

안전에 중요한 컴퓨터 방식의 제어계통에 관한 IEC 및 IEEE 표준 비교

이 덕 재 | 대한전기협회 KEPIC처 전기표준팀장

조 세 환 | 대한전기협회 KEPIC처 전기표준팀

1. 개요

미국은 트리마일아일랜드 원전사고 이후 약 20여 년간 원자력 발전소의 건설을 중단해 왔다. 반면 프랑스가 전체 전력생산의 80%이상을 원자력발전에 의존하는 것을 포함, 유럽은 그 동안 원자력 발전소의 건설이 활발하였고 세계 표준화의 무게중심도 유럽으로 이동하였으며, 많은 나라들이 IEC를 전기계측분야의 국제표준으로 여겨온 것이 사실이다.

그러나 최근의 석유값 폭등, 교토의정서에 의한 CO2 가스배출 제한 등 일련의 사건으로 인해 그 동안 반핵운동으로 인하여 중단되었던 원자력 발전소의 건설이 미국을 비롯한 여러 국가에서 범세계적으로 재개되고 있는 추세이다.

현재 IEC가 전기계측 분야의 국제표준화 되고 있는 양상이지만, 최근 미국의 원전건설 재개 움직임과 함께, IEC 표준과 IEEE 표준의 각기 다른 특성으로 인해 상호보완적인 사용의 필요성이 제기되고 있고 IEEE/IEC의 Dual Logo 화도 최근의 IEC 총회에서도 뜨겁게 논의되었던 바 있다. 때 마침 현재 미국의 Lawrence Livermore National Laboratory 소속으로서 IEEE 회원이며, 미국의 IEC 기술자문인 Mr. Gary Johnson 이 워크숍에서 발표한 논문이 원자력발전소 안전 관련 컴퓨터 방식 제어계통을 모델로, 이에 관한 IEC와 IEEE 표준 체계를 비교하여 사용자들에게 상호보완적 사용의 가능성을 제시하는 매우 흥미 있는 이슈를 전달하여 이를 소개하고자 한다.

2. 전문

요약 : 세계 많은 기관이 원자력 계측 및 제어(I&C)에 영향을 미치는 표준을 개발한다. 2개의 주요 표준화 기관은 미국 IEEE의 원자력공학위원회(NPEC: Nuclear Power Engineering Committee)와 IEC의 원자로계측(SC45A) 분과위원회이다. 본 논문은 2개 표준의 내용을 조사하여 IEEE와 IEC 표준의 보완적 사용 기회에 관해 논하고자 한다.

I. 서론(Introduction)

IEEE와 IEC 간에는 몇 가지 중복사항이 있으나 많은 경우 크게 다른 주제를 다룬다. 예를 들어, IEEE 표준은 특수형 장비의 환경적 품질에 관해 심도 있게 나아가는 반면 IEC는 일반적 수준에서만 주제를 다룬다.

거꾸로 어떤 IEC 표준은 IEEE 표준에서 거의 언급이 되지 않은 주제인 특정 계측 및 제어 기능을 다루고 있다. 본 논문은 어느 한 개 표준만을 사용하여 가능한 것 보다 더 광범위한 주제가 다루어질 수 있도록 양 개 표준을 보완적으로 사용할 수 있는 방안을 고려한다.

IEC와 IEEE 원자력 표준의 유사성과 차이점을 이해하기 위해 각각의 표준에 대해 계층다이어그램을 개발하였다. 양 개 표준의 협력관계를 조사하기 위해 동일 계층다이어그램을 사용한 논문 [1]은 대단히 중요하다.

II. 계층다이어그램(Layer Diagram)

계층다이어그램은 일개 문서군 들의 구조를 가장 일반적인 데에서 가장 특수한 데까지 보여주고 있다. 본 연구는 소프트웨어공학 표준[2] 분석을 위해 Moore가 정의한 계층구조를 사용하였다. 이 구조는 6개 계층을 사용한다.

- 용어: 전문용어 및 어휘를 규정하는 문서
- 종합지침: 전체 소장표준에 적용되는 지침을 제공하는 문서
- 원칙: 소장표준의 사용에 관한 원칙/목적을 기술하는 문서

- 요소표준: 전형적으로 이해의 기초가 되는 표준
- 적용지침: 표준사용에 관한 조언을 보충 또는 제공하는 문서
- 기술: 소장표준의 요건 또는 지침을 완성하는데 도움이 될 수 있는 방법 또는 기술을 설명하는 문서

계층다이어그램은 IEEE 및 IEC 표준 모두를 위해 개발되었다. 개발된 계층다이어그램은 양 기관의 표준이 3개의 군으로 분류될 수 있음을 보여준다.

- 1) 전체 또는 광역의 특수 기능에 적용되는 일반적인 설계주제 들을 기술하는 표준
- 2) 인간-기계 인터페이스 설계와 인간공학기술을 포함하여 인간공학에 관한 주제를 다루는 표준
- 3) 특수한 계측, 제어 또는 전기계통의 기능을 다루는 표준

표 1에서 표 4까지의 조합형 계층다이어그램은 이들 3개 분류군의 각각에 해당하는 표준 들을 보여준다. 이들 다이어그램은 표준 들에 대한 한 개 조망을 나타낸다.

계층다이어그램을 사용한 또 다른 조망도 가능하나 여기에 선정한 기관은 여하간 아래 논의를 위해 유용하다. ISA와 같은 타 기관의 지침 또는 IAEA의 표준들도 계층다이어그램 위에 표시하는데 유용하게 될 것이다. 이 같은 노력은 나중을 위해 남겨 두기로 한다.

TABLE 2 HUMAN FACTORS ENGINEERING STANDARDS

Terminology	IEC 60557 IEC terminology in the nuclear reactor field / IEEE 100 Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms	
Overall Guide	IAEA 50-C-D Safety of Nuclear Power Plants: Design / 10 CFR 50 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities IEC 61226 Instrumentation and control systems important for safety - Classification	
Principles	IAEA NS-252 Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants IEC 61513 Instrumentation and control for systems important to safety - General requirements for systems	
Element Standards	Human Factors Engineering	
	Control Rooms	Specific HMI Systems
	IEC 60964 Design of control rooms IEC 61772 Main control room - visual display units (VDU)	IEC 60960 Functional design criteria for SPDS IEC 60965 Supplementary control for remote shutdown
Principles		
Application Guide	IEC 62247 Main Control Room Design - A review of the application of IEC 60964	IEEE 1023 Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities IEEE 1289 Application of Human Factors Engineering in Computer Display Design
Techniques	IEC 61771 Main control-room - V&V of design	IEEE 645 Evaluation of Human System Performance IEEE 1082 Human Action Reliability Analysis
	IEC 61639 Control rooms - Functional analysis and assignment	

TABLE 3 IIEC SPECIFIC FUNCTION STANDARDS

Terminology	IEC 60577 IEC terminology in the nuclear reactor field			
Overall Guide	IAEA 50-C-D Safety of Nuclear Power Plants: Design			
	IEC 61226 Instrumentation and control systems important for safety - Classification			
Principles	IAEA NS-252 Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants			
	IEC 61513 Instrumentation and control for systems important to safety - General requirements for systems			
Element Standards	Specific Functions			
	Radiation Monitoring	Core Cooling Monitoring	Neutron Monitoring	Temperature Monitoring
	IEC 61504 Plant-wide radiation monitoring	IEC 60911 Monitoring core cooling - PWRs	IEC 80508 In-core neutron flux measurements	IEC 60737 In-core or primary envelope temperature
	IEC 60615 Radiation detectors for instrumentation and protection	IEC 61343 Monitoring core cooling - BWR	IEC 61468 Self-powered neutron detector	PNW 45A-620 RTDs Primary Coolant Temperature Measurement in PWRs
	IEC 60768 Process steam radiation monitoring for normal operating and shutdown conditions	IEC 62117 Monitoring core cooling during cold shutdown - PWR	IEC 61501 Wide range neutron flux monitor - Mean square voltage method	IEC 60988 Acoustic bore parts detection
	IEC 60951-1 Radiation monitoring accident and post-accident conditions	IEC 62118 Monitoring core cooling during shutdown - BWRs		IEC 61250 Detection of leakage in coolant systems
	Part 1: General requirements			IEC 61102 Vibration monitoring of internal structures
	Part 2: Continuously monitoring radioactive scale accumulation in stationary elements			IEC 61505 BWR Stability monitoring
	Part 3: High range area gamma radiation conditions			
	Part 4: Process stream			
	Part 5: Radioactivity of air			
	IEC 61031 Area gamma radiation monitoring			

TABLE 4 IEEE SPECIFIC FUNCTION STANDARDS

Terminology	IEEE 100 Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms			
Overall Guide	to CFR 60 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities			
Principles	Systems Important to Safety			
	IEEE 603 Criteria for Safety Systems			
Element Standards	Specific Functions			
	Electrical Systems	Cabling Systems	Radiation Monitoring	Other Functions
	IEEE 705 Prefeared Power Supply	IEEE 638 Raceway Systems	IEEE N42.19 Continuous OnSite Radiation Monitoring	IEEE 602 Criteria For Security Systems
	IEEE 308 Class 1E Power Systems	IEEE 690 Design and Installation of Cable Systems	IEEE N500 Emergency Rad Monitoring	
	IEEE 387 Diesel Generators	IEEE 317 Electric Penetration Assemblies		
	IEEE 741 Protection of Power Systems and Equipment			
	IEEE C37.2 Standard for Device Function Numbers and Contact Designations			
	IEEE 944 Application and Testing of Uninterruptible Power Supplies			
Application Guide	IEEE 404 Design and Installation of Vented Lead Acid Batteries			IEEE 1200 MOV Application, Protection, Control, & Test
	IEEE 450 Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead Acid Batteries			IEEE 622A Installation of Electric Pipe Heat Tracing
	IEEE 485 Sizing Lead Acid Batteries for Stationary Applications			IEEE 622B Testing and Startup for Electric Heat Tracing
	IEEE 1106 Maintenance, Testing, and Replacement of Nickel Cadmium Batteries			
	IEEE 1020 IEC Grounding			

TABLE 4 IEEE SPECIFIC FUNCTION STANDARDS

Terminology	IEEE 100 Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms					
Overall Guide	10 CFR 69 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities					
Principles	Systems Important to Safety					
	IEEE 603 Criteria for Safety Systems					
	Specific Functions					
	Electrical Systems	Cabling Systems	Radiation Monitoring	Other Functions	Heat Tracing	
	IEEE 705 Preferred Power Supply	IEEE 608 Raceway Systems	IEEE N42.18 Continuous On-Die Radiation Monitoring	IEEE 602 Criteria For Security Systems		
	IEEE 3100 Class 1E Power Systems	IEEE 690 Design and Installation of Cable Systems	IEEE H200 Emergency Fuel Monitoring			
	IEEE 307 Diesel Generators	IEEE 317 Electric Penetration Assemblies				
	IEEE 741 Protection of Power Systems and Equipment					
	IEEE C97.2 Standard for Device Function Numbers and Contact Designations					
	IEEE 944 Application and Testing of Uninterruptible Power Supplies					
	IEEE 484 Design and Installation of Vented Lead Acid Batteries			IEEE 1200 MOV Application, Protection, Control, & Test	IEEE 622 Design and Installation of Heat Tracing	
	IEEE 450 Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead Acid Batteries				IEEE 622A Installation of Electric Pipe Heat Tracing	
	IEEE 485 Sizing Lead Acid Batteries for Stationary Applications				IEEE 622B Testing and Startup for Electric Heat Tracing	
	IEEE 1106 Maintenance, Testing, and Replacement of Nickel Cadmium Batteries					
	IEEE 1020 IAC Grounding					

TABLE 6 IEEE STANDARDS FOR CONSIDERATION BY USERS OF IEC STANDARDS

System Guidance	<p>IEEE 336 Installation, Inspection, and Testing of I&C Equipment</p> <p>IEEE 577 Reliability Analysis in the Design and Operation of Safety Systems</p> <p>IEEE 933 Definition of Reliability Programs Plans</p>
Human Factors	<p>IEEE 1023 Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities</p> <p>IEEE 1289 Application of Human Factors Engineering in Computer Display Design</p> <p>IEEE 845 Evaluation of Human System Performance</p> <p>IEEE 1082 Human Action Reliability Analysis</p>
Environmental Qualification	<p>IEEE 323 Qualifying Class 1E Equipment</p> <p>IEEE 334 Qualifying Continuous Duty Class 1E Motors</p> <p>IEEE 383 Type Test of 1E Cables, Splices, & Connections</p> <p>IEEE 535 Qualification of Class 1E Lead Storage Batteries</p> <p>IEEE 572 Qualification of Class 1E Connection Assemblies</p> <p>IEEE 650 Qualification of 1E Battery Chargers and Inverters</p> <p>IEEE C37.82 Qualification of Switchgear Assemblies for 1E Apps</p> <p>IEEE C37.105 Qualification of 1E Protective Relays & Auxiliaries</p> <p>IEEE C37.98 Seismic Testing of Relays</p> <p>IEEE 833 Protection of Electric Equipment from Water Hazards</p>
Electrical Systems	<p>IEEE 765 Preferred Power Supply</p> <p>IEEE 308 Class 1E Power Systems</p> <p>IEEE 387 Diesel Generators</p> <p>IEEE 741 Protection of Power Systems and Equipment</p> <p>IEEE C37.2 Standard for Device Function Numbers and Contact Designations</p> <p>IEEE 944 Application and Testing of Uninterruptible Power Supplies</p> <p>IEEE 484 Design and Installation of Vented Lead Acid Batteries</p> <p>IEEE 450 Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead Acid Batteries</p> <p>IEEE 485 Sizing Lead Acid Batteries for Stationary Applications</p> <p>IEEE 1106 Maintenance, Testing, and Replacement of Nickel Cadmium Batteries</p> <p>IEEE 1050 I&C Grounding</p>
Functions	<p>IEEE 692 Criteria for Security Systems</p> <p>IEEE 1290 MOV Application, Protection, Control, & Test</p> <p>IEEE 622 Design and Installation of Heat Tracing</p> <p>IEEE 622A Installation of Electric Pipe Heat Tracing</p> <p>IEEE 622B Testing and Startup for Electric Heat Tracing</p>

Table 5 IEC Standards for Consideration by Users of IEEE Standards

Principles
IEC 61226 I&C systems important for safety - classification IEC 61513 I&C for systems important to safety - General requirements for systems IEC 61838 Use of probabilistic safety assessment for classification
System Guidance
IEC 61497 Electrical interlocks IEC 61500 Multiplexed data transmission IEC 61971 PWR - Measurement validation for critical safety functions
Human Factors
IEC 60964 Design of control rooms IEC 61772 Main control room - visual display units (VDU) IEC 60960 Functional design criteria for SPDS IEC 60965 Supplementary control for remote shutdown IEC 61771 Main control-room - V&V of design IEC 61839 Control rooms - Functional analysis and assignment
Functions
IEC 60911 Monitoring core cooling - PWRs IEC 61343 Monitoring core cooling - BWR IEC 62117 Monitoring core cooling during cold shutdown - PWR
IEC 60568 In-core neutron flux measurements IEC 61468 Self-powered neutron detectors IEC 61501 Wide range neutron flux monitor - Mean square voltage method
IEC 60737 In-core or primary envelope temperature
IEC 60910 Containment monitoring for early detection of events IEC 61250 Detection of leakage in coolant systems
IEC 60988 Acoustic loose parts detection IEC 61502 Vibration monitoring of internal structures
IEC 61505 BWR Stability monitoring

III. 분석(Analysis)

두 세트의 표준 들이 상호 보완을 하는 영역은 계층을 따라 작업해 가면서 이해가 될 수 있다. 각 분류군의 상부 3개 계층은 모든 다이어그램 들에 대해 공통적이다.

IEEE 원자력 표준 세트에는 NPEC가 원자력산업에 특별히 관련이 있어서 선정한 몇 개의 일반산업표준 들이 포함된다. IEC SC45A에는 타 IEC 위원회의 표준을 채택하는 유사사례는 없다. IEEE의 관련 일반표준목록은 최근에 갱신되지 않았다. 미국원자력규제위원회(NRC)가 승인한 몇 개 소프트웨어공학 및 EMI 표준 들이 추가될 것으로 보인다.

IEC 표준은 일반산업계통표준인 IEC 61508 산하의 산업특수표준으로 간주한다. 이는 상대적으로 신규개발 표준이며 IEC 61508과 원자력표준의 관계는 아직 성숙되어 있지 않다.

IEC는 IAEA 안전지침에 의존하여 I&C 계통에 대한 전반적 설계원칙을 제공한다. 따라서 본 분석은 IEC 원칙표준으로서 IAEA의 중요한 I&C 안전지침을 다룬다. 현재 이들 원칙들은 IAEA 안전지침 D3 “원자력발전소의 보호계통 및 관련설비”와 D8 “원자력발전소의 안전관련 계측 및 제어계통”에 등재되어 있다. 이들 2개 지침은 머지않아 DS 252의 초안형식으로 지정된 통합지침 “원자력발전소의 안전에 중요한 계측 및 제어계통”으로 대체 될 것이다.

IEEE 나 IEC의 어떠한 표준기관도 원자력계통에 대한 통합지침을 제공하고 있지 않다. 이 기능은 국가규제기관이 가지고 있다. 이와 같이 IEEE 표준은 미국연방규제기준(US Code of Federal Regulations), 10절 50항 “생산 및 이용설비의 국

내 인허가”와 특히 경수로(LWR)를 다루는 부록 A의 요건을 주목하고 있다. 반면 IEC 표준은 모든 회원국의 규제기준을 고려하지 않으면 안 된다.

실제로 IEC 표준 전문가 그룹이 이와 같이 광범위한 지침을 모두 익힐 수는 없다. 따라서 IAEA 안전표준 NS-R-1 “원자력발전소의 안전설계”가 실제적으로 전체 지침의 자원으로 사용되고 있다. 회원국들이 승인하는 NS-R-1은 모든 회원국들의 규제요건들과 부합하는 지침이 되어야 한다. 그럼에도 불구하고 미국원자력규제위원회(US NRC)의 지침과 IAEA 지침은 성격상 차이가 나므로 세부적으로 피할 수 없는 차이점이 발생된다.

예를 들어, NRC 규제기준에는 경수로에 관해 매우 특수한 요건이 열거되지만, IAEA 요건은 광범위한 원자로 형에 관해 기술한다.

IAEA 요건과 NRC 요건의 부합성은 조만간 긍정적으로 기대할 수 있는 수준에 이를 것이다. 이와 같이 2 세트의 체제로 기술된 표준은 상대적으로 양립될 수 있어야 한다. 이는 특히 좁은 성격의 주제에 초점을 둔 하부수준의 표준에 대해 성립될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 사용자들에게는 각기 다른 통합지침에서 유래된 2세트의 표준으로 인해 IEC와 IEEE 표준을 언제고 함께 사용해야 하는 필요성에 관해 부담을 가지게 된다.

IV. 결론(Conclusions)

원자력발전소에 관한 IEEE와 IEC의 표준이 상호 협력하여 사용되어야 함은 자명하다. 표 5와 표 6은 현존하는 IEEE와 IEC 표준 들 간에 상호 양호한 보완적 관계가 있음을 요약해 주고 있다.

향후, 2세트의 표준을 사용함으로써 인한 세부분

제와, IEEE 및 IEC 표준 간 중복된 내용으로 야기될 수 있는 상충관계를 검토하는 작업이 수행될 것이다.

당분간 표 5와 표 6은 표준을 사용하는 사람들이 I&C 계통의 설계, 구매 및 배치에 관해 유용한 정보의 추가자원을 확인하는 데 도움이 될 것으로 기대 된다.

참고문헌(Reference)

[1] G.L. Johnson, "Comparison of IEC and IEEE Standards for Computer-Based Control Systems Important to Safety" Nuclear Energy Agency Workshop on Licensing and Operating Experience of Computer-based I&C Systems Important to Safety, Hluboka, Czech Republic, Organization for

Economic Corperation and Development, Issy-les-Moulineaux, France, 2001.

[2] J. Moore 1998, Software Engineering Standards, A User' s Map, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, 1998.

IEC Standards are available from
www.ice.ch

IEEE standards are available from
standards.ieee.org

IAEA guides are available from
www.iaea.org/worldatom/Books/