

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
 第10卷 第4號 1992年 12月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol.10 No.4, Dec., 1992

횡형압력용기의 치수 및 용접설계를 위한 전문가시스템의 개발에 관한 연구

서철응* · 나석주**

A Study on Development of Expert System for Dimension and Weld Designs of Horizontal-Type Pressure Vessel

C. W. Seo*, S. J. Na**

Key Words : Expert System(전문가시스템), Knowledge Base(지식베이스),
 Inference Engine(추론엔진), User Interface(사용자인터페이스),
 Horizontal-Type Pressure Vessel(횡형압력용기), Dimension Design
 (치수설계), Weld Design(용접설계)

Abstract

Expert system is a practical application part of the artificial intelligence and can be generally described as a computer-based system designed to simulate the knowledge and reasoning of a human expert, and to make that knowledge conveniently available to other people in a useful way. Expert systems consist of three major components, knowledge base, inference engine and user interface.

In this paper, it is aimed to construct a prototype system to design the horizontal-typed pressure vessel. To do this, a representative artificial programming language, Turbo Prolog, was employed, and the knowledge representation was mainly done by the production rule such as "If(condition), then (action)" style and by the predicate logic.

In the developed system, it was quite easy to represent the knowledge of "If(condition), then(action)" style and the various table-like data. It was also effective to represent the graphics. Though this expert system is by now small and incomplete, it is possible to expand it to a larger and refined system later.

* 정회원, 한국중공업(주)

** 정회원, 한국과학기술원

1. 서 론

압력용기를 설계하고자 할 때는 작동 압력 등을 고려하여 적절한 치수의 적절한 소재를 선정해야 하는 기본적인 설계 뿐만 아니라, 용접설계, 가공능력, 운송능력 등도 설계에서 중요하게 고려해야 할 요소가 된다. 따라서 압력용기의 설계는 종합적인 설계 능력이 요구되어 다년간의 경험과 광범위한 지식을 갖춘 설계전문가만이 수행이 가능하다. 한편 현재의 산업 구조상 한 사람만의 설계 전문가가 시종일관하여 설계를 완성하는 경우는 매우 드물고, 여러 설계사가 부분별로 나누어 설계하는 경우가 대부분이다. 이러한 부분별 설계는 최종의 설계에서 의도하는 바를 파악하지 않으면 안된다. 즉 다른 부분의 설계와 유기적인 관계를 갖지 않으면 안되어 종합적인 설계능력도 필요로 하는 것이다. 그러나 각 설계자가 종합적인 설계능력을 갖기는 어렵기 때문에 설계를 수행하는 데는 문헌을 찾고 다른 설계자의 도움을 받고 하는 등의 어려움이 있다. 따라서 전문가의 지식을 보관하여, 원하는 설계자가 아닐지라도 쉽게 이용할 수 있는 방법이 있다면 매우 유용한 것이 될 것이다. 이와 같은 목적을 위해서 전문가의 지식을 축적하는 방법으로서 전문가 시스템을 구축하는 것이 효과적인 방법이라고 여겨지고 있다.

전문가시스템은 인공지능의 여러 응용분야들 중에서 가장 흥미있게 논의되어 오고 있는 분야이다. 전문가시스템의 정확한 정의는 아직 논의 중에 있으나, 일반적으로, 어떤 특정분야에 있어 그 분야의 전문가가 가진 전문지식을 정해진 규칙에 따라 컴퓨터

내에 기억시켜 두고서, 비전문가인 일반사용자의 질문에 대해 인간전문가가 취하는 방식을 모방하여 전문지식을 요약해 주거나 지적인 조언 또는 의사결정을 해주도록 되어 있는 일종의 컴퓨터 프로그램이라고 할 수 있다¹⁾. 이러한 전문가시스템이 다방면에 걸쳐서 개발되게 된 계기는 1970년대 초 미국 스탠포드대학에서 개발한 의료진단 전문가시스템인 마이신의 상업적 성공에 있다고 할 수 있다.

한편, 선진각국의 연구소와 기업들이 상업적 가치를 두고서 본격적으로 각종 전문가시스템의 개발에 박차를 가하기 시작한 것은 수년전부터이다. 현재 용접분야에 있어서 상품화되어 있는 전문가시스템들의 종류와 그 용도를 소개하면 Table 1과 같다^{2,3)}.

본 논문에서는 전문가의 숙련이 요구되는 압력용기의 치수 설계 및 용접 설계방법을 전문가 시스템으로 구축하고자 하였다. 문제의 범위를 명확하게 하기 위해서 여러 가지 종류의 압력용기 중에서 비교적 지식 획득이 용이하다고 판단되는 횡형 압력용기(Horizontal-type pressure vessel)의 경우에 대해 프로토타입(Proto type) 시스템을 구축하고자 하였다. 비록 경제조건으로서 많은 가정을 두어 구축한 기초적인 것이나 압력용기 설계에 있어 전문가 시스템의 유용성과 개발가능성을 동시에 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 압력 용기의 치수 설계 및 용접 설계에 경험이 적은 설계자라도 쉽게, 체계적으로 설계할 수 있는 설계 흐름을 구현하였고, 대화식으로 간편하게 이용할 수 있게 하였다. 본 연구의 구성에서 연구에 사용한 전문가 시스템의 개념을 별도의 항을 두어 먼저 기술하였는데, 이것은 압력용기 설계의 내용과 혼합하여 기술함을 피하기 위해서이다.

Table 1 Commercially Available Expert System in Welding

Group	System Name	System Application
External	Weldselector	Electrode selection
	Weldsymple	Graphical representation of a welding symbol
	Weldcrack	Diagnosis of possible crack in weldment
	Welding Procedure Selection Expert System	Generation of welding process specification(WPS)
	Welder Qualification Test Selection Expert System	Choice of the correct tests for welders
	Weld Defect Diagnosis Expert System	Identification of the causes of weld defects
	Weld Estimating Expert System	Estimation of filler metals for particular applications
Domestic	Miller Expert Program	Service and maintenance of welding equipments
	PRO-WELD	Weld groove design, fabrication and inspection for CO ₂ gas welding

2. 형압력용기 전문가시스템 개발환경

형압력용기의 설계 전문가 시스템을 구축하기에 앞서 먼저 전문가 시스템을 언급하여, 본 연구에서 사용하고자 하는 특정 수단, 규칙, Tool등을 소개하며 압력 용기 전문가 시스템의 개발도구를 살펴 보고자 한다.

2.1. 전문가시스템 개발을 위해 고려해야 할 사항

전문가시스템의 개발에 있어서 고려되어야 할 사항으로는 먼저 개발하고자 하는 시스템의 문제 영역이 명확히 정의되어야만 어떤 해가 구해질 것인가 하는 점이 분명해진다는 것이다⁴⁾. 즉, 전문가의 지식을 사용하여 단일의 목표 또는 복합적인 목표를 추구하여 해결할 수 있는 문제라야 하며, 지식 또는 정보가 문제 해결의 근본이라면 전문가시스템 구축을 위해서 가장 유력한 가능성을 갖고 있는 것이다.

2.2. 전문가시스템을 개발하기 위한 수단

전문가시스템을 개발하기 위해서는 크게 나누어 Shell(=Tool)을 사용하는 방법과 프로그래밍 언어를 사용하는 방법으로 구분할 수 있으며, 또한 후자의

경우 재래식언어(Conventional language)를 사용하는 방법과 인공지능 언어를 사용하는 방법이 있다. 전자에 대해 이들의 특징 및 장단점을 비교한 것을 Table 2에 나타내었다.

본 논문에서는 인공지능 언어를 사용하여 프로그래밍하였는데, 두가지 대표적인 인공지능언어인 LISP과 PROLOG중에서 PROLOG를 선택하였고, 그 중에서도 볼랜드사에서 개발한 터보 프롤로그를 사용하고자 하는데, 그 이유는 여러가지의 프롤로그 중에서도 터보 프롤로그가 수학적 계산기능과 칼라 그래픽 지원 기능이 우수하기 때문이다.

2.3. 전문가시스템의 구성요소

전문가시스템은 지식베이스(Knowledge base), 추론엔진(Inference engine), 사용자인터페이스(User interface)의 세가지 요소로 구성된다.

2.3.1. 지식베이스(Knowledge base)

지식베이스는 어떤 주제에 대한 상세한 지식을 유지하는 데이터베이스의 특별한 형태이다. 지식은 문제를 해결하기 위해 사용되며 여러가지 다른 형태의 지식에 대해서는 각각 다른 기법들이 사용될 수 있다. 주요한 지식표현 방법에는 생성규칙(Production rule), 술어논리(Predicate logic), 의미네트워크(Semantic network), 프레임구조(Frame structure) 등이 있다.

Table 2 Comparison between Various Programming Languages and Shells for Developing Expert System

Group	Features		
Shell (or Tool)	<ul style="list-style-type: none"> * Reduction of prototype system implementation * Unessential for programming skill * Various shells from small system to large one * Lack of flexibility * Lack of graphic support 		
Programming Language	Conventional Language	Assembly	<ul style="list-style-type: none"> * Processing speed is high * Difficult to program and understand
		Fortran, Pascal & C	<ul style="list-style-type: none"> * Excellent in mathematical computation * Necessity of programming ability * Longer program when symbol processing
	A.I. Language	Lisp & Prolog	<ul style="list-style-type: none"> * Excellent in symbol processing * Necessity of programming ability * More time consuming than using shell

생성규칙의 기본형식은 만일 전제가 사실이면 결론도 사실이라는 형태(If~, Then~)로 표현되며, 이런 형태의 지식 표현 구조를 사용하는 시스템을 생성시스템(Production system)이라고 한다.

본 논문에서는 생성규칙 표현 방법과 술어논리 방법을 사용하고자 하는데, 그 이유는 이해가 쉽고 표현이 용이하기 때문이다. 한편 술어논리 방법은 '관계명칭(인수, 인수, ...)'의 형태를 취하였다.

2.3.2. 추론엔진(Inference engine)

추론엔진은 추론기구(Inference mechanism)라고도 하며 전문가시스템의 핵심부로서, 사람이 문제를 해결하기 위해 취하는 추론과정을 모방한다. 추론엔진은 두가지 일을 하는데, 첫째로 작업메모리(Working memory)내에 존재하는 사실(Fact)과 규칙베이스(Rule base)내의 규칙(Rule)들을 조사하고, 필요시 작업메모리속에 새로운 사실을 추가한다. 둘째로는 어떤 규칙들이 어떤 순서로 조사되고 불러내어져야 하는지를 결정한다. 이러한 추론엔진은 추론요소(Inference component)와 제어요소(Control component)로 이루어져 있는데, 추론요소는 모더스 포운넨스(Modus ponens-삼단논법)로 동작한다. 즉, A가 참이고 'If A, then B'라는 규칙이 존재한다면 B도 참이라는 논법이다. 제어요소는 어느 규칙이 선택되어야 하는지의 순서를 결정하며 보통 전진추론(Forward chaining)과 후진추론(Backward chaining)으로 구분된다. 전진추론은 데이터구동형(Data driven)이라고도 하며, 알려진 사실과 함께 시작하는 과정인데 전진으로 작업하여 타당한 결론을 찾으려고 시도한다. 후진추론은 목표지향형(Goal driven)이라고도 하며 전진추론과는 반대 방향으로 작용한다. 후진추론의 제어기법은 실제적으로 프로그래머 언어 시스템속에 내장되어 있으며 추론엔진에 보다 더 융통성을 부여하기 위해 이들 두가지가 복합된 형태의 추론전략을 사용할 수도 있다.

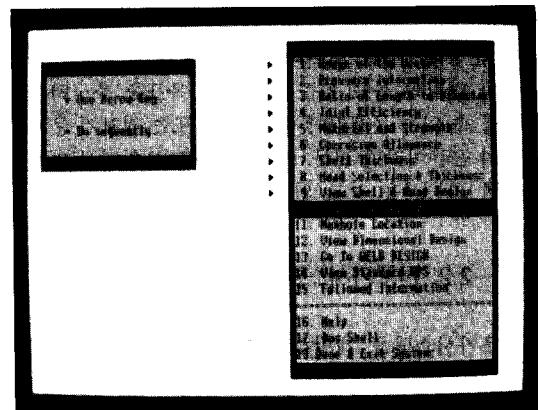
본 논문에서는 프로그래머 언어 속에 내장되어 있는 패턴매칭(Pattern matching) 및 자동백트래킹(Auto-backtracking)을 이용한 자체 추론기능을 사용하였다.

2.3.3. 사용자 인터페이스(User interface)

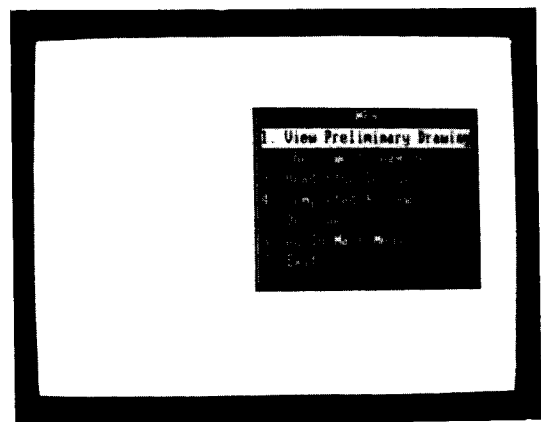
사용자 인터페이스는 전문가시스템과 의사소통을 할 수 있는 수단을 제공해 주는데 전문가시스템과 사용자간에 이루어지는 대화방식은 다음과 같다.

전문가시스템은 추론 과정을 시작할 초기 데이터를 사용자에게 입력하도록 요구하며, 사용자에게 왜 그런 질문을 하는지 대답해 주거나, 또한 불충분한 데이터 때문에 어떤 결론을 도출할 수 없다는 것을 추론기구가 알게 되었을 경우에도 사용자에게 알리고 추가의 정보를 입력하도록 요구한다.

본 논문에서는 윈도우 및 여러가지 메뉴방식을 이용하였는데, 이러한 편리한 환경은 터보 프로그래밍 시스템이 지원하는 툴(Tool)을 이용하여 쉽게 구축할 수 있다. 본 전문가시스템에서 치수설계에 대하여 구성한 사용자 인터페이스 화면은 Fig.1(a), 용접설계에 대하여 구성한 사용자 인터페이스 화면은 Fig.1(b)에 나타나 있다.



(a) User interface display to construct dimension design



(b) User interface display to construct weld design

Fig.1 Some initial monitor displays of the expert system

3. 횡형 압력용기 전문가시스템의 구축

3.1. 치수설계

압력용기설계의 최종 결과물은 설계 도면 및 기타 부수적인 문서 등이 있으나 가장 기본적인 것은 설계도면이다. 본 전문가 시스템을 구축하기 위해서는 먼저 설계자가 최종설계도를 완성하기까지 어떤 지식을 어떻게 사용하는지 알아야만 하므로, 이를 위해서 설계의 과정이 어떻게 이루어지는 파악할 필요가 있다.

치수설계의 범위는 압력용기의 원통형몸체(Cylindrical shell)와 경판(Head) 및 새들지지대(Saddle support), 맨홀(Man hole)의 설계까지로 한정하였다. 이와 관련하여 개략적인 설계과정을 유통도로 나타내면 Fig.2와 같다. 이와같이 구성하면 각 단계를 하위목표(Subgoal)로 하여 일반 사용자들이 쉽게 파악할 수 있으며, 또한 모듈성(Modularity)이 우수한 프로그래밍 언어로 프로그래밍하기가 용이하다⁵⁾. 그리고 나중에 비교적 간편하게 통합시킬 수 있기 때문에 프로토타입(Prototype)의 구축시간을 단축시킬 수가 있다.

3.1.1. 압력용기 종류

이 모듈을 설정한 이유는, 사용자가 계약서 등의 기본 문서로부터 설계하고자 하는 압력용기의 구체적 명칭을 입력했을 경우, 그 명칭을 동적지식베이스에 저장해 두고서 필요시 마다 불러내어 정적 지식베이스에 저장되어 있는 정보와 비교하여 참고가 될 만한 조언을 해주기 위해서이다. 분리조(Separator)에 대해서 전문가의 지식이 다음과 같은 말로 표현 가능하다고 가정하자.

“For usual separators,
 design pressure is 20[kg/cm²],
 length to diameter ratio is 3,
 joint efficiency is 1.0,
 material is low alloy steel,
 and corrosion allowance is 5[mm].”

이 문장을 슬어논리로 표현한 정적 지식은 다음과 같다.

k.b(separator, pressure(20), l.d.ratio(3), j.e(1), mat(La.steel), c.a(5)). 위에서 각 데이터들은 모두가정치들인데, 이러한 지식이 다른 부품에 대해서도 획득 가능하다고 하면 마찬가지로 형식으로 정적 지식베이스 구축이 가능하다. 이와 같은 지식베이스가 구축되어 있으면, 다음의 각 데이터 입력단계에서 이러한 정적지식을 판단기준으로 하여 사용자에게 조언을 해 줄 수가 있다.

3.1.2. 작동압력(Operating pressure)

작동압력은 압력용기 치수설계를 위해 중요한 입력변수이며, 압력용기의 종류마다 용도에 맞게 대체적인 범위는 정해져 있다고 볼 수 있다. 논의의 편의를 위해 사용자가 분리조(Separator)를 설계하는 중이라고 가정하자.

사용자가 작동압력수치를 입력했을 때, 만일 사용자가 표준치보다 크게 벗어난 수치를 대입했다면 컴퓨터는 패턴매칭에 의해 정적 지식베이스를 탐색하여 입력치와 표준치를 비교하고 오류를 지적하여 줌으로서 사용자로 하여금 다시 확인할 수 있는 기회를 제공한다(Fig.3(a), Fig.3(b)).

3.1.3. 길이 대 직경의 비율

여기서 말하는 길이 대 직경의 비(ratio)는 Fig.4에 나타난 탄젠트길이 L_t 를 용기의 내경 D_i 로 나눈 값(L_t/D_i)이다. 압력용기의 길이와 직경의 비를 고려하는 것도 중요한 문제인데, 이것은 어떤 용기의 체적에 대해 어느 한쪽이 규정의 치수를 초과한다면 제작비용도 더 들고 운송하는데 있어서도 문제가 될 수 있기 때문이다. 직경 대 길이의 비를 구하는 일은 도표이용, 최소중량의 자재가 소요되도록 계산, 경험치의 이용과 같은 방법이 있으나, 본 논문에서는 경험치 또는 가정치를 이용하였다⁶⁾. 이 단계에서는 사용자에게 먼저 그 압력용기의 표준치를 제시하고, 이것을 사용할 것인지 혹은 경험치를 사용할 것인지를 대화로 결정하였으며 여기서 결정된 값을 이용하여 압력용기의 표준직경 및 길이를 산출하였다.

3.1.4. 용접이음의 효율

Fig.5에 나타난 수치들 중에서 화살표 키를 사용하여 선택하였으며, 선택된 값은 동적 지식베이스에 저장

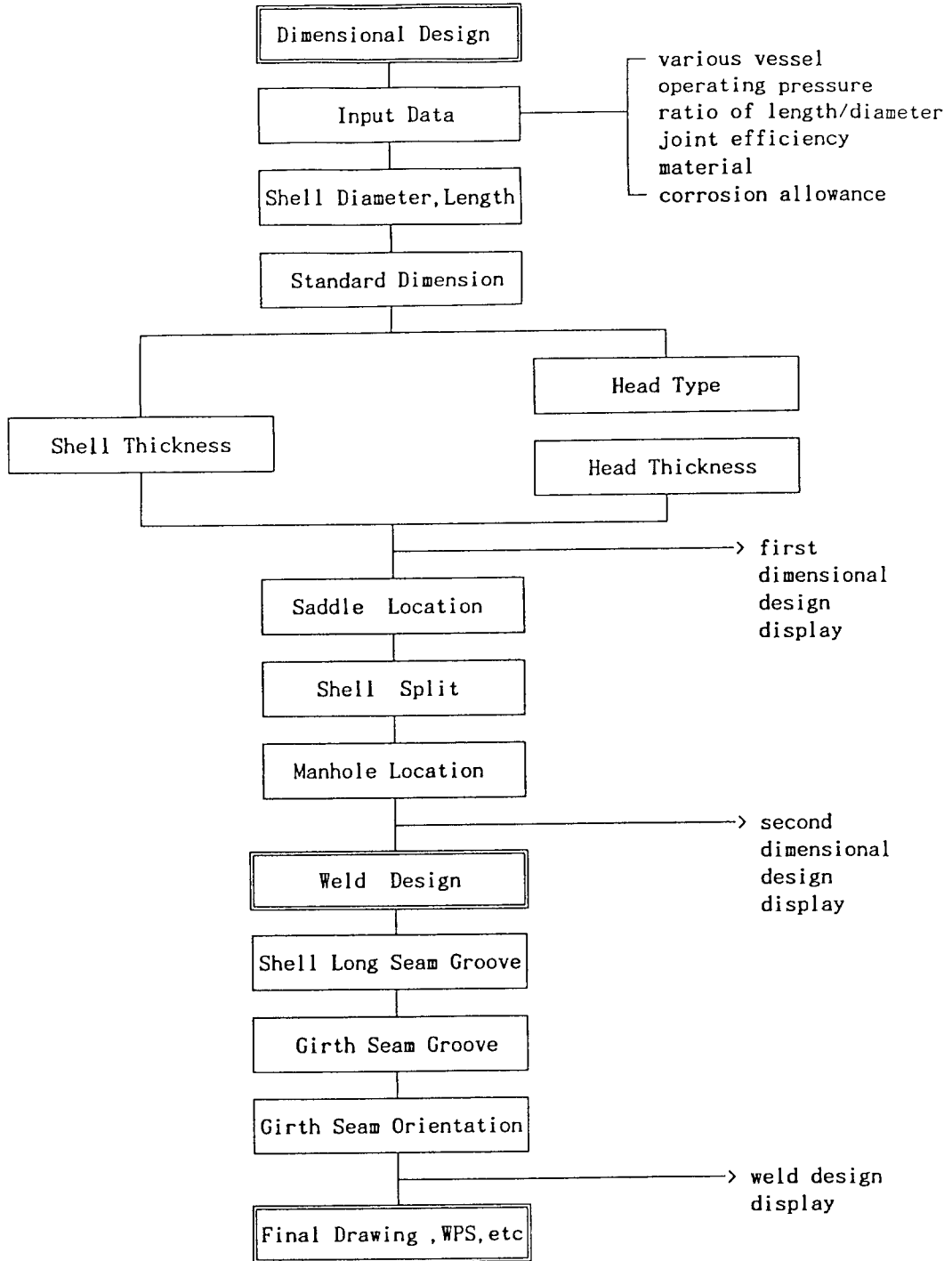
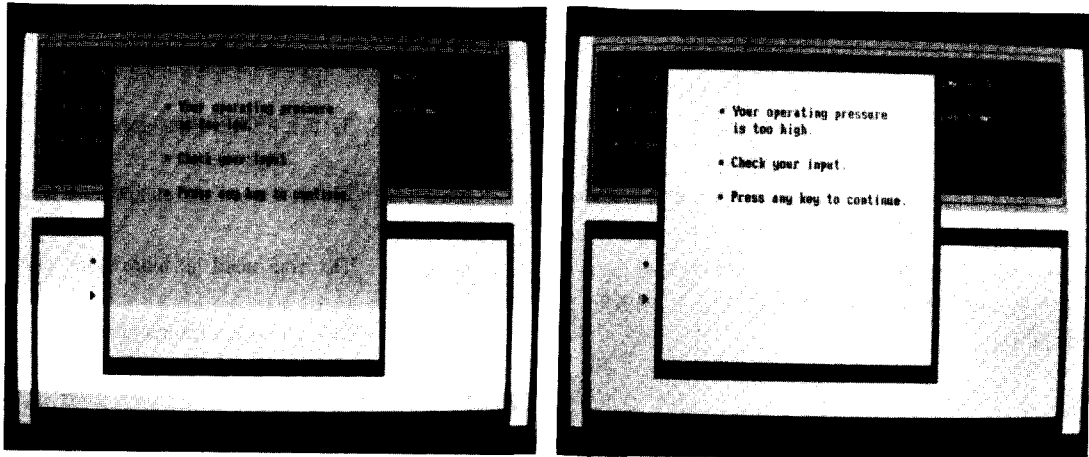


Fig.2 Flow chart of pressure vessel design



(a) When input value is smaller than normal database value

(b) When input value is larger than normal database value

Fig.3 Caution message displays

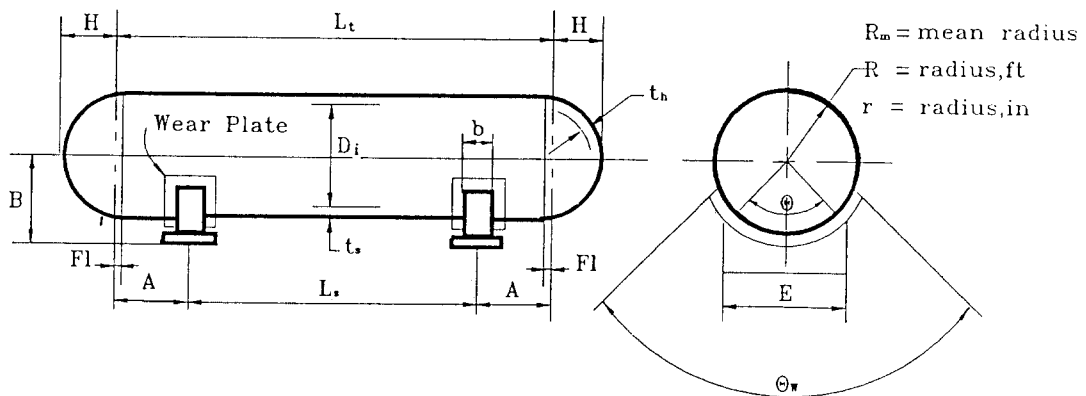


Fig.4 Representative design parameters of horizontal-typed pressure vessel

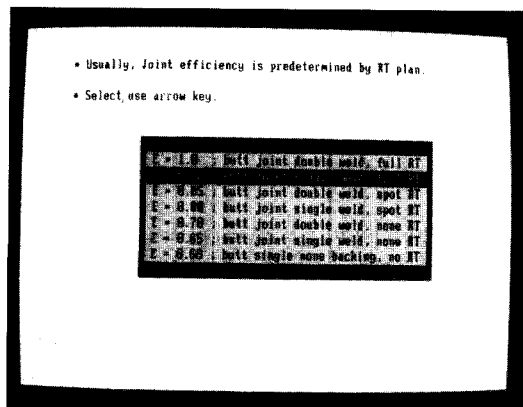


Fig.5 Selection of joint efficiency

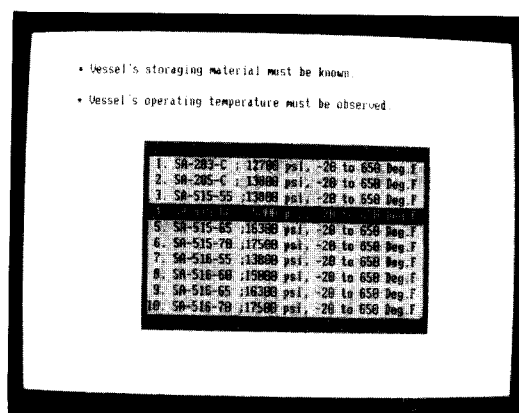


Fig.6 Material selection

되고 각종 계산을 위해 쓰인다.

3.1.5. 사용재료

Fig6에 표시된 재료들 중에서 화살표키를 사용하여 선정하며, 이와 관련된 인장허용응력 및 항복응력들이 동적지식베이스에 저장되고, 나중에 각종 응력을 계산할 때마다 호출된다. 이들은 모두 압력용기 제작용으로 가장 많이 사용되고 있는 탄소강 계열의 재료들이다.

3.1.6. 압력용기 몸체의 두께

앞에서 입력된 정보를 이용하여 다음의 공식에 의해 계산된다⁷⁾.

$$t_s = \frac{P_d R_i}{SE_j - 0.6P_d} \quad 1(a)$$

$$T_s = t_s + C \quad 1(b)$$

여기서, t_s 는 계산된 셸(Shell)두께, P_d 는 설계압력, R_i 는 내반경, S 는 재료의 허용응력, E_j 는 용접이음효율, T_s 는 실제 사용두께, C 는 부식 여유이며 최종적으로 저장되고 사용되는 것은 식1(b)의 값이다.

3.1.7. 경판의 두께

경판의 종류에 따라서 두께를 계산하는 공식이 다른데, Fig.7의 여러가지 형태의 경판중에서 대표적인 3종류에 대해서는 다음의 계산식이 적용된다⁷⁾.

$$\text{Head4} : t_h = \frac{0.885P_d \rho}{SE_j - 0.1P_d} \quad 2(a)$$

$$\text{Head5} : t_h = \frac{P_d D_i}{2SE_j - 0.2P_d} \quad 2(b)$$

$$\text{Head6} : t_h = \frac{P_d R_i}{2SE_j - 0.2P_d} \quad 2(c)$$

$$T_h = t_h + C \quad 2(d)$$

여기서, ρ 는 곡률 반경, t_h 는 계산된 경판의 두께, T_h 는 실제사용두께이며, 실제로 저장되고 사용되는 것은 식(2d)의 값이다.

경판의 종류를 선택하기 위해서 본 연구에서는 다음의 과정을 고려하였다. 몇몇은 공통이 될 수도 있고

독립적일 수도 있는 질문들이 다음과 같다고 가정하자.

question1 : "Is the ASME code spec required ?
(y/p/m/v/n)"

question2 : "Do you need an inexpensive one ?
(y/p/m/v/n)"

question3 : "Do you need a more safe one ?
(y/p/m/v/n)"

question4 : "Do you need a commonly used one ?
(y/p/m/v/n)"

적용가능한 대표적인 경판의 종류를 6가지라고 가정하면 이 경우 발생 가능한 대답은 각 경판에 대해 30가지씩 총 120가지이다(Table 3). 위의 각 질문에 대해 사용자의 대답의 조합이 다음과 같다고 할 경우 ;

사용자의 대답 ; question1 → (y) yes
question2 → (p) probably
question3 → (y) yes
question4 → (m) maybe

사용자 대답의 조합은 다음과 같은 복합구조의 동적 지식으로 저장된다.

ans(q1,y,(h1,C111),(h2,C1211),(h3,C1311),(h4,C1411),(h5,C1511),(h6,C1611))

ans(q2,p,(h1,C2122),(h2,C2222),(h3,C1322),(h4,C1422),(h5,C1522),(h6,C1622))

ans(q3,y,(h1,C3131),(h2,C3231),(h3,C1331),(h4,C1431),(h5,C1531),(h6,C1631))

ans(q4,m,(h1,C4143),(h2,C4243),(h3,C1343),(h4,C1443),(h5,C1543),(h6,C1643))

받아들인 대답을 근거로 각 경판에 대해 다음과 같이 가중치를 계산한다.

Head1 : value1 = $C_{1111} + C_{2122} + C_{3131} + C_{4143} = -99.63$

Head2 : value2 = $C_{1211} + C_{2222} + C_{3231} + C_{4243} = -99.71$

Head3 : value3 = $C_{1311} + C_{1322} + C_{1331} + C_{1343} = -99.66$

Head4 : value4 = $C_{1411} + C_{1422} + C_{1431} + C_{1443} = 0.64$

Head5 : value5 = $C_{1511} + C_{1522} + C_{1531} + C_{1543} = 0.72$

Head6 : value6 = $C_{1611} + C_{1622} + C_{1631} + C_{1643} = 0.56$

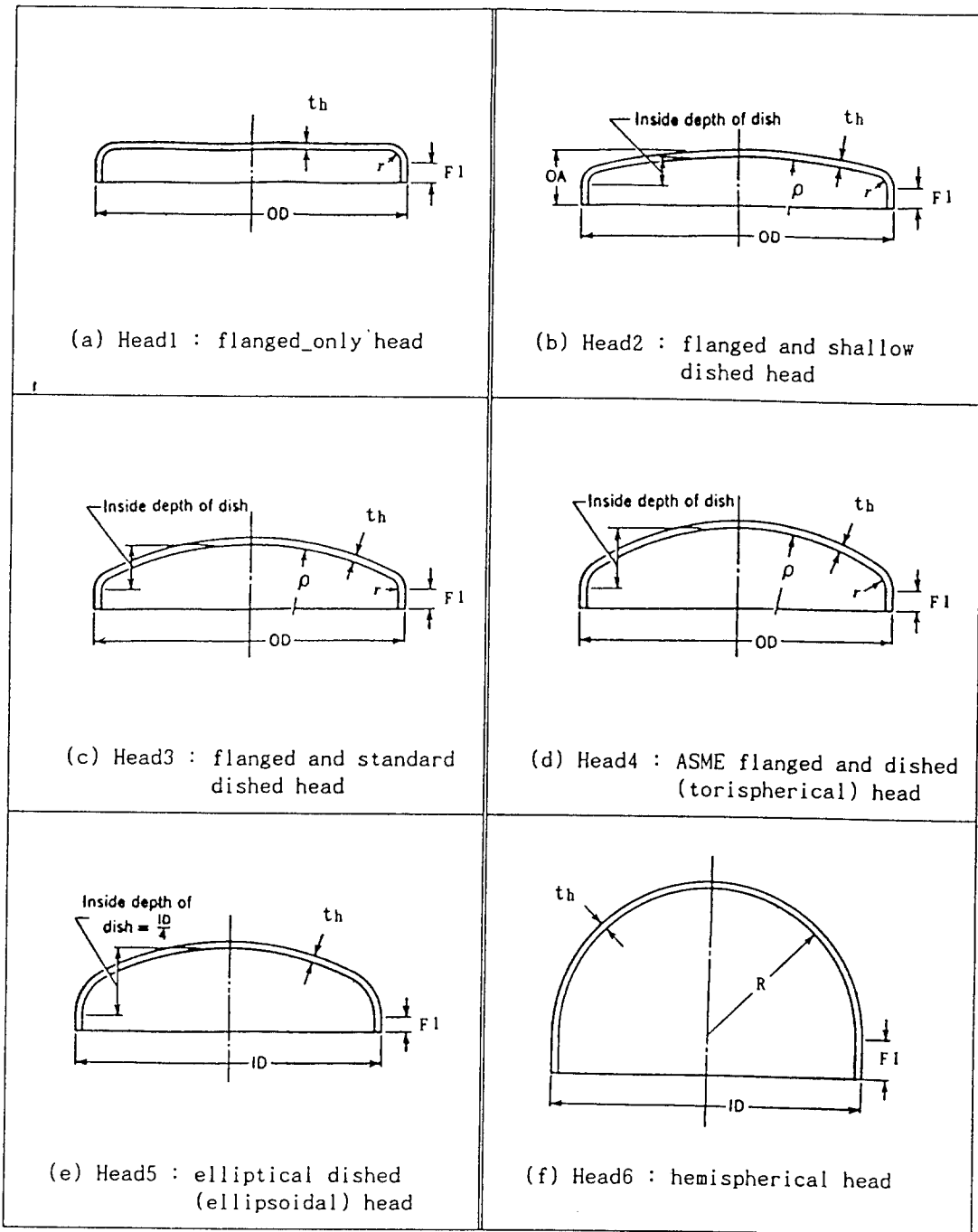


Fig.7 Various types of more common formed heads

Table 3 Answer Combination for the Questions to select Various Heads

	Answer	Head1	Head2	Head3	Head4	Head5	Head6
question1	y/p/m/v/n	q1	q1	q1	q1	q1	q1
		A1	A1	A1	A1	A1	A1
		h1	h2	h3	h4	h5	h5
		C11	C12	C13	C14	C15	C16
question2	y/p/m/v/n	q2	q2	q2	q2	q2	q2
		A2	A2	A2	A2	A2	A2
		h1	h2	h3	h4	h5	h6
		C21	C22	C23	C24	C25	C26
question3	y/p/m/v/n	q3	q3	q3	q3	q3	q3
		A3	A3	A3	A3	A3	A3
		h1	h2	h3	h3	h3	h3
		C31	C32	C33	C34	C35	C36
question4	y/p/m/v/n	q4	q4	q4	q4	q4	q4
		A4	A4	A4	A4	A4	A4
		h1	h2	h3	h4	h5	h6
		C41	C42	C43	C44	C45	C46

* Note :

y : yes, p : probably, m : maybe, v : vague, n : no
q1, q2, q3, q4 : various questions
A1, A2, A3, A4 : various answers
h1 : Head1, h2 : Head2, h3 : Head3, h4 : Head4, h5 : Head5, h6 : Head6
C11, C12, ..., C45, C46 : various weight factors, each represents five factors,
for example, C11 represents for C111, C112, C113, C114, C115.

이때 후보 선정의 기준치를 가중치 합의 어떤 값으로 설정해 두면, 이 가중치보다 큰 값을 갖는 후보들은 모두 선정해 줄 수가 있고, 가장 큰 가중치를 갖는 후보가 현재의 상황에서 가장 유력한 후보로 추천된다. 위의 경우 Head5가 가장 유력한 후보로 선정되고, Head4와 Head6은 각각 차선의 후보들이 된다. 그러나 본 연구에서는 최종 선택을 사용자가 할 수 있도록 하였다. 한편, 여기서 Head1, Head2, Head3들은 가장 중요한 분기점이 되는 요건을 만족시키지 못하기 때문에 다른 가중치가 크므로 인해 선택될 수 있는 가능성을 배제하기 위해 그 항목에 대한 가중치들을 음의 큰 값으로 설정해 두었다.

3.1.8. 새들 지지대(Saddle support)의 설계

횡형압력용기를 설계함에 있어서 가장 복잡하고 번거로운 문제중의 하나가 바로 이 단계인데, 그 이

유는 Fig.8과 같이 가정된 새들의 위치 A가 변함에 따라서 각 부분에서의 응력들이 함께 변하며, 이때 모든 응력들이 조금씩 다른 조건의 허용범위 이내에 들어야만 비로소 새들의 위치가 정해질 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 이 새들의 적정위치를 탐색 및 검증하기 위해 L.P.Zick의 방법을 적용하였다⁸⁾. 횡형압력용기의 설계와 관련하여서는, L.P.Zick가 1951년 미국 용접학회지에 연구논문을 발표한 이래로 약간의 수정보완만을 거쳐 지금도 가장 널리 이용되고 있다. Fig.8에 표시된 14개의 응력들에 대한 식들을 사용하여 계산하였고⁸⁾, Fig.9에서와 같은 새들지지대의 선택을 위해서 필요한 정보도 정적 지식으로서 저장하였다.

가정한 새들의 위치값이 적정한지의 여부를 판별하기 위해서는 전단계에서 획득된 지식 및 앞 문장에서 설명된 정적 지식정보로 계산을 수행한 후, Table 4의 내용을 판단 기준으로 하여 각 응력의 안정성 여부를 검증하였다. 이 과정의 실행중에서 컴퓨터가

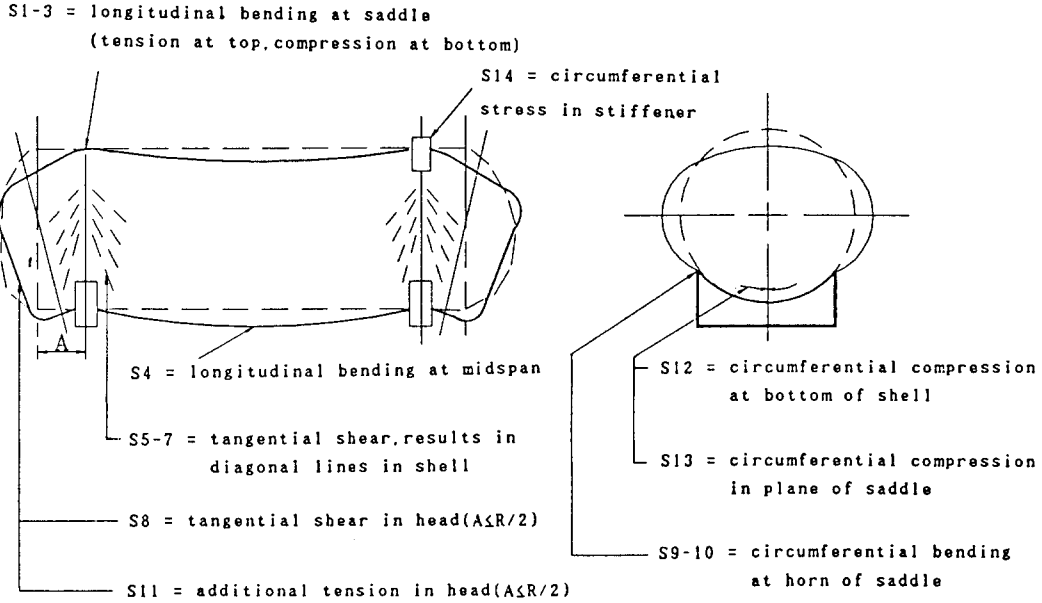


Fig.8 Various stresses of horizontal-type pressure vessel

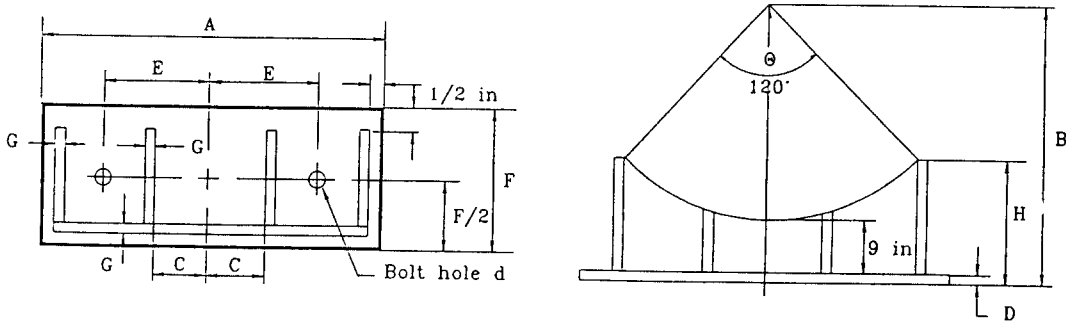


Fig.9 Saddle support

Table 4 Various Dimensions for Saddle Support

Vessel O.D. mm	Total Weight kg	Wear Pl. mm	Cont Angl °	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	H mm	Bolt hole mm
610	7000	200	122	560	534	0	14	203	102	6	386	30
760	7570	200	120	680	610	0	14	254	102	6	419	30
910	7120	250	125	840	686	0	14	305	153	6	478	30
1060	7000	250	123	970	762	0	14	381	153	6	508	30
1220	11400	250	127	1118	838	0	14	457	153	6	567	30
1980	25600	350	124	1778	1219	280	20	838	204	10	757	30
2440	29660	350	125	2185	1448	356	20	1067	204	10	882	30
3350	57834	350	125	2998	1905	508	20	1524	254	16	1131	35

Note : For Dimension A-F, refer to Fig.9

검증의 이상유무를 사용자에게 알려줄 수 있도록 구성되어 있다. 이 단계가 완료되면 적절한 새들의 위치와 용기의 하중 및 외경에 맞는 새들지지대의 정적지식정보에 관한 번지수가 동적지식으로 저장되는데, 이 동적지식은 최종 설계도면의 열람시 그래픽 합성을 위해 사용된다.

처음 계산단계에서의 모든 시도들이 실패하면, 두 번째 계산단계로 넘어가며 새들의 위치를 경관에 가까운 쪽으로 옮긴 후 처음 단계와 유사한 과정들이 전개된다. 만일 두번째도 실패한다면, 보강 링을 사용하는 세번째 계산과정이 반복된다.

3.1.9. 압력용기의 분할문제

압력용기를 분할하는 문제는 대체로 강판을 롤벤딩(Roll bending)할 수 있는 장비의 최대작업폭이 얼마인가에 의해 결정되는데 본 연구에서는 3m를 최대폭으로 가정하였다. 또한 새들과 새들 웨어판(Wear plate) 사이에 간섭이 생기면 안되며 일정간격을 유지해야만 하는데, 여기서는 50mm를 최소 허용가능값으로 가정하였다.

3.2. 용접설계

용접설계도 치수설계에서와 마찬가지로의 방식을 취하며, 여기서는 치수설계단계에서 구한 결과들을 이용하였다. 용접설계에서는 용접 그루브의 형상 및 치수를 결정하고, 여기에 맞는 용접기호생성 및 용접절차사양서를 생성하는 것이 주요한 과제이다.

3.2.1. 압력용기 몸체의 길이방향 그루브 설계

용접 그루브 설계에 있어서 고려되어야 할 요소들은 두께, 직경, 용접프로세스 등이 있다. 예를 들면 두께가 약 15mm이하라면 그다지 두꺼운 편은 아니므로 X그루브나, U그루브는 적합하지 않을 것이며, V그루브가 적합할 것이다. 한편 직경이 너무 작아서 자동용접장비가 압력용기속으로 접근할 수 없다면 두꺼운 경우라도 SAW 프로세스는 불가능할 것이며, 따라서 그루브형태도 달라질 것이다. 이와같이 대화를 통하여 그루브의 형상을 결정하는데, 관련된 규칙의 예는 다음과 같다.

Rule1 : If shell thickness is under 15[mm]
and SAW can be applied to weld shell long-seam, then V-groove is recommended.

Rule2 : If shell thickness is over or equal to 15[mm] and under 50[mm] and SAW available, then X-groove is recommended.

Rule3 : If shell thickness is over or equal to 50[mm] and SAW can be applied to weld shell long-seam, then U-groove is recommended.

3.2.2. 압력용기의 원주방향 그루브 설계

원주방향 그루브 설계는 전향의 길이방향 그루브 설계와 마찬가지로 수행되었다. 경판과 셸이 접합되는 부분은 협소한 장소이므로 보통 SAW 프로세스가 어렵기 때문에 GMAW 또는 수동용접이 적당할 것이며, 그루브의 형태 및 치수가 달라질 수 있도록 구축하였다.

3.2.3. 용접설계의 결과를 화면으로 보는 단계

앞에서 획득된 동적지식을 바탕으로 하여 용접설계 결과의 한 예를 그래픽으로 나타내면 Fig.10과 같다.

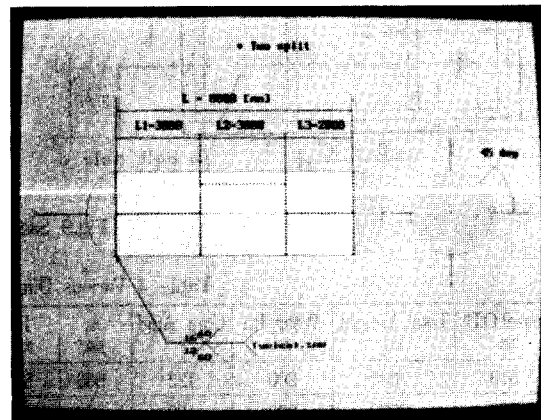


Fig.10 An example of weld design

3.2.4. 용접절차사양서(WPS : Welding Process Specification)

용접절차사양서는 실제적인 용접을 수행하기 위해 반드시 필요한 문서이며 기본적인 서식은 ASME Code

Section IX⁹⁾에서 추천하고 있다. 이것은 압력 용기의 재질 및 두께, 그루브 형상 등에 따라서 전압, 전류, 용접자재, 그루브 상세도 등과 같은 필수적인 정보들이 경우에 따라서 달라지게 된다. 용접절차서와 관련되는 동적지식베이스의 저장형태는 부록과 같으며, 완성된 용접절차서양식의 한 예가 Fig.11에 나타나 있다.

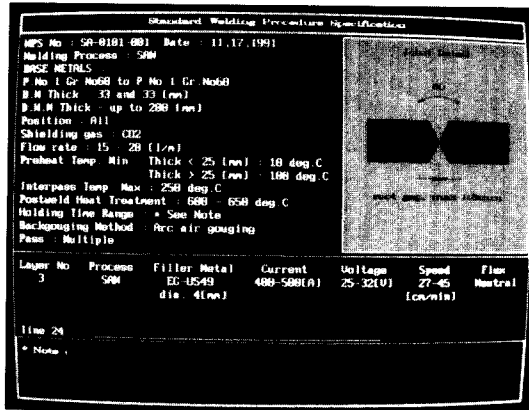


Fig.11 An example of WPS

3.3. 설계시스템 프로그램의 통합

각 모듈단위의 프로그램의 실행은 잘되더라도 통합하고 난 다음에는 전체 프로그램의 실행시 반복루우프에 이상이 있거나 또한 추가 변경해야 할 사항도 발생할 수 있다. 따라서 각 모듈단위로 작성한 프로그램은 통합하고 나서 정상적으로 작동하는지 다시 점검해 보아야 한다. 프로그램의 통합후 절차대로

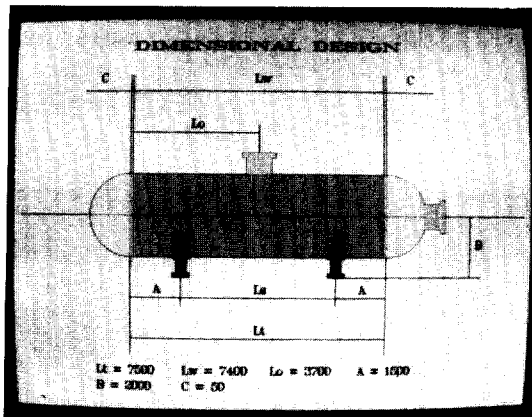


Fig.12 An example of final drawing

설계해 나가면 최종 설계 도면을 화면으로 볼 수가 있는데, 본 연구에서 개발된 전문가시스템을 적용하여 작성된 최종설계 도면의 한 예가 Fig.12에 나타나 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 인공지능의 한 응용분야인 전문가 시스템 기법을 적용하여 압력용기의 치수설계와 용접설계를 수행하였다. 본 연구에서는 제안된 전문가 시스템을 구축함에 있어서 슬어논리 및 생성규칙 방식으로 지식을 표현하였고, 이 지식을 이용하여 대화식으로 쉽고 간편하게 설계할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. 그 결과 개발된 전문가 시스템을 사용하면 횡형 압력용기의 치수설계 및 용접설계에 경험이 적은 사람이라도 주어진 임무를 체계적으로 수행할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 프로토타입의 구현을 위해 경제조건으로서 많은 가정들이 포함되었기 때문에 대응량을 가진 용기를 설계하거나 애매모호한 사항들을 처리하기 위해서는 아직도 미흡한 점이 많다. 따라서 실용적인 전문가시스템을 구현하기 위해서는 앞으로도 많은 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) C.Townsend and D.Feucht : Designing and Programming Personal Expert Systems, TAB Books Inc, 1986, pp.9-14
- 2) D.M.Barborak, D.W.Dickinson, and R.B.Madigan : PC-Based Expert Systems and their Applications to Welding, Welding Journal, January 1991, pp.34
- 3) 김재곤, 이상진, 이시중, 신윤섭 : 탄산가스아크용접에 대한 용접전문가시스템, 대한용접학회 춘계 학술발표개요집, 1990, pp.56-63
- 4) 김기태, 이상룡, 인공지능, 대웅출판사, 1988, pp. 211-212
- 5) J.B.Rogers : A Prolog Primer, Adison-Wesley, 1986, pp.164-168
- 6) 落合安太郎 著, 具性謨 譯 : 壓力容器, 機電研究社, 1990, pp.20
- 7) D.R.Moss : Pressure Vessel Design Manual, Gulf

Publishing Company, 1987, pp.105-113

- 8) L.P.Zick : Pressure Vessels & Piping Design and Analysis, ASME, 1971, Vol.2, pp.959-970
- 9) ASME Code Section IX, 1986, pp.142-143

Appendix : Some static knowledge base of components of WPS

/* WPS knowledge base

kb_wps(process, groove, filler, wire_dia, current, voltage, speed) */

kb_wps(saw, v, eg_us49, 4, 400, 25, 20)

kb_wps(saw, x, eg_us49, 4, 600, 30, 27)

kb_wps(gmaw, v, er_70s, 1.2, 150, 25, 30)

kb_wps(smaw, v, e7016, 3.2, 150, 25, 12)