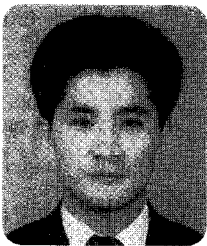




# 수직 다관절 로봇



임생기  
고동기술연구원 책임연구원

이 글은 「'97직무발명경진대회」에서 은상을 수상한 내용으로, 그 전문을 게재한다.  
<편집자 주>

자 없이 건조공법과 생산기술의 개발로 이를 달성하고자 하였으며, 투입 M/H의 약 절반수준까지 생산성을 향상시켜 그 유효인력의 대부분을 신규 사업에 투입한다는 목표를 설정하였다. 따라서 이러한 목표를 달성하기 위해 자동화는 그 당시 옥포조선소에서 선택할 수 있는 최선의 대안이었다. 또한 선체용접로봇 시스템의 개발 필요성은 '92. 7. 기술 대우의 주축으로서 산학연 공동체의 산업 기술연구조합으로 발족했던 고동기술연구원(이하 IAE라 한다)에 있어서도 과제발굴이라는 측면에서 대우조선과의 공동개발을 모색하게 되는 자연스러운 계기가 되었다.

선체용접로봇 시스템 개발은 IAE의 조합원사인 대우중공업 옥포조선소에서 의뢰한 과제로서 선체 블록의 조립 과정중 Slot Hole부의 용접을 현재의 수작업에서 로봇을 이용한 자동화 시스템을 개발하여 생산성을 향상시키는데 그 목적이 있었다.

한편, 선체 블록의 조립 공정중 Slot Hole부의 용접작업 자체는 단순 반복적인 반면 공간이 협소하여 작업자가 용접하는데 어려움이 많은 부위로서 조선 현장에서의 작업자들이 기피하고 있을 뿐만 아니라 특히 이 부위의 용접작업이 Bottleneck 공정이 됨에 따라 생산성 저하를 초래하고 있는 실정이었다. 참고로 그 당시 대형 원유운반선(VLCC) 건조시수는 일본 Hitachi Ariake 조선소는 약 350,000MH/척이었고 대우중공업 옥

## 1. 개발 과정

### (1) 동 기

대우중공업 옥포조선소는 80년대 중반에서 후반까지 세계적인 조선불황과 노사분규의 여파로 심각한 경영위기를 겪은 바 있지만 90년대 접어들면서 조선시장의 회복과 경영합리화 노력의 결실로 흑자를 달성함은 물론 제2의 도약을 준비하고 있었다. 이에 따라 '93~'97년까지 중장기 경영계획을 수립하여 '97년 상선부문에서만 VLCC기준 18척을 건조하여 세계제일의 VLCC 전문 조선소로 그 위치를 확고히 한다는 전략을 수립하였다.

이를 달성하기 위한 방법론으로 대규모 설비투



포조선소의 경우 약 800,000MH/척이 소요되는 것으로 조사되었다. 또한 이 부위의 용접작업에 투입되는 작업자는 고기량자(평균용접경력 10년)인 반면에 인력 활용이 여의치 않아, 생산성을 향상시키고 적절한 용접품질을 유지하기 위해서는 용접 로봇의 투입이 필요하였으며, 이를 위해 자체개발, 외국 제작업체로부터의 도입, 시스템을 외부에서 사오고 Application만 하는 방법 등 다각적으로 검토하게 되었다. 그 당시 이 용도의 로봇은 일본 Hitachi사의 "HIROBO" 시스템이 유일하게 판매되고 있었는데, 로봇 도입가격은 1대 당 2억5천만원이나 되고 한두대 씩은 판매하지 않으며 한꺼번에 10대 이상 구매할 것과 CAD 시스템도 자사의 시스템(HICADEC)을 그대로 도입할 것을 요구하고 있었다. 그러나 조선소에서 CAD 시스템을 바꾸는 문제는 엄청난 투자비가 소요될 뿐만 아니라 추후 장비 Up-Grade시 도입처에 계속 예측되는 상황이 전개되리라는 점에서 제품구입이 불리한 상태였으며, 고등기술연구원의 성격상 Application만 하는 것은 곤란하다는 결론을 내렸다. 따라서 자체개발에 따른 기술력 확보와 제품경쟁력 확보 및 현장조건 고려시 고유의 Model이 필요하며, 도입에 따른 기술 종속의 회피, 추후 타시스템의 개발/응용시 활용 가능성 등을 고려하여 자체개발로 방향을 잡게되었다. 이외에 국내에서는 개발제품이 없는 관계로 국내 최초로 개발하겠다는 의지도 자체개발을 수행하게 된 하나의 동기가 되었다.

## (2) 발명자의 공헌도

임생기 책임연구원은 92년말 IAE 전임연구원

11명과 대우중공업 옥포조선소의 파견인력 4명으로 용접자동화팀을 구성하여 선체 조립용 용접자동화 과제를 추진하였다.

임생기 책임연구원이 실무책임자가 되어 과제 수행초기에 개발방법, 목표 및 Spec.의 명확한 설정과 향후 개발결과의 사업화에 대해 대우중공업 옥포조선소와 수많은 협의를 통해 주요 문제점을 도출하고 최적의 Solution을 찾기 위하여 많은 시간과 노력을 기울였다. 개발팀의 조직은 로봇 적용 연구팀과 로봇 개발팀으로 분리되 로봇 적용 연구팀은 주로 응용차원에서 필요한 사항, 용접품질유지에 관련된 기술 개발을 추진하고, 이 과정에서 도출된 로봇 본체 및 Controller의 기술적 요구사항을 로봇 개발팀에 Feed-Back하여 개발에 반영키로 하였다. 그리고, 세계 최고 수준의 독자적인 용접 Robot 개발을 위하여 미국 MIT의 서남표 박사('93. 1. 12), 펜실바니아 주립대학의 함인영 박사('93. 1. 16) 등 과제의 연구방향에 대한 자문을 구하여 효과적인 기술개발이 이루어지도록 하였다. 또한, 독자기술개발과 회피설계를 위하여 고등기술연구원내 지적재산팀과 함께 선체용접로봇에 대한 특허분석도 실시하였다.

'93년 선체용접로봇 시스템에 대한 연구과제가 수행된 이래로, 임생기 책임연구원의 관련 연구원들은 현재까지 선체용접로봇 시스템의 로봇 기구부, 로봇 컨트롤러, 로봇 운반장치, 로봇 용접장치 등을 자체 개발하였고 이분야에서 35건의 특허/실용신안 출원을 하였다. 특히, 이 중에는 Off-line Program 구성방법 및 로봇과 작업대상물 위치 고정장치, 용접로봇의 캘리브레이션 방법 및 그 장치 등과 같은 현장 적용시 발생하는



주요 문제점을 해소하기 위한 다수의 중요특허가 포함되어 있다.

이와 같은 임생기 책임연구원의 공로로 당연구원에서는 93. 7. 7일자로 공로패를 받았고, 1997.

1. 3일자로 직무발명출원에 대하여 특별포상을 받았다.

### (3) 기술동향 파악

#### 가. 해외기술동향 및 경쟁사 동향 파악

선체용접로봇의 기술동향 파악은 해외 DB인 COMPENDEX를 이용한 선행문헌 분석과 해외 주요 경쟁회사인 일본의 Kobe Steel, Hitachi 아리아케 조선, 오스트리아 IGM사의 제품개발동향을 분석하였다.

Robot 본체는 '70년 제조업에서 산업용 로봇을 응용하기 시작하여 1975년부터는 본격적으로 부품단위의 용접작업에 로봇을 적용하였으며, 크게 Arc 용접과 Spot 용접 분야로 나누어 Robot을 이용한 자동화가 이루어졌다. 또한, '80년초에 Robot 본체는 다축화 추주로 기능이 대폭 향상되었고, '85년에 접어들면서 경량 소재의 개발과 선택, 동력전달장치의 직결화, 부품의 대폭적인 감소 등 Robot의 경량화에 대한 기술개발이 집중되었으며, 이와 더불어 로봇을 만드는데 소요되는 비용을 낮추기 위해 저Cost화 설계가 중점적으로 이루어졌다.

한편, 1990년 기존의 자동차, 민수용전자제품 등에서 활발하게 적용되었던 Robot의 경량화에 대한 기술개발이 집중되었으며, 이와 더불어 로봇을 만드는데 소요되는 비용을 낮추기 위해 저Cost화 설계가 중점적으로 이루어졌다.

한편, 1990년 기존의 자동차, 민수용전자제품

등에서 활발하게 적용되었던 Robot은 대형 선박 건조에 가장 많은 작업이 소요되는 용접 작업을 대체할 수 있는 선체용접로봇개발로 발전되었으며, 그 선두 기업은 일본의 히다치 아리아케 조선과 Kobe Steel이다.

이 두 회사를 필두로한 선체용접 Robot 개발 경쟁은 Robot의 소형화, 고속화, 모듈화, 신뢰성 확보에 집중되고 있다.

Robot 제어장치는 '70년 8-bit CPU를 채용한 Robot Controller 개발에서 1980년대에는 16-bit CPU 및 Analog Servo 제어기술 이용과 산업현장에 적합한 로봇 언어 개발이 추진되었으며, 1990년에는 Digital Servo 제어기술이 이용되었고 최근에는 32-bit CPU 및 RISC Chip을 사용한 고속, 고정밀도의 Controller 기술 개발이 계속되고 있다.

용접선 추적장치(Seam tracking)는 1970년 초 용접선내에 Probe를 접촉시켜 그 변위를 포텐셔미터(Potimeter) 혹은 마이크로스위치 등을 이용한 용접선 추적기술이 개발되었고 1975년 지나면서 용접전류에 의한 자기변화를 센싱하여 작업면까지의 거리를 검출하는 용접선 추적기술이 개발되었다. 1980년초에는 용접전류와 전압을 검출하여 용접선 추적과 용접 Process를 제어하는 기술이 개발되었고 1985년에는 광선소자나 CCD카메라와 같은 Vision센서를 이용한 용접선 추적기술이 개발되었으며, 최근에는 Fuzzy 기법과 AI기업을 이용한 지능형 용접선 추적과 용접 Process 제어기술 개발에 관한 연구가 진행중에 있다.

한편, 최근 국내·외 조선소에서는 생산성 향상 및 작업 환경 개선 차원에서 용접 로봇에 대한 투자를 갈수록 확대하고 있는 추세로서 "S" 조선소



의 경우 일본의 "HIROBO"를 9대 구입하여 '96. 4월부터 현장에 시험 적용중에 있으며, "H" 조선회사의 경우 일본의 "HIROBO"를 12대 구입하여 '96. 6월부터 현장에 시험 적용중에 있다. 또한 "HL"사의 경우 IGM 로봇 25대를 구입 '96. 3월부터 현장 적용중에 있다.

하지만, 전세계적으로 조선 현장에서 Slot Hole부 용접 작업장에 로봇을 개발하여 사용하고 있는 경우는 일본의 "HIROBO" 밖에 없었으며, 세계 여러 업체(FUNUC, ABB, KAWASAKI, YAKAWA, IGM 등)에서 산업용 로봇을 개발하여 생산하고 있으나 Slot Hole부 용접 작업에 이러한 로봇들을 사용하기 위해서는 여러가지 제약 조건과 해결해야 할 기술들이 많이 있다.

**나. 선행특허분석**

선체 용접로봇 시스템 개발 초기인 '93년 3월부터 94년 1월까지에 걸쳐, 선체 용접로봇 개발에 따른 주요동향을 파악하고, 선행특허 분석을 독자 기술을 개발하고, 특허분쟁 예방과 회피기술을 개발하고, 공백기술에 대한 특허권을 확보하는 것을 목적으로 선체 용접로봇에 대한 특허분석이 이루어졌다.

특허분석 대상은 일본의 Fanuc, Kobe Steel, Matsushita 전기, Hitachi 조선, 오스트리아 IGM, Cross 등 6개의 Target Company의 보유 특허를 중점적으로 분석하였다. 분석결과 1500건의 특허명세서를 입수하였으며, 이중 272건의 특허에 대하여 특허 요지리스트를 작성하였다.

**(4) 개발계획 수립 및 연구개발 과정**

선체용접로봇 개발과제는 '93년 1월부터 '96년

12월까지 4년간에 걸쳐 2,581백만원의 예산과 연구인력 20명을 투입하여 개발을 추진하였다. 개발 계획에 대한 개략적 내용은 아래와 같이 요약된다.

구 분	내 용
과 제 명	선체조립용 용접자동화 시스템 개발
과제 책임자	최재성 연구위원(보), 임생기 책임연구원
개발기간	'93. 1~'96. 12
투입예산	2,581백만원
참여연구원	20명
현장적용	대우중공업 옥포조선소
개발목표	선체 대조립 공정의 Slot Hole부 용접 자동화를 위한 6축 용접로봇 시스템 개발
세부개발내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 세계 수준의 소형 수직다관절 용접 로봇시스템 개발</li> <li>- 고유 로봇 언어 개발</li> <li>- 로봇 운반장치 및 용접장치 개발</li> <li>- 오프라인 프로그램 및 캘리브레이션 기술 개발</li> <li>- 독자적인 시스템 통합 기술 개발</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조선 선체 Block 조립공정에서 생산성 20% 향상</li> <li>- 소형 용접 로봇 및 로봇 용접시스템의 상품화</li> <li>- 로봇 기반 기술 축적</li> <li>- 고등기술연구원 및 대우중공업 옥포조선소의 대외이미지 제고</li> <li>- 특허분쟁을 해소한 독자기술 개발</li> <li>- 독자 개발기술에 대한 특허 포트폴리오 구축으로 제품경쟁력 강화</li> </ul>

상기의 개발계획에 따른 상세한 연구개발 과정은 아래와 같은 3단계로 진행되었다.



● 과제수행 1단계('93~'94)

과제의 착수단계에서 수많은 협의와 토론을 거

쳐 연구개발목표를 설정하게 되었는데, 그 내용은 다음 표와 같다.

1단계('93~'94)	2단계('95)	3단계('96~)
로봇 자체의 Prototype 개발 - 소형 6축 수지다관절 로봇 본체 및 제어기 개발 - 고유의 Robot Loanguage  로봇 적용기술 개발 - 로봇 운반장치 개발 - 로봇 용접기술 개발 - Arc Sensor 및 Seam Tracking 기술개발 - 오프라인 프로그램 및 캘리브레이션기술개발 - 현장적용방안 도출	System 현장적용 Test - Robot+운반장치 - Robot+용접장치 - 기타 주변장치 개발 - System Interface  로봇 용접조건 확정  로봇 양산설계 실시	현장적용 - 문제점 보완 - Model Grade Up  대외판매 - System 판매(대우조선) - Robot 생산(대우중공업)

한편, 본 연구의 효과적인 수행을 위해 로봇(기구부 개발 Controller 개발)과 로봇 적용기술개발(로봇 운반장치 개발, 로봇 용접장치 및 용접기술 개발)로 분리하여 추진하되 '94년까지 Prototype 제작을 완료한다는 대일정 목표를 설정하고, 로봇적용기술개발은 옥포조선소 현장 기술진의 도움을 받아 현장사정을 최대한 반영하도록 하였으며, 개발 기간 및 자체 Resource를 고려하여 Off-Line Programming Simulation & S/W 개발을 이주대학교 기계공학과와 범진환 교수에게 위탁('94. 8~'95. 10)을 주어 산학연 공동연구 체제를 구축하였다.

'93년도에는 조선 선체조립공정의 분석에 근거한 전체 시스템 개념설계가 이루어지고 향후 시스템의 적용 및 운영방법을 결정하였다. 개념설계단계에서 여러 대안들에 대한 검토가 충분히 이루어졌으며, 기술적·경제적인 측면, 그리고 조합원사와의 협의를 거쳐 최적설계를 도출하였다. 개념설계 당시의 이슈로 제기되었던 내용을 보면 다음과

같다. 로봇의 운반 Mechanism의 경우 ① Rail(Poco Type Robot) ② Catapillar ③ Crane을 이용하는 등 여러 형태가 있을 수 있으나, 각기 장·단점을 가지고 있으므로 운반 Mechanism은 여러가지 형태로 가져가는 것이 바람직하다는 결론을 내렸으며, 현장 적용시 먼저 위험 부담을 고려해 이 ③항의 Crane을 이용한 로봇 운반장치를 개발하기로 하였다. 개발 로봇의 제어축수 결정에는 ① 5축으로 개발하자. ② 6축으로 개발하지는 의견이 있었으나 소형 로봇이라는 점을 고려해 동작 범위 및 위치/자세 결정 능력을 크게 하고 향후 사업성 및 기술 축적도 측면을 고려하여 6축으로 개발하기로 하였다. 개발 로봇의 Wrist Offset 유무 결정에서는 ① In-Line Type으로 개발하자. ② Wrist Offset이 있는 Type으로 개발하지는 의견이 있었으나 In-Line Type의 경우 역기구학해가 Closed Form 형태로 존재하므로 S/W 개발 측면에서는 유리하다는 장점을 살려 In-Line Type으로 개발하



기로 결정하였다. 그이외에도 로봇 본체 개발시 현장 상황을 고려하여 “① 소형, ② 경량화, ③ 조립, 유지 보수성 용이(Module화 설계), ④ 제조 원가(4,000만원 이내), ⑤ 반복 위치 정밀도: ± 0.1mm, ⑥ Cabling 신뢰성 高” 등 Target 등을 명확히 설정하고 개발을 수행하였다.

'94년도에는 '93년도에 수행된 기본설계를 바탕으로 상세설계 및 실제 Prototype을 제작(1차, 2차)하였고 각종 시험을 통하여 미비점을 보완하였다. 참고로, 1차 prototype 제작시 소형 Motor는 성능이 우수하다는 점을 들어 야쓰가와 제품을 사용하였으나, 가격 경쟁력을 확보하기 위해 상대적으로 가격이 저렴했던 마쓰시다 제품으로 전략을 바꾸면서 기존 제어방식의 변경에 따라 이를 재설계하는 데에 많은 시간이 소모되었으며, 이 과정에서 상당한 어려움을 겪어야 하였다.

'94. 3에 기술정보센터 특허팀에서 선체용접로봇 특허분석 최종보고서가 접수됨으로 해서 기술동향 및 선행특허분석을 통한 독자기술 모색, 특허분쟁 예방과 회피기술 개발, 공백기술에 대한 특허권 확보 등에 대한 전략을 수립하고 연구에 반영하였으며, 이 기간중에 임생기 책임연구원은 수직다관절 로봇과 관련하여 14건의 특허/실용신안을 출원하였다.

#### ● 과제수행 2단계('95)

이 단계에서는 기 개발된 Prototype의 신뢰도 시험을 거쳐 전체 시스템 통합이 이루어졌으며, 로봇 시스템 구성에 필요한 로봇의 Engineering Sample 개발에 성공하여 대우중공업 옥포조선소에 위치한 선박해양기술연구소에 작업 블록을 축소한 모델을 만들어 설치하고 선박해양기술연구소와 공동으로 Test를 실시('95. 7)하였고 Test

결과 개발된 용접 로봇 시스템은 비교적 우수한 성능을 보여주고 있으나, 부분적으로 보완해야 할 사항도 있는 것으로 판단되었다.

또한 가와사끼 중공업과 기술제휴를 맺고 있던 대우중공업의 도움을 얻어 가와사끼 중공업에 Controller Part의 기술연수를 받을 수 있는 기회가 있었다. 이를 통해 관련자료의 확보와 기술의 흡수는 과제의 수행에 많은 도움을 주었으며 자연스럽게 자체 개발한 시스템과의 비교를 할 수 있었다. 로봇분야에서 20여년의 경험을 토대로 세계적으로 기술력을 인정받고 있는 가와사끼 중공업과 시스템 구조등 개념이 비슷하게 설계되었고 수준 또한 크게 뒤쳐지지 않은 것으로 확인됨으로 해서 자신감을 얻을 수 있었던 것은 또다른 수확이었다.

이 기간 중에 임생기 책임연구원은 선체블록조립용 용접로봇 운반카드 및 고소작업용 로봇과 관련하여 4건의 특허/실용신안을 출원하였다.

#### ● 과제수행 3단계('96)

기구부 및 Controller upgrade, 시스템의 성능 검증 및 보완, 옥포조선소에서 개발한 Inverter 용접기와의 시스템 통합연구, 현장요구를 반영한 Off Line Program 수정(선체작업용 Off Line Program 개발을 위해 재차 이주대학교에 위탁을 주게 됨, 96. 5~96. 11) 등을 주요 목표로 하여 '96. 7. Pilot Sample을 제작하였으며, 지금 현재 '96. 10월부터 2차 현장 Test중에 있다. 현장 Test 과정에서 옥포조선소의 연구원 10여명이 공동으로 참여하고 있으며, 시스템의 안정화 및 현장응용에 막바지 땀을 쏟고 있다. Field Test 기간중 개발에 참여했던 연구원들은 평균 3개월 정도 현장에 머물면서 성공적인 과제



이관이 될 수 있도록 하였으며, 이중 IAE 연구원 1명을 1년간 옥포조선소에 상주시켜 현장 Test가 효과적으로 수행될 수 있도록 하였다.

이 기간 중 임생기 책임연구원은 수직 다관절 용접 로봇의 캘리브레이션 방법, 철구조물의 용접작업시 오프-라인 프로그램 구성 방법 등과 관련하여 9건의 산업재산권을 출원하였다.

● 추후의 일정

대우 중공업 옥포조선소는 '97. 6월부터 대조립 작업장에 10대(9대:현장 적용, 1대:Back Up)의 로봇 시스템을 시험 적용할 계획으로 있으며, 이를 위하여 현장 Infra 구축은 옥포조선소가 수행하고 여기에 설치될 로봇시스템 제작은 IAE에서 주관하여 제작중에 있다. 이번에 투입되게 되는 용접로봇시스템은 6축 다관절 로봇 본체(높이 850mm, 무게 60kg, 작업반경 1,100mm, 위치반복도 ±0.1mm)와 로봇 Controller, 용접기 Controller, Touch 센서 등을 포함하고 있다. 또 고유모델의 로봇 Language뿐만 아니라 각종 주변장치 및 센서회로를 내장하고 있으며, 컨트롤러는 자체 개발한 DSP 보드를 이용하여 8축 동시제어가 가능하다. 또한 무인용접에 필수적 요소인 용접품질 자기감시기술과 CAD 데이터를 로봇 프로그램으로 변환시키는 Off-Line Programming을 내장하고 있어 완전한 용접 로봇시스템을 구현하고 있다.

● 개발과정에서의 애로사항 및 해결노력

개발과정이 앞에서 잠깐 언급하였지만 순탄하게만 이루어졌던 것은 아니다. 로봇 제작과 관련하여 10여개 업체 이상이 제작에 참여하였다. 이렇듯 제작업체가 많은 관계로 이를 관리하는데에 상당한 어려움이 있었다. 일정이 지연되거나 품질

문제 등으로 인하여 일정에 차질이 발생하는 것은 다반사였다. 이를 해결하기 위해 Part별로 제작업체를 담당하여 관리를 했었던 소팀장이나 관련 실무자들은 제작업체의 직원들과 같이 살다시피 하면서 난관을 이겨나갔다. 한 업체의 경우 3달이 지연됨으로 해서 전체일정에 차질이 없도록 하기 위해 연구원들이 직접 일부를 맡아 설계를 보완하고 제작하는 등 진퇴양난의 경우도 겪어야 했다. 특히 주문물량이 소량이고 설계비는 거의 받지 못하고 제작비만 회수하는 제작업체의 입장에서 적극적인 협조를 구하기는 거의 어려웠다. 따라서 조합원사에서 양산하면 제작업체의 매출도 상당히 올라갈 거라고 회유하면서 일을 진행해야 했다. 해당 팀 내부에서는 석사 이상의 고인력자들이 납땜질 및 작업에 동원됨으로 해서 자연스럽게 내부 불만도 만만치 않았다. 하지만 연구원 개개인의 투철한 책임의식과 열정이 있었기에 이를 무난히 극복할 수 있었다. 또한 개발기간 중 4명의 인력이 퇴사를 하여 업무의 공백이 있었으나 개발업무를 정·부의 개념을 도입하여 Cross하게 개발하는 체계로 보완장치를 가지고 감으로 해서 이를 해결할 수 있었으며 특히 S/W개발에 참여했다가 퇴사하였던 연구원의 경우 지금까지 개발을 지원해 주고 있다.

이밖에도 현장 Test 기간 중 대우조선에 장기간 파견을 나감으로 인해 발생했던 문제, 일정지연에 따른 Catch-Up 문제, 구매가 늦어짐으로 해서 발생했던 문제 등 많은 어려움이 있었으나 연구원들의 책임의식과 열정이 이를 충분히 극복하게 하였다. <계속> **발특9708**