

K-HRA 방법론 적용의 교훈 및 개선방향

▶▶▶▶ KNS 2017 춘계 학회 - 국내원전 인간신뢰도 분석 현안 Workshop

the New Leader

Value-Creating Partner

원자력 그 속엔 희망이 있습니다. (주)액트가 함께합니다.



(주)액트

www.actbest.com



- ◆ 배경
- ◆ K-HRA 방법론
- ◆ PSF 선정 및 평가
- ◆ 전출력 내부사건 HRA 결과 평가
- ◆ 정지저출력 내부사건 HRA 결과 평가
- ◆ 결론



❖ K-HRA 방법론

- 2005년, 국내 HRA 전문가들에 의하여 개발된 인간신뢰도 분석 방법론
- K-HRA 방법론 개발의 가장 큰 목적은 HRA 분석가들 사이의 분석결과 차이의 최소화
- K-HRA 방법론 개발 목적을 달성하기 위하여 분석 절차를 표준화하고 분석과정 및 인적오류확률 계산에 사용되는 입력을 명확화 함
- 기본구조는 ASEP (Accident Sequence Evaluation Program) HRA 절차를 활용함
- KHNP(CE Type NPP) PRA and Westinghouse 원전 PRA에서의 상당수 인적오류사건에 대하여 시범 분석을 수행하여 개발된 방법론을 시험하고 검증함



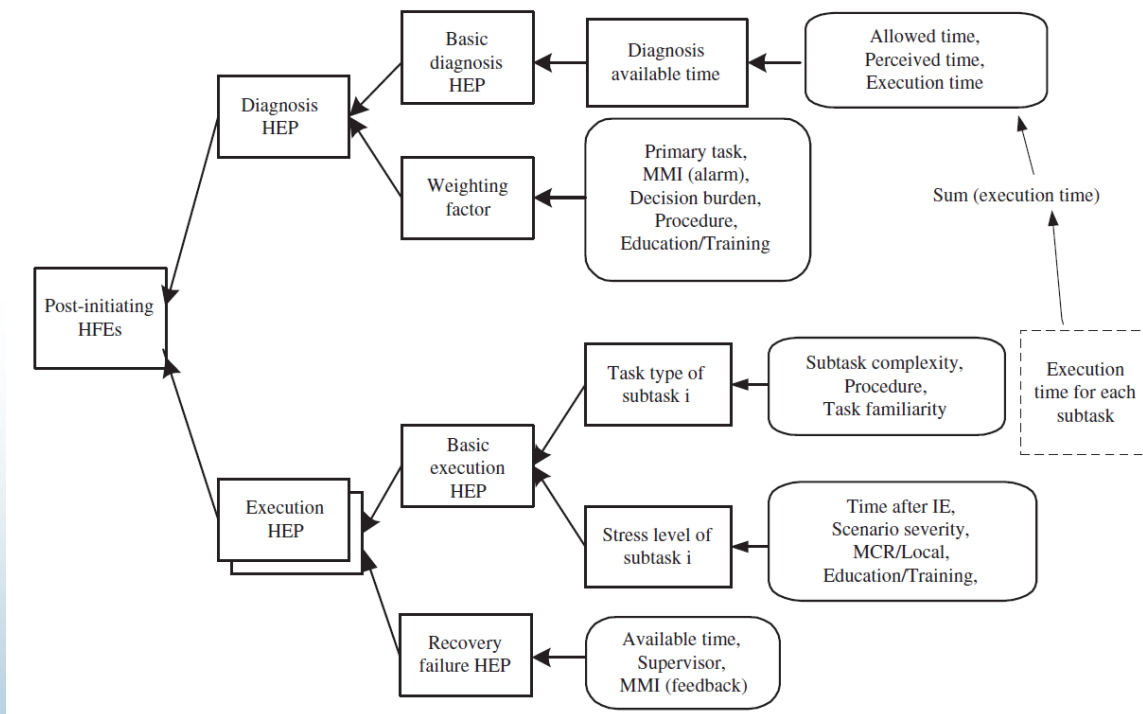
❖ 2013년 부터 2015까지 국내 모든 가동원전에 대하여 전출력 및 정지저출력 PRA가 수행됨

- 각 발전소 별 HRA 분석 방법론 및 결과의 일관성을 유지하기 위하여 HRA 분석 방법론으로 K-HRA 방법론 적용 결정
- K-HRA 방법론/절차에 대한 적합성을 최종 확인하는 기회로 활용
- K-HRA 방법론을 적용한 HRA 결과의 적합성을 평가하기 위하여 프라마툼 형의 발전소를 대상 발전소로 선정
- K-HRA 방법론을 적용한 인간신뢰도 분석 결과의 적합성을 확인하는 대상으로 전출력 및 정지저출력 내부사건의 사고 후 인적오류사건 분석결과를 상세 검토함.
 - PRA Standard HR-G6 of HLR-HR-G
 - CHECK the consistency of the post-initiator HEP quantifications. REVIEW the HFEs and their final HEPs relative to each other to check their reasonableness given the scenario context, plant history, procedures, operational practices, and experience.



❖ 인적오류확률(HEP: Human Error Probability) 평가 체계

- $HEP_{total} = HEP_{diag} + HEP_{exec}$
- $HEP_{diag} = Basic_HEP_{diag} \times \prod w_i (PSFi)$
- $HEP_{exec} = \sum [Basic_HEP_{exec} (i) \times HEP_{rec} (i)]$





❖ 진단 오류 HEP의 보정인자 결정 규칙

Main Stream Task in Accident Context	Level of MMI	Level of Procedure Quality	Level of Training Quality	Weighting Factor
Yes	Good	Good	Good	
			Average	0.054
			Poor	0.165
		Average		0.825
				0.165
				0.500
		Poor		2.500
				0.825
				2.500
	Average			12.500
				0.109
				0.330
				1.650
				0.330
				1.000
				5.000
				1.650
				5.000
	Poor			25.000
				0.218
				0.660
				3.300
				0.660
				2.000
				10.000
				3.300
				10.000
No				50.000
				10.000
				20.000



❖ 수행오류 확률 계산을 위한 직무 유형 결정 논리

Complexity of a unitary action	Quality of procedure (in view of execution)	Time availability and action familiarity?	Task type of a unitary action
--------------------------------	---	---	-------------------------------

Simple (simple and straight forward actions with a level of HMI being medium/high)

Simple Response

If-then (proceduralized actions with if-then rule)

High/Medium

Step-by-Step

Low

Dynamic

Complex (continuous control tasks OR the tasks requiring comparison/integration of several sources of information)

High/Medium

Yes

Step-by-Step

No

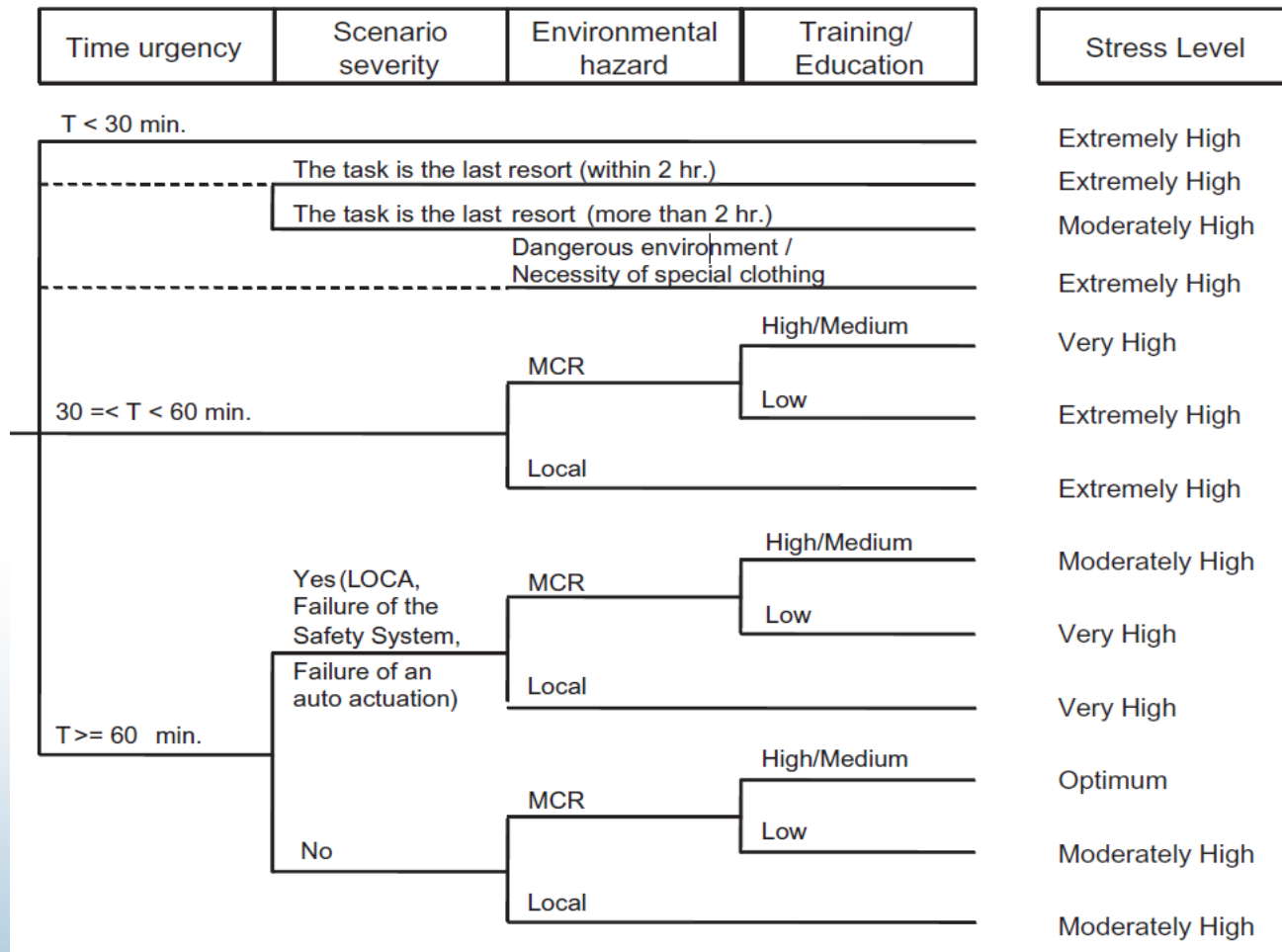
Dynamic

Low

Dynamic



❖ 스트레스 수준 결정 논리 수목





❖ 직무 유형 및 스트레스 수준별 단위 직무 기본 HEP

Task type	Stress level	Basic HEP (mean)	EF
Simple response	Low	0.002	3
	Optimum/moderately high	0.003	3
Step-by-step	Low	0.01	3
	Optimum	0.005	3
	Moderately high	0.01	3
	Very high	0.02	3
	Extremely high	0.05	5
Dynamic	Low	–	5
	Optimum	0.01	5
	Moderately high	0.03	5
	Very high	0.08	5
	Extremely high	0.25	3



❖ 수행오류 회복조치 확률 결정 논리

Time Urgency	Level of MMI	Supervision at the Time of Execution	Weighting Factor
>= 120 min after IE	Good, Average	Yes	0.05
		No	0.20
	Poor	Yes	0.20
		No	0.40
	Good	Yes	0.10
		No	0.20
60~119 min after IE	Average	Yes	0.20
		No	0.30
	Poor	Yes	0.30
		No	0.60
	Good	Yes	0.20
		No	0.30
30~59 min after IE	Average	Yes	0.40
		No	0.50
	Poor	Yes	0.60
		No	1.00
	Good	Yes	1.00
		No	1.00
<= 29 min after IE		Yes	1.00
		No	1.00



- ❖ 전출력과 정지저출력 내부사건 HRA 결과에 영향을 미칠 수 있는 PSF를 선정하기 위하여 다양한 HRA 방법론 검토
- ❖ 식별된 각 PSF에 대하여 전출력 및 정지저출력 내부사건 HRA 결과에 미치는 영향 정도를 평가
- ❖ 식별되고 검토된 PSF
 - Instrument Availability for Cue
 - Stress Level
 - Task Type (=Task Complexity)
 - Workload
 - Human-Machine Interface
 - Execution Task Location



❖ 식별되고 검토된 PSF

- Total Time Available for Operator Action
- Time Available for Diagnosis
- Main Stream Task in Accident Context
- Familiarity of the Task
- Level of Procedure Quality
- Level of Training Quality
- Shift Change
- Quality of Working Environment (Temperature, Humidity, Air Quality, Noise, Radiation)
- Accessibility



❖ 선정된 PSF 및 각 PSA의 속성 및 HEP에 미치는 영향의 정도 평가

PSF ID	PSF	Attribute	Impact on HEP
PSF A	Total time Available for Operator Action	Minute	Varies
PSF B	Time Available for Diagnosis	Minute	Varies
PSF C	Main Stream Task in Accident Context	Yes, No	High
PSF D	Stress Level	Optimum, Moderately High, Very High, Extremely High	Medium
PSF E	Task Type	Simple Response, Step-by-Step, Dynamic	Medium
PSF F	Man-Machine Interface	Good, Average, Poor	Medium
PSF G	Execution Task Location	MCR, Field	Low
PSF H	Level of Procedure Quality	Good, Average, Poor	Low
PSF I	Level of Training Quality	Good, Average, Poor	Low
PSF J	Shift Change	Yes, No	High



❖ 선정된 각 PSF 측면에서의 전출력 HRA 결과 요약

HFE	PSF-A	PSF-B	PSF-C	PSF-D	PSF-E	PSF-F	PSF-G
	PSF-H	PSF-I	PSF-J	HEP(diag)	HEP(exec)	HEP(total)	
0LHS-DGHS-AACDG	59	56	Yes	MH	SBS	Good	MCR
	Good	Good	No	8.86E-05	1.00E-04	1.89E-04	
1ASG-OPHS-FLCTL	39	37	Yes	MH	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	3.35E-04	2.00E-04	5.35E-04	
1ASG-OPHS-WSRC	360	234	Yes	MH	SBS	Good	FIELD
	Good	Average	No	2.63E-04	7.50E-04	1.01E-03	
1HFE-OPHS-ACD-SGTR	50	48	Yes	VH	Dyn	Good	MCR
	Good	Poor	No	8.33E-03	1.60E-02	2.43E-02	
1HFE-OPHS-ACD-SLOCA	35	33	Yes	EH	Dyn	Good	MCR
	Good	Poor	No	1.87E-02	1.00E-01	1.19E-01	
1HFE-OPHS-BLD-RCPS	50	49	Yes	VH	SBS	Good	MCR
	Good	Poor	No	1.56E-02	2.00E-03	1.76E-02	
1HFE-OPHS-BLD-RCPS-SGTR	80	79	Yes	VH	SBS	Good	MCR
	Good	Poor	No	5.30E-03	2.00E-03	7.30E-03	
1HFE-OPHS-FBD-LATE	170	166	Yes	VH	SBS	Good	MCR
	Good	Poor	No	1.00E-03	2.00E-03	3.00E-03	
1HFE-OPHS-FBD-RCPS	39	36	Yes	EH	SBS	Good	MCR
	Good	Poor	No	1.07E-02	2.00E-02	3.07E-02	
1HFE-OPHS-CLD	50	48	Yes	VH	SBS	Average	MCR
	Good	Poor	No	5.49E-04	1.60E-02	1.65E-02	



- ❖ 일반적으로 전출력 HRA 결과는 인적오류확률에 영향을 미치는 각 PSF의 긍정적 및 부정적 속성들에 의하여 잘 설명됨
- ❖ PSF-C에서 PSF-J의 인적오류확률에 대한 영향은 가용한 시간에 따라 달라짐. (예를 들면, 가용한 시간이 부족한 경우에 대한 HFE의 경우 그 영향이 매우 크며 반대인 경우는 결과도 반대로 작용함. 이는 K-HRA 방법론 개발 당시의 기본 철학이 잘 반영되고 있음)
- ❖ 현장에서 수행되는 행위의 경우, 운전자 여유시간이 충분하고 다른 PSF가 매우 긍정적인 경우에서 수행오류 확률이 보수적으로 평가되는 경향이 있음.

ACT 정지저출력 내부사건 HRA 결과 평가



❖ 선정된 PSF 측면에서의 정지저출력 HRA 결과 요약

HFE	PSF-A	PSF-B	PSF-C	PSF-D	PSF-E	PSF-F	PSF-G
	PSF-H	PSF-I	PSF-J	HEP(diag)	HEP(exec)	HEP(total)	
HR-RS-S2P03	21	20	Yes	MH	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	2.84E-03	1.00E-03	3.84E-03	
HR-RS-S2P04	180	179	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	3.19E-05	5.00E-05	8.19E-05	
	Good	Good	No	2.61E-02	1.00E-03	2.71E-02	
HR-RS-S2P06	50	49	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	1.80E-04	2.00E-04	3.80E-04	
HR-RS-S2P10	135	134	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	3.56E-05	5.00E-05	8.56E-05	
HR-RS-S2P11	47	46	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	2.18E-04	2.00E-04	4.18E-04	
HR-RS-S2P12	233	232	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	2.85E-05	5.00E-05	7.85E-05	
HR-RS-S2P13	154	153	Yes	OPT	SR	Good	MCR
	Good	Good	No	3.39E-05	5.00E-05	8.39E-05	
HR-SG-S2P03	180	177	Yes	OPT	SBS	Good	MCR
	Good	Good	No	3.19E-05	7.50E-04	7.82E-04	
HR-SG-S2P04	480	477	Yes	OPT	SBS	Good	MCR
	Good	Good	Yes	1.92E-05	7.50E-04	7.69E-04	
HR-SG-S2P13	915	912	Yes	OPT	SBS	Good	MCR
	Good	Good	Yes	1.09E-05	7.50E-04	7.61E-04	



- ❖ 정지저출력 내부사건 HRA 결과에 대하여 선정된 PSF 관점에서 상세 검토를 수행하여 아래의 결론 도출함.
 - 일반적으로 정지저출력 HRA 결과는 인적오류확률에 영향을 미치는 각 PSF의 긍정적 및 부정적 속성에 의하여 잘 설명됨
 - K-HRA 방법론은 근본적으로 동일한 운전원 행위이지만 상이한 사고 환경에서 수행되는 운전원 행위에 대하여 “주관심 작업 유무”를 통하여 명확히 구분하여 평가할 수 있는 수단을 제공 Ex) 중력 급수
 - 정지저출력 K-HRA 방법론에서는 운전조 교체를 통한 회복 조치의 가능성을 포함하는 것이 필요할 것으로 판단됨. 정지저출력 PSA에서는 매우 긴 가용시간을 가지는 인적오류사건이 상당수 있음.
 - 현장에서 수행되는 행위의 경우, 운전원 여유시간이 충분하고 다른 PSF가 매우 긍정적인 경우에서 수행오류 확률이 보수적으로 평가되는 경향이 있음.



❖ K-HRA 적용을 통한 교훈

- 일반적으로 전출력 및 정지저출력 HRA 결과는 인적오류확률에 영향을 미치는 각 PSF의 긍정적 및 부정적 속성에 의하여 잘 설명됨
- K-HRA 방법론은 근본적으로 동일한 운전원 행위이지만 상이한 사고 환경에서 수행되는 운전원 행위를 “주관심 작업 유무”를 통하여 명확히 구분하여 평가할 수 있는 수단을 제공
- 정지저출력 K-HRA 방법론에서는 운전조 교체를 통한 회복 조치의 가능성을 명시적으로 포함하는 것이 필요할 것으로 판단됨.
- 현장에서 수행되는 행위의 경우, 운전원 여유시간이 충분하고 다른 PSF가 매우 긍정적인 경우에서 수행오류 확률이 보수적으로 평가되는 경향이 있음.



❖ K-HRA 개선 제안사항

- HRA 결과에 대한 교훈 사항을 K-HRA 방법론/절차에 반영하여 개정한다면 전출력 및 정지저출력 내부사건 HRA에 대하여 더욱 일관되고 확고한 논리적 기초를 갖춘 방법론이 될 수 있음.
- 내부사건 HRA에서는 중요하지 않은 일부 PSF가 외부사건(특히, 화재 사건) HRA에서는 결과에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음. 따라서 K-HRA 방법론의 적용범위를 확장하기 위해서는 이들 PSF를 명시적으로 고려할 수 있도록 방법론의 확장이 필요함.

❖ 전출력/정지저출력 내부사건 HRA에 대하여 K-HRA 방법론의 적합성을 확인하였고 더욱 효율적이고 적용범위를 확대하기 위하여 일부 항목의 개선 및 개정이 필요함.



Thank you !!