शोध पत्र / Research Paper

अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ कोयला दाहित तापीय शक्ति संयंत्र का अनुरूपण एवं निष्पादन की जाँच करना

Simulation and Investigation of Performance of a Coal Fired Thermal Power Plant with Additional Feed Water Heaters

डॉ. एस. एस. एल. पटेल[1], पी. पटेल[2]
Dr. S. S. L. Patel[1], P. Patel[2]
[1]H.O.D. (Mechanical Engineering), Govt. Polytechnic Korba, Chhattisgarh, India
[2]M. Tech Scholar, Mechanical Engineering, I. I. T. Kharagpur, West Bengal, India
[1]sslpatel@gmail.com, [2]poojyapreetpatel3@gmail.com

सारांश

मूल चक्र के साथ भरण जल तापक (Feed Water Heater) लगाना तापीय शक्ति संयंत्रों की दक्षता बढ़ाने के लिए सुझाई गई विधियों में से एक है। इसी के अनुसार, वर्तमान में संचालित हो रहे 250 MW के एक कोयला दाहित तापीय शक्ति संयंत्र जिसमें दो उच्च दाब भरण जल तापक (HPH) एवं तीन निम्न दाब भरण जल तापक (LPH) तथा एक विवातित्र (Deaerator) लगे हैं, में विभिन्न स्थानों जैसे अंतिम निम्न दाब भरण जल तापक (LPH3) के पश्चात्, अंतिम उच्च दाब भरण जल तापक (HPH6) के पश्चात् एवं विवातित्र के पूर्व अतिरिक्त (Additional) भरण जल तापक लगाकर संयंत्र की दक्षता में सुधार की संभावनाओं को पता लगाने का प्रयास किया गया है। संयंत्र में अतिरिक्त एक, दो एवं तीन भरण जल तापकों के प्रभावों का अध्ययन सायकल टेम्पो (Cycle Tempo) सॉफ्टवेयर जो कि शक्ति संयंत्रों के निष्पादन के विश्लेषण के लिए एक बहुत ही उपयोगी कम्प्यूटर फ्लो–शीट प्रोग्राम है, के द्वारा किया गया है।

प्रथम अतिरिक्त भरण जल तापक के साथ संयंत्र की दक्षता में अच्छी वृद्धि देखी गई, परन्तु पुनः प्रथम के साथ अतिरिक्त द्वितीय तथा प्रथम एवं द्वितीय के साथ अतिरिक्त तृतीय भरण जल तापक लगाने पर उक्त वृद्धि की दरों में कमी देखी गई। अतिरिक्त भरण जल तापक के साथ पुनस्तापन दाब अनुपात, बॉयलर दाब एवं टरबाइन प्रवेश तापमान में परिवर्तन के प्रभाव का भी अध्ययन किया गया। इष्टतम पुनस्तापन दाब अनुपात का मान, बॉयलर दाब के 0.16 से 0.2 गुना मानों के मध्य पाया गया। अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ बॉयलर दाब एवं मुख्य भाप तापमान (टरबाइन प्रवेश तापमान) में वृद्धि से भी संयंत्र की उर्जा दक्षता बढ़ती है। अध्ययन से यह स्पष्ट रूप से देखा गया कि विद्यमान संयंत्र में एक अतिरिक्त ऊच्च दाब भरण जल तापक (अर्थात् विवातित्र सहित कुल मिलाकर सात) लगाने पर महत्वपूर्ण सुधार हो सकता है। पुनः जब एक और अतिरिक्त भरण जल तापक लगाएं (कुल मिलाकर आठ) तो इससे भी कुछ लाभ हो सकता है, परन्तु तीसरे अतिरिक्त भरण जल तापक (कुल मिलाकर नौ) लगाने से संयंत्र की दक्षता में कोई गणनीय वृद्धि नहीं देखी गई।

Abstract

Addition of feed water heaters to the basic cycle of power plant is one of the suggested methods for improving the efficiency of thermal power plants. Accordingly, the possibility has been explored in this paper by adding the feed water heaters at different locations such as after the last high pressure feed water heater (HPH6), after the last low pressure feed water heater

(LPH3) and further before the deaerator in the existing 250MW coal fired thermal power plant presently equipped with two high pressure feed water heaters and three low pressure feed water heaters and a deaerator. Effects of additional one, two and three heaters have been studied by using 'Cycle Tempo' software, which is a very useful flow sheet computer program for analysis of performance of power plants.

Plant efficiency improves considerably when the first additional feed water heater is incorporated but the rate of increment diminishes with further incorporation of additional second along with first and additional third along with first and second feed water heaters. Effect of variation in reheat pressure ratio, boiler pressure and turbine inlet temperature over plant energy and exergy efficiency with added feed water heaters has also been studied. The optimum reheat pressure ratio is found to be 0.16 to 0.2 times of boiler pressure. The energy and exergy efficiency also increases with increase in boiler pressure and turbine inlet temperature. From the study it is clearly observed that a significant improvement is possible with the addition of one more high pressure feed water heater (i.e. overall seventh including deaerator) in the present arrangement. Further, addition of another feed water heater (i.e. overall eighth) also gives some advantage, but the inclusion of third additional feed water heater (i.e. overall ninth) does not shows any significant improvement.

मुख्य शब्द : शक्ति संयंत्र, दक्षता, भरण जल तापक, अनुरूपण (सिमुलेशन), पुनस्तापन दाब अनुपात.

Keywords: Power plant, Efficiency, Feed water heater, Simulation, Reheat pressure ratio.

1. प्रस्तावना

तापीय शक्ति संयंत्रों की दक्षता बढ़ाने की दिशा में अब तक अनेक प्रयास किए गए हैं जिनमें से कुछ प्रमुख हैं – बॉयलर का दाब बढ़ाना, संघनित्र दाब को कम करना, पुनस्तापन, पुनर्जनन आदि। इन विधियों में पुनर्जनन एक ऐसी विधि है जिसमें भरण जल को बॉयलर में भेजने के पूर्व बिना किसी बाह्य ऊष्मा स्रोत के उपयोग के संयंत्र में ही प्रवाहित हो रहे भाप के द्वारा गरम (पूर्वतापित) किया जाता है। भाप से ऊष्मा लेकर इसे जल को अंतरित करने वाली युक्ति को ही भरण जल तापक कहा जाता है। शक्ति संयंत्र में भरण जल तापक लगाने से उसकी दक्षता में सुधार का आधार उस माध्य तापमान में वृद्धि होना होता है जिस पर चक्र में ऊष्मा आपूर्ति की जाती है (1)। इस उद्देश्य को, मितोपयोजक (Economiser) से भरण जल को संचारित करने के पूर्व गरम करके और इस प्रकार निम्न तापमान प्रक्षेत्र में प्रदान की जाने वाली ऊष्मा की मात्रा को कम करके प्राप्त किया जा सकता है। भाप टरबाइन में प्रसारित हो रहे भाप को निष्कर्षित करके इसके द्वारा भरण जल को गरम करना पूर्वतापन का प्रभावी उपाय है।

लगभग सभी व्यावसायिक तापीय शक्ति संयंत्रों में भरण जल तापक लगाए जाते हैं परन्तु इनकी संख्या कितनी हो और उन्हें कहाँ पर लगाया जाए, यह प्रत्येक संयंत्र के लिए अलग–अलग हो सकता है। अतः अध्ययनाधीन वर्तमान संयंत्र में और कितने भरण जल तापक लगाए जाएँ व उनकी अवस्थिति (Location) क्या हो, इसके साथ–साथ इन अतिरिक्त भरण जल तापकों से युक्त संयंत्र पर उसके कुछ प्रमुख प्रचालन कारक जैसे पुनस्तापन दाब अनुपात, बॉयलर दाब एवं टरबाइन प्रवेश तापमान आदि में परिवर्तन के प्रभावों का अध्ययन प्रस्तुत शोध पत्र में किया गया है।

2. साहित्य समीक्षा

कोयला दाहित तापीय शक्ति संयंत्रों की दक्षता बढ़ाने के उपायों की खोज के उद्देश्य से अनेक

शोध अध्ययन किए गए हैं, परन्तु इनमें से अधिकांश अध्ययन मुख्य भाप का दाब एवं तापमान बढ़ाने तथा पुनस्तापन पर केन्द्रित रहे हैं। प्रस्तुत शोध विषय के क्षेत्र में किए गए प्रमुख कार्यों की श्रृंखला में, रायडु एवं गोविन्दा (Rayudu and Govinda) (2) ने 600 MW के अतिक्रांतिक शक्ति संयंत्र के प्रचालन कारकों के इष्टतम मान ज्ञात करने संबंधी अध्ययन में भरण जल तापकों की संख्या, निष्कर्षित भाप के दाब एवं विवातित्र दाब में परिवर्तन करके संयंत्र की ऊर्जा दक्षताओं का आकलन किया।

ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम पर आधारित पुनर्जनन एवं पुनस्तापकयुक्त शक्ति संयंत्र के निष्पादन के विश्लेषणात्मक अध्ययन में हबीब एवं जुबैर (Habib and Zubair) (3) ने पाया कि भरण जल तापक लगाने से चक्र की दक्षता का मान 12% तक बढ़ता है। एक अन्य अध्ययन में वंदानी एवं उनके साथियों (Vandani et al.) (4) द्वारा एक्सर्जी को केन्द्र पर रखकर भरण जल तापक लगाने के प्रभाव का विश्लेषण किया गया। उन्होंने दो अलग–अलग विकल्पों पर विचार किया। प्रथम विकल्प में नए भरण जल तापक को विद्यमान व्यवस्था के प्रथम भरण जल तापक के पूर्व लगाया जबकि दूसरे विकल्प में इसे अंतिम भरण जल तापक के पश्चात् लगाया। दोनों विकल्पों के निष्पादन का अध्ययन कर मूल संयंत्र के साथ इनकी तुलना की। परिणामों ने स्पष्ट दर्शाया कि नए भरण जल तापक लगाने पर संयंत्र की एक्सर्जी दक्षता दोनों ही वैकल्पिक व्यवस्थाओं के साथ बढ़ती है तथा जब यह अंतिम भरण जल तापक के बाद लगाया जाए तो उत्पाद लागत दर भी कम करता है। भाप शक्ति संयंत्रों के ऊष्मागतिकीय निष्पादनों का विश्लेषण हबीब एवं उनके साथियों (Habib et al.) (5) तथा डिंसर एवं अल्–मुस्लिम (Dincer and Al-Muslim) (6) के द्वारा भी किया गया। भास्करन (Bhaskaran) (7) ने एक विश्लेषण में विभिन्न प्रकार के इंधनों का उपयोग करते हुए फ्लू गैस तापमान एवं भरण जल तापमान का बॉयलर दक्षता पर प्रभाव का परीक्षण किया। शोधकर्ता रशीदी एवं उनके साथियों (Rashidi et al.) (8) ने दो पुनस्तापक, त्रि–पदी टरबाइन एवं छः बिन्दुओं पर भाप निष्कर्षण की व्यवस्था वाले भाप चक्र में विभिन्न प्राचलों के संयंत्र दक्षता पर प्रभावों का विश्लेषण किया तथा उच्च, माध्यमिक एवं निम्न दाब टरबाइनों से निष्कर्षण दाब का सर्वोत्तम मान प्राप्त किया। श्रीनिवास एवं उनके साथियों (Srinivas et al.) (9) ने एक अध्ययन में कई भरण जल तापक लगाने के प्रभाव का विश्लेषण किया। एक अन्य अध्ययन में बोडे एवं गोरे (Bode and Gore) (10) ने भरण जल तापक के निष्पादन को प्रत्यक्ष एवं परोक्ष रूप से प्रभावित करने वाले प्राचलों के मानों में परिवर्तन के प्रभावों का विश्लेषण किया।

विषय क्षेत्र में प्रकाशित शोध पत्रों की समीक्षा दर्शाते हैं कि संयंत्र जिनमें पूर्व से ही कुछ भरण जल तापक लगे हों उनमें और भी भरण जल तापक लगाने के प्रभाव के विश्लेषण के क्षेत्र में बहुत अधिक कार्य नहीं हुए हैं। इसलिए प्रस्तुत शोध कार्य में एक ऐसा संयंत्र जिसमें पूर्व से ही कुछ भरण जल तापक लगे हैं उसमें कुछ और भरण जल तापक लगाने पर दक्षता में सुधार की संभावनाओं का पता लगाने का प्रयास किया गया है।

3. विचाराधीन शक्ति संयंत्र का प्रचालन चक्र एवं ऊष्मागतिकीय निष्पादन प्राचल

(अ) विचाराधीन शक्ति संयंत्र का प्रचालन चक्र

विचाराधीन शक्ति संयंत्र, छत्तीसगढ़ राज्य विद्युत उत्पादन कम्पनी लिमिटेड द्वारा संचालित है। संयंत्र का प्रचालन चक्र (11) में दिया गया है एवं इसका संगत तापमान–एण्ट्रॉपी (T-s) आरेख चित्र 1 में दिखाया गया है। संयंत्र में 250 MW की दो इकाइयाँ हैं जिनमें से प्रथम इकाई को शोध कार्य हेतु अध्ययन क्षेत्र के रूप में विचार में लिया गया है। अध्ययनाधीन इकाई में एक उच्च दाब बॉयलर, एक उच्च दाब टरबाइन, एक माध्यमिक दाब टरबाइन एवं एक निम्न दाब टरबाइन, तीन निम्न दाब भरण जल तापक, ग्लैण्ड–भाप संघनित्र, ड्रेन शीतलक, विवातित्र

एवं दो उच्च दाब भरण जल तापक लगे हैं। बॉयलर के ऊष्मा विनियमित्र खण्ड में मितोपयोजक, वाष्पक तथा अतितापक (Superheater) लगे हैं ।

(ब) शक्ति संयंत्र की दक्षताएं

शक्ति संयत्रों के दो महत्वपूर्ण निष्पादन प्राचल हैं– ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता। इन दक्षताओं की गणना निम्नानुसार की जा सकती है :

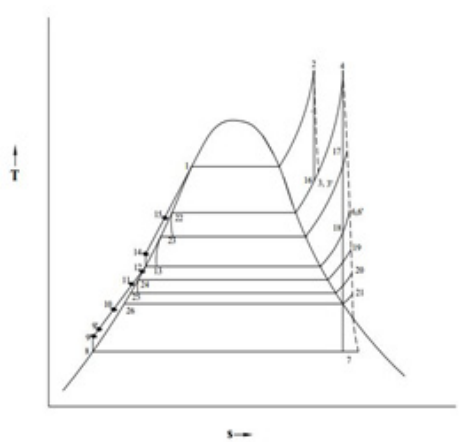
ऊर्जा दक्षता, η_I = संयंत्र का कुल उत्पादन/कोयले द्वारा प्रदाय की गई ऊर्जा

एवं एक्सर्जी दक्षता, η_{II} = संयंत्र का कुल उत्पादन/प्रदाय किए गए कोयले की एक्सर्जी

उपरोक्त सूत्रों में,

संयंत्र का कुल उत्पादन = 250MW (जैसा कि संयंत्र उसकी निर्धारित क्षमता के लिए अनुरूपित किया गया है)

कोयले द्वारा प्रदाय की गई ऊर्जा = कोयले का प्रवाह दर × कोयले का सकल ऊष्मीय मान



चित्र 1 : विचाराधीन शक्ति संयंत्र का तापमान – एण्ट्रॉपी (T-s) आरेख

प्रदाय किए गए कोयले की एक्सर्जी = कोयले का प्रवाह दर × कोयले की विशिष्ट एक्सर्जी

$$= m_f \varepsilon_f = m_f \times \gamma \times LHV$$

जहाँ ε_f कोयले के निम्न ऊष्मीय मान (LHV) पर आधारित विशिष्ट एक्सर्जी है और यह $\varepsilon_f = \gamma \times LHV$ (12) के बराबर होता है, जिसमें γ एक्सर्जी गुणक है। विभिन्न श्रेणियों के कोयले के लिए γ का मान 1.06 से 1.10 के मध्य होता है (12)।

4. मेथोडोलॉजी : निदर्शन, अनुरूपण तथा परिणाम का विधिमान्यकरण

प्रस्तुत शोध कार्य के सम्पादन हेतु, किसी ऊष्मागतिकीय प्रणाली के विस्तृत अध्ययन के लिए एक सर्वाधिक प्रचलित एवं मान्य प्रक्रिया का अनुपालन किया गया है। इस प्रक्रिया के निम्न चरण होते हैं :

(अ) संयंत्र का निदर्शन (Modeling or preparing a thermodynamic model of the plant)

(ब) अनुरूपण (Simulation)

(स) अनुरूपित निदर्श का विधिमान्यकरण (Validation of the simulated model)

(द) विधिमान्य निदर्श को संचालित करना (Running the validated model or performing experiments)

एक भली प्रकार से निर्मित फ्लो–शीट कम्प्यूटर प्रोग्राम 'सायकल टेम्पो' सॉफ्टवेयर (13) जो कि विद्युत उत्पादन करने वाली ऊर्जा रूपातंरण निकायों, ऊष्मीय एवं प्रशीतन निकायों के ऊष्मागतिकीय निदर्शन तथा विश्लेषण के लिए बहुत ही कारगर सिद्ध है, का उपयोग वर्तमान अध्ययन के लिए किया गया है। शक्ति संयंत्र का ऊष्मागतिकीय निदर्श तैयार करने के क्रम में पहले अवयववार निदर्शन किया गया तत्पश्चात् सम्पूर्ण निकाय का अनुरूपण किया गया। विभिन्न कारकों के प्रचालन मानों की तुलना, अनुरूपित निदर्श से प्राप्त उनके मानों से करके अनुरूपित निदर्श का विधिमान्याकरण किया गया। प्राचलों के उक्त दो मानों के मध्य प्रतिशत भिन्नता (14) में तथा यहाँ तालिका 1 में दिया गया है। जैसा कि अनुरूपित निदर्श के आंकड़े, संयंत्र से प्राप्त संगत मानों के बराबर या बहुत निकट हैं, अतः अनुरूपण

सफलतापूर्वक हुआ है।

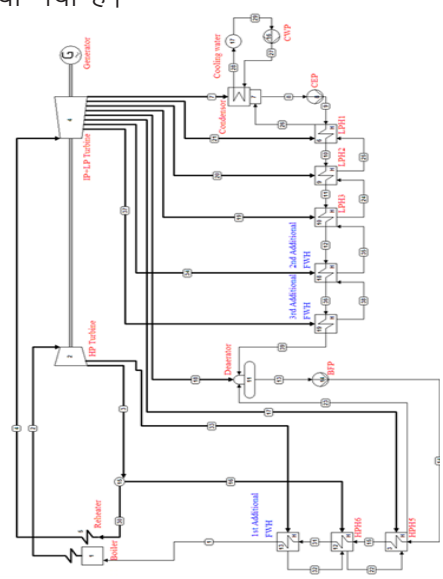
अध्ययन के लिए निम्न तीन संशोधनों पर विचार किया गया है–

1. विद्यमान संयंत्र में अंतिम उच्च दाब भरण जल तापक अर्थात् HPH6 के बाद एक अतिरिक्त उच्च दाब भरण जल तापक लगाना, अर्थात् तीन उच्च दाब एवं तीन निम्न दाब (3HP + 3LP) भरण जल तापकों वाली व्यवस्था।

2. उपरोक्त प्रथम संशोधन में तीसरे निम्न दाब भरण जल तापक (LPH3) के बाद अतिरिक्त निम्न दाब भरण जल तापक लगाना अर्थात् तीन उच्च दाब एवं चार निम्न दाब (3HP + 4LP) भरण जल तापकों वाली व्यवस्था।

3. उपरोक्त दूसरी व्यवस्था में विवातित्र के पूर्व एक अन्य निम्न दाब भरण जल तापक लगाना अर्थात् तीन उच्च दाब एवं पाँच निम्न दाब (3HP + 5LP) भरण जल तापकों वाली व्यवस्था।

तीन अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ सायकल टेम्पो निदर्श का रेखीय विन्यास चित्र 2 में दिखाया गया है।



चित्र 2 : तीन अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ सायकल टेम्पो निदर्श का रेखीय विन्यास

तालिका 1 : 250MW के तापीय शक्ति संयंत्र में चक्र के विभिन्न बिंदुओं पर प्रचालन आंकड़ों का विधिमान्यिकरण (14)

Point	Temperature, t (^{0}C)			Pressure, p (bar)			Mass flow rate, m (kg/s)		
	Operation	Simulation	%Variation	Operation	Simulation	%Variation	Operation	Simulation	%Variation
1	255.00	255.02	0.0	167.78	167.9	0.07	204.79	212.87	3.94
2	537.00	537.00	0.0	143.75	143.4	− 0.24	204.79	212.87	3.94
3	347.20	353.26	1.74	40.05	41.29	3.09	204.79	212.87	3.94
3′	347.20	353.06	1.74	40.05	41.07	2.54	183.24	187.98	2.59
4	537.00	536.85	− 0.03	36.04	36.04	0.0	183.24	187.98	2.59
7	46.30	46.95	1.4	0.106	0.106	0.0	141.33	145.12	2.69
8	46.30	46.95	1.4	0.106	0.106	0.0	162.78	166.02	1.99
9	46.50	47.10	1.3	19.66	19.66	0.0	162.78	166.02	1.99
10	73.50	73.50	0.0	19.66	19.15	− 2.6	162.78	166.02	1.99
11	92.70	92.70	0.0	19.66	18.65	− 5.1	162.78	166.02	1.99
12	119.80	119.20	− 0.5	19.18	18.15	− 5.3	162.78	166.02	1.99
13	158.30	159.53	0.77	6.108	6.108	0.0	204.79	212.87	3.94
14	161.40	164.00	1.61	185.56	185.6	0.21	204.79	212.87	3.94
15	197.70	197.70	0.0	185.56	185.1	0.28	204.79	212.87	3.94
16	347.20	349.31	0.6	40.05	40.05	0.0	24.10	24.89	3.28

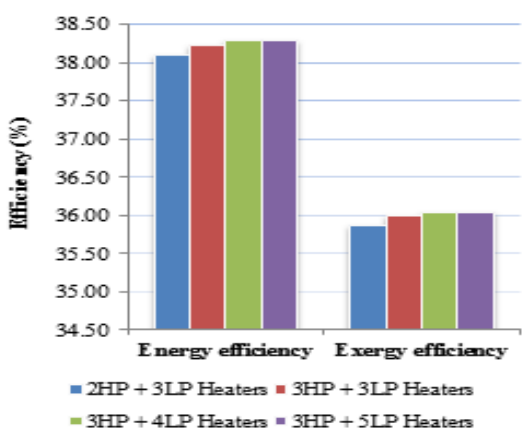
17	417.10	423.19	1.46	15.99	15.99	0.0	10.20	10.41	– 2.14
18	302.50	303.41	0.3	6.80	6.60	– 2.82	11.72	11.53	– 1.6
19	188.10	189.00	0.48	2.35	2.35	0.0	7.66	7.55	– 1.31
20	114.70	115.91	1.05	0.94	0.94	0.0	5.31	5.35	0.84
21	78.40	79.25	1.08	0.44	0.46	4.5	7.97	7.98	0.13
22	202.50	201.35	– 0.57	39.81	39.81	0.0	24.10	24.89	3.28
23	166.30	159.53	– 4.07	15.78	15.75	0.19	34.31	35.31	2.95
24	97.70	97.70	0.0	2.12	2.12	0.0	7.66	7.55	– 1.31
25	78.40	78.40	0.0	0.73	0.73	0.0	12.97	12.91	– 0.43
26	76.4	76.40	0.0	0.42	0.42	0.0	19.93	20.89	4.83
27	34.00	34.00	0.0	2.02	2.02	0.0	9750	9537.02	– 2.18
28	42.20	42.20	0.0	1.49	1.511	1.41	9750	9537.02	– 2.18

5. परिणाम एवं व्याख्या

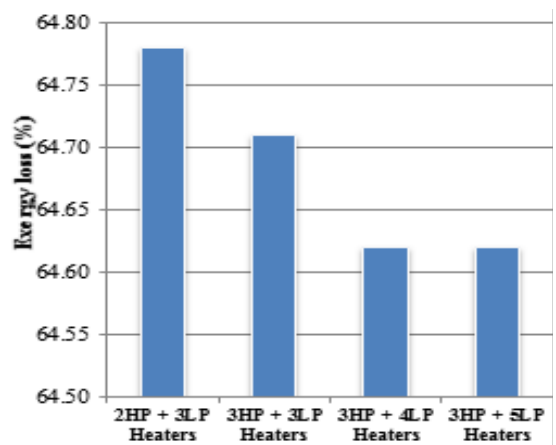
इस शोध पत्र में, विद्यमान संयंत्र में कुछ अतिरिक्त भरण जल तापक लगाए जाने के प्रभावों का अध्ययन किया गया तथा परिणामों की तुलना संयंत्र की वर्तमान व्यवस्था के साथ की गई। प्रस्तावित अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ पुनस्तापन दाब अनुपात, मुख्य भाप के दाब एवं तापमान में परिवर्तनों का ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव का अध्ययन करने पर निम्नानुसार परिणाम प्राप्त हुए :

(अ) अतिरिक्त भरण जल तापक लगाने का ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

चित्र 3 में दिखाए अनुसार, भरण जल तापकों की संख्या बढ़ने से संयंत्र की ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता बढ़ती है। यद्यपि, जब प्रथम अतिरिक्त भरण जल तापक लगाया जाता है तो वृद्धि की दर अधिक होती है जो कि द्वितीय एवं तृतीय अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ क्रमशः घटती जाती है। अतिरिक्त भरण जल तापकों के लगाए जाने पर संयंत्र की एक्सर्जी ह्रास में होने वाली कमी को चित्र 4 में दिखाया गया है। अतिरिक्त भरण जल तापक लगाने से संयंत्र की एक्सर्जी ह्रास की मात्रा घटती है परंतु होने वाली यह कमी दूसरे तापक के पश्चात् तीसरा तापक लगाए जाने पर लगभग नगन्य होती है।



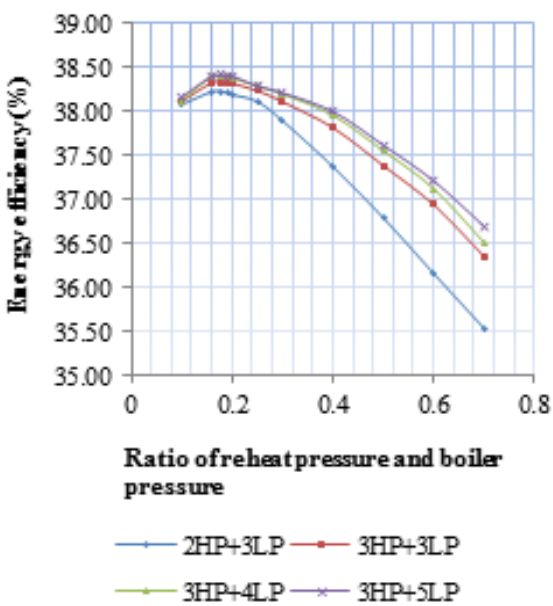
चित्र 3: अतिरिक्त भरण जल तापक लगाने का ऊर्जा एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव



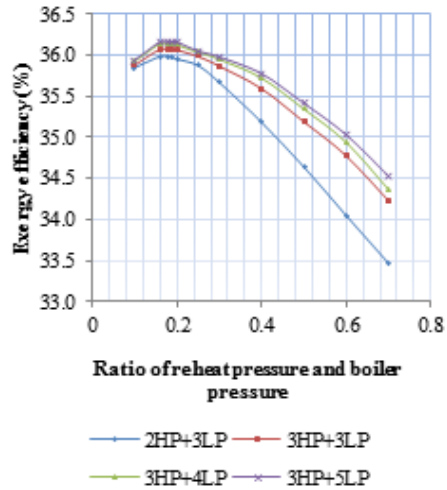
चित्र 4: अतिरिक्त भरण जल तापक लगाने का संयंत्र के एक्सर्जी ह्रास पर प्रभाव

(ब) पुनस्तापन दाब अनुपात एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

पुनस्तापन दाब अनुपात अर्थात् पुनस्तापन दाब एवं बॉयलर दाब के अनुपात का अलग–अलग संख्या में अतिरिक्त भरण जल तापकों के साथ ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव को क्रमशः चित्र 5 एवं 6 में दर्शाया गया है। पुनस्तापन दाब को बॉयलर दाब के 10% से 70% तक परिवर्तित करके प्रभावों का अध्ययन किया गया। पुनस्तापन दाब बढ़ने के साथ संयंत्र की दक्षताएँ बढ़ती हैं एवं जब पुनस्तापन दाब का मान बॉयलर दाब के 16% से 20% के आस–पास (अर्थात् 0.16 से 0.2 पुनस्तापन दाब अनुपात क्षेत्र में) हो तो दक्षताएँ अधिकतम होती हैं। इस प्रकार, 0.16 से 0.2 पुनस्तापन दाब अनुपात क्षेत्र में संयंत्र का प्रचालन अधिक मितव्ययी होगा। पुनः अतिरिक्त भरण जल तापकों की संख्या बढ़ने से दोनों दक्षताएँ बढ़ती हैं परन्तु तापकों की संख्या में वृद्धि के साथ दक्षताओं के बढ़ने की दर धीमी होती जाती है।



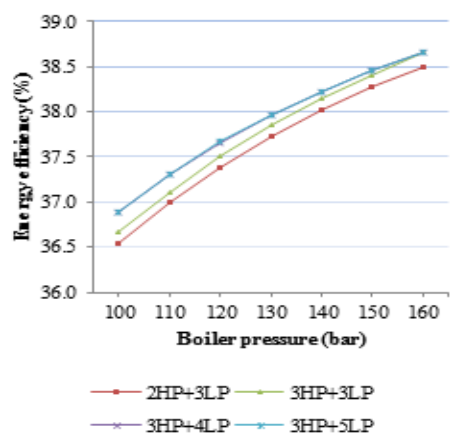
चित्र 5: पुनस्तापन दाब अनुपात एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता पर प्रभाव



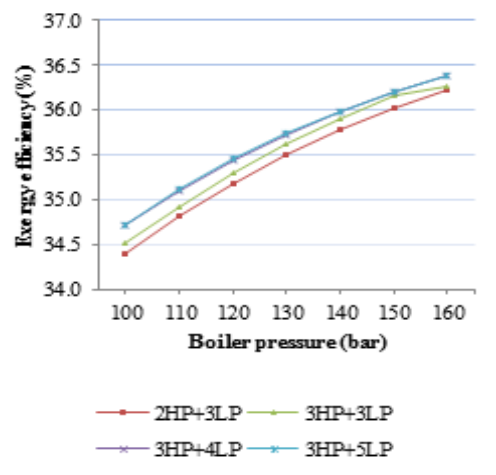
चित्र 6: पुनस्तापन दाब अनुपात एवं भरण जल तापकों की संख्या का एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

(स) बॉयलर दाब एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

बॉयलर दाब में परिवर्तन का संयंत्र की ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव को चित्र 7 एवं 8 में दर्शाया गया है। बॉयलर दाब तथा अतिरिक्त भरण जल तापकों की संख्या बढ़ने से दोनों दक्षताएँ बढ़ती हैं। बॉयलर दाब में औसतन 10 bar की वृद्धि से ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता दोनों में लगभग 0.3% की वृद्धि होती है।



चित्र 7: बॉयलर दाब एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता पर प्रभाव

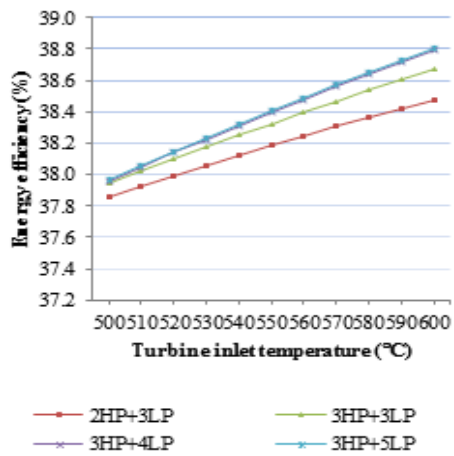


चित्र 8: बॉयलर दाब एवं भरण जल तापकों की संख्या का एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

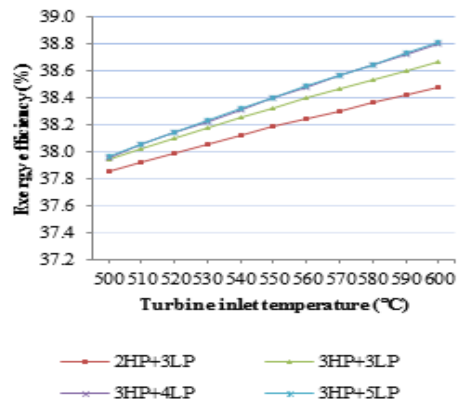
(द) मुख्य भाप तापमान एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

भरण जल तापकों की संख्या में वृद्धि के साथ मुख्य भाप तापमान में परिर्वतन का संयंत्र की ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव को क्रमशः चित्र 9 एवं 10 में दिखाया गया है। भरण जल तापकों की संख्या एवं मुख्य भाप तापमान में वृद्धि से दोनों दक्षताएँ बढ़ती हैं परंतु बॉयलर दाब में वृद्धि से होने वाली बढ़ोतरी की तुलना में मुख्य भाप तापमान में वृद्धि से होने वाली बढ़ोतरी की दर धीमी होती है। टरबाइन प्रवेश तापमान में औसतन 10^0C की वृद्धि के साथ ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता दोनों लगभग 0.05 से 0.1% तक बढ़ती हैं।

चित्र 3 से लेकर चित्र 10 तक में देखा गया कि अतिरिक्त द्वितीय एवं तृतीय अर्थात् कुल मिलाकर 8वां एवं 9वां भरण जल तापक के साथ ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता के वक्र एक दूसरे पर अतिव्यापित (Overlapped) हैं अर्थात् दोनों के मान लगभग एक दूसरे के बराबर होते हैं। इसका आशय यह है कि संयंत्र में अंतिम भरण जल तापक लगाए जाने का कोई विशेष लाभ नहीं होता है।



चित्र 9: मुख्य भाप तापमान एवं भरण जल तापकों की संख्या का ऊर्जा दक्षता पर प्रभाव



चित्र 10: मुख्य भाप तापमान एवं भरण जल तापकों की संख्या का एक्सर्जी दक्षता पर प्रभाव

6. विचाराधीन शक्ति संयंत्र में एक अतिरिक्त भरण जल तापक लगाने पर आकलित लाभ

(अ) ईंधन बचत की मात्रा

विद्यमान संयंत्र में एक और उच्च दाब भरण जल तापक लगाने के साथ (अर्थात् प्रथम अतिरिक्त भरण जल तापक के साथ) संयंत्र की ऊर्जा दक्षता में 0.13% (38.1% से 38.23%) की महत्वपूर्ण वृद्धि होती है।

वर्तमान 38.1% ऊर्जा दक्षता के साथ ईंधन खपत की दर = 250000 / (0.381 x 13800) = 47.55 kg/s

अपेक्षित 38.23% ऊर्जा दक्षता के साथ ईंधन खपत की दर = 250000 / (0.3823 x 13800) = 47.38 kg/s

इस प्रकार, ईंधन बचत की मात्रा

= 47.55 - 47.38 = 0.17 kg/s

= (0.17 x 60 x 60 x 24) / 1000 tonne per day

= 14.688 x 350 tonne per year ~ 5140 tonne per year (टन प्रति वर्ष)

(ब) संयंत्र की ऊष्मा दर में कमी

वर्तमान 38.1% ऊर्जा दक्षता के साथ ऊष्मा दर = 3600 / 0.381 = 9448.81 kJ/kWh

अपेक्षित 38.23% ऊर्जा दक्षता के साथ ऊष्मा दर = 3600 / 0.3823 = 9416.68 kJ/kWh

इसलिए, ऊष्मा दर में कमी

= 9448.81 - 9416.68 = 32.13 kJ/kWh

7. संभावित अनुप्रयोग

प्रस्तुत शोध कार्य के प्रारंभ के पूर्व अध्ययन इकाई के रूप में संबंधित संयंत्र के चयन का एक प्रमुख आधार यह था कि देश की अधिकांश कोयला दाहित तापीय शक्ति उत्पादन इकाइयाँ उच्च दाब पर प्रचालित होने वाली (अर्थात् विचाराधीन संयंत्र के प्रकार की) हैं। अतः प्रस्तुत शोध विधि का अनुप्रयोग देश के अनेक संयंत्रों पर किया जा सकता है। प्रत्येक संयंत्र की दक्षता में अपेक्षित वृद्धि के परिणामस्वरूप ईंधन खपत में उल्लेखनीय कमी आएगी जिससे राष्ट्र स्तर पर अत्यधिक मात्रा में कोयले की बचत हो सकेगी तथा संबंधित पर्यावरणीय दुष्प्रभावों को कम करने में भी सहयोग मिलेगा।

8. निष्कर्ष एवं भविष्य के शोध निर्देश

विश्लेषण के आधार पर शोध परिणामों का निष्कर्ष निम्नानुसार है :

1. भरण जल तापकों की संख्या बढ़ाए जाने के साथ–साथ संयंत्र की ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता बढ़ती है परंतु वृद्धि की दर क्रमशः कम होती जाती है। विद्यमान संयत्र में एक और उच्च दाब भरण जल तापक लगाने के साथ (अर्थात् प्रथम अतिरिक्त भरण जल तापक के साथ) संयंत्र की ऊर्जा एवं एक्सर्जी दक्षता में 0.13% की महत्वपूर्ण वृद्धि होती है।

   पुनः प्रथम संशोधन के साथ द्वितीय अतिरिक्त भरण जल तापक (अर्थात् एक और निम्न दाब भरण जल तापक) लगाने पर दोनों दक्षताओं में 0.05% की वृद्धि तथा उपरोक्त संशोधित व्यवस्था में पुनः एक और निम्न दाब भरण जल तापक लगाने पर दोनों दक्षताओं में मात्र 0.006% की वृद्धि होती है। विभिन्न संशोधनों के साथ दक्षताओं में वृद्धि की लगभग ऐसी ही प्रवृत्ति अन्य प्रचालन कारकों के मानों में परिवर्तन से भी प्राप्त होता है।

   भरण जल तापक लगाने से ऊष्मा प्रदायगी का औसत तापमान बढ़ जाता है जिससे समान क्षमता हेतु बॉयलर में प्रदान की जाने वाली आवश्यक ऊष्मा की मात्रा कम हो जाती है और इस प्रकार संयंत्र की दक्षता बढ़ जाती है तथा ईंधन खपत में कमी आती है।
2. 0.16 से 0.2 के मध्य पुनस्तापन दाब अनुपात हेतु ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता का मान अधिकतम होता है।
3. अतिरिक्त भरण जल तापक लगाते जाने से एक्सर्जी ह्रास कम होते जाता है और यह 0.16 से 0.2 मान तक के पुनस्तापन दाब अनुपात क्षेत्र में न्यूनतम होता है।
4. बॉयलर दाब में वृद्धि से ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता बढ़ती है।
5. मुख्य भाप तापमान में वृद्धि से ऊर्जा दक्षता एवं एक्सर्जी दक्षता बढ़ती है।
6. बॉयलर दाब में परिवर्तन के प्रभाव, मुख्य भाप तापमान में परिवर्तन के प्रभाव से अधिक होते हैं।

भविष्य के शोध निर्देश

इस शोध पत्र में, अतिरिक्त भरण जल तापक लगाए जाने के प्रभावों को कुछ प्राचलों जैसे पुनस्तापन दाब अनुपात, बॉयलर दाब, टरबाइन प्रवेश तापमान आदि में परिवर्तन करके देखा गया है। अतः कुछ अन्य महत्वपूर्ण प्राचल / कारक जैसे– टरबाइनों

से निष्कर्षण दाब के मान, विवातित्र दाब, फ्लू गैस तापमान आदि में परिवर्तन के प्रभावों का अध्ययन शोधार्थियों द्वारा किया जा सकता है।

प्रयुक्त शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिन्दी शब्दावली
Cycle Tempo	सायकल टेम्पो
Deaerator	विवातित्र
Economiser	मितोपयोजक
Efficiency	दक्षता
Evaporator	वाष्पक
Exergy	एक्सर्जी
Extraction	निष्कर्षण
High Pressure (HP)	उच्च दाब
High Pressure Heater (HPH)	उच्च दाब तापक
Low Pressure (LP)	निम्न दाब
Low Pressure Heater (LPH)	निम्न दाब तापक
Lower Heating Value (LHV)	निम्न ऊष्मीय मान
Main Steam	मुख्य भाप
Modeling	निदर्शन
MW	मेगावाट
Optimum	इष्टतम
Overlapped	अतिव्यापित
Parameters	प्राचल
Regeneration	पुनर्जनन
Reheating	पुनस्तापन
Simulation	अनुरूपण
Supercritical	अतिक्रांतिक
Superheater	अतितापक
Validation	विधिमान्यकरण

संदर्भ

1. P. K. Nag, "Power Plant Engineering" Tata McGraw Hill, New Delhi, 2nd Edition, 2001.
2. P. N. Rayudu and R. K. Govinda, "Optimization of operating parameters for a 600MW Rankine cycle based ultrasupercritical power plant", International Journal of Engineering and Technology, 9(3), 2017.
3. M. A. Habib and S. M. Zubair, "Second law based thermodynamic analysis of regenerative-reheat Rankine cycle power plants", Elsevier, Energy, 17 (3), 1992, pp. 295-301.
4. A. Vandani, M. K. Joda, F. Ahmadi and M. H. Ahmadi, "Exergoeconomic effect of adding a new feed water heater to a steam power plant", Mechanics and Industry, 18(2), 2017, pp. 1- 3.
5. M. A. Habib, S. A. M. Said and J. J. Al-Bagawi, "Thermodynamic performance analysis of the Ghazlan power plant", Energy, 20(11), 1995, pp. 1121–1130.
6. I. Dincer and H. Al-Muslim, "Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants", Int. J. Energy Res., 25, 2001, pp. 727–739.
7. H. A. Bhaskaran, "Influence of Flue Gas and Feed Water Temperatures on Boiler Efficiency – An Analysis", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 5 (1), 2016, pp. 94-109.
8. M. M. Rashidi, A. Aghagoli and M. Ali, "Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters", Hindavi Publishing Corporation, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 6, 2014, pp. 1-11.
9. T. Srinivas, A. V. S. S. K. S. Gupta and B. V. Reddy, "Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters", International Journal of Thermodynamics, 10(4), 2007, pp. 177-185.
10. V. V. Bode and V. G. Gore, "Performance Analysis of Regenerative Feed Water Heating System in 270 MW Thermal Power Plant", International Research Journal of Engineering and Technology, 03(4), 2016, pp. 1180-1186.
11. S. S. L. Patel and G. K. Agrawal, "Performance Improvement through Energy Audit of a 250 MW Coal Fired Thermal Power Plant", International Journal of Advance Engineering and Research Development, 4(4), 2017, pp. 35-43.
12. T. J. Kotas, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Butterworths, London, U. K, ISBN: 9781483100364, 1985.
13. Cycle-Tempo release 5, Delft University of Technology (TU Delft), Netherlands. www.Cycle-Tempo.nl, 2006.
14. S. S. L. Patel and G. K. Agrawal, "Investigation of Influencing Process Parameters to Energy and Exergy Efficiencies of a Coal Fired Thermal Power Plant using Cycle Tempo", International Journal of Computer Sciences and Engineering, Vol. 7, Special Issue 3, 2019, pp. 97-104.