

온간단조금형의 수명연장에 관한 연구

김세환^{1*}

¹공주대학교 기계자동차공학부

A Research on Lengthening the Life of Warm Forging Die

Sei-Hwan Kim^{1*}

¹School of Mechanical&Automotive Engineering, Kongju National Univ

요 약 자동차의 A.C 제너레이터(alternating current generator) 부품으로 사용되는 로터폴(rotor pole)을 가공할 때는 트랜스퍼온간단조금형(transfer warm forging die)으로 성형한다. 소재를 온간가공 영역으로 가열한 후 즉시 금형안으로 이송시켜 제1스테이지(1st stage)에서 업세팅가공(upsetting work)하고 제2스테이지(2nd stage)로 이송하여 측방압출(lateral extrusion)가공을 한다. 이때 측방압출 스테이지의 금형에서 다이블록(die block), 다이부싱(die bushing), 센터펀치(center punch), 사이드펀치(side punch)의 접촉면이 압출시의 과혹(過酷)한 조건에 견디지 못하여 쉽게 마멸(abrasion)되어 금형수명(die life)을 단축시키고 있다. 이 때문에 생산량 감소로 인한 납기 지연, 금형의 수리보수시간 과다, 제품의 정밀도 저하 등의 문제점이 발생되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 금형재질 선정과 열처리 작업 사이클 개선, 방전가공시의 트러블 해소, 핵심부품의 구조변경 등을 연구하여 금형수명을 40~50% 연장 하고자 하였다.

Abstract Rotor pole for AC(alternating current) generator is manufactured through transfer warm forging die. As soon as the material is heated at the warm manufacturing process, it is transferred to the first stage for upsetting work and then to the second stage for lateral extrusion work. The processes at the lateral extrusion work such as die block, die bushing, center punch, and side punch make severe condition and abrasion which leads to shorten the die life. This causes production decrease, long maintenance time, and low level of precision. Research on the die material selection, heat process cycle improvement, electric discharge machining trouble solution, and re-construction of main parts is expected to find a method to lengthen the die life up to 40 - 50%.

Key Words : Warm forging, Forging work, Lateral extrusion, Impression.

1. 서론

부품을 가공하는 방법에는 절삭가공에 의한 것과 소성가공에 의한 것으로 대별 된다.

소성가공은 소재에 외력을 가하여 영구변형을 시켜 제품도에서 요구하는 형상으로 성형하는 가공법이다. 소성가공의 일종인 단조가공(forging work)은 소재인 빌릿(billet, slug)[1-4]에 압축력을 가하여 영구변형 시키는 것이다. 빌릿의 재질은 거의 금속이지만 비금속도 사용된다. 빌릿은 가열하면 온도의 상승에 따라 변형저항이 감소한다. 빌릿의 가열온도에 의하여 단조가공을 분류하면 그림 1과 같이 냉간단조(cold forging), 온간단조(warm

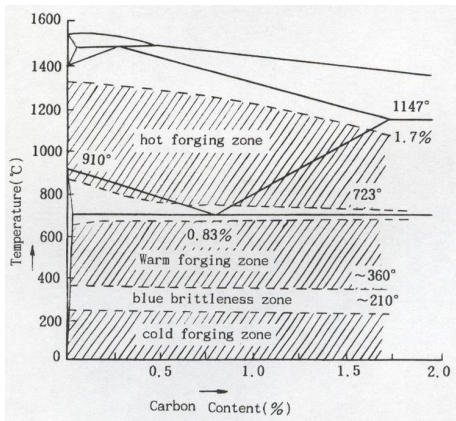
forging), 열간단조(hot forging)로 구분된다.[3,5,7-10] 냉간단조시 빌릿의 가공온도는 상온(常溫)에서 250℃ 까지이며 온간단조는 많은 소견이 있으나 금속 빌릿의 경우에는 250~800℃ 정도를 온간단조의 온도역이라하고, 열간단조는 1,000~1,250℃ 정도라고 한다.[3,5,7-10]

산업현장에서는 냉간단조의 공정개선과 금형설계 및 제작기술의 발달과 함께 복잡한 형상의 고풍도 빌릿에 대한 단조가공이 요망 되므로 빌릿의 가열온도를 필요영역으로 조절하여 변형저항을 낮추고 있으며, 냉간단조의 성형한계를 벗어나게 하여 열간단조에서 얻지 못하는 단조제품의 치수 정도를 높이는 온간단조가 적용 되고 있다[6-10].

*교신저자 : 김세환(zxcv@kongju.ac.kr)

접수일 09년 12월 03일 수정일 10년 01월 12일

계재확정일 10년 01월 20일



[그림 1] Forging temperature of carbon steel

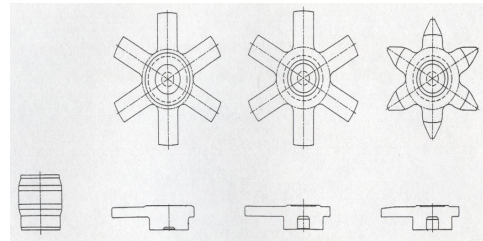
이와같이 온간단조는 냉간단조에서 가공되지 않는 복잡한 형상으로 이루어진 자동차부품의 성형에도 사용되고 있으며, 온간단조와 냉간단조를 조합한 공정의 개선에 의하여 단조품의 정형가공(net shape manufacturing)까지 응용 되고 있다.

온간단조는 빌릿을 어닐링(annealing) 온도까지 가열한 후 냉각 시키지 않고 그 상태에서 단조가공 하므로써 냉간단조에서의 A.B.S(full annealing, shot blasting and bonderizing)처리 공정을 생략할 수 있는 반면, 가열된 빌릿온도의 영향을 받은 금형온도의 상승으로 인하여 금형수명이 짧아지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 트랜스퍼 온간금형을 이용하여 빌릿을 제1공정에서 업세팅(upsetting) 하고 제2공정에서 측방압출(lateral extrusion)을 할 때 금형의 임프레션(impression)이 마멸 되므로 불량현상과 금형보수 횟수가 잦아 생산량 저하와 납기 지연의 문제점을 해결 하고자 하였다.

2. 문제점 도출

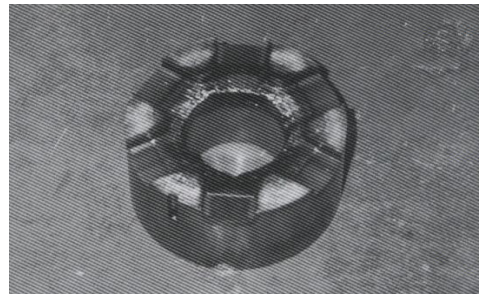
2.1 현상

빌릿을 트랜스퍼 온간단조금형을 이용하여 그림 2와 같이 제1스테이지에서 업세팅하고, 제2스테이지에서 측방압출을 하였더니 10,000~12,000스트로크에서 다이블록과 부싱 상면 및 사이드펀치 하면이 그림 3과 같이 마멸되었다.



- ① upsetting ② lateral extrusion
- ③ heading-indenting ④ trimming

[그림 2] Transfer warm forgim process

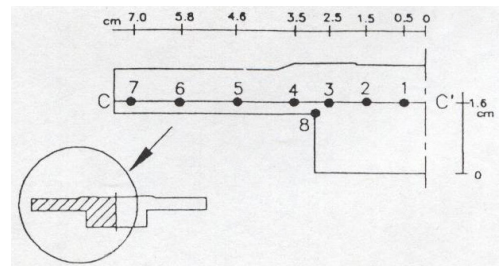


[그림 3] The abrasion phenomena in a die block and die bushing

2.2 원인분석

- 1) 다이블록, 다이부싱, 사이드펀치 재질 : STD61
- 2) 열처리 :
 - (1) 담금질→ 최종온도 1,040℃에서 30분 유지 후 공냉
 - (2) 템퍼링→ 상온에서 스타트하여 저온 템퍼링 2회
- 3) 금형 가공방법 : 기계가공→열처리→방전가공→사상(다듬질)→조립
- 4) 조직검사 :

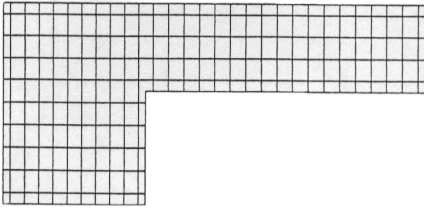
온간단조에 따른 측방압출 제품의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하기 위하여 그림 4와 같이 절단 하였다.



[그림 4] Lateral extrusion

5) 경도측정 :

그림 4에 표시된 부위를 대상으로 경도측정을 실시하기 위하여 그림 5와 같은 격자를 시편의 표면에 표시하여 각 절점의 경도를 측정 하였다. 경도시험은 록크웰경도기 (Rockwell, $\varnothing 3.175\text{mm}$ 인 hard steel ball indenter : B scale) 를 사용 하였다.

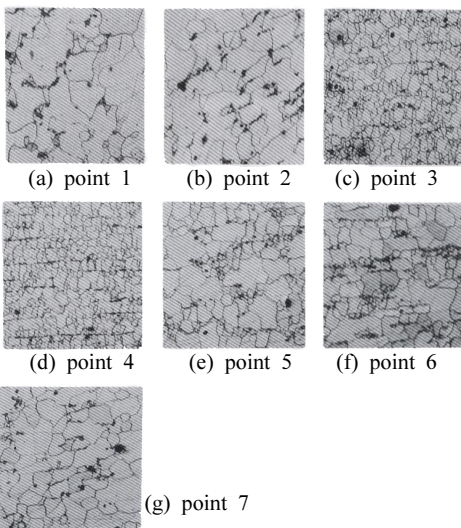


[그림 5] Mesh for hardness(HRB) measurement

2.3 조직검사

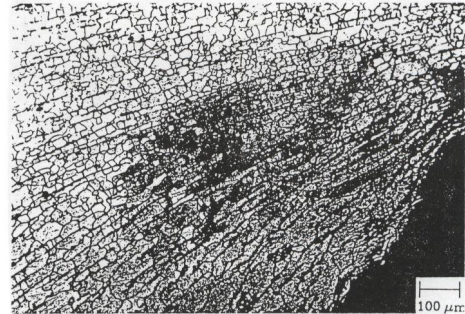
그림 6은 그림 4의 각각의 포인트 1,2,3,4,5,6,7 지점의 조직사진($\times 100$)을 나타낸 것이다.

대체적으로 검은부분의 펄라이트(pearlite) 조직이 하얀부분의 페라이트(ferrite) 입계 사이에 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 부드럽고 전연성의 조직으로 강자성이 되어 균열 발생 없이 측방압출이 이루어진 것으로 판단된다. 그림에서 포인트 1과 포인트 7은 거의 변형을 받지 않는 부위로서 비교적 큰 입경을 그대로 유지하고 있는 반면, 변형을 많이 받았다고 예상 되어지는 부분의 조직이 미세화 되어 입경이 작아짐을 알 수 있으며, 포인트 4에서 가장 작은 입경을 갖고 있음을 보여 주고 있다.



[그림 6] Optical micrographs at several locations of the of lateral extrusion

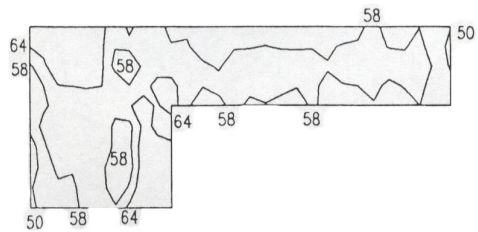
그림 7은 그림 4의 포인트 8의 부위로서 소재와 다이 블록 상면 부근에서는 강한 압력과 마찰에 의하여 유동이 억제 되므로 조대한 조직을 그대로 유지하고 있으나 내부 조직은 상당히 변화되어 있으므로 소성유동 방향으로의 메탈플로(metal flow)의 유동현상을 관찰할 수 있다 [11].



[그림 7] Micrographs at point 8

2.4 경도측정

그림 8은 그림 5의 단면 경도 측정결과를 나타낸 것이다. 경도분포를 살펴보면 전체적으로 비슷한 값을 가지나 압출 중에 윤활액에 의한 급냉을 받는 부위는 국부적으로 높은 경도값을 갖게 되고 소성가공을 받지 않은 부분은 낮은 경도값을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

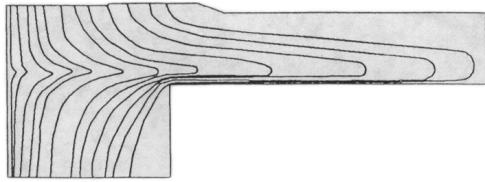


[그림 8] The distribution of hardness(HRB)

그림 9는 그림 4의 메탈플로로서 단면을 다이아몬드 랩제로 래핑하고 염산과 물을 같은 비율로 섞어서 80~100℃로 뜨겁게 하여 25분 정도 담구었다가 꺼낸 것이다.

이상에서와 같이 그림 4의 포인트 8에서의 경도값은 그림 8과 같이 전체 경도분포 중에서 가장 높게 나타났으며[1], 그림 9의 메탈플로에서도 소재가 고압력에 의한 마찰과 밀집된 상태에서 빠른 속도로 유동 되고 있는 것과도 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 포인트 8부근은 금형에서 소재가 임프레션 내면으로 압출되어 유동될

때 과혹(過酷)한 조건을 받는 곳이 되고, 마멸(abrasion) 또한 가장 심한 곳으로 되기 때문에 10,000~12,000스트로크에서 금형수명을 마치는 것으로 판단된다(그림 3 참고).



[그림 9] The schematic diagram for metal flow

3. 금형수명 연장대책

그림 4의 포인트 8부근은 고압력에 의한 마찰력과 소재의 빠른 소성 유동속도 및 변형저항 등 과혹한 조건으로 인하여 금형의 마멸이 가장 격심하게 발생 되므로 다이블록, 다이부싱, 사이드펀치의 재질 선정과 방전가공 후의 변질층 제거와 잔류응력 해소는 물론 금형강에 대한 열처리(담금질, 템퍼링)와 표면경화처리를 필수적으로 도입하여 금형제작 후 트라이얼 하기로 하였다.

3.1 금형강의 선정과 열처리

사용하고 있는 기존의 금형재질은 STD61(SKD61)인데 이것을 STT4(SKT4)로 교체하였으며[12], 일반적인 담금질(quenching)과 저온템퍼링(tempering)의 작업 사이클을 재질 특유의 담금질과 고온템퍼링 방법으로 그림 10과 같이 하였다.

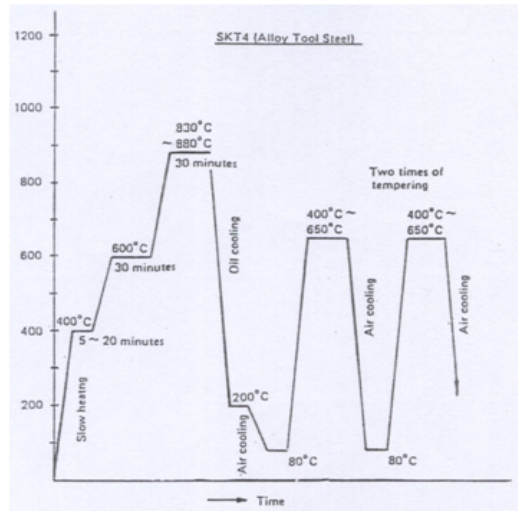
열처리에서의 중점은, 담금질 후 급냉(유냉) 시키다가 200℃의 여열에서 서냉(공냉)하였으며, 서냉시 80℃의 여열에서 고온 템퍼링으로 이어 졌으며, 1회 템퍼링 후 공냉 시키다가 80℃의 여열에서 2회의 고온 템퍼링을 실시 하였다. 금형강에 대한 열처리 작업이 완료된 후 표면경화처리로써 질화처리를 하였다.

3.2 2차 템퍼링 실시

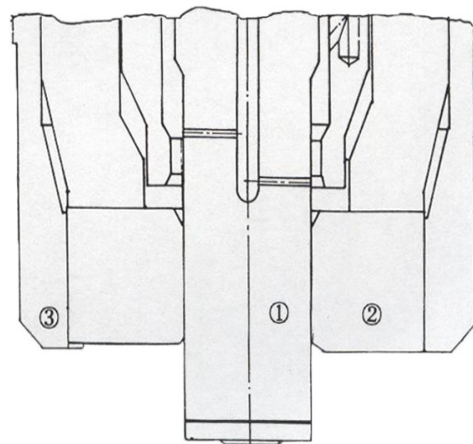
센터펀치(center punch), 사이드펀치(side punch), 다이블록(die block), 다이부싱(die bushing), 슈링키지링(shrinkage ring)의 제작은 방전가공에 의하여 하였으며 방전가공 후의 변질층 처리와 잔류응력 해소를 위하여 2차 고온 템퍼링을 3회 실시 하였다.

고온 템퍼링은 일종의 소르바이트(sorbite)화 조작으로 500~600℃로 실시하였으며 효과는 인성부여, 응력해소,

조직균등화, 변질층 해소 등의 결과를 얻은바 있다[12].



[그림 10] Work cycle for tempering and quenching

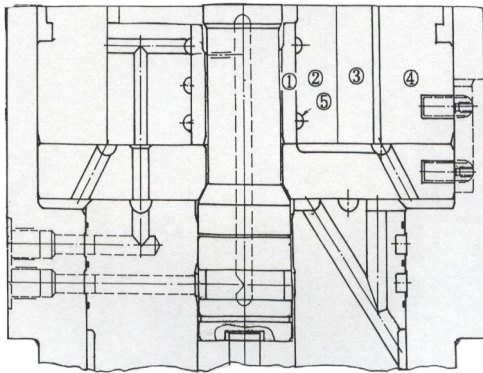


① center punch ② side punch ③ punch guide

[그림 11] The schematic drawing of upper die

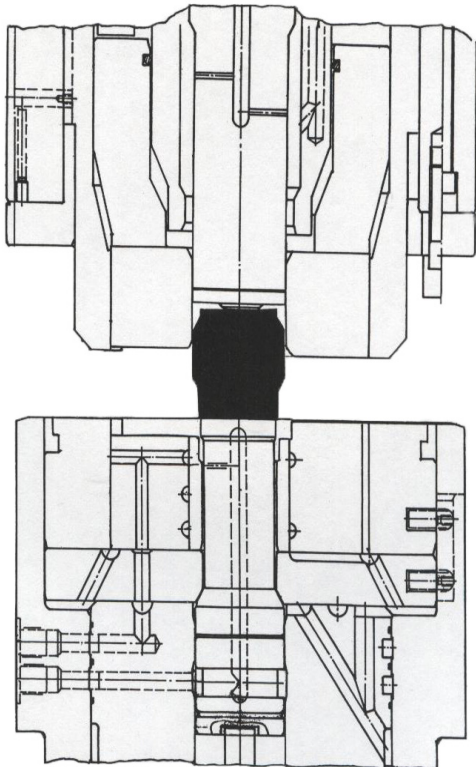
3.3 금형구조

금형의 핵심인 상형의 주요 부품은 그림 11이고고, 하형의 주요 부품은 그림 12이며, 상형의 사이드펀치가 35% 정도 하강 되었을 때의 작동상태는 그림 13이며, 상형의 센터펀치가 100% 하강하여 측방압출이 완료된 상태가 그림14이다. 특히, 그림 12의하형에는 슈링키지링(③,④) 2개를 열박음으로 조입 하였다.

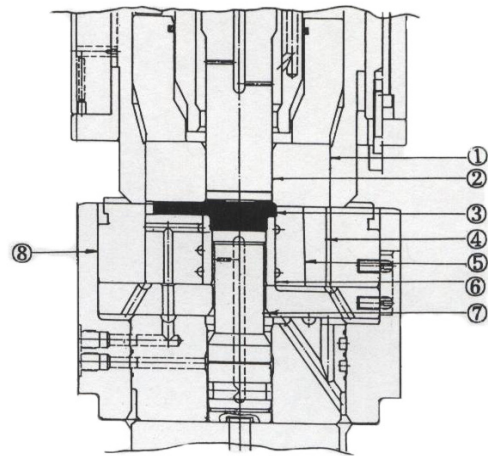


① die bushing ② die block ③ shrinkage ring(1)
④ shrinkage ring(2) ⑤ oil groove

[그림 12] Die drawing of lower die



[그림 13] Side punch stroke of 35%



① side punch ② center punch
③ impression profile ④ shrinkage ring(1)
⑤ die block ⑥ die busing ⑦ knockout rod
⑧ shrinkage ring(2)

[그림 14] Front sectional elevation of lateral extrusion die(center punch stroke of 100%)

금형 수리보수시 육성용접이나 연마작업을 생략하기 위하여 센터펀치, 사이드펀치, 펀치가이드, 다이블록과 다이부싱, 슈링키지링 등의 주요부품은 호환성이 좋게 하기 위하여 솔리드타입(solid type)으로 하지 않고 섹션얼 타입(sectional type)으로 하였다.

4. 트라이얼 및 비교검토

4.1 트라이얼

트라이얼에 사용된 설비는 기존의 양산용 너클프레스 (1,000톤)와 가열로는 유도전기로를 사용 하였으며, 단조 가공 작업조건은 전과 동일하게 하였다.

스탬핑 수 10,000개 완료 후 1,000개 단위로 금형의 마멸상태를 관찰한 결과, 그림 3과 같은 현상을 발견할 수 없었다.

4.2 비교검토

온간단조 후 피가공재의 조직사진 분포도나 메탈플로를 통하여 소성변형 유동속도, 고압력에 의한 마찰과 변형저항에 따른 금형의 과혹부위를 예측할 수 있어 금형 재질 선택과 열처리 작업 사이클의 개발 도입과 금형제작시 사용된 방전가공의 문제점 해소와 금형구조의 개선으로 종래의 최대 12,000스트로크에서 개발 후 17,000스

트로크 까지 금형수명의 연장을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

온간단조금형의 수명연장에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 온간단조 금형재질은 STD61(SKD61) 보다는 STT4(SKT4)가 적합하였으며, 열처리 작업 사이클 개발은 금형수명에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하게 되었다.
- 2) 방전가공에서는 반드시 변질층제거와 잔류응력 해소 작업이 필수임을 확인하게 되었다.
- 3) 하형의 구조는 다이블록, 다이부싱, 제1 슈링키지링, 제2 슈링키지링을 열박음으로 조입하여야 됨을 확인하게 되었다.
- 4) 취약이 예측되는 금형 부품은 솔리드타입의 구조를 배제하고 섹션얼타입의 구조로 바꾸어 수리보수시 교체하기 용이한 부품으로 개발하여 호환성이 좋도록 하여야 한다.

참고문헌

- [1] 板垣敏, ドイツの型鍛造, 新日本鍛造協會, 大阪市, PP.188-189, 223-225, 1983.
- [2] 板垣敏, 鋼の型鍛造, 新日本鍛造協會, 大阪市, PP.17-20, 1983.
- [3] 편집부역, 프레스핸드북, 기전연구사, 서울 PP.73-118, 1987.
- [4] Louis Schuler, Metal forming handbook, Louis Schuler Göppingen, Hamgurg, PP.91-95, PP.285-286, 1966.
- [5] 財團法人 鍛造技術研究所, 鍛造技術講座, (株)東神堂, 東京部, PP.106-107, 1981.
- [6] 鍛造ハンドブック編集委員會編, 鍛造ハンドブック, 日刊工業新聞社, 東京都 PP.286-314, PP.39 1-418, 1971.
- [7] 小松研究所, 冷(溫)間鍛造の基礎技術, (株)小松製作所, Tokyo, PP.15-30, 1988.
- [8] 김박윤역, 압축가공금형, 대광서림, 서울, PP.19 1-196, 1984.
- [9] Kurt Lange, Handbook of Metal forming, McGraw-Hill Co, New york, PP.15.1-15.93, 1985.
- [10] 이해영, 온간단조세미나, 만도기계(주), 경주공장,

1991.

- [11] 제진수, 김재훈, 강성수 “온간단조에서의 소성변형과 결정입자 변화와의 관계” “대한기계학회”, 大韓機械學會論文集 A. 제20권 제2호, PP. 461~471, 1996.
- [12] 小松研究所, 冷間鍛造の實務, (株)小松製作所, Tokyo, PP.15-17, 1988.

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 1979년 2월 : (주) 삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2010년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리