

원전운전과 관련한 인적성능평가와 인적실수 최소화방안 연구

송종순
조선대 원자력공학과

박병록
영광원전 발전부

서론

최근 국내산업발전 및 그 규모의 신장으로 전력수요는 급속도로 증가하고 있으며 지구상에 존재하는 석탄, 석유 등의 자원의 한계와 최근 화석연료에 의한 환경과 생태계파괴에 대한 관심고조 그리고 전력생산단가 등을 고려한 경제성 등에 비추어 상대적 이점을 지닌 원자력 발전은 복잡다단한 안전관리란 부담을 안고서도 깨끗하고 거의 무한한 에너지원으로서 필연적이라 할 수 있다.

그러나 지속적인 원전설비의 자동화, 정밀화 및 고성능화에 따라 기기고장 등 설비에 의한 사고는 감소추세에 있는 반면 원전종사자의 인적실수에 의한 사고는 전체사고원인 중의 상당 비율을 차지하며 아직도 인적실수가 발생할 소지는 여전히 남아 있는 상태이고 시험유지보수 운전시 발생하는 인적실수는 원전의 안전성과 신뢰성에 심각한 영향을 줄 수가 있다. 또한 최근의 체르노빌이나 드리마일 아일랜드와 같은 사고에 대해서 알아본 바와 같이 원전안전관리상 Human performance가 얼마나 중요한 요소인가를 알 수가 있다.

따라서 원전을 운영하는 종사자들에 대한 행위분석 및 Man-machine system에서의 Human performance를 분석평가하고 Human error를 유발하는 주요인자파악 및 각각에 대한 방지방안의 수립이 절실하다고 판단되어 원전운영상 인적실수를 초래하는 근본원인을 도출해 나가는 과정의 일부로서 일반적인 Human performance에 대해 예상되는 장애요인 및 Human performance의 향상방안 등을 강구하고 실제 한국원전에서 지금까지 발생한 사

고 중 인적실수와 관련된 사고의 원인에 대해서 구체적으로 분석평가함으로써 원전의 최적 설계개념을 정리하고 조직, 인사관리, 환경 등 제요소를 고려한 원전의 효율적 운영 및 신뢰도 향상을 위한 개선방안 등에 대해 종합적으로 고찰해 보고자 한다.

Human performance에 대한 일반적인 고찰

1. Human performance 평가

어떤 주어진 상황에서의 Human performance를 객관적 기준에 따라 평가함으로써 제한 경요소를 고려한 상태에서 개인에 대한 Human performance 발휘능력예측과 장애요인판별은 물론 발생가능한 Human error를 유형별로 관리하고 유사한 사례의 재발을 방지하는데 그 목적이 있으며 다음과 같이 가정한다.

- (1) Human error는 감소될 수 있고 최소화시킬 수 있다.
- (2) 사소한 사건의 원인도 흔히 중대사고의 원인과 같다.
- (3) 사고발생원인의 정확한 인식과 개선은 사고재발을 배제할 수 있으며 유사한 사고를 감소시킬 수 있다.
- (4) 조직 및 경영환경이 Human performance 분석 및 Human error에 중요한 요소이다.

먼저 Human performance에 관련한 장애요인을 알아보면

- (1) 새로운 기술도입시 인적인 측면 고려소홀
- (2) 발전소운전시 인적설계한계 무시
- (3) 인적행위에 대한 지식을 실용적인 면보다는 행동과학에서 추구하려는 경향이 있음
- (4) 사고발생근본원인의 결정 및 방지방안에 인적행위분석소홀
- (5) 운전원, 보수원의 인적성능저하에 대비한 교육 및 훈련의 부족
- (6) 인적성능을 평가하는데 있어서 객관적이고 타당한 모델설정이 곤란함

<표 1>에서 보는바와 같이 Human performance 저하근본원인을 정신적 측면과 행위적 측면으로 나눌 수가 있는데 어떤 특정상황이 복잡한 것일 경우 혼란으로 인해 상황진단상의 착오가 있을 수 있으며 기기나 설비에 대한 이해나 지식부족이나 한 사건을 유발하는 요소가 여러가지일 경우, 인식에 있어서의 우선순위부여에 미흡한 점이 있을 경우 더 큰 실수를 초래할 수도 있다.

<표 1> Human performance저하근본원인

정신적 측면	행위적 측면
· 혼란	· 필요한 절차나 행동의 누락
· 이해부족	· 불필요한 행동
· 인식에 있어서의 우선 순위부여 잘못	· 시기적절한 행동부족
· 상황진단착오	· 조치순서착오
· 가정 (Assumptions) 착오	
· 기억력저하	

그리고 행위적 측면으로서 긴급상황인 경우 조치순서착오, 필요한 절차나 행동의 누락이 있을 수 있으며 상황에 대한 체계적인 대응이 불충분한 경우 불필요한 행동으로 상황을 더 악화시킬 우려도 있다.

2. Man-machine interaction

기기는 인간의 부족한 면을 보완하기 위해 필요한 것이며 인간의 특성과 기기의 장점이 조화를 이룰 때 가장 합리적으로 목적을 달성하는 것이 되며, 기계기구가 고장을 일으켜 인간이 그것을 수리하면서 쓰는 관계에서도 양자는 Series로 결합되어야 한다. 즉 인간이 Series 결합기구를 주체적으로 제어하는 관계가 개체로서의 Man-machine system의 설계원칙이다.

그러나 Human performance의 한계와 기기의 불완전함 때문에 Man-machine system에서 인간의 실수를 전적으로 기기가 보완할 수는 없으므로 사고는 나게 마련이며 이것이 극복해야할 결점이라고 할 수 있다.

원전운영의 경우 기계의 설계가 복잡하고 최적운전이 쉽지 않은 점을 생각할때 이러한 Man-machine system에서 Human performance 발휘문제나, 기계기구의 이상이나 비정상증상진단 그리고 긴급시 대처능력에 대해 구체적으로 고찰해보는 것은 실로 가치가 있으며 원전운영에 있어서 아주 중요한 요소라고 할 수 있다.

예로서 TMI 사고의 경우 그 원인은 운전원이 가압기안전밸브의 고장을 2시간 이상 발견을 못해 소형 LOCA(1차냉각재 상실사고)의 최악의 사태를 초래한 것이 운전원의 실수라고 판명되었다.

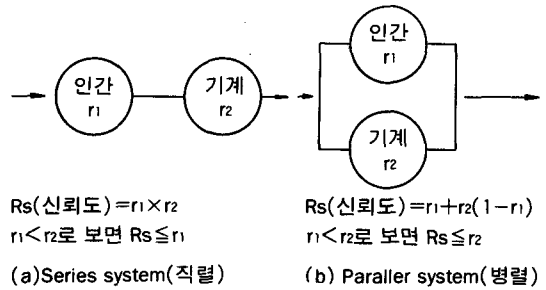
그래서 최근 EDF(프랑스전력공사)가 수행하고 있는 S3C project(새롭고 완전히 컴퓨터화된 제어실을 통한 운전대비)와 품질과 Safety culture(안전성존중분위기)를 반영한 보수관련 제반활동은 그 의미가 크다고 할 수가 있는데 이는 결국 특정 system이나 작업여건을 충분히 고려하여 설계가 인간공학적 측면에서 검토, 검증되어야 하고 인간과 기계의 신뢰도도 분석되어야 한다는 것을 의미한다.

그리고 Man-machine system에서의 신뢰성을 알아보면 다음과 같다. Man-machine system에서의 신뢰성 Rs는 개념적으로는 <그림 1>에 나타나는 바와 같이 인간의 신뢰성 Rh와 기계와 신뢰성 Re의 상승적 $Rs = Re \times Rh$ 로 된다.

<그림 1> Man-machine system에서의 신뢰도 또한 인간과 기계가 병렬로 작업을 하게 되면 신뢰도는 기계 단독이나 직렬작업보다 높아질 수 있으나 기계의 신뢰도는 지속되는 경우와 통제를 잃은 경우의 두가지를 생각할 수 있다.

여기서 인간과 기계를 병렬로 조합할 때에도 인간의 역할이 여러가지로 될 수 있으니 인간은 Monitor(감시)의 역할을 시켜서 기계의 약점을 보강하는 방안을 강구해야 한다. 일반적인 Human performance 평가기법으로서는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 사건 및 원인요소 차트기록(Event and



<그림 1> Man-Machine system에서의 신뢰도

causal factor charting)

평가자로 하여금 사건순서를 설명하고 확립하려고 할 때 평가자에게 참고사항을 제공하는 것이다.

(2) 방지요인분석(Barrier analysis)

이 방법은 「사건 및 원인요소기록차트」와 연결하여 수행할 수 있으며 방지란 원치않는 행동을 방지하는 것이기 때문에 원치않은 행동을 방지해야 했던 요소가 왜 실패했는가를 분석한다.

(3) 단계직무분석 (Walk-through task analysis)

이 방법은 절차서의 단계들과 실제적 수행사이의 모순점과 인적요소구성 가운데서 문제점들을 찾아내는데 도움이 된다.

(4) 면담(Interviewing)

면담수행전 충분한 지식을 갖추는 것이 필요하며 정확성을 위해 면담후 면담내용을 요약함으로써 면담을 종료하고 피면담자에게 첨가할 정보를 말할 수 있도록 한다.

(5) 운전기록검토기법(Technique of operations review)

이 기법은 사전평가에서 인식하지 못했던 관련원인인자를 찾아내기 위해서 사건반복검토시 이용할 수 있다.

(6) 인적요인조사(Human factors survey)

이 기법은 인적수행상황을 초래하는 원인요소들 및 주위상황들을 결정하는 것이며 절차서와 Man-machine 상호작용을 인간공학원리들을 확인하여 조사하여야 한다.

그리고 각각의 사건을 평가하는데는 평가를

시작하기전 해당사건에 대한 만족할 만한 사전 지식을 갖추는 것이 필요하며 앞에서 기술한 기법들은 기기결함분석과 함께 인적수행에도 적절히 사용하여 전적으로 어느 한가지 기법에 의존하지 않고 여러가지 기법을 동시에 사용하여 상호보완이 되도록 한다. 그리고 평가자는 이 평가를 수행함에 있어서 분석과정 및 결과를 구체화시킬 필요가 있다.

원전운전과 관련한 인적과실분석

1. 국내원전 발전정지현황

다음은 연도별, 호기별로 구분한 국내원전 발전정지현황으로서 발전정지중, 핵연료교체나 대규모 설비정비를 위한 계획예방정비와 발전소운전중 이상설비의 정비를 위해 정지한 계획정지는 고려하지 않았다.

발전정지 216건<표 2>을 정지형태별로 분류하여 보면

- (1) 운전중 자동정지 : 160건(인적요인에 의한 정지포함)
- (2) 운전중 수동정지 : 31건
- (3) 계통과급정지 : 25건으로 나타났으며

원자로운전중 자동정지는 1978년이후 계속 감소추세에 있고 특히 상업운전 초년도에 상대

적으로 정지가 많이 발생한 것으로 분석되는데 이는 초기상업운전시 설비의 불안정 및 설비운영미숙에 기인한다고 판단된다. 그리고 운전중의 수동정지는 자동정지와 거의 비슷한 양상으로 나타나며 특히 가동중이나 계획예방정비 직후에 많이 발생하고 계통과급정지는 소외발전설비 및 송전선로상 문제로 정지된 사례로 태풍 및 집중호우가 빈번한 국내실정으로 매년 발생한다. 따라서 이는 발전설비의 옥내화 작업 및 발전시설세척설비 등 송변전설비의 신뢰도향상으로 감소시킬 수 있다.

현재 자동정지된 160건의 사례를 발전설비별로 나누어 보면 다음과 같다<표 3>.

- (1) 전기설비 : 45건(28.1%)
- (2) 원자로 냉각재설비 : 31건(19.4%)
- (3) 복수 및 급수설비 : 37건(23.1%)
- (4) 계측제어설비 : (19.4%)
- (5) 기타 : 16건(10%)

따라서 전기설비와 복수 및 급수설비의 정지가 많은 것은 국내원전 전부가 해안가에 건설되어 있어서 부식이 많아 부식으로 인한 기기결함이나 전기부품들의 자연열화 및 설비의 노후화로 인한 기기고장이 많으며 1차계통열제거원으로서 급수 및 복수설비 또한 원자로 및 증기터빈의 안전정지를 위해 계통여건에 민감하

<표 2> 연도별, 호기별. 발전정지현황(상업운전 개시이후 '78~90')

호기명	년도	연도													계
		78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
고리 1	1	17	13	8	7	4	9	7	8	4	3	1	3	2	86
	2						5	5	15	4	5		3		37
	3								4	9	5	1		3	22
	4									4	4	3	1	3	15
월성 1	1					4	4	3	5	1	2	2	1	22	
	영광 1								7	5	2	1	2	17	
울진 1	1									3	2	2	1	8	
	2										2		3	5	
계	1										2	1	3	4	
	2											1	3	4	
계		17	13	8	7	4	18	16	30	33	26	13	13	18	216
호기당평균		17	13	8	7	4	6	5.3	7.5	5.5	3.7	1.4	1.4	2	4

〈표 3〉 설비별 발전정지현황

분 류	가압경수로	가압중수로	소 계
원 자 로 본 체	2	0	2
원자로냉각계통	14	4	18
비상노심냉각계통	2	0	2
원자로보조설비	7	4	11
계측제어설비	32	2	34
핵연료취급설비	0	0	0
폐기물처리설비	0	0	0
원자로격납용기설비	0	0	0
증기터빈설비	21	3	24
급수및복수설비	46	2	48
전기설비	47	4	51
발전소공통설비	0	0	0
공기조화설비	0	0	0
보조펌프설비	0	0	0
기 타	23	3	26
합 계	194	22	216

게 반응하도록 설정되어 있기 때문이며 가압중수로에는 원자로냉각계통의 정지가 많은데 이는 상대적으로 원자로냉각계통이 복잡하기 때문이라고 판단되며 계측제어설비분야의 정지가 많은 것 또한 경수로, 중수로 모두 계측 및 제어설비가 복잡하며 원자로설비의 안전요건을 만족시키기 위해 계통여건에 민감하게 반응하므로 정지와 관련된 Signal이 많기 때문이다.

2. 인적과실에 의한 발전정지원인분석

운전년수가 증가함에 따라 운전경험축적으로 발전정지건수는 전반적으로 감소하고 있으며 이는 원전의 기술축적과 예방정비, 철저한 품질관리활동 및 지속적인 설비개선작업으로 기기 및 설비의 신뢰도 및 성능을 향상시켰으며 운전원 및 보수원의 반복된 재교육훈련 및 신기술습득에 힘입은 바 크다고 할 수 있다. 그러나 발전정지건수는 감소추세에 있으나 그 원인 중 상당부분은 운전원 및 보수원의 과실에 기인한바 구체적으로 그 근본원인을 분석해 보면 대략 다음과 같다.

(1) 운전원에 의한 사고

〈표 4〉에서 분류된 「과실」에 의한 발전정지건수 31건(PWR: 28건, PHWR: 3건)은 운전원

〈표 4〉

분 류	가압경수로	가압중수로	소 계
제작불안전	32	6	38
시공불안전	18	0	18
보수불완전	8	2	10
자연열화	22	4	26
자연현상	7	0	7
과부실식	28	3	31
부량	3	0	3
연동작	0	0	0
오동작	40	1	4
진동	3	1	4
과부하	0	0	0
파급정지	22	3	25
원인불명	5	0	5
기 타	6	2	8
합 계	194	22	216

과 보수원의 실수에 기인한 발전정지건수를 합한 것이며 운전경험상 인적과실로 분류한 것 중 일부는 「기기결함」이라든지 「오동작」 또는 「제작불안전」 등 여러 원인과 복합하여 발전정지에 이르는 수가 많다. 따라서 「인적과실」로만 분류하기에는 애매한 경우가 많다.

운전원의 실수를 유발하는 주요인자를 고찰해 보면 운전원 개인의 인적인 특성, 과로, 의사전달체계미흡, 필요행동누락, 운전절차무시, 실무지식부족 등을 들 수가 있으며 특히 야간근무시 생체능력의 급격한 저하로 자주 실수를 유발하는 수가 많다. 근무시간대별로 보면 10시~11시 및 13시~15시에 주의력이 저하하여 실수를 저지를 확률이 높으며 계절별로 보면 여름과 겨울에 실수가 발생하는 경우가 많다.

또한 심리적 측면에서 운전원들의 일근자들에 대한 상대적 피해의식, 개인의 가정사항, 본인의 고충 등으로 인한 감정의 기복이 근무의욕을 상실케 하며 부주의한 행동을 초래하는 경우도 있다.

그리고 보직간의 잦은 이동으로 실무지식을 충분히 습득하지도 못하고 기기의 성능 등에 익숙치 못하여 사고에 이르는 경우도 있으며

보직의 인수인계시 운전경험이 충분히 인수인계가 되지 않는 것이 동일하거나 유사한 사고를 초래하는 수도 간혹 발생한다.

(2) 보수원에 의한 사고

보수원에 의한 사고는 대개 실무지식이나 경험부족 그리고 부주의 등을 들 수가 있는데 복잡한 각종 기기들의 기능이나 특성에 대해 충분히 숙지하지 못하고 작업하거나 경험있는 자들의 잦은 이동으로 전문보수원의 확보가 어려운 실정이다.

또한 자기 개인의 경험이나 지식을 과신한 나머지 작업시 필요한 절차 등을 누락하는 실수도 간혹 발생하며 원전의 제어계측계통이 너무 복잡하고 어려운 점도 실수를 유발하는 하나의 요인이 되므로 가급적 제어는 단순화하고 기술적으로 가능한 범위내에서는 여러가지 Set point 설정 또한 재검토하여 필요한 경우 완화하는 것도 필요하다.

3. 인적과실감소를 위한 외국의 활동

(1) EDF(프랑스전력공사)

① TMI사고 이전

TMI사고 이전부터 프랑스전력공사에서는 인적요소를 연구해 왔으며 인간의 부적절한 기능의 근본원인을 찾기 위하여 먼저 사고분석이나 확률론적 안전성분석에서 인간오류의 정당화가 필요하였다.

② TMI사고 이후

EDF는 인간공학이 원자력의 신뢰성과 안전성이라는 목표를 달성하기 위해 취해야 할 첫 단계로서 포함되어 있는 TMI사고대응조치계획을 수립하였으며 TMI 후속조치로부터 개선된 첫분야는 제어실의 인간기계계면(MMI)향상이었다.

㉠ 제어반의 배치배열

㉡ 인간공학적 비상절차서개발

㉢ 제어실운전원으로서 안전기사(Safety engineer)의 포함

㉣ 사고진단 및 대응을 위한 운전원지원체계

㉤ 운전원의 교육 및 재교육

㉥ 운전경험분석 및 반영 등

이러한 모든 사항은 설계기준사고(DBA) 이상의 사고와 운전경험의 반영을 위한 좀더 일반적인 안전개념진전의 일부라고 볼 수 있다.

③ 최근의 인간공학활동

실제적인 인간공학 관련활동의 주된 영역으로 다음과 같은 두가지가 수행되고 있다.

㉦ S3C Project

새롭고 완전히 컴퓨터화된 제어실을 통하여 여러가지 상황에서 발전소의 운전이 검토개선되는 Full-scope 시뮬레이터로서 1987년도에 제어실의 기능적인 측면을 검증하기 위한 첫실험으로부터 시작해서 지금까지 계속되어 왔으며 이제 S3C 시뮬레이터는 장래 CHO OZ-B원전의 제어실에 적용될 형태로 가장 최근의 모형으로 개조되고 있으며 그 원전운전원들에 대한 교육훈련을 시작했음

㉧ 보수관련활동

㉨ 보수작업에 Safety culture(안전성존중분위기)를 형성

㉩ 발전소의 개보수정보나 출력감발 등에서의 좋은 경험 등을 종합적으로 관리

㉪ 품질의 문제가 언제나, 누구에게나, 균일하도록 계통을 설치하여 일관성 유지

㉫ 품질보증요건과 그 실행에 대해 좀더 유연한 방식으로 이루어지도록 노력 즉 교육훈련, 규제 및 요건의 완화 내지는 간략화, 내부의사소통을 통한 협의조정

(2) 미 국

① 제1단계

1975년 WASH-1400이라고 통칭되는 Reactor safety study에 의해서 시작되었으며 이때의 주요 관심사는 주로 제어실설계, 신뢰도, 위험도분석 등이었음

② 제2단계

1979년 TMI원전사고로 인간공학에 대한 관심은 극적으로 증대되기 시작하였으며 인간공학은 주요 관심사의 하나가 됨. 따라서 TMI사고의 주요원인은 인적요소이며 이는 설계, 건설, 운전, 훈련, 의사소통 및 보수관리에 이르기까지 영향을 주는 것이라는 점이 대체로 인정됨. 이에 따라 NRC 등은 인간공학을 위한

특별 프로그램을 수립하였음

③ 제3단계

1986년 NRC가 인간공학연구관할부서를 해체함으로써 시작되며 인적요소 자체만의 국지적인 관심은 종료되었음

TMI사고 이후 국내원전에서도 원전운영과 관련된 인적요인에 대해 관심이 고조되기 시작했으며 대내외 규제기관검사 및 기술, 운전요건이 강화되었음은 물론이고 90년 2월에 개발한 「원전인적요인개선관리절차」로서 이미 발생한 모든 발전정지사태에 대한 인적요인관련여부를 심층분석하고 있으며 운전원교육시에도 인적인 면을 고려하여 교육프로그램을 보완하고 시뮬레이터를 이용한 실습도 강화해 나가고 있으며 여러가지 보수경험 등의 상호교환 및 활용에 힘쓰고 있다.

논 의

인적인 실수에 의한 사고를 방지하는데 필요한 대처방안은 여러가지가 있을 수 있으나 대략 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 운전원 및 보수원의 자질향상

운전원 및 보수원교육훈련은 가장 시급하고 가장 문제가 많다고 판단되는 분야부터 우선적으로 고려하는 즉 직무분석에 근거한 교육프로그램을 개발하여 시행하고 평가분석함으로써 내실을 기해야 한다. 따라서 현재 원자력연수원에서 시행하고 있는 운전원재교육 및 보수요원교육은 이에 주안점을 두고 운용되어야 한다고 보는데 운전원교육의 경우 각 발전소와 연수원 교육담당실무진의 교육프로그램심의위원회 운영강화, 발전소간 운전경험교류, 신기술 전달교육 등을 포함한 교과과목개선 그리고 강사들의 자질향상, 교육평가분석이 적절하게 되어야 한다고 본다. 또한 운전기술향상을 위해서는 모의제어반교육을 강화함으로써 긴급비상사태시 적절하고 신속하게 대응할 수 있는 능력을 배양토록 해야 할 것이다. 운전절차서(정상, 비정상, 이상 등)변경사항에 대한 교육도 포

합되어야 한다.

그리고 보수원의 자질향상을 위해서도 그들에 대한 교육훈련도 현장업무에 직결시켜 프로그램개발, 시행, 평가 및 자격부여를 함으로써 보수요원전문화가 필요하며 보수요원에 대한 처우개선 등으로 우수보수요원확보에 노력해야 하고 운전원과 상호협조가 잘 이루어질 수 있도록 원만한 분위기조성에 힘써야 되리라고 생각한다. 또한 운전원의 경우 어느 한 보직에 장기간근무시 부주의, 태만이나 습관적 행동이 실수를 유발하므로 이들에 대한 현장순환보직체계를 확립하는 것도 필요하며 운전원자격부여도 수립된 평가방법절차에 따라 시행되어야 한다.

2. 제한경호소(근무환경, 기타)

우선 근무환경을 주제어실과 현장설비개선에 입각하여 생각해 보면 주제어실의 경우 현재의 제어반설계는 최적운전에 부적합하며 개선이 필요하고 실내조명 또한 시력보호에 적당치 못한 실정이며 불필요한 경보도 적절하게 단순화할 필요가 있다.

실제 발전소계통에 이상이 발생시 신속하고 적절하게 대응할 수 있도록 경보 및 제어 Switch배열 또한 인간공학적 관점에서 설계되어야 한다.

현장설비면을 고려해 보면 설계상 자동으로 되어있는 기기는 가급적 정상화해야 하며 수동 운전기기도 꾸준한 설비개선으로 자동화가 필요하고 현장 운전원사무실의 경우 환경(조명, 소음, 진동 등)에 대한 개선 그리고 주요기기조작요령, 위치도 등을 알기 쉽게 작성하여 비치함으로써 기기조작상의 실수나 시간지연을 줄여야 한다.

그리고 운전원에게 부과되는 부수적인 행정업무도 과감히 감소 내지는 지양함으로써 운전원이 본연의 업무수행과 기술습득 그리고 자기개발에 힘쓰도록 유도해야 한다. 또한 현장보수원의 경우도 수행업무에 합당한 처우개선이나 작업후 휴식공간확보도 절실히 필요하다.

3. 조직 및 인사관리

우수한 운전요원확보를 위해 우선 지속적인 운전원처우개선과 운전원선발시 적성검사절차 및 방법의 개발시행이 절실하며 연수원 및 현장교육결과를 인사관리와 연계하여 추진함으로써 운전원교육의 내실화를 기할 수 있으며 보수원도 교대근무체제를 갖추도록 하여 비상시는 물론 정상운전시에도 운전조직과 긴밀한 협조체제를 유지할 수 있도록 함이 필요하다.

운전 및 보수업무에 익숙해지도록 시운전시부터 전문운전요원 및 보수요원의 교육훈련에 관심을 갖고 지속적으로 추진해야 하며 조직의 상부관리자는 장기적인 운전 및 보수계획을 수립하여 시행함이 바람직하며 아울러 운전원이나 보수원이 자긍심을 갖고 일할 수 있도록 분위기 조성 및 사기진작이 필요하다.

4. 운전보수절차 및 의사전달체계확립

현재 운용되고 있는 운전보수절차서는 어느 정도 만족할 만한 수준에 도달했으나 아직도 필요한 지침누락이나 부정확한 점 그리고 기술 기준이나 운전방법변경, 운전경험반영 등으로 절차서의 보완이나 개정이 필요하며 절차서가 너무 복잡한 것도 실제 이 절차서를 사용하는 운전원이나 보수원이 기피하는 이유가 되므로 필요한 경우 바로 간소화하거나 통폐합함으로써 절차서를 더욱 유용하게 하고 이렇게 개정 보완된 절차서는 모의제어반에서 검증해 봄으로써 그 타당성을 입증해 보는 것이 필요하다.

그리고 「이상운전절차서」나 「비상운전절차서」의 경우 평소에는 거의 사용되지 않기 때문에 운전원이 이 절차에 미숙할 여지가 있으므로 재교육시 충분히 숙지할 수 있도록 교육 및 모의제어반실습이 필요하다.

운전원간 또는 상하간 의사전달이 부정확해서 사고나 원치않는 행동을 유발할 수가 있는데 지시사항 등은 수명자가 꼭 반복하도록 하고 소음지역에서의 수화 및 회중전등신호요령 등 의사전달체계를 확립하여 시행해 나가야 부정확한 의사전달로 인한 사고를 방지할 수가 있다.

결 론

최근 발생한 체르노빌원전사고나 TMI사고도 인적과실에 상당부분 그 원인이 있었던바 현재 세계 여러나라에서 이러한 인적과실(Human error)을 감소시키고자 다양한 프로그램을 개발시행하고 있으며 우리나라도 INPO에서 개발한 「HPES」를 도입하여 시행함으로써 인적성능향상에 주력하고 있는 실정이다.

그러나 이러한 갖가지 노력에도 불구하고 계속된 사고의 원인 중 Human error가 상당부분을 차지하고 있으며 그 근본원인을 분석해 본 결과 운전원이나 보수원들의 인적인 특성, 취약한 근무환경, 절차서위반이나 무시, 의사 전달부정확 그리고 필요한 실무지식이 부족하고 지나치게 자기의 경험만을 중요시 하는 점 그리고 그들에 대한 처우개선이 부족한 것으로 판단되며 물적인 면에서는 Man-Machine interaction을 무시한 설비설계 등도 주요한 원인으로 꼽을 수가 있는데 예를 들어 주제어실의 설계의 경우 기기조작스위치가 너무 분산되어 있다든지 일부 경보 및 상태등의 위치점 등 조건이 비합리적으로 설계되어 있는 점 그리고 경보의 수가 지나치게 많아 실제 비정상 상태 발생시 운전원이 적절하고 신속하게 대응할 수가 없으므로 주제어실설계시 인간공학적 측면을 고려하여 설계함이 필요하다.

또한 인적성능(Human Performance)향상을 위해서 현재 시행되고 있는 갖가지 교육프로그램의 교과과정내용검토가 필요하고 그 검토결과를 즉시 피드백(Feed back)되도록 해야 하며 교육훈련은 장기계획을 세워 일관성있게 추진함으로써 내실화를 기하고 아울러 운전원이나 보수원 등 원전종사자들이 보람과 만족을 느끼고 일할 수 있도록 그들에 대한 대폭적인 처우개선이 절실하며 순환보직제 등을 적극 실현함으로써 실무지식축적, 상호간 운전경험교환 등이 이루어지도록 함으로써 동일하거나 유사한 원인에 의한 사고를 방지함으로써 원전의 신뢰도확보에 기여할 수가 있을 것이다.