

《기술보고》

발전로 열수력 실험 데이터 뱅크의 구축

방영석 · 김은경 · 김효정

한국원자력안전기술원

이상용

한국원자력연구소

(1994. 9. 12 접수)

요 약

최적 열수력 안전해석 계산코드의 검증에 이용될 수 있는 열수력 실험데이터, 실험데이터 관련 설명 자료, 데이터베이스 운영체제 및 인터페이스 등으로 구성되는 단순화된 열수력 실험 데이터 뱅크 (Simplified Organization of Thermalhydraulic Experiment Databank, SORTED)를 개발하였다. 이를 위하여 USNRC와의 국제 연구 협력을 통해 ENCOUNTER 실험데이터를 도입하였고, 이를 기본으로 코드 평가 목적에 적합하도록 단순화된 데이터베이스 운영관리체제 및 사용자 편의성을 강조하는 인터페이스 등을 개발하였다. 개발된 SORTED의 이용성, 사용자 편의성 등이 검증되었으며, 코드 평가에 적절히 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

1988년 미국 원자력 규제법규인 10 CFR 50.46 (Acceptance Criteria) [1] 및 10 CFR 50의 Appendix K (Emergency Core Cooling System Evaluation Model) [2] 이 개정된 이래 약 5년의 세월이 흐르고 있다. 원자로 안전해석 방법에 있어 기존의 보수적 결정론적 방법 이외에 최적 확률론적 평가 방법을 허용하는 것을 골자로 하고 있는 본 법규개정은 미국내뿐만 아니라 국제적으로도 적잖은 영향을 미쳐 왔다. 이 영향중의 주목할 만한 사항은 최적계산 및 불확실성 정량화 방법론을 개발하려는 국제적인 노력이라고 볼 수 있다. 표 1은 최적계산 관련 규제법규 이후 최근까지 수행된 대표적인 불확실성 정량화 방법론의 개발 현황을 요약하고 있다. 본 표에 기술한 국가/기관들 이외에도 많은 사업자, 연구기관에서 이와 유사한 연구를 수행하고 있음을 감안하면 불확실성 정량화 방법론 개발은 최근의 열수력학 연구의 하나의 추세로 인식될 수 있다. 이러한 최적 평가 방법의 적용에 있어 가장 기본이 되는 것은 적

용되는 계산 코드의 최적성을 입증하는 일이다. 여기서 최적성은 대상으로 하는 사고의 해석에 적용하려 하는 코드가 적합함을 의미한다. 본 최적평가계산 규제요건의 이행에서 허용될 수 있는 방법을 제시하고 있는 Regulatory Guide 1.157 [10]에서는 해석결과가 적용 가능한 열수력 실험결과를 허용될 수 있는 불확실성 범위내에서 적절히 예측함을 보일 것을 요구하고 있다. 여기서 적용가능한 실험이란 실험의 시나리오가 사고 경위에 유사하고 발생 가능한 열수력 현상들이 공유되며, 실제적인 정도까지 실험 스케일에서의 현상이 실제 발전소에서의 현상과 상응하는 실험을 의미한다. 따라서 최적성의 입증을 위해서는 다양한 스케일의 실험장치에서 수행된 다양한 실험들로부터 얻어지는 실험데이터 및 관련자료의 확보되어야 하며 이러한 자료에는 실험장치 및 현상의 스케일, 묘사 사고의 유형 등을 비롯한 정보가 포함되어야 한다.

이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 적절한 실험 데이터 및 관련정보를 체계적으로 포괄하는 발전로 열수력 실험 데이터 뱅크가 구축되어야 한다. 데이터뱅크

표 1. 최적계산 및 불확실성 정량화 방법론 개발 현황

국 가 기 관	방 법 론	적 용 코 드	적 용	문 헌
미 국 USNRC	CSAU (Code Scalability, Applicability, Uncertainty)	TRAC-PF1,	LBLOCA,	[3]
		RELAP5/MOD3	SBLOCA	[4]
영 국 AEA	RUR (Reasonable Uncertainty Range)	TRAC-PF1	LBLOCA	[5]
			LOBI BL-02	[5]
독 일 GRS		ATHLET	OMEGA Rod Bundle Tests	[6]
이태리 Pisa Univ.	UMAE (Uncertainty Method based on Accuracy Extrapolations)	Independent of Code	LOBI BL-3, 4, SPES SB-03, KRSKO SBLOCA	[7]
프랑스 CEA	ASM, Similar to Italian	CATHARE-2	Under developing CANON	[6]
한 국 KINS	KECCS-EM	RELAP5/MOD2	LBLOCA	[8]
	KAERI KREM	RELAP5/MOD3	LBLOCA	[9]

는 필요한 실험데이터 자체 뿐만 아니라 실험데이터가 생산된 실험장치 및 수행실험에 대한 정보를 제공함으로써 적용가능한 실험을 찾아낼 수 있게 하는 기능을 제공해야 한다. 이를 위해서는 실험데이터 이외에도 실험의 특성을 나타내는 데이터베이스 및 데이터베이스 운영체계가 필요하다.

현재까지 전 세계적으로 원자로 안전성 평가 및 향상을 위해 수행되어 온 열수력 실험은 LOFT 프로그램 [11], Semiscale 프로그램 [12], 2D/3D 프로그램 [13] 등 방대한 양에 달한다. 이러한 방대한 양의 실험데이터를 비교적 체계적으로 정리한 데이터 뱅크로서는 미국핵규제위원회 (United States Nuclear Regulatory Commission : USNRC) 의 원자로 안전 데이터뱅크인 ENCOUNTER [14] 를 들 수 있다. 본 ENCOUNTER에는 LOFT, Semiscale, Marviken 등 40여개의 실험장치에서 수행된 1000개 이상의 실험에서 얻어진 데이터가 포함되어 있으며, 미국 INEL (Idaho National Engineering Laboratory)에서는 ENCOUNTER 데이터뱅크 전용 운영체제인 ISDMS를 개발 이용하고 있다[14].

그러나 ENCOUNTER 및 ISDMS 운영체제에서도 위에서 언급한 실험 정보를 제공한다거나, 사고 유형과 같은 실험 특성에 따라 검색하는 것과 같은 주요 기능은 제공되지 못했다. 이것은 관련 정보의 부족, ISDMS 운영체제의 제한점 등에 연유된 부분도 있으나, 이러한 기

능을 중요시하지 않은 데 기인한다고 볼 수 있다. 또한 ISDMS를 포함한 기존의 데이터뱅크 운영체제는 하드웨어의 제약, 컴퓨터 기술의 제한 등의 이유로 인해 사용자의 편의성은 거의 구현되어 있지 못하였다.

본 연구에서는 이러한 주요 기능을 구현하면서 발전로 열수력 안전해석 코드의 검증에 위해 사용할 수 있는 열수력 실험 데이터 뱅크를 개발하는 데 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 특히 단순성, 편의성 및 기본 성능의 구현에 초점을 맞춘 단순화된 데이터뱅크인 SORTED1 (Simplified Organization of Reactor Thermal-hydraulic Experiment Databank, Ver.1)을 개발하였다. 이를 위하여

- (1) 이용가능한 실험데이터 및 자료를 확보하고,
 - (2) 확보된 실험데이터 및 작업 환경에 적합한 SORTED1 을 개발한다. 이에 따라
 - 1) SORTED1개발을 위한 요구조건 및 사양을 정하고,
 - 2) 데이터 이용에 적합한 데이터베이스를 설계하고,
 - 3) 운영관리체제 및 사용자 인터페이스를 개발한다.
 그리고
 - (5) 설계된 데이터뱅크 체제에 입수된 실험데이터 및 관련자료를 입력하고
 - (6) 이러한 구성 요소들이 종합된 SORTED1의 이용성을 검증한다.
- 특히 본 연구에서는 SORTED1 데이터뱅크의 기본

구성을 위해 우선 ENCOUNTER에 포함된 실험데이터를 확보하여 이용하고[15], 차후 관련 기관의 협조하에 다양한 국내의 실험데이터를 포괄하도록 한다.

2. 데이터의 확보

전장에서 기술한 바와 같이 데이터뱅크의 기본적인 구성을 위해 ENCOUNTER에 포함되어 있는 실험데이터를 도입·확보하였다. 이 데이터뱅크의 운영체제인 ISDMS에서는 CWF(Common Word Addressable Format)라고 하는 고유 기록 방식으로 실험데이터를 수록 저장하고 있는데, 이러한 Format으로 저장된 실험의 수는 약 1159개에 달하고 있다. 이 데이터중 833개 실험들에 대한 데이터들이 도입되어 본 연구에 이용될 수 있었다. 본 ENCOUNTER formatted data의 확보에는 한국원자력안전기술원이 USNRC와 국제공동연구로 수행한 코드 평가 및 응용 프로그램(International Code Assessments and Application Program, ICAP) [16]에 따른 연구 협력에 기초한 바 있다. 표 2에는 ENCOUNTER에 등록된 데이터 및 본 연구에서 확보한 데이터를 비교하여 보여 준다. 이 실험데이터는 CWF형태로 도입되었으므로 이를 본 연구에 적합한 형태로 변환시킬 필요가 있다. 이를 위해 약 8300개에 달하는 화일들의 변환을 위한 일괄변환과정이 개발되어 이용되었다[15].

실험데이터 관련 정보는 일반적으로 실험장치설명서와 같은 문헌으로부터 얻어질 수 있다. 또한 문헌 [17]과 같은 대규모 실험데이터 설명 문헌은 본 연구를 위해 유용하게 활용될 수 있다. 현재까지 확보된 문헌으로부터 LOFT, Semiscale, FLECHT 등의 실험 설명 자료가 확보될 수 있었으며, 이러한 문헌에 포함되지 않은 실험들에 대해서는 차후 계속적으로 확보해 나갈 것이다.

3. SORTED1 데이터 뱅크의 설계

열수력 실험데이터는 일반적으로 특정 실험장치로부터 수행된 전체효과실험(Integral Effect Test : IET) 및 부분효과실험(Separate Effect Test : SET) 등으로부터 얻어지며, 실험이 묘사하는 열수력 현상 혹은 사고에 의해 특성화될 수 있다. 또한 실험대

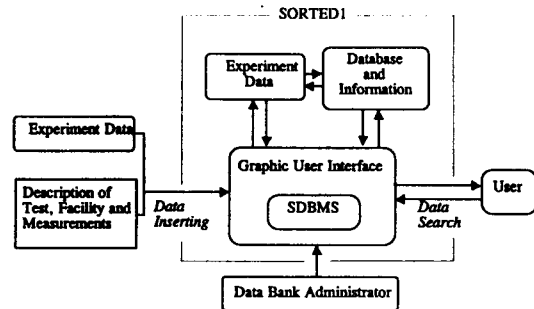


그림 1. SORTED1의 설계개념

이터는 다양한 측정 위치, 측정 변수의 유형 등으로 분류될 수 있으며 이외에도 측정 불확실성, 데이터점의 수 등 특성화할 수 있는 많은 요소들을 가지고 있다. 따라서 이들을 적절하게 특성화하고 데이터베이스화하기 위해서는 실험 및 데이터베이스에 관한 많은 경험과 기술이 필요하나, 본 연구에서는 데이터뱅크의 이용 측면에서 중요시되는 검색 기능을 위주로 하여 단순화된 데이터뱅크를 구성하여 이용하도록 하였다. 본 연구에서 개발하는 SORTED1의 개념은 그림 1에 제시되어 있다. 이에 따르면 SORTED1은 실험데이터, 실험데이터의 특성을 설명하는 데이터베이스 및 관련 정보, 단순화된 운영체제(Simplified Data Base Management System, SDBMS) 및 인터페이스 등으로 구성된다. 실험데이터 및 설명 정보는 데이터뱅크 감독자가 관리하는 인터페이스 모듈 및 SDBMS를 통하여 적절한 데이터 형태 및 데이터베이스로 저장 운영된다. 사용자는 검색 인터페이스를 통해 SORTED1에 접근하고 필요한 데이터를 검색 이용한다.

이러한 열수력 실험 데이터 뱅크의 설계에서는 데이터뱅크에 대한 요구조건 및 설계 사양을 결정하고 사양에 따라 데이터베이스를 설계하고 필요한 인터페이스를 개발한다.

3.1. 요구조건 및 설계사양

본 연구에서 고려된 요구조건 및 설계사양은 다음과 같다 [15].

- (1) 데이터뱅크의 운영의 대상 기종은 대용량 처리능력, 신속성, 경제성, 이식성, 확장성 및 사용자 편의성 등을 고려하여 HP-710 워크스테이션으로 한다.
- (2) 실험데이터는 대용량 처리 및 신속성 등을 위해

표 2. ENCOUNTER 실험데이터의 확보 현황

No	Facility	Category	Test Ecounter	Test SORTED1
1	Argonne Steam Cooling	Database	1	1
2	BETHSY	IET	6	1
3	BNL Void Fraction Data	Database	1	1
4	Brwon Ferry	Real NPP	4	4
5	Condie Tube Data(INEL)	Database	1	1
6	CHF(Groeneveld)	Database	1	1
7	Post-CHF(INEL)	SET	57	57
8	EPRI B&W	Database	1	1
9	EPRI CE	Database	1	1
10	FEBA(Karlsruhe)	IET	54	54
11	FIST(GE)	IET	37	4
12	FLECHT	SET	1	1
13	FLECHT-163 Rod Bundle	SET	23	23
14	FLECHT Cosine	SET	62	62
15	FLECHT-Skewed	SET	16	16
16	FLECHT-161 Rod Bundle	SET	58	58
17	FLECHT-21 RodBundle	SET	95	95
18	Fuel Code Assess.Data	Database	1	1
19	G2 Core Uncovery	IET	22	22
20	GERDA(B&A)	SET	83	0
21	GOETA(Studvik)	SET	9	1
22	HALDEN IFA 511.2	IET	24	24
23	HALDEN IFA 511.3	IET	28	28
24	2D/3D(JAERI)	IET	60	6
25	2D/3D(UPTF)	SET	3	0

No	Facility	Category	Test Ecounter	Test SORTED1
26	Kuosheng	SET	36	3
27	LTSF(INEL)	SET	6	6
28	LOFT Pump(INEL)	Database	1	1
29	LOFT(INEL)	IET	41	41
30	Marviken	SET	21	21
31	MB-2	IET	27	2
32	MIST	IET	5	0
33	Moss Landing	Database	1	1
34	MRBT(ORNL)	SET	20	20
35	NEPTUN(PSI)	SET	11	7
36	NRU	SET	4	4
37	OTIS	IET	16	0
38	PBF(INEL)	SET	42	39
39	Peach Bottom	Real NPP	3	0
40	ROSA III	IET	1	0
41	ROSA IV	IET	21	0
42	Semiscale Pump	Database	1	1
43	Semiscale Pump 2-Phase	Database	1	1
44	Semiscale(INEL)	IET	138	138
45	THTF(ORNL)	SET/IET	59	59
46	TLTA-GE	IET	16	16
47	TPTF(FOSA Japan)	IET	29	0
48	Univ.of Ottawa	SET	9	9
49	Withfrith Void Fraction	Database	1	1
Total			1159	833

HP-710의 광자기디스크에 저장한다.

- (3) 실험데이터는 입수되는 양식에 따라 파일 단위로 하여 압축 저장 운영한다.
- (4) 데이터뱅크의 기능은 신규데이터의 등록, 데이터 검색, 검색된 데이터의 ASCII파일 출력 및 그래프 출력, 데이터 관련 정보의 수정 등으로 제한한다. 이에 따라 상용 DBMS를 사용하지 않고 본 연구에 적합한 단순화된 DBMS를 개발한다.
- (5) 검색기능에서는 실험장치로부터 시작하여 검색하는 방법과 실험 묘사 현상 혹은 사고로부터 시작하여 검색하는 방법이 모두 가능하도록 하며, 검색중

실험 장치 및 실험, 측정 위치 등을 참조할 수 있는 설명기능을 갖도록 한다.

- (6) 데이터뱅크의 이용에서 사용자의 편의성을 최대화시킬 수 있는 Interface를 제공한다.
- (7) 데이터뱅크의 SDBMS 및 Interface는 표준 Unix C-언어 및 OSF/Motif로 개발한다.

3.2. 데이터베이스의 설계

전술한 바와 같이 SORTED1 데이터뱅크는 실험데이터, 데이터베이스 운영관리체제, 데이터베이스 및 관련

정보 등으로 구성된다. 데이터베이스는 SORTED1에 입력될 실험데이터의 특성을 체계적으로 분류한 자료의 집합체로서 DBMS 및 사용자 인터페이스를 통해 검색 기능을 제공하는 중심 요소이다. 데이터베이스의 형태를 도출하기 위해서

- (1) 사용자의 요구조건을 상세히 분석하고,
- (2) E-R (Entity-Relationship) Diagram과 같은 기본 요소를 구성하고
- (3) E-R Diagram의 정규화 변형을 통해 관계데이터 모델의 테이블 형태를 도출하고
- (4) 데이터의 처리빈도, 데이터의 양, DBMS 및 운영 체제의 제약조건, 하드웨어 특성등을 고려하여 저장 레코드의 형식, 위치 및 접근 방법 등을 결정한다.

데이터베이스 설계의 상세 내용은 문헌 [15]에 제시되어 있으며, 설계된 관계형 데이터 테이블의 내용은 표 2에 제시되어 있다. 이 표에 의하면 현재 데이터베이스 요구조건을 만족시키기 위해서는 실험장치명, 사고 및 현상명, 실험명, 데이터화일명 등을 포함하여 약 20개의 필드가 필요하며 이를 4개의 테이블로 분류하는 것이 적

당함을 알 수 있다.

3.3. SDBMS 및 인터페이스 개발

본 연구에서는 상용 DBMS를 사용하지 않으므로 이 상에서 정의된 데이터베이스 구조 및 요구 사항을 적절하게 수용하는 단순화된 DBMS와 사용자 인터페이스는 밀접하게 관련되어 있다. 본 연구에서의 SDBMS 및 인터페이스는 데이터 입력 모듈, 검색 모듈, 수정 모듈 등 크게 3개의 모듈로 구성하였다. 그림 2는 개발된 전체적인 SORTED1 운영 체제의 구성을 보여준다. 각 인터페이스 모듈의 구성 및 기능에 관한 상세내용은 문헌 [15]에 제시되어 있다.

4. 데이터 입력

전절까지에서 개발된 SORTED1의 SDBMS 및 사용자 인터페이스에 본 연구에서 확보된 ENCOUNTER 열수력 실험데이터 및 실험 관련자료를 입력하고 데이터베이스화하기 위한 일괄 작업과정을 개발하였다[15].

표 2. SORTED1 관계형 데이터베이스 테이블

Table Name	Field Name	Example	Type	Length
Facility	Mnemonic	LF	Char	5
	Facility Name	LOFT	Char	30
	Abbreviation	Loss of Fluid Test	Char	50
Accident / Phenomena	Accident Name	LBLOCA	Char	50
	Abbreviation	Large Break Loss of Coolant Accident	Char	50
SUMTEST	Mnemonic	L205	Char	9
	Test Name	L2-5	Char	12
	SET / IET	IET	Char	4
	Facility Name	LOFT (3)	Num	
	Accident Name	LBLOCA (8)	Num	
EXFILES	File Name	X001521	Char	8
	ENCOUNTER File	LFL205LE	Char	13
	Measurement Mnemonic	LE	Char	9
	Measurement Type	Liquid Level	Char	30
	No. of Identifier	10	Num	
	Optical Disk Number	04B	Char	4
	Date	12/3	Char	15
	Size	3405	Num	
	Test Name	L2-5	Num	

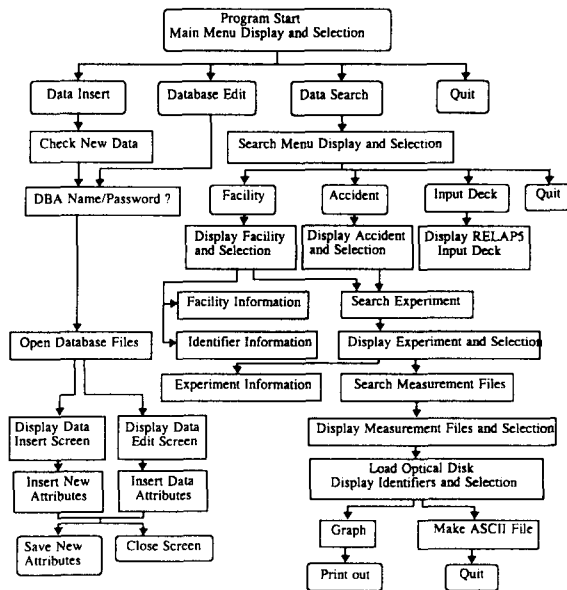


그림 2. SORTED1 의 DBMS 및 인터페이스 모듈 구성

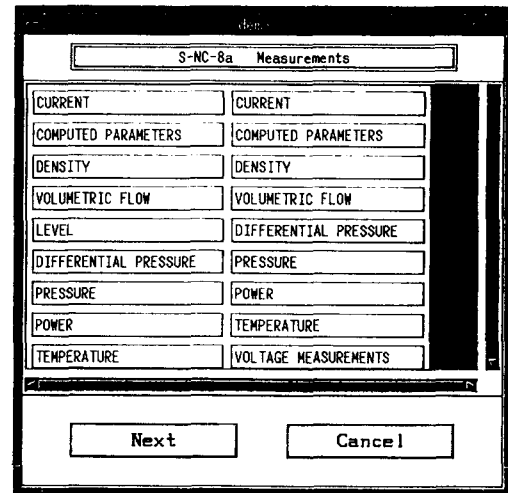


그림 5. SORTED1의 S-NC-8 실험 화일 검색 화면

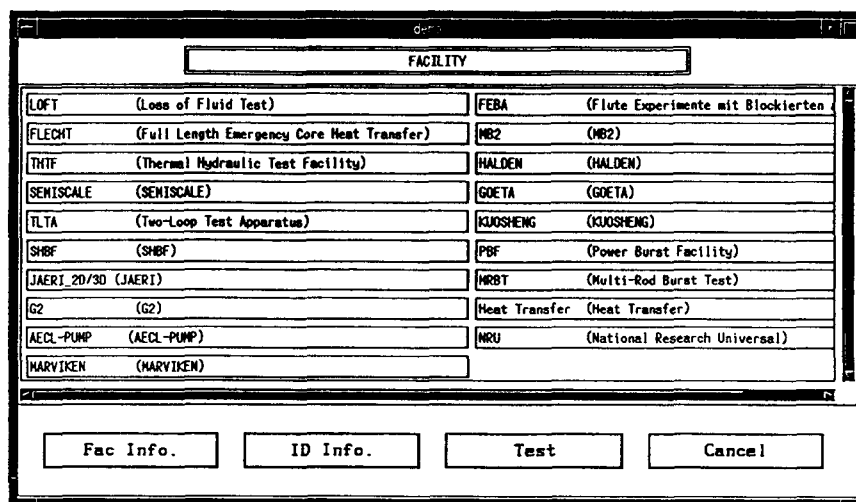


그림 3. SORTED1의 실험장치 검색 화면

이 과정은 Cyber CDC-170 주전산기의 데이터 화일을 CWF 및 ASCII 화일로 변환하고 LAN을 통해 HP-710 Hard Disk에 전송하는 과정과, 데이터 화일의 변환과정에서 얻어지는 주요 정보를 취합하여 SORTED1의 데이터베이스에 입력시키는 과정으로 구

성된다. 데이터 입력의 마지막 단계에서는 입력된 데이터가 수록되는 광자기 디스크의 고유번호, 실험 사고 유형 등의 정보를 추가시키게 된다. 상세 내용은 문헌 [15]에 제시되어 있다.

5. SORTED1 의 이용성 검증

이상에서 기술한 바에 따라 개발된 SORTED1의 이용성을 검증하기 위해서 데이터 검색 작업을 수행하였다. 검색은 실험장치로부터 시작해서 실험, 측정 변수, 측정 위치, 그리고 검색된 실험 데이터 부분을 그래프화하는 순으로 진행하였다. 그림 3은 실험 장치 검색 화면의 예를 보여 주며, 그림 4는 Semiscale 실험 장치에서 수행된 실험들의 목록을 보여 준다. 그림 5는 Semiscale 실험 S-NC-8a에서 가용한 측정 변수 화일들을 보여 주고 있으며, 그림 6은 체적유량 화일에 수록된 Identifier의 목록을 보여준다. 그림 7은 "QI*6"라

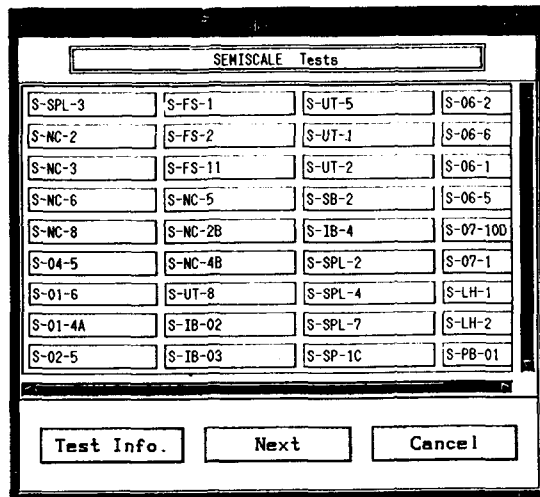


그림 4. SORTED1의 Semiscale 실험 검색 화면

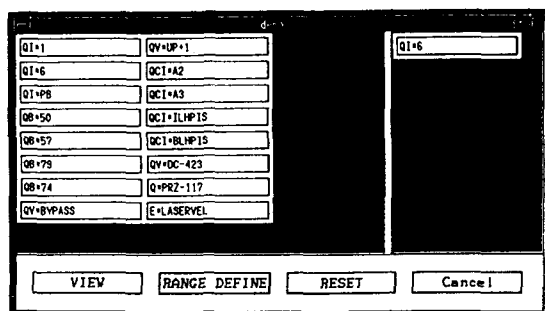


그림 6. SORTED1의 S-NC-8 실험의 체적유량 Identifier 검색 화면

는 Identifier에 수록된 체적유량이터를 그래프화하여 보여 준다. 이 그래프는 사용자의 요구에 따라 마음대로 크기를 변형할 수 있으며 ASCII화일로도 출력하여 코드 계산 결과에 비교시킬 수 있다. 그림 8은 실험이 묘사하는 사고 혹은 열수력 현상에 의한 검색화면을 보여 준다. 여기서 "Natural Circulation"이라는 메뉴를 선택하면 데이터베이스 검색을 통해 "Natural Circulation"이라는 사고명을 갖는 모든 실험이 디스플레이 될 수 있으므로 위와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

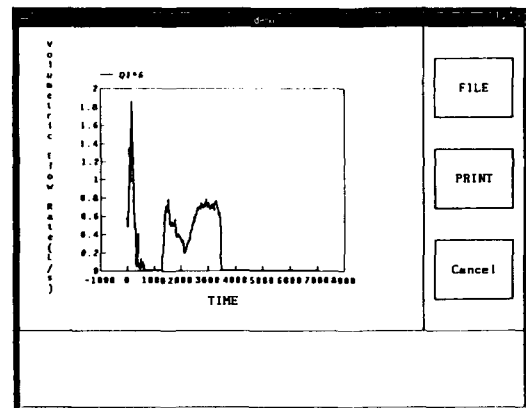


그림 7. SORTED1의 S-NC-8 실험의 체적유량 QI*6의 그래프

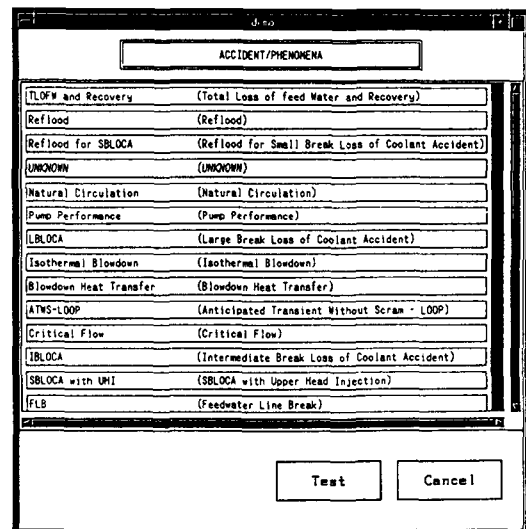


그림 8. SORTED1의 실험묘사사고/ 열수력현상 검색 화면

6. 결 론

본 연구에서는 최적 열수력 안전해석 계산코드의 검증에 이용될 수 있는 열수력 실험데이터, 실험데이터 관련 설명 자료, 데이터베이스 운영체제 및 인터페이스 등으로 구성되는 단순화 열수력 실험 데이터 뱅크 (Simplified Organization of Thermalhydraulic Experiment Databank : SORTED Ver.1)를 개발하였다. 이를 위하여 USNRC와의 국제 연구 협력을 통해 ENCOUNTER 실험데이터를 도입하였고, 이를 기본으로 코드 평가 목적에 적합하도록 단순화된 데이터베이스 운영관리체제 및 사용자 편의성을 강조하는 인터페이스 등을 개발하였으며 이용성을 검증하였다. 본 연구의 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) SORTED1은 LOFT, Semiscale, 등 전세계의 주요 실험장치에서 수행된 약 833개의 주요 열수력 실험의 데이터들을 망라하고 있음으로 원자로 열수력 안전해석 코드 평가에 이용될 수 있는 보편적인 실험 데이터를 제공할 수 있다.
- (2) SORTED1은 기존 데이터뱅크에서 제공되지 않았던 실험장치, 실험, 측정 등의 정보의 제공, 실험에서 묘사되는 사고 및 현상의 검색, 별도의 지식 없이도 데이터 검색 및 출력을 가능하게 하는 입체적인 그래픽 사용자 인터페이스 사용 등을 구현시킴으로써 사용자 편의성이 최대화 되어 있다.
- (3) SORTED1은 상용 DBMS를 사용하지 않고도 검색 및 출력, 신규 데이터 등록, 데이터베이스 보완 등의 기본 기능을 구현하고 있으며, 설계된 데이터베이스는 이러한 목적에 적절하였다.
- (4) 본 열수력 실험 데이터 뱅크가 최적제산 코드평가 뿐만 아니라 실험연구의 현황 분석 등에 활용되기 위해서는 현재 확보된 실험데이터 및 관련정보의 정비 그리고 국내 외의 다양한 실험데이터의 확보가 필요하다.

참고문헌

1. USNRC, Code of Federal Regulations, 10 CFR 50.46, "Acceptance Criteria for Emergency Core Cooling Systems for Light Water Nuclear Power Reactors," 1989
2. USNRC, Appendix K to 10 CFR 50, "ECCS Evaluation Models," 1989
3. Boyack, B.E., et al., *Quantifying Reactor Safety Margins*, Part 16, Nuclear Engineering and Design, Vol 119, 1990
4. Ortiz, M.Z., et al., *Uncertainty Analysis of Minimum Vessel Liquid Level During a Small-Break Loss of Coolant Accident*, NUREG/CR-5818, 1992
5. Wicket, A.J., *A Review of LOCA Uncertainty Studies in AEA*, AEA-RS-5522, 1993
6. Glaeser, H., et al., *Review on Uncertainty Methods for Thermalhydraulic Computer Codes*, Proceedings of International Conference on New Trends in Nuclear System Thermalhydraulics, Pisa, 1994
7. D'Auria, F., et al., *Uncertainty Evaluation During Small Break LOCA's in PWR Simulators*, Proceedings of International Conference on New Trends in Nuclear System Thermalhydraulics, Pisa, 1994
8. 김효정 외, 비상노심냉각계통 평가방법 개발 및 응용, 한국원자력안전기술원, KINS/GR-021, 1991
9. Lee, S.Y., et al., *Quantification of Reactor Safety Margins for Large Break LOCA with Application of Realistic Evaluation Methodology*, KREM-LB-PA-B002, Korea Atomic Energy Research Institute, 1994
10. USNRC, Regulatory Guide 1.157, *Best-Estimate Calculations of Emergency Core Cooling System Performance*, 1989
11. Nalezny, C.L., *Summary of Nuclear Regulatory Commission's LOFT Program Experiment*, NUREG/CR-3214, 1983
12. Loomis, G.G., *Summary of the Semiscale Program*, NUREG/CR-4945, 1987
13. USNRC, *2D/3D Program Work Summary Report*, NUREG/IA-0126, 1993
14. NRC/DPRS, *Reactor Safety Data Bank, ENCOUNTER*, EGG-RTH-7285, 1990
15. 김효정 외, 발전로 열수력 데이터뱅크 구축을 통한 안전해석 코드 검증, KINS/GR-074, 한국원자력안전기술원, 1994

16. USNRC, *International Code Assessment and Application Program*, NUREG-1270, 1987
17. USNRC, *Compendium of ECCS Research for Realistic LOCA Analysis*, NUREG-1230, 1989