

전자빔 용접시스템 국산화 개발

Development of Electron Beam Welding System

한국기계연구원 레이저 기술 연구그룹 한유희, 서 정
 한국중공업(주) 기술연구원 용접기술연구소 김종오, 정인철, 이규식
 한라산업 기술연구소 정군석

1. 서론

전자빔 용접은 깊고 정밀한 용접부위, 고품질의 용접성 등의 고유특성으로 인해 소요경비보다 고정밀·고품질의 용접을 필요로 하는 방산, 우주·항공 분야에서는 첨단 용접기술에 속한다. 최근 전자빔 용접기술과 접목하여 제품의 부가가치를 향상시키려는 국내업체의 관심이 대두되어 기술개발 수요가 확대되고 있다. 한편, 전자빔 용접 기술을 제품생산에 접목시키기 위해서는 장비가 필요하나, 시설비(소형 전자빔 용접기: 1억이상, 대형전자빔용접기: 10억이상) 문제로 시스템 국산화가 필요하다.

한편, 발전용 Turbine Diaphragm 조립용접이 Submerged Arc용접에 의해 수행되고 있으나, 인력과, 정밀도(변형), 품질 불안정 (인력 및 제반 공정의 변화 가능성)등으로 미국(GE), 일본(Hitachi, Toshiba)에서는 이미 전자빔 용접으로 수행하고 있다. 따라서, 한국기계연구원과 한국중공업은 국내 용접기술의 선진화를 위해 Turbine Diaphragm용 대형 전자빔 용접시스템 국산화를 시도하였다.

2. 대형 진공챔버(Vacuum Chamber) 설계/제작

대형 진공작업실의 설계를 위해서는 작업실의 강성 및 안정성, X선 차폐, 투시창 및 각종 연결부 (Cable, 배관, Pumping Line 등) 등이 그 대상이 될 수 있다.

전자빔 용접시 용접부위로부터 X선이 방사되므로 용접작업자의 안전을 위해 X선 차폐가 가능하도록 진공작업실을 설계해야 한다. 계산결과 진공작업실은 30mm의 두께를 갖는 Steel로 제작되어야 함을 알 수 있었으며, 이 값을 근거로 하여 진공작업실의 FEM 해석을 하였다. 사진 2와 3은 진공작업실의 제작장면과 설치된 장면을 보여주고 있다.

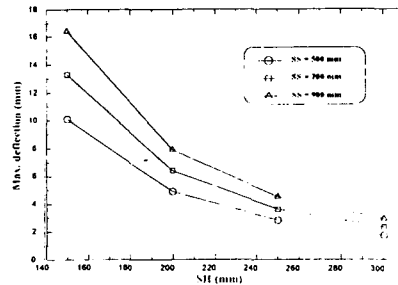


그림 1 보강판의 높이와 간격이 진공작업실의 최대변위에 미치는 영향

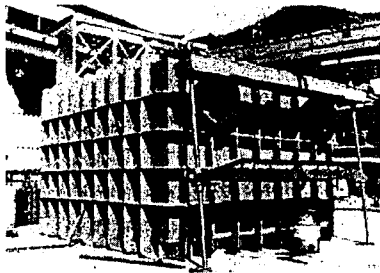


사진 1 진공작업실 제작장면



사진 2 현장에 설치된 진공작업실(정면)

3. 5축 전자총 구동 시스템 (특허출원)

전자빔 용접 열원인 전자총을 5축 구동시키기 위해서는 진공 작업실 내부(앞의 사진 1과 2)에 설치되어야만 한다. 진공 배기 시스템을 포함한 진공작업실은 체적에 따라 제작비가 급상승하기 때문에 진공작업실 내부의 가공장치를 가능한 콤팩트하게 제작하는 것이 챔버의 제작비 절감에 큰 기여를 하게 된다. 전자총을 지지하고 있는 각 축은 가능한 경량화된 구조를 갖고 있어야 하며, 변형의 최소화, 가감속 구간의 최소화, 회전축의 모우멘트 최소화등이 필수적으로 요구된다. 또한 전자총 고정부위가 콤팩트하여 동일한 챔버내에서 더 큰 이송거리를 얻을 수 있다. 이러한 장점을 살린 전자총 고정부를 설계하기에는 전자총의 외형상 많은 어려움이 있기 때문에 현재 공급되고 있는 전자빔 용접기는 이러한 장점들을 살리지 못하고 있다.

현재 일본, 독일, 스위스 우크라이나 등 이 분야 선진기술을 확보하고 있는 국가에서 제작 공급되고 있는 전자총의 고정부는 축에 연결되어 전자총 회전시에 모우멘트가 크게 걸리고 또한 동일한 챔버내에서 이송거리가 짧아지는 단점이 있다. 이러한 단점들은 용접기가 대형일수록 그리고 이송거리가 클수록 가공정밀도에 더욱 크게 영향을 미치기 때문에 특히 터어빈, 대형엔진, 원자력분야, 우주항공, 방산분야의 대형 부품가공에 적용되는 전자빔 용접기의 경우, 심각히 고려되어야 할 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 본 발명에서는 전자총 고정부에 새로운 설계개념을 도입하여 해결하고자 하였다.

그림 2는 전자빔 용접시스템의 5축 기계구동부 개략도이며, 이에 준하여 설계작업을 하여 기계구동부를 제작하였다. 사진 3은 기계구동부가 진공챔버 내부에 설치되어 있는 상태를 나타내며, 기술자가 전자총을 장착하고 있다.

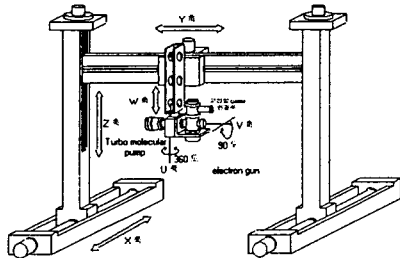


그림 2 5축 기계구동부 개략도

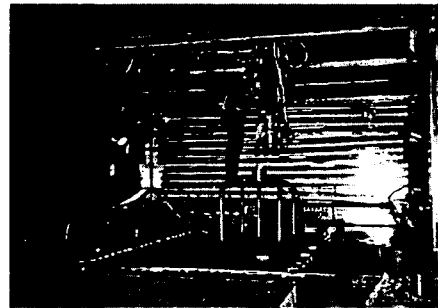


사진 3 기계구동부와 전자총 설치 장면

4. 진공배기 장치 구성 및 제어시스템

용융 용접, 진공 브레이징 등의 용접기술에서의 진공의 사용은 용접부위를 대기의 해로운 가스나 증기로 부터 보호하고자 하는 것이다. 전자빔 용접에서는 이외에도 많은 요구조건들에 의해 진공이 필요하게 된다. 전자총에서는 Cathode의 산화방지, 전자들이 Narrow 빔에 Collimate 해야 하며, 전기적 단락 (discharge) 방지가 필수적이다. 작업실에서 진공의 존재는 전자가 어떤 scattering 영향을 받지 않고 먼거리를 이동하게 하며, 전자빔 용접기에서 진공시스템은 여러 기술적 이유에 의해 중요한 부분을 차지하고 있다.

진공배기장치에서 Oil Diffusion Pump는 2차 배기 능력이 크면 자체 성능이 증가하므로, 직결운전의 Chamber 내부 진공도가 좋다. 특히, 용접에서 예열이 있고, 대출력의 장시간 용접으로 내부온도가 높고, 증발 금속량이 많을 경우, 용접중 배기능력이 최대한 큰 것이 좋다. Oil Diffusion Pump의 확산유수명은 직결운전이 좋다. (진공도가 좋으므로) 또한, 1 set 고장 수리시 직결운전이 독립적 안정성이 있으며, 설치 장소 배분 문제에 있어서도 직결운전이 유리하다. 일반적으로 진공 설비 제작 업체에서는 직결운전을 권장하고 있으며, Mitsbishi, Messer에서도 직결운전을 채택하고 있다.

이상의 결과에 근거한 직결운전의 진공배기장치 구성이 사진 4에 나타나 있으며, 이를 제어하고 감시하는 운용 소프트웨어는 그림 3과 같다.

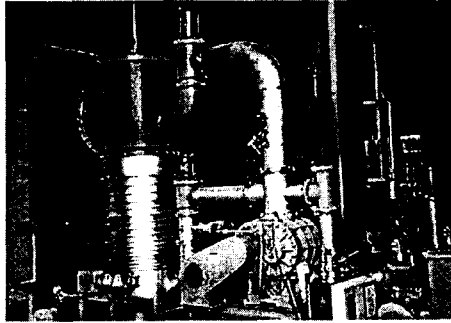


사진 4 설치된 진공배기장치

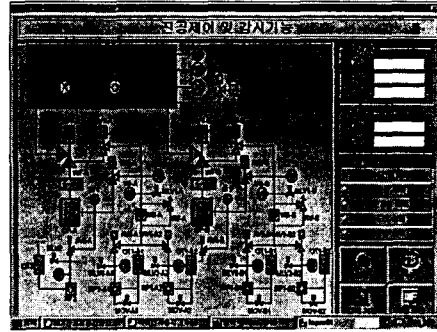


그림 3 직결운전방식의 진공배기장치 제어 및 감시기능

5. 운용 소프트웨어 개발

전자빔 용접 운용시스템에는 용접준비작업, 시스템 감시기능, 진공제어 및 진단, 자료분석, 메시지 검색, 환경설정, 작업종료 등의 기능을 갖추고 있어야 한다. 운용시스템의 예가 그림 4에 나타나 있으며, 그림 3도 운영시스템에 포함되어 있는 기능이다. 전자빔 용접시스템 운영시스템이 내장된 제어 데스크의 형상은 사진 5와 같다.

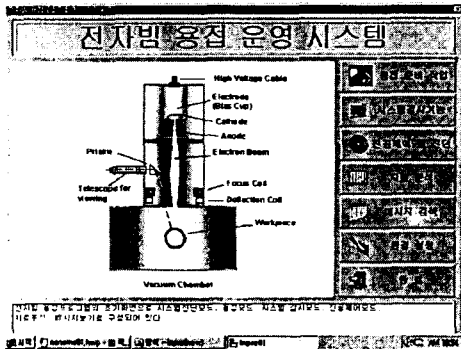


그림 4 전자빔 용접 운용 시스템

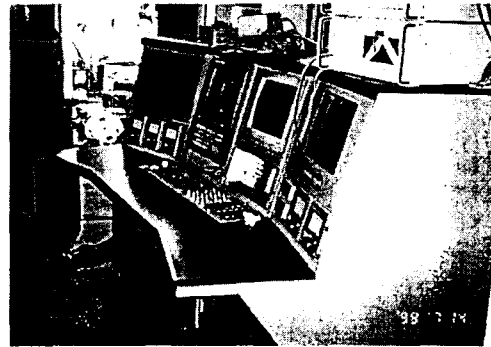


사진 5 전자빔 용접 운용 데스크

6. 결과 및 향후 계획

제작된 진공챔버에 진공배기장치의 설치를 완료하여 진공성능을 평가한 결과 당초 계획된 진공소요 시간 및 진공도의 설계 사양을 만족함을 알 수 있었으며, 용접중 X-ray 차폐가 완벽하게 이루어짐을 알 수 있었다. 청결작업을 실시한 후에도 내부 장비 또는 구조물 등에 내게되어 있던 오일 또는 기타 오염물질은 지속적인 진공작업을 통하여 최대한 제거될 수 있었으며, 작업이 계속 수행됨에 따라 내부 청결도는 향상될 것이므로 향후에는 진공소요시간의 단축이 예상되며, 고진공도를 얻을 수 있다고 판단된다.

5축 기계 구동부의 설치를 완료하였으며, 전자총을 5축으로 구동시키는 혁신적 기술을 확보하게 되었다. 전자총 제작·공급기관인 우크라이나 Paton 연구소에서도 경험이 없어 우려를 표명하였으나, 본 연구를 통하여 전자총을 5축으로 구동시키는데 성공하였다. Paton 연구소의 전자총은 고정형태로 사용되고 있으나 이번 연구에서는 구동형태로 활용하게 되었다. 그러나, 크기가 크고 고전압 케이블, 냉각

수 등이 구동방해요소로 나타나 이를 해결하기 위해 구동부 설계에 어려움이 많았다. 따라서, 구동형태로 콤팩터하게 제작하는 것을 Paton연구소에 의견을 제시할 수 있었다.

전자총에 대한 시운전/평가/교육을 마쳤으며, Turbine Diaphragm 용접조인트에 대해 실험한 결과 적용가능성과 시스템 안정성이 확인되었다.

전자총 구동 및 제어, 진공장치 구동 및 제어, seam tracking, 3차원 보간, teach-in 등 기능은 제대로 작동함을 확인하였으나, 운영제어기능은 지속적인 운전 작업을 통하여 평가 및 보완해야하는 사항이므로 이에 대해서는 충분한 시간을 필요로 하기 때문에 지속적인 작업을 통하여 사용자에게 편리하고 안정성이 확보되도록 보완작업이 이루어지고 있다.

본 연구를 통하여 대형 전자빔 용접시스템의 국산화 개발을 완수함으로써 선진국 수준의 대형 전자빔 용접시스템 설계·제작기술을 확보하게 되었다. 연구수행중 IMF라는 엄청난 경제적 어려움에서도 한국기계연구원 및 한국중공업 연구원들이 사명감을 가지고 최대한 노력하였다. 5축 구동 대형 전자빔 용접 시스템 1호기이기 때문에 현재의 기능에 만족할 수는 없으나, 지속적인 연구지원 및 공동연구를 통해 한국중공업의 사용자들이 완벽하게 사용하고 단시간내에 Turbine Diaphragm 생산이 이루어지도록 협조할 계획을 세워두고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 한유희, 서정, "비행체 용접용 전자빔 용접장치 개발", 한국기계연구원, 제7회 레이저 가공기술 심포지움, pp.165 ~ 176, 1996.
- [2] 이영신, 류충현, 한유희, 서정, "전자빔 용접기 진공 작업실의 구조해석", 한국기계연구원, 제 8회 레이저 가공기술 심포지움, pp.105 ~ 121, 1997.
- [3] V. Kristek, "Theory of Box Girders", John Wiley and Sons, 1979.
- [4] R. J. McGrattan, "Weight Optimization of Stiffened Cylindrical Panels", Trans. of ASME, J. of Pressure Vessel Technology, Vol. 109, No. 1, pp. 1 ~ 9, 1987.
- [5] M. W. Hyer, D. C. Loup, J. H. Starnes Jr., "Stiffener/Skin Interactions in Pressure-Loaded Composite Panels", AIAA Journal, Vol. 28, No. 3, pp. 532 ~ 537, 1988.
- [6] G. Sinha, A. H. Sheikh, M. Mukhopadhyay, " A New Finite Element Model for the Analysis of Arbitrary Stiffened Shells", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 12, pp. 241 ~ 271, 1992.
- [7] T. S. Koko, M. D. Olson, "Vibration Analysis of Stiffened Plates by Super Elements", J. of Sound and Vibration, Vol. 1, No. 157, pp.149 ~ 167, 1992.
- [8] N. Jones, "Dynamic and Static Axial Crushing of Axially Stiffened Square Tubes", Proceeding Instruction Mechanical Engineerings, Vol. 204, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, pp. 293 ~ 310, 1990.
- [9] 이영신, 한재도, 한유희, 서정, "보강박스 구조물의 진동 및 응력해석", 한국소음진동공학회지, 제6권 제2회, pp. 147 ~ 162, 1996.
- [10] Y. S. Lee, J. D. Han, Y. H. Han, and J. Suh, "A Vibration and Stress Analysis of Stiffened Box Structures", Proceedings of the Computational Structures Technology Conference, Civil-Comp Press, Vol. Advances in Computational Techniques for Structural Engineering, pp. 225 ~ 232, 1996.
- [11] ANSYS User's Manual Vol. I, II, Swanson Analysis System, Inc.
- [12] 서정 외, "전자빔 용접기 및 용접기술 개발(Ⅲ)," 주관기관: 한국기계연구원, 과제처 특정연구개발사업 연구보고서 BSN072-320·M (1996. 2)
- [13] 서정 외, "전자빔 용접 기술지원 및 확산사업(Ⅰ),(Ⅱ)" 한국기계연구원, 기관고유사업 연구보고서

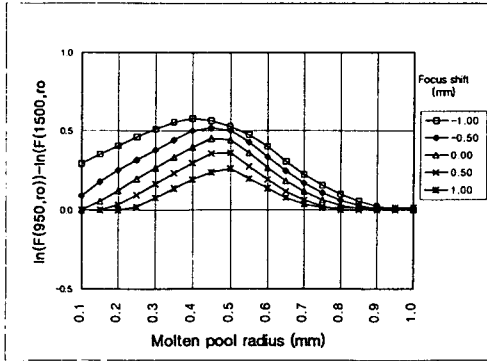


Fig. 3 Focus shift dependence of $\ln(F(950,r_0))-\ln(F(1500,r_0))$

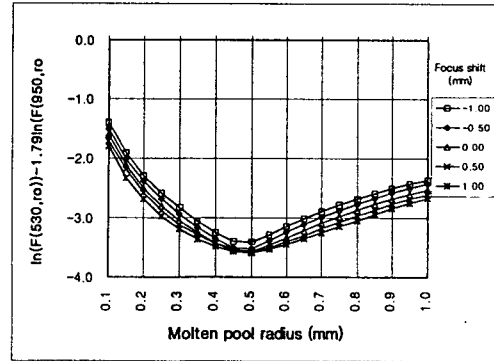


Fig. 4 Focus shift dependence of $\ln(F(530,r_0))-1.79\ln(F(950,r_0))$

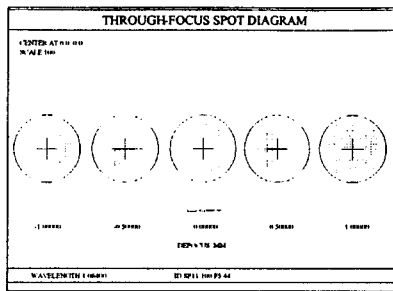


Fig. 5 Focus spot size diagram on optical fiber position

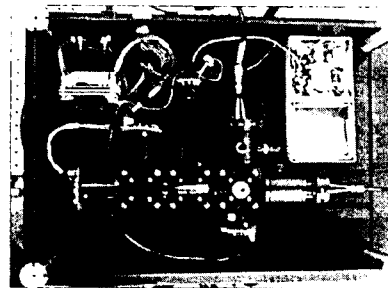


Fig. 6 Optical monitoring system

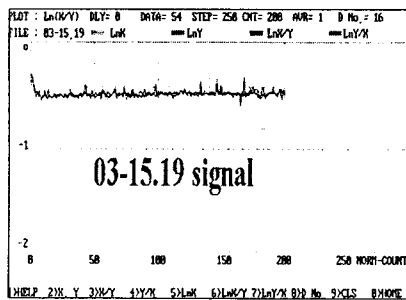


Fig. 7 $\ln(I1500/I950)$ signal with respect from molten pool

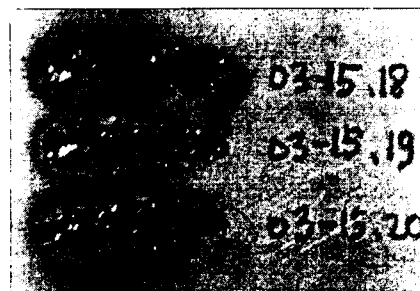


Fig. 8 Molten pool depth variation (03-15.19) in focus