
2018 KNS 추계학술대회 워크숍

주요 사건의 근본원인에 기여한

안전문화 취약요소 검토 방법론

2018. 10. 24. 중앙연구원
김영갑부장



CONTENTS

- 1 개 요
 - 2 국내외 산업계 방법론
 - 3 방법론 정립
 - 4 결 론
-

▣ 안전문화 취약요소 검토* 방법론 정립



* 안전문화 취약요소 검토

- ☞ 발전소에서 문제점 혹은 사건이 발생하였을 경우, 설비나 기기 측면보다는 조직의 안전문화 관점에서 사건의 근본원인에 기여한 안전문화 관련성 및 취약요소를 평가하여 개선 필요분야에 대한 시정조치 수립

■ 국내외 산업계 방법론 검토

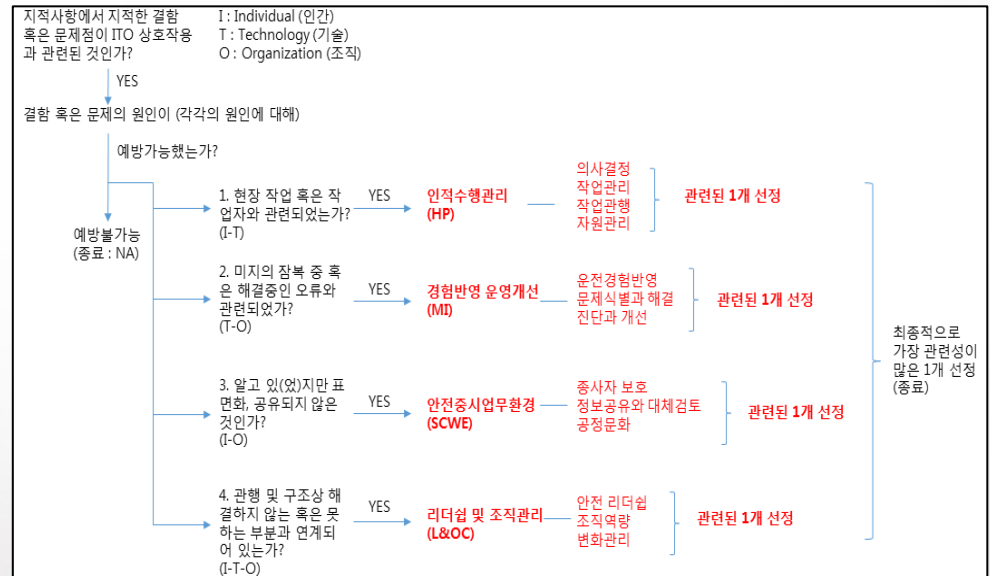
❖ 검토 대상 : HFACS, EBSCA, HuRAM+, Entergy, Dominion, TVA

■ KINS의 사건별 SC 취약요소 평가(HuRAM+)

- 평가기준 : 안전문화 구성요소 5개 분야와 16개 항목
- 평가주기 : 발전소 성능저하 or 사건이 발생하였을 경우
- 평가방법 : 사건 발생 및 진행 정보를 기준으로 기 작성된 수목(Tree)을 통해 원인을 찾아내는 Predefined Tree 기반으로 안전문화 구성요소 확인
- 평가특징 : 발견된 문제점에 대한 시스템적 접근(Systemic Approach)을 위하여 인간(I: Individual), 기술(T: Technology), 조직(O: Organization)간 상호작용과 관련이 있는지 확인하면서 평가 수행

원인그룹	주원인항목
인적 수행관리	의사결정
	작업관리
	작업관행
	자원관리
경험반영과 운영개선	운전경험반영
	문제 식별과 해결
	진단과 개선
안전중시 업무환경	종사자 보호
	정보공유와 대체경로
	공정문화
리더십 및 조직관리	안전 리더십
	조직역량
	변화관리
안전문화관리 시스템	시스템구축
	이행조직
	이행체계

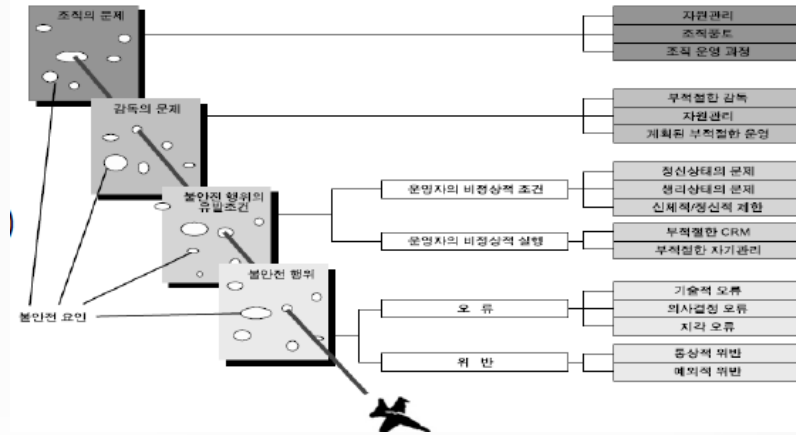
[HuRAM+ 안전문화 요인의 원인항목 분류 체계]



[지적/권고사항에 대한 안전문화 원인분석 체계]

■ 항공분야 사건별 SC 취약요소 평가(HFACS)

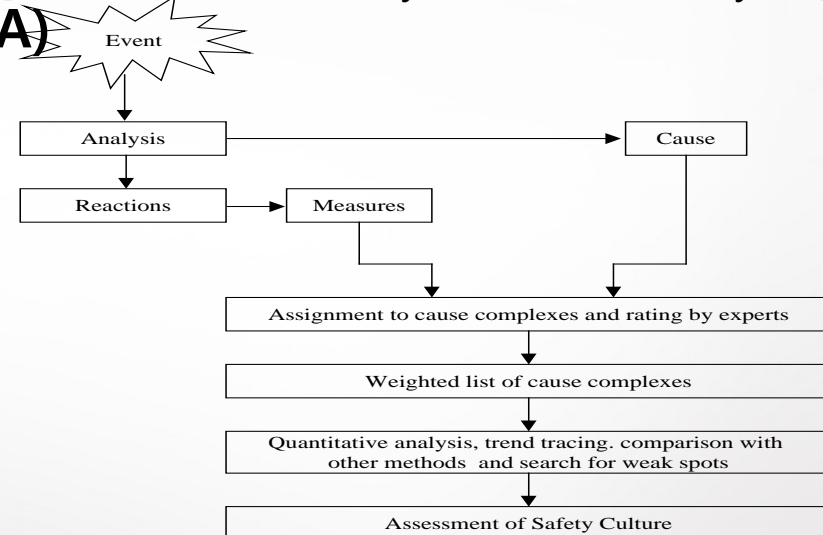
- Reason의 스위스 치즈모델을 기반으로 개발된 조직 및 인적요인 중심의 항공사고 분석 시스템(HFACS: Human Factors Analysis and Classification System)
- 평가기준 : 원인분류 체계(불안전 감독, 조직의 영향)
- 평가특징 : 분류가 포괄적이고 전문 직능별 (운항, 관제분야 등) 세분화되지 않음. 항공사별 코딩 기준이 달라 표준화 필요



■ 독일원전 사건별 SC 취약요소 평가(EBSCA)

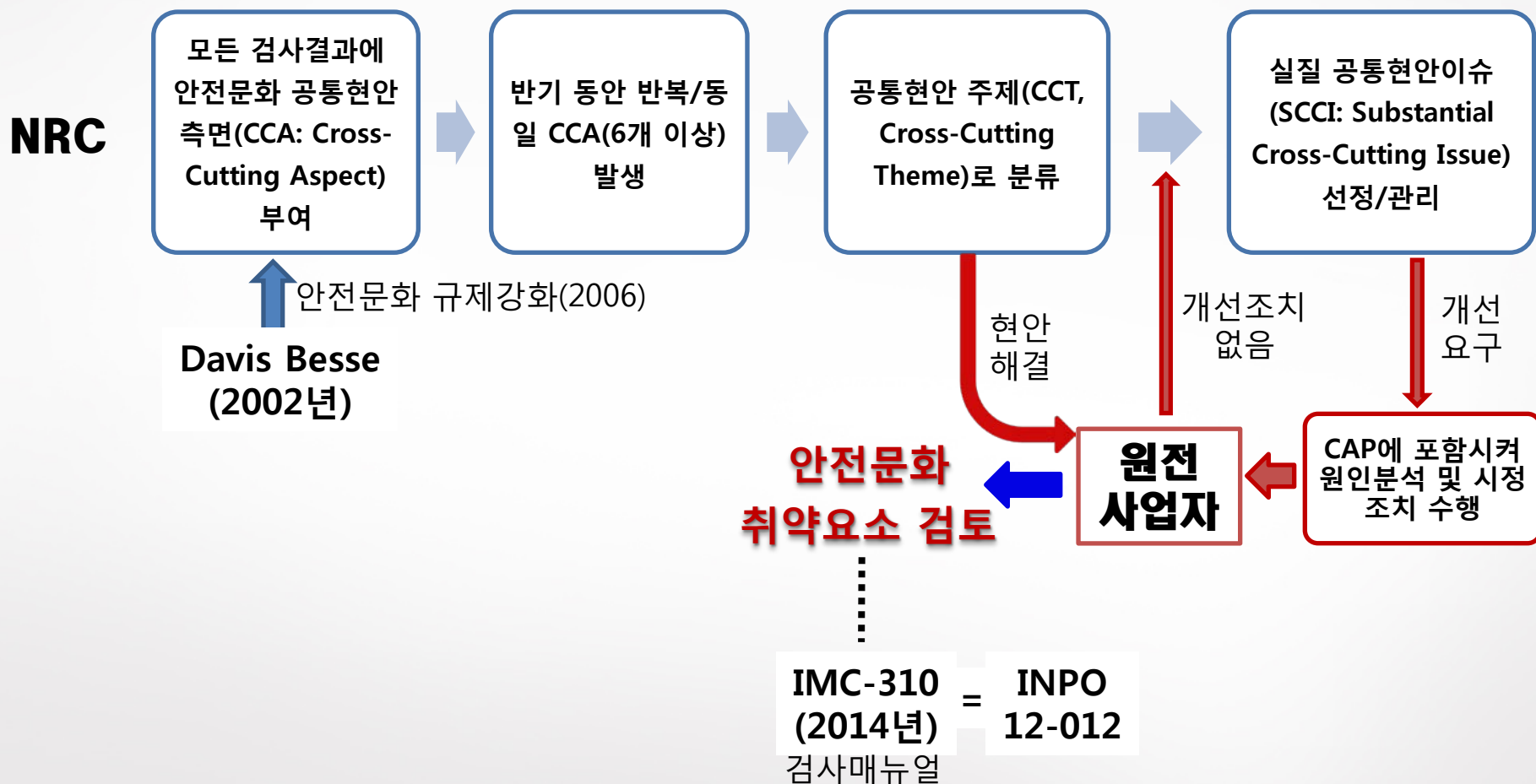
- 2001년 독일 원전을 위해 개발된 조직과 관리결함 분석 절차 및 코딩 시스템(EBSCA: Event-based Safety Culture Assessment)
- 평가기준 : 분석 코딩시스템
- 평가방법 : 대상사건 선정, 데이터 분석, 면담 및 배경 정보 취득, 원인평가 및 분류, 등급 평가 및 조직결점 결과 요약 순으로 평가

[HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)]



■ 미국원전의 사건별 SC 취약요소 검토

◎ NRC 안전문화 규제감독 체계



■ IMC-310 & INPO 12-12 & KHNP SC Pr

Cross Cutting Areas	NRC IMC-310(4분야 35속성)	INPO 12-12(10특징 40속성)	KHNP SC Pr(8원칙 32속성)
Human Performance(H)	H.1 Resources	LA.1 Resources	K2D
	H.2 Field Presence	LA.2 Field Presence	K2A
	H.3 Change Mgt.	LA.5 Change Mgt.	K3D
	H.4 Teamwork	PA.3 Teamwork	K4D
	H.5 Work Mgt.	WP.1 Work Mgt.	K5A
	H.6 Design Margins	WP.2 Design Margins	K5B
	H.7 Documentation	WP.3 Documentation	K5C
	H.8 Process Adherence	WP.4 Procedure Adherence	K1C
	H.9 Training	CL.4 Training	K5D
	H.10 Bases for Decisions	CO.2 Bases for Decisions	K2C, K3C
	H.11 Challenge the Unknown	QA.2 Challenge the Unknown	K6A, K6C
	H.12 Avoid Complacency	QA.4 Avoid Complacency	-
	H.13 Consistent Process	DM.1 Consistent Process	-
	H.14 Conservative Bias	DM.2 Conservative Bias	K4B
Problem Identification and Resolution(P)	P.1 Identification	PI.1 Identification	K8C
	P.2 Evaluation	PI.2 Evaluation	K7D, K2A
	P.3 Resolution	PI.3 Resolution	K6B, K7C, K4B
	P.4 Trending	PI.4 Trending	-
	P.5 Operating Experience	CL.1 Operating Experience	K7A, K7B
	P.6 Self-Assessment	CL.2 Self Assessment	K8A, K8B
Safety Conscious Work Environment(S)	S.1 SCWE Policy	RC.1 SCWE Policy	K3B
	S.2 Alternate Process for Raising Concerns	RC.2 Alternate Process for Raising Concerns	-
	S.3 Free Flow of Information	CO.3 Free Flow of Information	-
Supplemental Cross-Cutting Aspects(X)	X.1 Incentives, Sanctions and Rewards	LA.3 Incentives, Sanctions and Rewards	K1D
	X.2 Strategic Commitment to Safety	LA.4 Strategic Commitment to Safety	K1A
	X.3 Roles, Responsibilities and Authorities	LA.6 Roles, Responsibilities and Authorities	K1A
	X.4 Constant Examination	LA.7 Constant Examination	-
	X.5 Leader Behavior	LA.8 Leader Behaviors	-
	X.6 Standards	PA.1 Standards	K1C
	X.7 Job Ownership	PA.2 Job Ownership	K1B
	X.8 Benchmarking	CL.3 Benchmarking	-
	X.9 Work Process Communication	CO.1 Work Process Communications	-
	X.10 Expectations	CO.4 Expectations	K2B
	X.11 Challenge Assumption	QA.3 Challenge Assumption	K6D
	X.12 Accountability for Decisions	DM.3 Accountability for Decisions	K4C
QA1, WE1~4는 IMC-310에 미 적용		QA.1 Specialty of Nuclear	-
		WE.1 Respect is evident	K3A
		WE.2 Opinions are valued	K4A, K4D, K8D
		WE.3 High Level of Trust	K3C
		WE. 4 Conflict Resolution	-

■ 미국원전의 사건별 SC 취약요소 검토

● 운영사별 안전문화 검토기준

- INPO 12-012(Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture) : 10특성, 40속성
- NRC IMC-310(Aspects within the Cross-Cutting Areas) : 4분야, 35속성
- INPO 15-005(Leadership and Team Effectiveness Attributes) : 14속성

● 안전문화 취약요소 검토방법

- 원전에서의 문제점 or 사건에 대한 근본원인 분석 시 NRC의 IMC-310(Aspects within the Cross-Cutting Areas)에 따라 안전문화를 검토하며, 검토결과는 근본원인의 시정 조치와 연계됨(운영사별로 검토 톨은 상이함)

Entergy사 RCA보고서의 안전문화 분석(예시)

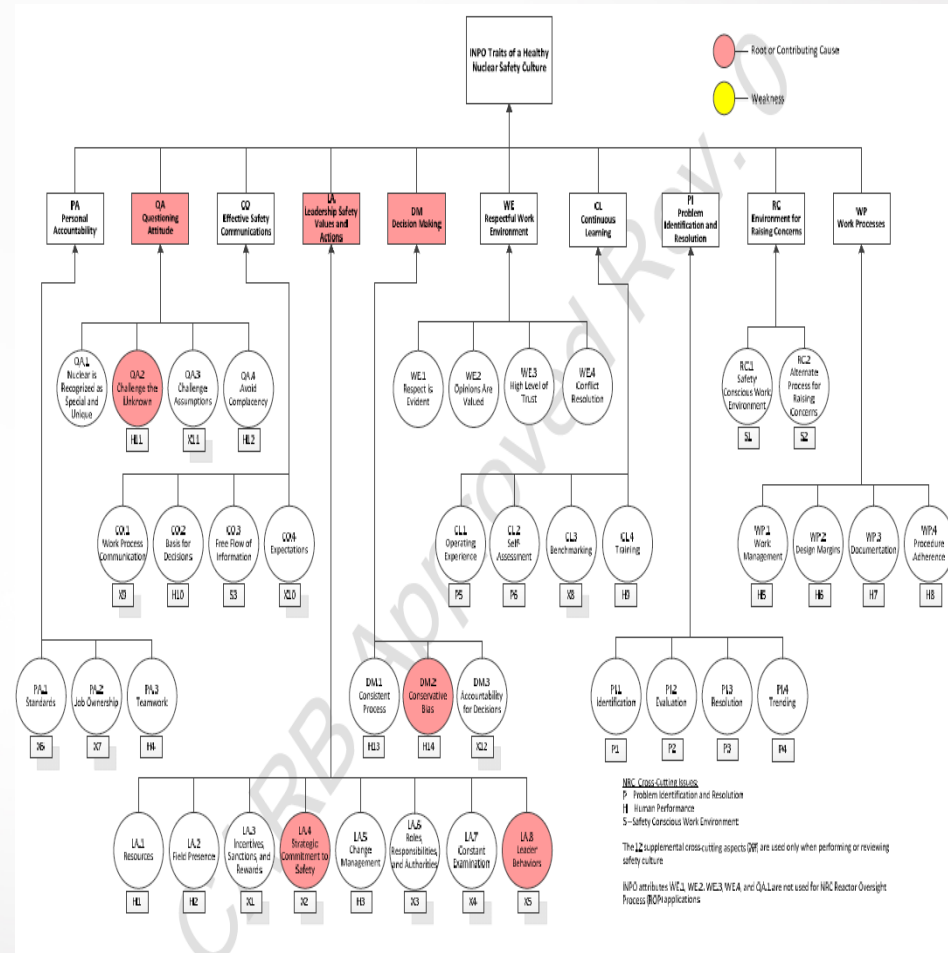
WER ATL 16-0349 정지냉각계통 상실(Loss of Shutdown Cooling Event River Bend 1)			
안전문화 검토			
관련문서	<ul style="list-style-type: none">● 원인평가 절차(EN-LI-118)● 안전문화 추세코드(EN-LI-121-01)		
주요절차	<ul style="list-style-type: none">● 원인 파악 분석과정에서 안전문화양상(safety culture aspects)을 검토● 근본원인/기여원인과 관련된 안전문화 추세코드(trend code, EN-LI-121-01) 분석		
안전문화 적용모델	<ul style="list-style-type: none">● INPO 12-012(Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture)● NRC IMC-310(Aspects within the Cross-Cutting Areas)		
안전문화 분석결과			
안전문화 코드 (Trend Codes)	RC1	NLA5(NRC H.3)	변경관리: 리더들이 체계적인 프로세스를 통해 변경사항들을 평가 및 실행하여 원자력 안전이 최우선순위로 유지되도록 보장함.
		NCL1(NRC P.5)	운전경험: 조식이 유관 내부·외부 운전경험 정보의 교환들을 체계적이고 효과적으로 수집 및 평가하며 조속히 실행함.
	RC2	NQA2(NRC H.11)	불확실사항 문제시: 직원들이 불확실한 상태를 직면하였을 때 업무를 중지함. 업무 재개에 앞서 위험성을 평가하고 관리함.
		NWP4(NRC H.8)	절차서 준수 : 직원들이 절차, 절차서, 작업지침서를 준수함.
시정조치	RC1	1990년~2000년까지 실행된 절차서 개정관련 제발방지 시정조치들을 검토하여 절차서 개정사항이 현재까지도 유효하도록 보장하거나, 또는 개정사항 삭제 전 적절한 검토를 받았는지 독립 검증할 수 있는 서면자료가 충분한지 보장할 것. 본 조치의 완료는 제발방지 시정조치들과 관련된 절차서 개정을 100% 검토한 후 문제점이 파악되지 않아야 한다.	
	RC2	RLP-NLO-1003을 개정하여 시스템 절퍼와 비절연 절퍼 간 차이점을 추가하고, 시스템 절퍼의 용도를 해설할 것. 전환식(switchable) 절퍼의 사용에 관한 답론을 추가할 것. 이러한 개정사항에 관해 모든 운전원들이 교육 받도록 보장하는 추가 조치를 수립할 것.	

● 운영사별 안전문화 취약요소 검토 비교

기관	Entergy	TVA	Dominion
절차	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 근본원인평가 절차(EN-LI-118) ◆ 안전문화 추세코드(EN-LI-121-01) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 근본원인평가 절차(NPG-SPP-22.306) ◆ 안전문화 분석(NPG-SPP-22.305) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 근본원인평가 절차
안전문화 검토기준	<ul style="list-style-type: none"> ◆ INPO 12-012(Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture) ◆ NRC IMC-310(Aspects within the Cross-Cutting Areas) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ INPO 12-012(Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture) ◆ NRC IMC-310(Aspects within the Cross-Cutting Areas) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ INPO 12-012(Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture) ◆ INPO 15-005(Leadership and Team Effectiveness Attributes)
안전문화 검토방법	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 원인 분석과정에서 안전문화측면(safety culture aspects)을 검토 ◆ 근본원인/기여원인과 관련된 안전문화 측면 분석(trend code) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 원인 분석과정에서 안전문화측면(safety culture aspects)을 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 근본원인 및 기여원인이 긍정적 안전문화 요소와의 일치성 여부를 검토 → 검토(만족,악화,중요기여,근본원인)
시정조치	근본원인의 시정조치와 연계	근본원인의 시정조치와 연계	근본원인의 시정조치와 연계

❖ 안전문화 검토 Tool 및 템플릿(예시)

	<i>stresses above the material limit.</i>	<i>CFCU dumper mods not recognized.</i>	<i>Engineering analysis in ACE.</i>	<i>ACE process - cause not identified. Not enough whys; no change analysis. Presumptive cause only.</i>	<i>ACE decision not challenged by D-carb or CARG.</i>	<i>Decision to defer ACE CA process.</i>			
Safety Culture Attribute	RC1	CC1	CC2	CC3.1a	CC3.1b	CC3.2	EN. 1-1	PI. 2-1	OF. 2-1
Area 1: Human Performance									
H.2 Field Presence				yes	yes			X	
H.5 Work Management						yes			X
H.6 Design Margins	yes	yes					X		
H.7 Documentation						yes	X		X
H.8 Procedure Adherence				yes			X	X	
H.11 Challenge the Unknown	yes						X	X	
H.12 Avoid Complacency		yes					X		
H.13 Consistent Process						yes	X		X
H.14 Conservative Bias		yes					X		X
Area 2: Problem Identification and Resolution									
P.2 Evaluation	yes	yes	yes	yes			X	X	
P.3 Resolution	yes			yes	yes	yes	X	X	
Area 4: Supplemental Cross-Cutting Aspects									
X.5 Leader Behaviors					yes	yes		X	X
X.11 Challenge Assumptions						yes		X	X
Yes = indicates this Safety Culture aspect was a concern/ factor.									
X = 2013 AFI corrective actions credited to address cause.									



■ 한수원 안전문화 취약요소 검토기준

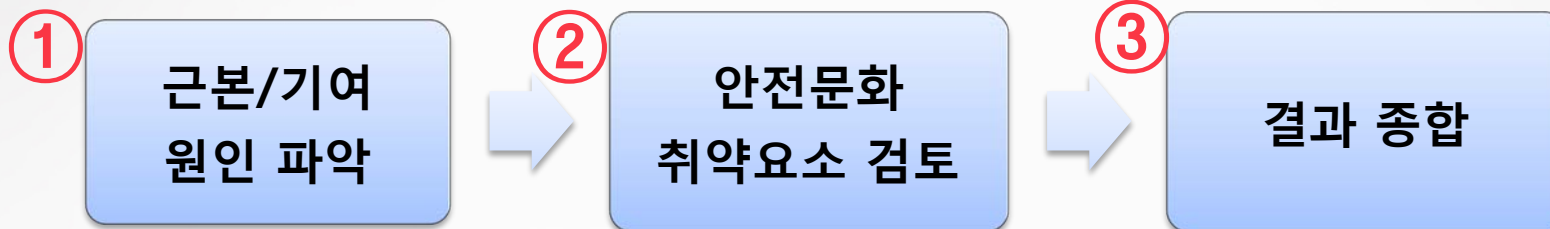
❖ 원자력안전문화 8 원칙

K1	Personal Accountability (PA)	모든 종사자는 원자력 안전에 책임이 있다
K2	Leaders' Action (LA)	관리자는 원자력안전을 위해 솔선수범 한다
K3	Trust (TR)	신뢰가 조직에 형성되어 있다
K4	Decision Making (DM)	의사결정시 안전을 최우선으로 고려한다
K5	Work Process (WP)	원자력 기술은 특별한 것으로 인식한다
K6	Questioning Attitude (QA)	의문을 갖는 태도를 장려한다
K7	Continuous Learning (CL)	지속적인 학습 환경을 조성한다
K8	Constant Examination (CE)	원자력 안전을 지속적으로 진단한다

❖ 원자력안전문화 코드

원칙/속성	코드	원칙/속성	코드
K1	PA	K5	WP
K1A	PA1	K5A	WP1
K1B	PA2	K5B	WP2
K1C	PA3	K5C	WP3
K1D	PA4	K5D	WP4
K2	LA	K6	QA
K2A	LA1	K6A	QA1
K2B	LA2	K6B	QA2
K2C	LA3	K6C	QA3
K2D	LA4	K6D	QA4
K3	TR	K7	CL
K3A	TR1	K7A	CL1
K3B	TR2	K7B	CL2
K3C	TR3	K7C	CL3
K3D	TR4	K7D	CL4
K4	DM	K8	CE
K4A	DM1	K8A	CE1
K4B	DM2	K8B	CE2
K4C	DM3	K8C	CE3
K4D	DM4	K8D	CE4

한수원 안전문화 취약요소 검토 절차



- 취약 속성 선정
- 판단근거(검토결과) 작성
- 시정조치 내용 기술

- 근본/기여 원인별 안전문화 취약요소 및 판단근거
- 취약 속성별 원인기여 가중치 설정

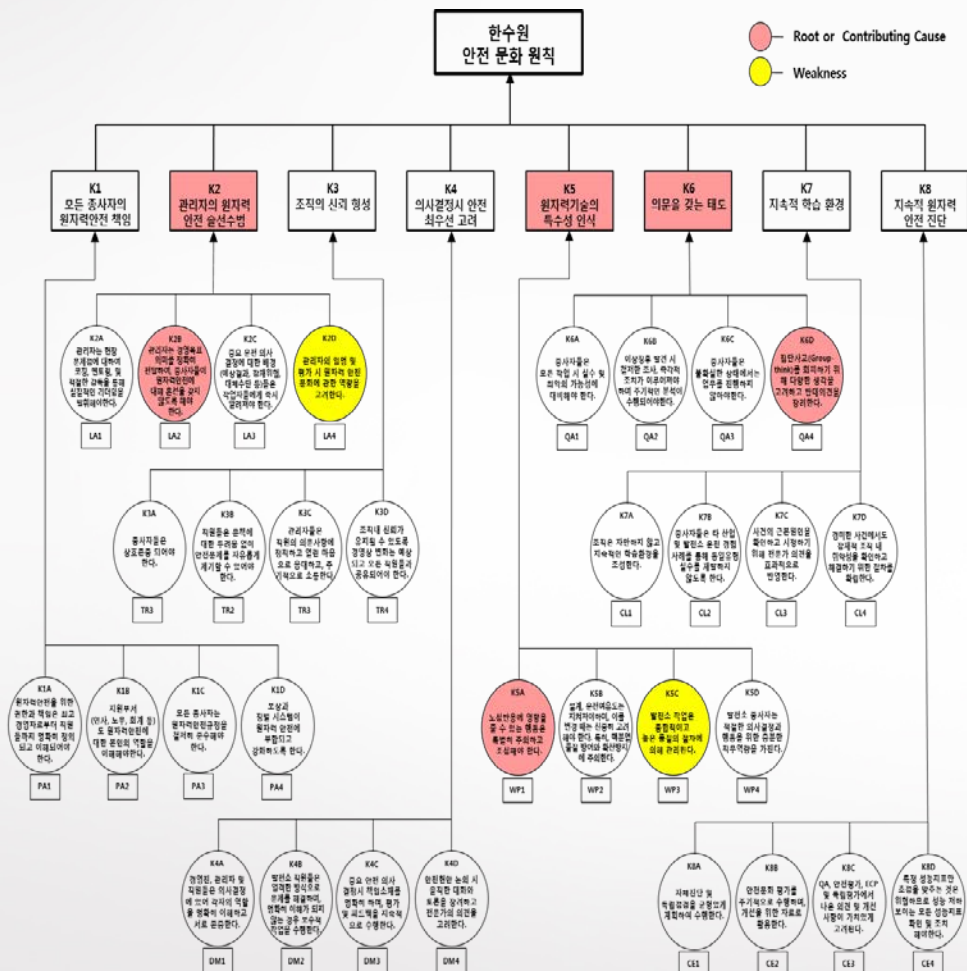
원자력안전문화 평가표

고리4호기 주증기관 저 압력에 의한 안전주입(SI) 발생				
발전소명	운영사	발생 일시	설계사	노 형
고리 4호기	한수원	2013.04.14	Bechtel	PWR
사건 개요				
사건 요약	'13. 04. 14 11:34분 고리 4호기 제 21차 계획예방정비 후 증기발생기 'A' 2차측 급속충격감시계통(LFMS) 이상신호 발생관련 원인정검을 위해 원자로 정지 후 원자로냉각재 냉각과정 중 가압기 '저' 압력에 의한 안전주입신호(SIS) 차단(P-11, 139.9 kg/cm ² 이하) 이전에 주증기관 '저' 압력(41.14 kg/cm ²) 신호에 의한 안전주입(SI) 발생			
사건 개략도				

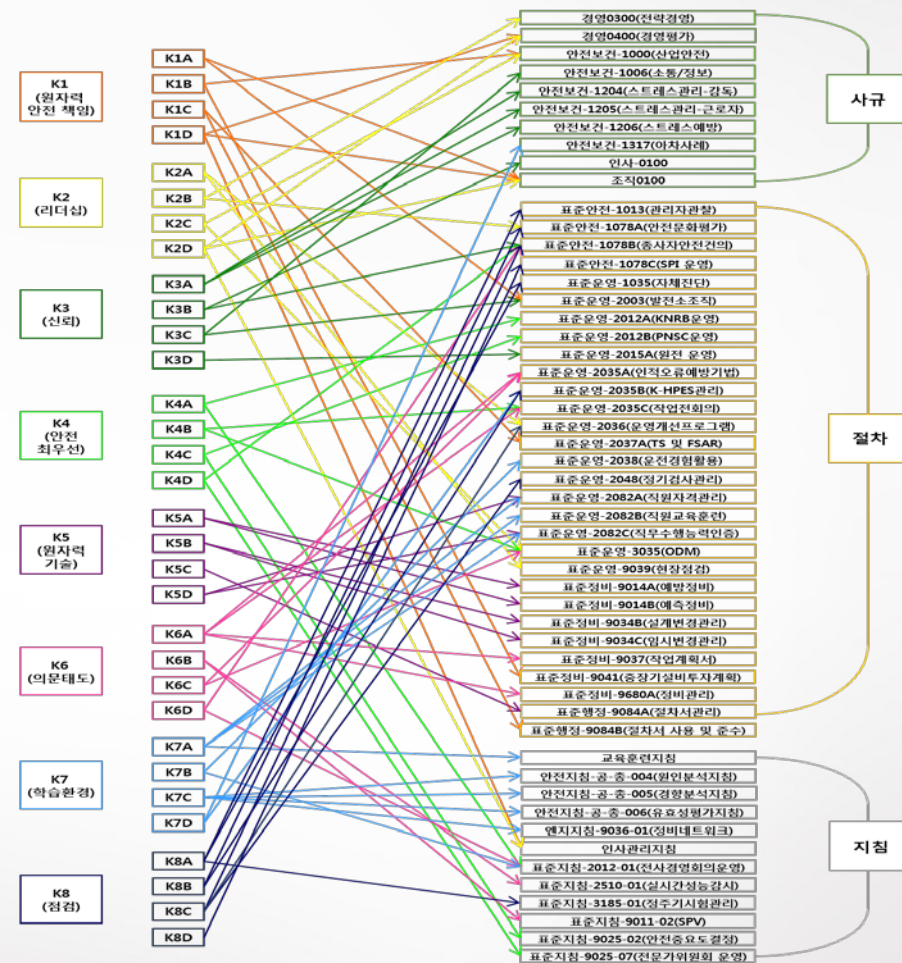
K2(LA) : 관리자는 원자력안전을 위해 솔선수범 한다				약어
번호	코드	내용	안전문화 적용여부	
K2A	LA1	관리자는 현장 통제에 대하여 요청, 검토, 및 적절한 감독을 통해 실질적인 리더십을 발휘해야 한다	약	안전문화 적용여부
		원인 : 근본 원인 3	예	□ 아니요
		평가 : 안전문화의 영구 관리 미흡으로 운전면수 인정 및 운전 정보에 대한 명확한 업무지시가 이루어지지 않아 실질적인 리더십이 이루어지지 않았음	예	□ 아니요
K2B	LA2	관리자는 경영목표의 의미를 정확히 전달하며, 종사자들이 원자력안전에 대해 혼신을 갖게 않도록 해야 한다	약	안전문화 적용여부
		원인 : 해당 없음	예	□ 아니요
		평가 : K1A의 평가결과와 상통	예	□ 아니요
K2C	LA3	중요 운전 의사결정에 대한 배경(예상결과, 잠재위험, 대체수단) 등은 작업자들에게 즉시 알려줘야 한다	약	안전문화 적용여부
		원인 : 근본 원인 3	예	□ 아니요
		평가 : 냉각재의 수평 단계별 주요 조치사항 및 중요 운전면수에 대한 의사소통이 이루어지지 않았으며, 턱심 차장의 복수기 펌프모드 조작 시 RCS 온도 및 압력에 대한 감시가 불충분하였음	예	□ 아니요
K2D	LA4	관리자는 "시정조치 계획"에서 정의한 단기조치계획에 본 요소를 반영하고 있음	약	안전문화 적용여부
		원인 : 해당 없음	예	□ 아니요
		평가 : K1A의 평가결과와 상통	예	□ 아니요
K2E	LA5	관리자의 임명 및 평가 시 원자력 안전문화에 관한 역할을 고려한다	약	안전문화 적용여부
		원인 : 해당 없음	예	□ 아니요
		평가 : K1A의 평가결과와 상통	예	□ 아니요
K2F	LA6	관리자는 현장 통제에 대하여 요청, 검토, 및 적절한 감독을 통해 실질적인 리더십을 발휘해야 한다	약	안전문화 적용여부
		원인 : 해당 없음	예	□ 아니요
		평가 : K1A의 평가결과와 상통	예	□ 아니요

원자력안전문화 평가 종합표		
원인	안전문화 코드	가중치
근본원인	K2C(LA3)	68%
기여원인	K1C	100%

결과 개략도



KHNP 안전문화 PO&C



■ 안전문화 상세검토(24건) 결과

7. 한빛 2호기 13.8KV 고압차단기반 회로시험 중 안전/비안전모선 저전압 발생

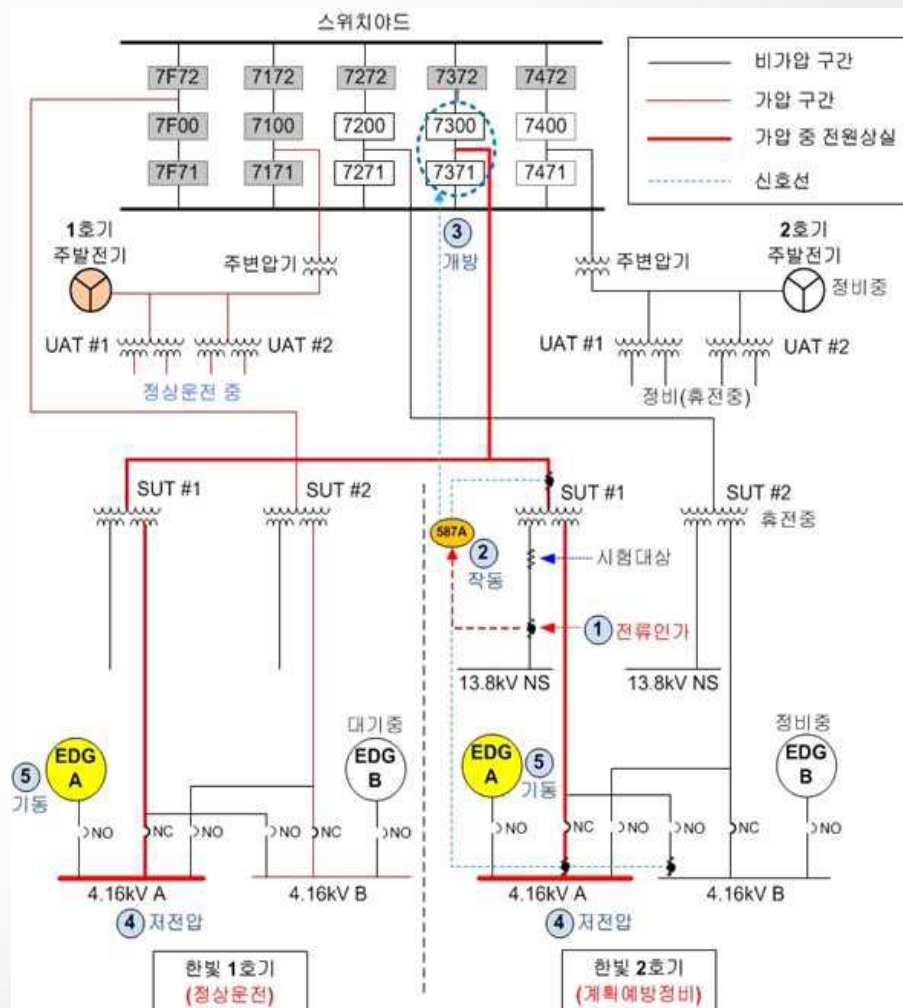
발전소명	발생 일시	설계사	노 형
한빛 2호기	2014.10.01	Bechtel	PWR

사건
요약

2014년10월1일 13:57분경, 한빛 2호기 계획예방정비 중 13.8kV 비안전모선 고압차단기반 교체 후 개체시험 과정에서 기동용변압기 보호계전기 작동으로 스위치야드 차단기가 개방되어 소외전원이 상실되었고, 1,2호기 4.16kV 안전모선 저전압에 의해 비상디젤발전기가 자동 기동되었음.

스위치야드 차단기 개방에 의한 소내전력계통 과도 기간 중, 안전모선 저전압에 따른 비상디젤발전기 자동기동 및 안전계통 부하투입 등은 설계된 바에 따라 작동하였고, 발전소 1,2차 계통의 주요 운전변수는 안정적으로 유지되었으며 소내·외 방사선 관련 특이사항은 없었음을 확인하였음. 사건조사 결과, 고압차단기반 교체후 안전모선 저전압(LOV: Loss of Voltage) 유발 가능 작업으로 분류되지 않아, 기동용변압기가 가압된 작업환경에서 보호계전기 작동 가능성에 대한 원전운영자의 사전 작업검토 미흡으로 인해 차단기반 개체시험 과정 중 보호계전기 작동으로 4.16kV 안전모선 저전압이 발생하여 사건이 발생한 것으로 평가되었음.

원전운영자는 시험일정 조정 및 1호기 LOV 방지대책 수립, 발전소 전기작업 LOV 유발작업 재분류, 차단기반내 물리적 방벽 설치 등의 단기조치사항을 완료하였고, LOV 관련 설계변경 관리절차 개선 및 LOV 유발기기 작업관리 강화 등의 중장기대책을 수립하였고 이에 대해 검토한 결과, 유사사건 재발방지대책으로 적절한 것으로 평가함.



원인		안전문화 코드	가중치	검토내용
근본원인	<p>1. 부적절한 작업관리(LOV 유발 작업을 일반 작업으로 분류) 부적절한 작업관리로 인해 LOV 유발 작업을 일반 작업으로 분류함.(선행호기 작업 시 해당 시험을 LOV 유발 작업으로 분류하고, SUT #1 비가압 상태에서 작업이 수행되었으나, 한빛 1 발전소는 SUT #1과 고압차단기반 사이를 전기적으로 분리하였으므로 LOV 발생가능성이 없다고 판단하여, 작업조건이 SUT #1 보호계전기 작동에 미치는 영향에 대한 사전검토가 미흡하였음)</p> <p>이는 안전문화 속성 K4B "발전소 종사자들은 엄격한 방식으로 문제를 해결하며, 명확히 이해가 되지 않는 경우 보수적으로 작업을 수행한다."와 관련됨</p>	K4B	0.418	작업전 사전검토 미흡(K4B)
기여원인	<p>1. 물리적 방벽 미흡 유사한 변류기 단자대가 인접, 설치되어 선택착오의 가능성이 존재하였으나, 별도의 LOV 식별표시 및 단자대 인식표 부착 등의 물리적 방벽을 갖추지 못하였음. 이는 설계 및 설치의 문제로 안전문화 속성과는 관련 없음.</p>	N/A	-	-
	<p>2. 공급사 시험절차서 미흡 공급사가 작성·수행한 시험절차서 및 점검기록지에는 시험대상 단자대 정보가 없고, 고압차단기반 간의 차이점을 반영하지 않고 있으나, 원전운영자는 이를 검토·승인하였음. 이는 안전문화 속성 K5C "발전소 작업은 종합적이고 높은 품질의 절차에 의해 관리된다."와 관련됨.</p>	K5C	0.273	공급사 시험절차서의 검토, 승인 미흡(K5C)
	<p>3. 시험원의 주의 부족 및 시험 감독자의 중복된 타 업무 수행 보호계전기 작동가능성과 LOV에 대한 원전운영자의 주의사항 전달 없이 시험원은 대형펌프 고압차단기반과 SUT 인입차단기반과의 단자대 차이점에 대한 적절한 주의를 기울이지 않았고, 시험 감독자는 중복된 타 업무수행으로 감독업무를 할 수 없었음. 이는 안전문화 속성 K1C "모든 종사자는 업무수행 시 규정, 절차 및 지침을 철저히 준수해야 한다."와 관련됨.</p>	K1C	0.119	감독자 및 시험원 각자의 책임 이행 미흡(K1C)
	<p>4. 선행호기 LOV 및 SBO 사건 교훈 미 반영 선행호기 LOV 및 SBO 사건 교훈이 적절히 반영되지 못하여 사건이 재발하였으므로, 안전문화 결여(시정조치가 적절히 수행되지 못하여 사건이 재발함)에 해당됨. 이는 안전문화 속성 K7B "종사자들은 타 산업 및 발전소 운전 경험사례를 통해 동일유형 실수를 재발하지 않도록 한다."와 관련됨</p>	K7B	0.190	선행호기 운전경험 사례 검토 미흡(K7B)

- 검토 방법론은 미국 원전 사례를 기반으로 정립한 것으로, 실제 적용을 위해서는 국내 원전의 현장 여건 고려 필요
- 정립된 방법론에 의한 상세 검토는 과거 발생 사건의 문서만을 참고하여 수행되었기 때문에 향후 발전소 발생 사례에 대한 시범(Pilot) 검토 및 보완이 필요
- 상세검토 사례(24건)는 사건 교훈이 반영된 교육콘텐츠로 활용 중

A light gray world map is centered in the background of the slide, showing the outlines of the continents.

감사합니다.