

사례기반추론을 이용한 열연제품 품질설계지원시스템

고영관*·박상혁*·서민수**·임여종***

A Hot Coil Quality Design Support System using Case Based Reasoning

Young Kwan Ko*, Sang Hyuck Park*, Min Soo Suh**, Yeo Jong Lim***

요 약

철강제품의 품질설계란 제품의 주문요구조건을 만족시키기 위해 제품의 성분 및 생산공정을 결정하는 과정을 의미한다. 본 연구에서는 품질설계업무를 지원하기 위한 시스템을 개발하였다. 설계업무의 특성을 고려하여 과거사례를 설계에 이용하기 위해, 사례기반추론(Case-based Reasoning) 접근방법을 이용하였다.

본 연구에서는 또한 유사사례의 효율적 검색을 위해 품질설계 문제에 적합한 유사성척도를 제안하고 있으며, 문제에 적합한 지식관리 방법 및 설계조정 방법을 개발하였다.

I. 서 론

철강회사에서 생산하는 제품은 그 형태나 크기와 같은 외형적인 요소와 함께 주로 제품의 쓰임새를 결정하는 기계적 성질에 의해 구분된다. 따라서 주문생산으로 이루어지는 철강 제품의 생산은 제품 수요가로부터의 요구조건에 맞추어 제품의 기계적 성질을 만족시키는 성분 및 공정을 설계하는 과정에서 비롯된다고 할 수 있다. 철강 제품의 품질설

계란 제품의 요구 특성을 만족시키기 위해 철강제품의 성분 및 생산 공정을 결정해 주는 과정을 의미한다.

철강제품의 품질설계 문제는 일반적인 설계문제가 설계목적 변수에 대해 주어진 설계변수들을 조정하여 만족시켜 나가는 과정이라는 점에서, 일반적인 설계문제의 범주에 포함된다고 할 수 있다. 그런데 설계 문제는 대개 아주 큰 해공간(Solution Space)내에서 답을 찾아가는 문제임에도 불구하고 큰 탐색공간을 제한하기 위해 제공되는 제약조건들

* 포스코경영연구소 경영컨설팅본부

** 캘리포니아주립대(Irvine)

*** 포항제철소 품질관리부

이 모두 알려져 있지 않으며, 설계의 진행에 따라 제약상황이 변화하는 문제의 특성으로 인하여 해결이 어려운 문제로 알려져 있다. 뿐만 아니라 일정한 제약에 의해 해공간을 제거한 후에 남게되는 해공간 역시 큰 것으로 여전히 풀기 어려운 문제가 된다.

실제 현장에서의 품질설계는 이미 알려져 있는 정량적인 야급지식 이외에도 상당한 부분의 설계가 경험에 바탕을 두고 이루어 지고 있다. 이러한 점은 설계전문가들의 경험, 지식의 차이 또는 참고하는 정보의 차이 등을 인하여 동일한 요구에 대한 설계에도 결과가 상이하게 나타나게 되는 원인이 되며, 또한 품질설계에 대한 기술축적이 어렵고 새로운 요원의 훈련에 또한 장시간이 소요되는 이우가 되기도 한다.

그러나 철강제품의 특성에 따라 주문이 과거에 이미 생산한 적이 있는 제품을 대상으로 약간 변형된 요구사항을 가진 것이 많아 과거의 설계사례가 새로운 제품의 설계에 아주 유용하게 사용될 수 있으며 실제 설계에서도 설계전문가들은 과거의 설계를 새로운 설계를 생성하는 출발점으로 이용하고 있다.

품질설계 문제의 이와같은 특성을 고려할 때 설계업무를 지원하기 위한 시스템은 설계자들의 지식, 경험 등을 잘 이용할 수 있으며 또한 과거 사례를 설계업무에 이용함으로써 보다 나은 설계를 제시할수 있어야 한다. 이러한 요구를 만족 시키기 위해 본 연구에서는 과거사례를 유용하게 이용하는 사례기반 추론시스템(Case-Based Reasoning System)을 이용하여 문제를 해결하고자 하였다.

본 연구에서는 품질설계 문제에 적합한 유사검색 방법을 설계하고 얻어진 유사설계를 현재의 주문조건에 맞추는 설계조정과정을 구현함으로써 품질설계를 수행하기 위한 시스템을 개발하였다. 또한 이

시스템은 설계자들의 지식과 경험을 설계자들 간에 공유하고 관리할수 있도록, 독립적인 지식관리 시스템을 포함하고 있다.

II. 사례기반추론을 이용한 품질 설계

본 연구에서는 철강제품의 품질설계문제를 해결하기 위한 시스템을 개발하고자 하였으며 이를 위해 과거사례를 이용하여 문제를 해결하는 사례기반추론을 이용하였다. 일반적인 사례기반추론 접근방법에서의 문제해결 방법과 마찬가지로, 본 시스템에서 또한 주어진 문제 상황에 대한 과거의 사례를 유사성척도(Similarity Metrics)를 통해 검색하고, 얻어진 해를 다시 주어진 문제에 완전히 부합하도록 하는 조정하는 순서에 의해 문제를 해결한다.

1. 유사사례검색

1) 사례의 표현

사례기반추론시스템에서의 문제해결은 현재 주어져 있는 문제와 과거의 유사한 문제를 찾아 그 문제의 답으로부터 해의 단서를 얻고자 하는 것으로 '사례(Case)'는 항상 '문제와 답'을 함께 가지고 있도록, 혹은 문제로 부터 손쉽게 답을 유추할 수 있도록 설계되어야 한다. 품질설계문제에서의 '문제'는 앞에서 언급한 바와 같이 특정한 철강제품의 용도나 기계적 성질, 외관 등을 포함하는 수요가로 부터의 '주문'이며, '답'은 이 주문을 만족시키기 위해 성분이나 공정 등에 특정한 값을 부여한 '설계'가 된다. 따라서 '주문'과 '설계'는 항상 서로 직접 참조할수 있도록 '사례'를 설계하였다.

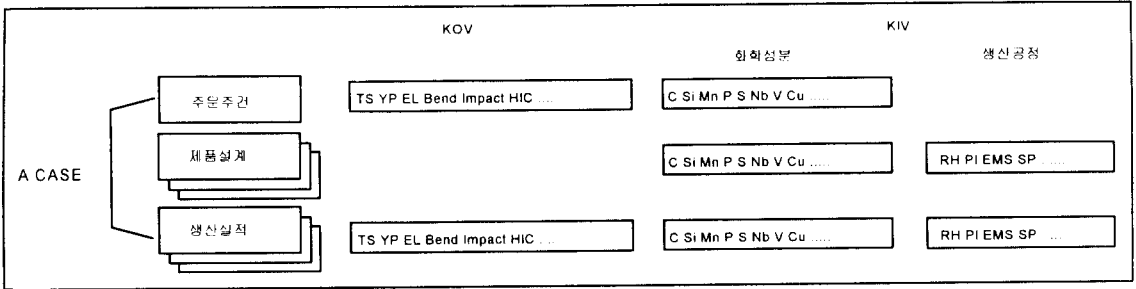


그림 1. 사례(Case)의 표현

또한 철강 제조 공정상의 특징으로 인하여 생길 수 있는 제조편차때문에 주문과 생산결과가 다를 경우가 있으므로 주문과 비교할수 있는 또다른 대안으로서 생산제품의 검사결과(실적)를 추가적으로 가지도록 설계되어 있다. 이들 주문-설계-실적의 항목 구성은 <그림 1>에 설명하고 있다.

이들 항목 중 제품의 성질을 결정짓는 기계적 성질등 수요가의 품질항목은 KOV(Key Output Variable), 설계 항목은 KIV(Key Input Variable)로 구분한다.

2) 사례베이스의 구조

본 시스템에서 이용하는 사례(Case)들은 검색효율을 고려하여 분류되어 있다. 본 연구에서 이용한 Indexing 방법은 사례를 대표할수 있는 Key Attribute 두 개(TS(인장강도), C-Grade(탄소함량))를 이용하여 분류하는 귀납적 방법(Inductive Approach)와 분류된 사례들을 다시 항목값의 순서에 따라 순차적으로 배열하고 순차적으로 검색하는 최근사법(Nearest Neighborhood Approach)을 혼용하여 사용하고 있다.

전체 사례를 일정한 의미를 가지는 단위로 분할하기 위해 주문항목중 Key Attribute라 할 수 있는 두 개를 이용하여 분할한 후 각각의 그룹 내에

서는 순차적으로 사례를 배열하여 주어진 문제상황과 가장 근접한 것을 찾으려 하였다. <그림 2>는 시스템에서 사용하고 있는 열연제품의 사례베이스의 구조이다.

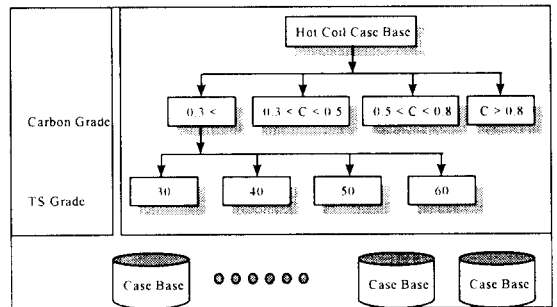


그림 2. 사례베이스의 구조

3) 유사성척도함수

과거의 사례와 주어진 주문조건과의 유사성의 비교는 각 사례에 대해 항목 대 항목의 비교로써 이루어지며 이때 전체 항목의 유사성을 종합하여 사례의 유사정도를 평가한다.

주어진 문제와 저장된 사례간의 유사정도는 아래의 식과 같이 표현되며 이때 각 항목간의 유사한 정도를 나타내는 MF는 주문항목과 과거 사례의 항목이 가지는 값에 따라 두 가지의 다른 형태의 함수를 적용한다.

$$SM(prob, case_i) = \frac{\sum_{k=1}^n weight_k \times MF(attr_{prob,k}, attr_{ik})}{\sum_{k=1}^n weight_k}$$

prob : 주어진 문제
 Case_i : 사례베이스에 저장된 i번째 Case
 SM(prob, case_i) : 주어진 problem과 CASE_i간의 유사성계수
 weight_k : Case의 k번째 항목의 가중치
 MF(attr_{prob, k}, attr_{i, k}) : problem의 k번째 항목과 Case_i의 k번째 항목의 MatchingFunction 값

▶ 점비교함수(Point Matching Function)

항목의 값이 최소값이나 최대값 둘 중 하나만을 가지는 경우 같은 최대값끼리, 혹은 같은 최소값끼리 비교할 때 이용된다. 주어진 두 값이 얼마나 유사한가를 차이 값의 범위에 따라 0과 1사이의 값으로 평가하는 함수로서 <그림 3 (a)>과 같은 함수 형태를 가진다.

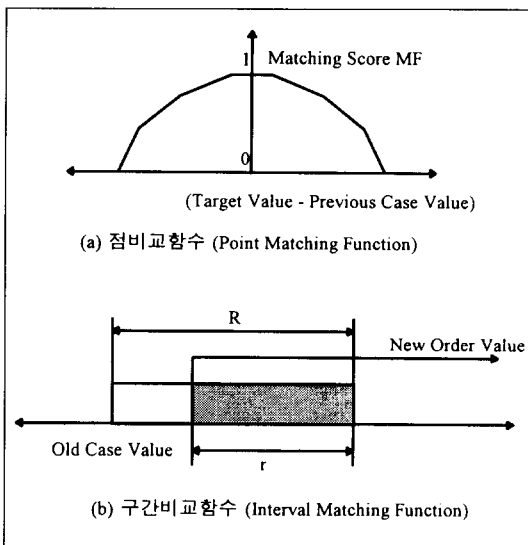


그림 3. Matching Function

▶ 구간비교함수 (Interval Matching Function)

이는 과거 사례의 항목 값이 일정한 구간을 가지는 값일 때 이용되는 것으로, 아래 <그림 3 (b)>에 나타나 있다. 그림에서 주문의 항목과 과거 사례의 항목의 두 구간이 겹치는 부분(r)이 과거 주문의 범위(R)중 현재 주문을 보증할 수 있는 범위라는 의미이다. 즉, 두 항목의 유사한 정도는 r/R이 된다.

주문값이나 과거 항목의 값이 구간의 값을 가진다는 의미는 만들어진 설계가, 혹은 주문자의 요구가 그 구간내에서 한 값을 가지게 된다는 것을 의미하며, 설계가 특정한 목표값에 적응할 확률이 구간내에서 일정한 분포를 가진다는 것을 의미한다. 그리고 위의 함수값은 확률분포에 근거하여 목표값에 적응할 확률이 얼마만큼인지를 나타낸다.

본 연구에서 다루고 있는 문제는 대체로 좁은 구간값을 대상으로 하고 있으며 각각의 분포는 대개 균일분포(Uniform Distribution)을 따르는 것으로 알려져 있으며 위의 함수 또한 같은 확률분포를 근거로 개발되었다.

2. 설계조정 (Adaptation)

위에 설명한 바와 같은 유사검색의 결과 얻어진 과거의 설계는 대개 주어진 문제상황에 적합한 해를 그 자체로서 제시할 수도 있다. 그러나 그 해답은 유사한 해이긴 하지만 실제문제에 그대로 적용할 수 있는 정도는 아닌 경우가 대부분이다. 따라서 정도의 차이는 있지만 차이를 보정해 주기 위한 일련의 과정을 거쳐야만 비로소 적용할 수 있는 설계로서 의미를 가지게 된다.

1) 설계조정(Adaptation)에 필요한 지식 Adaptation이 필요한 경우는 얻어진 유사과거

사례의 KOV항목들이 현재 주문조건을 만족하지 못할 때이다. 이렇게 만족되지 못한 KOV값을 만족하는 영역으로 이동시켜 전체적으로 가용한 설계로 변형하기 위해서는 만족되지 못하는 설계 KOV와 연관된 KIV를 조정하여야 한다.

이때 어떤 KOV에 대해 어떤 KIV를 사용하게 될 것인가는 항목간의 정량적인 영향관계가 주어져야 알 수 있다. 또한 제품의 생산설비나 생산조건, 그리고 강종 고유의 성질 등과 관련하여 지켜져야 하는 각각의 KIV들의 제약범위가 주어져야 한다. 마지막으로 하나의 KOV를 변화시키기 위해 고려할 수 있는 KIV가 여러 개인 경우 설계자의 기호나 설계 조건에 따라 어떤 KIV를 우선하여 사용할 것인가에 대한 정보인 KIV의 우선 순위 지식이 요구된다.

이들 지식은 다시 영향도 지식의 경우 1) KOV: KIV, 2) KOV: KOV, 3) KIV:KIV의 영향 지식으로 나뉜다. 또한 제약지식은 1) KOV 제약범위, 2) KIV제약범위 그리고 각각의 영향도 지식 내에 해당 지식의 적용되는 범위로서 표현된다. 우선 순위 지식은 1) 품질 우선 조건에서 우선 순위, 2) 원가고려 우선 순위, 3) 생산성 고려 우선 순위 등으로 나뉜다.

이들 지식중 영향도지식을 예로 살펴보면, 영향도 지식은 해당지식이 적용될 조건, 그리고 해당 항목들간의 영향도를 표현하는 영향도 지식의 두 부분으로 구성되어 있다. 즉, 다음 예에서와 같이 일반적인 인과 관계를 표현하기 위한 지식처럼 다음과 같이 IF-THEN 구조의 Rule로 표현하는 것이 가능하다.

IF TS-Gradeis 30 and
C value is 0.12% and
Usage is Container and

Thickness <= 0.6 and
to increase TS by 1
THEN
increase C by 0.01%

이들 각각의 지식은 프레임의 형태로 표현되며 각각의 쓰임에 따라 다시 아래 <그림 4>와 같은 계층적 구조로 구성되어 있다.

2) 지식의 추론

앞절에 기술한 지식들을 실제 설계과정에서 사용하기 위해서는 현재 주문조건과 검색된 유사사례에 포함되어 있는 항목값들을 근거로 하여 지식 베이스내에서 패턴매칭을 통해 필요한 지식을 이용하게 된다.

설계에 주로 사용되는 영향도 지식은 KOV를 변화시키기 위해 필요한 KIV값을 조정하고자 하는 것으로 KOV:KIV의 지식이다. 이때 KIV에 의해 변화하는 KOV의 값은 다시 KIV값에 영향을 미치지 않으므로 추론과정에 있어서 전방향추론(Forward Chining)이나 후방향추론(Backward Chaining)과 같은 연쇄적인 추론이 일어나지 않는다. 다만 KOV값의 변화는 다른 KOV의 값의 변화에 영향을 미치므로

KIV -> 목표KOV -> 기타 KOV

와 같은 2단계의 추론과정이 필요하다.

단지 주어진 동일한 패턴(적용조건)에 대해 여러 설계자들의 기호를 반영하기 위해 여러개의 다른지식들이 정의되어 있는 경우 이들 중 어떤 지식을 적용할 것인가를 결정하기 위한 Conflict Resolution Rule이 필요하다. 본 시스템내에서는 이를 위해 각 지식의 신뢰도나 패턴정의의 엄격함 등에 따라 Rule을 선택하도록 하고 있다.

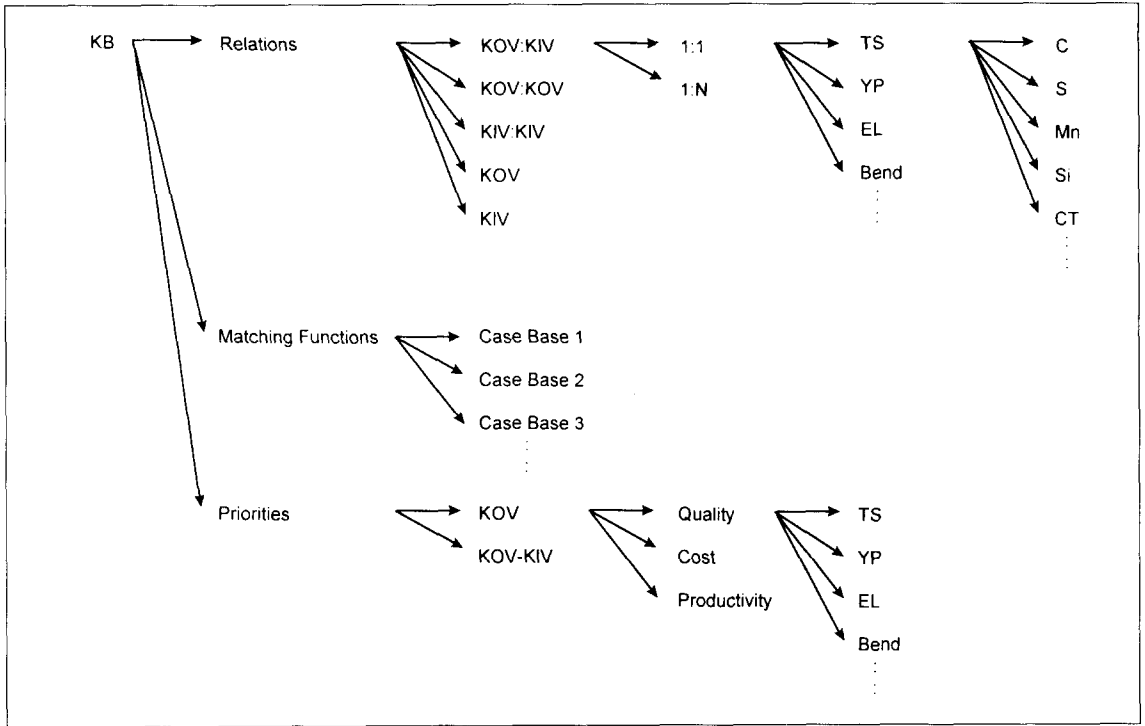


그림 4. 지식표현을 위한 Class Hierarchy

3) 설계 조정

설계조정시스템에서의 설계의 조정은 만족하지 못하는 KOV 값에 대해 순차적으로 KIV를 이용하여 값을 변경하는 과정이다.

설계 조정과정은 개략적으로 다음과 같은 순서에 의해 진행된다.

- Step 1> 주문조건과 검색된 유사 사례의 KOV값을 비교하여 차이를 계산한다. (ΔKOV)
- Step 2> 1의 결과와 각 항목의 Tolerance를 고려하여 조정이 필요한 KOV를 선택하고 조정 항목리스트(*AdKOVList*)에 넣는다.
- Step 3> *AdKOVList*에 포함된 KOV항목들중 우선순위 지식에 의하여 가장 우선순위가 높은 KOV를 선택한다. (*SelKOV*)

만약 *AdKOVList* = { } 이면 종료

- Step 4> 선택된 KOV에 대해 영향을 미치는 KIV들중 현재 조건에 근거하여 우선순위에 따라 KIV들을 선택한다. (*SelKIV*)
 - ▷ 작업완료항목리스트(*AdFinList*)에 포함된 KOV에 영향을 미치는 KIV는 선택하지 않는다.
 - ▷ *SelKOV*의 값이 만족하지 못하고 더 이상 남아 있는 KIV가 없으면, 현재의 *SelKOV*에 대한 작업 종료. Step 3으로 진행.
- Step 5> *SelKOV*와 *SelKIV*의 영향관계를 나타내는 지식을 지식베이스로 부터 찾는다. (*RuleSet*)
- Step 6> *RuleSet*의 지식이 하나이상인 경우 각

지식의 신뢰도, 적용조건 of 엄격성(조건 of 수)에 따라 지식을 선택한다. (SelRule)

step 7> SelRule의 영향도에 따라 SelKIV의 제약범위와 SelKOV의 이동허용 범위 내에서 SelKIV의 값을 변경한다.

KIV값의 변경과 함께 현재 KIV에 영향받는 모든 KOV값을 Update.

Step 8> SelKOV의 값이 주문조건에 만족하면 SelKOV를 AdFinList에 넣고 Step 3으로 진행.

▷ 만족하지 않으면 다른 KIV에 의해 추가적으로 변경하기 위해 Step 4로 진행.

합하지 않은 것으로 판단하여 C++를 이용하여 모든 부분을 개발하였으며 가능한한 철강제품의 품질설계 문제에 적합하도록 많은 부분에 있어 사용자의 편의에 초점을 맞추고자 하였다.

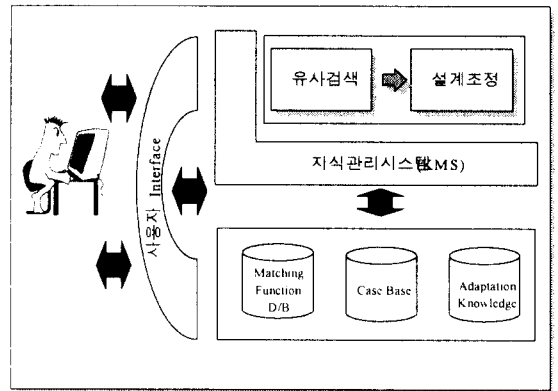


그림 5. 품질설계지원시스템의 개략적 구조

III. 품질설계지원시스템

품질설계 지원 시스템은 크게 주어진 주문으로부터 유사설계를 검색하고 변형하는 실제 설계를 담당하는 부분 (IQS)과 설계에 필요한 유사설계 관련 지식, 설계조정(Adaptation)관련지식을 관리하기 위한 지식관리 시스템(KMS: Knowledge Management System)의 두 개로 구성되어 있다. 이들 전체 시스템의 구성과 두 서브시스템의 연관관계는 <그림 5>와 같다.

철강제품의 품질설계 문제는 앞 장의 설계조정에서의 설명한 바와 같이 상대적으로 아주 간단한 지식추론을 필요로 한다. 또한 지식의 관리기능을 하나의 중요한 목적으로 가지고 있기 때문에 지식의 형태가 일반적인 전문가시스템에 비해 사용자들에게 익숙한 관계식, 항목간의 관계를 나타내는 그래프 등 다양한 형태의 지식을 대상으로 하고 있다.

본 지원시스템은 위와 같은 품질설계문제의 특성을 고려할 때 기존의 개발도구를 이용하는 것은 적

시스템의 구현은 Microsoft Windows-NT와 Windows 3.1로 구성된 Client/Server환경내에서 사용할수 있도록 개발되었으며 ANN이나 기타 통계 Package와 같은 의사결정 지원도구 등과의 연계를 고려하고 있다.

1. 품질설계 서브시스템 (IQS)

품질설계서브시스템은 수요가로부터의 주문을 입력 받기 위한 GUI로 부터 최종 설계의 제시와 그에 대한 설명에 이르기 까지 설계작업을 실제로 수행하여 설계자를 지원하기 위한 시스템이다.

시스템의 문제해결과정은 대략적으로 <그림 6>과 같은 순서에 의해 이루어진다.

위의 그림에서와 같이 설계과정은 관련정보를 담고 있는 데이터베이스, 그리고 설계 및 유사 검색 지식을 관리하는 KMS, 사용자와의 반복적인

Interface를 통해 이루어 진다.

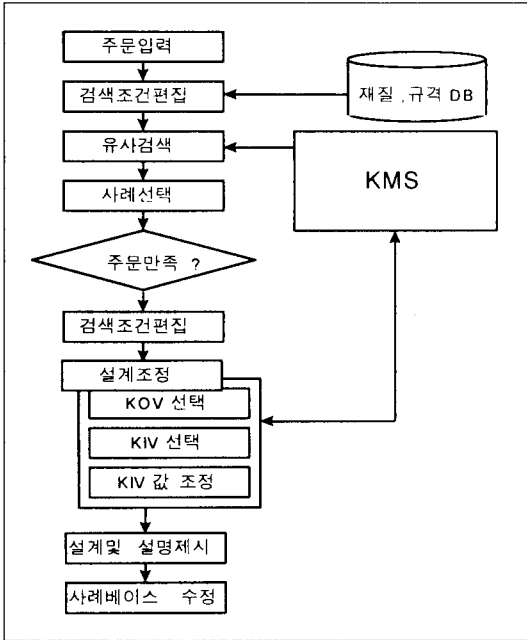


그림 6. 품질설계지원시스템의 문제해결과정

2. 지식관리 서비스시스템 (KMS)

품질설계지원시스템에 사용되는 지식은 앞에서 언급한 것처럼 유사검색 지식 및 영향관계지식, 제약지식, 그리고 우선 순위 지식으로 나눌 수 있다. KMS에서는 이들 지식을 관리하기 위해 사용자로부터 지식의 입력, 수정, 조회 기능을 가지고 있으며 이들 기능을 GUI를 통해 사용자에게 제공하고 있다. 또한 KMS는 지식관리 기능 뿐만 아니라 품질설계서비스시스템 (IQS)의 요구에 따라 필요한 지식을 공급하는 역할을 수행하기 위해 간단한 추론기능을 함께 갖추고 있다.

<그림 7>은 KMS에서 사용되는 영향도 지식의 편집을 위한 GUI를 보이고 있다.

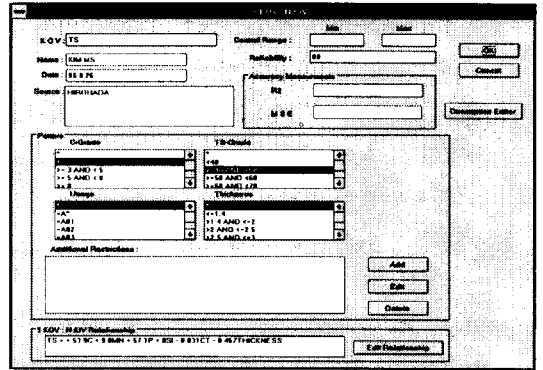


그림 7. 영향도 지식 편집 GUI

IV. 결 론

본 연구에서는 철강제품의 주문에 대하여 이를 만족시키기 위한 성분과 공정설계를 지원하기 위한 시스템을 개발하였다. 철강제품의 품질설계에서는 다른 설계문제와 마찬가지로 전문가의 경험과 과거의 사례가 중요한 역할을 담당한다. 따라서 시스템은 사례기반 추론시스템(Case-Based Reasoning) 방법론과 전문가시스템을 이용하여 만들어져, 과거 사례 이용의 장점과, 전문가들의 설계를 이용하는 방법을 모두 이용하고자 하였다.

본 시스템은 현재 철강제품중 열연제품을 대상으로 개발되었으며, 향후 야금 및 설계업무에 관한 일반적인 지식의 축적과 함께 타 제품으로의 확대 개발을 계획중이다.

참 고 문 헌

1. 포스코경영연구소, 지능형품질시스템 발전방향 연구, 1995.
2. Barletta, R. 1991, "An introduction to

- case-based reasoning”, *AI Expert*, Vol. 6, No.8, pp. 42-49.
3. Duda, R, & Hart, P. 1973, *Pattern classification and scene analysis*, New York: Wiley.
 4. Karen Ketler, 1993, “Case-based reasoning : an introduction”, *Expert Systems with applications*, Vol.6, pp. 3-8.
 5. Kolodner, J.L.,1991, “Improving human decision making through case-based decision aiding”, *AI Magazine*, Vol.12, No.2, pp. 52-68.
 6. Richard H. Stottler, 1994, “CBR for cost and false prediction”, *AI Magazine*, August 1994, pp. 25-33.
 7. Gupta, G.U., 1994, “How case-based reasoning solves new problems” *Computer - System design and operation*, Vol. 24, No. 6, pp. 110-119.