

सायकल टेम्पो, तगुचि एवं एनोवा का उपयोग कर एक अतिक्रांतिक तापीय शक्ति संयंत्र का ऊष्मागतिकीय निदर्शन एवं इष्टतमीकरण

Thermodynamic Modeling and Optimization of a Supercritical Coal Fired Thermal Power Plant using Cycle Tempo, Taguchi and ANOVA

डॉ. एस. एस. एल. पटेल¹, पी. पटेल²

Dr. S. S. L. Patel¹, P. Patel²

¹Principal, Govt. Polytechnic Korba, Chhattisgarh, India

²M. Tech Scholar, Mechanical Engineering, I. I. T. Kharagpur, West Bengal, India

¹sslpatel@gmail.com; ²poojyapreetpatel3@gmail.com

<https://doie.org/10.0121/VP.2025350579>

सारांश

इस शोध पत्र में, 660 MW के कोयला दाहित अतिक्रांतिक तापीय शक्ति संयंत्र का 'सायकल टेम्पो 5' द्वारा विकसित ऊष्मागतिकीय निदर्श के माध्यम से विभिन्न प्रचालन परिस्थितियों में एक्सर्जी दक्षता की जाँच की गई है। अधिकतम एक्सर्जी दक्षता प्राप्त करने हेतु इष्टतम प्रचालन परिस्थिति ज्ञात करने के लिए तीन प्रमुख प्रचालन कारकों (संघनित्र दाब, मुख्य भाप तापमान एवं पुनस्तापन तापमान) का इष्टतम मान तगुचि (Taguchi) अभिकल्पन विधि का उपयोग करके ज्ञात किया गया। तीन चयनित कारकों के प्रत्येक के तीन स्तरों/मानों के साथ प्रचालन अवस्थाओं की योजना L₉ आर्थोगोनल श्रृंखला समूह (Orthogonal array) के रूप में की गई। एक-एक प्राचल के प्रभावों की अलग-अलग जाँच सिग्नल-टू-नॉइस अनुपात (Signal-to-noise S/N ratio) विश्लेषण एवं एनालिसिस ऑफ वेरिएन्स (ANOVA) के द्वारा की गई। अध्ययन के निष्कर्ष ये दर्शाते हैं कि कुल प्रभाव में 83.43% की अंशदान (Contribution) के साथ संघनित्र दाब संयंत्र की एक्सर्जी दक्षता पर सर्वाधिक प्रभावकारी प्राचल है एवं इसके बाद 12.99% की सहभागिता के साथ मुख्य भाप के तापमान का स्थान आता है। अंत में विश्लेषण के विधिमान्यता की जाँच की गई एवं परिणाम सत्यापित किया गया।

Abstract

In this paper the exergy efficiency of a 660MW coal fired supercritical thermal power plant under various operating conditions have been investigated through a thermodynamic model of the plant developed by using Cycle Tempo 5. Operating condition for maximization of exergy efficiency is optimised through the application of Taguchi design method by using three factors namely condenser pressure, main steam temperature and reheat temperature. The operating conditions are planned with three levels of each of selected three factors as the orthogonal array of L₉. The effects of individual parameters are investigated by signal-to-noise (S/N) ratio analysis and analysis of variance (ANOVA). Findings of the study reveals that condenser pressure is the most dominating parameter on plant exergy efficiency with a contribution of 83.43% followed by main steam temperature with 12.99%. As the analysis says that, the parameter with highest F- value will have maximum impact on response variable, the same has been checked by confirmation test. Thus, the result of analysis is checked and validated.

मुख्य शब्द : एनालिसिस ऑफ वेरिएन्स (ANOVA), इष्टतमीकरण, आर्थोगोनल श्रृंखला समूह, सिग्नल-टू-नॉइस (S/N) अनुपात, तगुचि, ऊष्मागतिकीय निदर्श.

Keywords: Analysis of Variance (ANOVA), optimization, orthogonal array, signal-to-noise (S/N) ratio, Taguchi, thermodynamic model.

परिचय

रविन्द्र कुमार एवं अन्य [1] ने एक प्राचलिक (Parametric) अध्ययन में अवक्रांतिक (Subcritical), अतिक्रांतिक (Supercritical) एवं परा-अतिक्रांतिक (Ultra-supercritical) कोयला दाहित शक्ति संयंत्रों में भाप तापमान को 600°C, पुनस्तापन तापमान को 537°C एवं संघनित्र दाब को 0.09 bar पर स्थिर रखकर भाप निष्कर्षण दाबों का इष्टतम मान ज्ञात करने हेतु सायकल टेम्पो 5 अनुरूपण सॉफ्टवेयर का उपयोग कर संयंत्र को अनुरूपित किया। उन्होंने एक पुनस्तापक के साथ आठ चरणों वाली भरण जल तापन व्यवस्था पर विचार करते हुए अवक्रांतिक, अतिक्रांतिक एवं परा-अतिक्रांतिक शक्ति संयंत्र के चक्रों की तापीय दक्षता क्रमशः 40.40%, 42.48%, और 43.03% प्राप्त की।

रविन्द्र कुमार एवं अन्य [2] ने एक अध्ययन में 250 MW के एक अवक्रांतिक, पुनस्तापक, पुनर्जनक युक्त कोयला दाहित तापीय शक्ति संयंत्र को विभिन्न भारों पर अनुरूपित किया। निदर्शन में मुख्य रूप से द्रव्यमान एवं ऊर्जा संतुलन समीकरणों का उपयोग किया गया। संयंत्र से संग्रहित आवश्यक आंकड़ों का उपयोग उसके विश्लेषण में किया गया। भाप जनित्र, टरबाइन, पम्प, संघनित्र एवं भरण जल तापकों को एकीकृत कर तैयार अनुरूपित निदर्श को मैटलैब (MATLAB) गणना सॉफ्टवेयर के द्वारा सफलतापूर्वक चलाया गया। 250 MW क्षमता वाली संयंत्र के लिए भार की विभिन्न अवस्थाओं में उसके वास्तविक प्रचालन की स्थिति में सकल संयंत्र दक्षता, कोयला खपत दर एवं भाप प्रवाह दर के मानों की तुलना निदर्श के संचालन से प्राप्त संगत मानों से करके अनुरूपित निदर्श का विधिमान्यकरण किया गया। अनुरूपित निदर्श से प्राप्त परिणाम संतोषप्रद थे।

एक शोध कार्य जिसका मुख्य उद्देश्य विद्यमान अवक्रांतिक शक्ति संयंत्र की दक्षता में वृद्धि करना था, चन्द्रशेखरन एवं अन्य [3] ने बॉयलर की इकाइयाँ जैसे मिटोपयोजित्र, ड्रम एवं अतितापक का सांख्यिकीय निदर्श तैयार किया। विकसित निदर्श की प्रभावशीलता को R^2 एवं ANOVA विश्लेषण विधियों के द्वारा जाँचा गया। उन्होंने परिवर्तनशील प्रक्रम प्राचल (तापमान) का निदर्श के विभिन्न परिवर्तनशील चरों पर निर्भरता का विश्लेषण किया। निदर्श का विधिमान्यकरण त्रुटि विश्लेषण के द्वारा तथा प्रक्रम प्राचलों का इष्टतमीकरण डिजाइन ऑफ़ एक्सपेरिमेंट्स (Design of Experiments) के साथ रिस्पांस सरफेस मेथोडोलॉजी (Response Surface Methodology, RSM) के द्वारा किया गया। अलग-अलग निदर्शों तथा एकीकृत निदर्श का उपयोग करके कोयला दाहित तापीय शक्ति संयंत्र के भाविष्यिक नियंत्रण (Predictive control) का अध्ययन एवं अभिकल्पन किया गया।

डु जेंघुई [4] ने एक शोध में बॉयलर तापीय निकाय के पूर्व के प्रचालन आंकड़ों का उपयोग करके उच्च-सटीकता वाला मात्रात्मक निदर्श स्थापित किया। इस विधि से वास्तविक निकाय के निदर्शन में आने वाली अनेक कठिनाइयों से बचा जा सका तथा विधि से तापीय शक्ति संयंत्र में तापीय स्वचालन नियंत्रण निकाय के अभिकल्पन और इष्टतमीकरण के लिए मजबूत संदर्भ प्राप्त होता है।

तापीय शक्ति संयंत्रों के निष्पादन के इष्टतमीकरण के लिए तगुचि एवं एनोवा विधियों का उपयोग करने वाले प्रमुख शोध कार्यों का संक्षिप्त विवरण लेखक ने अपने शोध पत्र [5] में दिया है। मित्रा एवं सरकार [6] ने तगुचि S/N अनुपात एवं ANOVA का उपयोग कर शक्ति संयंत्र की एक्सर्जी दक्षता पर वातावरणीय

तापमान, संघनित्र दाब एवं मुख्य भाप के तापमान के प्रभाव का अध्ययन किया। उन्होंने भाप तापमान को सबसे प्रभावशील कारक के रूप में पाया तथा इसके बाद वातावरणीय तापमान था। बेसाल एवं अन्य [7] तथा मित्रा एवं सरकार [8] ने पुनः तीन प्राचल वातावरणीय तापमान, संघनित्र दाब तथा भाप तापमान पर विचार करते हुए प्रत्येक के तीन स्तरों को लेकर प्रचालन अवस्थाओं की योजना बनाई और प्रत्येक अवस्था हेतु तापीय शक्ति संयंत्र की एक्सर्जी दक्षता की जाँच की। उन्होंने S/N अनुपात विश्लेषण एवं एनालिसिस ऑफ वेरिएन्स (ANOVA) तथा रिग्रेसन (Regression) विश्लेषण किया और एक-एक प्राचल के प्रभावों को ज्ञात किया। वातावरणीय तापमान सर्वाधिक प्रभावकारी प्राचल पाया गया। उन्होंने परिणामों की पुष्टि भी की तथा प्रचालन अवस्थाओं के इष्टतमतीकरण के लिए तगुचि अभिकल्पन को एक सफल विधि के रूप में पाया। जामिल एवं अन्य [9] ने लागत फलन (Cost function) में सम्मिलित प्राचलों का इष्टतम स्तर प्राप्त करने हेतु तगुचि विधि का उपयोग किया था। कई स्रोतों से विद्युत उत्पादन के लिए उपकरण क्षमताओं के इष्टतम आवंटन हेतु तगुचि विधि का उपयोग वांग एवं अन्य [10] ने किया।

मेथोडोलॉजी

इस शोध कार्य के विभिन्न चरण निम्नानुसार हैं -

- (i) **संयंत्र का ऊष्मागतिकीय निदर्शन एवं अनुरूपण** - सायकल टेम्पो 5.0 अनुरूपण सॉफ्टवेयर का उपयोग कर संयंत्र का ऊष्मागतिकीय निदर्श तैयार करने तथा अनुरूपण की विधि का वर्णन (लेखक) के शोध पत्र [5, 11] में किया गया है।
- (ii) **तगुचि विधि का अनुप्रयोग** - प्रायोगिक अभिकल्पन की तगुचि विधि का विकास प्रोफेसर जी. तगुचि द्वारा किया गया था। यह सांख्यिकीय विधि सरल एवं दक्ष है तथा प्रक्रम प्राचलों के प्रायोगिक अभिकल्पन

इष्टतमीकरण के लिए एक सुव्यवस्थित प्रक्रिया बतलाती है। अभियांत्रिकीय विश्लेषण में निकाय के प्राचलों के अभिकल्पन के लिए तगुचि विधि एक शक्तिशाली माध्यम उपलब्ध कराती है। तगुचि विधि में निम्न चरण होते हैं। [12-15]:

- (i) **प्रतिसाद चर (Response Variable)** या उद्देश्य (Objective) या आउटपुट गुणवत्ता अभिलक्षण (Output quality characteristics) जिसका इष्टतमीकरण किया जाना हो, को चिन्हित/चयनित करना। वर्तमान अध्ययन में यह संयंत्र एक्सर्जी दक्षता है।
- (ii) **नियंत्रण कारकों (Control factors)** या प्रक्रम प्राचलों (Process parameters) (वर्तमान अध्ययन में, संघनित्र दाब, मुख्य भाप तापमान एवं पुनस्तापन तापमान) की पहचान करना जो कि प्रतिसाद चर या उद्देश्य को प्रभावित कर सकते हों।
- (iii) **नियंत्रण कारकों के स्तरों तथा उनकी संभावित इन्टरएक्शन (Interactions) का निर्धारण करना**
- (iv) **आर्थोगोनल श्रृंखला समूह (OA) का चुनाव करना तथा OA के ट्रायलों (Trails) में वर्णन अनुसार परीक्षण संचालित करना।**
- (v) **सिग्नल-टू-नाइस (S/N) अनुपात एवं एनालिसिस ऑफ वेरिएन्स (ANOVA) विधियों का उपयोग कर प्रयोगों के परिणामों का विश्लेषण करना।**
- (vi) **इष्टतम अभिकल्पन प्राचलों का समूह ज्ञात करना।**
- (vii) **परिणाम अर्थात् इष्टतम अभिकल्पन प्राचलों का सत्यापन करना।**

विश्लेषण में उपयोग किए गए नियंत्रण कारकों को उनके स्तरों के साथ सारणी 1 में तथा L₉ आर्थोगोनल श्रृंखला समूह का उपयोग कर प्रचालन कारकों के लिए तैयार किए गए अभिकल्पन विन्यास (Design layout) को सारणी 2 में बतलाया गया है।

सारणी 1 : प्रचालन कारकों को स्तर का आवंटन

Symbol	Parameters	Levels		
		1	2	3
CP	Condenser Pressure (bar)	0.08	0.10	0.12
MST	Main Steam Temperature (°C)	517	537	557
RHT	Reheat Temperature (°C)	545	565	585

सारणी 2 : L_9 आर्थोगोनल श्रृंखला समूह के लिए नियंत्रण कारकों का प्रयोगिक सेट-अप

Trial No.	MSP	CP	RHT
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

- (iii) सिग्नल-टू-नॉइस (S/N) अनुपात विश्लेषण - सिग्नल-टू-नॉइस अर्थात् S/N वांछित आउटपुट का लॉग फलन (Log Functions) होते हैं तथा गुणवत्ता अभिलक्षण में उपस्थित विचरण/विविधता (Variation) को दर्शाते हैं। प्रायः उपयोग किए जाने वाले अन्य मानक विधियों के विपरीत, तगुचि विधि में परीक्षण परिणामों के मानक विचलन तथा माध्य दोनों पर विचार कर इष्टतम अवस्था ज्ञात की जाती है। S/N अनुपात सामान्यतः तीन स्वरूपों में होते हैं दी-लोवर-द-बेटर (Lower-the-better, LB) दी हाइअर-द-बेटर (Higher-the-better, HB) एवं दी नॉमिनल-द-बेटर (Nominal-the-better, NB). चूँकि शक्ति संयंत्र में इष्टतम प्रचालन अवस्था में अधिकतम एक्सर्जी दक्षता वांछनीय होती है, इसलिए वर्तमान अध्ययन में एक्सर्जी दक्षता की HB गुणवत्ता अभिलक्षण का चयन किया जाता है। इसका आशय यह है कि प्रक्रम प्राचल का इष्टतम स्तर वह होता है जिस पर S/N अनुपात अधिकतम होता है [12, 13]. HB गुणवत्ता अभिलक्षणों को निम्नानुसार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\eta\left(\frac{S}{N}\right) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \times \frac{1}{y_i^2} \right)$$

जहाँ $\eta(S/N)$ हाइअर-द-बेटर अवस्था के लिए S/N अनुपात एवं y_i तगुचि प्रयोग में अभिकल्पित प्राचलों के विभिन्न समूहों के साथ सायकल टेम्पो अनुरूपण निदर्श द्वारा ज्ञात की गई वास्तविक एक्सर्जी दक्षता (η_{II}) को दर्शाता है तथा n परीक्षण (Trial) में दोहराव (Repetitions) की संख्या है [12, 13]. एक्सर्जी दक्षताओं [16] के गणना परिणाम तथा संगत S/N अनुपातों को सारणी 3 में दिखाया गया है।

सारणी 3: शक्ति संयंत्र में विभिन्न प्रचालन अवस्थाओं के लिए एक्सर्जी परिणाम एवं S/N अनुपात

Trial	CP	MST	RHT	η_{II} (%)	S/N ratio(dB)
1	0.08	517	545	40.087	32.06007
2	0.08	537	565	40.551	32.16003
3	0.08	557	585	40.987	32.25292
4	0.10	517	565	39.454	31.92182
5	0.10	537	585	39.915	32.02272
6	0.10	557	545	39.895	32.01837
7	0.12	517	585	38.911	31.80145
8	0.12	537	545	38.904	31.79989
9	0.12	557	565	39.336	31.89580

(iv) एनालिसिस ऑफ वेरिएबल्स (ANOVA) [5] - तगुचि विधि अपने आप में एक-एक प्राचल का सम्पूर्ण निकाय पर प्रभाव ज्ञात नहीं कर सकता, परंतु एनोवा (ANOVA) के द्वारा यह संभव है। एनोवा एक सांख्यिकीय विधि है [17] जिसका उपयोग प्रतिसादी चर (Response variable) या उद्देश्य (Objective) पर विभिन्न नियंत्रण कारकों के प्रभाव की सीमा ज्ञात करने के लिए किया जाता है। एनोवा का अनुप्रयोग यह परीक्षण करने में किया जाता है कि गुणवत्ता अभिलक्षण को कौन से अभिकल्पन प्राचल पर्याप्त रूप से प्रभावित करते हैं [12, 13]. यह विश्लेषण 5% विश्वसनीयता स्तर (Confidence level) पर किया जाता है।

ANOVA गणना के लिए MINITAB सॉफ्टवेयर का उपयोग किया गया है और परिणामों को सारणी 4 में दर्शाया गया है। परिणामों से स्पष्ट है कि संघनित्र दाब सर्वाधिक प्रभावकारी प्राचल है जिसका प्रभाव डालने में प्रतिशत योगदान 83.43% है एवं इसके पश्चात् 12.99% के साथ मुख्य भाप तापमान की बारी आती है।

सारणी 4: एक्सर्जी दक्षता के लिए ANOVA के परिणाम

Source	DoF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% contribution
CP	2	3.33953	1.66976	54252.9	0.000	83.43%
MST	2	0.52006	0.26003	8448.71	0.000	12.99%
RHT	2	0.14324	0.07162	2326.96	0.000	3.58%
Error	2	0.00006	0.00003			0.00%
Total	8	4.00289				

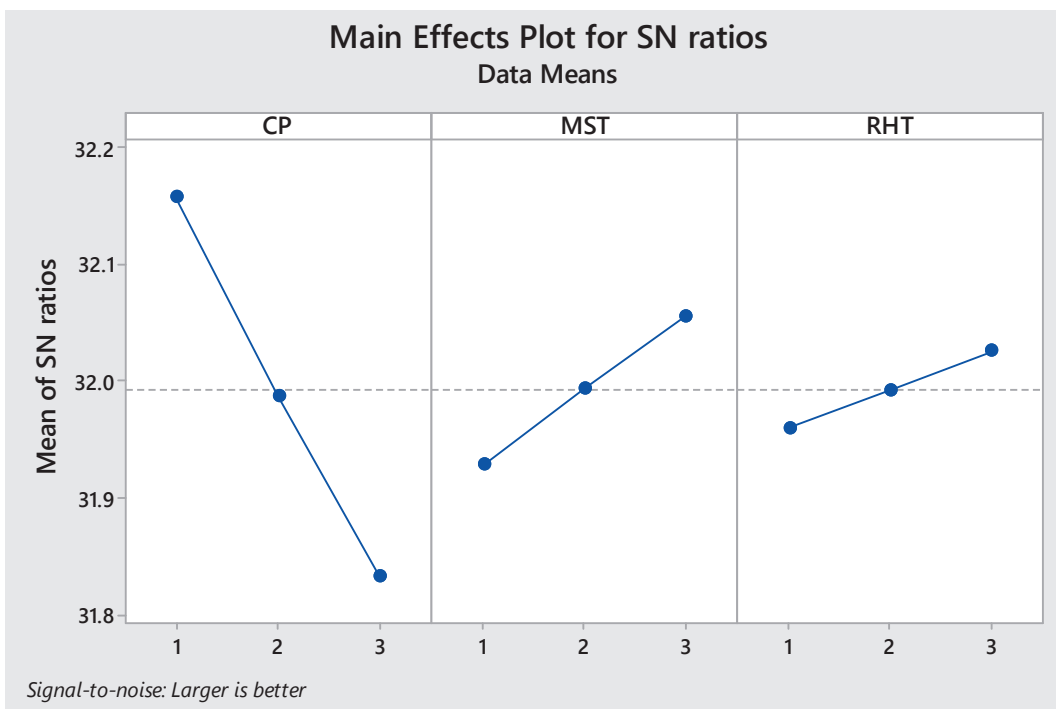
(v) कारकों का इष्टतम स्तर ज्ञात करना [5] - CP, MST एवं RHT के लिए माध्य प्रतिसाद (रिस्पांस) एवं माध्य S/N अनुपात चित्र 1 में दिखाए अनुसार हैं। प्राचल स्तरों के संगत इष्टतम अवस्थाओं को चित्र 1 में शीर्ष बिन्दुओं के रूप में दर्शाया गया है। S/N अनुपात पर आधारित मानों को सारणी 5 में दिया गया है। इसके अतिरिक्त, सारणी 6 में दर्शाए अनुसार एक्सर्जी दक्षता के लिए उच्चतम प्रतिसाद एवं उच्चतम S/N अनुपात हेतु प्राचलों का संयोजित इष्टतम स्तर A1B3C3 के रूप में ज्ञात किया गया। दूसरे शब्दों में, शक्ति संयंत्र में सर्वश्रेष्ठ एक्सर्जी दक्षताओं तथा निकाय निष्पादन हेतु इष्टतम प्रचालन

अवस्थाएँ हैं : संघनित्र दाब स्तर 1 पर, मुख्य भाप तापमान स्तर 3 पर एवं पुनस्तापन भाप तापमान स्तर 3 पर होना चाहिए।

- (vi) **पुष्टिकारक परीक्षण [5]** - प्रक्रम प्राचलों का इष्टतम स्तर निर्धारित करने के पश्चात् इनका उपयोग कर निष्पादन में सुधार को प्रतिसादी चर (Response variable) के पदों में भविष्यवाणी करना और इसकी पुष्टि करना प्रक्रिया का अंतिम चरण है। भविष्यवाणी की जाने वाली S/N अनुपात की गणना [18] में बतलाई विधि से की जा सकती है।

$$\eta_{\text{predicted}} = \eta_m + \sum_{i=1}^o (\eta_i - \eta_m)$$

जहाँ η_m , S/N अनुपात का कुल माध्य, η_i , इष्टतम स्तर पर माध्य S/N अनुपात, o , विचाराधीन प्राचलों की संख्या हैं। S/N अनुपात में सुधार को सारणी 6 में बतलाया गया है।



चित्र 1: माध्य S/N अनुपात विरुद्ध प्रक्रम प्राचल

सारणी 5 : माध्य S/N अनुपात के लिए प्रतिसाद सारणी

Level	CP	MST	RHT	Overall Mean S/N Ratio
1	32.16	31.93	31.96	31.9933
2	31.99	31.99	31.99	
3	31.83	32.06	32.03	
Delta	0.33	0.13	0.07	
Rank	1	2	3	

सारणी 6 : एक्सर्जी दक्षता के लिए पुष्टिकारक परीक्षण का परिणाम

Levels	Starting process parameters	Optimal process parameters	
		Prediction	Actual
	A2B2C3	A1B3C3	A1B3C3
Exergy efficiency, %	39.915	41.036	40.987
S/N ratio	32.02272	32.2634	32.2529
Improvement of S/N ratio		0.2302	
Prediction error		0.010	

(vii) सम्पूर्ण विश्लेषण के विधिमान्यता की जाँच करना [5] -

(i) सारणी 6 से स्पष्ट है कि प्रतिसादी चर अर्थात् एक्सर्जी दक्षता पर उच्च F- मान का (प्रतिशत हिस्सेदारी के पदों में) सर्वाधिक प्रभाव होता है। इस तरह विश्लेषण और नियंत्रण कारकों का प्रभाव में हिस्सेदारी की पुष्टि परीक्षण के द्वारा होती है।

(ii) 'परिकल्पना' परीक्षण:

शून्य परिकल्पना (Null Hypothesis, H_0) - प्रतिसादी कारक पर प्रभाव के संदर्भ में नियंत्रण कारक अधिक औचित्यपूर्ण महत्वपूर्ण नहीं हैं।

वैकल्पिक परिकल्पना (Alternate Hypothesis, H_A) - प्रतिसादी कारक पर प्रभाव के संदर्भ में नियंत्रण कारक औचित्यपूर्ण/महत्वपूर्ण हैं।

नल परिकल्पना को स्वीकृत अथवा अस्वीकृत करने के लिए निर्णय करने हेतु संबंधित नियम हैं:

विश्वसनीयता के α स्तर पर, H_0 को अस्वीकृत करें यदि $P > \alpha$ एवं अस्वीकृत ना करें यदि $P < \alpha$.

जहाँ 95% विश्वसनीयता स्तर के लिए, $\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$

वर्तमान कार्य में, सारणी 4 से यह देखा गया कि सभी तीनों प्राचलों का P-मान 0.05 से कम है अर्थात् एक्सर्जी दक्षता के संबंध में ये कारक

बहुत ही औचित्यपूर्ण/प्रभावशील हैं परंतु इनके प्रभावों की सीमा अलग-अलग है।

संभावित अनुप्रयोग

अधिकांश आधुनिक कोयला दाहित शक्ति संयंत्रों की प्रकृति अतिक्रांतिक प्रकार की है। इससे स्पष्ट है कि इस शोध कार्य में प्रयोग की गई विधि का अनुप्रयोग ऐसे सभी आधुनिक शक्ति संयंत्रों में किया जा सकता है। अध्ययन के परिणामों के अनुसार प्रभावकारी प्रचालन कारकों को उनके महत्व के क्रम के अनुरूप वरीयता प्रदान करते हुए और उनके मानों के नियंत्रण को प्राथमिकता देते हुए संयंत्रों की दक्षता में वृद्धि की जा सकती है।

निष्कर्ष एवं भविष्य के शोध निर्देश

वर्तमान शोध अध्ययन में :

- प्रतिसादी कारक (यहाँ पर एक्सर्जी दक्षता) पर एक अतिक्रांतिक तापीय शक्ति संयंत्र के नियंत्रण कारकों के अलग-अलग प्रभाव का अध्ययन तगुचि, S/N अनुपात एवं ANOVA का उपयोग करके किया गया। संयंत्र एक्सर्जी दक्षता पर 83.43% की प्रतिशत हिस्सेदारी के साथ संघनित्र दाब सर्वाधिक प्रभावकारी कारक है और इसके बाद 12.99% हिस्सेदारी के साथ मुख्य भाप तापमान का क्रम आता है।
- तापीय शक्ति संयंत्र के सबसे अच्छे एक्सर्जी दक्षता के लिए नियंत्रण चरों के स्तरों के संदर्भ में इष्टतम प्रचालन अवस्थाओं को चिन्हित किया

गया। उदाहरण के लिए, वर्तमान विश्लेषण में संघनित्र दाब स्तर 1 पर, मुख्य भाप तापमान स्तर 3 पर एवं पुनर्तापित भाप तापमान स्तर 3 पर पाया गया।

ANOVA गणनाएँ 95% विश्वसनीयता स्तर के साथ की गई तथा पुष्टिकारक परीक्षण द्वारा चयनित प्रक्रम प्राचलों के इष्टतम स्तर का सत्यापन किया गया और अंततः सम्पूर्ण विश्लेषण एवं परिणामों की विधिमान्यता का सत्यापन F-सांख्यिकीय मान तथा परिकल्पना परीक्षण के द्वारा किया गया।

भविष्य के शोध निर्देश – वर्तमान शोध अध्ययन में संयंत्र की एक्सर्जी दक्षता पर केवल तीन प्रचालन कारकों के प्रभावों की सीमा का आकलन किया गया है। अतः अन्य वातावरणीय एवं प्रचालन कारकों के प्रभावों का अध्ययन भविष्य के शोध कार्यों में किया जा सकता है।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी तकनीकी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिन्दी शब्दावली
Cycle Tempo	सायकल टेम्पो
Efficiency	दक्षता
Exergy	एक्सर्जी
Modeling	निदर्शन
MW	मेगावाट
Optimum	इष्टतम
Parameters	प्राचल
Regeneration	पुनर्जनन
Reheating	पुनस्तापन
Simulation	अनुरूपण
Supercritical	अतिक्रांतिक
Validation	विधिमान्यकरण

संदर्भ

1. Ravindra Kumar, P. Raju, V. Ramachandra, N. Ravi Kumar, "Simulation and parametric optimisation of thermal power plant cycles", Science Direct, Perspectives in Science, 2016, 8, pp. 304-306.
2. Ravinder Kumar, R. Jilte, M. H. Ahmadi and R. Kaushal, "A simulation model for thermal performance prediction of a coal-fired power plant", International Journal of Low-Carbon Technologies, 2019, 14, pp. 122–134.
3. S. Chandrasekharan, R. C. Panda, B. N. Swaminathan, "Statistical modeling of an integrated boiler for coal fired thermal power plant", Heliyon, Elsevier, 2018, pp. 1-15.
4. Du Zenghui, "Design and study of water supply system for supercritical unit boiler in thermal power station", AIP Conference Proceedings, 2018, pp.1-5.
5. S. S. L. Patel, A. K. Shukla and G. K. Agrawal, "Thermodynamic Modeling and Optimization of a Coal Fired Thermal Power Plant using Cycle Tempo, Taguchi and ANOVA", International Journal of Basic and Applied Research, 2019, 9(3), pp. 152-161.
6. S. Mitra and S. Sarkar, "Exergy Efficiency and Application of Taguchi and ANOVA Methodology for a Thermal Power Plant", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2015, 5(5), pp. 424- 430.
7. E. Baysal, A. K. Bilginsoy and A. Acir, "Parametric optimization on exergy analysis of a thermal power plant using Taguchi design method", Energy Education Science and Technology, PartA: Energy Science and Research, 2012, 29(2), pp. 1313-1326.
8. S. Mitra and S. Sarkar, "Application of Exergy and Taguchi Methodology for a Power Plant under Varying Operating Conditions", International Journal of Engineering Research and Applications, 2015, 5(6)(Part -1), pp. 25-31.

9. M. Jamil, V. Popov, S. Ahmed, and Z. A. Khan, "Management of electricity generation using the Taguchi approach", Energy and Sustainability WIT Transactions on Ecology and the Environment, WIT Press, 2007, 105, pp. 13-23.
10. Wang Meng-Hui, Huang Mei-Ling, Zhan Zi-Yi and Huang Chong-Jie, "Application of the Extension Taguchi Method to Optimal Capability Planning of a Stand-alone Power System", Energies. 2016, 9(174), pp. 1-17.
11. S. S. L. Patel and P. Patel, "Simulation and Investigation of Performance of a Coal Fired Thermal Power Plant with Additional Feed Water Heaters", Vigyan Prakash. Jan-March 2022, Vol.20 No.1, pp. 19-28.
12. G. Taguchi, E. A. El Sayed, T. Hsiang, "Quality Engineering in Production Systems", McGraw-Hill. New York, ISBN: 0070628300, 1989.
13. P. J. Ross, "Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design", 2nd ed., Mc Graw-Hill, New York, ISBN: 0- 07-053866-2, 1996.
14. S. Shaji and V. Radhakrishnan, "Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the Taguchi method", J Mater Process Technology. 2003, pp. 51-59.
15. J. Z. Zhang, J. C. Chen, E. D. Kirby, "Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method", J Mater Process Technology, 2007, 184, pp. 233-239.
16. Cycle-Tempo release 5.0. Delft University of Technology, www.cycle-tempo.nl. 2006.
17. C. R. Kothari, "Research Methodology: Methods and Techniques", 3rd edition, New Age International Pvt. Ltd. Publishers, 2014.
18. W. H. Yang and Y. S. Tang, "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", Journal of Materials Processing Technology, 1988, pp. 122-129.