Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 12, No. 5 pp. 2019-2024, 2011

DOI: 10.5762/KAIS.2011.12.5.2019

GMA용접 공정에서 콘택트팁 마모가 용접비드에 미치는 영향

고진현[1], 김남훈[1*], 김환태[2], 황용화[3]
[1]한국기술교육대학교 신소재공학과, [2]한국과학기술정보연구원 전문연구위원,
[3]한국원자력연구원 조사시험부

Effect of the Wear of Contact Tips on the Weld beads made by GMAW Process

Jin-Hyun Koh[1], Nam-Hoon Kim[1*], Hwan-Tea Kim[2] and Yong-Hwa Hwang[3]
[1]Department of Materials Engineering, Korea University of Technology & Education
[2]ReSeat Program, Korea Institute of Science and Technology Information
[3]PIE & Radwaste Division, Korea Atomic Energy Research Institute

요 약 GMA용접 공정에서 콘택트팁의 마모가 용접비드에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 콘택트팁과 용접비드 사이의 연관성을 조사하기 위하여 초고속 카메라와 파형분석을 이용하여 용적이행을 관찰하였고, 저 배율의 카메라로 비드의 상태를 관찰하였다. 콘택드팁의 마모는 팁과 용접와이어 사이의 접촉 지점을 변화시켜 결과적으로 불규칙비드를 생성하였다. 이것은 마모된 콘택트팁이 용접시 용접저항의 변화를 초래하여 용접아크 불안정의 원인이 되기 때문이다.

Abstract The effect of the wear of contact tips on the weld beads made by a Gas Metal Arc Welding(GMAW) process was studied. In order to correlate between the wear of tips and beads, the droplet transfer was investigated by a high speed camera and waveform shapes, and the condition of beads was examined by a low magnification camera as well.

It was found that the worn contact tip had caused to shift the contact point between the tip and the welding wire which resulted in nonuniform beads. In addition, the worn contact tip had changed the welding resistance and brought about the arc instability during welding.

Key Words : GMA welding, Contact tip, Wear, Welding wire, Welding bead, Droplet transfer

1. 서 론

가스메탈아크용접(gas metal arc welding, GMAW)은 용가재인 소모성 전극 와이어가 일정한 속도로 용융지에 공급되면서 와이어 선단과 모재 사이에서 전기적 아크가 발생하여 되는 용접법이다. GMAW가 원활하게 수행되기 위해서는 용접하는 동안 적절한 용접전류가 일정하게 공급되어야 하고, 용융지로 송급되는 용접 와이어의 속도도 일정하여야 한다. 용접전류는 용접전원에서 콘택트팁을 통하여 와이어로 전달되기 때문에 콘택트팁은 전기전도성이 좋아야 하고, 장시간 사용하기 위해서는 콘택트팁과 접촉되는 끝단부의 내마모성이 우수하여야 한다. 콘택트팁이 심하게 마모되면 용접이 중단되는 현상이 발생하므로, 합금 성분을 첨가하거나 가공경화를 통하여 강도를 높인 제품이 사용 되고 있다. 콘택트팁의 주된 역할은 와어어에 용접전류를 전송하는 기능과 용융지로 와이어를 유도하는 것이다[1,2].

최근에는 용접자동화 추세로 인해 용접선 추적장치를 부착하여 용접하는 경우가 있지만, 일반적으로 전용장비는 이를 부착하지 않고 미리 입력된 궤적을 반복하여 따

본 논문은 한국기술교육대학교 교육진흥비 지원에 의해 수행되었음.
*교신저자 : 김남훈(namshy@paran.com)
접수일 11년 03월 14일 수정일 11년 03월 09일 게재확정일 11년 05월 12일

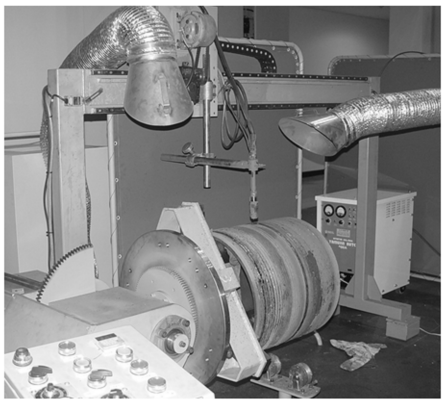
라가면서 용접을 하도록 되어 있다. 그러나 용접시 콘택트팁이 마모되면 용접선을 벗어나 연속적으로 용접을 할 수 없기 때문에 용접부에는 결함이 발생하여 용접불량을 야기할 수 있다. 반자동용접의 경우에는 고전류용접을 많이 하는 추세라 팁의 마모가 더욱 급격히 일어날 수 있다. 즉, 자동화용접과 고전류 용접이 증가할수록 빈번한 팁 교체가 생산성 저하의 원인이 되므로 용접성에 미치는 팁의 마모 영향은 아주 중요하다[3,4]. 현재 콘택트팁의 마모가 비드형상에 미치는 영향에 관한 연구는 통계적 처리로 팁 마모량에 따라 한계수명을 추정하여 콘택트팁의 수명예측을 한 연구는 다수 있지만[3-6], 실제 용접시 콘택트팁의 마모가 와이어 용접 드랍(droplet)과 비드 형상에 미치는 영향을 실험적으로 입증하는 연구결과는 거의 없다.

따라서 본 연구는 콘택트팁의 마모가 와이어를 용접선으로부터 이탈을 초래하여 용접비드에 미치는 영향을 실험적으로 확인 조사함이 목적이다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 팁 마모시험 장비는 자체 제작한 것으로 그림 1과 같이 구성하였고, 용접전원은 인버터형 정격전류 600A급이고, 용접재료는 직경 1.2mm의 CO_2용접용 와이어 (KS 및 JIS 규격: YGW11)를 사용하였다. 용접와이어의 소모로 인해 용접이 중단되는 상황을 배제하기 위하여 300kg급의 페일팩(pail pack)을 사용하였다. 용접모재는 400(R)×1000(L)×15(mm(t)) 크기의 고강도 파이프를 사용하였고, 파이프를 회전시키면서 파이프 표면에 비드-온-플레이트(bead-on-plate)용접을 실시하였다. 장시간 용접으로 파이프의 과열을 방지하기 위하여 파이프 내부 하단에는 냉각수가 고여 있도록 하였고, 파이프 회전속도(travel speed)는 50cm/min으로 일정하였다. 그리고 콘택트팁의 재질은 일반적으로 많이 사용되어지는 인탈산동(Cu-P)을 사용하였다. 용접조건은 표 1과 같이 설정하여 용접시험에서 동일하게 적용하였다.

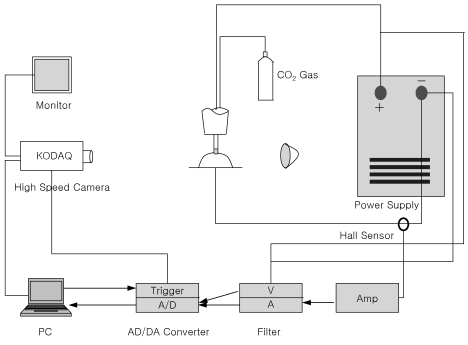
용접 시 스패터 발생을 최소화하고 노즐에 부착되는 스패터로 인한 용접 중단을 방지하기 위하여 보호가스로 98%Ar+2%O_2 혼합가스를 사용하였다. 용접전류, 용접전압 그리고 순간적인 저항의 변화는 파형 측정 장치를 이용하여 20kHz의 샘플링 속도로 10초 동안 측정하고 컴퓨터에 저장하였다.



[그림 1] 콘택트팁 내마모성 시험평가 장비

[표 1] 실험에 적용된 용접조건

Welding condition	
Welding voltage	250A
welding current	30V
Wire Feeding Rate (WFR)	9m/min
Contact tip-to Work distance (CTWD)	20mm
Travel speed	50cm/min



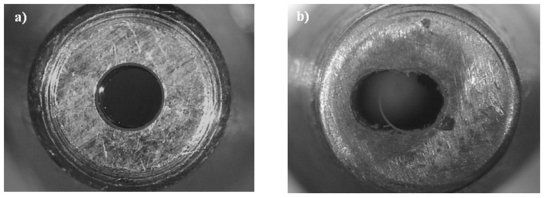
[그림 2] 고속카메라 영상 및 파형 측정장치의 개략도

한편 팁의 마모에 따른 와이어 변화를 관찰하기 위하여 그림 2와 같이 장치를 구성해 초고속카메라를 사용하여 촬영하였으며, 촬영속도는 2000 Frame/sec이었고, 셔터속도는 1/20,000sec이었다. 그림 3은 콘택트팁의 출구측 구멍의 형상으로 (a)는 용접 전 무마모 상태이고, (b)는 45%이상 마모 후의 상태이다. 용접된 콘택트팁의 마모량(W(%))은 공구현미경으로 측정하였는데 용접 전 출구측 구멍의 면적(A_0)과 용접 후 출구측 면적(A_t)의 비로

계산하였다. 본 실험에서는 마모량(Amount of wear, W)을 식 (1)과 같이 홀의 증가된 면적(A_t-A_0)을 초기면적(A_0)으로 나누어 백분율로 표현했다[5].

$$W(\%) = \frac{A_t - A_0}{A_0} X 100 \qquad (1)$$

A_0 : 용접 전 홀 면적, A_t : t시간 용접 후 홀 면적



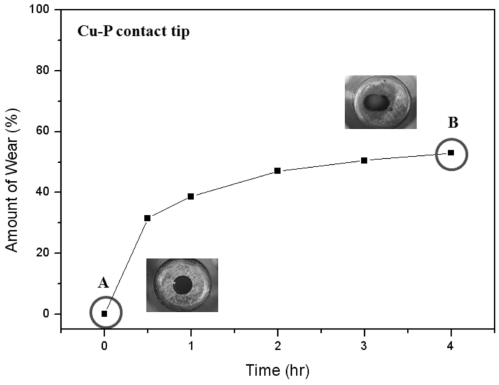
[그림 3] 콘택트팁 출구측 구멍의 형상:(a) 초기 무마모 상태, (b) 일정시간 용접 후 마모 상태

3. 시험결과 및 고찰

3.1 콘택트팁 마모에 의한 용접비드 변화

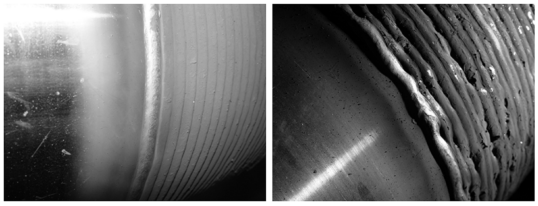
그림 4는 시간에 따른 콘택트팁의 마모량 및 콘택트팁의 출구측 형상을 나타낸 사진이며, 그림 4 A는 본 실험에 사용되어진 무마모 콘택트팁이며, B는 45% 이상 마모 후의 콘택트팁이다.

그림 5 a)는 무마모 콘택트팁으로 용접된 비드 사진이며, 균일한 용접비드가 형성되었다. 그림 5 b)는 45%이상 마모되어 한계수명이 다 된 콘택트팁을 사용하여 용접한 비드 사진으로, 팁의 마모로 용접비드가 사행비드 및 험핑(humping)비드로 생성되며 불균일하였다.



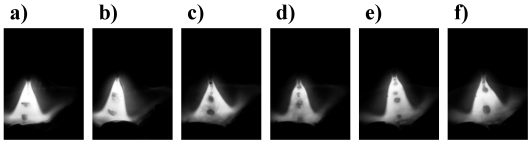
[그림 4] 시간에 따른 콘택트팁 마모량 및 콘택트팁 출구측 형상

a) 무마모 b) 45%이상 마모



[그림 5] 콘택트팁 마모에 따른 비드형상

그림 6은 마모된 팁으로 10초 동안 용접 시 와이어의 움직임을 고속 촬영한 것으로 6단계로 분리 된다. 그림 6 a)는 용접초기 상태, b)는 용접 3초 후의 영상, c)는 용접 5초 후의 영상, d)는 용접 6초 후의 영상이다. 그리고 e)는 용접 8초 후의 영상이며, 마지막으로 f)는 용접 종료 직전 10초 경과 된 시점의 영상이다. 용적이 중력에 의해 일정위치에서 수직드랍(drop)하기보다 와이어의 위치이동으로 드랍지점에서 변화가 발생한 것을 알 수 있었다. 용접 시 사행비드가 발생되는 것은 콘택트팁이 마모됨에 따라 용융지로 와이어를 유도하는 기능을 상실하여 와이어 선단 용적 드랍 위치가 변화하였기 때문임을 영상으로 관찰하였고 또한 이것은 다음절에서 용접 시 용접파형 분석으로 확인될 것이다.



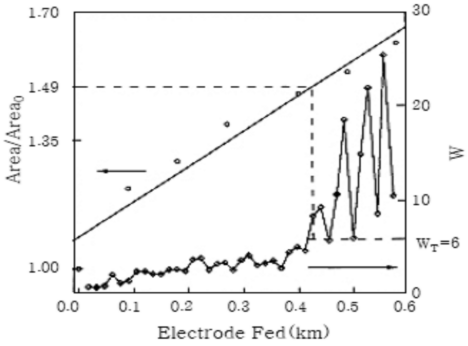
[그림 6] 콘택트팁 마모에 따른 용적 드랍 위치 변화

3.2 용접전압, 전류 및 저항파형 분석

그림 7은 와이어 송급길이에 따른 출구측 구멍 크기의 변화를 보여 주며, 여기서 구멍 크기의 변화는 초기 구멍의 면적 대비 사용 후 확장된 면적의 비(Area/$Area_0$)로써 표현하였다[5]. 그림 7과 같이 와이어 송급길이와 면적비 사이에는 직선적인 관계가 있다. 그리고 면적비가 1.5에 이르면 마모지수(wear parameter, W)가 급격히 증가한다. 여기서 마모지수는 용접전압의 변동폭으로부터 유도된 수치이다[6].

즉 용접전압의 변동폭이 급격히 증가하는 시점을 W=6이 되는 시점이라고 하면, 이 시점에서의 면적비는 1.5가 된다. 이는 콘택트팁의 구멍 면적이 초기 면적 대비 50% 이상 증가하는 시점으로, 이 상태는 용접아크가 매우 불안정하게 되는 것을 의미한다. 따라서 면적비가 1.5에 이르면 콘택트팁이 사용수명 한계에 도달하였다고

할 수 있다. 그리고 이 상태에 이를 때까지 송급된 와이어의 총길이는 0.4km 정도였음을 알 수 있다. 즉 이것은 콘택트팁의 수명을 정의함에 있어 마모지수(W)가 6에 이르기 까지 송급된 와이어의 총길이로 표현한 것이다[5,6].

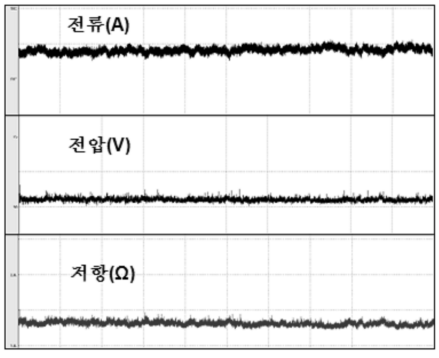


[그림 7] 용접와이어 송급 길이에 따른 콘택트팁의 마모량(Area/Area$_0$) 및 마모지수(W)의 변화[6]

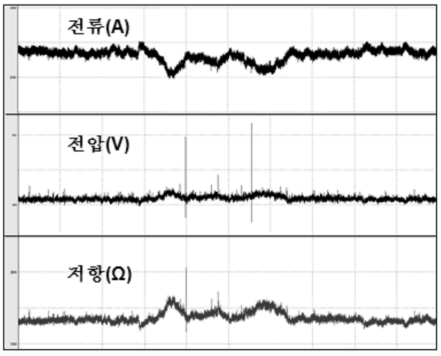
본 연구에서는 실제 W수치가 증가하기 시작하는 시점에서의 마모량을 유추하여 '콘택트팁의 구멍 면적이 초기 면적 대비 45%이상 증가한 시점'의 콘택트팁을 실험대상으로 하였다.

그림 8 a)는 무마모 콘택트팁으로 용접한 파형으로, 일정한 전류 및 전압이 공급되며 저항 또한 일정하였다. 그림 8 b)는 45%이상 마모된 콘택트팁으로 용접한 파형으로 용접이 진행됨에 따라 전류, 전압 및 저항이 불균일하였다. 45% 마모된 팁은 용접전류의 변화와 저항이 불균일해 지면서 팁과 와이어가 접촉되는 부위가 계속 변화하는 것을 알 수 있으며, 이러한 현상에 대하여는 다음에 고찰한다. 그림 8 b)와 같이 용접저항 파형에서 순간적인 피크를 나타냈는데, 이는 Degtyarev 등[8]이 보고한 연구결과와 일치하며, 콘택트팁이 45%이상 마모되면 용접아크가 불안정해지고 순간적인 아크가 발생하게 됨을 알 수 있었다.

a) 무마모

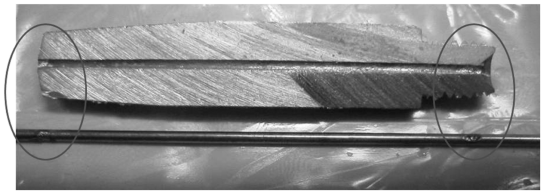


b) 45% 마모



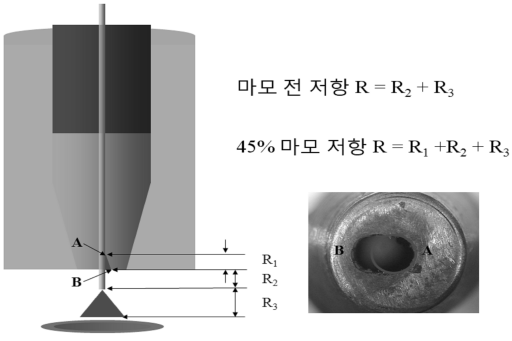
[그림 8] 콘택트팁의 무마모와과 45% 마모 후의 용접전류, 용접전압 및 저항의 파형

이것이 와이어와 팁 사이 미세아크를 발생시켰고 그림 9와 같이 콘택트팁 내부와 와이어에 그 흔적을 남겼다.



[그림 9] 미세아크가 발생한 와이어와 콘택트팁 내부

용접와이어와 콘택트팁의 접촉부위별 저항은 용접기 내부 저항과 용접기와 콘택트팁 사이의 저항을 무시하면 그림 10과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 10] 용접와이어와 콘택트팁의 접촉부위별 저항: R_1) 아크저항, R_2) 와이어와 콘택트팁 사이의 저항, R_3) 와이어와 콘택트팁 사이의 변동 저항, A) 무마모 접촉부위, B) 마모 후 접촉부위

용접 시 발생되는 저항은 용접초기 무마모에서는 $R = R_1 + R_2$로 표현할 수 있다. Fig. 10에서 R_1은 아크저항이고, R_2는 와이어와 콘택트팁 사이의 저항이다. R_3는 마모

진행에 따라 계속적으로 변화하는 저항이며, A는 무마모 접촉부위, B는 마모 후 접촉부위이다. 즉, 마모 후에는 콘택트팁과 와이어의 접촉부위가 변화하여 R_2의 저항이 커져 R_3까지 변화함으로 전체저항 R이 변동된다. 용접초기부터 용접이 진행되는 동안에 콘택트팁과 와이어가 접촉되는 부위 A지점에서 콘택트팁 마모가 생기면서 콘택트팁과 와이어가 접촉되는 부위가 B지점으로 변동됨에 따라 새로운 저항 R_3가 형성되는 것이다.

용접이 진행됨에 따라 전체 저항이 변화 되면 용접초기의 용접전류와 용접전압에 큰 영향을 미치게 되어 용접이 불균일하게 되는 원인이 되고, 콘택트팁 출구부위 홀(hole)의 마모가 확장됨으로서 와이어 출구부는 더욱 넓어져 접촉부의 변화가 생기게 된다. 이런 상태에서 용접이 이루어지면 결국에는 와이어의 접촉부위가 계속 변하게 되어 콘택트팁의 기능인 정확한 용접부의 안내(가이드) 역할을 할 수 없어 사행비드를 형성하는 원인으로 사료된다. 이는 Quinn[9]등이 보고한 연구결과와 같고 본 연구에서 관찰한 콘택트팁의 마모에 따른 용접비드는 용접 시 저항변화(그림 8 b)) 발생을 파형 분석한 결과로 확인할 수 있었다. 따라서 현장에서 균일한 비드를 얻기 위해서는 콘택트팁의 마모 상태를 파형분석으로 모니터링하는 방법도 제안될 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 GMA용접에서 사용되는 콘택트팁의 마모가 용접비드에 미치는 영향을 실험으로 조사하였다. 콘택트팁과 와이어 접촉 위치 변화는 용접저항의 파형분석 그리고 용적드랍은 고속카메라로 촬영하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

45% 이상 마모된 콘택트팁을 사용 용접한 결과 용접비드 형상이 불균일한 사행비드를 형성하였다. 이것은 콘택트팁에서 마모가 발생하면 용접 시 불균일한 용접저항을 초래하였고 아크가 불안정하여졌다. 이것이 용접 와이어와 콘택트팁의 접촉부위의 위치 변화를 유발하고 콘택트팁이 와이어를 용융지로 유도하는 기능을 상실하는데 기여한 것으로 사료된다. 따라서 균일한 용접비드를 얻기 위해서는 콘택트팁의 마모상태를 파형분석으로 모니터링하는 방안도 고려 할 수 있겠다.

참고문헌

[1] H. J. Kim N. H. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Reliability of Contact Tip for Gas Metal Arc Welding, Journal of KWS, 21-7(2003) 9-17 (in Korean).

[2] N. H. Kim, J. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Variation of Microstructure and Hardness of Contact Tips during GMA Welding , Journal of KWS, 22-1(2004) 43-49 (in Korean).

[3] N. H. Kim, J. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Kim, and J. H. Koh: Prediction on the Wear Resistance of Contact Tips for GMA Welding, Journal of KWS, 22-4(2004) 35-42 (in Korean).

[4] J. F. Rudy, D. C. Brown and W. G. Groth: Study of current contact tubes for gas metal arc welding. Welding Research Supplement. 8(1996). p374-378

[5] RS D 0031: Contact Tip for Gas Metal Arc Welding. 2004(in korean)

[6] T. Yamada and O Tanaka: Fluctuation of the Wire Feeding Rate in Gas Metal Arc Welding. Welding Journal, 9(1987), 35-42

[7] V. G. Degtyarev, M. P Novikov and N. M. Voropal: Improving the working condition of the electrode wire-contact tip pair. Paton Welding Journal, 1991, 3(4). p290-294

[8] V. G. Degtyarev, M. P. Novikov and N. M. Voropai: Paton Welding Journal, 3(1991), 290

[9] T. P. Quinn, R. B. Madigan, M. A. Mornis and T. A. Siewert: Contact tube wear detection in gas metal arc welding, Welding Journal, 74(1995), 115-s

고 진 현(Jin-Hyun Koh) **[정회원]**

- 1985년 1월 : Lehigh University 재료공학과(공학석사)
- 1987년 5월 : Lehigh University 재료공학과(공학박사)
- 1987년 5월 ~ 1991년 2월 : 한국원자력연구소
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 교수

<관심분야>
용접야금, 마이크로접합, 원자력재료

김 남 훈(Nam-hoon Kim) **[정회원]**

- 2003년 2월 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학박사과정)

<관심분야>
오버레이용접, 용접재료, 용접전원, 용접기자재

김 환 태(Hwan-Tea Kim) **[정회원]**

- 1983년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과(재료공학석사)
- 1996년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과(재료공학박사)
- 1979년 5월 ~ 2001년 3월 : 한국기계연구소 책임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 전문연구위원

<관심분야>
재료공학, 용접/접합기술

황 용 화(Yong-Hwa Hwang) **[정회원]**

- 2002년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1979년 2월 ~ 현재 : 한국원자력연구소

<관심분야>
비정질 브레이징, 용접야금, 원자력재료