

# 輕水爐系統設計 標準 Logic Network 開發

Development of Standard Logic Network for PWR NSSS System Design

박준원, 이병령, 이판권, 이해준, 송태길, 김동희, 최현호

한국원자력연구소

## A b s t r a c t

The self-reliance of NSSS System Design is required not only the design capability to perform the system design but also the management capability to control the resource and time for the Project effectively.

The purpose of this study is to develop the simplified standard Logic Network that is scheduled on the time and resource using the PERT/CPM method. That is mainly focused on Ulchin 3&4 Project.

We prepare the management tool of NSSS System Design project. And we can utilize it as a reference tool for the similar project which are complex and long term in a next project.

\*\* 발표 SESSION 회망분야 : 연구개발

\*\* 소속 및 전화번호 : 한국원자력연구소 울진 project 팀 연구원  
☎ (042)868-2817 Fax. (042)861-0653

\*\*\* 상기과제는 1992년도 한국원자력연구소 원전기술개발과제로써 첨부물인 Standard Logic Network은 내부사정상 게재를 못하오니 양지바랍니다.

## 요 약 문

경수로계통설계 프로젝트를 독자적으로 수행하기 위하여는 설계를 수행할 수 있는 기술적인 설계능력 뿐만 아니라, 프로젝트 일정 및 자원의 관리를 효율적으로 실행할 관리능력의 확보가 요구된다.

본 과제는 울진3,4호기 원자로계통설계 Logic Network을 기본으로 하여 단순화되고 표준화된 경수로계통설계 Logic Network을 PERT/CPM 기법에 따라 기본 schedule과 resource schedule을 개발하였다.

이로써 경수로계통설계 프로젝트를 효율적으로 관리할 수 있는 유용한 도구가 마련되었으며, 차후 유사한 프로젝트에서도 관리도구를 개발하는 기본자료로 활용할 수 있으며, 프로젝트 수행 결과에 따른 자료의 feed back으로 보다 더 신빙성있는 관리도구로 발전될 수 있을 것이다.

## 1. 연구의 배경 및 목적

경수로계통설계 프로젝트를 독자적으로 수행할 수 있는 능력을 확보하기 위해서는 자체적으로 설계를 수행할 수 있는 기술적인 설계능력 뿐만 아니라 프로젝트의 일정에 따라 설계를 완성할 수 있는 능력과 설계수행에 필요한 인력을 효율적으로 활용하여 설계비용을 최소화 할 수 있는 관리능력 등을 확보하므로써 원전 설계 기술자립이 달성된 것으로 볼 수 있다.

현재 우리연구소에서는 독자적으로 설계를 수행할 수 있는 기술적인 능력 확보에 주력하고 있으나, 계통설계를 주어진 일정내에 주어진 인력을 효율적으로 활용하여 생산성을 향상시키기 위해서는 계통설계를 과학적으로 관리할 수 있는 표준 Logic Network이 절대적으로 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은,

- ① 원자로 계통 설계를 적기에 수행하기 위한 일정 계획 수립
- ② 설계 수행 부서간의 연계 업무를 효율적이고 원활히 수행할 수 있는 기준 제공
- ③ 대외 기관으로부터 제공 받거나 제공해야 할 입력 자료의 주요 일정에 대한 근거
- ④ 설계 수행 절차에 따른 주요 설계 결과물 인도 계획 수립
- ⑤ 다양한 계약적 요구사항(설계일정, 설계결과물 등)에 대한 능동적 대처
- ⑥ 원자로계통설계에 대한 표준공정 데이터베이스 확보(일정, 소요 자원)

등을 이룩하여 경수로계통설계 프로젝트의 효율적인 관리를 하기 위함이다.

## 2. 연구 목표

- 가. 경수로계통설계의 경제성 제고를 위한 과학적인 관리 도구 개발
- 나. 경수로계통설계에 필요한 설계 일정과 인력에 대한 기본 자료 확보
- 다. 후속 경수로계통설계 프로젝트 및 차세대 원자로계통설계 관리에 필요한 기본 자료 확보

## 3. 국내·외 연구 실적 및 기술 현황

### 가. 국내 연구 실적 및 기술 현황

- 1) 건설 프로젝트를 중심으로 하드웨어 부분에 대한 표준공정표와 일부 연계업무가 복잡하지 않은 소프트웨어 부분에 대하여 합리적이고 과학적인 관리도구로써 PERT/CPM 기법이 도입 활용됨.
- 2) 각 기능분야간에 연계업무가 복잡한 NSSS 계통설계에 대해서는 영광 3,4호기 사업 수행을 통하여 ABB-CE와 공동으로 Logic Network 개발함.
- 3) 울진 3,4호기 사업 수행에 필요한 Logic Network을 영광 3,4호기 Logic Network을 참고하여 작성 활용 중임.

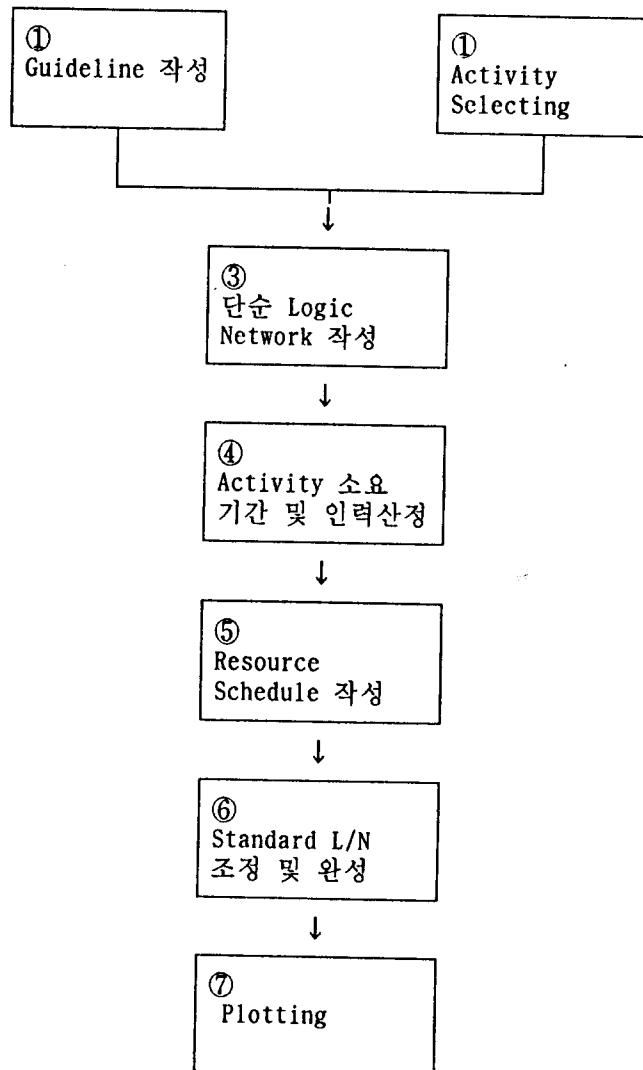
### 나. 국외 연구 실적 및 기술 현황

- 1) ABB-CE, AECL 등에서는 Logic Network 형태로 공정표를 작성하여 설계업무 관리 및 일정과 비용을 관리하고 있음.
- 2) 설계공정별 소요 인력은 회사별로 설계 능력에 따라 다르며 자체 database화 하여 관리하고 있음.

#### 4. 연구 내용

##### 가. 경수로계통설계 표준 Logic Network 개발 절차

<그림 1> 과 같이 guideline 및 activity의 선택을 기초로 단순한 L/N을 작성한 다음 각 activity들의 소요기간 및 투입 예정인력을 산정하여 resource schedule을 작성하고 최종 검토 과정을 거쳐 표준 Logic Network이 완성된다.



<그림 1> 경수로계통설계 표준 Logic Network 개발절차

## 나. 개발 방법

- 1) PERT-CPM 기법 적용
- 2) Precedence method에 의한 Network(Activity on Node 방법)
- 3) Project/2 code 및 Level-II program 활용

## 다. 개발 기준

### 1) 참고 자료

- o 울진3,4호기 Level-III Logic Networks
- o 영광3,4호기 Design Network Flow Diagram
- o 울진3,4호기 원자로 계통 설계 계약 인도 일정

### 2) Activity 선정 기준

- o 주요 설계 결과물(대외 제출용 결과물)에 대한 activity
- o 설계 수행 기간이 긴(100일 이상) activity
- o 실단위 이상의 연계 activity

### 3) Logic Network 규격 :

- o Segments 당 50 activity 내외
- o 활용 가치를 고려한 documentation 화

### 4) Logic Network 구성 (총 69 segments)

- o Project Key Milestone : 1 segment
- o Reactor Engineering 분야 : 7 segments
- o Instrumentation & Control 분야 : 23 segments
- o Safety Analysis 분야 : 2 segments
- o Fluid Systems Engineering 분야 : 16 segments
- o Mechanical Engineering 분야 : 20 segments

Identifier	Description
RE 111	Reactor Thermal Hydraulic Design & Analysis
RE 112	RCS Thermal Hydraulic Startup Support
RE 121	Reactor Engineering Interface
RE 122	Neutron Source and ICI Design
RE 123	Maneuvering Strategy
RE 131	Radiation Physics and Criticality
RE 132	Radiation Design Guide
IC 210	Diverse Protection System
IC 211	Plant Protection System
IC 212	Engineering Safety Aux. Relay Cabinet
IC 213	Vital Bus Power Supply System
IC 214	Reactor Trip Switchgear System
IC 221	NSSS Control System
IC 222	CEDM Control System & RPC
IC 224	Process Rad Monitoring System
IC 225	Boronmeter & Boron Dilution Alarm
IC 226	Gas Stripper Rad Monitoring System
IC 227	Component Control Logic
IC 231	Inadequate Core Cooling Monitoring System
IC 232	Plant Data Acquisition System
IC 233	Auxiliary Protective Cabinet
IC 234	Core Protection Calculator System
IC 236	Fixed Incore Detector Amplification System
IC 241	Plant Computer System
IC 251	I&C System Integration
IC 261	Process Instrumentation & Pressurizer Heater Control System
IC 262	NSSS Integrity Monitoring System
IC 265	RCP Shaft Vibration Monitoring System
IC 266	RCP Shaft Speed Sensing System
IC 267	Excore Neutron Flux Monitoring System
FS 311	Reactor Coolant System
FS 312	Main Steam and Feedwater System Interfaces
FS 321	Safety Injection and Shutdown Cooling System
FS 331	Chemical and Volume Control System
FS 332	Radiation Design Guide
FS 333	Reactor Cavity Filtration System
FS 340	Safety Valves
FS 341	Hx & Filter Specifications
FS 342	Tank & Ion Exchanger Specifications
FS 343	Miscellaneous Component Specifications
FS 344	Auxiliary Pump Specifications
FS 345	Package System Specifications
FS 346	Feedwater Valves and Flow Elements
FS 347	Valve Specifications
FS 348	Reator Coolant Pumps
FS 349	Reator Coolant Pumps motors

Identifier	Description
ME 411	Upper Guide Structure Assembly
ME 413	Lift Rigs, Shipping Skids and Storage Stands
ME 414	Reactor Internals Analysis and Vibration Assessment Program
ME 421	Fuel Handling Equipments
ME 422	Fuel Storage Racks
ME 423	In-Core Instrumentation
ME 424	CEDM's
ME 425	Reactor Auxiliary Equipment Seismic Analysis
ME 426	Head Area Equipments
ME 431	Reactor Vessel
ME 432	Steam Generator
ME 433	Pressurizer
ME 434	Primary Piping
ME 435	Primary Component Support
ME 436	Surveillance Capsule and Material Requirements
ME 441	Reactor Coolant System and Supports
ME 442	ICI Guide Tubes and Supports
ME 443	Surge Line and Safety Valve Station
ME 444	RCS Analysis
ME 445	Pressurizer, Surge Line and SRV station Analysis
SA 511	Design Base Accident Analysis
SA 521	Transient Analysis

〈표 1〉 Segment Identifier 구성(계속)

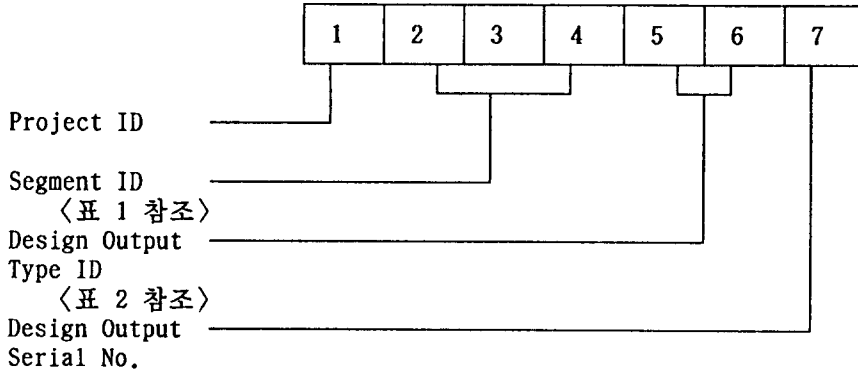
5) Activity 구성

- o Activity 수 : 1,144 개
- o Event 수 : 175 개
- o Precedence 수 : 3,387 개



라. 개발 내용

1) Activity Identifier 구성



<u>Project ID</u>	<u>Description</u>
1	YGN 3&4 Project
2	UCN 3&4 Project (KAERI)
3	UCN 3&4 Project (KHIC)
4	UCN 3&4 Project (KAERI-ICD)

Identifier	Description
* System Design Outputs	
01	Design Basis
02	Scope of Engineering
03	P&ID's
04	PSAR
05	"
06	FSAR
07	"
08	PRA
09	Contract Requirements
10	System Description
11	System Design Requirements
12	Interface Requirements
13	Design Requirements for ( )
14	" "
15	Interface output (Not defined in this Table)
16	Setpoint Requirements for ( )
17	Wiring Requirements
18	Cleaning Requirements Painting Requirements
19	Operation Requirements for ( )
20	Chemistry Design Guide
21	Radiation Design Guide
22	Environmental Design Guide
23	Seismic Design Guide
24	Piping Design Guide
25	Guide for Installation
26	Guide for Operation
27	Startup & Test Guideline
28	Procurement Guideline
29	Computer Database
30	Analysis Model
31	Calculation and Analysis
32	" "
33	" "
34	Design Data for ( )
35	" "
36	Physics Radiation Data
37	CPC Input Channel Uncertainties
38	Failure Mode & Effect Analysis
39	Events Analysis
40	Functional Control Logic Diagram
41	Block Diagram
42	I&C Overview Diagram
43	Arrangement Drawing

〈표 2〉 Design Output Type Identifier 구성

Identifier	Description
44	Cabinet Diagram/Drawing
45	Assembly Drawing
46	Installation Drawing
47	As-Built Drawing
48	Interface Drawing (Interconnecting Wiring Diagram)
50	Design specification
51	" "
52	" "
53	Technical Specification Requirements
54	Analytical Design Models
55	Performance Related Design Base Events
56	Safety Related Design Base Events
57	T&H Responses to DBE
58	Responses to Performance Related DBE
59	Responses to Safety Related DBE
60	Test Evaluation and Report
61	Test Requirements for ( )
62	Evaluation of Field Performance Testing
63	Physics Startup Test Requirements
64	Test Procedure
65	Equipment Test
66	Acceptance Criteria
68	Test Measurement Data
* Component	Design Outputs
70	Qualification Report
71	ASME Report
72	Design Report
73	Procedure
75	Shipment
80	Material Release
81	Equipment Specification
82	Technical Manual
83	Release to Manufacturing
84	Procurement Specification
85	Equipment Manual
86	Computer Software
87	Painting Procedure
88	RFQ (Request for Quotation)
89	Purchase order
92	Component Drawing
96	Vendor Support
97	Site Support
99	Not Applicable

<표 2 > Design Output Type Identifier 구성(계속)

## 2) CPM Schedule 작성

울진3,4호기 Level-III Logic Network에서 대외제출용 주요설계 결과물 (DS, IR, SD, SR, DR, DWG, PSAR, FSAR 등) 및 연계 activity를 기준으로 표준 Logic Network 대상 activities를 선정하였고, activity간의 선후관계 연결 및 activity별 소요기간 산정은 별도 개발한 Level-II Program과 울진3,4호기 Level-III Logic Network의 자료를 기준으로 하였다.

주요설계결과물 중 DS, IR, DWG 및 key milestone activity에는 울진3,4호기 원자로계통설계 계약에 따라 constraint를 부여하고, 분야별로 작성된 CPM Schedule은 integration한 뒤 Negative Float 등을 조정하여 integrated CPM Schedule을 작성하였다.

## 3) Resource Schedule 작성

Resource schedule은 계통설계 수행시 가장 중요한 자원인 소요인력 (man-power)에 대해서만 적용하였고, 먼저 resource library를 작성 하기 위해서 설계팀별로 resource identifier <표 3>를 부여하였으며 activity별 소요인력은 activity 소요기간 및 사업인력 소요계획을 참고로 결정하여 반영하였다.

자원 가용량은 계통설계에 투입되는 activity별 소요기간 및 소요인력을 기준으로 판단하였으며, 대외제출용 설계결과물의 인도일정 준수를 위해 time - limited resource schedule을 적용하고 Parallel option을 사용 하였다.

Identifier	Description	해당 Segments
112.00	RAD/CRI ANALYSIS TEAM	131,132
123.00	REACTOR T-H DES & ANAL TEAM	111,112
211.00	PROCESS INSTRUMENTATION TEAM	261~267
221.00	CONTROL SYSTEM TEAM	221~227
222.00	SAFETY SYSTEM TEAM	210~214,251
231.00	DATA PROCESSING SYSTEM TEAM	241
232.00	COMPUTER SYSTEM TEAM	231~236
311.00	PRIMARY FLUID SYSTEM ENG. TEAM	311
312.00	SAFETY FLUID SYSTEM ENG. TEAM	321
313.00	SECONDARY FLUID SYSTEM ENG. TEAM	312
321.00	CVCS TEAM	331~333
322.00	COMPONENT ENG. TEAM	340~349
331.00	RCS STRUCT DESIGN ANALYSIS TEAM	441~445
332.00	COMP ENG./APPLIED MECHANIC TEAM	431~435
341.00	REACTOR INTERNAL DESIGN TEAM	411~414,436
342.00	REACTOR AUX. EQUIPT. DESIGN TEAM	421~426
421.00	DBA ANALYSIS TEAM	511
422.00	NSSS PERFORMANCE ANALYSIS TEAM	521
441.00	NUCLEAR OPERATION ANALYSIS TEAM	121
442.00	INTEGRATED TEST & OPER TEAM	122,123

〈표 3〉 Resource Identifier 구성

## 5. 결 론

경수로계통설계 표준 Logic Network은 계통설계 프로젝트를 한눈에 파악하여 프로젝트 전기간 동안에 걸친 자원 및 일정을 관리할 수 있고, 연계상황을 특별 관리하여 복잡한 시스템의 계획 및 관리를 원활히하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

기존의 Logic Network은 너무 복잡하여 실제 작업을 수행하는 설계 담당자는 참고로 사용할 수는 있었으나 계통설계 관리자의 입장에서 계통설계 milestone 과 연계된 일정관리 및 대외 연계 사항관리 그리고 인력(man-power)관리에는 도움을 주지 못하였다. 그러나 표준 Logic Network은 주요 activity만으로 구성하여 단순화 시켰으며 계통설계 수행시 가장 중요한 자원인 인력을 관리할 수 있는 resource schedule 을 작성하여 인력 배분을 고려하여 계통설계를 관리 함으로써 계통 설계를 효율적으로 관리할 수 있을것으로 기대된다.

향후 개선방향은 설계 담당자들의 의견을 반영하여 표준 Logic Network을 보완 하고 표준 Logic Network을 실제로 계통설계 수행에 적용하여 주간설계업무보고서 및 주간근무보고서(time-sheet)등 각종 보고서 작성과 효율적인 일정관리 및 인력 관리를 위한 도구로 활용할 수 있도록 관리제도 보완 및 관리시스템을 개발해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 강금식, '경영과학 네트워크 모형', 무역경영사, 1989
2. 이순요, 'PERT/CPM 공정관리 실무', 공업경영사, 1991
3. 이종영, 정경원, 'PERT/CPM 이론과 실무 응용', 한국이공학사, 1983
4. 한국원자력연구소, '우리는 잘하고 있는가-울진3,4호기 원자로 계통설계 월간진도 보고서', 매월
5. 한국원자력연구소, 'Guidelines of NSSS System Design Logic Network for Ulchin Units 3&4 Projects', Rev.01, 1991
6. Alfred O. Awani, 'Project Management Techniques', PBI, 1983
7. David I. Cleland & William R. King, 'Systems Analysis and Project Management', McGraw-Hill Co., 1983
8. Rover C. Leachman & Joerg Boysen, 'An Aggregate model for Multi-Project Resource Allocation', PM:Methods and Studies, 1985
9. Roger V. Johnson, 'Resource Constrained Scheduling Capabilities of Commercial Projects Management Software', Project Management Journal, Vol. XXII, No. 4, Dec. 1992
10. S. D. Anderson & R. V. Woodhead, 'Project Manpower Management-Management Processes in Construction Practice-John Wiley & Sone', 1981
11. PSDI, 'Project/2-Cost, Schedule & Graphic Manager Manual', 1992