

# 대구경 파이프용 공정변수 선정 시스템 개발

김일수\*, 정영재\*\*

## Development of a System for Selection of Process Parameters in Large-Diameter Pipe Welding

Ill-Soo Kim\*, Young-Jae Jeong\*\*



### 1. 서 론

일반적으로, 파이프간의 용접공정은 주로 루트패스(root pass)와 필패스(fill pass)용접으로 구성되며, 루트패스는 결함발생 가능성 때문에 숙련된 경험자가 가스텅스텐아크(GTA) 공정에 의해 용접하고, 필패스에는 주로 반자동 형태의 가스메탈아크(GMA) 용접방법이 사용된다. 특히, 대구경 파이프 용접에서 용접부 품질 및 생산성 향상과 작업환경 개선 등을 위해서 용접공정의 완전 자동화가 요구된다.<sup>(1,2)</sup> 또한, 최근 숙련된 용접인력의 감소, 용접사의 고령화, 용접사의 고임금, 작업 시간단축에 대한 산업계의 요구는 용접사에 의존하는 수동용접에서 용접공정 자동화 단계로 변화하고 있다.

파이프 용접에서 자동화 장치가 용접작업자를 대신하기 위해서는 숙련된 용접사가 용접현상을 관찰하고 판단하

여 이를 적절한 용접조건으로 산출해 내는 지식(knowledge)과 기능(function)을 갖추고 있어야 하고, 나아가 용접사가 가지지 못한 지식, 판단 및 제어 기능을 포함한 시스템 개발이 선행되어야 한다.<sup>(3,5)</sup> 또한, 단위 시간당 용접량을 극대화하고 부적절한 용접조건에 의한 용접불량을 사전에 방지하여 고품질의 용접기술, 비숙련자에 의한 용접공정을 가능케 하고, 제반 검색시간을 단축하여 공정을 효과적으로 수행할 수 있는 용접조건 선정용 소프트웨어 개발이 시급히 요구된다. 개발된 시스템에 의해 최적의 용접조건을 산출함으로써 이를 기준으로 현실적인 용접계획이 가능하고 전반적인 정보의 생성과 흐름의 효율성을 제고할 수 있어 용접공정관리의 측면에서도 필요성이 대두되고 있다.<sup>(6,7)</sup>

대구경 파이프용 공정변수 선정 시스템 개발에 있어서 국내의 경우, 국책연구소 및 대학을 중심으로 기본적인 연

\* 목포대학교 기계선박해양공학부  
\*\* 목포대학교 대학원 기계선박해양공학부

구는 수행되어져 왔으나, 목적하는 기능을 모델링한 S/W의 경우는 로직(logic)화를 위한 파라미터가 많고 함수관계가 복잡하여 시스템화 과정에서 규칙(rule)이나 수식을 비현실적으로 단순화하고 있다. 한편, 케이스(case) 수에 따른 검색 S/W의 경우는 실질적인 문제해결을 위해서는 방대한 양의 데이터베이스를 필요함으로 관련자료 수집과 저장에 한계가 존재함으로 상품으로 출시한 사례는 없으며, 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.<sup>(6,9)</sup> 한편, 파이프 용접자동화에 관해서는 거의 전무하고 국내에서는 현재 삼성중공업과 현대중공업에서 조선소의 파이프 용접에 적용하기 위하여 파이프 용접 자동화에 대한 많은 연구가 수행중이다. 하지만, 이들의 파이프 용접 자동화는 파이프를 포지셔너(positioner)에 고정하여 회전시키면서 로봇으로 용접하는 시스템으로 파이프 직경이 1m 미만에만 적용되고 있으며, 대형 파이프 용접에 한계를 갖고 있다.

미국의 파이프 자동용접장치는 CRC-Evans사와 Dimetric사에서 생산 판매하고 있다. CRC-Evans장비는 적용실적이 가장 많은 장비이며, 1969년에 최초로 파이프 자동용접에 적용된 이후 1997년까지 40,000km이상의 파이프용접에 사용된 실적을 가지고 있다. 초기에는 초층을 수동용접하고 나머지 용접에는 자동 용접하였다. 그러나 최근에는 먼저 내부에서 초층을 용접하고 외부에서 나머지 용접을 실시하도록 개선되었다.<sup>(10)</sup> 러시아는 1979년에 Fresh butt pipe welding 장치를 개발하여 시베리아 지역에서 56인치 파이프에 적용하였으며, 12-14명의 작업자가 한 조가 되어 2~3분만에 한 조인트 용접을 완료한 실적이 있다. 하지만 적용실적이 많으나, 타 국가에서는 적용사례가 전혀 없으며, 후열처리, 용입불량 및 결함판독이 어렵다는 단점을 갖고 있다. 일본의 파이프 전체에서 자동화 용접율은 아직 10%정도에 머무르고 있으며, 나머지는 수동용접에 의존하고 있다. 수동용접은 생산성이 극히 낮아서 1일 기준 공사진척도가 약 10m정도밖에 되지 않는 관계로, 최근 이렇게 열악한 환경에서도 장거리 파이프의 효율적인 건설을 위하여 초고속 원전자동용접에 관한 연구개발이 진행되고 있다. 최근에 유럽 등 선진국에서는 로봇이 움직이는 파이프 용접자동화 시스템의 필요성에 공감대가 형성되어 많은 연구가 활발하게 이루어져 실용화된 장비가 제작 판매되고 있다. 하지만 이들 장비의 대부분이 반자동이며, 가격이 3억원이 넘는 고가이고, 용접조건 선정에 관한 중요기술은 공개하지 않는 실정이다.

본 연구는 FCAW(Flux Cored Arc Welding with ceram-

ic backing)을 이용하여 평판(500×200)에 용접자세별, 모재 두께별, 개선각도별 최적 용접조건 선정을 위한 실험을 수행하였다. 실험으로부터 얻은 최적의 용접조건 및 작업현장에서 실제 사용중인 용접관련 데이터를 기초로, 데이터 처리작업에 의한 운영 환경하에서 운영될 수 있는 데이터베이스 구조설계 및 인터페이스 개발, 시스템 전체 알고리즘 개발을 통하여, 데이터베이스 시스템을 화면설계로 구현함으로써, 최적 용접조건 선정용 데이터베이스 시스템 구축하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시험편 제작 및 가공

실험에 사용된 시험편은 500×200×15 mm, 500×200×25 mm, 500×200×35 mm 두께의 SS400 일반 구조용 압연강재이다. 시험편은 녹, 스케일, 산화물을 제거하기 위하여 stainless wirebrush 및 cloth paper(#300)를 이용하였다. 용접재료의 기계적 성질 및 화학적 성분은 Tables 1~2에 각각 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of base metal

Material	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield point (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Impact value (kgm/cm <sup>2</sup> )	Hardness (Hv)
SS400	44.53	30.1	25	6.2	128

Table 2 Chemical composition of base metal

Material	Element(%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Fe
SS 400	0.15	0.0	0.697	0.013	0.007	0.041	0.087	0.503	Bal.

Fig. 1은 본 연구를 위하여 사용된 맞대기 용접시험편의 형상을 나타낸다. 용접시 용접부의 역학적 조건 및 시험편이 수축, 팽창을 받지 않는 무한평판의 역학적 조건인 최소크기로 선정하였으며, 개선각은 50°, 60°로 자동캐리지(auto carriage)의 토치각을 사용하여 가공하였으며, 루트간격(root opening)은 실제 현장에서 많이 쓰고 있는 3mm로 설정하였다.

시험편의 가공은 자동 캐리지를 이용하여 산소절단 및 가공을 하였다. 3×5 m 강판을 시험편 형상으로 절단 및 가공하기 위해서 자체의 하중으로 인한 시험편의 휨 방지를

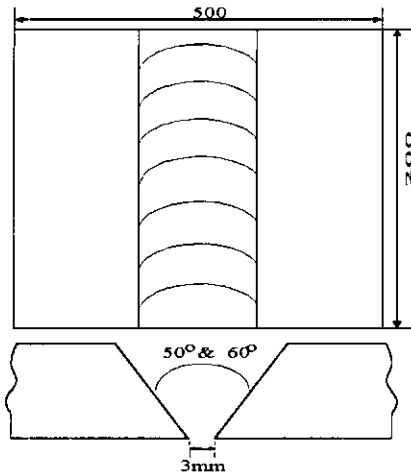


Fig. 1 Configuration of butt welding specimen

위해 먼저 가운데 및 큰 사이즈를 절단하여 세부적으로 시편을 가공하였으며, 적당한 불꽃의 모양으로 산화물 제거 및 시편의 단면치리를 위해 불꽃의 모양과 모재와 팁과의 적절한 간격을 조절하여 절단작업 하였다. 산소-아세틸렌에 의한 홈 가공시의 홈의 면(루우트면)을 아크열로 인한 산화물 제거 및 표면가공을 위해 그라인딩(grinding) 작업을 수행하였으며, 용접면에 녹이나 기타 부착물이 붙어있으면 용접부에 불량요인이 됨으로 wirebrush를 이용하여 제거하였다.

### 2.2 용접조건 선정 및 용접실험

FCAW 용접시 용접품질은 용접자세, 용접사의 기량, 홈 형태, 용접속도, 용접 와이어의 굵기, 토치각도, 팁-모재간 거리등에 따라 변화하며, 그 중에서 주요 용접조건은 아크 전류, 용접전압, 용접속도, 위빙방법 등이다. 따라서, 용접 공정변수들 중에서 가장 용접품질에 영향을 미칠 수 있는 아크전류, 용접전압, 용접속도를 주요 공정변수로 선정하였다. Table 3은 실험시 사용된 모재 두께별, 용접자세별 및 개선각도별 선정된 값을 나타낸다.

Table 3 Process parameters and limits

Table	Unit	Value
Thickness	mm	15, 25, 35
Welding Position	number	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
Grove Angle	degree	50, 60

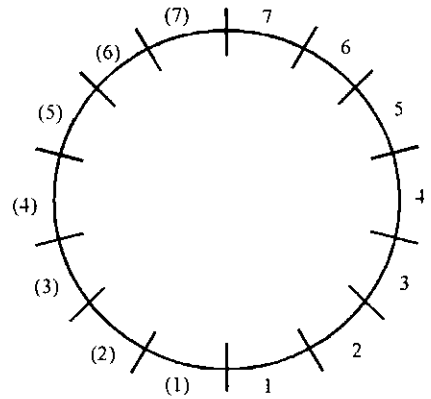


Fig. 2 Welding position for experiment

Fig. 2는 본 연구의 원형 파이프 용접시 용접자세(welding position)를 나타낸 그림으로, 직경이 1m이상의 파이프 용접이므로 그 구간을 7개로 분리하였으며, 실제 용접시에는 1~2구간은 over head, 3~5구간은 vertical up, 6~7구간은 flat 용접자세로 실험을 수행하였다. 특히, 본 실험을 위한 최적의 용접조건에 관한 자료는 표준화된 용접조건에 관한 자료가 전무한 관계로, 현장 경험이 많은 작업자의 노하우(know-how)와 실험을 통하여 최적의 용접조건을 선정하였다.

실험에 이용한 용접 와이어는 (주) 현대중합금속의 SF-71로써, 직경 0.9mm의 solid wire이고, 용접기는 DYNA Auto 600용접기 및 Trans ARC TIG/MIG(Y21277), Delta Weld 452 Miller, 용접전원은 효성 350A를 사용하였다. Backing 재료는 (주) 동일세라믹의 CBM-8062(8mm)를 사용하였다. 용접방법은 Ar 80%, CO2 20%의 혼합가스를 보호가스로 사용하여 FCAW용접을 실행하였으며, 용접각(torch angle), 팁 높이(15mm), weaving 횟수(왕복/분), 폭(mm) 및 dwell Time(초)들은 각각의 용접조건별로 조절하였다. 또한 용접을 하기 전에 자중이나 작업 중 이동시에 변형을 방지하기 위하여 시편의 종방향 양끝에 각각 15mm씩 수동 용접법으로 가접하였다. 또한 용접을 시작하는 부분과 끝나는 부분이 가접되어 있는 관계로, 본 용접시 용입량 부족현상을 방지하기 위하여 가접 용착부의 안쪽을 그라인딩(grinding) 하였다. 가접이 끝난 용접시편은 망치 등을 사용하여 용접시편을 높낮이차가 2mm 이하로 가급적 편편하게 하였다. 또한 용접변형을 최소화하고, 현장에서 사용하는 조건으로 근접시키

기 위하여 지그로 구속한 상태에서 용접을 실시하였다. 용접비드의 적층방법에 따라서 용접품질에 많은 영향을 미칠 수 있으므로, 현장 및 이론적인 연구의 결과를 바탕으로 적층법을 선택하였으며, Figs. 3~4은 두께가 15mm, 개선각이 50° 및 60°인 경우로써, 각각의 pass 수는 7번의 적층으로 통일하였다. 두께가 25mm, 개선각이 50° 및 60°인 경우, 각각의 pass 수는 13번의 적층으로 통일된 결과

를 Figs. 5~6에 나타내었다. Figs. 7~8은 두께가 35mm, 개선각이 50° 및 60°인 경우로써, Fig. 7은 개선각이 50°로써 pass 수는 26번의 적층된 결과이며, Fig. 8은 개선각이 60°로써 pass 수는 29번의 적층으로 용접을 실행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 많은 관련문헌 등을 기초로, 각 두께별로 많은 용접을 수행하면서 그 중 육안검사, 비파괴 탐상, 인장강도 및 굽힘 시험 결과를 기준으로 하여

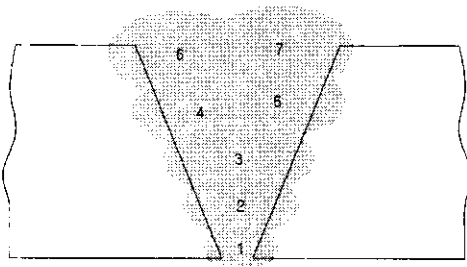


Fig. 3 Configuration of specimen for 15mm thickness and 50° groove angle

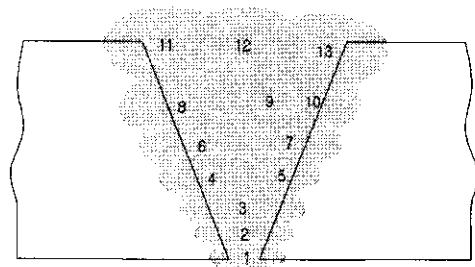


Fig. 6 Configuration of specimen for 25mm thickness and 60° groove angle

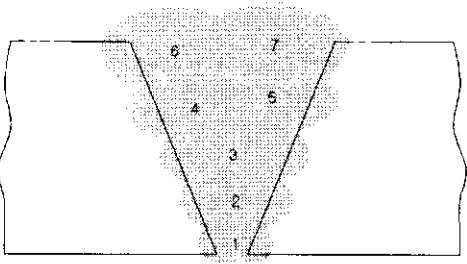


Fig. 4 Configuration of specimen for 15mm thickness and 60° groove angle

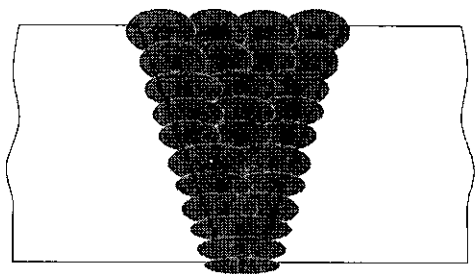


Fig. 7 Configuration of specimen for 35mm thickness and 50° groove angle

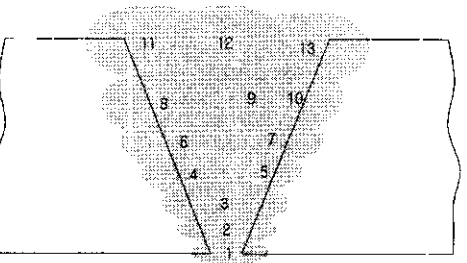


Fig. 5 Configuration of specimen for 25mm thickness and 50° groove angle

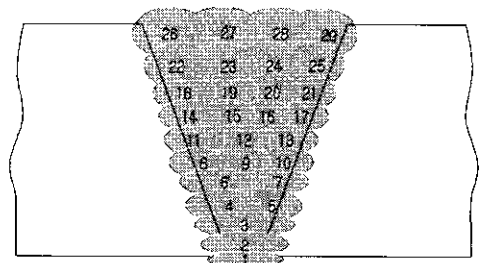


Fig. 8 Configuration of specimen for 35mm thickness and 60° groove angle

최적의 용접부를 선정하여 표준 용접조건으로 선정하였다. 또한 실험의 공정성을 확보하기 위해 최대한의 산업현장에서 적용되어지고 있는 자료들을 근거로 하였으며, 각각의 용접자세별로 용접을 실시하기 위한 지그(jig) 설치하여 용접을 시행하였다. Fig. 9는 설정된 용접조건, 용접자세 및 적응법 별로 용접 실험 후 시편의 모양으로 시편에 번호를 부여한 결과를 나타낸다.

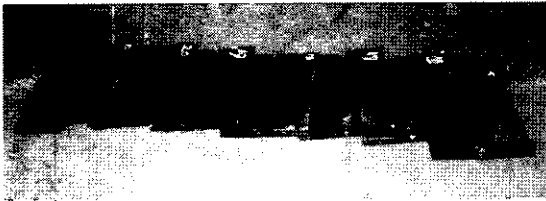


Fig. 9 A photograph for butt welding specimen after welding

### 3. 용접조건별 데이터베이스 구축

데이터베이스 시스템은 컴퓨터를 이용하여 자료를 체계적으로 정리하고 관리하는 정보처리 시스템으로 교육, 문화의 일상생활에서부터 산업응用に 이르기까지 전 분야에 걸쳐 매우 유용한 수단으로 이용하고 있다. 한편 파이프 용접에 영향을 미치는 용접공정변수들의 자료는 방대하고 이들 변수들의 상관관계는 부분적으로 알려져 있을 뿐, 체계적인 연구는 현재까지 이루어지지 못하고 있으며, 직경이 1m이상의 대구경 파이프용접 용접조건 선정은 전적으로 작업자의 경험에만 의존한 관계로 안정적인 용접 품질의 확보가 불가능하며, 전문 용접사의 부족과 인건비의 상승 원인이 되고, 있는 실정이다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 용접작업에 관련된 여러 가지 데이터를 컴퓨터에 저장 및 검색이 가능한 용접조건 선정용 데이터베이스 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 현재 SS400 (일반구조용 압연강재)의 용접에 널리 적용되는 FCAW 용접기법을 대상으로 용접공정에 필요한 각종 데이터를 수록하여 용접설계를 지원하고, 신속 정확한 용접조건을 선정할 수 있도록 데이터베이스 시스템을 구현하였다.

시스템은 용접공정변수에 관한 자료를 활용도가 가장 높은 PC용 데이터베이스 시스템으로 개발하였고, 개발에 사용된 소프트웨어는 Boland C++ builder를 이용하였다. 전체적인 응용 프로그램은 GUI(Graphic User Interface)

환경에서 동작할 수 있도록 하여 사용자에게 시스템의 운용을 쉽게 하였으며, 응용 프로그램은 사용자가 데이터베이스에 관한 지식이 전혀 없어도 프로그램을 쉽게 운용할 수 있도록 윈도우즈의 GUI 환경에서 모든 사용자 인터페이스를 구현하였다. 응용 프로그램의 구성은 Fig. 10과 같이 크게 데이터의 등록 및 수정, 데이터의 검색, 리포트, 도움말 기능으로 구성하였다.

Fig. 11은 본 프로그램의 실행시 나타나는 주(main)화면이며, 그림에서 보는 바와 같이 본 시스템은 모든 사용자 인터페이스를 쉽게 할 수 있는 기능을 갖도록 구성하였으며, 단지 마우스만 클릭 하여도 등록 및 수정, 검색과 같은 대부분의 데이터베이스 기능을 수행할 수 있도록 구성하였다.

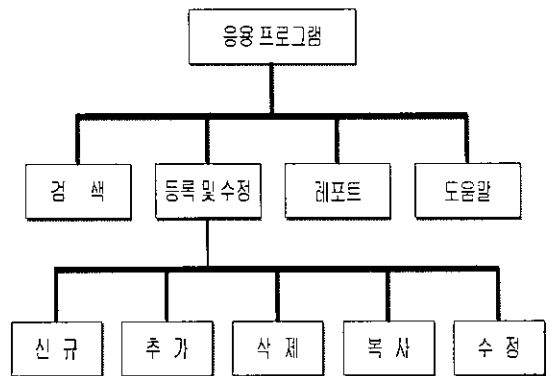


Fig. 10 Structure of a database for prediction of process parameters

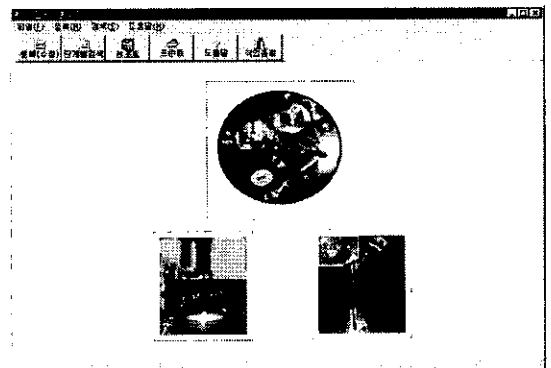


Fig. 11 main Menu of DBS program

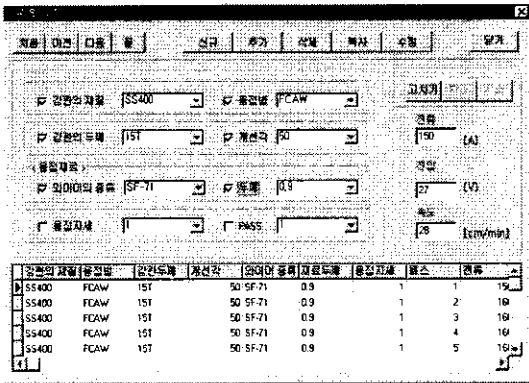


Fig. 12 Data input and the corrected menu

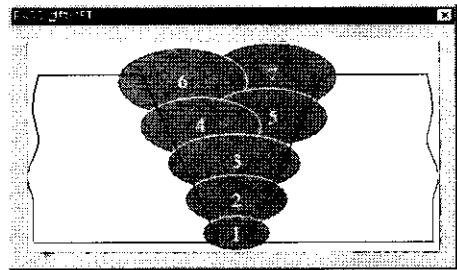
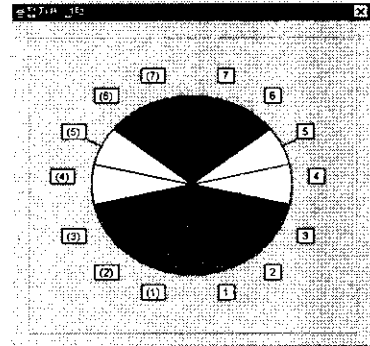


Fig. 14 Menu of welding position and pass selection

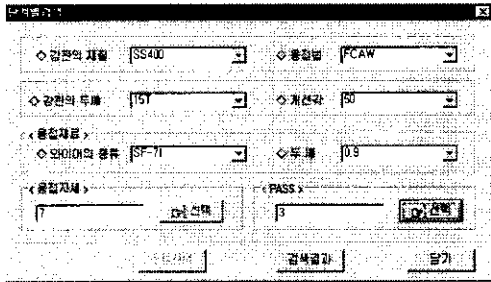


Fig. 13 Screen of a search item

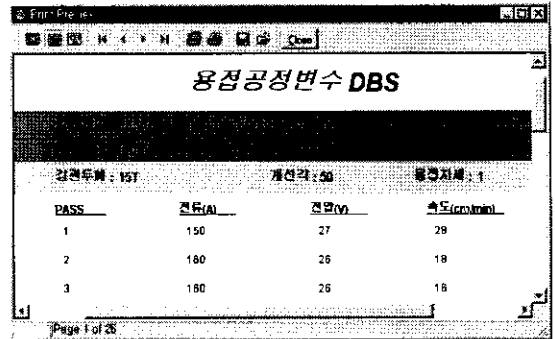


Fig. 15 Output menu

데이터의 등록 및 수정은 다시 데이터의 신규 등록, 데이터의 추가, 데이터의 삭제, 데이터의 복사 및 수정 등으로 세분되어 있다. 체크박스(check box), 콤보박스(combo box) 및 버튼(button) 등을 이용한 레코드의 이동기능을 추가함으로써 이들의 작업을 편리하게 할 수 있도록 하였으며, 그 구성은 Fig. 12와 같다.

데이터의 검색은 전체의 데이터베이스로부터 사용자가 필요로 하는 정보만을 찾아내어 주는 편리한 기능이다. 데이터베이스에는 자료량이 방대하여, 이를 검색하기 위해 사용자가 각 필드의 검색조건을 정확히 입력하기는 매우 번거로운 작업이 된다. 그러므로 검색조건을 용이하게 위해서 Fig. 13과 같이 콤보박스에서 각 필드의 검색조건을 직접 선택하도록 하였다. 또한 용접자세 및 pass 수와 같은 일부의 필드는 데이터만 가지고는 그것이 의미하는 바가 무엇인지 이해하기가 쉽지 않기 때문에 검색조건을 선택하기가 매우 어렵게 된다. 따라서, 본 시스템에서는 사용자가 선택 버튼을 클릭 하면 Fig. 14와 같은 팝업 메뉴를 제시하여, 용접구간 및 그 구간의 pass 수를 설

정하여 검색에 필요한 조건을 직접 선택하도록 하였다.

데이터베이스에 기록된 용접공정변수의 데이터는 검색기능을 통하여 일부 또는 전체를 화면상에 나타낼 수 있고, 그 외에 종이에 인쇄되는 기능을 포함하였다. 리포트기능은 구축된 데이터베이스로부터 사용자가 필요로 하는 데이터를 적절한 양식으로 출력한다. 리포트 기능에는 미리 보기 및 프린터 설정, 프린트 등의 기능이 추가로 설정되어 있으며, Fig. 15와 같다.

## 4. 결 론

최적의 용접조건 선정에 관한 표준화된 시스템이 존재하지 않는 관계로 작업현장에서 실제 사용중인 용접관련 데이터를 수집하여 FCAW를 이용하여 평판에 용접자세별, 모재 두께 및 개선각도별 용접 실험을 실시하였다. 용접품질 향상을 위하여 용접부 검사를 실시하고, 최적의 표준 용접조건을 선정하였다. 이를 바탕으로 산업현장의 적용 타당성에 대하여 비교·분석을 통해 최적의 용접조건을 검증하였다.

선정된 표준용접조건을 바탕으로 데이터 처리작업에 의한 운영 환경하에서 운영될 수 있는 데이터 구조설계 및 인터페이스, 시스템 전체 알고리즘을 개발하여 용접공정 변수 선정에 관한 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 이러한 시스템을 토대로 최근의 용접분야에서의 인력난 및 인건비 상승, 전문 용접작업자의 확보, 용접 작업능률의 저하, 용접부의 불량 등의 문제를 해결 가능하도록 하였으며, 대구경 용접시의 표준용접조건 선정에 관한 기술력을 확보하였다.

지속적인 연구를 통하여 용접자동화 기술을 개발함으로써, 차후 대구경관 용접 및 극한지 천연가스 용접시공 기술로 이용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 기술력을 바탕으로 차후 완전 자동화된 파이프 자동 용접시스템을 국산화함으로써, 해외 대형관(특히 중등) 건설 프로젝트에 공급하여 외화 수익증대 및 자동용접관련 기술확보와 국내 타 산업에 대한 적용이 가능할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 논문은 산업기술평가원을 통한 산업기반기술개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과와 일부분이며, 관계자 여러분께 다시 한번 감사의 말씀을 올립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) John Norrish, "Advanced Welding Processes", Institute of Physics Publishing, Bristol, Philadelphia and New York, p. 229, 1992.
- (2) K. Masubchi, "Analysis of Welded Structures", Pergamon Press, pp. 167~170, 1980.
- (3) T. Mc Elrath and E. F. Gorman, "Argon-Hydrogen Shielding Gas Mixtures for Tungsten-Arc

- Welding", Welding J, pp. 28~35, Jan., 1957.
- (4) W. Lucas, "Shielding Gas Purification Improves Weld Quality", Welding J, Nov, 1990.
- (5) Frederick Hayes-Roth, "Rule-Based Systems", Communications of the ACM, Vol. 28, No. 9, September, pp. 933~411, 1985.
- (6) C. Williams, "Expert Systems, Knowledge Engineering, and AI Tools-An Overview", IEEE Expert, Winter, 1986
- (7) S. Machiko and J. K. Aggarwal, "Estimation of Position and Orientation from Image sequence of a Circle", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2252~2257, April, 1997.
- (8) Ashton-Tate, " Learning and using dBASE III PLUS, 1985
- (9) Ashton-Tate, " Programming with using dBASE III PLUS, 1985.
- (10) J. P. Huisson, D. L. Strauss and W. P. Stefanuk, "Dynamic Seam Tracking for Weld Process Control", Proceedings of the International Conference on Computerization of Welding Information VI, November 3-6, Orlando, Florida, USA, pp. 226~239, 1998.