제품에 반해 블랙 알루미나 제품은 내마모성이 매우 우수하여 휨 현상, 처짐 현상 없이 직진도가 탁월하여 웨이퍼 이송용 자동로봇의 End Effector 제품 용도에 최적의 조건을 갖추고 있다. 또한, 블랙 알루미나는 소재로도 SiC 보다 가격이 저렴하고, 제조방법에 있어서도 기존 세라믹재료들에 적용되었던 슬립캐스팅, CIP성형법 등의 다소 복잡한 제조방법에서 분말성형 프레스공법으로 제조방법을 변경함으로써 대량생산이 가능하여 제조 단가를 낮출 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점을 살리기 위해 반드시 수반되어야 할 공정이 절삭가공 공정이다. 절삭가공 공정 중 연삭가공은 기계 부품 생산의 마지막 단계에서 이루어지는 공정으로 제품의 품질을 결정짓는 중요한 공정이다. 연삭조건은 작업자의 경험과 숙련도에 의해 조절되고 제품의 품질에도 많은 영향을 받게 된다[4].

따라서 본 연구에서 대량생산이 가능한 분말성형 프레스공법을 통하여 반도체용 블랙 알루미나를 개발하였으며, 블랙 알루미나가 반도체 생산현장에서 실리콘 웨이퍼 이송 시 자동화 산업로봇의 끝부분에서 인간의 손처럼 웨이퍼를 잡아주고 이송시키는 역할을 하는 End Effector에 적용될 수 있도록 숙련자에 의해 평면연삭가공을 여러 가지 조건에서 실시하였다. 연삭가공 실험을 통해 블랙 알루미나와 알루미나에 대한 표면 거칠기를 비교·분석하여 평면정밀연삭조건을 제시하였다.

2. 블랙 알루미나 성형

블랙 알루미나의 개발에 적용된 혼합재료는 Al_2O_3 (Showa Denko, Japan)를 주성분으로 TiO_2 , MnO_2 ,

Fe_2O_3 , SiO_2 , TiC 등 첨가제를 사용하였으며, 블랙 알루미나 성형에 적용된 재료의 조성비는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Composition ratio of black alumina material

material	Al_2O_3	MnO_2	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	TiC	other
content(%)	83	7	4.2	3	1.8	0.3	0.7

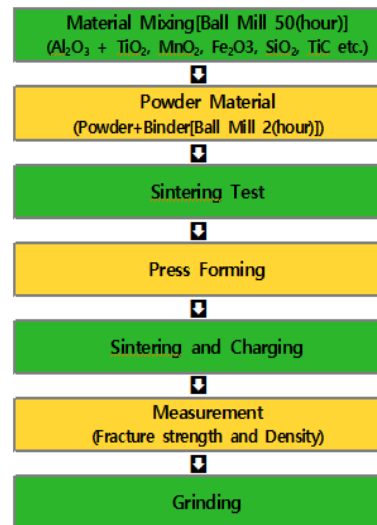


Fig. 1. Diagram of manufacture process(Black alumina)

원재료에 첨가제는 원료의 크기를 $2\mu m$ 와 $100nm$ 이하로 구분된 블랙알루미나 첨가제(뉴환경소재연구소(주), Korea)를 사용하여, 원활한 블랙 형성과 시제품으로서 최고의 질을 얻도록 하였다. 원료혼합은 습식법으로 하였고, Al_2O_3 와 첨가제를 설계 중량의 크기로 분류하여 증류수, PEG 및 약 0.5 wt %의 소포제를 첨가 한 후 볼밀작업을 약 24시간 실시하였다. 혼합된 분말에 바인더를 2 wt % 첨가하고 2시간의 볼밀작업 후 알루미나 볼을 제거하여 슬러리(slurry)를 얻었다. 이때의 슬러리는 오븐을 이용하였으며, $80\text{ }^\circ\text{C}$ 온도에서 24시간 건조 한 후 체거름 작업을 통하여 혼합된 분말소재를 얻었다. 이후의 공정순서는 소결시험 → 프레스를 이용한 성형 → 소결장입 → 강도측정의 순으로 진행하였으며, 제조공정 순서는 Fig. 1에 나타내었다.

프레스 소재 성형시의 프레스압력은 $1\text{ ton}/\text{cm}^2$ 으로 하여 압축은 3단계로 나누어서 압축하고, 압력 제거는 4단계로 나누어서 하였다. 이 공정으로 충진 층을 완전하게 형성하도록 하여 제품 균열 제거, 취약 모서리 부 깨

짐 제거 및 라미네이트 적층 등의 결함을 제거 할 수 있었다. 성형한 블랙 알루미늄은 Fig. 2에 표시하였다.



Fig. 2. Black alumina

장입공정은 블랙 알루미늄의 고유의 색과 주변 장비의 오염을 방지하기 위해 진공로와 특수 제작한 그라파이트 몰드를 사용하였다. 소결 후 블랙 알루미늄의 밀도 측정은 아르키메데스법을 의해 측정하였으며, 측정기(TA 3020, Ohaus)를 이용하였다. 실험결과 Fig. 3과 같이 5개의 샘플에서 3.8 g/cm³ 이상을 나타내었다. 꺾임강도

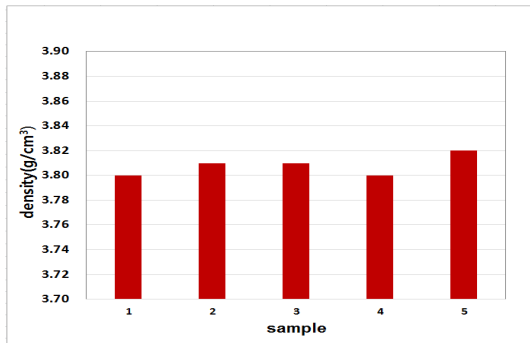


Fig. 3. Density measurement graph of black alumina

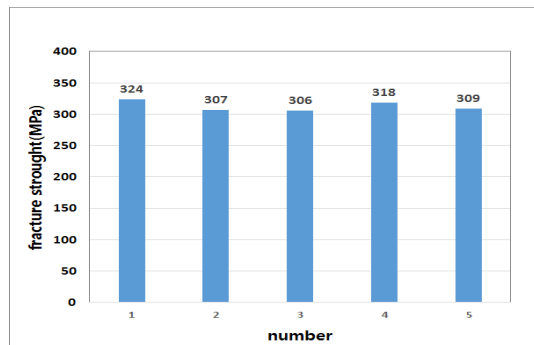


Fig. 4. Fracture strength data of black alumina

측정은 만능재료시험기(UTM4206, Instron)를 이용하여 3점에 의한 실험을 실시하였다. 실험결과 Fig. 4와 같이 꺾임강도는 5회 측정값의 평균 312 MPa를 나타내었다.

일반적으로 제품 생산에서 가장 중요하게 생각되는 것은 제조 단가이다. 기존 세라믹제품들은 대부분 CIP성형법으로 제품을 생산한다. 그러나 본 연구는 제조방법 단순하고 대량생산이 가능하여 CIP성형법보다 제조단가를 낮출 수 있는 분말성형 프레스 공법을 통하여 시제품을 제조하였다.

3. 연삭가공 및 표면 거칠기 분석

3.1 알루미늄 및 블랙 알루미늄 연삭 가공

연삭가공용 시험편은 Fig. 5와 같이 설계하여 다이아몬드 휠 커팅기를 이용하여 제작하였다. 이후 알루미늄 및 블랙 알루미늄 연삭가공 실험은 Fig. 6에 나타난 평면 연삭기(Meister V3, Wasino)를 사용하였다.

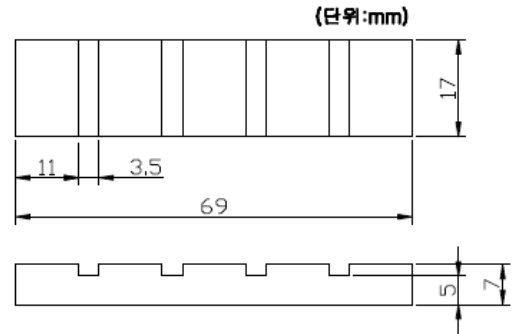


Fig. 5. Design of the test specimen



Fig. 6. Grinding machine used to experiments

Table 2. Grinding conditions

Items	Contents
Wheel	TC#400(Diamond wheel), φ180mm×3.0mm
Wheel dresser	Mo Dresser
Dressing(rpm)	1500rpm
Grinding speed(rpm)	1600, 1700, 1800, 1900, 2000
Feed(mm/sec)	0.72, 0.85, 1.03, 1.31, 1.80
Depth of cut(μm)	2μm/1st
Spark-out No.	2nd
Cutting method	Wet cutting
Collant	Shell metalina 200

연삭조건은 정삭가공을 목표로 1회당 절입량은 2 μm 로 일정하게 고정된 다음 회전수를 1,600 rpm ~ 2,000 rpm 범위에서 1000 rpm 단위로 변환하고, 이송속도를 각각 0.72 mm/sec, 0.85 mm/sec, 1.03 mm/sec, 1.31 mm/sec, 1.80 mm/sec로 습식가공을 실시하였다. 연삭가공에 대한 세부내용은 Table 2에 나타내었다.

3.2 표면 거칠기 분석

표면 거칠기 측정은 가장 많이 적용되고 있는 촉침식 표면 거칠기(DR-100X61, kosaka)를 사용하였으며, 측정조건 Speed 1.0 mm/s, 촉침 직경은 5 μm를 적용하여 컷오프는 0.8 mm로 측정하였다.

측정방법은 수평테이블에 알루미늄 및 블랙 알루미늄 시험편을 올린 후 연삭가공 된 방향에 직각으로 설치한 후 측정 길이를 각각 10 mm로 하여 컷오프 값에 5배인 4 mm를 평가하였다. 이러한 방법으로 Ra, Ry(Rmax), Rz 값을 구하였으며, 표면 거칠기 표시방법 중 중심선 표면 거칠기(Ra)값을 Table 3(a)에 알루미늄의 표면 거칠기 값을 Table 3(b)에 블랙 알루미늄의 표면 거칠기 값을 각각 정리하여 나타내었다. Fig. 7(a), 7(b)는 Table 3(a), 3(b)에서 정리한 표면 거칠기 값을 각각 그래프로 나타낸 것이다.

알루미늄의 표면 거칠기는 1,700 rpm에서 가장 양호하였으며, 회전수가 증가할수록 표면이 거칠게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 이송속도에 변화에 따른 표면 거칠기는 모든 조건의 회전수에서 이송속도가 증가할수록 거칠게 나타남을 확인할 수 있었다.

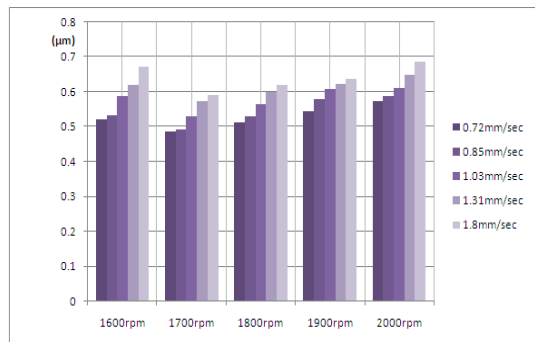
Table 3. Surface roughness date of the ceramics
(a) Alumina (b) Black alumina

feed(mm/sec) rpm	0.72	0.85	1.03	1.31	1.80
1600	0.5208	0.5335	0.5882	0.6199	0.6711
1700	0.4876	0.4916	0.5296	0.5732	0.5916
1800	0.5116	0.5308	0.5659	0.6013	0.6213
1900	0.5444	0.5793	0.6084	0.6219	0.6363
2000	0.5744	0.5891	0.6123	0.6502	0.6861

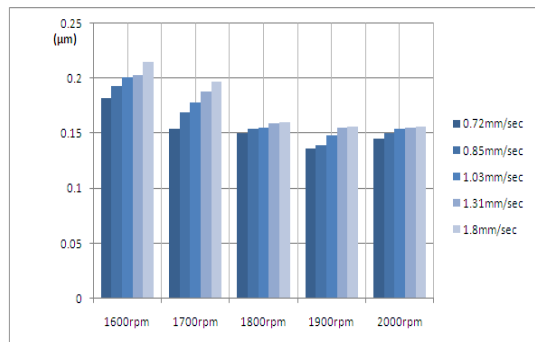
(a)

feed(mm/sec) rpm	0.72	0.85	1.03	1.31	1.80
1600	0.1822	0.1930	0.2009	0.2034	0.2153
1700	0.1544	0.1691	0.1778	0.1878	0.1970
1800	0.1500	0.1545	0.1554	0.1592	0.1599
1900	0.1364	0.1367	0.1484	0.1550	0.1566
2000	0.1458	0.1501	0.1539	0.1555	0.1564

(b)



(a)



(b)

Fig. 7. Surface roughness graphics of the ceramics
(a) Alumina (b) Black alumina

블랙 알루미늄 표면 거칠기의 경우는 대부분의 절삭조건에서 0.2 μm 이하의 정밀도를 나타내었다. 블랙 알루미늄 표면 거칠기는 회전속도가 증가할수록 양호한 결과를 얻었으나 1900 rpm을 기점으로 표면 거칠기 값이 서서히 증가됨을 확인할 수 있었다. 이송속도에 따른 표면 거칠기는 이송속도가 증가할수록 알루미늄과 같이 표면 거칠기 값이 증가하는 현상을 확인할 수 있었다.

동일한 절삭조건에서 알루미늄과 블랙 알루미늄의 표면 거칠기 값을 비교 분석한 결과 블랙 알루미늄이 알루미늄보다 0.35 μm ~ 0.47 μm 정도 양호한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 알루미늄은 이송속도가 0.72 mm/sec 이고 회전수가 1,700 rpm에서 0.4876 μm 로 가장 양호한 값을 얻었으며, 블랙 알루미늄은 이송속도가 0.72 mm/sec 이고 회전수가 1,900 rpm에서 0.1364 μm 로 가장 양호한 값을 얻었다. Fig. 8(a), (b)는 알루미늄과 블랙 알루미늄에서 가장 양호한 표면 거칠기 값을 각각 측정하는 그래프이다.

4. 결론

본 연구는 분말성형 프레스법을 통하여 반도체용 블랙 알루미늄을 개발하였으며, 블랙알루미늄이 반도체 생산 현장에서 자동화 산업로봇의 End Effector 에 적용될 수 있도록 연삭가공을 통해서 최적의 정밀연삭조건을 분석하여 제시하였다.

1. 블랙 알루미늄 표면 거칠기(Ra)는 대부분의 절삭조건에서 0.2 μm 이하의 정밀도를 나타내었으며, 회전속도가 증가할수록 이송속도가 낮을수록 양호하였다.
2. 알루미늄 및 블랙 알루미늄의 이송속도에 따른 표면 거칠기는 이송속도가 증가할수록 거칠기 값이 증가하는 현상을 나타내었다.
3. 동일한 절삭조건에서 알루미늄과 블랙 알루미늄의 표면 거칠기 값을 비교 분석한 결과 블랙 알루미늄이 알루미늄보다 0.35 μm ~ 0.47 μm 정도 양호한 값을 나타내었다.
4. 실험을 통한 블랙 알루미늄의 최적의 연삭가공조건은 이송속도가 0.72 mm/sec, 회전수가 1,900 rpm에서 표면 거칠기는 0.1364 μm 를 나타내었다.

References

- [1] Kwang-Ho Lee, "Preparation and Characterization of Black Zirconia Ceramic", Ph.D dissertation, *Myongji University*, pp.2-4, 2009.
- [2] Hwan-Gyun Moon, "Study of cold isostatic pressing and sintering behavior of (Al+Y)3X (X=Zr, Ti, Y=Cu, Mn) nanocrystalline intermetallic compound

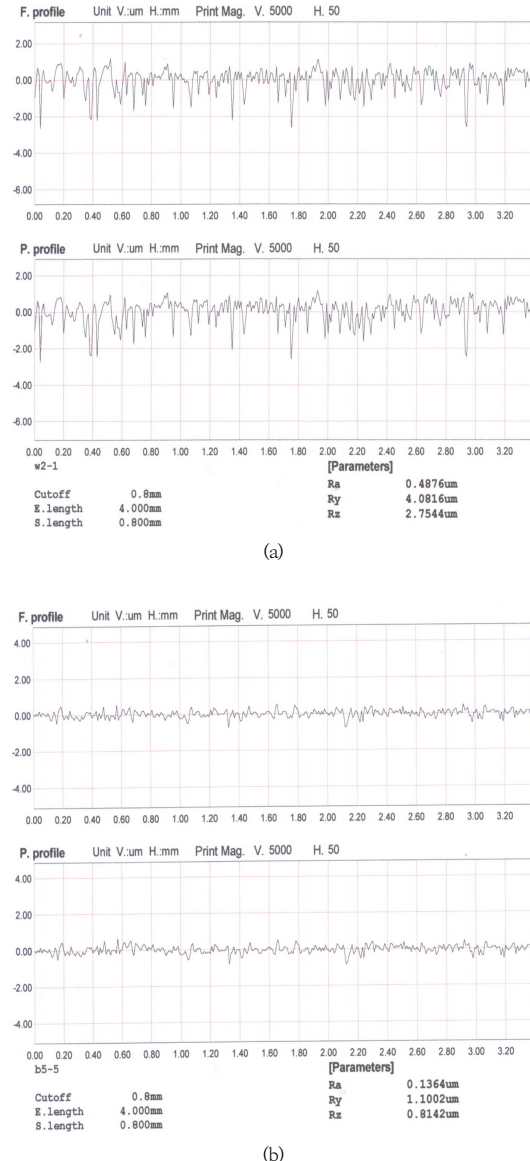


Fig. 8. The surface roughness graphs of the ceramics
 (a) Alumina(f=0.72mm/sec, N=1700rpm)
 (b) Black alumina(f=0.72mm/sec, N=1900rpm)

synthesized by mechanical alloying”, Master’s thesis, *Hanyang University*, pp.1-3, 2002.

- [3] Seok-Won, Kang, “A Study on the Fabrication and Properties of Ballistic Ceramics for Alumina System”, Ph.D dissertation, *Myongji University*, pp.1-5, 2003.
- [4] Jeongju Choi and Tae-won Choi, “Study on the Optimal Control of the Plunge Grinding for Valve Parts in Batch Production”, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.12, No.11, pp. 4726~4731, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.11.4726>
- [5] Uematsu, K., Itakura, K., Uchida, N., Saito, K., Miyamoto, A. and Miyashita, T., , “Hot Isostatic Pressing of Alumina and Examination of the Hot Isostatic Pressing Map,”, *Journal of The America Ceramic Society*, Vol.73, No.1, pp.74~78, 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1990.tb05093.x>
- [6] Dae-Joon Kim, Hong-Lim Lee, Hyung-Jin Jung, “Effect of Surface Grinding on Low Temperature Degradation of 3Y-TZP”, *Journal of The Korean Ceramic Society*, Vol.30, No.2, 1993.
- [7] The Korea Journal of Ceramics, “Ceramic experiment”, p.422, *Bando Publishing Co.*, 1998.

박 종 남(Jong-Nam Park)

[정회원]



- 2002년 2월 : 조선대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 조선대학교 공과대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2008년 2월 :
☞ 엠엔티 연구소 소장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 금형, 정밀가공

노 승 희(Seung-Hee Noh)

[정회원]



- 1997년 2월 : 조선대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 2014년 3월 :
☞ 엠엔티 연구소 책임연구원
- 2014년 4월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과

<관심분야>

금형, CAD/CAM, 유체, 절삭가공

이 동 길(Dong-Gil Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 조선대학교 공과대학대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 조선대학교 공과대학대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2003년 1월 ~ 2011년 10월 : 한국생산기술연구소 수석연구원

• 2011년 11월 ~ 2013년 11월 : 네오솔루션 대표

• 2016년 1월 ~ 현재 : ☞엔씨티 연구소장

<관심분야>

기계공학, 기계설계 및 가공, 기계재료