

발전 및 산업 설비 지원 용접 기술 정보 시스템 개발

박주용* · 홍성호**

Development of Welding Information System for Power and Industrial Plant

Ju-Yong Park* and Seong-Ho Hong**

Key Words : Welding information(용접정보), Database(데이터베이스), Knowledge base(지식베이스), Inference(추론), Diagram Analysis(도형분석)

Abstract

Power and industrial plant use various welding processes and many kinds of materials. Thus, it is a difficult task to get the proper welding information. In this research, a welding information system was developed to solve the difficulty. It consists of database system, knowledge based system and diagram analysis programs. Database system contains a large database and various searching method corresponding to the kind of information. A large part of welding information is managed by this database system. Knowledge based system is used for decision of proper welding process and analysis of weld defects. It has conversion program from text to knowledge, and inference mechanism. Finally, Diagram analysis programs carry out the calculation of ferrite content in the weld metal. By the calculation, a crack occurrence can be avoided. The developed system can be a useful tool for welding in the field of power and industrial plant.

1. 서 론

용접기술은 대부분의 중화학 공업 분야에 적용되는 기반 기술이며 발전 및 산업 설비의 제작, 유지 및 보수에 있어서 품질과 생산성을 좌우하는 중요한 기술이다. 특히 발전 및 산업 설비의 경우 사용되는 재질과 적용 용접법이 매우 다양하고 용접 상황도 경우마다 서로 달라 이에 대한 기술적인 지원을 위해서는 다방면의 지식과 풍부한 경험을 가진 다수의 용접 전문 기

술자를 필요로 한다. 그러나 현실적으로 수많은 발전 및 산업 설비의 제작이나 운용시에 이를 지원할 용접 전문 기술자는 그리 많지 않아 설비 제작 및 운용에 어려움을 겪고 있고 이 분야의 경쟁력 약화의 한 요인이 되고 있다. 따라서 이러한 용접 전문 기술자의 지식과 경험을 컴퓨터에 수록하여 기술자들이 활용할 수 있게 한다면 초급기술자들도 전문기술자들의 역할을 담당할 수 있어 이러한 어려움을 극복하는 하나의 해결책이 될 수 있다^{1,2)}.

최근의 정보처리 기술은 단순한 데이터베이스의 활

※ 1998년 12월 4일 접수

* 정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부

** 비회원, 한국전력기술주식회사 재료기술실

• 박주용 : jypark@hanara.kmaritime.ac.kr

용에서 데이터간의 상관관계가 복잡한 경우는 물론 정량적으로 표현되지 않는 경험적 지식도 처리할 수 있는 수준으로 발전하였다. 특히 용접 정보의 경우 수치화된 정보 이외에도 그래픽, 수식, 도표, 기호, 논리적 기술 등으로 표현되는 다양한 형태의 정보로 구성되어 있으므로 용접 정보 시스템은 단순한 데이터의 검색 기능 이외에 그래픽 표현, 각종 수식의 적용, 도표 및 기호의 분석 등의 기능을 구비하여야 한다³⁾. 본 연구에서는 발전 및 산업설비 제작이나 운용에 필요한 다양한 형태의 용접 정보를 분석하여 적절한 DB 구조에 저장하고 각 정보의 성격에 적합한 검색방법을 고안하였다. 또한 지식베이스와 추론기구를 개발하여 인과관계와 같이 구체적인 수치나 문자값으로 표현되지 않고 논리적으로 기술되는 형태의 정보를 처리할 수 있게 하였고 각종 도형에 의한 용착금속의 페라이트 양을 추정할 수 있도록 도형 분석 알고리즘을 개발하였다.

2. 데이터베이스 및 지식베이스

2.1 데이터베이스의 구성

본 시스템은 데이터베이스(이하 약칭 DB) 기반 정보시스템이다. 모든 관련 정보는 DB에 저장되어 있으며 이 정보는 상황에 따라 다양한 방법으로 재구성되어 사용자가 요구하는 데이터의 형태로 변환된다. 전체 DB는 20 여개의 데이터파일, 다수의 임시 파일 및 그림파일로 이루어져 있고 이들은 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 기능에 따라 모재, 용접재료, 용접법, 이음부, 용접시공, 용접결함 및 기타의 7개의 부분으로 나누어져 있다.

모재 DB에 수록되어 있는 모재 데이터는 발전 및 산업설비 분야에 널리 적용되는 ASME의 보일러 및 압력용기 규격을 기준으로 P-No. 및 Group No.로 분류되어 있다⁴⁾. 이들은 모재의 주성분에 의해 구분되는 일반 분류체계와 호환되도록 되어 있다. 용접재료 DB는 AWS, KS, JIS, DIN 규격에 규정된 데이터를 기준으로 수록하고 있으며 검색 및 관리의 효율성을 높이기 위해 몇 개의 데이터 파일로 분리되어 있다. 또한 각 규격의 용접재료의 상호 호환규격과 국내 용접재료 업체의 해당 규격 생산품을 수록한 데이터 파일과 규격상의 용접재료의 크기, 시공상의 특기사항 등을 수록한 데이터 파일이 속해 있다.

용접법 DB는 각 용접법의 특징과 장단점을 수록하고 있다. 이 내용은 사용자에게 적용 가능한 용접법이 추천되도록 인공지능 지식의 형태로 변환되어 추론기구에 의해 다루어진다. 이음부 DB는 AWS 및 JIS 규

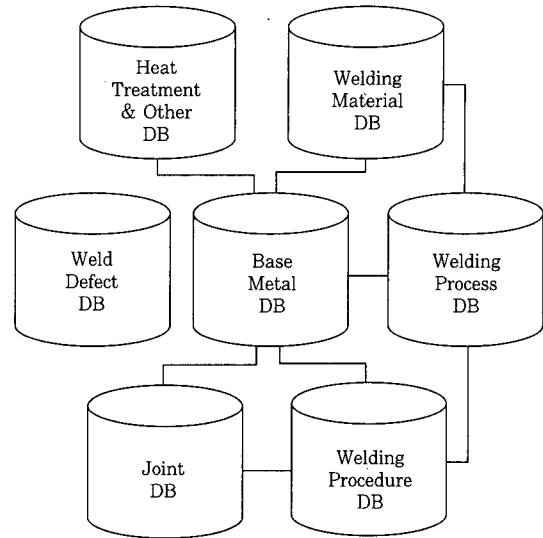


Fig. 1 Database components and their relationships

격에서 지정한 표준 이음부의 치수와 이음부의 그림을 수록하고 있다^{5,6)}.

용접시공 DB는 다양한 모재, 용접법, 이음부 형태에 대한 표준 용접 시공 정보를 수록하고 있다^{7,8)}. 본 시스템에서 다루는 모재는 철강재료에서부터 비철금속까지를 포함하며 적용 용접법도 각종 아크 용접과 일렉트로 슬래그 용접을 포함하므로 용접시공 DB는 방대한 양의 데이터를 포함하고 있다.

용접 시공 DB는 용접재료 DB와 같이 여러 개의 데이터 파일로 분리되어 있다. 용접 상황에 대한 경우의 수가 대단히 많아 본 시스템에서 가장 많은 데이터를 수록하고 있는 부분이다. 용접 결함 DB는 용접시에 나타나는 전형적인 용접 결함을 적용 용접법과 용접결함의 발생시기, 발생위치, 형태에 따라 세분되어 있으며 이들은 용접법 DB와 마찬가지로 지식의 형태로 변환되어 용접결함의 발생 원인을 추적하고 그 대책을 제시하는 역할을 담당한다.

기타 부분은 용접예후열 처리, 용접금속의 조직 분석 등에 사용되는 데이터들을 수록하고 있으며 이 데이터는 용도에 따라 도표, 수식 등의 다양한 형태로 변환되어 활용된다. 이들 7개로 구분된 세부 DB는 Fig.1에서 보는 바와 같이 독립적인 것도 있으나 다른 세부 DB와 연관되어 활용되는 것도 있다.

2.2 지식베이스

본 시스템의 용접법 및 용접결함 관련 정보는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 DB에 텍스트의 형태로 저장되어 있다. 이 텍스트는 지식 변환 루틴을 거쳐 IF..., THEN... 의 규칙의 형태로 재구성되어 지식베이스를

형성하게 된다. 본 연구에서는 DB의 단순한 검색 기능을 응용하여 전향 추론 기능을 구현하는 추론기구를 개발하였다. Fig. 3의 흐름도에 나타난 바와 같이 DB의 각 레코드에서 가정부와 결론부를 추출하고 패턴 부합을 통해 비교하여 결론에 다다를 때까지 부합된 순서대로 레코드 번호를 리스트에 저장함으로써 레코드의 연결관계를 구현하는 방식이다. 이 추론기구는 간단하지만 검색효율이 매우 높다. 또한 추론과정 중에 질의 응답 및 각종 함수 등을 수행해야 할 경우 DB에 필드를 추가하여 내용을 수록하면 레코드가 패턴에 부합될 때 해당 필드의 내용이 실행되도록하면 된다.

Rule No	If	Then
1	Position=V-up and heat input=very high and thickness=high	EGW=excellent and ESW=good
2	Undercut occurs	Voltage=high and Speed=high

Fig. 2 Knowledge stored in Database

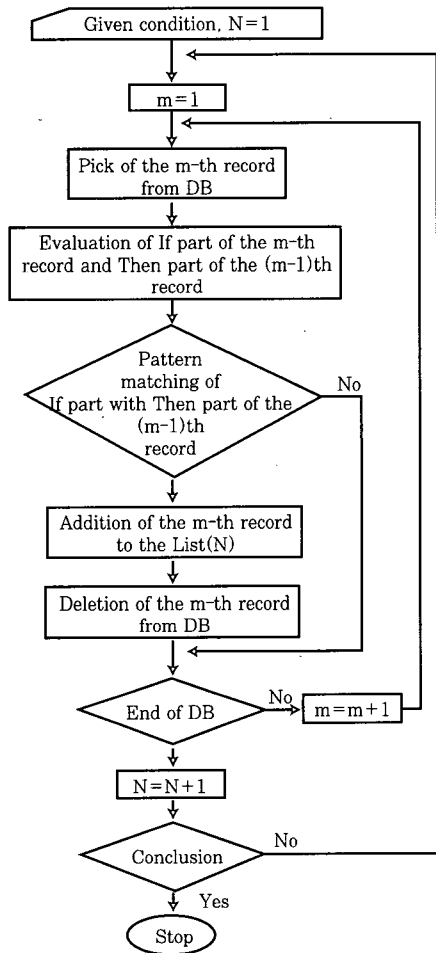


Fig. 3 Inference algorithm using DB

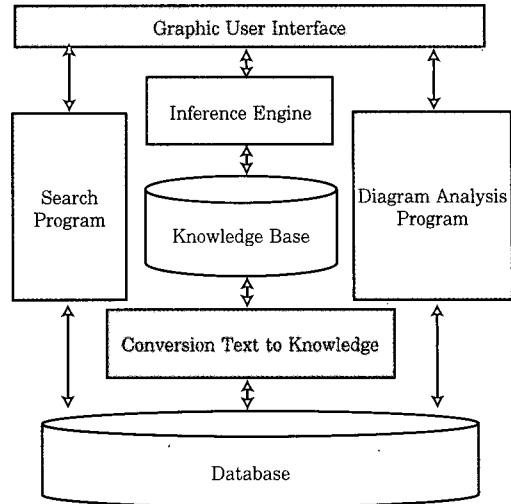


Fig. 4 System structure

3. 시스템의 구성

3.1 전체 시스템의 개요

시스템은 Fig. 4와 같이 기능상 DB 및 그의 활용을 통한 DB 시스템과 DB를 근간으로 하여 지식베이스 변환 루틴을 거쳐 형성되는 지식베이스와 추론기구를 통해 이루어진 지식베이스 시스템, 도형 분석 시스템, 그래픽 사용자 환경 등이 주요 구성 요소이며 이들을 활용 목적에서 본다면 용접재료 선정, 용접법 선택, 용접 이음부 선택, 용접 시공 데이터 획득, 용접결함 분석 및 대책, 용접금속 조직 분석 등을 포함한 기타의 6 부분으로 구성되어 있다.

3.2 용접재료의 선정

발전 및 산업설비의 경우는 사용되는 재질이 다양하고 적용되는 용접법도 많기 때문에 각각의 경우에 적합한 용접재료를 찾는 것이 용이한 일이 아니다. 본 연구에서 대상으로 하는 사용 재질은 연강, 저합금강, 고합금강 등의 철강재료는 물론 알루미늄, 구리, 니켈, 티타늄 과 그들의 합금 등이며, 적용 용접법은 피복아크용접, MIG, MAG 용접 등의 일반 아크 용접과 가스 용접, 일렉트로 슬래그 용접 등을 포함하고 있다. 또한 상이한 재질 간의 용접도 포함하고 있다. 이들 경우에 적용되는 용접재료는 매우 방대하며 특히 이종재 용접의 경우는 재질의 조합이 매우 다양하여 이들의 모든 조합에 대해 일대일 대응방식으로 용접재료를 선정하는 것은 많은 시간과 노력을 요하므로 보다 효율적인 검색 방법이 요구된다.

본 연구에서는 이와 같은 방대한 용접재료의 검색을

Dissimilar Combination	Base Metal A	Base Metal B	Welding Material
C-Steel	Mild Steel	HT70, HT80	E7016, E9016G
C-Steel x LA-Steel	C-Steel	C-Mo, 0.5Cr-0.5Mo,...	E7016, E7018, ER70S-2
Stainless Steel	310S, 316, 316H, 317	321, 321H, 347, 347H,...	E308
Cu Alloy x Others	Cu-Zn	Ni, 2.5Ni, 3.5Ni, Mn-Steel	ECuSn-A, ECuSn-C
⋮	⋮	⋮	⋮

Fig. 5 Database for welding material for dissimilar welding

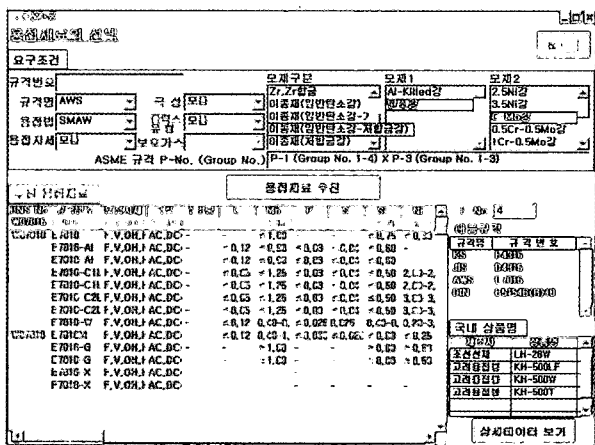


Fig. 6 Selection of welding material for dissimilar metal welding

효율적으로 하기 위해 먼저 용접재료의 주요 항목을 형성하는 데이터 구조의 유사성을 기준으로 퍼복아크 용접재료, 플럭스 사용 용접재료, 보호가스 사용 용접재료의 3가지로 구분한 후 이들을 모재의 종류에 따라 세분하였다. 검색조건을 입력시에 모재, 용접법, 이음부, 용접자세 등의 검색조건을 상호 의존성에 기초하여 한 조건이 입력되면 관련되는 다른 조건은 선택가능한 항목만 제시되도록 되어 있다. 이종재 용접의 경우는 탄소강내의 연강과 고장력강의 용접이나 알루미늄내의 1060과 5456의 용접 등과 같이 대분류로는 같으나 세분류로 다른 재질의 경우와 동(Cu)과 Ni강의 용접과 같이 대분류에서부터 다른 재질의 경우를 구분하여야 이종재의 가능한 조합을 현실적으로 구성할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 이종재의 조합에 대한 용접재료를 효과적으로 찾을 수 있도록 Fig. 5와 같은 특별한 구조의 DB를 고안하였다. 첫 번째 필드는 대분류상의 이종재 조합, 2번째 및 3번째 필드는 세분류상의 가능한 모재 조합이 수록되고 마지막 필드에서 적용 가능한 용접재료가 수록되어 있다. 이종재의 용접재료 선정은 대분류상의 이종재 조합이 입력되면 Fig. 5의 DB에서 첫 번째 필드의 검색 결과에 의해 임시파일이 생성되고 이어서 입력되는 세분류상의 두 종류의 모재가 2번째와 3번째 필드에 포함되어 있는 레코드의 마지막 필드에 수록된 용접재료의 이름을 찾음으로써 이루어진다. 찾은 용접재료는 입력된 용접법에 의해 정해지는 용접재료 DB를 검색하여 해당 용접재료의 제특성 데이터를 얻게 된다. Fig. 6은 이 과정을 통해 구한 이종재 용접재료를 보여주는 화면이다.

용접법의 선택과 용접결함 분석 및 대책

용접법의 선택과 용접결함 분석은 내용은 상이하나 둘 다 지식베이스를 기반으로 하고 있다는 점에서 결론을 찾는 방법은 동일하다. 용접법의 경우는 용접법의 선택 과정이, 용접결함의 경우는 용접결함이 발생하는 인과관계가 DB에 텍스트의 형태로 저장되어 있다. 이들은 지식변환 루틴을 거쳐 단순한 텍스트에서 IF-THEN의 지식의 형태로 재구성되어 컴퓨터의 작업메모리에 저장되고 저장된 지식들은 전향추론 과정을 거쳐 결론을 구성한다.

3.3 용접법 선택과 용접결함 분석 및 대책

Fig. 7은 대표적인 용접결함인 이물질 혼입의 발생의 인과관계에 근거하여 작성된 인과모델을 보여준다⁹⁾.

3.4 이음부 및 용접시공 데이터의 선택

이음부의 선택은 모재의 종류 및 두께, 용접법, 용접 자세에 따라 정해진다. 이음부 정보의 특징은 이음부의 그림과 함께 모재의 두께나 이음부의 치수가 (t-f)와 같이 기호나 수식으로 표현된 것이 많다는 점이다.

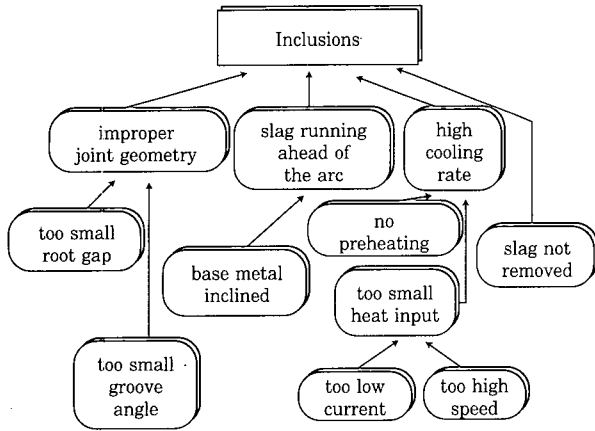


Fig. 7 Causal model of inclusions

따라서 주어진 조건에 부합되는 이음부 정보를 얻기 위해서는 검색과정에서 기호 또는 수식으로 표현된 것들을 수치값으로 변환하여 검색 조건과의 부합을 평가하여야 한다. 본 연구에서는 DB의 내용을 수학적으로 타당한 표현으로 전환 또는 분리시킨 후 문자열을 함수로 인식하는 Evaluate() 함수를 적용함으로써 수치값으로 인식되도록 하였다. 검색된 이음부 중 하나가 선택되면 용착면적이 계산되며 용접길이를 입력하면 용접법에 따른 용착효율을 감안하여 용접재료의 소요량이 계산된다. Fig. 8은 이음부 검색의 예를 보여주고 있다.

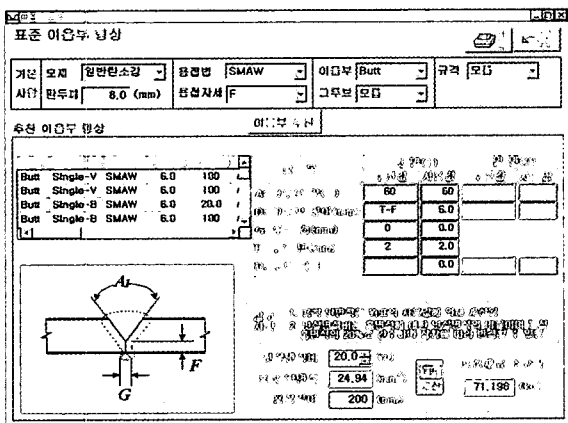


Fig. 8 Example of joint selection

용접시공 데이터는 사용 모재의 종류 및 두께, 용접법, 용접자세, 이음부 종류 및 형상에 의해 결정된다. 용접시공 데이터는 매우 방대한 양이어서 본 시스템에서는 검색의 효율과 속도를 높이기 위해 검색조건을 분해하여 우선순위가 높은 용접법과 모재 종류에 의해 검색한 결과로 임시파일을 작성한 후 이 파일로 나머지 조건에 대해 검색작업을 계속하도록 하였다. 이 경우 임시파일은 주메모리에 존재하므로 고속검색이 가능하게 된다.

3.5 용접 예후열 처리 데이터

용접 예후열 처리는 모재의 종류와 두께에 따라 달라지며 적용 분야에 따라서도 약간의 차이가 있다. 본 시스템에서는 모재 및 두께에 따라 비교적 세밀하게 예후열 조건을 명시하고 있는 보일러 및 압력 용기용 규격인 ASME 규격 데이터와 함께 범용으로 적용되는 예후열 처리 데이터를 같이 제시하고 있다.

3.6 용접금속 분석

스테인레스 강을 비롯한 고합금강 용접의 경우 용접금속의 페라이트 양은 미세균열 발생과 밀접한 관계가 있어 최소화용치가 주어진다. 즉, 미세 균열을 피하기 위해서는 E308 또는 E316 용접봉을 사용하는 용접의 경우 용접금속의 페라이트 양은 적어도 3% 이상이 되어야 하며 E309의 경우는 4%, E318의 경우는 5%, E347의 경우는 6%가 넘어야 한다. 용접금속의 페라이트 양은 Schaeffler, DeLong 및 WRC diagram을 사용하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 Diagram의 분석을 위한 알고리즘을 개발하여 모재와 용가재의 성분과 모재의 희석율을 입력하면 도면상의 위치와 함께 페라이트 양이 계산되도록 하였다. 먼저 모재 1,2와 용가재의 Ni당량과 Cr당량에 의해 주어지는 3점에서 희석율의 적용으로 용착금속점을 구한다. 각 도형의 직선들의 식은 도형 데이터베이스에 수록되어 있으므로 데이터베이스의 검색을 통해 이 용착금속점과 이웃해있는 두 직선을 찾을 수 있다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 찾은 두 직선 l_1, l_2 의 기울기가 $\tan\theta_1$ 과 $\tan\theta_2$ 라면 두 직선의 연장선의 교점 p와 용착금속점 q를 잇는 직선 l_3 를 구할 수 있다. 이 직선의 기울기가 $\tan\theta_3$ 이고 직선 l_1 의 페라이트 양이 f_1 , 직선 l_3 의 페라이트 양이 f_2 라면 용착금속점 q의 페라이트 양 f_3 는 직선 l_1 과 직선 l_3 사이의 각 $(\theta_1 - \theta_3)$ 와 직선 l_3 와 직선 l_2 사이의 각 $(\theta_3 - \theta_2)$ 에 대한 보간법을 적용함으로써 Fig. 9의 식과 같이 구해진다.

Fig. 10은 이러한 과정을 통해 구해진 용착금속점이 Schaeffler 도형에 페라이트 양과 함께 표시되어 있는 그림이며 DeLong 및 WRC 도형에 대해서도 같은 방법으로 적용된다.

4. 결 론

발전 및 산업설비의 제작, 유지 및 보수에 필요한 용접정보는 방대하며 정보의 형태도 매우 다양하다. 본 연구를 통해서 방대하고 다양한 용접정보를 처리하고

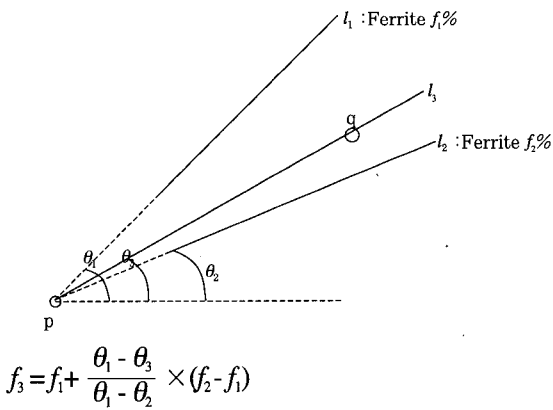


Fig. 9 Calculation of ferrite content of weld metal using interpolation

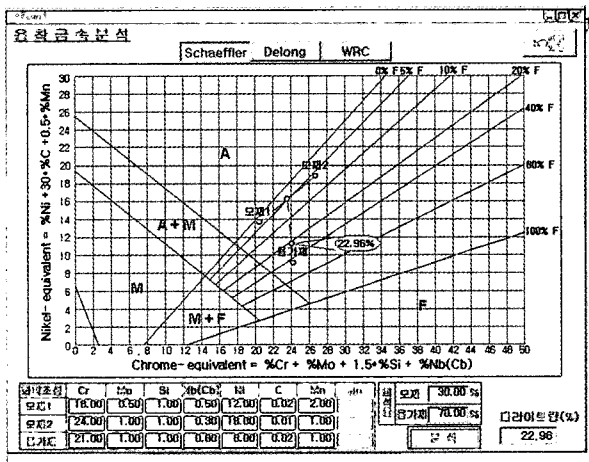


Fig. 10 Estimation of ferrite content of weld metal in the Schaeffler diagram

관리하는 용접기술정보시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 방대한 정보를 수록하고 있는 데이터베이스를 기반으로 정보의 성격에 적합한 다양한 검색방법을 구현하고 용접결합 분석과 같은 논리적 기술 형태의 정보처리를 위해 지식베이스로 변환하는 기법과 추론 기구를 개발하여 적용하였다. 또한 도형정보의 처리기법을 개발하여 용작금속의 페라이트 양을 추정하는 데

활용하였다. 향후 본 시스템은 데이터베이스가 계속 확충되고 용접설계 관련 정보 및 처리기법도 추가되어 보다 적용범위가 넓은 종합적인 용접 기술 정보 시스템으로 확장될 예정이다.

참고 문헌

1. 이천주, 황인환, 한용섭 : 용접정보 관리를 위한 전산 시스템 개발, 대한용접학회지 제15권 제4호, 1997, pp31-35
2. 김일수 : GMA 용접에 최적의 용접비드 형상을 예측하기 위한 수학적 모델 개발, 대한용접학회지 제15권 제3호, 1997, pp118-127
3. 박주용, 강상수 : 용접기호 생성시스템에 관한 연구, 1997년도 추계학술발표 개요집, pp 234-238
4. ASME Section IX : Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, 1995 Edition
5. AWS : Metals and their Weldability, Welding Handbook Vol.4, 7th Edition, 1982
6. 太田省三郎, 妹島五彦 : 溶接構造物の設計と基準, 現代溶接技術大系, 産報出版, (1977), pp23-45
7. 김대근, 성희준, 신동수, 최기영 : PQR 관리 시스템 개발, 대한용접학회 1997년도 춘계학술발표 개요집, 215-217
8. AWS : Materials and Applications-Part 1, Welding Handbook Vol.3, 8th Edition, 1996
9. J.Y. Park : Fuzzy-Logic-basiertes Beratungssystem zur Prozessoptimierung und Fehlerdiagnose beim MAG-schweissen, Ph.D. Thesis, Aachen Univ., 1993