

6시그마 기법을 적용한 원자력 터빈 시뮬레이터의 발전기 출력 연산오차 저감

논 문
60-5-18

The Reduction of Generator Output Calculation by Using 6σ Method on Steam Turbine Simulator in a Nuclear Power Plant

최 인 규[†] · 김 중 안* · 박 두 용* · 우 주 희** · 신 만 수**
(In-Kyu Choi · Jong-An Kim · Doo-yong Park · Joo-Hee Woo · Man-Su Shin)

Abstract - This paper describes the improvement of the calculation by using 6σ method on steam turbine simulator in a nuclear power plant. The simulator is essential to not only verification and validation of control logic but also making sure of control constants in upgrading the long time used control system into the new one. And the dynamic model is a key point in that simulator. The model used during the retrofit period of the turbine controller in Kori Nuclear Power Plant makes difference in calculating generator output and control valve positions. That is because such operating data as the main steam pressure, the main steam temperature and control valve positions of Yongkwang #3 are different from those of Kori #4. Therefore, the model parameters must be tuned by using actual operating data for the high fidelity of simulator in calculating the dynamic characteristic of the model. This paper describes that the 6σ method is used in improvement of precision of generator output calculation in the steam turbine model of the simulator.

Key Words : 6σ method, Model, Steam turbine, Nuclear power plant. Operating data

1. 서 론

이 논문은 1,000MW 용량의 영광원자력 3호기의 증기터빈 제어기를 신형으로 교체함에 있어서 제어기의 신뢰성 검증에 중요한 시뮬레이터 모델의 연산오차를 저감하기 위하여 6σ 기법을 도입한 내용을 기술한다. 6시그마는 프로세스 능력에 대한 정량적인 표현 방법으로 100만 기회당 3.4개의 결함 기회 수를 허용하는 공정의 능력을 의미하는 것으로써 제품의 설계와 제조뿐 아니라 사무 간접, 지원 등을 포함하는 모든 종류의 프로세스에서 결함을 제거하고 목표로부터의 이탈을 최소화하여 조직의 이익창출과 함께 고객만족을 최대화하고자 하는 경영혁신 전략이다[1]. 터빈 시뮬레이터는 에너지 입출력에 따른 터빈 속도와 발전기 출력을 연산하는 장치이다. 터빈 제어시스템에 탑재할 응용 프로그램의 현장 적응력과 하드웨어의 건전성을 확인하기 위한 장치로서 현재 운전되고 있는 터빈의 열역학적 모델을 포함하고 있다. 또한, 주제어기의 건전성을 확인하기 위한 시험을 수행하기 위해 시뮬레이터는 과도상태 발생, 각종 시험 신호, 기기 제어 신호 등을 제어기로부터 받아들인다. 증기 에너지가 터빈으로 유입되어 터빈 속도와 발전기 출력으로 전환되는 과정을 열역학적 에너지 방정식을 적용하여 프로그래밍하였다. 일정한 압력이 주어지면 밸브의 개도에 따라 증기

유량이 결정되고 터빈에서 발생하는 에너지를 산출하였으며 이는 현장에서 운전되는 실제 데이터를 취득하여 참고하였다. 따라서, 설정량은 회전체 물성, 소스와 싱크의 압력 및 온도 등이며 연산량은 발전기 출력, 증기유량, 증기 압력, 증기 온도 및 증기 엔탈피 등이다.[2]

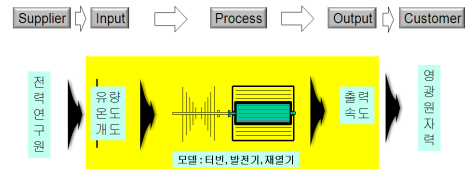


그림 1 시뮬레이터 개요
Fig. 1 Simulator overview

원자력 발전소의 터빈을 모사하는 시뮬레이터에서는 발전기 출력이 중요한 요소이다. 그런데 터빈 시뮬레이터의 발전기 출력 오차가 과도하게 발생하여 현장 운전원의 운전 혼란능력 향상에 저해되었으며 또한 과도 상태를 모의시험하는 경우 실측 운전데이터와의 편차가 커서 제어기를 조정할 경우 문제점이 상존하였다. 이 논문은 시뮬레이터의 발전기 출력 개선을 6시그마 기법을 적용하여 개선한 결과에 대하여 언급하고 있다. 또, 6시그마 기법의 구체적인 적용 방법은 테마정의 → 측정 → 분석 → 개선 → 관리의 단계를 거치며 순서대로 나타내면 그림 2와 같다. 즉, 테마정의 단계에서 문제점을 정의한 후 시뮬레이터의 기능을 파악하며 사용자의 핵심 요구사항을 파악한다. 측정 단계에서는 사용자 요구사항을 정량화한 후 데이터를 수집하여 정규성을 검정하고 공정능력을 측정한다. 분석 단계에서는 원인

† 교신저자, 정희원 : 한전전력연구원 책임연구원
E-mail : cik@kepri.re.kr

* 정희원 : 한전전력연구원 책임연구원

** 정희원 : 한전전력연구원 선임연구원

접수일자 : 2011년 1월 8일

최종완료 : 2011년 1월 8일

분석을 위한 잠재인자를 도출하고 지배적인 인자를 파악하며 원인 분석을 위한 실험계획법을 수행하여 교호작용의 여부와 회귀분석을 수행하여 지배인자를 확정한다. 개선 단계에서는 최적화를 위한 프로세스를 결정하고 회귀분석과 공정능력 분석을 통하여 최적화한다.

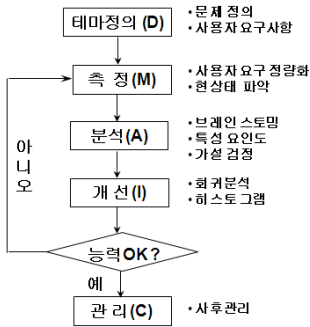


그림 2 6시그마 방법론
Fig. 2 6Sigma Methodology

2. 원자력 발전소와 터빈 구성

2.1. 원자력 발전소 구성

그림 3은 1,000MW 원자력 발전소의 구성도이다. 핵분열이 이루어지는 원자로에 설치된 제어봉은 중성자를 잘 흡수하는 물질이고 제어봉이 원자로에 인출되면서 중성자 활동이 활발해져 핵분열이 발생하여 열에너지를 발생시킨다. 발생된 열에너지는 원자로 내부를 통과하는 냉각재에 열을 전달한다. 냉각재펌프는 원자로에서 발생된 핵분열에너지로 가열된 냉각재를 증기발생기로 보내 2차 측 급수계통에 열을 전달시킨다. 증기발생기에서 열을 전달시키고 냉각된 냉각재를 다시 원자로로 이송시켜 재순환되게 한다. 증기발생기는 가열된 냉각재를 증기발생기 튜브 다발로 통과시키면서 튜브 외측의 2차 측에 열을 전달한다. 열을 전달받은 2차 측 급수는 증기가 되어 터빈을 회전시킨다.[3] 그림 3은 원자력 발전소의 개요도로서 이 논문에서 다루고 있는 시뮬레이터는 터빈과 발전기 및 복수기를 대상으로 하는 것을 표시하고 있다.

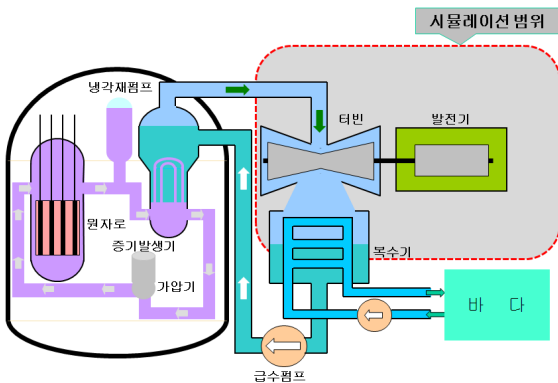


그림 3 원자력 발전소 개요
Fig. 3 Nuclear power plant overview

2.2. 증기 터빈

그림 4는 영광원자력 3호기 증기 터빈 구성도이다. 고압터빈 1대와 저압터빈 3대가 동일 축에 직렬로 연결되어 있고 고압터빈의 배기증기의 과열도를 상승시키기 위한 습분분리 재열기가 2대 설치되어 있다. 증기밸브로는 고압터빈 보호를 위한 주증기 차단밸브(MSV:Main Stop Valve)와 주증기 조절 밸브(CV:Control Valve)가 4대, 저압터빈 보호를 위한 재열증기 차단밸브(ISV:Intermediate Stop Valve)가 6대, 재열증기 조절 밸브(IV:Intercept Valve)가 6대 장착되어 있다. 고압터빈 예열은 조절용 주증기 차단밸브(MSV2)를 이용하고 기동시에 터빈 바이패스 시스템을 채용하고 있지 않으므로 기동은 주증기 조절밸브를 이용해야 하며, 주증기 차단밸브는 이용하지 않는다. 또한 출력 증가를 위하여 운전원 조작으로 부하설정치 증가에 따라 주증기 조절밸브 1,2,3이 동시에 열린 후 4는 뒤이어 열리는 2 분사 방식으로 기동하여 전부하까지 운전한다. 특히 ISV1,2,3은 증기 조절을 담당하나 ISV4-6은 전제 또는 전폐 상태만 존재하는 2 위치 밸브로 동작한다. 이 발전소는 주증기 조절밸브로 기동하여 정격속도에 도달한 후 계통 병입과 발전기 출력 조절을 수행한다.[4]

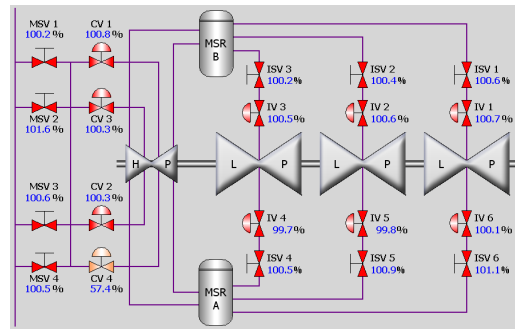


그림 4 터빈 증기 흐름도
Fig. 4 Steam flow diagram

3. 모델의 상태 파악

3.1. 데이터 취득

발전기 기동 후 전부하까지 발전기 출력과 터빈밸브개도의 운전데이터를 현장에서 취득한 후 시뮬레이터의 연산 결과와 비교하여 오차를 산출함으로써 모델의 충실도를 파악한 내용을 기술하면 다음과 같다. 운전데이터 취득을 위한 주증기 조건은 압력 69.7bar 및 온도는 286.4℃이며 복수기 조건은 압력 0.05bar 및 온도 32.5℃이다. 취득 대상 변수는 일정한 증기 조건 하에서 발전기 출력과 밸브 개도이다.

운전 데이터는 현장의 데이터 취득 장치를 이용하고 모델 데이터는 기존의 시뮬레이터에 영광3호기 프로세스 조건을 입력한 후 변수 조정없이 실행하고 연산된 발전기 출력 지시치를 기록하였다. 또, 원자력 발전소는 보통 전력계통 운용 상 기저 부하로서 전부하 운전을 시행하고 있으므로 모든 시험이 전부하 상태에서 이루어진다. 따라서 데이터 취득과 모델 조정은 810MW에서 1000MW의 고부하를 대상으로 10MW 간격으로 실시하였다. 오차를 산출한 결과 전부하(1000MW)에서 9%의 오차가 산출되었으며 평균적 오차는 6.35%로 불량하였다.

표 1 데이터 취득표

Table 1 Table of data acquisition

밸브개도(%)		발전기 출력(MW)		
CV1-3	CV4	운전 데이터	모델 데이터	오차 (%)
32	0	810	849	3.9
33	0	820	868	4.3
34	0	830	877	4.7
35	0	840	891	5.1
36	0	850	904	5.4
37	0	860	918	5.8
40	0	870	930	6.0
41	0	880	935	5.5
47	0	890	943	5.3
53	0	900	959	5.9
57	2	910	970	6.0
63	5	920	988	6.8
67	6	930	996	6.6
71	8	940	1007	6.7
77	10	950	1019	6.9
80	13	960	1034	7.4
86	15	970	1051	8.1
90	17	980	1064	8.4
96	19	990	1082	9.2
99	20	1000	1090	9.0

3.2 정규성 검정 및 공정능력

위의 데이터를 토대로 오차에 대하여 통계적 기법을 이용하여 정규성을 검정한 결과 그림 5에 나타낸 바와 같이 P-값이 0.589로 0.05보다 커서 정규분포를 따르는 것으로 나타났다.

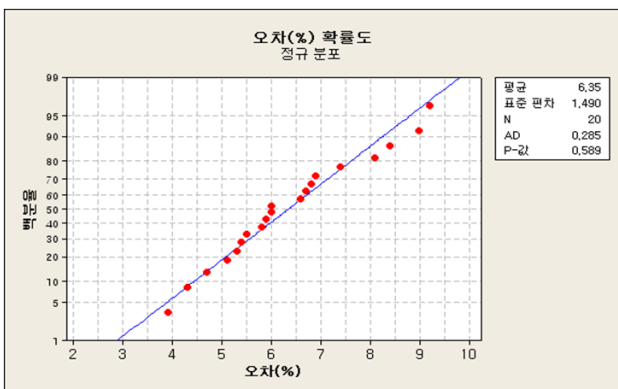


그림 5 정규성 검정 결과

Fig. 5 Normality test result

또한, 오차에 대하여 통계적 기법을 이용하여 분석한 공정능력은 그림 6에 나타낸 바와 같이 -2.25로 나타났다.

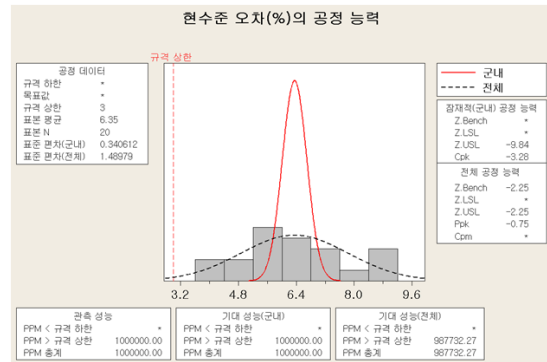


그림 6 공정능력 분석

Fig. 6 Result of process capability

따라서, 개선의 필요성이 제기되어 목표를 각각 평균오차는 6.35% 에서 3%으로 공정능력은 -2.25에서 1.0으로 설정하였다.

4. 터빈 모델 고찰

전력계통에 병렬로 운전 중인 터빈 제어기의 부하설정값을 증가시키면 주증기 조절밸브의 개도는 증가하나 발전기가 전력계통에 전자적으로 구속되어 있으므로 실제 속도의 증가는 감지할 수 없을 정도로 작다. 주증기 조절밸브의 개도 증가로 증기유량이 증가하면 터빈의 회전력이 증가하며 이는 발전기 출력 증가로 나타난다. 여기서, 주증기 조절밸브의 개도가 일정할 경우 주증기 압력, 주증기 유량 및 발전기 출력 관계를 살펴보면 Q를 유량, C_v 를 용량계수, $f(x)$ 를 밸브 개도, ΔP 를 밸브 입·출구 차압이라 하면 유량과 압력의 관계는 식 (1)과 같다.

$$Q = C_v f(x) \sqrt{\Delta P} \tag{1}$$

엔탈피는 온도와 압력을 알면 증기표로부터 알 수 있고, 정상 운전시 증기발생기 출구 온도와 압력은 제어시스템에 의하여 거의 일정하게 유지되므로 엔탈피도 일정하다. 따라서 유량만 알면 터빈에 전달된 에너지를 구할 수 있다.

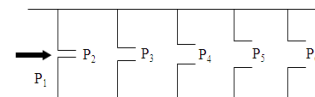


그림 7 노즐

Fig. 7 Nozzle

그림 7과 같이 터빈은 노즐의 연속으로 생각할 수 있고 과열증기는 이상기체의 상태방정식을 적용하여 노즐 내부의 증기의 분출속도를 구할 수 있다. 또, 압력비가 일정한 경우 증기에 관한 열역학적 법칙과 식 ①을 고려하고, 또 증기의 온도, 터빈 주증기 조절밸브와 복수기 진공도가 일정하면 터빈의 유입 증기량은 식 (2)와 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$Q = \text{Constant} \cdot P_1 \quad (2)$$

또, 언급한 바와 같이 터빈은 노즐의 연속으로 볼 수 있고 각 노즐 사이의 압력비는 일정하므로 증기의 온도가 일정한 경우, 첫째 단에서 압력이 결정되면 각 단에서의 압력은 정해진다. 그림 7은 각 단의 압력분포이고, 이를 더욱 확장하면 재열기 관로의 압력 분포 및 증압터빈 내부, 저압터빈 내부도 동일한 해석을 적용할 수 있다. 결국, 증기유량과 발전기 출력은 열에너지 입력과 전기출력의 관계로서 열소비용을 고려하면 정비례의 관계(발전기출력 = 증기유량×열소비용)이므로 주증기 압력과 발전기 출력도 정비례의 관계를 나타낸다. 또, 주증기 조절밸브의 개도가 일정한 경우 주증기 압력은 터빈 제1단 압력에 정비례한다.[3] 터빈의 요소기기별 모델에 관한 내용은 선행 연구에서 개발하여 사용한 것으로서 참고문헌[3]에 자세히 수록되어 있다.

5. 인과 관계 및 상관 관계 분석

5.1 인과관계 분석

오차가 크게 발생하고 공정능력이 작은 원인을 찾기 위하여 6σ 기법인 브레인 스토밍을 통하여 인과 관계를 분석하였다. 잠재적인 인자로는 운전데이터 입력상이 오류, 증기유량 연산, 고압1단의 어드미턴스(1st Ad), 저압 어드미턴스, 재열기 모델 문제, 터빈 속도 모델, 관성 모델, 손실 모델, 주증기 차단밸브(MSV) 커브, 주증기 조절밸브 어드미턴스(CV Ad) 등 많은 인자가 도출되었으며 이것을 정리하면 표 2와 같다.

표 2 도출된 잠재 인자
Table 2 Potential parameters

잠재 인자	프로세스에 미치는 영향	
운전 데이터 입력(A)	고압 및 저압터빈 출력	중
증기유량 연산(B)	고압 및 저압터빈 출력	상
1st Ad(C)	고압터빈 출력	상
저압 어드미턴스(D)	저압터빈 출력	중
재열기 모델(E)	저압터빈 출력	중
속도 모델(F)	출력	하
관성 모델(G)	출력	하
손실 모델(H)	출력	하
MSV 커브(I)	출력	중
CV Ad(J)	고압 및 저압터빈 출력	상

도출된 여러 가지 잠재 인자 중 발전기 출력연산에 가장 중요한 인자가 무엇인지를 파악하기 위하여 다음과 같이 발전소 요구사항과 잠재인자를 참고하여 6σ 기법인 기능전개 매트릭스(FDM : Function Deployment Matrix)를 실시하였다. FDM은 품질기능전개를 단순화한 것으로, 입력변수 X와 최종고객이 중시하는 출력변수 Y의 관계를 분석하여 우선순위를 설정하는데 사용하는 간단한 스프레드 시트를 말한다. 여러 사람들의 의견을 모아, 중요한 것을 선정하거나, 우

선순위를 정하는 등의 결론을 도출하는데 사용되는 의결도구로, 여러 사람의 다양한 의견을 수렴한 시차적인 우선 순위화 도구이다[1]. FDM 결과 표 13에 나타난 바와 같이 터빈모델의 품질에 미치는 영향력이 가장 큰 인자 즉 CTQ(Critical To Quality)는 J, 주증기 조절밸브 어드미턴스(CV Ad)와 C, 즉 1단 어드미턴스(1st Ad)가 잠정적으로 선정되었다.

표 3 기능전개 매트릭스

Table 3 Functional Deployment Matrix Result

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	중요도
정격 출력	3	1	9	9	3	3	3	3	1	9	5
부하대별 출력	3	1	9	3	3	3	3	9	1	9	4
출력 분담률	3	3	1	3	9	1	1	1	1	9	2
무부하속도 연산	9	9	3	1	1	1	9	9	1	9	3
차후 활용성	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1
합 계	61	43	95	67	49	33	57	81	15	129	

5.2 상관 관계 분석

선정된 잠정 CTQ에 대하여 1,000MW 대상으로 실험 수준은 2인자 2수준으로 정한 후 6σ 툴인 Mini Tab상에서 실험 계획법을 적용하여 12번 실험하였다. 시험계획법은 실험에 대한 계획 방법을 의미하는 것으로, 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취득하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이다 [1]. 이 실험에서 오차와 잠정 CTQ의 상관관계를 분석한 결과는 그림 8 및 그림 9와 같다.

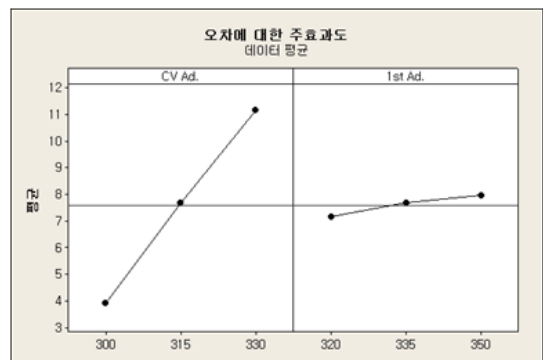


그림 8 오차에 대한 주효과 분석
Fig. 8 Main effect analysis of error

그림 8은 오차에 대한 주효과 분석 결과로서 주증기 조절밸브 어드미턴스(CV Ad)가 터빈 1단 어드미턴스(1st Ad)보다 영향을 크게 미치며 또한, 주증기 조절밸브 어드미턴스가 증가할수록 오차는 감소함을 나타내고 있다. 그림 9는 오차에 대한 교호작용도로서 주증기 조절밸브 어드미턴스(CV Ad)와 터빈 1단 어드미턴스 상호간에 약한 교호작용이 있음을 보여주고 있다.

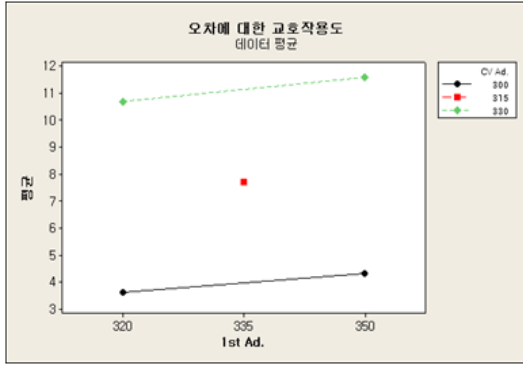


그림 9 오차에 대한 교호작용도
Fig. 9 Interaction of error

그림 10은 오차에 대한 회귀분석으로서 CV Ad. 및 1st Ad.의 P값이 모두 유의차가 있다는 것으로 나타났으나 오차의 회귀방정식을 살펴보면 CV Ad.가 1st Ad.의 8.9배로 지배적이므로 CV Ad.를 최종 CTQ로 결정하였다.

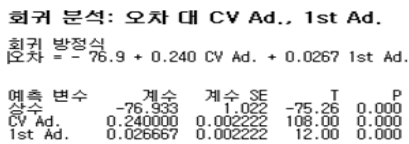


그림 10 회귀 분석
Fig. 10 Regression analysis

6. 모델 조정 후 공정 능력

시뮬레이터를 운전 가능한 상태로 리셋하고 주증기 조건과 복수기 조건을 각각 69.7bar, 286℃ 및 0.05bar 및 32.5℃로 입력한 후 MSV와 ISV 및 IV의 개도를 100%로 설정하고 CV1,2,3의 개도는 97% CV4의 개도는 25%로 설정하여 전부하 상태로 설정한 후 실행한다.

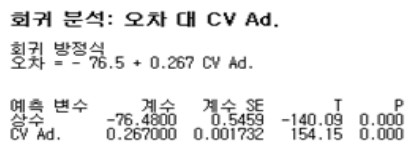


그림 11 CV Ad.의 회귀 분석
Fig. 11 Regression analysis of CV Ad

또, 오차에 대한 분석 결과 CV Ad가 가장 중요한 인자로 분석됨에 따라 CV Ad에 대하여 회귀분석한 결과는 그림 11과 같다. 그림 11의 회귀 방정식에서 오차가 최소로 되는 CV Ad를 구하면 286.5로 된다. 이 값을 시뮬레이터 모델에 입력하고 실행하면 발전기 출력은 1006.6MW로 된다. 즉, 정격 운전에서 오차는 0.66%이다. CV Ad가 286.5로 결정되었으므로 이것을 모델에 설정하고 부하대별로 모델의 데이터를 측정하여 오차를 연산하면 표 4와 같다.

표 4 모델 조정 후 데이터 취득표

Table 4 Data table after model adjustment

밸브개도(%)		발전기 출력(MW)		
CV1-3	CV4	운전 데이터	모델 데이터	오차(%)
32	0	810	774	3.6
33	0	820	788	3.2
34	0	830	801	2.9
35	0	840	815	2.5
36	0	850	828	2.2
37	0	860	841	1.9
40	0	870	853	1.7
41	0	880	857	2.3
47	0	890	865	2.5
53	0	900	880	2
57	2	910	891	1.9
63	5	920	908	1.2
67	6	930	915	1.5
71	8	940	926	1.4
77	10	950	938	1.2
80	13	960	953	0.7
86	15	970	968	0.2
90	17	980	981	0.1
96	19	990	998	0.8
99	20	1000	1006	0.6

표 4의 오차에 대하여 통계적 기법을 이용하여 분석한 공정능력은 그림 12에 나타내었다. 그림 12는 개선 목표를 각각 평균오차는 3%로 공정능력은 1.0으로 설정하여 공정능력을 분석한 그래프이다. 공정능력은 1.32로 개선되었으며 평균 오차도 1.72%로 개선되었다.

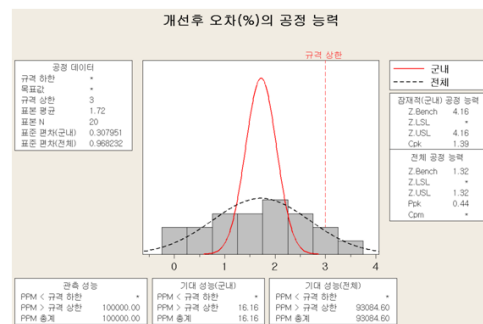


그림 12 모델 조정 후 공정 능력분석
Fig. 12 Process capability after adjustment

7. 6시그마 적용 유무에 따른 실험결과 비교

6시그마 적용 유무에 따른 실험결과 비교하면 다음과 같다. 그림 13은 6시그마를 적용하기 전과 후의 평균과 표준편차를 나타내는 히스토그램이다. 적용하기 전, 즉 개선 전의 오차의 평균과 표준편차는 각각 6.35%와 1.49%였으나 적용한 후, 즉 개선 후에는 1.72%와 0.967%로 개선되었음을 알 수 있다. 즉 오차의 평균은 6.35%에서 1.72%로 크게 개선되었고 표준편차도 1.49%에서 0.967%로 개선되었다. 즉

산포가 크게 개선되었음을 알 수 있다. 또, 공정능력도 -2.25에서 1.32로 개선되었다. 그런데 개선의 목표는 각각 평균오차는 3%로, 공정능력은 1.0으로 설정하였으므로 평균은 목표보다 1.28%, 공정능력은 3.57만큼 초과 달성하였음을 알 수 있다.

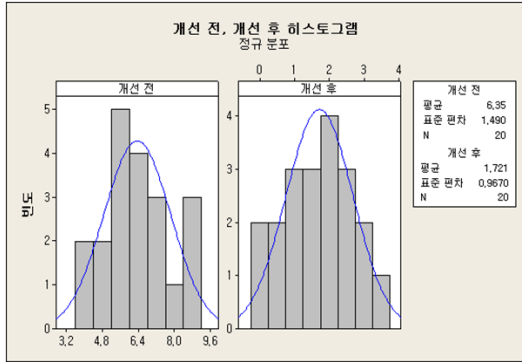


그림 13 조정 전, 후 히스토그램
Fig. 13 Histogram after and before adjustment

6시그마 기법을 적용하기 전과 후의 결과를 간단히 정리하면 표 5와 같다.

표 5 개선 내용 정리
Table 5 Contents of improvement

성능지표	적용 전	적용 후
공정능력	-2.25	1.32
표준편차	1.49	0.967
평균오차	6.35	1.72

8. 결 론

기존 시뮬레이터의 정밀도를 높이기 위하여 6σ 기법을 이용하여 모델 파라미터를 조정한 결과 만족한 결과를 얻었다. 새로운 모델을 이용하여 영광원자력 3호기의 제어 파라미터를 결정된 후 제어기를 현장에 실증 적용하여 성공적으로 운전되고 있다. 시뮬레이터의 정밀도가 향상되어 운전원의 운전능력이 향상되고 제어기 조정상 오류가 감소하여 제어기 교체 후 시운전 기간을 단축할 수 있었다. 이 논문에서는 주로 생산공장에서 적용되던 6시그마 기법이 원자력 터빈 시뮬레이터의 모델에도 적용될 수 있음을 보였다. 즉, 사용자 면담을 통하여 여러 가지 문제점을 파악한 후 핵심 요구사항을 선정하여 정량화한다. 정규성과 공정능력을 조사한 다음 시뮬레이터를 분석하고 발전기 출력 연산의 오차를 발생시키는 11개의 잠재인자를 선정할 가장 가능성이 높은 2개를 선정하여 다음 실험계획법과 회귀분석을 통하여 지배적인 인자를 결정한다. 이 지배적인 인자를 최적화하여 연산오차를 목표치 이내로 조정하였다. 이러한 방법은 더욱 더 복잡한 공정제어모델에도 적용 가능성이 판명되었다.

참 고 문 헌

- [1] 박용성 “6시그마 품질혁신”, 2004년 10월 중소기업청
- [2] 최인규, 정창기 “680MW 원자력발전소 증기터빈 발전기의 부하차단 모의시험”, 2007년도 대한전기학회 학술대회논문집, Vol.56, pp.1605~1606
- [3] 최인규, 김종안, 박두용, 우주희, 신재호 “터빈 밸브시험 중 중동실 압력제어에 의한 발전기 출력변동 최소화” 대한전기학회 논문집 Vol. 59, No. 1, 2010년 1월
- [4] “원자력계통기초Ⅱ(표준형)” 한국수력원자력 원자력교육원, 2008년, pp.113~114

저 자 소 개



최 인 규 (崔 仁 圭)

1967년 1월 26일생. 1993년 전북대 전기공학과 졸업. 2004년 충남대 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전전력연구원 책임연구원.
Tel : 010-6423-5781
E-mail : choiik@kepco.co.kr



김 종 안 (金 鍾 安)

1957년 10월 3일생. 1985년 원광대학교 전자공학과 졸업. 현재 한전전력연구원 책임연구원.
Tel : 019-471-5571
E-mail : jakim@kepco.co.kr



박 두 용 (朴 斗 用)

1956년 3월 25일생. 1991년 한밭대 전기공학과 졸업. 현재 한전전력연구원 책임연구원.
Tel : 010-8844-9418
E-mail : papiyon@kepco.co.kr



우 주 희 (禹 周 希)

1970년 2월 24일생. 1993년 경북대 전자공학과 졸업. 1995년 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 한전전력연구원 선임연구원
Tel : 010-3505-5319
E-mail : jhwoo@kepco.co.kr



신 만 수 (申 滿 秀)

1970년 5월 10일생. 1996년 한양대 전기공학과 졸업. 2009년 충남대 박사과정 수료. 1995년~현재 한전 전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5648
E-mail : fullstone@kepco.co.kr