

품질설계시물레이션 지원시스템의 설계 및 구현

지 원 철
홍익대 산업공학과

김 우 주
전북대 산업공학과

요 약

급격한 경영환경의 변화로 인하여 고객만족을 최우선시하게 됨에 따라, 고객의 다양한 품질 요구를 신속 정확히 만족시키는 것이 주요 경영과제가 되었다. 이러한 상황에 대처 가능한 품질관리가 이루어지기 위해서는 품질기준에 대한 객관적 검증 및 지속적인 보완이 필요하며, 품질설계에 관련된 지식들을 체계적으로 수집하여 공유할 수 있는 체제가 갖추어져야 한다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해 인공지능 기법들을 이용한 지능형 품질시스템(Intelligent Quality System, IQS)이 많은 관심을 모으고 있다. 본 연구에서는 일관 제철소의 품질관리를 위해 개발된 IQS중 품질설계 시물레이션 지원시스템(Quality Design Simulation Support System, QDSim)에 대해 설명한다. QDSim은 신경망을 기반으로 설계 구현되었는데, 품질설계 시물레이션을 지원하기 위해 크게 두가지 기능을 수행한다. 첫째 기능은 주어진 원재료의 구성비와 조업조건에 의해 생산될 제품의 최종 품질특성을 예측하는 것이며, 두 번째는 품질예측치가 고객의 요구품질, 즉 목표품질을 만족시키지 못할 경우 기학습된 신경망을 이용하여 목표품질을 만족시키는 입력조건을 찾아가는 것이다. 본 연구에서는 QDSim의 이론적 근거 및 구현내용을 설명한 후, IQS내의 타 시스템과의 관계를 설명한다.

1. 서 론

인공지능을 이용한 품질관리 기법의 개발에 관한 연구는 이미 많이 이루어져 왔으며 90년대 들어서 부터 관련 시스템의 개발 사례들이 많이 소개되고 있다 [Pham & Oztemal, 1996]. 이와 같이 인공지능을 이용한 품질관리 시스템의 개발이 보편화되고 있는 이유는 조직의 경량화 및 전문인력의 순환근무 가속화 등 경영환경의 급격한 변화에 능동적으로 대처하면서 고객의 다양한 품질요구를 만족시키기 위해서는 품질관련 지식의 효과적인 수집 및 관리의 필요성이 절실했기 때문이다. 따라서, 지능형 품질관리 시스템(Intelligent Quality System)의 구축은 품질설계에서 부터 시작하여 품질추적, 품질판정, 품질해석 등 제품 수주에서 부터 생산이 완료될 때까지의 품질관리 전과정을 지원할 수 있어야 한다.

IQS의 구축시 위와 같은 목표달성에 노력해야 하는 배경에는 최근 생산설비의 자동화를 위해 많

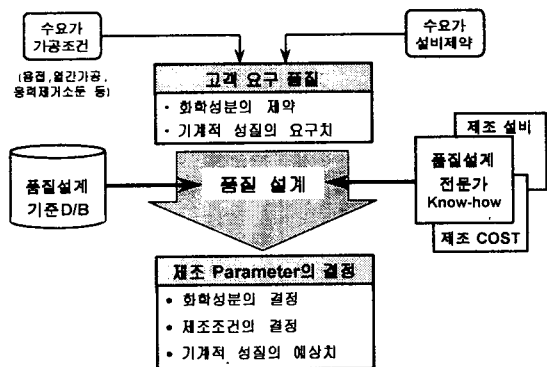
은 투자를 한 결과 생산 실적에 대한 상세한 자료의 수집이 가능해 졌음에도 불구하고, 수집된 자료의 방대함으로 인하여 실적자료를 장기간 보관하는 것이 사실상 불가능하다는 점이다. 따라서, 수집된 자료들을 폐기하기 전에 철저한 분석을 통하여 조업기준 및 설계기준에 대한 지식을 추출하여 기존의 지식들을 보완하자는 것이다. 이를 위해 실적자료 분석 및 분석결과에의 이용에 인공지능 기법을 적극 활용하고 데이터 마이닝 접근방법에 의해 전문 지식을 가진 특정 집단만이 아니라, 관련부서의 모든 사람들이 언제나 손쉽게 사용할 수 있도록 시스템을 개발함으로써 IQS 개발에 대한 투자효과를 극대화하여야 한다.

본 연구에서는 일관 제철소의 IQS를 구축하는 과정에서 주요 기능의 하나를 인식과였던 품질설계 지원 시스템중 품질설계 시물레이션에 대해 설명하고자 한다. IQS의 구현에는 다양한 인공지능 기법들이 사용되었으며, 품질설계 시물레이션은 품질설계 과정에서 신경망을 보다 적극적으로 활용하는 수단의 하나로 개발되었다. 품질설계란 고객이 요구하는 제품의 품질특성을 만족시키기 위하여 제품생산에 사용될 원재료의 구성비 및 공정조건을 결정하는 것으로, 프로세스 산업에 있어서도 고객의 주문을 만족시키기 위한 품질설계는 설계자의 오랜 경험과 반복작업을 요구한다. 따라서, 본 연구에서는 신경망을 이용하여 품질설계 시물레이션을 체계적으로 지원할 수 있는 시스템을 데이터 마이닝의 관점에서 설계 구현하였다. 먼저 원재료의 구성비로부터 생산된 제품의 최종 품질특성을 예측하기 위해 신경망을 학습시키는 과정이 최대한 용이하도록 시스템을 설계하였다. 학습된 신경망에 의해 예측된 제품의 품질특성이 고객의 요구를 만족시키지 못하는 경우에는 기학습된 신경망을 이용하여 원하는 품질특성을 주고 역으로 원재료의 구성비를 찾아갈 수 있도록 하였다.

2. 품질설계과정

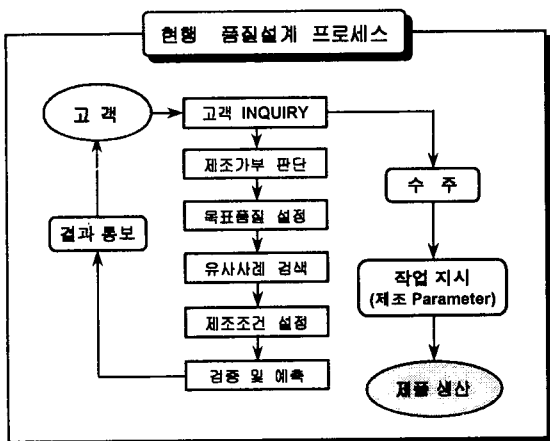
철강제품의 주문생산에 있어 고객의 요구조건을 만족시키기 위해서는 철강제품의 성분과 생산공정의 조건을 결정하는 것을 품질설계라 하며 <그림 1>에서와 같은 과정이 필요하다. 철강제품의 품질관리를 위해서는 고객 요구품질인 재질, 형상, 외관 등과 고객 요구품질을 달성하기 위해 관리해야 할 화학성분들의 첨가 비율 및 연주, 압연, 소둔 등

의 공정조건들 사이의 인과 관계를 파악하여야 한다. 이를 위해 우선 관리대상 항목들을 각 공정별로 찾아내어 공정별, 항목별 인과관계를 정리한 후, 다시 집중 관리대상 항목들을 선별하여 KOV (Key Output Variable)와 KIV (Key Input Variable)들간의 관계도를 작성하는 것이 필요하다. 여기서 고객의 요구 품질특성치들이 KOV가 되며 화학성분이나 공정조건들은 KIV가 된다. 따라서, 품질설계란 주어진 KOV를 달성할 수 있는 KIV의 조합을 결정하는 것으로 정의할 수 있으며, 효과적인 품질설계를 위해서는 우선 고객의 최종제품 생산에 있어 가공조건이나 생산설비의 제약조건들을 파악한 후, 제철소의 제조설비 능력 및 제조원가를 고려하여 품질설계를 하여야 한다.



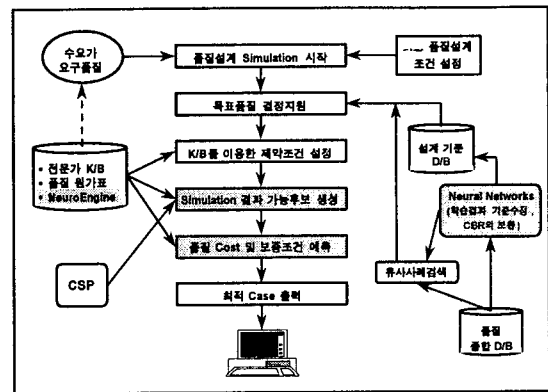
<그림 1> 품질설계의 개괄적 과정

<그림 2>는 현행 품질설계 과정을 나타낸 것이다. <그림 1>에서도 볼 수 있었듯이 품질설계 과정에 있어 품질설계 전문가의 지식이 매우 중요한 역할을 하는데 목표품질의 설정이나 과거 유사 사례의 검색을 원활히 수행하기 위해서는 상당기간의 훈련기간을 요하며, 품질설계 전문가들 사이에서도 설계기준에 큰 차이가 발생하는 경우가 많았다. 그 결과로 고객의 주문조회에 대한 신속한 응답이 어려운 경우가 많았고, 생산현장에서도 조업조건 불필요한 변경이 잦게 되어 많은 낭비 요소들이 발생하게 되었다.



<그림 2> 현행 품질설계 프로세스

따라서 품질설계 지원시스템이 유효한 시스템이 되기 위해서는 품질설계 결과들을 보다 철저히 관리하여 품질설계기준 데이터베이스를 구축함으로써 단순설계작업의 부담을 경감시켜야 하며 품질설계기준 데이터베이스의 참조가 불가능한 경우에도 설계지원이 가능한 기능을 보유해야 한다. 이를 위하여 IQS에서는 <그림 3>과 같은 품질설계 시뮬레이션 기능을 개발하였다.



<그림 3> 품질설계 시뮬레이션의 절차

품질설계의 정확성을 보장하기 위해서는 고객의 입장 및 제철소의 설비로 인한 제약조건들을 정확히 파악한 후 설계가능 대안들을 생성하여 각 대안들의 적합성 여부를 판정하여야 한다. 이 과정을 돕기 위하여 IQS의 품질설계 지원시스템에서는 다음과 같은 기능들을 제공하였다. 첫째, 품질설계 제약조건들의 파악을 위하여 설계지식베이스를 구축하여 항상 참조가능하도록 하였다. 둘째, 설계가능 대안들의 생성을 위하여 과거의 사례들을 체계적으로 찾아갈 수 있도록 사례기반추론 기능을 제공하였다. 셋째, 정확한 품질설계가 이루어 지기 위해서는 품질설계에 의해 생산될 철강제품의 최종품질을 사전에 예측할 수 있어야 하기 때문에 신경망을 이용한 품질예측 기능을 제공하였다.

3. 신경망을 이용한 품질설계 시뮬레이션

품질설계 지원시스템에서 제공된 기능들을 사용하여 최종설계에 이르는 과정을 품질설계 시뮬레이션이라고 부른 이유는 사례기반추론과 신경망이 서로 보완적인 기능을 수행해 가면서 최종설계에 도달해 갈 수 있도록 시스템을 설계하였기 때문이다. 즉, 품질설계 지식베이스를 이용하여 설계 제약조건들이 결정되면 고객의 품질 요구특성치들을 KOV로 하여 유사사례를 검색하여 요구품질의 달성성이 가능한 KIV의 값들을 정한다. 사례기반추론에 의해 결정된 KIV들이 고객의 요구품질을 만족시킬 수 있는가를 신경망의 품질예측 기능을 통하여 검증한다. 만약 예측결과 목표품질을 달성하지는 못했지만 차이가 크지 않다면 QDSim을 이용하여 목표품질을 달성할 수 있는 KIV의 조합을 찾아가 간다. 하지만, QDSim에 의해 주어진 제약조건하에서 목표품질을 달성할 수 없다면 다시 사례기반추론 시스템으로 돌아가 다른 유사사례를 찾고 품질예측 및 신경망을 이용한 KIV값들의 조정과정을 반복한다.

이와 같이 품질설계 지원시스템의 주요 모듈인 사례기반추론과 신경망은 서로 보완적 기능을 수행할 수 있으며, 또 각기 독립적으로도 품질설계가 가능하도록 시스템을 구성하였는데 본 장에서는 신경망을 이용한 품질설계 시뮬레이션 과정을 신경망을 이용한 품질예측(QuickTest)과 목표품질 달성이 가능하도록 KIV값들을 조정하는 과정(QDSim) 두 부분으로 나누어 설명한다.

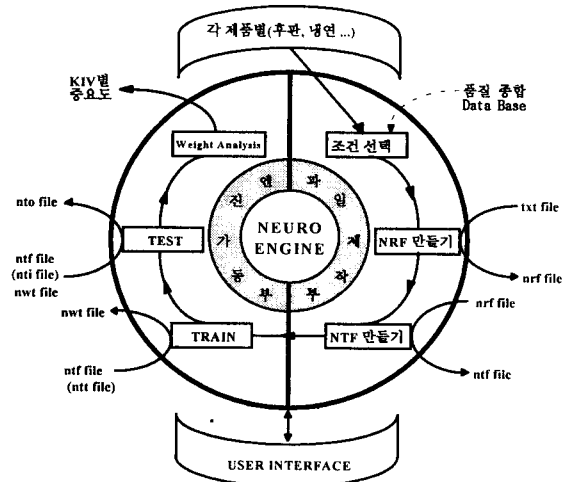
3.1. 신경망에 의한 품질예측

고객의 주문을 충족시키기 위한 제시된 품질설계 대안이 목표품질을 달성할 수 있는지를 확인하여야 한다. 이 확인과정은 사전에 학습된 신경망을 이용한다. 따라서, 품질설계가 예상되는 제품군들에 대해 생산실적 자료를 이용하여 신경망을 학습시켜야 하는데 학습과정을 최대한 지원하기 위하여 다음과 같은 기능들을 개발하였다.

- (1) 데이터 스크리닝 기능 : 생산 실적자료를 신경망 학습을 위한 입력자료로 직접 사용할 경우 좋은 결과를 얻기 어렵다. 전처리 과정을 거치지 않은 생산 실적 데이터는 상식적인 범위를 벗어나는 이상치 데이터나 Missing value를 가진 데이터를 다수 포함하고 있기 때문이다. 또, 신경망의 입출력 변수를 결정했을 경우, 입력변수의 제한으로 인하여 입출력 변수간의 대응에 이상상태들이 발생할 수 있다. 이는 흔히 Modeling Problem으로 알려져 있는 문제로 이의 해결을 위해서는 데이터 스크리닝 과정이 필요하다. 이에 대한 상세한 내용은 [5]를 참조하기 바란다.
- (2) 변수선택 지원기능 : 효율적인 신경망 모델을 구성하는 데 있어서, 원하는 품질 목표치 KOV에 영향을 주는 품질인자 KIV의 선정이 어렵다는 것이다. 생산라인에서 많은 경험을 쌓은 품질 실무자라 하더라도 해당 KOV에 대한 KIV의 영향도를 정확히 파악하지 못하는 경우가 많다. 효율적인 신경망 학습이 이루어지기 위해서는 상호 영향도가 큰 KIV와 KOV로 이루어진 최소한의 학습파일의 구성이 중요한 요소이므로, 이를 지원하기 위하여 변수별 특성치의 파악, 상관분석, 다변량 회귀분석 등의 통계적 분석방법들을 모듈화하여 포함시켰다.
- (3) 신경망 학습 자동검증 기능 : 학습되고 있는 신경망 모델의 학습정도를 파악하고 최적의 학습이 이루어진 시점에서 학습을 멈추게 하는 기능이다. 학습파일에 대한 정확도만을 고려하여 신경망의 학습 멈춤조건을 설정하는 것은 학습된 신경망의 일반화 능력을 떨어뜨리는 결과를 가져올 수도 있다. 이는 품질실무자 뿐만 아니라 신경망 학습에 전문가에게도 어려운 문제이다. 따라서, 신경망의 학습시 하나 이상의 검증용 파일을 함께 사용하여 학습과정에서 수시로 학습중인 신경망의 일반화 능력을 검증하여 적절한 학습멈춤 시점을 결정하는 Auto-validated 학습 기능이 개발되었다.
- (4) 모델관리 기능 : 학습을 마친 신경망 모델을 검증하고 이의 추후 활용을 용이하게 하기 위해 모델관리 기능이 개발되었다. MMS(Model Management System)의 주요기능은 검증결과 유효한 신경망 모델들을 상세한 사용조건과 함께 모델베이스에 등록시키는 기능, 품질설계자

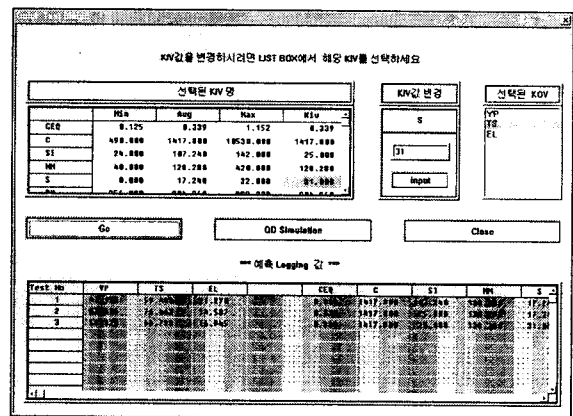
가 원하는 조건의 신경망을 모델베이스로부터 쉽게 찾아주는 기능 및 선택한 신경망을 이용하여 품질예측 및 품질설계 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 해주는 기능 등이다.

신경망을 이용한 품질설계지원시스템의 구현에 있어 모형의 개발자나 사용자에게 편의를 최대한 제공하기 위해서는 신경망 학습의 각 단계에서 발생하는 관련 학습자료의 변형 및 가공절차를 자동화하여야 한다. 본 연구에서는 <그림 4>와 같이 학습 전과정에서 필요로 하는 모든 파일의 생성 및 변형과정을 자동화하였다.



<그림 4> 전후처리과정의 자동화

<그림 5>는 학습된 신경망을 불러내 품질예측을 수행하는 화면을 나타낸 것이다. 사용자는 KIV값들을 입력함으로써 대응되는 KOV값들의 예측치를 얻을 수 있으며, 필요에 따라 KIV값의 변경에 따른 KOV값들의 변화를 확인할 수 있다. 만약, 목표 KOV값의 달성이 이루어지지 않았다면 QDSim 버튼을 이용하여 다음 절에서 설명하는 바와 같이 KIV값들의 미세조정이 가능하다.

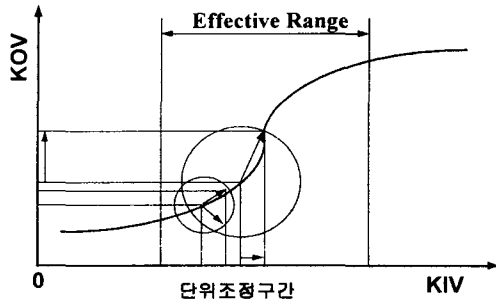


<그림 5> QuickTest 화면

3.2. 신경망에 의한 KIV값의 조정

목표품질(KOV)가 주어졌을 경우 신경망을 이

용하여 목표 KOV값들을 얻을 수 있는 입력변수 (KIV)의 값들을 결정하는 문제는 <그림 6>과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 원하는 출력과 유사한 출력을 주는 입력패턴의 선택이 가능하다면 선택된 입력패턴으로부터 원하는 출력패턴을 얻을 수 있는 입력패턴을 정확히 찾아갈 수 있다는 것이다.



<그림 6> 신경망을 이용한 시뮬레이션

<그림 6>에서 곡선은 신경망을 나타내며 KIV의 미세조정에 따른 KOV의 변화량을 추적해 감으로써 원하는 KIV값들을 얻고자 하는 것으로 이 문제를 정식화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = f(w, x)$$

$$\text{where, } y \in \mathcal{R}^m, x \in \mathcal{R}^n, w \in \mathcal{R}^p \quad (1)$$

과 같은 학습된 신경망이 주어졌을 때, 원하는 출력 y_d 를 줄 수 있는 입력 x_d 를 찾는 것이다. 여기서 w 는 신경망의 가중치벡터를 나타낸다. 이 때 원하는 출력과 유사한 출력을 주는 입력 패턴의 선택이 가능하다고 가정한다면 선택된 입출력 패턴 (x_c, y_c) 은

$$y_c \approx y_d, \text{ and } y_c = f(w, x_c) \quad (2)$$

을 만족한다. 식(1)의 (x_c, y_c) 주위에 대한 Taylor 급수 전개를 하면 식(3,4)과 같이 된다.

$$y - y_c = J(w, x_c) (x - x_c) \quad (3)$$

where,

$$J(w, x_c) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x_c} \quad (4)$$

식(3)을 이용하여, $y = y_d$ 가 주어졌을 때, 상응하는 입력 $x = x_d$ 를 구하면 다음과 같다.

$$y_d - y_c = J(w, x_c) (x_d - x_c) \quad (5)$$

일반적으로 $n > m$ 이므로, 식(5)는 Under-determined Case이므로 이식에 대해서는 많은 해들이 존재한다. 따라서, 많은 해들 중 가장 크기가 작은 해를 최적의 해라고 하면 식(6)과 같이 원하는 입력값들을 결정할 수 있다.

$$(x_d - x_c) = J^T (J J^T)^{-1} (y_d - y_c) \quad (6)$$

$$x_d = x_c + J^T (J J^T)^{-1} (y_d - y_c)$$

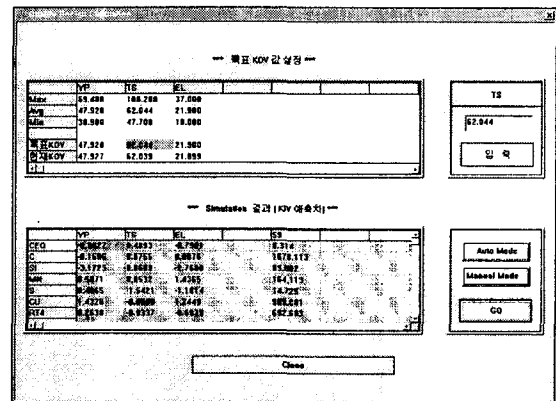
식(6)을 사용하기 위해서는 식(4) $J(w, x_c)$ 의 요소들을 구해야 하는데 이를 위해서는 i 번째 입력값만을 충분한 입력벡터 x^i 를 다음과 같이 결정 한 후

$$x^i = x_c + [0, 0, \dots, \Delta x, \dots, 0]^T \quad (7)$$

x^i 를 입력으로 신경망 출력 $y^i = f(w, x^i)$ 를 계산하면, $\Delta y^i = y^i - y_c$ 를 얻을 수 있다. 따라서 다음과 같이 식(4)의 구성요소들을 얻을 수 있다.

$$\frac{\Delta y^i}{\Delta x} = \left[\frac{\partial f_1}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f_m}{\partial x_1} \right]^T \quad (8)$$

QDSim에서는 이상의 절차를 사용하여 목표출력값을 얻을 수 있는 KIV의 조합을 찾아 갈 수 있도록 하였다. <그림 7>과 같이 QDSim에서는 시뮬레이션의 과정을 시스템이 자동적으로 찾아갈 수 있도록 하였다. 하지만 설정된 제약조건하에서 KIV의 조합을 찾아가는 과정에서 실패할 수도 있으므로 수동으로 한단계씩 입력의 변화에 따른 출력의 변화를 확인할 수 있도록 하였으며, 각 단계에서 출력값에 가장 큰 영향을 미치는 KIV를 확인할 수 있도록 하였다. 이 기능은 QuickTest와 연계해 사용함으로써 시뮬레이션 과정을 효과적으로 수행할 수 있도록 도와 주며, 추후 원가개념을 반영한 품질설계시스템으로의 확장에 대비한 것이다.



<그림 7> QDSim 화면

4. 결론

인공지능 기법을 이용하여 일관제철소의 품질 관리 수단으로 개발된 지능형 품질시스템중에서 품질설계 지원시스템, 특히 신경망을 이용한 품질설계 시뮬레이션에 초점을 맞추어 설명하였다. 개발 환경은 Window NT기반의 워크스테이션과 IBM PC를 사용한 Client/Server 체제하에서 MS Visual C++를 사용하였다.

5. 참고 문헌

Pham, D.T. and E. Oztemel, *Intelligent Quality Systems*, 1996, Springer.

지 원철, "생산실적자료의 분석: 데이터 마이닝 접근방법," Working Paper, 1998.