

신제품개발용 전문가시스템에 있어서의 지식처리 기법으로서 흑판형 추론 모델의 적용 방법에 관한 연구

장승호^{1†}

A Study on the Design Expert System for Research and Development Using Blackboard Inference Model

Seung Ho Jang

ABSTRACT

In the research and development processes of new product, the design objects are frequently redesigned on the basis of experimental results. Most of the conventional CAD systems are based on the computer simulation to reduce the number of redesign. However, these types of CAD systems do not have the functions to infer the cause of trouble in experiments of mock-up and the redesign counterplan of new product. This paper proposes a methodology to establish the DESYR ver. 1(Design Expert SYstem for Research and development) system, which possesses the engineering model of design object in the model database, and refines the model on the basis of experimental results of the prototype. The blackboard inference model has been applied to infer the redesign counterplan. And the validity of DESYR ver. 1 system has been verified by developing the new type of magnetic bearing.

Key words : Inference engine, blackboard inference model, product, database

요약

신제품의 연구/개발에 있어서는 시제품의 실험결과를 토대로 개량설계를 여러 번 반복하는 경우가 많으며, 이로 인하여 시제품을 만드는 횟수가 많아지게 되는 경향이 있다. 신제품의 연구/개발에 있어서 이와 같은 불필요한 시제품을 만드는 횟수를 저감시키기 위한 목적으로 주로 컴퓨터 시물레이션에 기반을 둔 CAD 시스템이 많이 연구 되고 있으며, 일부는 이미 실용화 되어 있다. 그러나 이와 같은 종래의 CAD시스템은 시제품의 실험결과를 합리적으로 개량설계에 반영하기 위한 기능을 CAD 시스템 내부에 갖추고 있지 않다. 본 연구에서는 다수의 지식원들의 상호 협조 작업을 통하여 문제해결 능력을 향상시킬 수 있는 특징을 갖는 흑판형 추론모델을 이용하여, 신제품의 개발설계를 적절히 지원하기 위한 전문가 시스템(DESYR ver. 1)의 구축방법을 제시하였으며, 이를 통하여 시제품의 실험결과를 보다 효과적으로 개량설계에 반영할 수 있도록 하였다. 또한, 실험 자기축수의 개발을 통하여 제시한 방법론의 타당성을 검증하였다.

주요어 : 추론엔진, 흑판형 추론모델, 제품, 데이터베이스

1. 서론

일반적으로 신제품의 연구/개발에 있어서는 시제품의 실험결과를 토대로 개량설계를 여러 번 반복하는 경우가

많으며, 이로 인하여 시제품을 만드는 횟수가 많아지게 되는 경향이 있다. 신제품의 연구/개발에 있어서 이와 같은 불필요한 시제품을 만드는 횟수를 저감시키기 위한 목적으로 주로 컴퓨터 시물레이션에 기반을 둔 CAD 시스템이 많이 연구 되고 있으며, 일부는 이미 실용화 되어 있다^{1,2)}. 그러나 이와 같은 종래의 CAD시스템은 시제품의 실험결과를 합리적으로 개량설계에 반영하기 위한 기능을 CAD시스템 내부에 갖추고 있지 않다. 즉, 시물레이션을 거쳐 설계/제작한 시제품이 실험단계에서 요구사항을

접수일(2012년 10월 5일), 심사일(2013년 2월 17일),
게재 확정일(2013년 2월 18일)

¹⁾ 경희대학교 공과대학 기계공학과

주 저 자 : 장승호

교신저자 : 장승호

E-mail; shjang@khu.ac.kr

만족 시키지 않는 원인파악과 개량설계를 시행하기 위한 방법을 추론하기 위한 기능을 갖추고 있지 않다^[3,4,5].

또한, 이들 시스템에서는 시물레이션을 위한 공학모델은 실제계(real world)를 완벽히 표현한 고정적인 것으로 다루어지고 있으며, 이 공학모델은 실제계에서의 물리현상을 거의 완벽하게 반영하고 있는 것으로서 취급되고 있다. 그러나 신제품의 개발설계에 있어서는 개발대상의 물리적 거동을 완전히 반영한 공학 모델을 신제품의 개발 초기 단계에서부터 설정해두는 것은 그리 쉽지 않다. 따라서 신제품의 개발설계에 있어서는 개량설계를 진행하면서 공학모델을 점차 현실에 맞는 것으로 진화(발전)시킬 필요가 있다^[6,7,8].

본 연구의 목적은 전술한 바와 같은 특징을 갖는 신제품의 개발설계를 적절히 지원하기 위한 전문가 시스템 DESYR(Design Expert SYstem for Research and development) ver.1의 구축방법을 제안하는 것이다.

일반적으로 신규제품의 개발설계문제는 크게 두 개의 부분으로 유형화할 수 있다. 즉, 논리적이고 공학적 해석 방법을 유효하게 적용할 수 있는 부분(numerical processing, model base) 및 공학적 해석방법이 유효하지 않으며 경험적 지식에 의존할 수밖에 없는 부분(symbolic processing, knowledge engineering approach)이다. 본 연구에서는 전자를 공학 해석 시스템 EAS(Engineering Analysis System)으로서 구축하고, 후자를 공학 자문 시스템 ECS(Engineering Consulting System)으로서 구축하고자 한다.

2. 개발설계의 프로세스 및 시스템이 갖추어야할 기능

2.1 개발설계 프로세스의 분류

본 연구에서는 개발설계 프로세스를 다음과 같은 세 가지 단계로 분류/정의한다(Fig. 1 참조).

1) 프로세스 A: 공학모델의 설정 및 설계안의 평가 프로세스: 설계사양에 따라 설계안을 제안 하고, 공학 모델을 설정하여 시물레이션을 반복하면서 제안한 설계안을 공학적으로 평가하는 프로세스(Fig. 1의 process A 참조).

2) 프로세스 B: 시제품제작 및 실험에 의한 설계안의 검증 프로세스: 시제품제작과 실험을 통하여, 프로세스 A에서 얻어진 설계안이 실제로 요구사항을 만족시키는지 판단하는 프로세스(Fig. 1의 process B 참조).

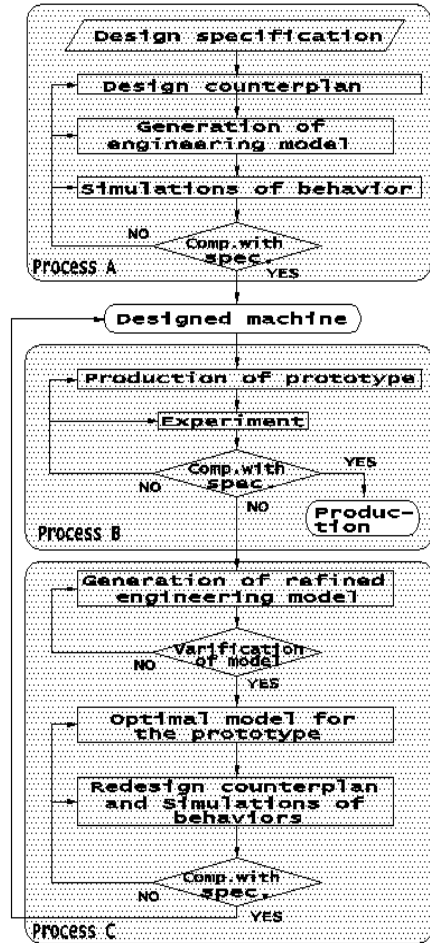


Fig. 1. Process of research and development

3) 프로세스 C: 공학모델의 개량 및 개량설계프로세스: 프로세스 B에서 얻어진 실험결과에 따라 공학모델의 개선 및 개량설계를 하는 프로세스(Fig. 1의 process C 참조).

본 연구에서는 프로세스 B에서 시제품이 요구사항을 만족시키지 않는 것(즉, 시제품에 어떤 문제가 발생한 것)을 제품개발에 있어서의 트러블(이하 트러블이라고 함)이라고 한다.

2.2 신제품개발 전문가 시스템이 갖추어야할 기능
신규제품의 개발설계를 지원하기 위한 전문가 시스템은 다음과 같은 기능을 갖출 필요가 있다.

1) 설계안을 시물레이션을 통해 적절히 평가할 수 있는 공학모델을 컴퓨터내부에 갖고 있어야 할 것. 이 평

가에 있어서는 개발대상물의 물리적 특성(동특성, 제어특성 등)을 포함한다.

- 2) 시제품의 실험결과에 따라 공학모델을 점차 현실화(엄밀화) 시킬 수 있을 것.
- 3) 개발도중의 단편적이고 불충분한 지식(개발설계에 있어서는 아직 제품의 개발이 완료되지 않았으므로 제품에 대한 지식이 충분하지 않음)을 가지고 시제품의 트러블의 원인 및 개량설계를 위한 설계안을 적절히 추론할 수 있을 것.
- 4) 지식데이터베이스에 있어서 지식의 변경, 추가 및 삭제가 용이하게 이루어 질 수 있을 것. 즉, 지식베이스 시스템의 모듈성과 확장성이 좋을 것.

3. ECS에의 흑판형 추론 모델의 적용

본 연구에서는 신제품개발 전문가 시스템의 ECS에 있어서의 경험적 지식의 처리 방법으로 흑판형 추론 모델(blackboard inference model)을 적용하고자 한다.

3.1 흑판형 추론 모델

흑판형 추론 모델이란 지식을 각각의 지식원(KS: knowledge source)이라고 불리는 다수의 모듈로서 구성하고, 흑판이라고 불리는 중앙의 데이터 공유 영역을 매개체로 하여, 각 지식원이 상호 협조 또는 교신을 하면서 문제해결을 진행하는 추론방법이다⁹⁾.

이 추론방법은 문제를 해결하기 위하여 필요로 하는 지식을 완벽히 갖추고 있지 않은 상황에서도, 다수의 지식원들을 상호 협조 또는 경합시킴으로써 해를 구할 수 있는 능력을 향상시킬 수 있는 추론방법이다.

3.2 ECS에 있어서의 흑판형 추론 모델의 적합성

흑판형 추론모델은 Genetic Algorithm^[10] 등을 비롯한 다른 추론모델에 비하여, 다음과 같은 점에 있어서 개발설계시스템의 추론엔진으로서 보다 적합하다고 할 수 있다.

- 1) 각 지식원 개개로서는 시제품의 트러블의 원인의 파악 및 개량설계에 필요한 지식은 불완전하지만, 각 지식원간의 상호 협조 및 경합을 통하여 이의 해결 능력이 향상되는 성질을 가지고 있다.
- 2) 지식원단위로 정보가 은폐되고 독립되어 있기 때문에 시스템의 모듈성이 좋아지고 개발에 있어서 빈번히 일어나는 지식의 추가, 삭제, 변경이 용이하다.
- 3) 지식의 표현 및 처리를 모듈단위로 분해할 수 있으므로 시스템으로부터 통일적인 추론엔진을 배제할

수 있으며 모듈단위로 서로 다른 지식의 표현 및 처리가 가능하다.

- 4) 각 지식원간의 협조를 취하면서 전체의 추론을 진행시킬 수 있으므로 본래 분산/협조적인 성질을 갖는(각 전문분야의 전문지식을 필요로 하는) 개발설계 프로세스에 대하여 지식처리 능력을 제공할 수 있다.

3.3 ECS의 구성

3.3.1 흑판

흑판은 추론 중에 얻어진 가설, 해, 추론의 진행상황 등을 기억하는 각 지식원에 공통인 데이터 영역이다. 본 연구에서 흑판은 다음의 네 개의 영역으로 구성된다(Fig. 2 참조).

- 1) 실험데이터의 특징영역(characteristics of experimental results): 신제품의 개발자에 의하여 트러블을 일으킨 시제품의 실험데이터의 특징이 입력되는 영역.
- 2) 시제품의 트러블의 원인 영역(cause of trouble)
- 3) 공학모델의 개선안 영역(suggestions for model refinement)
- 4) 개량설계안 영역(suggestions for redesign counterplan)

여기에서 2), 3) 및 4)항은 시스템내부에 존재하는 각 지식원에 의한 협조적 작업의 결과가 기입되는 영역이다.

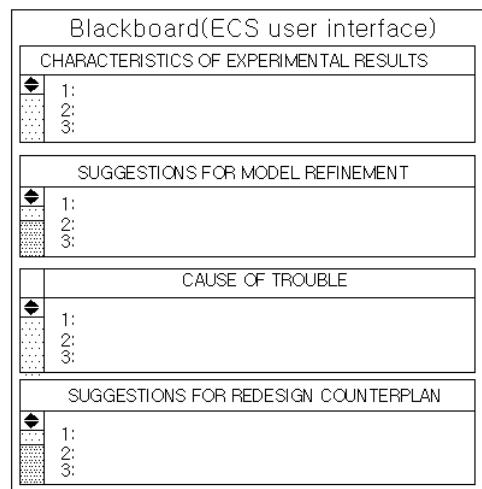


Fig. 2. Blackboard

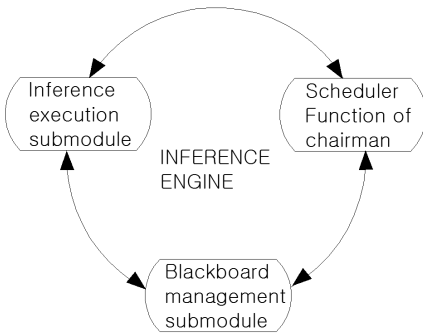


Fig. 3. Inference engine

3.3.2 추론엔진

본 연구에서는 추론엔진(inference engine)을 다음의 두 개의 서브 모듈로서 구성하였으며, 추론실행 및 흑판의 관리/조작을 행한다(Fig. 3 참조).

- 1) 흑판 관리/조작 서브 모듈(blackboard management submodule)
 - 흑판의 초기화 기능
 - 흑판의 모니터링 기능
 - 흑판의 상황에 따라 다음에 어느 지식원을 기동시킬 것이냐에 대한 스케줄링 기능
- 2) 추론 실행 서브모듈(inference execution submodule)
 - 각 지식원에 따른 추론의 실행기능

3.3.3 지식베이스 관리/조작부(knowledge base manager)

다음의 두 개의 서브 모듈로 구성하였으며 지식베이스의 관리 및 조작을 행한다.

- a) 지식베이스 검색 서브 모듈(knowledge base retrieval submodule)
 - 각 지식원으로 부터의 지식의 검색기능
 - 지식베이스 디렉너리의 검색기능
- b) 지식베이스 구축 지원 서브 모듈(knowledge base construction submodule)
 - 지식의 추가, 삭제, 변경지원 기능
 - 지식베이스 디렉너리의 생성기능

3.3.4 지식베이스부(knowledge base)

지식베이스부는 복수의 지식원 및 지식베이스 디렉너

리에 의하여 구성하였다.

a) 지식원(knowledge source)

- MTCKS(Mechanical Trouble Cause Knowledge Source): 기계관련 전문가에 의한 시제품의 트러블의 원인 해명에 관한 지식원
- MMRKS(Mechanical Model Refinement Knowledge Source): 기계관련 전문가에 의한 공학모델의 개량에 관한 지식원
- MDCKS(Mechanical Design Counter- measure Knowledge Source): 기계관련 전문가에 의한 개량설계에 관한 지식원
- ETCKS(Electrical Trouble Cause Knowledge Source): 전기관련 전문가에 의한 시제품의 트러블의 원인 해명에 관한 지식원
- EMRKS(Electrical Model Refinement Knowledge Source): 전기관련 전문가에 의한 공학모델의 개량에 관한 지식원
- EDCKS(Electrical Design Counter- measure Knowledge Source): 전기관련 전문가에 의한 개량설계에 관한 지식원 이상의 6개의 지식원으로 구성하였다.

b) 지식베이스 디렉너리(knowledge base dictionary)

- 지식베이스의 관리정보를 저장함.

4. EAS의 구성

공학 해석 시스템이란 개발설계에 있어서 불필요한 시제품 제작의 횟수를 최소한으로 줄이기 위하여 설계안(초기설계안 및 개량설계안)에 대하여 공학적인 평가를 하기 위한 시스템이다.

본 연구에서는 개발 중인 시제품의 실험결과에 따라 개발대상물(제품)을 표현하고 있는 공학모델을 점차 개량함으로써 개발설계를 유효하게 지원하는 것을 제안하고 있다.

이 장에서는 본 연구에서 제안하는 모델 데이터베이스를 중심으로 공학 해석 시스템의 아키텍처에 관하여 논하고자 한다.

본 연구에서는 공학해석시스템을 다음과 같이 5개의 모듈로서 구성하고 있다. 각 모듈의 내용으로서 선정하는 예는 본 연구에서 대상으로 하는 메카트로닉스 제품인 자기베어링(magnetic bearing)의 개발에 관한 것이다.

각 모듈의 주된 개요는 다음과 같다.

1) 모델 데이터베이스부(model database)

- a) 초기설계안에 의하여 유도된 초기 공학모델(initial engineering model): 개발 대상물의 물리적 거동을 표현하는 수학적식
- b) 시제품의 실험결과에 따라 개선된(개량된) 공학모델(refined engineering model)을 저장한다.

시뮬레이션 프로그램 속에서 공학모델만을 추출하여, 모델데이터베이스에 저장함으로써 개발자에게 공학모델을 이해하기 쉽게 할 수 있으며 공학모델의 변경 또한 용이하게 된다.

2) 엔지니어링 데이터 베이스부(engineering database)

- a) 각종 설계 파라미터: 형상데이터, 설계대상물의 질량, 회전관성, 제어계의 각종계수(weighting coefficient, feedback coefficient 등), 정상 전류치, 정상 흡인력 등.
- b) 각종 규격 데이터: KS, JIS, DIN 등 불변 데이터(전자석의 설계에 필요한 코일용 동선의 규격 등).
- c) 시뮬레이션 결과 데이터: 시간 응답(time response) 데이터, 주파수 응답(frequency response) 데이터, 제어계의 안정성 해석(stability analysis) 데이터 등을 저장한다.

3) 설계부(design module)

모델 데이터 베이스내의 공학 모델 및 엔지니어링 데이터베이스를 참조하여, 각종 제어이론에 따른 제어계의 설계(최적 레귤레이터의 설계), 전자석의 설계 등을 하여, 그 결과를 엔지니어링 데이터베이스에 저장한다.

4) 시뮬레이션부(simulation module)

설계안에 대하여 공학적인 평가를 하기 위하여 모델 데이터베이스 내의 공학모델 및 수치해석 패키지를 이용하여 주파수 응답, 시간응답, 제어계의 안정성해석 등을 하여, 그 결과를 엔지니어링 데이터베이스에 저장한다.

5) 입출력관리부(EAS data input/output management module)

신제품의 개발자와 시스템간의 데이터를 주고받는 user interface이며, 모델 데이터베이스의 참조, 엔지니어링 데이터베이스의 참조, 개발대상물의 그래픽 표시, 시뮬레이

션 결과의 그래픽 표시등을 행한다.

또한, 본 연구에서는 공학 모델이 변경되어도 시뮬레이션 프로그램을 다시 만들 필요가 없이 갱신된 공학모델에 따라 개발대상물의 물리적 거동의 시뮬레이션 또는 제어계의 설계 등을 용이하게 할 수 있는 유연한 시스템으로 만들기 위하여, 입출력관리부에 공학모델 변환 프로세서(engineering model transformation processor)를 마련하였다.

이 프로세서는 시뮬레이션부와 설계부의 지령에 따라 공학모델(초기 공학모델 및 개선된 공학 모델)의 각 변수에 엔지니어링 데이터베이스의 각 값을 대입하여, 시뮬레이션부 및 설계부가 처리 가능한 형식으로 변환하여, 각 모듈에 공급하는 기능을 가지고 있다.

공학 모델 변환 프로세서를 도입함으로써 공학모델이 갱신되어도 시스템 전체의 구성 또는 시뮬레이션 프로그램 등을 다시 만들 필요가 없도록 시스템에 배려하였다.

5. 제안한 신제품개발용 전문가시스템(DESYSR ver.1)을 이용한 축(axial)방향 이동형 자기축수의 개발

회전속도 70,000rpm의 고속회전 중에 로터(rotor)를 축방으로 이동시킬 수 있는 자기축수(AMB: Active Magnetic Bearing)의 개발과정에 대하여 서술하고자 한다. 이 자기축수는 고속회전을 요하는 터보분자 진공 펌프(TVP: turbo-molecular vacuum pump)의 베어링으로서 사용된다. 회전 중에 로터를 축방향으로 이동시킴으로써 로터와 스테이터(stator) 간의 간극을 조정함으로써 진공펌프의 흡입력을 변화시킬 수 있다.

5.1 프로세스 A

(1) 설계안

- (a) 회전속도 70,000rpm의 고속회전을 가능하게 하기 위하여 적분형 최적레귤레이터(integral type optimal regulator)를 레이디얼 방향과 축방향의 제어(5축제어)에 사용한다.
- (b) 자기축수에 의하여 지지된 로터의 회전수가 70,000rpm에 도달하였을 때 축방향으로 이동시킬 수 있도록 축방향의 제어의 목표치를 변화시킨다(reference input = 0.0~5.0mm).

이를 통하여 70,000rpm의 고속회전에서도 안정적으로 로터를 축방향으로 이동 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

(2) 초기 엔지니어링 모델의 생성

로터의 운동을 묘사하는 엔지니어링 모델을 매트릭스 형태로 표현하여 EAS내의 모델 데이터베이스에 저장하였다. 회전 중에 로터를 축방향으로 이동시킬 수 있는 5축 제어형 자기축수의 상태방정식과 전자석의 거동을 묘사하는 엔지니어링 모델 또한 모델 데이터베이스에 저장하였다.

(3) 설계 파라미터의 결정 및 평가

AMB의 제어장치에 사용되는 피드백 계수를 계산하여 엔지니어링 데이터베이스에 저장하였다. Fig. 4 (Lissajous' figure)는 전술한 설계안에 대한 제어계의 제어특성을 나타낸 것이다(EAS를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과임). 이 시뮬레이션 결과는 임의의 외란이 제어계에 부가됨으로서 로터의 중심이 베어링의 중심으로부터 벗어났을 때의 제어계의 특성을 나타낸 것이다.

이 시뮬레이션에서의 로터의 회전속도는 신제품의 요구 사양인 70,000 rpm이었으며, 목표치의 변화량은 reference input = 5.0 mm이었다. 로터의 중심이 점 I/C(initial condition)으로부터 베어링의 중심방향으로 신속히 수렴해가는 궤적(trajectory)을 표시한 Fig. 4로부터 알 수 있듯이 제어 특성은 매우 안정된 좋은 결과임을 알 수 있다.

5.2 프로세스 B

Fig. 5는 TVP에 AMB를 탑재한 실험 장치에 대한 블록 다이어그램이다. 실험에 있어서는 목표치의 변화량은

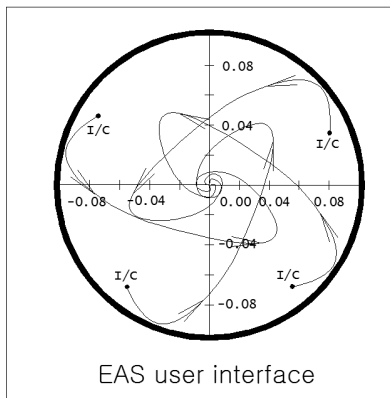


Fig. 4. Design result of new type AMB(Process A)

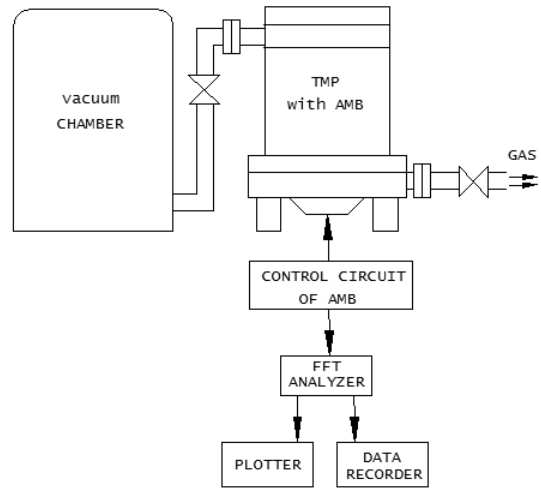


Fig. 5. Experimental apparatus of AMB

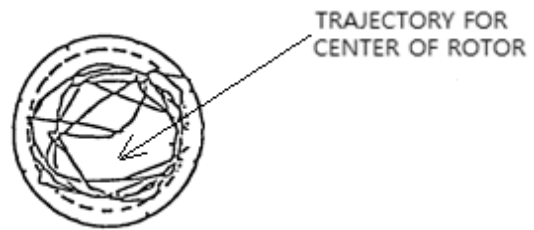


Fig. 6. Experimental result of AMB

reference input = 3.0 mm까지의 로터의 회전 양상은 매우 안정적이었다. 그러나 reference input = 3.0 mm 이상에서 갑자기 진동의 진폭이 증가하여 로터가 드라이 베어링(dry bearing)에 터치다운(touch down)하는 예지치 못한 트러블(trouble)이 발생하였다(Fig. 6 참조). 터치다운 직전의 진동의 주파수는 로터의 회전주파수와 동일한 1,166 Hz이었다.

5.3 프로세스 C

프로세스 B에서 얻어진 실험결과를 ECS user interface 에 있는 실험결과를 입력하는 영역에 입력하였다. Fig. 7 은 ECS의 추론엔진을 이용하여 얻어진 추론결과를 나타낸 것이다(트러블의 원인영역과 재설계안에 대한 제안 영역 참조). 이는 추론엔진의 스케줄러에 해당하는 체어맨(chairman)이 트러블의 원인을 로터의 언밸런스(unbalance)에 의한 강제진동일 가능성이 92% [= 80 + (100 - 80) * (60 / 100)]임을 나타내고 있다.

이와 같은 결론을, 흑판형 추론모델을 이용하여 얻게

된 과정은 다음과 같다.

- (a) 트러블의 원인을 로터의 언밸런스(unbalance)에 의한 강제진동일 가능성이 80%이라고 주장한 기계 기술자의 의견과,
- (b) 트러블의 원인을 로터의 언밸런스(unbalance)에 의한 강제진동일 가능성이 60%이라고 주장한 전기 기술자의 의견에 대하여,

기계기술자의 관점에서는 알 수 없는 부분20(=100-80)%을 전기기술자의 관점에서 [12%(=20*(60/100)]만큼 보완해준 것에 해당한다.

또한 전술한 의견 (a)는 기계기술자의 트러블의 원인에 대한 지식원(MTCKS)에 있는 지식이다(Fig. 8 참조). 그리고 의견 (b)는 전기기술자의 트러블의 원인에 대한 지

```

IF AMPLITUDE_RESPONSE[1]_OF_ROTOR_VIB.
(INCREASES_GRADUALLY)
& PREDOMINANT_FREQUENCY_OF_ROTOR_VIB.
(1_X_ROTATIONAL_FREQ.)
THEN
FORCED_VIBRATION_BY_UNBALANCE_OF_ROTOR
(80%)
    
```

Fig. 8. Knowledge in knowledge source of mechanical engineer (MTCKS)

```

IF PREDOMINANT_FREQUENCY_OF_CURRENT_VIB.
(1_X_ROTATIONAL_FREQ.)
& AMPLITUDE_RESPONSE[1]_OF_VOLTAGE_VIB.
(INCREASE_SUDDENLY)
THEN
FORCED_VIBRATION_BY_UNBALANCE_OF_ROTOR
(60%)
    
```

Fig. 9. Knowledge in knowledge source of electrical engineer (ETCKS)

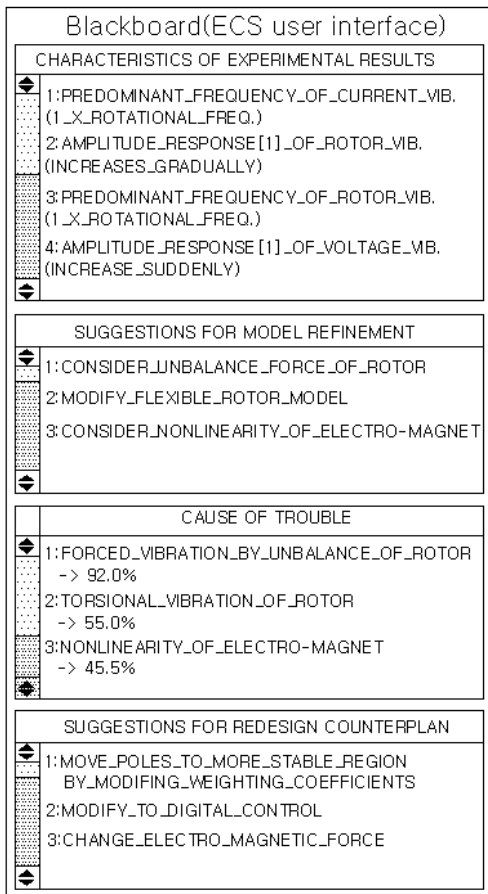


Fig. 7. Inference result by ECS

식원(ETCKS)에 있는 지식이다(Fig. 9 참조).

각각의 지식원은 각자(전기전문가, 기계전문가)의 관점에서만 트러블의 원인을 파악할 수 있고, 또한 언밸런스(unbalance)에 의한 강제진동에 대한 물리적 현상에 대한 불충분한 지식 밖에 없지만, 트러블의 원인을 규명하는 능력이 각 지식원간의 협조와 경합에 의하여 향상되었음을 알 수 있다. Fig. 7의 재설계안도 트러블의 원인을 규명하기 위한 지식원(예를 들어 EMRKS, MMRKS)과 재설계를 위한 지식원(예를 들어 EDCKS, MDCKS)의 협조적 그리고 경합적 작업을 통하여 도출된 것이다.

(1) 개량된 엔지니어링 모델의 생성

초기 엔지니어링 모델은 ECS의 추론에 의하여 얻어진 결과를 이용하여 개선되어야 한다. 즉, 로터의 언밸런스를 고려한 엔지니어링 모델을 새로이 생성하여 모델 데이터 베이스에 저장하였다. Fig. 10에 표시한 EAS user interface 내의 모델 데이터베이스는 초기 모델에 대하여 개선된 부분을 나타낸 것이다.

(2) 개량된 엔지니어링 모델의 검증

Fig. 10은 개선된 엔지니어링 모델을 이용하여 트러블이 일어난 상황 즉, 70,000rpm, reference input = 3.0mm 에서 제어특성 해석을 한 결과이다. Fig. 10의 진동의 주

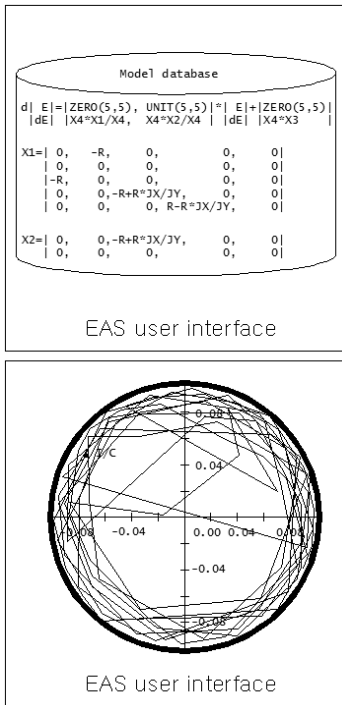


Fig. 10. Simulation result using improved model database and engineering model

Table 1. Nomenclature of model database

| | |
|------------|---|
| d | time derivative (d/dt) |
| UNIT(m, m) | unit matrix of m by m |
| ZERO(m, m) | zero matrix of m by m |
| | matrix expression |
| R | rotational speed of rotor(rad/sec) |
| JX, JY | moment of inertia about X and Y axis (kg/m ²) |

파수는 1,166Hz이었다. 이는 실험에서 얻어진 주파수와 동일 한 것이며, Fig. 6의 트러블양상을 시뮬레이션이 재현하고 있다. 따라서 새로이 개선한 모델이 초기 모델보다 신제품에 대한 물리현상을 보다 충실히 표현하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 재설계안

ECS의 추론결과에 입각하여 제어계의 가중계수(weighting coefficients)를 변화시킴으로서 AMB의 폴(pole)의 초기 위치를 보다 안정된 영역(stable region)에 배치하도록 재설계를 진행하였다.

Fig. 11은 70,000 rpm에서 개량된 엔지니어링 모델을

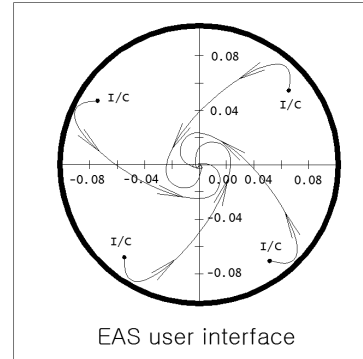


Fig. 11. Simulation result of redesigned AMB according to the suggestion of ECS (rotational speed = 70,000 rpm)

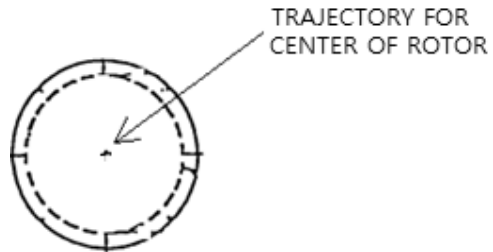


Fig. 12. Experimental result of redesigned AMB(rotational speed = 70,000rpm)

이용하여 재설계안을 시뮬레이션을 한 것이다. 이를 토대로 제작한 프로토타입(prototype)의 실험결과를 Fig. 12에 표시하였다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 70,000rpm에서 로터를 축방향으로 이동시켜도(reference input = 0.0~5.0 mm), 선회운동(whirling motion) 없이 매우 안정된 회전을 하는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 신제품개발용 전문가 시스템ver.1을 이용하여 초기시양을 만족시키는 TVP용 AMB를 개발하는데 성공하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 신규제품의 개발설계를 적절히 지원하기 위한 전문가 시스템을 구축하기 위한 방법론을 제안하였다. 이상을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 개발설계용 전문가 시스템의 구성요소로서 공학 전문 시스템(ECS)과 공학 해석 시스템(EAS)을 제안

하였다.

- 2) 신규제품의 개발설계에 있어서의 지식의 처리방법을 흑판형 추론 모델(blackboard inference model)에 있어서의 각 지식원(knowledge source)간의 협조적/경합적 작업으로서 정형화하였다.
- 3) 시제품의 실험결과에 따라 개발대상물을 표현하고 있는 공학모델(engineering model)을 점차 엄밀화(현실화) 할 수 있도록 하였다.
- 4) 신형 자기측수의 개발과정에 본 연구에서 제안한 개발설계용 전문가 시스템을 적용함으로써 제안한 방법론의 유효성과 가능성을 검증하였다.

참고문헌

1. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P. (1983), "Optimization by Simulated Annealing", SCIENCE, pp. 220-4598.
2. Albano, A., Sapuppo, G. (1980), "Optimal Allocation of Two-Dimensional Irregular Shapes Using Heuristic Search Methods", IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. SMC-10, No. 5, pp. 35-43.
3. Jang, S.H., Choi, M.J. (2006), "A CAD System for Research and Development of a New Product Using Blackboard Inference Model", The Journal of Industrial Liaison Research Institute, Vol. 12, pp. 97-104.
4. Sechen, C. (1985), "The TimberWolf Placement and Routing Package", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. SC-20, No. 2, pp.510-522.
5. Wimmer, S., Koren, I. and Cederbaum I. (1988), "Floorplans, Planar Graphs, and Layouts", IEEE Tras. on CAS, pp. 267-278.
6. Izumi, T., Takahashi, A. and Kajitani, Y. (1998), "Air-Pressure-Model-Based Fast Algorithms for General Floorplan", Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference, pp. 563-570.
7. Wong, D.F., Leong, H.W. and Liu, C.L. (1988), Simulated Annealing for VLSI Design, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-120.
8. Sakanushi, K., Nakatake, S. and Kakitani, Y. (1998), "The Multi-BSG: Stochastic Approach to and Optimum Packing of Convex-Rectilinear Blocks", Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Computer Aided Design 1998, pp. 267-274.
9. Erman, L.D., Hayes-Roth, F., Lesser, V.R. and Reddy. D.R. (1980), "The Hearsay-2 Speech-Understanding System : Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty", Computing Surveys. Vol.12. No. 12, pp. 213-223.
10. Jakobs S. (1996), "On Genetic Algorithms for The Packing of Polygons", European Journal of Operational Research, Vol. 88, pp. 165-181.



장 승 호 (shjang@khu.ac.kr)

1986 한양대학교 공과대학 기계공학과 학사
 1988 한양대학교 대학원 정밀기계공학과 석사
 1991 (일본)동경대학교 대학원 공학계연구과 기계공학전공 공학박사
 1993~현재 경희대학교 공과대학 기계공학과 교수

관심분야 : 시뮬레이션, CAD/CAE, 메카트로닉스, 지능기계