

<論 文>

動力傳達用 齒車設計를 中心으로 한 機械要素 設計의 엑스퍼트 시스템 開發研究 (I)

—齒車設計 및 트러블 슈팅 데이터 베이스構築 및 運用—

鄭 泰 亨* · 久 保 愛 三**

(1987年 8月 20日 接受)

**Development of Expert System for Designing Power Transmission Elements,
Especially of Gear Drives (I)**
—Building and Operation of Data Base for Designing and Trouble-Shooting of Gear Drives—

Tae Hyong Chong and Aizoh Kubo

Key Words: Gear(치차), Expert System(엑스퍼트 시스템), Data Base(데이터 베이스), Gear Design(치차장치설계), Gear Trouble-shooting(치차장치 트러블 슈팅)

Abstract

This paper proposes an approach of building an expert system for designing gear drives. In terms of gear drives the relationship between expert systems and data base systems is explained and a data base system for design, failure detection, and trouble-shooting of gear drives is built on a personal computer by the data manipulation language of dBASE III. This paper proposes a method how to build a data base system and what to consider to build a data base system for gear drives and two kinds of data base systems of design and failure detection of gear drives and trouble-shooting for noise and vibration of gear drives are built. The two data base systems are very effective for the retrieval of information for the gear design, and they will be considerably helpful for the gear design.

1. 서 론

“컴퓨터는 만능이다”라고 하는 오늘날에도 전문가에 의해서만 이루어지는 일들이 많이 남아있다. 엑스퍼

트시스템(expert system)이란 이러한 전문가의 지식을 이용하여, 컴퓨터에 고도의 문제해결능력을 부여하는 것으로 그 적용분야는 의학, 공학, 교육등 여러방면에 걸쳐 응용되고 있다⁽¹⁻⁵⁾. 그러나 공학분야에서 지금까지 개발된 엑스퍼트시스템이 성공한 예는 소수이고, 일부 플랜트 이상 진단용 엑스퍼트시스템이 개발된 예는 있으나⁽⁶⁻⁷⁾, 기계요소설계분야에 적용할 수 있는 엑스퍼트시스템이 개발된 일은 극히 드물고⁽⁸⁾ 유효하게 이

† '87년 대한기계학회 추계학술대회(11.7)에서 발표

* 正會員, 漢陽大學校 工科學 機械設計學科

** 京都大學 工學部 精密工學科

용할 수 있는 단계까지에는 이르지 못하고 있는 실정이다.

본연구에서는 기계요소중에서도 그 성능에 미치는 인자의 수가 많고 또 그 영향이 복잡하고 난해하며 아직도 경험적 요소가 수없이 남아있으면서도 공업적으로 매우 중요한 동력전달용 치차장치를 예로 들어 그 설계, 제작, 손상 및 트러블슈팅을 하기 위한 엑스퍼트시스템을 개발하려고 한다.

동력전달용 치차장치의 엑스퍼트시스템에는 치차장치의 설계, 제작, 손상 및 트러블슈팅을 전부 커버할 수 있는 학습능력을 갖춘 엑스퍼트시스템을 구축하는 것이 이상적인 목표이다. 엑스퍼트시스템은 지식베이스(knowledge base), 추론기구(inference engine), 단기간기억을 기본으로하여 인간·기계계 인터페이스, 추론과정 설명기능, 지식베이스 설명기능을 포함하여 이루어진다. 여기에는 컴퓨터가 전문가로부터 전문지식을 얻어서(지식획득) 자체판단하는데 필요한 법칙(rule) 및 가설을 기술하여야 한다. 그러나 치차장치 설계 및 트러블슈팅에 대한 엑스퍼트시스템 구축에는 단지 물의 집합만으로는 불충분하고 물에 의해 구동되고, 참조되어지는 확정 논리적 추론 패키지 및 과거 설계예, 트러블슈팅에 대한 대책예등 참조데이터의 집합이 정비되어 있지 않으면 안된다. 즉 데이터베이스(data base)의 구축 및 정비가 필요불가결하다.

이 논문에서는 치차장치 엑스퍼트시스템개발의 제 1 단계로서 엑스퍼트시스템과 데이터베이스 관계, 치차장치 데이터베이스 구축 및 운용에 대하여 논하기로 한다. 즉, 치차장치 설계 및 손상탐색, 진동·소음트러블슈팅의 두가지에 관하여 데이터베이스의 구축법, 파일 및 속성, 실제 구축예와 운용예에 대하여 연구한다. 흔히 엑스퍼트시스템 개발에는 LISP, PROLOG 등의 인공지능 전용의 컴퓨터 언어를 사용하나, 여기에서는 우선 데이터베이스의 데이터 조작언어(data manipulation language)를 사용하여 엑스퍼트시스템을 퍼스널 컴퓨터상에서 구축하는 것을 당면의 목표로 한다. 여기에서 사용하는 언어(DML)는 dBASE III(미국 Ashton-Tate 사)를 채용한다. 다음 단계로 LISP, PROLOG 등의 언어를 사용하여 추론하는 엑스퍼트시스템을 구축하기로 한다.

2. 치차장치 엑스퍼트 시스템

2.1 엑스퍼트 시스템과 데이터 베이스의 관계 본래 엑스퍼트시스템(이후 ES로 표기)은 인공지능

의 한 분야이고, 인공지능과 데이터베이스(이후 DE로 표기)는 따로따로 서로 다른 입장에서 독립하여 발전하여 온 관계로 서로의 교류가 적은 것이 사실이다. 그러나 치차장치 설계 및 트러블슈팅에는 이미 수행된 과거의 예를 참조하는 것이 필요불가결하다. 따라서 지식의 축적, 변경, 검색 및 지식에 근거한 추론에 기존의 DB기술을 응용하지 않으면 안된다. 물론 ES구축에 지식획득을 위한 질문사항, 물등에 수많은 데이터를 수집하여 구축하는 것도 한가지 방법이 되겠으나 실제 이용자측에서 생각할 때 DB를 구축하여 필요한 정보를 쉽게 검색하여 나가는 것이 훨씬 효율적이고 강력하다.

1983년 IJCAI(International Joint Conference on Artificial Intelligence)의 패넬토론회에서 산업용 ES에 있어서 DB의 검색의 중요성이 지적되었다⁽⁹⁾. 현재 수많은 ES가 구축되고 있으나 실제로 유용하게 사용되지 못하고 있는 이유중의 하나가 이것을 뒷받침하는 완전한 DB가 없다는 점이 지적되기도 한다.

또 ES는 보통 사용자와의 대화에 의해 문제를 해결하는 방법이다. 사용자는 먼저 자기자신의 머리속에서 어떤문제에 대해 검색하여 ES에 대해 질문 및 응답한다. 즉 사용자 자신이 하나의 데이터베이스머시인(data base machine)이 되어있다⁽⁶⁾. 사용자 자신이 문제에 대해 응답할 정보가 없을 때에는 자기자신 이외의 DB를 검색하여 ES에 응답하게 되거나, ES가 필요한 DB를 자동적으로 검색하는 방법도 생각할 수 있다.

한편 ES(인공지능)에서의 슬롯(slot)은 DB의 필드(field)에 상당하는 유사한 개념이 용어만을 달리하고 있다. 또 의미네트워크, 프레임⁽²⁾은 데이터 구조의 일종으로 생각할 수 있다. 더우기 ES의 처리속도 향상을 위하여, 검색의 중요성이 지적되고 있으나⁽¹⁾ 이러한 문제는 DE에서는 상식적으로 사용되고 있는 일이다. DB의 편집의 용이성도 빠질 수 없는 장점중의 하나이다. 또 시스템의 기본구성에도 ES와 DB에는 유사점이 보인다. 즉 ES에서는 (1) 추론엔진, (2) 지식베이스, (3) 일시기억용 작업영역의 3가지이다. DB 시스템에서는 (1) 응용프로그램, (2) DB, (3) 일시기억용작업영역이다. 즉 추론엔진과 지식베이스의 독립성은 응용프로그램과 DB의 독립성에 대응하고 있다. 본연구는 지식베이스를 데이터베이스로 간주하여 응용프로그램으로서 추론엔진과 그의 다른 프로그램으로 구성되는 ES를 구축하려고 한다. 즉 종래 서로 떨어져 있는 사이인 인공지능과 DB 양분야의 융합

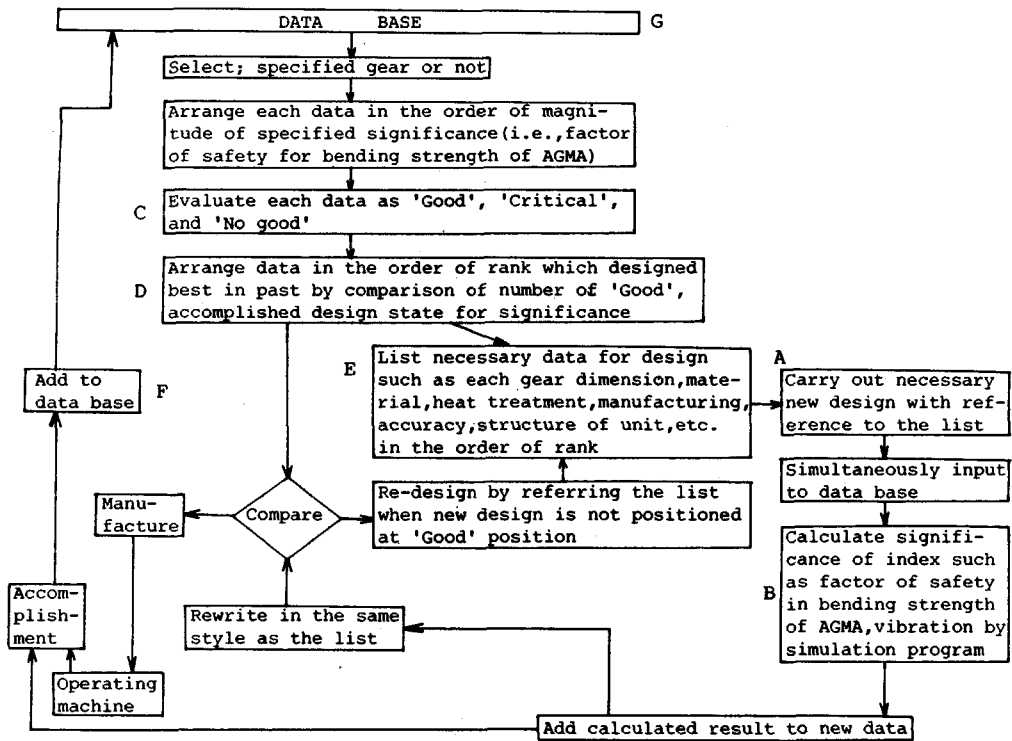


Fig. 1 An example of expert system for design of gear drives

을 도모하려고 한다. 이후의 장에서는 이와같은 ES를 뒷받침하는 DB 시스템을 먼저 구축하여 운용하기로 한다.

2.2 치차장치 설계 ES와 DB 시스템

Fig. 1은 치차장치 설계 ES의 구조의 한 예이다. 새로운 치차장치를 설계하려할 때 과거예의 참조없이 전혀 새로운 설계를 수행하는 일은 대단히 어려운 일이다. 통상 수행되는 설계는 이미 준비되어있는 DB(또는 경험)로부터 과거예를 참조하면서 설계를 한다(Fig. 1의 A위치). 여기에서 결정된 자원, 재료, 제작법, 정밀도등 그외의 사항에 대하여 이용할 수 있는 모든 방법으로 성능검토에 필요한 지표를 계산한다(B위치). 여기에서는 통상의 각 규격⁽¹⁰⁻¹³⁾ 등에 의한 계산 또는 성능 시뮬레이션⁽¹⁴⁾에 의한 계산법이 사용된다. 이들의 결과는 제작된 실제기계에서의 실적치와 함께 DB에 추가되어진다.

이와같이 하여 더욱 충실하게 만들어지는 DB를 기본으로하여 설계를 수행하는 데에는 Fig. 1에 나타난 것과같은 수많은 데이터중에서 치차 명세 및 용도가

설계대상범위 안에 있는 것을 추출 선택하여, 이러한 데이터의 집합을 만들어놓고 이 이후의 작업은 이 집합내에서 수행하도록 한다. 다음에 성능검토에 필요한 어떤 지표에 착안하여, 그 크기의 순서로 데이터에 순번을 매겨, 우수, 보통, 불량(good, critical, no good) 등 특성치를 각 데이터에 부여한다. 다른 지표에 대해서도 같은 작업을 차례차례로 수행하여 대상으로하는 전데이터가 성능검토에 필요한 모든 지표에 대하여 중점(weight)을 고려한 특성치를 가지고 있는 상태로 한다(C의 위치). 여기에서 각 데이터가 가지고 있는 특성치를 종합적으로 판단하여, 좋은 설계 순서대로 등급(rank)을 부여하고 데이터를 이 순서대로 나열한다(D위치). 최초의 DB를 참조한 설계(A위치)를 하기 위해서는 설계시에 결정해야할 치차자원, 재료, 열처리, 가공법, 정밀도, 장치구조등과 같은 항목별로 위에서 등급을 부여한 데이터를 일람표 형식으로 표시하고(E위치), 이것을 보면서 좋은 데이터와 유사한 여러가지 양을 부여한다.

새로운 설계가 이루어져 성능검토에 필요한 지표가 여기에 추가되어지면, 다음에는 이것을 D와 같은 서

식으로 바꾸어 써서, 위에서 등급을 붙인 과거의 실적 데이터의 일람표상에서 새로운 예가 어느 위치에 해당되는가 등급을 비교, 검토한다. 새로운 설계예가 좋은 등급에 위치하지 않은 경우는 E의 일람표를 참조하면서 재설계하여 좋은 등급에 올 때까지 이 작업을 반복한다. 이와같이 하여 과거의 데이터에 대해 타당한 설계가 이루어졌다고 판단되면 실제로 치차장치를 제작, 운전하는 작업이 수행된다. 물론 이때의 경험, 실적은 DB에 추가된다.

3. 치차장치 데이터 베이스 구축

3.1 치차장치 데이터 베이스 구축방법

치차장치 ES를 구축하는데 필요한 DB에는 치차장치 설계, 제작, 운전시의 트러블 발생시의 대책까지를 대상으로하는 DB 시스템을 구축함이 바람직하다. 따라서 이러한 DB 시스템을 구축함에 있어서는 ① 고려하여야할 인자수가 대단히 많고, ② 경험적 정보와 같이 DB에 어떤 형태로 보존하는 것이 좋은지 미해결부분이 대단히 많고, ③ 또 설계, 트러블슈팅, 전적등등 DB 시스템의 사용법이 천차만별이므로, 거의 모든 인자가 랜덤 액세스될 가능성이 있는 것등의 특징이 있다.

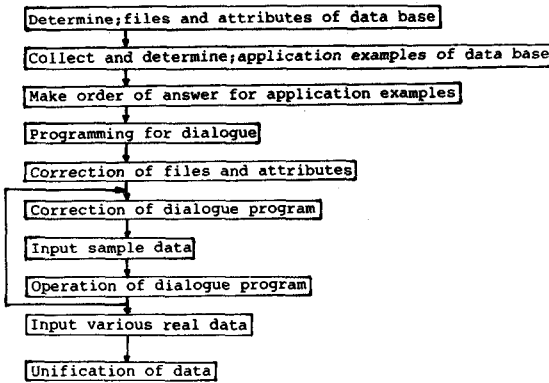


Fig. 2 A method to build data base system for gear drives

이러한 치차장치 DB 시스템의 구축순서를 Fig. 2에 보여준다. 즉,

(1) DB의 파일 및 속성에 대한 원안을 작성, 즉 치차장치 DB로서 고려하여야 할 항목, 인자는 무엇이며 그 분류를 어떻게 할 것인가등.

(2) DB의 사용법 및 사용예를 수집, 결정하여 (1)과 비교하여 부족한 것을 (1)에 추가.

(3) 사용예에 대한 해결방법을 단계화시키고 컴퓨터에서의 대화화면 작성, 즉 프로그램 작성.

(4) 상기 (1), (2), (3)을 참조하여 (1)의 파일 및 속성의 분류, 배열, 형식등을 수정 및 대화화면의 수정.

(5) 샘플 데이터의 입력

(6) 대화실행을 위한 DB구동 소프트웨어 개발, 즉 시운전.

(7) 새로운 데이터 입력.

(8) 데이터를 통합하여 하나의 DB 시스템으로서 완성.

이와같은 순서로 작성된 DB 시스템을 ES의 설계지원 지식베이스로도 사용하고 과거의 참조 데이터로서도 활용한다. 입력 데이터에는 과거의 설계, 손상 및 트러블슈팅에 뿐만 아니라 치차장치 운전 시뮬레이션 프로그램 및 각종 계산식도 포함시킨다⁽¹⁰⁻¹⁷⁾.

3.2 데이터 베이스의 파일 및 속성

치차장치 DB 시스템의 사용을 생각해 볼 때 즉 치차장치의 설계, 제작, 사용시의 손상 및 트러블 발생시의 대책등의 문제해결을 고찰하여 보면, 이러한 상황에 대한 문제해결을 하기 위하여는,

(1) 과거의 실적을 참조하여 설계 및 트러블시 원인 추구하고 대책강구.

(2) 컴퓨터 시뮬레이션등 계산수법을 이용하여 해결해 나가는 방법.

(3) 경험적 주판에 의한 방법.

등으로 나눌 수 있다. 여기에서 (1)의 해결방법은 DB로부터 ① 치차장치의 용도선택, 출력, 회전수등을 선택하여 가장 유사한 예를 검색, ② 과거 데이터의 검토, 즉 설계상황, 실용상황, 트러블상황에 따른 검토, 등에 의해 현재의 문제를 과거 데이터에 의해 참조하여 해결법을 찾는다. 또(2)의 해결방법으로는, 치차에 관한 각종 규격을 이용하거나 또는 치차운전상태 시뮬레이션에 의해서 해결하는 방법이다. 즉 치차운전상태 시뮬레이션에 의해 잇줄방향의 이뿌리응력분포, 이물림진행에 따른 이뿌리응력의 변화, 잇줄방향 이물림 치면상이나 작용면상에 나타난 접촉응력분포, 플랫폼 온도분포, 전달각도오차, 진동기진력 주파수 구성, 진동소음 주파수 구성, 마찰 손실일 등을 구할 수 있는 프로그램을 이용한다⁽¹⁴⁾.

따라서 상기 (1), (2), (3)에 관한 모든 데이터가 치차장치 DB에 포함되어지는 DB의 파일 및 속성을 갖춘 DB 시스템이어야 한다. 이러한 치차장치의 DB 시스템에 필요한 DB 파일 및 속성을 Table 1에 나타낸

Table 1 Files and attributes of a data base system for design of gear drives.

No.	Filename	Contents
1	DIM	Gear dimension
2	TEHL	Temperature and lubrication of tooth flank
3	STRR	State of stress on rim
4	STRB	State of bending stress of tooth
5	STRC	State of contact stress of flank
6	VIB	State of vibration and noise
7	VIBN	Vibration characteristics of system
8	LUBT	Lubricant
9	HEAT	Heat treatment
10	MAT	Materials
11	LUBN	State of lubrication
12	ENV	Environmental state
13	MACHN	Kind of machine
14	MATG	Gear materials
15	MANU	Manufacturing
16	ACC	Accuracy
17	TRBL	Troubles
18	BREAK	Breakage of tooth
19	FLNKD	Failure of flank; pitting, spalling, scoring, wear
20	BDYD	Failure of gear body and rim
21	VIBTR	Troubles of vibration and noise

Table 2 Attributes of a data base file of gear dimension

Record	Filename	Item	Symbol	Unit	Variables
1	DIM	Gear code			GC
2	DIM	Gear type			GT
3	DIM	Module	m	mm	AM
4	DIM	Number of teeth	z		Z
5	DIM	Helix angle		deg.	HA
6	DIM	Coefficient of addendum modification	x		X
7	DIM	Face width	b	mm	FW
8	DIM	Pressure angle		deg.	PA
9	DIM	Whole depth	h	mm	FW
10	DIM	Center distance	a	mm	CD
11	DIM	Chamfer; tip	Ct	mm	CHT
12	DIM	Chamfer; side; torque applied side	Cs1	mm	CHS1
13	DIM	Chamfer; side; free end	Cs2	mm	CHS2
14	DIM	Rim thickness	trim	mm	TRIM
15	DIM	Web thickness	tweb	mm	TWEB
16	DIM	Structure of gear body			GBS
17	DIM	Method of supporting internal gear			IGSM

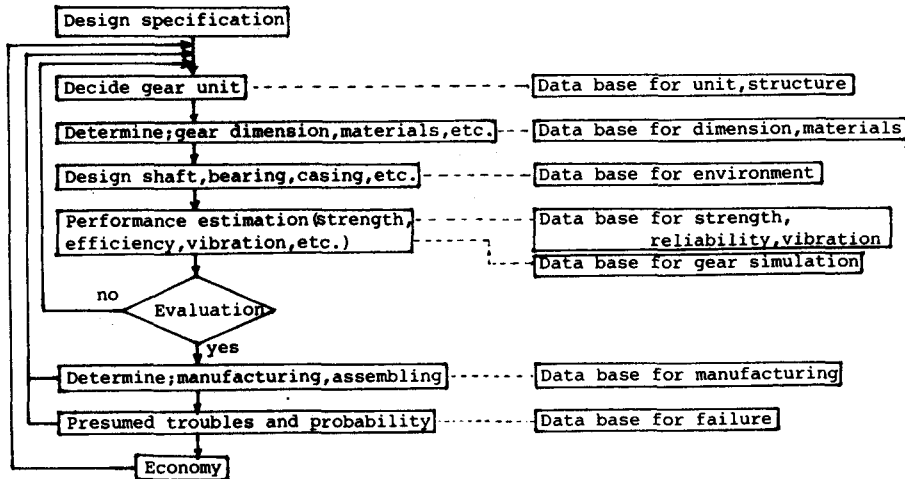


Fig. 3 A data base system for design of gear drives

다. 치차장치는 각종기계장치의 기본적인 구성요소를 모두 갖추고 있으므로 대단히 많은 파일과 속성을 필요로 한다. 즉 치차의 치수, 제원, 유회상태, 본체와 립부의 응력상태, 이의 굽힘응력, 치면접촉응력, 스코링상태, 진동·소음상태, 치차상자 및 베어링을 포함한 계의 진동문제, 유회제, 소재, 열처리, 주변환경, 가공, 정밀도, 예상되는 각종 트러블 등등이 필요하다. Table 2는 한가지 예로서 치수 및 제원에 관한 파일의 속성의 일부이다. 여기에 나타낸 Table 1과 같은 파일과 속성을 가진 DB 시스템을 한개의 DB로 구축하여 운용할 경우에는 너무 방대한 DB가 되어 현재의 퍼스널 컴퓨터 수준으로는 필요한 정보의 편집, 검색이 효율적으로 운용되지 못할 점도 있다.

4. DB구축에 및 구동

4.1 치차설계 및 손상 DB구축과 운용

전술한 바와 같이 치차장치의 DB구축에 방대한 데이터를 하나의 DB시스템으로 구축, 운용하는 데는 퍼스널 컴퓨터상에서는 너무 번잡하고 비효율적이다. 본 논문에서는 치차설계 및 손상 DB와 진동·소음트러블 슈팅 DB로 나누어 검색하는 방법을 사용하는 DB를 구축한다.

Fig. 3은 치차장치 설계지원 DB로서 필요한 점들 간추린 것으로, 치차용도, 명세, 설치공간, 구동기, 피동기등을 기입한 요구설계명세서를 받는다. 치차장치구조, 설계레이아웃, 치차단수결정을 거쳐서 차단에

Table 3 Data base files of a data base system for design and failure of gear drives

Name	Contents
A-UNIT	Gear drive unit; use, type of machine, etc.
A-OPE	Operating situation; speed, lubrication, etc.
A-GPAIR	Gear pair; gear type, center distance, etc.
A-GEAR	Gear; dimension, size, etc.
A-DETAIL	Description; long data as detail of design

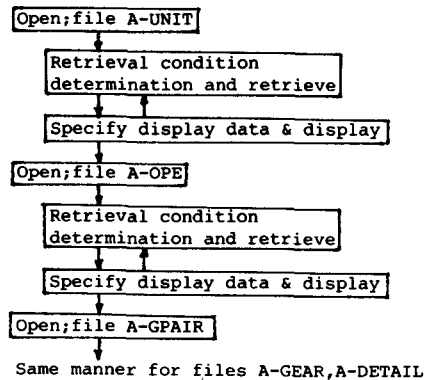


Fig. 4 The flow of operation of a data base system for design and failure of gear drives

Table 4 Structure of a data base, A-UNIT.dbf, for design of gear drives

Record	Field	Type	Width	Decimal	Input data
1	Data-no	Character	8		A001
2	Use	Character	30		Iron manufacturing machine
3	Machine-type	Character	40		Pipe manufacturing
4	Manufacture-co	Character	20		
5	Unit-type	Character	40		First stage(differential gear output)
6	Driver	Character	30		Motor
7	Rating-power-kW	Numeric	11	5	350.00000
8	Rating-speed-RPM	Numeric	9	3	1200.000
9	Driven-machine	Character	40		Pipe manufacturing
10	Manufacture-data	Date	8		
11	User	Character	20		
12	Operation-term	Character	10		1 year
13	Operation-time-d	Numeric	6		
14	Gear-type	Character	16		Cylindrical gear
15	Trouble-data	Data	8		64.1.12
16	Same-trouble-no	Character	4		Many
17	Detection-begin	Character	40		Increase of noise and input power
18	Failure-position	Character	30		Pinion, gear
19	Failure-1	Character	16		Tooth crack
20	Failure-2	Character	16		Pitting
21	Failure-3	Character	30		Plastic flow, scoring
22	Cause-1	Character	50		Lack of tooth flank hardness
23	Cause-2	Character	50		
24	Cause-3	Character	50		
25	Countermeasure	Character	80		Change of heat treatment to case hardening
26	result	Character	20		OK

Note: Length of field in dBASE III is within 10 letters but here longer description is written for the reader's comprehension

의 치수비 결정, 치수, 제원, 치차재료, 열처리방법, 정밀도 등을 결정한다. 치차본체가 결정되면 치차를 둘러싸고 있는 주위의 축, 베어링, 치차상자, 커플링 등을 설계한다. 다음에는 K 치(K factor), U 치(Unit-load)* 등에 의해 치차장치 수명, 신뢰성 검토, 굽힘 응력, 치면응력, 스크류링, 마멸, 진동·소음레벨, 효

율동 치차성능 전반에 걸쳐 계산한다. 이때에는 특히 파거의 설계에 및 손상예에 대한 DB뿐만이 아니고 시뮬레이션프로그램이나 각 규격에 의한 계산프로그램도 DB로 이용한다. 이상과 같이하여 설계를 하면 평가판정후(파거 설계에 및 출하후 실제 가동상태의 데이터를 수집한 DB에 의해 판정), 부품검사, 조립, 공차 등 제작에 필요한 사항을 결정하고, 성능체크, 시운전, 예상되는 트러블에 대하여 신뢰성공학을 이용한 트러블확률 추산 및 그 대책을 수립한다. 또한 경제성 문제를 항상 고려한 최적의 수법을 사용한다.

이러한 DB의 구체적인 예를 Table 3에 나타낸다. 이 데이터베이스 파일중 일부를 Table 4에 보여준다(일부 데이터 동시에 표시). Table 3에서 A-DETAIL은 메모형 데이터(128문자 이상의 긴 데이터)를 표시하기

$$* : K = \frac{W_i}{dp_1 \cdot b} \cdot \frac{i+1}{i} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$U = \frac{W_i}{b \cdot m} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

으로,

i : 속도비,

W_i : 접선력(N),

dp_1 : 피니언 피치원 직경(mm),

b : 치폭(mm),

m : 모듈(mm)

Table 5 An example of output data (retrieval) of a data base system for design and failure of gear drives

Retrieval of content: Failure-1

Retrieve: Keyword Breakage

There are 7 data in specified condition

Retrieval of content: Rating-power-kW

Range of retrieval: upper 350 lower 0

There are 5 data in specified condition

<u>Data-no</u>	<u>Use</u>	<u>Machine-type</u>
A0007	Construction machine	Tractor shovel
A0009	Machine tool	Lathe
A0015	Material handling machine	Conveyer belt for ore carrier
A0017	Material handling machine	Conveyer belt for ore carrier
A0022	rail road	Power transmission gear for electric train

<u>Data-no</u>	<u>Cause-1</u>	<u>Result</u>
A0007		
A0009	Unsuitable heat treatment of induction hardening of tooth	OK
A0015	Alignment error	OK
A0017	Unsuitable heat treatment of induction hardening	OK
A0022	Alignment error	OK

<u>Data-no</u>	<u>Countermeasure</u>
A0007	
A0009	Change of material; SCM4→SCM21, change of heat treatment; to case hardening
A0015	Increase module and face width
A0017	Hardened to tooth fillet
A0022	Crowning, changing of material and heat treatment(to induction hardening)

<u>Data-no</u>	<u>Continuous-oper?</u>	<u>Lubricant</u>
A0007	Intermittent	Gear oil SAE90
A0009	Continuous	Mechanical oil 52
A0015	Unkown	
A0017	Unkown	
A0022	Intermittent Gear	Compound No. 9

위한 것으로, 설계강도, 진동계, 손상상태등등의 자세한 데이터를 수록하고 있다.

이 DB 시스템의 구동을 Fig. 4에 보여준다. 기본적으로 데이터입력, 수정, 검색, 보존, 설명기능등을 Fig. 4와 같이 파일별로 순차적으로 오픈하는 방법을 이용하였다. 비교적 단시간에 처리할 수 있는 장점이 있다. 구동에 필요한 각종프로그램은 생략한다. Table 5는 이상의 치차설계 및 손상 DB 시스템으로부터 얻어내는 출력의 한가지 예를 보여주고 있다. 이 경우는 과거 설계한 기종중에서 이의 절손이 발생한 경우, 정격 350 kW까지의 범위내에서 용도, 기종, 원인, 대책등을 보여주고 있다.

이상 설명한 바와 같이 어떤 치차장치를 설계하려할 때 과거의 유사한 손상에를 검색하는 예를 들어 설명하였다. 따라서 새로운 설계의 기본설계에 과거예를 쉽게 참조할 수 있는 DB 시스템으로 사용할 수 있다.

4.2 진동·소음 트러블슈팅 DB 구축 및 운용

치차장치 운전시 진동·소음 트러블이 발생했을 때의 원인탐색 및 대책을 강구하기 위한 트러블슈팅 DB 시스템을 Fig. 5에 보여준다. 이러한 DB 시스템은 설계시에 예상되는 진동·소음 트러블을 미리 배제하기 위한 DB로서도 이용할 수도 있고, 실제 운전시에 트러블이 발생한 후 사후대책에 이용할 수도 있다.

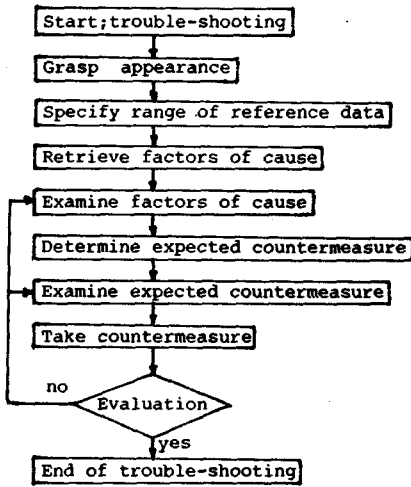


Fig. 5 A data base system for trouble-shooting of vibration and noise of gear drives

본 논문의 DB 시스템에서 트러블슈팅 개시 및 원인 인자검토에서는 정해진 순서에 의해 트러블 슈팅 개시 및 검토를 하는 순서형 DB를 포함하고 있다. 각 진행 과정에서 필요한 DB 파일은 Table 6에 보여주고 있다. Table 7은 DB 파일중 V-STATE의 속성과 데이터의 일부를 나타낸다. 이러한 기본파일외에도 설명, 코드 등의 DB 파일도 포함되어 있다. Fig. 5의 현상파악에서는 우선 진동·소음의 형태, 이상원인, 즉 설계(설계 명세조건을 넘는 사용상태인가?), 제조(예상되는 결함), 서비스(설계, 제작이 만족할만한데도 고장난 이유, 환경)등으로 나누어 현상을 파악한다. 다음에 이전에 발생했던 유사트러블의 예를 검색한다. 원인 확정 및 발생확률을 검토하고 대책의 후보를 나열해본 후 가장 타당하다고 생각되는 대책을 선정한다. 여기에 따라 설계변경인가 또는 보수로 끝낼 것인가 등의 대책을 시행하고 이의 경제성을 판정한다.

Table 6 Data base files and attributes for trouble-shooting of vibration and noise of gear drives

Name	Contents
V-UNIT	Gear drive unit specification, trouble name, etc.
V-OPE	Operating and using situation of gear drives, etc.
V-STATE	Contents of vibration and noise, etc.
V-GPAIR	Gear pair specification, measured values, etc.
V-GEAR	Gear, shaft, bearing, etc.
V-GACC	Gear accuracy
V-DETAIL	Detailed description as state of vibration, etc.

Table 7 Structure of a data base, V-STATE.dbf, for trouble-shooting of vibration and noise of gear drives

Record	Field	Type	Width	Decimal	Input data
1	Trouble-no	Character	10		V004
2	Vibration-measure?	Logic	1		T
3	Vib-measure-position	Character	60		
4	Vib-measure-instrume	Character	60		
5	Vib-measure-method	Character	60		
6	Vib-freq-analysis-co	Character	10		
7	Vib-level	Character	60		Over regulation revolution
8	Vib-meas-no-load-sp	Numeric	4	1	38.0
9	Vib-meas-load-sp	Numeric	4	1	38.0
10	Vib-meas-no-load	Numeric	4	1	0.0
11	Vib-meas-no-load-rev	Numeric	5		0
12	Vib-meas-load	Numeric	4	1	46.0
13	Vib-meas-load-%	Numeric	3		100
14	Vib-meas-rev-%	Numeric	3		100
15	Vib-position	Character	60		Shaft

Record	Field	Type	Width	Decimal	Inputdata
16	Vib-characteristics	Character	60		Vibrate at definite revolution
17	Noise-measure?	Logic	1		T
18	Noise-meas-position	Character	60		
19	Noise-meas-instrument	Character	60		
20	Noise-meas-method	Character	60		
21	Noise-freq-anal-code	Character	10		
22	Noise-level	Character	60		
23	Noise-meas-no-load-sp	Numeric	5	1	0.0
24	Noise-meas-load-sp	Numeric	5	1	0.0
25	Noise-meas-no-load	Numeric	5	1	0.0
26	Noise-meas-no-load-re	Numeric	5		0
27	Noise-meas-load	Numeric	5	1	0.0
28	Noise-meas-load-%	Numeric	3		0
29	Noise-meas-rev-%	Numeric	3		0
30	Noise-character	Character	60		
31	Coincident-component	Character	60		Shaft rpm, meshing freq.: 28620rpm,
32	Alignment-code	Character	10		477Hz
33	Alignment-descript	Character	60		
34	Unit	Character	60		

Note: Length of field in dBASE III is within 10 letters but here longer description is written for the reader's comprehension

진동·소음 트러블 슈팅 DB 시스템 구동프로그램의 흐름을 Fig. 6에 나타낸다. 파일을 랜덤 액세스하여 제어하는 방법으로 검색의 조건을 어느 항목에 대해서도 쉽게 지정할 수 있다. 즉 각 DB에 데이터 입력 후 검색출력하기 위해 몇개의 파일을 동시에 오픈하여 필요한 정보를 검색한다. 검색은 참조데이터의 범위를 지정한 후, 표형식으로 출력시킨다. 이때의 메뉴로서는 항목 결정, 과거항목군 참조, 항목입력의 수정, 항목설명, 표형식 출력, 가로형태의 표출력, 항목군의 보존이다. Table 8은 자동차가운데서 1000kW까지의 정격출력을 가진 치차장치에 대한 DB 시스템의 출력예를 보여

준다.

4.3 설계 및 손상 DB와 진동·소음 트러블 슈팅 DB와의 비교검토

여기에 예로 든 두 가지의 DB 시스템의 구축 및 구동에는 각기 다른 방법을 채용하여 보았다. DB의 구성은 거의 대동소이하나 구동제어 방법의 주된 차이점은 대략 다음과 같다.

4.1의 DB 구축 및 운용방법의 장점으로서 Fig. 4에서 보여주듯이 오픈하고 있는 파일은 언제나 한개이므로 처리가 빠르고 조작의 이해가 쉽다. 또 수많은 DB라 할지라도 쉽게 취급할 수 있다. 단점으로서 검색, 표시의 방법 및 순서가 구동프로그램에 의해 제약된다는 점이다. 한편 4.2의 방법(Fig. 6)으로는 검색조건을 어떤 항목에 대해서도 쉽게 언제나 지정할 수 있고 표시된 화면을 자유롭게 설정할 수 있는 장점이 있다. 단점으로서 처리에 시간이 걸리고(대량 데이터일 경우 더욱 많은 시간이 걸림) 자유도가 큰 반면 사용자가 현재 무엇을 하고 있는지 위치를 파악하기가 어려운 점이 있고, 사용하는 소프트웨어에 따라 한번에 오픈할 수 있는 파일의 수가 제한되는 등의 약점이 있다.

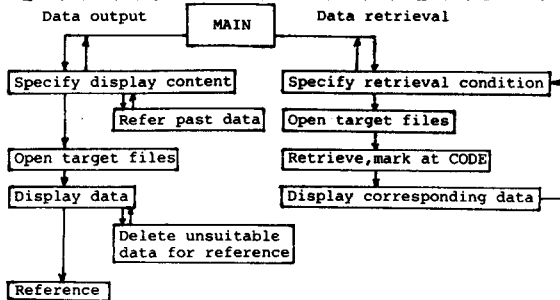


Fig. 6 The flow of operation of a data base system for trouble-shooting of vibration and noise of gear drives

Table 8 An example of output data (retrieval) of a data base system for trouble-shooting of vibration and noise of gear drives

Retrieval of content: Use

Retrieve: Keyword Automobile

There are 8 gear units in specified condition.

Retrieval of content: Stage

Retrieve: Keyword 1

There are 16 gears in specified condition

Retrieval of content: Pinion-gear?

Retrieve: Keyword 1

There are 8 gears in specified condition

Retrieval of content: Rating-power-kW

Retrieve: upper; 1000 lower; 0

There are 7 gears in specified condition

No : Content :

1 : Trouble-no	: V0006
2 : Use	: Automobile
3 : Unit-type	: 4 stage transmission
4 : Rating-power-kW	: 93.75000
5 : Rating-speed-RPM	: 6500.000
6 : Vib-characteristic	:
7 : Vib-level	:
8 : Vib-position	:
9 : Noise-character	: Unpleasant noise of high frequency, abnormal noise at acceleration
10 : Noise-level	:
11 : Noise-meas-load	: 0.0
12 : stage	: 1
13 : Gear-type	: Helical gear
14 : Module	: 2.250
15 : Helix-angle	: 36.400000
16 : Backlash	: 0.07
17 : Pinion-gear?	: 1
18 : Tooth-number	: 18
19 : Prof-modification?	: F
20 : Qty-prof-modify	: 0
21 : Cause-1	: Design: torsional vibration of driving shaft system
22 : Countermeasure	: Change of vibration characteristics of shaft

따라서 DB 구축 및 구동 방법에는 연구자에 의해 다양한 방법을 창조해낼 수도 있으며, 여기에서는 그 한가지 방법을 제시하였다. 여기에 제시한 두가지 DB의 단점을 보완하여 한개의 DB로 통합구동하는 방법도 생각할 수 있다. 따라서 여기에 제시한 방법이 필요한 정보의 입력, 검색등에 대해 최선의 방법이라고

생각하기는 어렵고 이보다 더욱 더 효율적이고도 좋은 방법도 생각될 수 있다.

5. 결론 및 검토

본 논문에서는 설계 및 손상, 진동·소음 트러블 슈팅

에 주목하여 치차장치 엑스퍼트시스템 개발에 필요한 데이터베이스의 구축 및 구동에 대하여, 또, 데이터베이스의 유효한 이용법에 대하여 추구하였다. 물론 여기에 제시한 방법 이외에도 여러가지 방법은 모색될 수 있으나 퍼스널 컴퓨터상에서 구축하는 방법으로는 바람직한 것이 아닌가 한다. 이 시스템에서의 메모형 데이터의 입출력 및 도형 데이터의 입출력은 본논문에서는 취급하지 않았다. 앞으로의 연구에 의해 본논문의 프로그램을 더욱 향상시켜 도형 데이터의 입출력도 가능하도록 할 것이다.

본 논문에서 구축한 치차설계 및 손상, 진동·소음처리분 슈팅 데이터 베이스는 개인용 퍼스널 컴퓨터상에서 비교적 쉽게 구축할 수 있고 검색도 효율적으로 수행할 수 있음을 보여 주었다. 앞으로의 개인용 컴퓨터의 발달과 함께 더욱더 효율적이고 실제적인 엑스퍼트 시스템의 개발에 그 기초를 구축하였다.

치차장치 데이터 베이스의 연구는 치차의 이론적이고 실험적인 해석과는 전혀 다른 분야로서 치차자체에 대한 물리적인 현상보다는 현실과의 대응을 하기위한 지식을 증시하고 있다. 데이터베이스 및 엑스퍼트시스템에 관한 연구는 컴퓨터기술의 발달에 크게 의존하고 있고 또 컴퓨터의 지식 없이는 진행할 수 없는 일이다. 이런 가운데서 컴퓨터의 전문가가 아니고 치차연구자로서 즉 기계기술자로서 할 수 있는 일이 무엇인가를 잘 파악하면서 앞으로의 엑스퍼트시스템을 구축할 필요가 있을 것이다.

後 記

본 연구는 京都大學 工學部 設計工學研究室의 助手 野中鉄也氏 및 浦上氏, 赤堀氏 등 연구원의 많은 도움을 받아 수행되었다. 이에 깊은 감사의 뜻을 포함한다.

참 고 문 헌

(1) Roth, F.H., Waterman, D.A., Lenat, D.B. ed, 1983, "Building Expert Systems", Addison-Wesley.
 (2) Barr, A., Feigenbaum, E.A. ed., 1981, "The Handbook of Artificial Intelligence, 1~3", Pitman Books Ltd.
 (3) Feigenbaum, E.A., Clancey, W.J., 1981, "知識工學—その方向と目標", 數理科學, No. 24, 溝口, 諏訪 日本語譯, pp.11~20.

(4) Klahr, P. and Waterman, D.A. ed., 1986, "Expert Systems", Addison-Wesley.
 (5) Waterman, D.A. 1985, "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley.
 (6) 熊本, 鈴木, 井上, 池西, 1985, "關係データベース操作言語によるプラント異常診斷用エキスパートシステムの作成", 日本計測自動制御學會論文集, Vol. 21, No. 8, pp.72~78.
 (7) 奥村, 熊本, 井上, 1986, "構造化プログラミング型知識表現を用いたプラント異常診斷用エキスパートシステム", Proceedings, 2nd Symposium on Human Interface, pp.51~58, Tokyo.
 (8) Waldron, K.J., Waldron, M.D., Wang, M., 1986, "An Expert System for Initial Bearing Selection", ASME Paper No. 86-DET-125, Design Engineering Technical Conference, Columbus, Ohio.
 (9) Kehler, T.P., 1983, "Industrial Strength Knowledge Bases; Issues and Experiences", Proc. IJCAI-83, pp.108~109.
 (10) AGMA 218.01, 1982, "For Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur and Helical Involute Gear Teeth".
 (11) DIN 3990, 1970, "Tragfähigkeitsberechnung von Stirn und Kegelrädern, Blatt 1~10, Beiblatt 1, 2, (Entwurf 1973)".
 (12) ISO/DIS 6336, 1983, "Part 1~5, Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears".
 (13) 日本機械學會, 1979, "技術資料・齒車強さ設計資料".
 (14) 久保愛三, 1981, "齒車運轉狀態シミュレーションプログラム", 京都大學工學部精密工學科 設計工學研究室.
 정태령, 1987, "치차운전상태 시뮬레이션 프로그램", 한양대학교 기계공학과 설계공학연구실.
 (15) 日本機械學會 研究協力部會, RC-SC-25, 1974, "齒車の損傷の原因と對策に關する調査研究分科會研究成果報告書".
 (16) 日本機械學會研究協力部會, RC-SC-38, 1977, "齒車の精度と設計に關する調査研究分科會研究成果報告書".
 (17) 日本機械學會, 研究協力部會 RC-SC-48, 1980, "齒車の振動と騒音防止に關する調査研究分科會·研究成果報告書".