

글로벌 최고 수준의 원전 안전운영 실현



이광훈

한국수력원자력(주) 발전본부 발전처장

- 부산대학교 물리교육과 학사
- 한울원자력본부 제1발전소 발전부장
- 발전본부 발전처 성능관리팀장
- 발전본부 발전처 발전총괄팀장
- 글로벌전략실 처장(WANO 동경센터 파견)
- 해외사업본부 해외수력실장
- 한빛원자력본부 제1발전소장
- 한국수력원자력(주) 발전처장

2020년은 한국수력원자력(이하 한수원) 전 직원에게 다사다난했던 한 해였다. APR1400 원전 수출형 모델인 바라카 1호기가 최초 계통연결에 성공하며 우리 원전의 우수성을 입증했고, 월성원자력본부 맥스터(사용후연료건식저장시설) 추가 건설이 주민 공론화를 통해 81.4%의 찬성률로 결정되었다. 반면, 태풍의 영향으로 원전 6기가 정지되는 초유의 사태를 경험하기도 했다.

2020년 원전 이용률은 75.3%로 2016년 이후 지속한 격납건물철판 점검 등 원전 안전성 강화를 위한 점검 및 개선으로 계획예방정비 기간이 장기간 소요된 결과이다. 2021년 또한 한수원에 있어 도전적인 한 해가 될 것으로 보인다. 원전에 대한 국민의 신뢰를 제고하기 위해 안전성 강화 노력을 지속해서 수행하고, 설비 관련 현안을 적극적으로 해결하여 원전 운영능력을 세계 수준으로 높여나갈 뿐만 아니라 정부의 에너지

전환정책 및 기후변화에 대응하여 안정적 전력 공급의 책무를 다해야만 한다.

이렇듯 어려운 가운데에서 뜻깊은 성취를 이룬 지난 2020년 원전 주요 운영현황과 성과를 살펴보고, 2021년 원전 운영계획을 간략히 소개하고자 한다.

설비용량 및 발전량

2020년 말 국내 원전은 총 24기가 상업운전 중에 있다. 원전 설비용량은 23,250MW로 우리나라 발전설비의 18.1%, 발전량은 145,124GWh로 전체 발전량의 29.0%를 차지하였다.

원전 설비용량의 변화 추이(〈표 1〉 참고)를 살펴보면 2011년 18,716MW에서 2016년 23,116MW로 약 20% 이상의 점유율을 꾸준히 유지하다가 2017년 고리 1호기 영구정지,

〈표 1〉 발전 설비용량 변화 추이

구분 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국내(MW)	79,342	81,806	86,969	93,216	97,649	105,886	116,908	119,092	125,338	128,609
원자력(MW)	18,716	20,716	20,716	20,716	21,716	23,116	22,529	21,850	23,250	23,250
점유율(%)	23.6	25.3	23.8	22.2	22.2	21.8	19.3	18.3	18.5	18.1

*출처: 한국전력공사 전력통계속보 제505호(2021.1.8. 발표 기준)

〈표 2〉 국가별 원전 설비용량 현황

구분 \ 순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
국가명	미국	프랑스	중국	일본	러시아	한국	캐나다	우크라이나	영국	독일
가동 호기 수	94	56	50	33	38	24	19	15	15	6
설비용량(MW)	96,553	61,370	47,518	31,679	28,578	23,250	13,554	13,107	8,923	8,113

*출처: IAEA PRIS(2021. 1. 15. 기준)

〈표 3〉 원자력 발전량 변화 추이

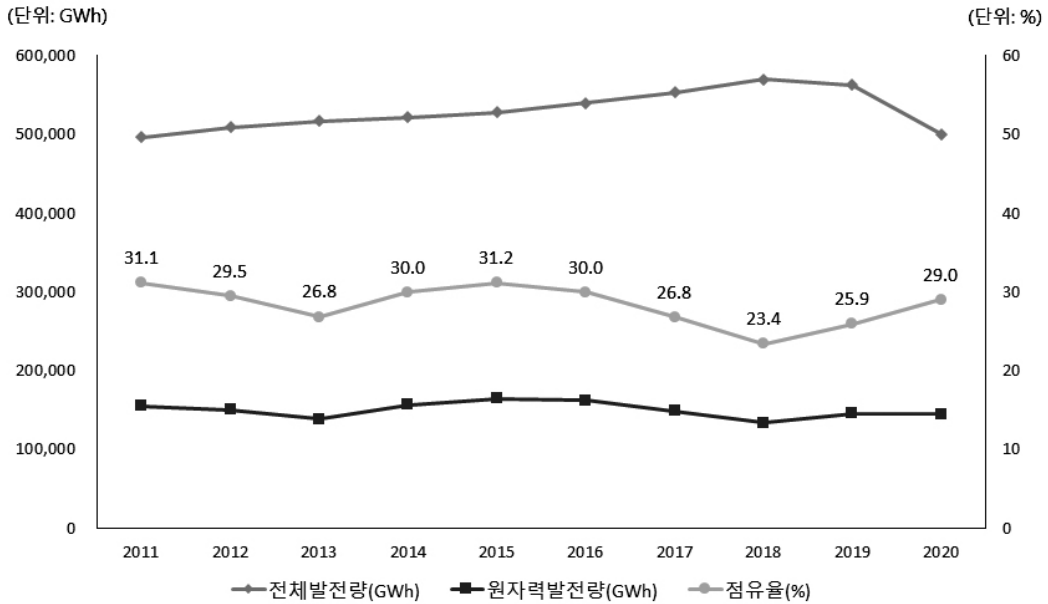
구분 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
국내(GWh)	496,893	509,574	517,148	521,971	528,091	540,441	553,530	570,647	563,040	500,555
원자력(GWh)	154,723	150,327	138,784	156,407	164,762	161,995	148,427	133,505	145,910	145,124
점유율(%)	31.1	29.5	26.8	30.0	31.2	30.0	26.8	23.4	25.6	29.0

*출처: 한국전력공사 전력통계속보 제505호(2021.1.8. 발표 기준)

2019년 월성 1호기 영구정지 및 2019년 신고리 4호기 상업운전으로 현재의 설비용량을 유지하고 있으며, 국가별 원전 설비용량 순위에서는 러시아에 이어 세계 6위 원자력 운영국의 위상을 유지하고 있다(〈표 2〉).

정부에서 발표한 제9차 전력수급기본계획(2020. 12. 28.)은 국가의 에너지전환 정책을 반영하여 단계적으로 원전·석탄 발전을 감축하고, 신재생 및 LNG의 비중을 확대하는 내용을 담고

있다. 또한, 제8차 전력수급기본계획(2017. 12. 29.)에서 발표한 운영허가 만료 원전에 대한 추가 운영연장을 제한하고, 현재 건설 중인 원전을 제외한 신규원전 건설계획(추가 6기) 백지화 정책을 계속 유지하기로 하였다. 이에 따라 운영 호기 수 측면에서 보면, 2023년 고리 2호기를 시작으로 2034년까지 원전 11기가 순차적으로 운영을 중단할 계획이다. 여기에 신규 준공되는 신한울 1,2호기, 신고리 5,6호기 등 신규원전 4



[그림 1] 원자력 발전량 변화 추이

〈표 5〉 2020년도 국내 원전 호기별 발전량

호기	고리		새울		월성		한빛						한울						합계						
	2	3	4	신1	신2	신3	신4	2	3	4	신1	신2	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
발전량 (TWh)	2.2	7.2	7.5	8.3	8.5	9.0	10.0	4.1	3.6	4.3	9.2	9.2	9.0	6.9	0.8	0.0	2.9	9.3	7.0	7.9	9.2	7.9	9.2	6.9	160.2

기가 운영에 착수하면 2034년 기준으로 가동원전은 현재 24기에서 17기로 줄어들게 된다.

〈표 3〉과 [그림 1]은 국내 원자력 발전량의 변화 추이를 나타낸 것으로, 2011년부터 2016년까지 전체 발전량 대비 약 30% 수준의 점유율을 유지하다가 2018년 23.4%로 최저점을 찍고 반등하여 2020년에는 29.0%를 달성하였다. 이는 최근 몇 년간 진행된 격납건물철판 점검·조치 등이 다수의 원전에서 완료되어감에 따라 계획에 방정비 기간이 줄어들면서 원전 발전량이 점차

증가한 결과이다.

〈표 4〉는 국내 원전 현황을 나타내고 있는데, 가동원전은 APR1400 원전을 포함한 가압경수로형 21기(21,150MW), 가압중수로형 3기(2,100MW)로 구분된다.

〈표 5〉는 2020년도 한 해 동안의 호기별 발전량을 나타낸 것으로 설비용량과 계획예방정비 수행 여부 등에 따라 발전소 간 차이가 발생할 수 있다.

〈표 4〉 국내 원전 현황

① 가동원전 현황

호기	구분	설비용량(MW)	원자로형	위 치	상업운전
고리#2		650	가압경수로형	산광역시 기장군 장안읍 길천길 96-1	1983. 7. 25.
고리#3	950	1985. 9. 30.			
고리#4	950	1986. 4. 29.			
신고리#1	1,000	2011. 2. 28.			
신고리#2	1,000	2012. 7. 20.			
신고리#3	1,400	가압경수로형	울산광역시 울주군 서생면 해맞이로 658-63	2016. 12. 20.	
신고리#4	1,400			2019. 8. 29.	
월성#2	700	가압중수로형	경북 경주시 양남면 동해안로 696-13	1997. 7. 1.	
월성#3	700			1998. 7. 1.	
월성#4	700			1999. 10. 1.	
신월성#1	1,000	가압경수로형		2012. 7. 31.	
신월성#2	1,000			2015. 7. 24.	
한빛#1	950	가압경수로형	전남 영광군 홍농읍 홍농로 846	1986. 8. 25.	
한빛#2	950			1987. 6. 10.	
한빛#3	1,000			1995. 3. 31.	
한빛#4	1,000			1996. 1. 1.	
한빛#5	1,000			2002. 5. 21.	
한빛#6	1,000			2002. 12. 24.	
한울#1	950	가압경수로형	경북 울진군 북면 울진북로 2040	1988. 9. 10.	
한울#2	950			1989. 9. 30.	
한울#3	1,000			1998. 8. 11.	
한울#4	1,000			1999. 12. 31.	
한울#5	1,000			2004. 7. 29.	
한울#6	1,000			2005. 4. 22.	
계	23,250	-	-	-	

② 정지원전 현황

호기	구분	설비용량(MW)	원자로형	위 치	상업운전	비 고
고리#1		587	가압경수로형	부산광역시 기장군 장안읍 길천길 96-1	1978. 4. 29.	영구정지 (2017. 6. 18. 24:00)
월성#1		679	가압중수로형	경북 경주시 양남면 동해안로 696-13	1983. 4. 22.	영구정지 (2019. 12. 24. 24:00)
계		1,266	-	-	-	-

〈표 6〉 국내 원전 이용률 현황

구분 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
이용률(%)	90.7	82.3	75.5	85.0	85.3	79.7	71.2	65.9	70.6	75.3

〈표 7〉 국내 원전 가동률 추세

구분 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
가동률(%)	90.3	82.3	75.7	85.4	85.9	79.9	71.3	66.5	71.0	74.8

원전 이용률

원전 이용률은 발전소 발전 가능량 대비 실제 발전량의 비율로써 발전 운영의 효율성과 설비의 활용도를 나타내는 주요 지표이다. 설비 신뢰성 및 운영인력의 우수성 등 발전소 운영기술 수준을 평가하는 직접적인 척도가 된다.

〈표 6〉은 최근 10년간 연도별 원전 이용률 현황으로, 2020년 국내 원전의 이용률은 75.3%로 2018년 65.9%로 최저점을 통과한 후 점차 회복세를 보이고 있다.

이용률 감소의 주요 원인은 2016년부터 부각된 격납건물철판 점검·조치와 원전 안전성 강화를 위한 계획예방정비 기간 증가 등으로 볼 수 있다. 2021년의 경우에는 계획예방정비 호기수가 전년 대비 4기 증가한 21기로 예정되어 있어 이용률이 작년보다 다소 감소할 것으로 예상된다. 기술현안 대응능력 강화 및 계획예방정비 기간을 최적화하는 등 자구적인 노력을 통해 이용률을 향상할 예정이다.

원전 가동률

국내 언론 또는 금융기관 등에서 간혹 원전 가동률을 이용률과 혼용하여 사용하는 경우가 있다. 가동률은 실제 원전 효율을 나타내는 주요 지표라는 점에서 이용률과 유사하나, 실제 지표 산식의 구성변수는 다르다. 구체적으로 설명하면 발전량을 주요 구성변수로 하는 이용률과 달리 원전 가동률은 발전소 발전가능시간 대비 실제 총 발전시간의 비율로써 발전시간으로 구성된 산식을 사용한다. 원전이 국내 전력망의 기저 부하로써 정상운전 시 손출력 운전을 한다는 점을 고려하면 가동률은 이용률과 매우 유사한 값을 가지며, 최근 10년간 국내 원전의 가동률 추세는 〈표 7〉을 참조하기 바란다.

세계 최저 수준의 불시정지율 달성

불시정지는 발전소가 정상운전 중 기기 고장 또는 인적 요인에 의해 불시에 정지됨을 의미하는데, 〈표 8〉에 나타난 바와 같이 운영 경

〈표 8〉 국내 원전 불시정지 현황

(단위: 건)

호기	출력(MW)	상업운전일	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
고리#1	587	1978. 4. 29.	1	0	1	0	0	0	0			
고리#2	650	1983. 7. 25.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
고리#3	950	1985. 9. 30.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
고리#4	950	1986. 4. 29.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
신고리#1	1,000	2011. 2. 28.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
신고리#2	1,000	2012. 7. 20.		0	0	0	0	0	0	0	0	0
신고리#3	1,400	2016. 12. 20.						0	0	1	0	0
신고리#4	1,400	2019. 8. 29.									0	0
월성#1	678	1983. 4. 22.	0	3	0	0	0	2	0	0		
월성#2	700	1997. 7. 1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
월성#3	700	1998. 7. 1.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
월성#4	700	1999. 10. 1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
신월성#1	1,000	2012. 7. 31.		1	1	0	0	0	0	0	0	0
신월성#2	1,000	2015. 7. 24.					0	0	0	0	0	0
한빛#1	950	1986. 8. 25.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
한빛#2	950	1987. 6. 10.	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
한빛#3	1,000	1995. 3. 31.	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
한빛#4	1,000	1996. 1. 1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
한빛#5	1,000	2002. 5. 21.	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0
한빛#6	1,000	2002. 12. 24.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
한울#1	950	1988. 9. 10.	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
한울#2	950	1989. 9. 30.	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
한울#3	1,000	1998. 8. 11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
한울#4	1,000	1999. 12. 31.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
한울#5	1,000	2004. 7. 29.	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
한울#6	1,000	2005. 4. 22.	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
합계(건)			5	9	6	5	3	4	1	3	2	3
기동호기수			21	23	23	23	24	25	24	24	24	24
불시정지율(호기당 정지건수)			0.33	0.39	0.26	0.22	0.13	0.16	0.04	0.13	0.08	0.13

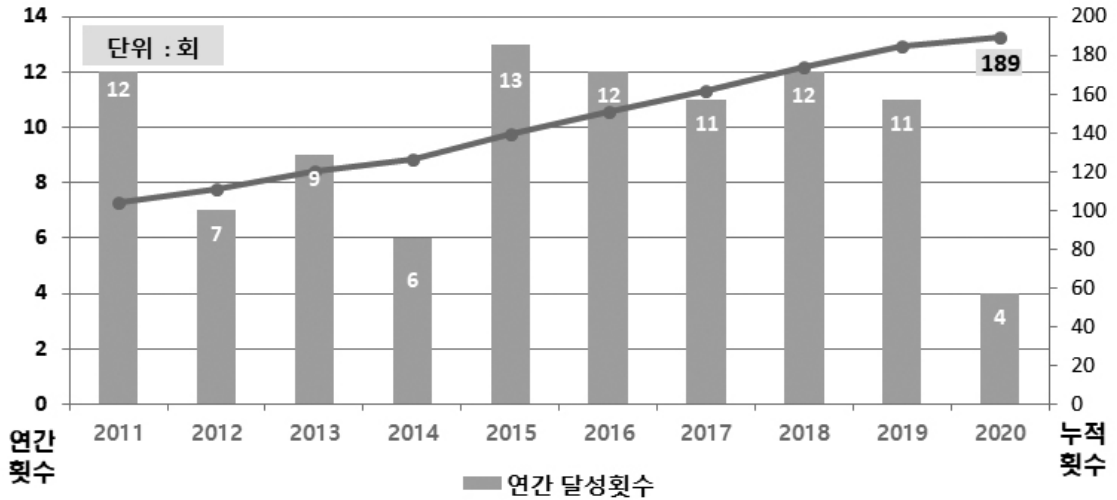
〈표 9〉 원자력발전소 호기별 계획예방정비 실적(2020년)

호기	회차	정비일정	당해 기간	주요작업 항목
고리#2	30차	2020. 2. 17. ~ 2020. 10. 1.	227	▪ 안전정비 케이블 화재방호체 설치 등
고리#3	25차	2019. 9. 6. ~ 2020. 2. 13.	43	▪ 격납건물공극 점검, 기동용변압기 교체 등
고리#4	25차	2019. 7. 9. ~ 2020. 1. 31.	30	▪ 격납건물공극 점검, 기동용변압기 교체 등
신고리#3	2차	2019. 11. 20. ~ 2020. 4. 21.	111	▪ 격납건물공극 점검, 비관리구역 계측기 이설 등
신고리#4	1차	2012. 10. 9. ~ (진행중)	84	▪ 터빈/발전기 분해점검, POSRV개선품 적용 등
한빛#2	24차	2020. 6. 3. ~ 2020. 8. 28.	86	▪ 격납건물공극 점검, 비안전등급 4.16kV 차단기 교체 등
한빛#3	17차	2018. 05. 11. ~ (진행중)	365	▪ 격납건물공극 점검, 주변압기 교체 등
한빛#4	16차	2017. 05. 18. ~ (진행중)	365	▪ 격납건물공극 점검 및 구조성 평가 등
한빛#5	13차	2020. 4. 10. ~ (진행중)	266	▪ 증기발생기 교체, 원자로상부헤드 관통부 개선 등
월성#2	19차	2020. 9. 15. ~ 2020. 12. 7.	84	▪ 증기발생기 습분분리기 교체 등
월성#3	17차	2019. 9. 10. ~ 2020. 4. 25.	116	▪ 증기발생기 습분분리기 교체 등
월성#4	17차	2020. 7. 22. ~ 2020. 10. 8.	79	▪ 증기발생기 습분분리기 교체 등
한울#1	23차	2020. 7. 23. ~ 2020. 10. 9.	78	▪ 격납건물공극 점검, 원자로헤드 관통관 슬리브 정비 등
한울#2	22차	2019. 10. 14. ~ 2020. 2. 6.	37	▪ 격납건물공극 점검, 원자로헤드 관통관 슬리브 정비 등
한울#4	14차	2019. 12. 16. ~ 2020. 2. 21.	52	▪ 격납건물공극 점검 등
한울#6	11차	2020. 7. 24. ~ 2020. 10. 18.	86	▪ 격납건물공극 점검, CO ₂ 소화설비 개선 등

험과 설비 개선 등 관련 기술의 축적으로 호기 당 1건 이내의 낮은 불시정지율을 유지하고 있다. 2020년의 경우 불시정지 건수는 3건, 불시정지율은 0.13건을 달성하였다. 이는 발전소 주요 사건에 대한 근본 원인분석 강화 등 원전 운영 프로세스 개선 및 취약설비 관리강화를 통해 과도상태 발생 요인을 사전에 제거하는 등 불시정지 감소를 위한 전사적 역량을 집중한 결과이며, 최근 10년간 추이를 고려할 때 상당히 양호한 실적이다. 더불어 불시정지율과 유사한 지표로서, IAEA에서 관리하는 비계획정지율(Unplanned Outage)을 살펴보면 국내 원전은 해외 주요 원전 운영국 대비 매우 우수한 수준을 계속해서 유지하고 있다.

계획예방정비

원전 이용률은 2012년 후쿠시마 원전사고 이후부터 감소하여 아직까지도 과거 최고 수준까지는 회복하지 못하고 있다. 이는 안전 최우선 정책 및 과거문제 해결(격납건물철판 부식 등)을 위해 장기간 계획예방정비가 수행되었기 때문이다. 최근 정비 패러다임이 원전 이용률보다는 안전 최우선으로 전환되었고, 이에 따라 발전소 정비에 있어 기간의 적절성 검토와 공정 및 작업 관리기법 적용 등 계획예방정비 관리체계를 전반적으로 개선하였다. 아울러 안전정비 문화를 정착하기 위해 산업안전, 정비품질 및 이물질 유입 방지 등에 대한 관리를 대폭 강화하였



[그림 2] 한 주기 무고장 안전운전 현황

다. 2020년도 계획예방정비 실적은 <표 9>를 참조하기 바란다.

한 주기 무고장 운전을 통한 운영능력 입증

원전이 계획예방정비 중 연료 교체를 완료하고 발전을 재개하여 다음 계획예방정비 착수 전까지 정지 없이 연속 운전하는 것을 ‘한 주기 무고장 안전운전’이라 하는데, 지난 한 해 동안 4개 호기에서 이를 달성하였다. 과거보다 ‘한 주기 무고장 안전운전’달성 횟수가 적은 것은 2020년 계획예방정비에 착수한 발전소 호기가 8기뿐 이었던 영향이 있다.

특히 APR1400 수출형 원전과 동일한 신고리 4호기의 ‘첫 주기 무고장 안전운전’달성은 국내 원전의 우수한 기술력과 운영능력 및 안전성을 입증했다는 점에서 의미가 크다. 첫 주기 운전

동안에는 안정되기까지 고장 정지 등 다양한 시행착오를 겪는 것이 일반적이다.

고리 1호기가 상업운전을 시작한 1978년부터 지금까지 국내 원전의 ‘한 주기 무고장 안전운전’은 총 189회에 달한다([그림 2]).

4차 산업혁명 기술을 탑재한 원전종합상황실 운영

한수원은 2016년 3월 경주 신사옥으로 본사를 이전하면서 전 원전에 대한 총괄 지휘체계를 구축하기 위해 본사 사옥 2층에 236명 규모의 원전종합상황실을 설치·운영하고 있다.

원전종합상황실은 전(全) 원전에 대하여 24시간 원격 감시 기능을 수행하고 지진 등 자연재해 발생, 방사선 비상, 전력 수급 비상, 대(對)테러 상황 등 다양한 비상 상황에 대처할 수 있도록 설계되었고, 2016년 경주지진과 다음 해 포



[그림 3] 경주 본사 원전종합상황실 전경

항지진, 2020년 태풍 영향에 의한 발전소 정지 등 발전소 비상상황 발생 시 원전 상태를 정확히 진단하고 총괄 지휘하는 Control Tower 기능을 성공적으로 수행하였다.

또한, 지난 4년 동안의 운영 경험과 빅데이터 축적을 통해 원전 핵심설비의 고장을 사전에 예측할 수 있는 조기경보시스템을 대폭 업그레이드했으며, 이를 이용하여 주요설비 고장 이전에 선제조치를 함으로써 원전 불시정지율을 낮추고, 원전 안전성 향상에 기여하고 있다.

2021년 원전 운영 계획

2021년 한수원은 정부의 에너지 전환정책과 변화된 규제환경 등 녹록지 않은 경영환경 속에서도 최고의 안전성 강화와 Global Top 수준의 운영역량 확보를 통해 '신뢰받는 글로벌 에너지 리더, 한수원'이라는 회사 비전을 달성하기 위해 노력하고자 한다. 이를 위해 아래와 같이 원전

운영 계획을 적극적으로 추진해 나가고자 한다.

1. 안전한 원전 운영

원전 운영에 있어 안전은 무엇보다도 비교될 수 없는 최우선 가치인 만큼 안전 최우선 원칙이 모든 종사자에게 내재화되도록 할 것이다. 특히, 무사고 기록관리 프로세스(Event Free Clock) 운영을 통해 협력사의 안전의식 수준도 함께 향상할 계획이다. 또한, 4차 산업기술을 활용하여 본사 원전종합상황실의 전 원전 핵심설비에 대한 모니터링 범위를 대폭 확대하고 본사-발전소 간 멀티감시체계를 구축함으로써 원전 안전성을 제고하고자 한다.

2. 원전 이용률 향상

2015년 이후 회복되지 않은 원전 이용률 향상을 위해 전사적인 역량을 결집하고자 한다. 한수원의 지속가능한 경영을 위해서는 안전성을 토대로 한 이용률 향상은 꼭 필요한 과제이다. 이

를 위해 가동 원전의 안전성 및 성과 저하 징후를 사전 파악하고 지원할 수 있는 통합성능지표를 개발해 기술부사장(CNO) 중심으로 운영하고자 한다. 또한 중요 운전경험 및 사건에 대한 신속 전파체계 구축으로 유사 사건의 재발을 방지하여 이용률 제고에 기여하고자 한다.

3. 원전 종사자 직무역량 강화

최고 수준의 운영역량 확보를 위해서는 전문 지식과 리더십 역량을 갖춘 전문가를 많이 보유해야 한다. 이를 위해 복합적인 상황을 고려한 강도 높은 시뮬레이터 훈련을 시행하고 훈련 센터 교수요원 확대 및 운전원 교육·훈련 표준 교재 개발 등 인프라도 지속 확충하고자 한다.

특히 원전에 특화된 고급관리자를 양성하기 위한 체계를 구축하여 한수원 형 인재 파이프라인(Pipeline)을 구축하고자 한다.

4. 글로벌 원전산업계와 협력체계 강화

세계 원자력산업은 하나의 고리로 연결되어 있다고 해도 과언이 아니다. 1개 원전의 사건은 1개의 국가에만 영향을 미치지 않는 까닭이다. 따라서, 세계원전사업자협회(WANO), 미국원자력발전협회(INPO) 등과 협력을 통해 원전 안전성 강화 조치와 운영 노하우를 적극적으로 교류하고자 한다. 이를 통해 국내 원전산업의 기술력과 운영능력을 글로벌 최고 수준으로 끌어올리하고자 한다. **KMIF**