

# 웹기반 크리프 물성 데이터베이스 개발

허용학<sup>†</sup> · 백운봉 · 이완규 · 박휘립 · 정인현

한국표준과학연구원 산업측정 표준부  
(2002. 9. 17. 접수 / 2002. 10. 18. 채택)

## Development of Web-based Creep Property Database

Yong-Hak Huh<sup>†</sup> · Un-Bong Baek · Wan-Kyu Lee · Whi-Lib Park · In-Hyeon Jung

Division of Industrial Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science  
(Received September 17, 2002 / Accepted October 18, 2002)

**Abstract** : User-friendly-web-based database system for searching creep property data was developed. This system includes about 38000 creep data for 270 different materials including low carbon steel, stainless steel and alloy steel. Data on creep rupture, creep deformation, creep crack growth and creeping materials can be searched through this system. Retrieved data is displayed in numeric form and also presented in graphical form for visualizing the data. Furthermore, the creep rupture data is designed to be fitted to a regression equation of logarithmic stress using time-temperature parameter(TTP). The degree of the regression equation, orthogonal polynomials, was determined using analysis of variance.

**Key Words** : web-based creep property database, creep rupture, creep deformation, time-temperature parameter, orthogonal polynomials

### 1. 서 론

고온 환경하에서 크리프 손상은 석유화학 및 발전 설비등의 고온 환경 설비에서 발생하는 주요 손상중의 하나이다. 따라서 이러한 구조물의 설계 및 제작 그리고 안전 관리에 있어서 재료의 크리프 특성 데이터는 고온 크리프 손상의 평가 및 예측에 필요한 매우 중요한 정보이다<sup>1,2)</sup>.

이러한 크리프 물성 데이터를 확보하기 위한 노력이 많이 진행되었고, 일부 연구기관에서는 집중적인 계획과 투자를 통하여 이러한 데이터를 확보하고 있다<sup>3,4)</sup>. 일본 금속재료 기술연구소(NRIM, NIMS로 변경)에서는 1968년부터 체계적인 시험 준비와 구축 계획으로 46종의 내열 소재에 대한 크리프 물성을 구축하고 있다. 이들 데이터는 데이터 시트(data sheet)로 발간하여 세계 많은 연구기관에 배포되고 있으며, 많은 기관으로부터 신뢰성있는 데이터로 인정받고 있다. 영국의 국립 물리 연구소(NPL)에

서도 10여년의 크리프 시험을 통하여 66여종의 고온용 소재에 대한 크리프 데이터를 구축하였다. 이러한 집중적이고 체계적인 구축 계획하에 얻어진 데이터외에 기존의 연구자들의 연구 결과로 얻어진 데이터가 많이 있으나, 이들 데이터는 각종 전문 잡지를 비롯한 학술 잡지에 산재되어 있다. 또한 일부 고온 설비 안전성 평가 및 설계 전문 기관에서는 그들의 고유한 목적을 위하여 일부 국한된 소재에 대한 데이터를 확보하고 있으며, 이들 데이터는 제한적인 범위내에서 활용되고 있다<sup>5)</sup>.

고온 설비의 설계, 유지 및 보수 그리고 수명 연장 등에 크리프 물성 데이터를 효율적으로 사용하기 위해서는 관계 데이터를 미리 준비하고 접근하기 쉬워야한다. 그러나 대부분의 데이터는 방대하게 그리고 여러곳에 산재해 있고 문서의 형태로 존재하고 있기 때문에 사용자들이 이들 데이터를 효율적으로 그리고 체계적으로 사용하는 것이 그리 용이하지 않다. 최근들어 컴퓨터의 성능과 정보 기술의 발달로 효율있는 데이터의 관리 기반이 형성되고 있으며, 이러한 데이터를 활용한 데이터 관리 시스템의 개발에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>6,7)</sup>.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
yhuh@kriss.re.kr

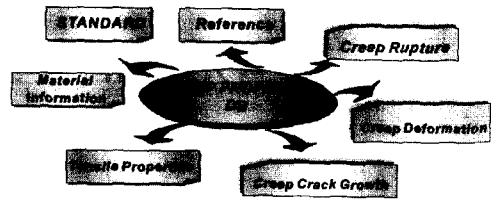
Table 1. Number of creep property data stored in the greep database system

Property	Material	Carbon	Alloy	Stainless	Cr	Ni	etc	Total
		Steel	Steel	Steel	Steel	Steel		
Creep Deformation	creep strain-time	-	130	164	39	-	-	333
	Minimum Creep Strain rate	-	130	164	39	-	-	333
Creep Rupture	Rupture Strength	353	3940	1950	1963	784	562	9,552
	Rupture Time	353	3940	1950	1963	784	562	9,552
	Elongation	353	3940	1950	1963	784	562	9,552
	Reduction of Area	353	3940	1950	1963	784	562	9,552
Total								38,874

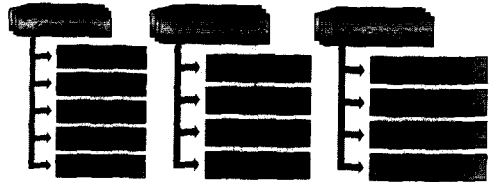
따라서 본 연구에서는 수집된 크리프 물성 데이터를 효율적으로 관리하고 사용할 수 있는 데이터베이스 시스템을 개발하고 이를 인터넷상에서 활용할 수 있는 웹 기반 시스템으로 구성하였다. 본 데이터베이스 시스템을 사용자 편의 시스템의 구성하기 위하여 모든 데이터를 그래픽으로 표시하도록 하였으며, 이들 데이터의 효율적인 처리를 위하여 통계적 기법을 사용하였다. 본 연구에서 수집된 데이터는 일본 금속재료 기술연구소에서 구축된 크리프 데이터<sup>3)</sup>를 기반으로 하였다.

## 2. 데이터 베이스의 내용

고온 구조물의 크리프 손상 및 수명을 평가하기 위한 데이터는 평가 방법에 따라 달리 사용되어진다. 손상 허용 개념에 의한 평가에서는 크리프 균열 성장 속도에 대한 데이터가 요구되고, 시간-온도 매개변수(time-temperature parameter; TTP)에 의한 평가에서는 크리프 파단 시간과 파단 강도에 대한 데이터가 필요하며, 크리프 변형을 고려한 크리프 손상의 평가에서는 시간에 따른 크리프 변형 속도에 대한 데이터가 사용된다. 따라서 이러한 다양한 크리프 물성 데이터가 포함된 데이터베이스 시스템을 구성하기 위하여 본 시스템은 Fig. 1과 같은 데이터의 내용으로 구성하였다. Fig. 1(a)에는 크리프 물성 데이터의 데이터 전체의 내용을 나타내고 Fig. 1(b)에서는 크리프 물성의 주요 데이터 세부 내용도 식적으로 표현하였다. 본 시스템에는 저 탄소강, 스테인레스강 그리고 합금강등 약 270강종에 대한 크리프 물성 데이터가 구축되었으며, Table 1은 본 시



(a) content involved in DB system.



(b) detailed content involved in the respective data related to creep rupture, creep deformation and creep crack growth property.

Fig. 1. Schematic drawing of content of creep property database system.

스템에 저장되어 있는 각 강종에 대한 데이터의 현황을 나타낸다. 합금강과 스테인레스 강 그리고 크롬 강에 대하여 333개의 크리프 변형에 대한 데이터가 시스템에 저장되어 있고, 크리프 파단 강도는 9500여개의 데이터가 있으며, 모든 데이터는 약 38000개이다. 크리프 균열 성장에 대한 데이터는 현재 구축 중에 있어 본 시스템에는 아직 입력되지 않았다.

## 3. 데이터 베이스 시스템 구조

### 3.1 하드웨어의 구성

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 데이터베이스 시스템의 하드웨어구조를 나타낸다. 본 연구에서는 시스템의 데이터 처리 효율을 증가시키기 위하여 2개의 데이터 서버와 네트워크 서버를 채용하였다. 데이터 서버는 Enterprise 3000 W/S (SUN Micro사)를 사용하였으며, 이 서버에서는 데이터 베이스 그리고 데이터 베이스와 검색 프로그램간의 연결 프로그램(interface program)이 운영되도록 하였다. 데이터 베이스 엔진으로는 상용 오라클(ORACLE DBMS Ver. 8.05)를 사용하였다. 네트워크 서버에서는 데이터 베이스의 검색과 데이터 출력을 수행하는 프로그램, 데이터 베이스와 웹(Web)과의 연결(interface)를 위한 웹 서버 그리고 데이터 베이스 관리자(database server manager)가 운영된다. 네트워크 서버로는

Window NT의 운용 시스템을 가지는 PC 서버(600MHz)를 사용하였으며, 본 시스템의 검색프로그램은 자바(JAVA)로 작성하였다. 데이터 서버와 네트워크 서버는 LAN으로 연결되고, 이들간의 통신은 TCP/IP를 통하여 이루어진다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 사용자가 웹 브라우저를 통하여 시스템에 접속하면 PC상의 웹 서버를 통하여 검색시스템이 가동되고 검색 조건에 따라 데이터 서버에 연결되어 데이터가 검색되어진다. 검색 시스템은 데이터베이스 관리자(database server manager) 및 개방형 데이터 베이스 연결자(ODBC;open database connectivity) 관리자를 통하여 데이터 베이스를 접근하고 데이터가 검색되어진다.

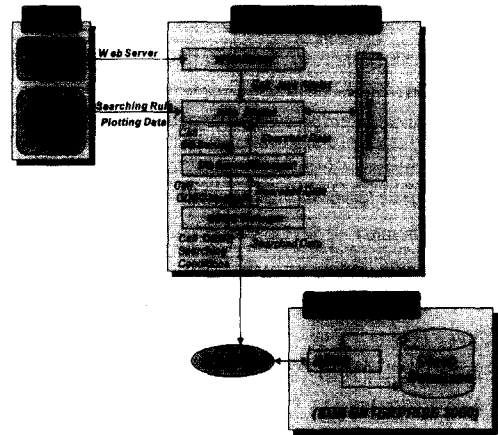


Fig. 2. Structure of creep database system.

Table 2. Attribute of data related to the creep rupture property.

Property	Creep_Rupture			
	Field	Type	Length	Details
Idcode	VarChar	3	Materials	N
Ref_code	VarChar	10	Reference Code	Y
Test_temp	Number	5	Test Temperature (°C)	Y
Stress	Number	6	Stress (MPa)	Y
Tr_data	Number	10	Time to rupture (hours)	Y
El_data	Number	3	Elongation (%)	Y
Ra_data	Number	3	Reduction of Area (%)	

Table 3. Attribute of data related to the creep deformation property

Property	Creep_Def			
	Field	Type	Length	Details
Idcode	VarChar	3	Materials	N
Ref_code	VarChar	10	Reference Code	Y
Test_temp	Number	5	Test Temperature (°C)	Y
T_data1	Number	5	Stress (MPa)	Y
T_data2	Number	5	Instantaneous strain at the instant when the load is applied	Y
Strain_5	Float	F10.2	Time to total stain of 0.5%	Y
Strain_10	Float	F10.2	Time to total stain of 1.0%	Y
Strain_20	Float	F10.2	Time to total stain of 2.0%	Y
Strain_50	Float	F10.2	Time to total stain of 5.0%	Y
Time_TerC	Float	F10.2	Time to tertiary creep (hours)	Y
Min_Cr	Float	F15.10	Minimum creep rate(%/h)	Y
Time_Tr	Float	F10.2	Time to rupture(hours)	Y
Elongation	Float	F5.2	Elongation(%)	Y
Reduction	Number	3	Reduction of Area (%)	Y
Req	VarChar	30	Requirement	Y

### 3.2 데이터의 관계 및 속성

데이터 서버(DB server)에 저장되어 있는 데이터 간의 구성과 연결 관계의 정의는 데이터의 검색과 처리의 효율성과 밀접한 관계가 있다. 관계형 데이터 베이스는 데이터 베이스 구성 방법으로 많이 사용되는 방법<sup>8)</sup>으로 데이터 베이스에 속해있는 데이터들을 서로 연관성이 많은 항목끼리 묶는 표(table) 형태로 구성하여 표의 개념과 수학적 관계를 가지도록 한다. 이러한 관계는 행과 열의 관계로 연결되어진다. 이와 같은 관계형 데이터 베이스 개념에 근거를 두고 본 데이터 시스템은 크리프 파단(creep\_rupture), 크리프 변형(creep\_def), 크리프 균열 성장(creep\_crack), 고온 인장 성질(short tensile), 재료 정보(mater\_inf)등의 5개의 표로 구성하였다. Table 2와 3은 본 시스템을 구성하는 관계형 표 가운데 크리프 파단과 크리프 변형 표의 속성을 보여주고 있다. Table 2와 3에 나타난 바와 같이, 각각의 관계형 표에는 분야(field), 데이터 형태(type) 그리고 데이터의 크기(length)의 속성(attribute)들이 포함되도록 하였다. 분야에서는 각 데이터가 속해있는 분야를 나타내고 이 분야 이름으로 데이터 베이스 시스템의 데이터 검색과 표시 등의 프로그램 기능상에 사용되어진다. 데이터 형태는 분야에 속하는 데이터가 수치 데이터인지 문자인지를 구분하고 있고, 크기는 데이터의 저장 크기로서 저장 데이터의 구분과 저장 메모리등을 관리하는 자료로 사용하게 된다.

크리프 파단(creep rupture) 표에는 재료명(material), 데이터의 시험 조건인 응력(stress)과 온도(temperature), 크리프 파단 강도(creep rupture strength), 그리고 파

단시 크리프 연신률(creep elongation), 단면 수축률(RA)등의 데이터가 속해 있으며, 크리프 변형(creep deformation) 표에는 재료명, 응력과 온도와 같은 해당 데이터 시험 조건, 크리프 시간에 대한 크리프 변형률, 그리고 크리프 시간 곡선으로 2차 크리프 조건으로부터 얻어지는 최소 크리프 변형도(minimum creep strain rate) 등의 데이터로 구성된다. 크리프 균열 성장(creep crack growth) 표에는 재료명, 응력과 온도와 같은 해당 데이터 시험 조건, 그리고 크리프 시간과 크리프 균열 성장 속도, K와 C\*등과 같은 크리프 파괴매개변수(creep fracture parameter)등의 데이터로 구성되어 있다.

#### 4. 검색 시스템

##### 4.1 크리프 물성 검색 기능

Fig. 3은 본 연구에서 개발한 크리프 데이터 베이스에 포함된 데이터 검색 기능을 도식적으로 나타낸 것이다. 데이터 검색은 크리프 파단 강도, 크리프 변형, 크리프 균열 성장 그리고 크리프 특성에 따른 크리프 소재의 검색 등의 4종류로 구분하여 검색할 수 있도록 하였으며, Fig. 4는 이러한 검색을 수행하는 초기 화면을 나타낸다. 크리프 특성을 검색하기 위한 검색 조건으로는 재료를 선택하고 재료마다 검색하기를 원하는 온도를 선택하면 이들 조건에 해당하는 수치 데이터가 출력되며, 이들 데이터의 가시화를 위하여 그래프로 그 결과를 나타낼 수 있도록 처리하였다. Fig. 5는 선택된 재료와 온도의 검색 조건에 따라 검색된 수치 데이터와 그래픽 처리된 결과 화면을 보여주고 있다. 또한 이러한 크리프 데이터의 검색과 함께 크리프 데이터의 검색 조건에 따라 소재의 선택이 가능하도록 크리프 소재 검색 기능을 첨부하였다. 각각의 검색 데이터를 구축하는데 사용된 조건에 대한 정보는 데이터 수치에 대한 신뢰성 정보를 주고 있어 이에 대한 데이터의 제공은 매우 의미가 있다. 따라서 본 시스템에서는 이러한 정보를 제공하는 각각의 데이터에 대한 소재의 정보를 알 수 있도록 하였으며, Fig. 6은 그 예를 나타낸다. 소재의 정보에서는 소재의 화학적 조성(chemical composition)과 소재의 처리 조건(열처리 조건과 소재 제작 조건 등), 기본적인 고온 인장 강도 그리고 표준 규격등을 보여주고 있다.

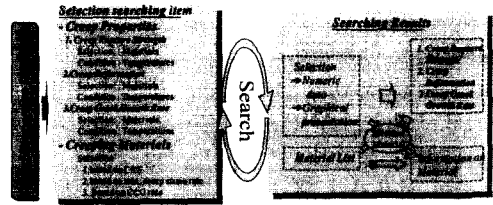


Fig. 3. Searching process for creep property database system.

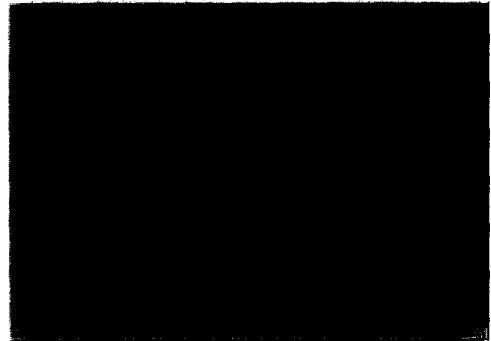


Fig. 4. Initial picture of creep property database system showing retrieval menu.

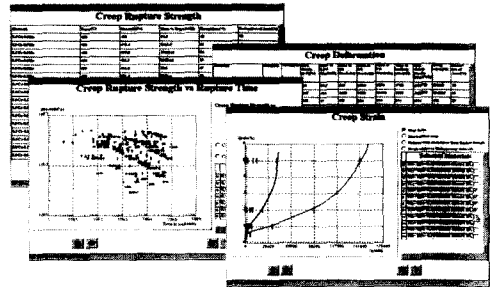


Fig. 5. List and graphical representation of the retrieved creep data.

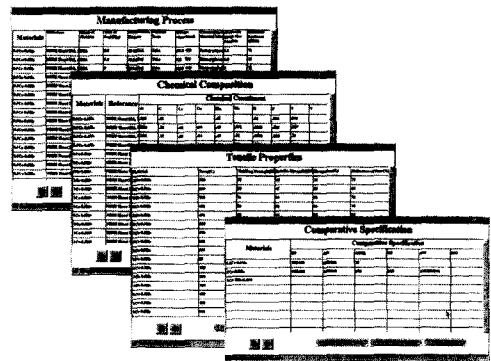


Fig. 6. Data on basic information of the selected materials.

이러한 크리프 데이터의 기본적인 제공외에 본 시스템에서는 검색된 크리프 물성 데이터가 파괴역학적으로 직접 이용이 가능한 형태로 사용될 수 있도록 하였다. 즉, 크리프 파단 강도 데이터는 시간-온도 매개변수(time-temperature parameter; TTP)에 대한 관계로서 사용하게 하였다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 TTP 계수로는 Larson-Miller 계수, Orr-Sherby-Dorn 계수 그리고 Manson-Haferd 계수등이 있고 다음과 같이 표현된다<sup>9)</sup>.

Larson-Miller 계수 :  $P_{LM} = T_K(Y + C)$   
 Orr-Sherby-Dorn 계수 :  $P_{OSD} = Y - \frac{Q}{R \times T_K}$   
 Manson-Haferd 계수 :  $P_{MH} = \frac{(Y - Y_a)}{(T_K - T_a)}$  (1)

여기서  $Y = \log_{10}(t_R)$ 은 대수 크리프-파단시간이고,  $C, Q, Y_a$  및  $T_a$ 는 재료 상수이다. Fig. 7은 이들 매개변수를 이용한 크리프 데이터의 그래픽 처리를 보여주고 있다. 또한 본 시스템에서는 이러한 매개변수에 의한 크리프 데이터를 표시하기 위해서는 통계적 기법을 이용하여 이들 데이터의 곡선을 피팅(fitting)하여 표시하도록 하였다. 곡선의 피팅의 차수는 사용자가 선택할 수 있도록 하였으며, 검색된 데이터의 피팅을 최적화하도록 하였다. 크리프 변형에 대한 데이터는 이차 크리프 영역(secondary creep region)에서 크리프 변형도와 크리프 강도와의 관계, 그리고 파단 시간과 크리프 변형도와의 관계로서 공학적으로 사용될 수 있다. 크리프 강도  $\sigma$ 와

안정 상태 크리프 변형도(steady-state creep strain rate)  $\dot{\epsilon}_{ss}$  그리고 파단 시간과의 각각의 관계는 각각 다음과 같다<sup>10)</sup>.

$$\dot{\epsilon}_{ss} = B\sigma^m \quad (2.a)$$

$$t_R = C \dot{\epsilon}_{ss}^{-p} \quad (2.b)$$

B와 C는 멱급함수(power function)와 Monkman-Grant 관계의 상수를 각각 나타내며,  $m$ 과  $p$ 는 각각의 관계에서의 지수를 의미한다. Fig. 8은 식(2)의 관계에 따른 검색된 데이터를 표시한 결과를 나타낸다.

### 4.2 데이터의 통계적 처리

Fig. 7에 보여준 바와 같이 본 데이터 베이스 시스템에서는 크리프 파단 강도를 검색한 후 이들 데이터를 공학적으로 활용할 수 있는 시간-온도 매개변수와와의 관계로 나타낼 수 있다. 이들 관계는 식(1)과 같은 형태로 나타내며 검색된 많은 데이터를 사용자의 선택에 따른 다차항의 식으로 표현할 수 있다.

식(1)의 관계식에 사용되는 온도( $T$ ), 응력( $S$ ), 크리프파단시간( $t_R$ ) 등의 데이터는 다음의 일반식으로 표현된다.

$$f(T, t_R) = f(S) \quad (3)$$

식(3)의 우변 항은 응력함수로서, 검색된 데이터

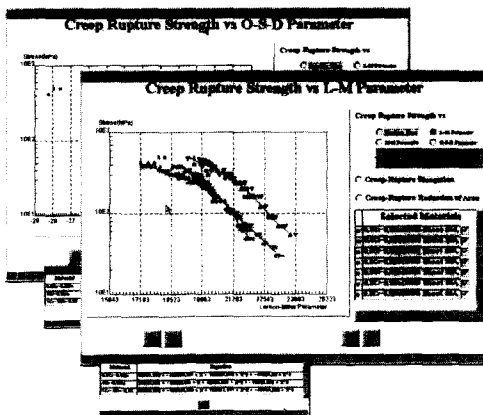


Fig. 7. Graphical representation of relationship between time-temperature parameter (TTP) and stress.

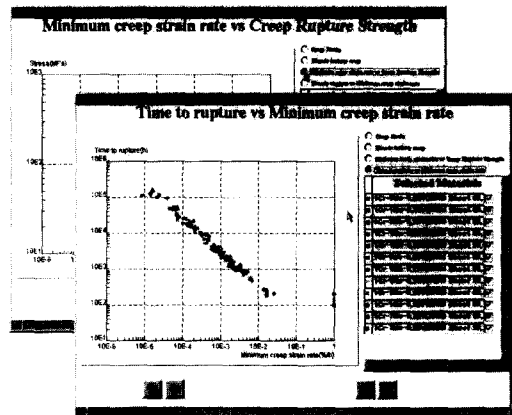


Fig. 8. Graphical representation of the searched data on minimum creep strain rate and time to rupture.

를 회귀 곡선으로 표시하는 대수응력의 다항식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k + \varepsilon \quad (4)$$

여기서  $X = \log_{10}(S)$ ,  $(b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$ 는 회귀계수,  $k$ 는 차수 그리고  $\varepsilon$ 은 오차를 각각 의미한다.

식(1)에 사용되는 재료 상수의 값들은  $\log_{10}$ 에 대한 잔차 제곱 합(residual sum of squares)이 최소가 되도록 함으로서 최적화할 수 있다.  $k$ 차의 회귀곡선의 다항식 계산은 계산 정밀도와 오차한계를 고려하여 직교 다항식을 이용하였으며 5차이내의 차수에 대한 다항 계수들은 분산분석에 의한 F-검정을 통하여 95%유의수준으로 결정되도록 하였다. Fig. 7은 이러한 방법에 의하여 결정된 회귀 곡선의 다항식 계수와 데이터의 피팅 결과를 보여주고 있다.

## 5. 결 론

크리프 물성 데이터를 검색할 수 있는 사용자 편의 웹 기반 데이터 베이스 시스템을 개발하였다. 본 시스템에는 저 탄소강, 스테인레스강 그리고 합금강을 포함한 270여 강에 대하여 약 38000개의 크리프 물성 데이터가 구축되었다. 크리프 파단, 크리프 변형, 크리프 균열 성장 그리고 크리프 재료에 대한 검색을 할 수 있는 기능을 시스템에서 구현하였고, 검색된 데이터는 수치 데이터의 표현과 함께 데이터의 가시화를 위하여 그래픽 처리를 하였다. 또한 크리프 파단 강도와 시간-온도 매개 변수의 데이터는 직교 다항식을 이용한 회귀곡선의 식으로 표현할 수 있도록 구성하였다.

**감사의 글 :** 본 데이터 베이스의 구축에 사용된 NRIM datasheet는 본 데이터 베이스가 공공 목적으로 사용된다는 조건하에 NRIM으로부터 사전 양해를 얻었음을 부기한다.

## 참고문헌

- 1) C.M., Jeffery and C.K., Bullough, "In-Service Structural Integrity Assessment Using Computerized Materials Models and Data," Computerization and Networking of Materials Databases: Third Volume, ASTM STP 1140, pp. 396-408, 1992.
- 2) S. Nishijima, "Common data Processing Needs for Materials Database," Computerization and Networking of Materials Databases: Forth Volume, ASTM STP 1257, pp. 9-19, 1995.
- 3) National Reserach Institute for Metal, NRIM Creep Data Sheet, No. 1-46, 1978-1999.
- 4) NTL Measurement Note, An Introduction to The NPL Creep DataBase.
- 5) F. Ueno, S. Kano, S. Iwata, M. Fujita, Y. Kurihara, H. Nakajima, N. Yokoyama and S. Iwata., "Development of Data-Free Way Distributed Database System for Advanced Nuclear Materials," J. Nucl. Sci. Technol., No. 12, pp. 1314-1334, 1994.
- 6) D.B., Anderson, "Expert Systems and Materials Property Databases," Computerization and Networking of Materials Databases:Third Volume, ASTM STP 1140, pp. 243-253, 1992.
- 7) F.J., Smith, M.V. Krishnamurthy, S.R. Tripathy and P.Sage, "An Intelligent Object-oriented Database System for Materials Information," Computerization and Networking of Materials Databases: Forth Volume, ASTM STP 1257, pp. 183-193, 1995.
- 8) J.H., Park and J.H., Song, "Development of Fatigue Strength Database," Transactions of the KSME A. Vol. 22, No. 11, pp. 1947-1955, 1998.
- 9) N.E. Dowling, Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall, New Jersey, pp. 697-704, 1993.
- 10) R.W. Evans and B. Wilshire, Creep of Metals and Alloys, The Institute of Metals, London, pp. 18, 1985.