खुले पैन वाली गुड़ भट्टियों में डिज़ाइन और दहन नवाचारों के माध्यम से ऊर्जा दक्षता में सुधार

एस.आई. अनवर*

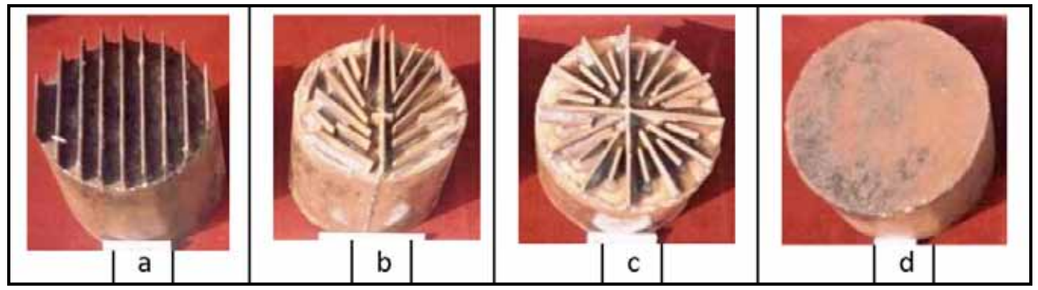
प्रधान वैज्ञानिक, कृषि अभियांत्रिकी प्रभाग, भाकृअनुप-भारतीय गन्ना अनुसंधान संस्थान,
रायबरेली रोड, लखनऊ - 226002 (उ.प्र.)
*अनुरूपी लेखक ई-मेलः sianwar@yahoo.co.in

परिचय

गन्ना भारत की एक प्रमुख नकदी फसल है। चीनी, गुड़ और खांडसारी गन्ने के प्रमुख उत्पाद हैं। हालांकि, आजकल वाहनों के लिए पेट्रोल के साथ मिश्रण हेतु इथेनॉल का भी उत्पादन किया जाता है। चीनी, गुड़ और खांडसारी को मिठास देने वाले पदार्थों के रूप में उपयोग किया जाता है, लेकिन गुड़ को मानव आहार के महत्वपूर्ण घटकों की उपस्थिति के कारण एक खाद्य पदार्थ भी माना जाता है। विश्व के कुल गुड़ उत्पादन का 70% से अधिक भारत में होता है। इसे लोकप्रिय रूप से 'औषधीय चीनी' के नाम से जाना जाता है और यह पोषण की दृष्टि से शहद के समकक्ष माना जाता है। आयुर्वेदिक चिकित्सा में इसका उपयोग 3000 वर्षों से किया जा रहा है। गुड़ का उत्पादन लगभग 25 देशों में होता है, जिसका कुल उत्पादन प्रति वर्ष लगभग 1.3 करोड़ टन है। भारत असंगठित कृषि-प्रसंस्करण क्षेत्र में गुड़ का सबसे बड़ा उत्पादक देश है, जो विश्व के कुल उत्पादन का 55% हिस्सा रखता है, इसके बाद कोलंबिया (11%) का स्थान है। गुड़ उत्पादन में प्रमुख रूप से शामिल राज्य हैं: उत्तर प्रदेश, महाराष्ट्र, मध्य प्रदेश एवं छत्तीसगढ़, कर्नाटक, बिहार, आंध्र प्रदेश और तमिलनाडु। गुड़ न केवल भारत में उपभोग किया जाता है, बल्कि विदेशी मुद्रा अर्जित करने के लिए इसे विदेशों में भी निर्यात किया जाता है। गुड़ उत्पादन में शामिल प्रमुख इकाई प्रक्रियाएँ हैं: गन्ना पेराई (रस निष्कर्षण), रस छानना, गर्म करना, स्पष्टीकरण (क्लेरिफिकेशन), उबालना और सांद्रण, सांद्रित द्रव्यमान को ठंडा करना/मथना, साँचे में ढालना और पैकेजिंग। गन्ने के रस को गर्म करना, उबालना और सांद्रण करना सर्वाधिक ऊर्जा-गहन प्रक्रियाएँ हैं, जो अधिकांशतः खुले पैन वाली भट्टियों पर की जाती हैं। इन भट्टियों की ऊष्मीय दक्षता कम होती है और अधिकतर ईंधन की कमी का सामना करना पड़ता है। इसलिए, गुड़ भट्टियों की दक्षता में सुधार सर्वोच्च महत्व का विषय है, क्योंकि इससे न केवल ईंधन की समस्या का समाधान होगा, बल्कि प्रति इकाई ऊर्जा खपत में गुड़ की उत्पादकता बढ़ाने में भी सहायता मिलेगी।

गन्ने के रस का प्रसंस्करण

गन्ने के रस को सबसे पहले प्रमुख अशुद्धियों को दूर करने के लिए छाना जाता है, इसके बाद गर्म करने, उबालने और सांद्रण की प्रक्रिया की जाती है। रस का स्पष्टीकरण 80°C पर वानस्पतिक स्पष्टीकारक (देओला - Hibiscus ficulneus) का उपयोग करके किया जाता है, और अशुद्धियाँ मैल (स्कम) के रूप में निकाली जाती हैं। रस प्रसंस्करण



चित्र-1. फिन विन्यास, (a) समानांतर फिन (PF) (b) ज्वाला विसारक फिन (FSF) (c) त्रिज्यीय फिन (RF) (d) सामान्य/समतल पैन

के लिए अधिकांशतः स्थानीय कारीगरों द्वारा निर्मित खुले पैन वाली भट्टियों का उपयोग किया जाता है। भारत में विभिन्न प्रकार की भट्टियाँ विकसित की गई हैं। समय के साथ, डिज़ाइन में अनेक सुधार के प्रयास किए गए हैं, जिनमें पैनों के आकार और संख्या में भिन्नता शामिल है, जिससे कुछ उन्नत भट्टियों का विकास हुआ है। पैनों का आकार और संख्या गुड़ बनाने की प्रणाली और गुड़ संयंत्र की क्षमता पर निर्भर करती है। हालांकि, बगास की बचत और गुड़ की उत्पादकता बढ़ाने के लिए हमेशा से एक ऊर्जा-दक्ष भट्टी की आवश्यकता महसूस की जाती रही है। इस दिशा में भाकृअनुप-भारतीय गन्ना अनुसंधान संस्थान (आईआईएसआर), लखनऊ में कुछ प्रयास किए गए हैं।

संशोधित पैन

पैन किसी भी भट्टी का एक अभिन्न अंग होते हैं। भाकृअनुप-आईआईएसआर, लखनऊ में कुशल 2-पैन और 3-पैन भट्टियाँ विकसित की गई हैं। 2-पैन और 3-पैन भट्टियों में क्रमशः समतल तली (फ्लैट बॉटम) और अर्धगोलाकार तली (हेमिस्फेरिकल बॉटम) वाले पैनों का उपयोग किया जाता है।

ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल को बढ़ाने का एक नवीन विचार इस परिकल्पना के साथ प्रस्तुत किया गया है कि जितना अधिक ऊष्मा ग्रहण करने वाला क्षेत्र होगा, उतनी अधिक ऊष्मा ऊर्जा रस में स्थानांतरित होगी। इसी कारण से पैन की तली में फिन (पंख) लगाए गए हैं।

इस परिकल्पना की जाँच के लिए तीन फिन विन्यासों (कॉन्फिगरेशन) पर विचार किया गया, अर्थात् — समानांतर फिन (Parallel Fins - PF), ज्वाला विसारक फिन (Flame Spreader Fins - FSF) और त्रिज्यीय फिन (Radial Fins - RF)। तीनों विन्यासों में फिन द्वारा प्रदान किया गया अतिरिक्त क्षेत्रफल समान रखा गया। इन विन्यासों की तुलना पारंपरिक समतल तली से की गई। ये सभी फिन विन्यास चित्र-1 में दर्शाए गए हैं।

हल्के इस्पात (माइल्ड स्टील) के चपटे पट्टे (25 x 3 मिमी) तीनों फिन वाले पैनों में वेल्ड किए गए। सभी मामलों में पट्टों की कुल लंबाई समान रखी गई। इन विन्यासों का परीक्षण जल उबाल परीक्षण के माध्यम से किया गया और परिणामों को तालिका-1 में संक्षेपित किया गया है:

तालिका से यह स्पष्ट होता है कि फिन युक्त पैनों ने जल वाष्पीकरण और ऊष्मीय/ऊष्मा उपयोग दक्षता के संदर्भ में सामान्य पैन की तुलना में बेहतर प्रदर्शन किया। समानांतर फिन ने सर्वोत्तम परिणाम दिए, इसके बाद ज्वाला विसारक फिन और त्रिज्यीय फिन का स्थान रहा।

उपरोक्त परिणामों के आधार पर, आईआईएसआर 2-पैन भट्टी के पैनों को संशोधित किया गया और उनमें समानांतर फिन लगाए गए। ये पैन चित्र-2 में दर्शाए गए हैं।

फिन के कारण, मुख्य पैन और गटर पैन की ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल में क्रमशः 118 और 131 प्रतिशत की वृद्धि पाई गई।

इन पैनों का मूल्यांकन जल उबाल परीक्षण और गुड़ बनाने के लिए वास्तविक रस

चित्र-2. आईआईएसआर 2-पैन भट्टी के संशोधित मुख्य पैन और गटर पैन

तालिका-1. विभिन्न फिन विन्यासों वाले पैनों का प्रदर्शन

क्र. सं.	प्रदर्शन मापदंड	फिन विन्यास/ज्यामिति				
		सामान्य	समानांतर फिन	ज्वाला विसारक फिन	त्रिज्यीय फिन	औसत (फिन)
1	जल वाष्पीकरण (कि.ग्रा.)	1.720	2.273	2.180	2.143	2.199
2	ऊष्मीय दक्षता (%)	9.93	12.47	12.06	11.90	12.14
3	ऊष्मा उपयोग दक्षता (%)	7.52	9.94	9.53	9.37	9.62
4	सामान्य पैन की तुलना में ऊष्मीय दक्षता में % वृद्धि	---	25.58	21.45	19.84	22.29
5	सामान्य पैन की तुलना में ऊष्मा उपयोग दक्षता में % वृद्धि	---	32.18	26.73	24.60	27.93

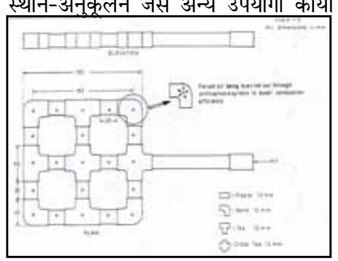
प्रसंस्करण द्वारा किया गया। संशोधित प्रणाली 90 मिनट में 75 किलोग्राम बगास के साथ लगभग 15 किलोग्राम अधिक पानी वाष्पीकृत करने में सक्षम पाई गई, जबकि सामान्य पैन के साथ 120 मिनट में 100 किलोग्राम बगास की आवश्यकता होती थी। इसलिए, संशोधित प्रणाली के साथ प्रति किलोग्राम बगास 0.71 किलोग्राम अधिक पानी वाष्पीकृत किया गया। ऊष्मा उपयोग दक्षता में 9.44% का सुधार हुआ। बगास की बचत भी क्रमशः प्रति इकाई वजन वाष्पीकृत जल और प्रति इकाई निर्मित गुड़ के संदर्भ में 30% से अधिक और 25% से अधिक देखी गई। गुड़ का उत्पादन भी 17% समय की बचत के साथ 20% बढ़ा।

समानांतर फिन का अनुकूलन

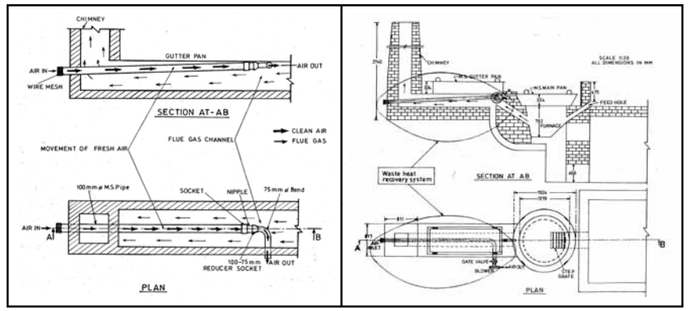
अधिकतम दक्षता प्राप्त करने के लिए समानांतर फिन का अनुकूलन भी किया गया है। इसके लिए, फिन लगाकर ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल को 311 प्रतिशत तक बढ़ाकर छोटे हल्के इस्पात के पैन निर्मित किए गए। प्रयोगों के दूसरे सेट में, क्षेत्रफल में वृद्धि को स्थिर रखा गया लेकिन फिन का आकार बदला गया। जल उबाल परीक्षण किया गया। ऊष्मा उपयोग दक्षता, फिन की संख्या अर्थात् ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल में वृद्धि के साथ बढ़ती पाई गई। यह भी पाया गया कि ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल में किसी निश्चित वृद्धि के लिए, कम संख्या में बड़े फिन की तुलना में अधिक संख्या में छोटे फिन का उपयोग करना एक बेहतर विकल्प है।

अपशिष्ट ऊष्मा पुनर्प्राप्ति प्रणाली

अनेक सुधारों के बावजूद, अभी भी बहुत अधिक ऊष्मा ऊर्जा धुएँ की गैसों (फ्लू गैस) के माध्यम से व्यर्थ हो जाती है। अपशिष्ट ऊष्मा के एक भाग को बगास/गुड़ सुखाने या स्थान-अनुकूलन जैसे अन्य उपयोगी कार्यों



चित्र-4. EBD का रेखा आरेख



चित्र-3. (a) प्रतिधारा प्रकार की ऊष्मा विनिमय इकाई और (b) आईआईएसआर 2-पैन भट्टी में WHRS की स्थापना

के लिए पुनर्प्राप्त करने हेतु WHRS की एक नवीन अवधारणा प्रस्तुत की गई।

फ्लू गैस चैनल में 100 मिमी व्यास की हल्के इस्पात (माइल्ड स्टील) की पाइप के रूप में एक प्रतिधारा प्रकार का ऊष्मा विनिमायक स्थापित किया गया। पाइप का एक सिरा चिमनी के आधार पर खुली हवा में उजागर है, जिससे ताजी और स्वच्छ हवा अंदर खींची जा सके। हवा को पाइप के माध्यम से खींचने के लिए प्रवाह नियामक वाल्व सहित एक ब्लोअर का उपयोग किया गया। हवा को ऊष्मा स्थानांतरण के संवहन तरीके से गर्म किया गया। पूरी प्रणाली चित्र-3 में दर्शाई गई है।

WHRS की कार्यप्रणाली

WHRS का ब्लोअर भट्टी संचालन के दौरान भी चलाया जाता है। यह पाइप के माध्यम से ताजी हवा खींचता है। चूँकि पूरी पाइप गर्म फ्लू गैसों से घिरी होती है, इसलिए उसमें प्रवाहित होने वाली हवा भी गर्म हो जाती है। एक मोड़ (बेंड) उस स्थान पर लगाया गया जहाँ फ्लू गैसें दहन कक्ष से बाहर निकलती हैं और बेंड से टकराकर उसे अत्यधिक गर्म कर देती हैं। हवा बेंड पर एक तीव्र मोड़ लेती है, जहाँ अधिकतम ऊष्मा स्थानांतरण होता है। परिणामस्वरूप, स्वच्छ गर्म हवा प्राप्त होती है। स्थिर-अवस्था परिस्थितियों में पूर्ण ब्लोअर गति पर 30°C का तापमान वृद्धि प्राप्त की गई। यह गर्म हवा बगास/गुड़ सुखाने और/या स्थान-अनुकूलन के लिए प्रभावी रूप से उपयोग की जा सकती है।

दक्षता वर्धक उपकरण (Efficiency Boosting Device - EBD)

यह पाया गया कि गुड़ भट्टियों में बगास के दहन के दौरान उत्पन्न होने वाली लपटें (flames) फ्लू गैस द्वार (opening) की ओर खिंचती हैं और इनमें से कई लपटें पैन की तली को छूती भी नहीं हैं। इसलिए, एक ऐसा उपकरण जो लपटों को पैन की तली की ओर निर्देशित कर सके और ऊष्मा स्थानांतरण बढ़ाने के लिए अशांति (turbulence) उत्पन्न कर सके, ऊर्जा के अधिक प्रभावी उपयोग के लिए उपयोगी होगा। अतः, अधिक ऊष्मा स्थानांतरण के लिए लपटों को पैन की तली की ओर बलपूर्वक धकेलने हेतु एक दक्षता वर्धक उपकरण (Efficiency Boosting Device - EBD) की अवधारणा प्रस्तुत की गई है। इस उपकरण के माध्यम से आपूर्ति की गई हवा अदग्ध गैसों (unburnt gases) के पूर्ण दहन में भी सहायता करेगी, जो अन्यथा व्यर्थ चली जाती हैं।

अनवर (2015) द्वारा EBD का एक लघु मॉडल (Miniature Model) विकसित किया गया। यह जी.आई. (Galvanized Iron) निपल्स, सॉकेट, टी, क्रॉस टी और बेंड

चित्र-5. EBD का लघु मॉडल

से बनाया गया था (चित्र-4 और 5)। हवा के लिए विशिष्ट स्थानों पर छेद (4 मिमी व्यास) ड्रिल किए गए। दक्षता वर्धक उपकरण का आकार 203 मिमी व्यास के पैन के अनुरूप रखा गया। इसे एक लकड़ी के चूल्हे पर इस ऊँचाई पर स्थापित किया गया कि सामान्य ईंधन आपूर्ति प्रभावित न हो, और इसे उपयुक्त संलग्नकों के साथ एक हस्त-ब्लोअर से जोड़ा गया। इसे पैन की तली के निकट रखा गया ताकि छिद्रों से निकलने वाली हवा पैन की तली से टकरा सके।

इस इकाई का परीक्षण जल उबाल परीक्षण के माध्यम से किया गया और यह देखा गया कि पानी को उबलने के बिंदु तक पहुँचने में कम समय लगा। लपटों में अधिक अशांति भी देखी गई, जिसने अधिक ऊष्मा स्थानांतरण को सुगम बनाया। EBD के साथ कम मात्रा में ईंधन की खपत हुई और इसका सभी प्रदर्शन मापदंडों पर सकारात्मक प्रभाव पड़ा।

प्रयोगों के दूसरे सेट में, अधिक ऊष्मा स्थानांतरण के लिए लपटों और गर्म हवा को पैन की तली की ओर निर्देशित करने हेतु 4 मिमी छिद्रों पर निपल्स लगाए गए। 20 मिमी लंबाई और 4 मिमी व्यास के निपल्स लगाए गए। इस इकाई का परीक्षण किया गया और इसकी तुलना 4 मिमी व्यास के साधारण छिद्रों वाली इकाई से की गई तथा परिणामों को तालिका-2 में संक्षेपित किया गया है:

4 मिमी व्यास और 20 मिमी लंबाई के निपल्स के साथ EBD का प्रदर्शन और अधिक बेहतर हुआ। अतः, उपरोक्त परिणामों के आधार पर, आईआईएसआर 2-पैन भट्टी के लिए उपयुक्त दक्षता वर्धक उपकरण का स्केल-अप मॉडल विकसित किया गया है।

तालिका-2: 4 मिमी छिद्रों और निपल्स वाले EBD की तुलना

मापदंड	केवल 4 मिमी छिद्रों वाला EBD	निपल्स वाला EBD	प्रतिशत वृद्धि/कमी
जल वाष्पीकरण, कि.ग्रा.	1.96	2.16	10.20 (वृद्धि)
वाष्पीकरण/कि.ग्रा. ईंधन, कि.ग्रा.	0.75	0.82	9.33 (वृद्धि)
प्रति कि.ग्रा. वाष्पीकृत जल पर खपत ईंधन, कि.ग्रा.	1.33	1.22	8.27 (कमी)
प्रति कि.ग्रा. जल वाष्पीकरण में समय आवश्यकता, घंटे	0.36	0.34	5.56 (कमी)

ईबीडी का स्केल-अप मॉडल

ईबीडी का एक स्केल-अप मॉडल विकसित किया गया और आईआईएसआर 2-पैन गुड़ भट्टी में स्थापित किया गया। ईबीडी के प्रदर्शन का मूल्यांकन अपशिष्ट ऊष्मा पुनर्प्राप्ति प्रणाली के संयोजन में किया गया (अनाम, 2020)। दोनों प्रणालियाँ पाइपलाइनों के माध्यम से परस्पर जोड़ी गईं और वायु प्रवाह को नियंत्रित करने के लिए गेट वाल्व लगाए गए। भट्टी के प्रदर्शन का आकलन निम्नलिखित मापदंडों के आधार पर किया गया: प्रति इकाई खपत बगास पर वाष्पीकृत जल, प्रति इकाई वाष्पीकृत जल पर खपत बगास, जल वाष्पीकरण की दर और ऊष्मा उपयोग दक्षता आदि।

जब EBD पूरी तरह खुला और WHRS आधा खुला था, तब HUE और शुद्ध ऊर्जा लाभ (Net Energy Gain - NEG) क्रमशः 30.4% और 2.03 MJ/घंटा रहे। जब EBD और WHRS दोनों पूरी तरह खुले थे, तब HUE और NEG क्रमशः 28.2% और 4.82 MJ/घंटा रहे। इन दो परिचालन स्थितियों के अंतर्गत समग्र प्रणाली दक्षता क्रमशः 30.67% और 28.67% रही। हालांकि, अधिकतम ऊष्मा उपयोग दक्षता (33.32%) तब प्राप्त हुई जब EBD को अकेले संचालित किया गया। ये परिणाम यह दर्शाते हैं कि दोनों प्रणालियों ने, व्यक्तिगत रूप से और संयोजन में, भट्टी के ऊष्मीय प्रदर्शन में सुधार में योगदान दिया।

निष्कर्ष

भाकृअनुप-भारतीय गन्ना अनुसंधान संस्थान, लखनऊ में किए गए अध्ययनों ने स्पष्ट रूप से यह प्रदर्शित किया कि व्यवस्थित डिज़ाइन और प्रक्रिया संशोधनों के माध्यम से पारंपरिक खुले पैन वाली गुड़ भट्टियों की ऊर्जा दक्षता में पर्याप्त सुधार संभव है। अनुकूलित समानांतर फिन (Parallel Fins) लगाकर ऊष्मा ग्रहण करने वाली सतह के क्षेत्रफल में वृद्धि करने से जल वाष्पीकरण दर, ऊष्मा उपयोग दक्षता, बगास की बचत और गुड़ की उत्पादकता में उल्लेखनीय सुधार हुआ। अनुकूलन अध्ययनों ने यह पुष्टि की कि समान सतह क्षेत्रफल वृद्धि के लिए कम संख्या में बड़े फिन की तुलना में अधिक संख्या में छोटे फिन अधिक प्रभावी रहे।

अपशिष्ट ऊष्मा पुनर्प्राप्ति प्रणाली ने सुखाने और स्थान-अनुकूलन जैसे उपयोगी कार्यों के लिए फ्लू गैस ऊष्मा की आंशिक पुनर्प्राप्ति को सक्षम बनाया, जिससे समग्र ऊर्जा उपयोग में सुधार हुआ। दक्षता वर्धक उपकरण ने दहन विशेषताओं में सुधार किया, लपट-पैन अन्योन्यक्रिया बढ़ाई, ईंधन की खपत कम की और ऊष्मा स्थानांतरण को बेहतर बनाया, तथा स्केल-अप मॉडल में और अधिक लाभ देखे गए।

सामूहिक रूप से, इन हस्तक्षेपों ने दहन दक्षता, ऊष्मा स्थानांतरण और ऊर्जा पुनर्प्राप्ति में सुधार करके पारंपरिक गुड़ भट्टियों की प्रमुख अक्षमताओं को दूर किया। संशोधित पैन, EBD और WHRS के एकीकृत अनुप्रयोग से असंगठित क्षेत्र में बगास की खपत कम करने, ऊष्मीय दक्षता बढ़ाने, उत्पादकता में वृद्धि करने और गुड़ उत्पादन प्रणालियों की स्थिरता में सुधार के लिए एक व्यावहारिक और तकनीकी रूप से व्यवहार्य दृष्टिकोण प्राप्त होता है।