

Theory & Objective

Thoroughly Revised & Improved Edition

Thermodynamics Application (I.C. Engine, RAC & Power Plant)

*By
Team of
Engineers Academy*

- State Engineering Services Examinations.
- Public Sector Examinations.
- JEn (UPSSSC, SSC, RRB & State Level)
- Other Technical JEn Competitive Exams.

CONTENTS

S.No.	Topic	Page No.
1.	Refrigeration & Air Conditioning	1 - 46
1.	प्रशीतन (Refrigeration)	1 - 12
	अभ्यास प्रश्न (Practice Sheet)	13 - 25
2.	वातानुकूलन (Air Conditioning)	26 - 36
	अभ्यास प्रश्न (Practice Sheet)	37 - 46
2.	Power Plant	47 - 177
3.	संपीडक, गैस टरबाइन तथा जेट इंजन	47 - 71
	(Compressor, Gas Turbine & Jet Engines)	
	अभ्यास प्रश्न (Practice Sheet)	72 - 96
4.	भाप जनित्र, इंजन, नाजल्स तथा टरबाइन्स.....	97 - 149
	(Steam Boilers, Engines, Nozzles & Turbines)	
	अभ्यास प्रश्न (Practice Sheet)	150 - 177
3.	I.C. Engine	178 - 214
5.	अन्तर्दहन इंजन (I.C. Engines)	178 - 190
	अभ्यास प्रश्न (Practice Sheet)	191 - 214



प्रशीतन (REFRIGERATION)

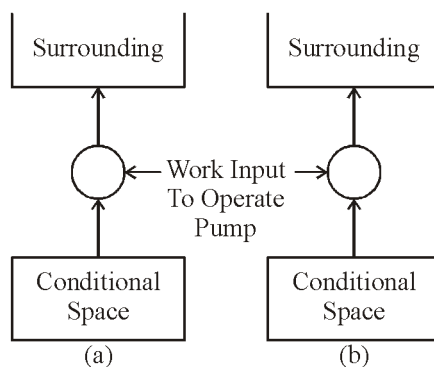
THEORY

प्रस्तावना (Introduction)

प्रशीतन ठण्डा (cold) अथवा निम्न तापमान पैदा करने का एक प्रक्रम (process) है। प्रशीतन प्रक्रम (refrigeration process) में हम एक वस्तु से उसके चारों तरफ के गर्म वातावरण में ऊष्मा का निष्कर्षण (remove heat) करते हैं। दूसरे शब्दों में किसी पदार्थ अथवा निकाय (system) से ऊष्मा निकालने का प्रक्रम जिससे पदार्थ या निकाय को ठण्डा रखा जा सके, प्रशीतन (refrigeration) कहलाता है। इस प्रक्रिया में कम तापमान क्षेत्र (low temperature region) अर्थात् जहाँ ऊष्मा की आवश्यकता नहीं है से ऊष्मा को निकाला जाता है तथा इसे उच्च तापमान क्षेत्र (high temperature region) जहाँ उसका कोई फर्क नहीं पड़ता को स्थानान्तरित किया जाता है।

प्रशीतन किसी सिस्टम को उसके चारों तरफ के तापमान से नीचे ठण्डा करने की विधि है अथवा प्रशीतन (refrigeration) वह विज्ञान है, जिसमें किसी निकाय का तापमान उसके आस-पास के वातावरण (surroundings) से कम करके लगातार बनाये रखा जाता है।

वह मशीन जिससे प्रशीतन का कार्य लिया जाता है प्रशीतन यन्त्र (Refrigerator) कहलाता है। किसी भी सिस्टम का लगातार कम तापमान बनाये रखने के लिये यह आवश्यक है कि ऊष्मा को लगातार सिस्टम से निकाला जाये क्योंकि बाहर से लगातार ऊष्मा के लीक करते रहने तथा निकाय में रखे जाने वाले पदार्थों की ऊष्मा भी निकाय के तापमान को बढ़ाती है। ऐसे स्थानों पर जहाँ उसके आस-पास का तापमान निकाय के तापमान से कम है, उस दिशा में निकाय से ऊष्मा निकालने के स्थान पर निकाय को ऊष्मा देनी होगी। यह युक्ति जिससे ऊष्मा दी जाती है, हीट पम्प (heat pump) कहलाती है। प्रशीतन (refrigeration) में सिस्टम से ऊष्मा बाहर निकाली जाती है जबकि हीट पम्प में उसके आस-पास से सिस्टम में ऊष्मा भेजी जाती है। रेफ्रिजरेटर को हीट पम्प की तरह कार्य करने के लिये उसकी कार्य दिशा विपरीत करनी होगी। चित्र (अ) तथा (ब) में क्रमशः रेफ्रिजिरेशन तथा हीट पम्प का कार्य सिद्धान्त स्पष्ट किया गया है। हीट पम्प का कार्य ऊष्मा ऊर्जा को ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित करना है। हीट पम्प, हीट इन्जन के विपरीत (reverse) है, क्योंकि प्राकृतिक उपायों से ऊष्मा ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित नहीं हो सकती है। सभी प्रकार से रेफ्रिजरेटर हीट पम्प हैं।



चित्र : (a) रेफ्रिजिरेशन सिस्टम, (b) हीट पम्प

रेफ्रिजिरेशन के अनुप्रयोग (Application of Refrigeration)

आधुनिक जीवन में रेफ्रिजिरेशन का उपयोग मानव को पालने में रखने से दाह संस्कर (cradle to cremation) तक होता है। पिछले कुछ दशकों में रेफ्रिजिरेशन उद्योग ने वृहद रूप ले लिया है तथा शीघ्रता से इसका विस्तार हो रहा है। अब यह महसूस किया जाने लगा है कि रेफ्रिजिरेशन का उपयोग विलास (luxury) नहीं है वरन् समाज के लिये आवश्यकता है। रेफ्रिजिरेशन के उपयोगों को निम्न श्रेणियों में वर्णित किया गया है—

(i) घरेलू रेफ्रिजिरेशन (Domestic Refrigeration)— इसके अन्तर्गत इसका उपयोग मुख्यतया घरों में खाने-पीने की वस्तुओं, मैडिकल स्टोर्स में दवाइयों को विभिन्न तापक्रमों पर रखने आदि के लिये किया जाता है।

(ii) व्यावसायिक रेफ्रिजिरेशन (Commerical Refrigeration)— सभी प्रकार की शीघ्र खराब होने वाली वस्तुओं के Storing, displaying, processing तथा Dispensing करने के लिये रिटेल स्टोर्स, रेस्टोरेन्ट, होटल तथा संस्थाओं में इसका प्रयोग किया जाता है।

(iii) औद्योगिक रेफ्रिजिरेशन (Industrial Refrigeration)— इसका उपयोग विशेष प्रकार के औद्योगिक प्लांटों जैसे—आइस प्लांट, बड़े फूड प्लांट, खाने की सामग्री, मदिरा, पेय, माँस, poulltry product सहित तेल शोधक कारखानों रासायनिक प्लांट, रबर प्लांट आदि में किया जाता है। औद्योगिक रेफ्रिजिरेशन में वे प्लांट भी सम्मिलित हैं जो उत्पादन प्रक्रमों, हीट ट्रीटमेन्ट, फूड प्रोसेसिंग, फार्म एवं अन्य उत्पाद, टेक्सटाइल्स की प्रोसेसिंग, प्रिंटिंग कार्य, फोटो ग्राफिक पदार्थ, निर्माण इन्जीलियरिंग आदि से सम्बन्धित हैं।

(iv) ट्रॉसपोर्ट रेफ्रिजिरेशन (Transport Refrigeration)— इस श्रेणी के अन्तर्गत कुछ अनुप्रयोग, व्यावसायिक तथा कुछ औद्योगिक रेफ्रिजिरेशन के अन्तर्गत आते हैं। खराब हो जाने वाली वस्तुओं को ले जाने वाली वैसल्स (vessels) का रेफ्रिजिरेशन मेरिन रेफ्रिजिरेशन कहलाता है। ट्रॉसफार्मर रेफ्रिजिरेशन के अन्तर्गत ट्रक, लम्बी दूरी तथा स्थानिक ट्रॉसपोर्ट तथा रेलवे कार आदि का रेफ्रिजिरेशन आता है।

(v) ट्रॉसपोर्ट रेफ्रिजिरेशन (Transport Refrigeration)— इस श्रेणी के अन्तर्गत कुछ अनुप्रयोग, व्यावसायिक तथा कुछ औद्योगिक रेफ्रिजिरेशन के अन्तर्गत आते हैं। खराब हो जाने वाली वस्तुओं को ले जाने वाली वैसल्स (vessels) को रेफ्रिजिरेशन मोरिन रेफ्रिजिरेशन कहलाता है। ट्रॉसफार्मर रेफ्रिजिरेशन के अन्तर्गत ट्रक, लम्बी दूरी तथा स्थानिक ट्रॉसपोर्ट तथा रेलवे कार आदि का रेफ्रिजिरेशन आता है।

(vi) कम्फर्ट एयर कंडीशनिंग (Comfort Air Conditioning)— मानव के आराम के लिये वायु का अनुकूलन कम्फर्ट एयर कंडीशनिंग कहलाता है। इसके अन्तर्गत निवासियों के लिये आरामदायक एवं स्वस्थ शर्तों को उत्पन्न करना आता है। इसके अन्तर्गत आवासों, कार्यालयों, स्टोर्स, थियेटर्स, हॉस्पिटल आदि का वातानुकूलन आता है।

(vii) कम्प्यूटर कक्ष एवं परीक्षण प्रयोगशालाओं का प्रशीतन (computer room and test labs)— कम्प्यूटर कक्षों में कम्प्यूटर्स के सुचारु रूप से कार्य करने के लिये वायु का निश्चित तापक्रम, आर्द्रता आदि बनाये रखने के लिये प्रशीतन आवश्यक है।

रेफ्रिजिरेशन की इकाई (Unit of Refrigeration)

किसी वस्तु अथवा निकाय से एक निश्चित समय में निष्कासित की गई ऊष्मा प्रशीतन प्रभाव (refrigeration effect) कहलाती है। रेफ्रिजिरेशन प्लांट की क्षमता (capacity) को प्रशीतन टन (tons of refrigeration) में प्रदर्शित किया जाता है। एक रेफ्रिजिरेशन टन, 24 घण्टे में 0°C जल से 1000 किग्रा. बर्फ (0°C पर) बनाने में आवश्यक ऊष्मा कहलाता है। बर्फ की गुप्त ऊष्मा 80 K cal/Kg (334.94 KJ/Kg) है।

$$\text{एक रेफ्रिजिरेशन टन} = \frac{1000 \times 80}{24 \times 60} = 55.5 \text{ K cal/min}$$

अतः दूसरे शब्दों में ऐसी युक्ति जिसके द्वारा एक स्रोत (source) से 55.5 K cal/min ऊष्मा निकाली जा सके, स्रोत क्षमता एक टन होती है। हालांकि, सुविधा के लिये मीट्रिक यूनिट में एक रेफ्रिजिरेशन टन का मान 50 K cal/min अथवा 3000 K cal/hr लिया जाता है। S.I. यूनिट में टन का प्रयोग नहीं किया जाता है तथा प्लान्ट की क्षमता को Refrigeration effect के KW में व्यक्त किया जाता है।

अर्थात् एक रेफ्रिजिरेशन टन = 3.516 KJ/S
= 3.5 KW

निष्पादन गुणांक (Co-efficient of Performance)

किसी सिस्टम से निकाली गई ऊष्मा अथवा रेफ्रिजिरेशन प्रभाव (refrigeration effect) एवं किये गये कार्य के अनुपात को C.O.P. कहते हैं। रेफ्रिजिरेटर में रेफ्रिजिरेशन प्रभाव उत्पन्न करने के लिये बाह्य ऊर्जा को देना आवश्यक है यह कार्य संपीडक (compressor) द्वारा किया जाता है। C.O.P. का मान सदैव 1 से अधिक होता है जबकि वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम के लिये C.O.P. का मान 1 से कम हो सकता है।

$$C.O.P. = \frac{\text{सिस्टम से निकाली गई ऊष्मा अथवा रेफ्रिजिरेशन प्रभाव}}{\text{किया गया यान्त्रिक कार्य}}$$

$$(C.O.P.)_{ref} = \frac{Q}{W} \quad \dots(1)$$

उपरोक्त सूत्र में Q तथा W की यूनिट समान ली जाती है।

जब सिस्टम हीट पम्प के रूप में कार्य करता है तथा उच्च तापमान से ऊष्मा ली जाती है। तब हीट पम्प का C.O.P. निम्न प्रकार व्यक्त किया जाता है।

$$(C.O.P.)_{hp} = \frac{\text{उच्च तापमान पर ली गई ऊष्मा (हीटिंग प्रभाव)}}{\text{कार्य इनपुट}}$$

$$= \frac{\text{किया गया कार्य} + \text{रेफ्रिजिरेशन प्रभाव}}{\text{किया गया कार्य}}$$

$$= \frac{W + Q}{W} = 1 + C.O.P._{ref} \quad \dots(2)$$

रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (Refrigeration System)

वैसे तो कई प्रकार के रेफ्रिजिरेशन सिस्टम प्रयोग किये जाते हैं परन्तु निम्न प्रकार के रेफ्रिजिरेशन सिस्टम महत्वपूर्ण हैं—

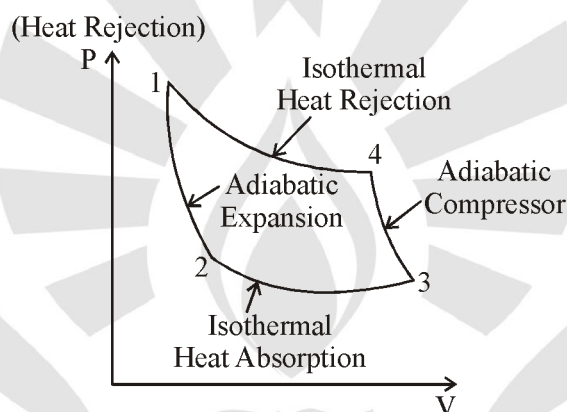
- (i) वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (Air Refrigeration System)
- (ii) वाष्प संपीडन रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (Vapour Compression Refrigeration System)
- (iii) वाष्प अवशोषण रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (Vapour Absorption Refrigeration System)
- (i) वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (Air Refrigeration System)

वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम में वायु कार्यकारी पदार्थ अथवा माध्यम के रूप में प्रयोग की जाती है। इसमें वायु प्रशीतक (refrigerant) के रूप में प्रयोग में आती है। जिसका लाभ यह है कि वायु प्रचुर मात्रा में बिना किसी मूल्य के उपलब्ध होती है

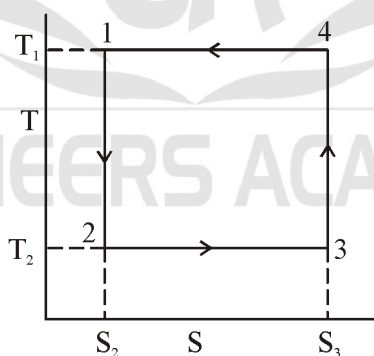
तथा इसके जीवन से किसी प्रकार की हानि नहीं होती। सैद्धान्तिक रूप में वायु एक निम्न श्रेणी का प्रशीतक है। वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम का C.O.P. काफी कम होता है। वायु में सदैव जल वाष्प के मिले होने तथा इसके निम्न तापमान पर द्रवित होकर जम जाने से पाइप लाइन अवरुद्ध हो जाती है जिससे रेफ्रिजिरेशन प्रभाव कम उत्पन्न होता है। इस सिस्टम का प्रयोग अब कम होता है। यह सिस्टम प्रतिवर्ती कॉर्नोट चक्र (reversed carnot cycle) पर कार्य करते हैं।

प्रतिवर्ती कॉर्नोट रेफ्रिजिरेशन चक्र (Reversed Carnot Refrigeration Cycle)— यह एक कॉर्नोट वायु रेफ्रिजिरेशन चक्र है जो प्रतिवर्ती कॉर्नोट चक्र है जिसका C.O.P. अधिकतम होता है। इसे चित्र (a तथा b) में क्रमशः p-v तथा T-S आरेखों पर प्रदर्शित किया गया है। इस चक्र में चार प्रतिवर्ती (reversed) प्रक्रियाएँ होती हैं जो निम्न प्रकार हैं—

- 1-2 – रुद्धोष्म प्रसार (Isentropic expansion)
- 2-3 – आइसोथर्मल अथवा समतापीय ऊष्मा अवशोषण (रेफ्रिजिरेशन प्रभाव)
- 3-4 – रुद्धोष्म संपीडन (Isentropic compression)
- 4-1 – आइसोथर्मल अथवा समतापीय ऊष्मा परित्याग (Heat rejection)



चित्र : (a) कॉर्नोट प्रशीतन चक्र (p-v)



चित्र : (b) कॉर्नोट प्रशीतन चक्र (T-s)

इस चक्र पर आधारित सिस्टम के चार मूल घटक होते हैं जो चित्र में दिखाये गये हैं।

- (i) संपीडक (Compressor)
- (ii) हीट रिजेक्शन युक्ति (Heat Rejection Device)
- (iii) प्रसार युक्ति (Expansion Device coupled to compressor)

PRACTICE SHEET

OBJECTIVE QUESTIONS (वस्तुनिष्ठ प्रश्न)

1. ठण्डा (cold) अथवा निम्न तापमान (low temperature) पैदा करने के प्रक्रम (process) को कहते हैं—
 (a) एयर कन्डिशनिंग (Air-conditioning)
 (b) रेफ्रिजिरेशन (Refrigeration)
 (c) समतापीय (Iso-thermal)
 (d) रुद्धोष्म (Adiabatic)
2. जिसके द्वारा कम तापमान क्षेत्र से ऊष्मा को निकाला जाता है तथा उसे उच्च तापमान क्षेत्र को स्थानांतरित किया जाता है, कहलाता है—
 (a) रेफ्रिजिरेटर (Refrigerator)
 (b) एयर कन्डिशनर (Air-Conditioner)
 (c) हीट पम्प (Heat Pump)
 (d) हीट इंजन (Heat Engine)
3. वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम इस चक्र (cycle) पर कार्य करते हैं—
 (a) कॉर्नॉट चक्र (Carnot cycle)
 (b) ऑटो चक्र (Otto-cycle)
 (c) प्रतिवर्ती कॉर्नॉट चक्र (Reversed Carnot cycle)
 (d) उपरोक्त में से कोई नहीं
4. रेफ्रिजिरेशन सिस्टम का कौन-सा अवयव (component) रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) को नियन्त्रित करता है—
 (a) इवैपोरेटर (evaporator)
 (b) संपीडक (compressor)
 (c) प्रसार युक्ति (expansion device)
 (d) कन्डेन्सर (condenser)
5. रेफ्रिजिरेशन सिस्टम में रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) इस पर ऊष्मा रिजेक्ट करता है—
 (a) कन्डेन्सर (condenser)
 (b) संपीडक (compressor)
 (c) प्रसार वाल्व (expansion valve)
 (d) इवैपोरेटर (evaporator)
6. रेफ्रिजिरेशन सिस्टम में रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) किस पर ऊष्मा प्राप्त करता है—
 (a) कन्डेन्सर (condenser)
 (b) इवैपोरेटर (evaporator)
 (c) संपीडक (compressor)
 (d) ब्रसार वाल्व (expansion valve)
7. वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम में यह कार्यकारी पदार्थ अथवा माध्यम के रूप में प्रयोग की जाती है—
 (a) जल (water)
 (b) जल वाष्प (water vapour)
 (c) रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant)
 (d) वायु (air)
8. एक रेफ्रिजिरेशन टन (refrigeration ton) का लगभग मान होता है—
 (a) 5.5 KW (b) 35.5 KW
 (c) 3.5 KW (d) 55.5 KW
9. वायु रेफ्रिजिरेशन सिस्टम के C.O.P. को निम्न सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है—
 (a) $\frac{T_1}{T_1 - T_2}$ (b) $\frac{T_2}{T_1 - T_2}$
 (c) $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ (d) $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$
 जहाँ T_1 व T_2 क्रमशः उच्च व निम्न तापमान हैं।
10. वाष्प संपीडन रेफ्रिजिरेशन सिस्टम (vapour compression refrigeration system) में रेफ्रिजिरेन्ट इनके बीच द्रव अवस्था (liquid state) अथवा अत्यन्त आर्द्र वाष्प (very wet vapour) में होता है—
 (a) कन्डेन्सर व प्रसार वाल्व
 (b) संपीडक व कन्डेन्सर
 (c) इवैपोरेटर व कन्डेन्सर
 (d) प्रसार वाल्व व इवैपोरेटर

11. किसी कॉर्नोट रेफ्रिजिरेशन चक्र का उच्च तापमान T_1 300°K से 320°K कर दिया जाये जबकि निम्न तापमान (T_2) 270°K रखा जाता है। C.O.P. में प्रतिशत कमी होगी—
 (a) 20% (b) 30%
 (c) 50% (d) 40%
12. निम्न में कौन-सा अवयव (element) वाष्प संपीडन रेफ्रिजिरेशन सिस्टम से सम्बन्धित नहीं है—
 (a) संपीडक (compressor)
 (b) ईवपोरेटर (evaporator)
 (c) कन्डेन्सर (condenser)
 (d) प्रसरण टरबाइन (expansion turbine)
13. इसमें कूलिंग प्रभाव (cooling effect) अथवा रेफ्रिजिरेशन प्रभाव (refrigeration effect) प्राप्त होता है—
 (a) ईवपोरेटर (evaporator)
 (b) कन्डेन्सर (condenser)
 (c) संपीडक (compressor)
 (d) प्रसारण युक्ति (expansion device)
14. वाष्प संपीडन चक्र (vapour compression cycle) के इस अवयव (element) में रेफ्रिजिरेन्ट द्वारा Surrounding medium को अपनी गुप्त ऊष्मा परित्याग (reject) की जाती है—
 (a) ईवपोरेटर (evaporator)
 (b) संपीडक (compressor)
 (c) कन्डेन्सर (condenser)
 (d) प्रसारण वाल्व (expansion valve)
15. घरेलू कार्यों (domestic purpose) के लिये प्रायः यह रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) प्रयोग किया जाता है—
 (a) CO_2 (b) SO_2
 (c) NH_3 (d) उपरोक्त में से कोई नहीं
16. घरेलू रेफ्रिजिरेटर में प्रायः यह प्रसरण युक्ति (expansion device) के रूप में प्रयोग की जाती है—
 (a) प्रसरण वाल्व (expansion valve)
 (b) प्रसरण टरबाइन (expansion turbine)
 (c) कैपिलरी ट्यूब (capillary tube)
 (d) थर्मोस्टैटिक प्रसार वाल्व (thermostatic expansion valve)
17. घरेलू कार्यों (domestic purpose) के लिये रेफ्रिजिरेन्ट में यह गुण अत्यन्त महत्वपूर्ण है—
 (a) नॉन कोरोसिव (non-corrosive)
 (b) अविषालु (Non-toxic)
 (c) अज्वलनशील (In-flammable)
 (d) उच्च गुप्त ऊष्मा (high latent heat)
18. सील्ड घरेलू रेफ्रिजिरेटर में यह रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) के रूप में अधिक लोकप्रिय है—
 (a) F-11 (b) F-22
 (c) F-12 (d) F-500
19. वाष्प अवशोषण सिस्टम (vapour absorption system) में प्रायः यह रेफ्रिजिरेन्ट प्रयोग किया जाता है—
 (a) SO_2 (b) CO_2
 (c) F-11 (d) NH_3
20. एक रेफ्रिजिरेन्ट (refrigerant) में यह गुण होना चाहिये—
 (a) वाष्प अवस्था में उच्च विशिष्ट आयतन
 (b) उच्च द्रव विशिष्ट ऊष्मा
 (c) निम्न गुप्त ऊष्मा
 (d) उच्च गुप्त ऊष्मा
21. अपकेन्द्रीय संपीडक (centrifugal compressor) के साथ उसके उच्च क्वथनांक (boiling point) तापमान के कारण कौन-सा रेफ्रिजिरेन्ट प्रयोग किया जा सकता है—
 (a) F-11 (b) F-22
 (c) CO_2 (d) NH_3
22. किस रेफ्रिजिरेन्ट के साथ स्टील पाइपिंग, फिटिंग तथा जोड़ प्रयोग किये जाते हैं—
 (a) SO_2 (b) NH_3
 (c) CO_2 (d) F-12
23. निम्न में से कौन-सा द्वितीयक रेफ्रिजिरेन्ट (secondary refrigerant) है—
 (a) CO_2
 (b) SO_2
 (c) NH_3
 (d) ठण्डा जल (chilled water)

ANSWERS SHEET (उत्तर सूची)

1. Ans. (b)	31. Ans. (c)	61. Ans. (c)	91. Ans. (a)	121. Ans. (b)
2. Ans. (a)	32. Ans. (d)	62. Ans. (a)	92. Ans. (d)	122. Ans. (a)
3. Ans. (c)	33. Ans. (c)	63. Ans. (b)	93. Ans. (d)	123. Ans. (b)
4. Ans. (c)	34. Ans. (b)	64. Ans. (b)	94. Ans. (d)	124. Ans. (b)
5. Ans. (a)	35. Ans. (d)	65. Ans. (c)	95. Ans. (b)	125. Ans. (a)
6. Ans. (b)	36. Ans. (a)	66. Ans. (d)	96. Ans. (b)	126. Ans. (a)
7. Ans. (d)	37. Ans. (c)	67. Ans. (b)	97. Ans. (b)	127. Ans. (a)
8. Ans. (c)	38. Ans. (c)	68. Ans. (c)	98. Ans. (b)	128. Ans. (b)
9. Ans. (b)	39. Ans. (b)	69. Ans. (a)	99. Ans. (c)	129. Ans. (b)
10. Ans. (a)	40. Ans. (b)	70. Ans. (c)	100. Ans. (b)	130. Ans. (b)
11. Ans. (d)	41. Ans. (c)	71. Ans. (c)	101. Ans. (c)	131. Ans. (a)
12. Ans. (d)	42. Ans. (d)	72. Ans. (b)	102. Ans. (a)	132. Ans. (b)
13. Ans. (a)	43. Ans. (c)	73. Ans. (c)	103. Ans. (a)	133. Ans. (a)
14. Ans. (c)	44. Ans. (b)	74. Ans. (c)	104. Ans. (b)	134. Ans. (b)
15. Ans. (d)	45. Ans. (a)	75. Ans. (b)	105. Ans. (b)	135. Ans. (a)
16. Ans. (c)	46. Ans. (b)	76. Ans. (c)	106. Ans. (b)	136. Ans. (a)
17. Ans. (b)	47. Ans. (c)	77. Ans. (d)	107. Ans. (b)	137. Ans. (b)
18. Ans. (c)	48. Ans. (a)	78. Ans. (b)	108. Ans. (b)	138. Ans. (a)
19. Ans. (d)	49. Ans. (b)	79. Ans. (d)	109. Ans. (d)	139. Ans. (a)
20. Ans. (d)	50. Ans. (b)	80. Ans. (c)	110. Ans. (d)	140. Ans. (a)
21. Ans. (a)	51. Ans. (a)	81. Ans. (d)	111. Ans. (c)	141. Ans. (a)
22. Ans. (b)	52. Ans. (b)	82. Ans. (a)	112. Ans. (b)	142. Ans. (a)
23. Ans. (d)	53. Ans. (b)	83. Ans. (b)	113. Ans. (a)	143. Ans. (a)
24. Ans. (d)	54. Ans. (b)	84. Ans. (a)	114. Ans. (a)	144. Ans. (a)
25. Ans. (d)	55. Ans. (c)	85. Ans. (d)	115. Ans. (b)	145. Ans. (a)
26. Ans. (a)	56. Ans. (c)	86. Ans. (c)	116. Ans. (c)	146. Ans. (a)
27. Ans. (d)	57. Ans. (c)	87. Ans. (a)	117. Ans. (a)	147. Ans. (a)
28. Ans. (c)	58. Ans. (c)	88. Ans. (b)	118. Ans. (a)	148. Ans. (a)
29. Ans. (d)	59. Ans. (d)	89. Ans. (c)	119. Ans. (a)	149. Ans. (a)
30. Ans. (a)	60. Ans. (b)	90. Ans. (d)	120. Ans. (b)	150. Ans. (b)

○○○



संपीडक, गैस टरबाइन तथा जैट इंजन (COMPRESSOR, GAS TURBINE & JET ENGINES)

THEORY

परिचय (Introduction)

वायु संपीडक वायु को वायुमण्डल से अधिक दाब तक संपीडित करने के लिये प्रयुक्त किये जाते हैं। पिस्टन के चूषण आघात के दौरान वायुमण्डलीय हवा सिलिण्डर में जाती है तथा वापसी आघात में पिस्टन द्वारा संपीडित की जाती है। पिस्टन एक प्राइम मूवर, जो डीजल इंजन अथवा विद्युत मोटर हो सकता है, से चलाया जाता है। संपीडक (compressor) द्वारा उत्पन्न उच्च दाब वायु को निम्न औद्योगिक कार्यों के लिये प्रयुक्त किया जाता है—

- (i) कोयले की खानों में सुरक्षा की दृष्टि से प्रयोग की जाने वाली वायुमोटर्स को चलाने के लिये।
- (ii) कार्यशालाओं में Airblast उत्पन्न करने अथवा डीजल इंजन के सिलिण्डर में ईंधन Spray करने के लिये।
- (iii) वायुवीय मशीनों जैसे—ड्रिल, लोकोमोटिव के लिये Pneumatic brakes, पम्प तथा Spray painting आदि को चलाने के लिये।
- (iv) बड़े आकार के भवनों को ठण्डा करने के लिये।
- (v) स्टील प्लान्ट आदि में प्रयोग में आने वाले Bessemer convertors, ब्लास्ट फर्नेस तथा गैस टरबाइन प्लान्ट को चलाने के लिये।
- (vi) अन्तर्दहन इंजनों के Scavenging तथा Super charging के लिये।
- (vii) Complicated casting को साफ करने में।
- (viii) पाइप लाइन में ठोस (Solid) एवं पाउडर पदार्थ को ले जाना।

वायु संपीडक का वर्गीकरण (Classification of Air Compressor)

वायु संपीडकों को विस्तार में निम्न प्रकार से वर्गीकृत किया जा सकता है—

- (i) मेकेनिज्म के प्रकार के आधार पर (On the Type of Mechanism)
 - (अ) पश्चाग्र संपीडक (Receproating compressors)— पिस्टन पश्चाग्र गति कर संपीडन करता है।
 - (ब) रोटरी संपीडक (Rotary Compressors)— पिस्टन घुमाऊ गति कर संपीडन करता है।
- (ii) वायु प्रवाह के प्रकार के आधार पर (One the Type of Air flow)
 - (अ) धनात्मक विस्थापन (Positive Displacement)— कम मात्रा में उच्च दाब पर वायु प्राप्त की जा सकती है।
 - (ब) अधनात्मक विस्थापन (Non-postive Displacement or Steady flow)— कम दाब वाली अधिक मात्रा में वायु प्राप्त की जा सकती है।
- (iii) क्रिया के आधार पर (On the Type of Acting)
 - (अ) एकल क्रिया (Single Acting)— पिस्टन के एक ओर से संपीडित वायु प्राप्त होती है।
 - (ब) द्वि-क्रिया (Double Acting)— पिस्टन के दोनों ओर से संपीडित वायु प्राप्त होती है।

(iv) संपीडन सिलिण्डरों की संख्या अथवा अवस्था के आधार पर (On the Type of Stage Compression)

(अ) एकल अवस्था (Single Stage)– वायु केवल एक सिलिण्डर में संपीडित की जाती है।

(ब) द्वि-अवस्था (Double stage)– वायु दो सिलिण्डर में संपीडित की जाती है।

(स) बहु-अवस्था (Multi-stage)– वायु तीन अथवा अधिक सिलिण्डरों में संपीडित की जाती है।

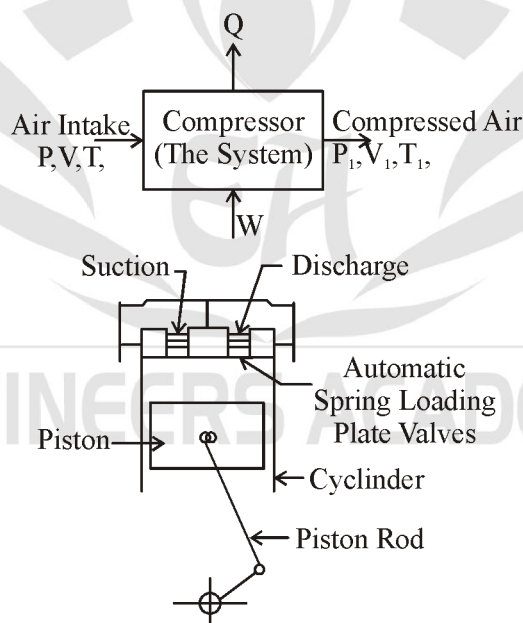
(v) शीतलन विधि के आधार पर (On the Type of Cooling Method)

(अ) वायु शीतलन (Air cooling)– वायु द्वारा सिलिण्डर को शीतलन किया जाता है। सिलिण्डर के चारों तरफ फिन्स बने होते हैं।

(ब) जल शीतलन (Water cooling)– शीतलन जल द्वारा किया जाता है। सिलिण्डर के चारों तरफ जल जैकेट बने रहते हैं।

पश्चाग्र संपीडक (Reciprocating Compressor)

पश्चाग्र संपीडक (reciprocating compressor) पश्चाग्र संपीडक इंजन की तरह ही कार्य करते हैं। इंजन की भाँति ही पिस्टन सिलिण्डर में पश्चाग्र गति करता है, परन्तु पिस्टन को गति, एक बाह्य शक्ति, जिसे प्राइममूवर कहते हैं, जो डीजल इंजन अथवा विद्युत मोटर हो सकता है, से दी जाती है। संपीडक में बाहर से कार्य देकर कार्यकारी पदार्थ (वायु) को संपीडित कर उच्च दाब वायु प्राप्त की जाती है। जबकि पश्चाग्र इंजन में कार्यकारी पदार्थ के प्रसार के कारण कार्य प्राप्त होता है तथा प्रसार के पश्चात् कार्यकारी पदार्थ का दाब कम हो जाता है। इस प्रकार वायु संपीडक को reversed reciprocating engine कहा जा सकता है। पश्चाग्र संपीडक एक धनात्मक विस्थापन (positive displacement) संपीडक है। यह कम गति करते हैं तथा इससे कम मात्रा में उच्च दाब पर वायु प्राप्त की जा सकती है। पश्चाग्र संपीडक एकल क्रिया (single acting) तथा द्वि-क्रिया संपीडक में संपीडित वायु पिस्टन के एक ओर से प्राप्त होती है जबकि द्वि-क्रिया संपीडक में वायु पिस्टन के दोनों ओर से प्राप्त होती है।



चित्र : पश्चाग्र वायु संपीडक का कार्य सिद्धान्त

पश्चाग्र संपीडक Single-stage, Double-stage अथवा Multi-stage के हो सकते हैं। Single-stage संपीडक में वायु केवल एक ही सिलिण्डर में संपीडित होती है। Double-stage संपीडक में वायु दो सिलिण्डरों में पूर्ण रूप से संपीडित होती है जबकि Multi-stage संपीडक में वायु को तीन अथवा अधिक सिलिण्डरों में उच्च दाब तक संपीडित किया जाता है। Single-stage संपीडक में वायु को लगभग 10 बार दाब तक संपीडित किया जाता है जबकि Multi-stage संपीडक में वायु का दाब 200 बार तक बढ़ाया जाता है। चित्र में पश्चाग्र संपीडक का रेखाचित्र दिखाया गया है।

रोटरी संपीडक (Rotary Compressor)

इनकी रचना घुमाऊ गति करने वाले अवयव से युक्त होती हैं जिसकी घुमाऊ गति से वायु को संपीडित किया जाता है। इनको उच्च गति वाले भाप टरबाइन अथवा गैस टरबाइनों से चलाया जाता है। इन संपीडकों से अपेक्षाकृत कम दाब वाली अधिक मात्रा में वायु प्राप्त की जा सकती है। औद्योगिक क्षेत्रों में विभिन्न रोटरी संपीडक जैसे—Roots blower एवं Vane pump प्रयोग किये जाते हैं।

पश्चाग्र संपीडक से सम्बन्धित मुख्य पद

(Terminology as applied to Recipro-cating Compressor)

(i) संपीडन अनुपात (Compression Ratio)

संपीडन के पश्चात् एवं पूर्व वायु दाब के अनुपात को संपीडन अनुपात कहते हैं। इसे 'r' से प्रदर्शित करते हैं। अतः

$$\text{संपीडन अनुपात} \quad (r) = \frac{\text{संपीडन के पश्चात् वायुदाब } (p_2)}{\text{संपीडन के पूर्व वायुदाब } (p_1)}$$

(ii) मुक्त वायु विस्थापन आयतन (Freeair Displacement Volume)

वायु का वह आयतन, जो संपीडक प्रवेश पर वायु के तापमान एवं दाब की अवस्था में deliver किया जाता है, उसे Free air displacement volume कहते हैं। इसे m^3/min में प्रदर्शित करते हैं। संपीडक प्रवेश पर वायु का दाब तथा तापमान की अवस्था न देने पर दाब $p = 1.01333$ बार तथा तापमान 15°C लिया जा सकता है।

(iii) संपीडक क्षमता (Capacity of Compressor)

संपीडक द्वारा डिलीवर किया हुआ मुक्त वायु का आयतन, संपीडक क्षमता कहलाती है। यह m^3/min में प्रदर्शित की जाती है।

(iv) पिस्टन विस्थापन (Piston Displacement)

पिस्टन के एक आघात में पिस्टन द्वारा विस्थापित आयतन पिस्टन विस्थापन कहलाता है।

$$\text{अतः} \quad \text{पिस्टन विस्थापन} = \text{पिस्टन क्षेत्रफल} \times \text{पिस्टन आघात } (\text{m}^3)$$

(v) विस्थापन प्रतिमिनट (Displacement per minute)

विस्थापन प्रति मिनट = पिस्टन विस्थापन (m^3) $\times$ कार्यकारी आघात प्रति मिनट Multi-stage संपीडक में यह विस्थापन निम्न दाब सिलिण्डर पर निर्भर करता है जबकि द्वि-क्रिया संपीडक में यह विस्थापन पिस्टन के द्वारा दोनों ओर चला आयतन होता है।

(vi) सूचित शक्ति अथवा वायुशक्ति (Indicated Power or Air Power)

संपीडक के वास्तविक सूचित आरेख से प्राप्त कार्य से सूचित शक्ति अथवा वायु शक्ति की गणना की जाती है।

(vii) शाफ्ट अथवा ब्रेक शक्ति (Shaft or Brake Power)

संपीडक को चलाने के लिये संपीडक के शाफ्ट पर दी गई शक्ति ब्रेक शक्ति कहलाती है।

$$\text{ब्रेक शक्ति} = \text{सूचित शक्ति} - \text{घर्षण शक्ति}$$

(viii) यांत्रिक दक्षता (Mechanical Efficiency)

यह सूचित शक्ति तथा ब्रेक शक्ति का अनुपात होती है।

$$\text{यांत्रिक दक्षता} = \frac{\text{सूचित शक्ति}}{\text{ब्रेक शक्ति}}$$

(ix) समतापीय शक्ति (Isothermal Power)

संपीडन क्रिया समतापीय विधि से मानते हुये तथा single stage संपीडक के लिये Clearance volume नगण्य लेते हुये

$$\begin{aligned}\text{समतापीय कार्य प्रतिचक्र} &= p_1 v_1 \log_e \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \\ &= \frac{p_1 v_1 \log_e \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \times N}{60 \times 1000} \text{ (KW)}\end{aligned}$$

जहाँ $N = \text{r.p.m.}$

(x) रुद्धोष्म शक्ति (Adiabatic Power)

संपीडन क्रिया रुद्धोष्म विधि से मानते हुये

रुद्धोष्म कार्य

$$\begin{aligned}(W) &= \frac{\gamma}{\gamma-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \\ &= \frac{\gamma}{\gamma-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{रुद्धोष्म शक्ति} &= \frac{W \times N}{60 \times 1000} \text{ KW (single acting)} \\ &= \frac{W \times 2N}{60 \times 1000} \text{ KW (double acting)}\end{aligned}$$

(xi) संपीडक दक्षता (Compressor Efficiency)

$$\text{संपीडक दक्षता} = \frac{\text{समतापीय शक्ति}}{\text{ब्रेक शक्ति}}$$

(xii) आयतनिक दक्षता (Volumetric Efficiency)

$$\text{आयतनात्मक दक्षता} = \frac{\text{प्रति आघात मुक्त हुई वायु का आयतन}}{\text{प्रति आघात पिस्टन द्वारा विस्थापित आयतन}}$$

Clearance volume के बढ़ने से आयतनात्मक दक्षता कम हो जाती है तथा आयतनात्मक दक्षता के कम होने से मुक्त वायु डिलीवरी मात्रा कम हो जाती है। पश्चात्त वायु संपीडक के लिये इसका मान 70 से 90% होता है।

(xiii) अन्तराल आयतनिक दक्षता (Clearance Volumetric Efficiency)

$$\text{अन्तराल आयतनात्मक दक्षता} = 1 - C \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

$$\text{Clearance ratio (c)} = \frac{V_c}{V_s}$$

PRACTICE SHEET**OBJECTIVE QUESTIONS (वस्तुनिष्ठ प्रश्न)**

- वह मशीन जिसके द्वारा वायु के दाब को बढ़ाया जाता है, उसे कहते हैं—
(a) वायु मोटर (Air motor)
(b) वायु संपीडक (Air compressor)
(c) गैस टरबाइन (Gas turbine)
(d) आई. सी. इंजन (I.C. Engine)
- संपीडन अनुपात (Ratio of compression) होता है—
(a) स्ट्रोक आयतन तथा क्लियरेन्स आयतन का अनुपात
(b) उसी तापमान पर विसर्जन (discharge) तथा चूषण (suction) पर दाबों का अनुपात
(c) परम डिस्चार्ज दाब तथा परम प्रवेश दाबों का अनुपात
(d) गेज डिस्चार्ज दाब तथा गेज प्रवेश दाबों का अनुपात
- संपीडक (compressor) का संपीडन अनुपात (compression ratio) का मान सदैव होता है—
(a) एक से कम
(b) एक से अधिक
(c) एक
(d) एक से कम अथवा अधिक
- संपीडक के निकास द्वारा (out let) पर वायु का परम दाब (absolute pressure) कहलाता है—
(a) डिस्चार्ज दाब (Discharge pressure)
(b) बैक दाब (Back pressure)
(c) क्रान्तिक दाब (Critical pressure)
(d) उपरोक्त में से कोई नहीं
- संपीडक द्वारा संपीडित वायु (compressed air) का प्रयोग किया जाता है—
(a) वायु चालित ड्रिल मशीन में (Pneumatic drills) में
(b) आई. सी. इंजनों के सुपर चार्जिंग में (Super charging)
(c) गैस टरबाइन (Gas turbine) प्लान्ट में
(d) उपरोक्त सभी में
- संपीडक के चूषण (Suction) पर वायु का दाब तथा तापमान (pressure and temperature) दशायेँ होती हैं—
(a) वायुमण्डलीय (atmospheric)
(b) वायुमण्डलीय से थोड़ी अधिक
(c) दाब वायुमण्डलीय से थोड़ा कम तथा तापमान वायुमण्डलीय से थोड़ा अधिक
(d) दाब, वायुमण्डलीय से थोड़ा अधिक तथा तापमान वायुमण्डलीय से थोड़ा कम
- मुक्त वायु (Free air) होती है—
(a) 0°C तथा मानक वायुमण्डलीय दशाओं पर वायु
(b) 15°C तथा 1 Kg/cm^2 दाब पर वायु
(c) किसी विशेष स्थल पर वायुमण्डलीय दशाओं पर वायु
(d) 25°C , 1 Kg/cm^2 तथा 50% सापेक्ष आर्द्रता (R.H) पर वायु
- मानक वायु (Standard air) होती है—
(a) 20°C , 1 Kg/cm^2 तथा 36% सापेक्ष आर्द्रता (R.H) पर वायु
(b) किसी विशेष स्थल पर वायुमण्डलीय दशाओं पर वायु
(c) 15°C , 1 Kg/cm^2 तथा 50% R.H पर वायु
(d) 15°C तथा 1 Kg/cm^2 पर वायु
- संपीडक की क्षमता (Capacity of compressor)—
(a) चूषण स्ट्रोक (suction stroke) के दौरान चूषित वायु के आयतन (volume) को कहते हैं
(b) संपीडक द्वारा डिस्चार्ज वायु के आयतन को कहते हैं
(c) स्वतन्त्र वायु के डिस्चार्ज को कहते हैं
(d) संपीडित वायु (compressed air) को कहते हैं
- संपीडक की क्षमता (capacity of compressor) को व्यक्त किया जाता है—
(a) m^3/hr में
(b) m^3/min में
(c) m^3/Kg में
(d) Kg/m^3 में
- वायु को संपीडित करने की सबसे दक्ष विधि है उसे संपीडित करना—
(a) रुद्धोष्मीय (adiabatically)
(b) समतापीय (Isothermally)
(c) आइसैनट्रॉपिक (Isentropically)
(d) पालीट्रॉपिक (Polytropically)

12. संपीडन स्ट्रोक (compression stroke) के प्रारम्भ में वायु का दाब होता है—
 (a) वायुमण्डलीय दाब से कम
 (b) वायुमण्डलीय दाब से अधिक
 (c) वायुमण्डलीय दाब के बराबर
 (d) वायुमण्डलीय दाब से कभी कम कभी अधिक
13. द्वि-क्रिया संपीडक (double acting compressor) में वायु को संपीडित किया जाता है—
 (a) एक सिलिण्डर में
 (b) दो सिलिण्डरों में
 (c) दो सिलिण्डरों में पिस्टन के दोनों तरफ
 (d) एक ही सिलिण्डर में पिस्टन के दोनों तरफ
14. संपीडक पर किया गया कार्य न्यूनतम होगा यदि वायु ली जाये—
 (a) वायुमण्डल से
 (b) उच्च तापमान की वायु के स्रोत से
 (c) कम तापमान की वायु के स्रोत से
 (d) 0°C वायु के स्रोत से
15. प्रति चक्र किये गये कार्य तथा संपीडक के स्ट्रोक आयतन का अनुपात कहलाता है—
 (a) संपीडक क्षमता (compressor capacity)
 (b) संपीडक दक्षता (compressor efficiency)
 (c) संपीडन अनुपात (compression ratio)
 (d) उपरोक्त में से कोई नहीं
16. वायु संपीडक (Air compressor) की आयतनात्मक दक्षता (Volumetric efficiency) होती है—
 (a) चूषित वायु के आयतन (volume of air sucked) तथा विस्थापन आयतन (displacement volume) का अनुपात
 (b) विस्थापन आयतन तथा चूषित वायु के आयतन का अनुपात
 (c) संपीडन के पूर्व वायु का आयतन तथा संपीडन के बाद वायु का आयतन का अनुपात
 (d) विस्थापन आयतन तथा क्लीयरेन्स आयतन का अनुपात
17. वायु संपीडक की आयतनात्मक दक्षता इस क्रम की होती है—
 (a) 90 – 100% (b) 70 – 90%
 (c) 60 – 70% (d) 30 – 50%
18. वायु का अन्तराल आयतन (Clearance volume) न्यूनतम रखा जाता है क्योंकि—
 (a) इसका परिणाम न्यूनतम कार्य होता है
 (b) यह समतापीय संपीडन (isothermal compression) अनुमत करता है
 (c) इससे आयतनात्मक दक्षता बहुत प्रभावित होती है
 (d) अधिकतम संपीडन प्राप्त होता है
19. संपीडक की आयतनात्मक दक्षता बिना क्लीयरेन्स आयतन के
 (a) संपीडन अनुपात पर निर्भर नहीं करती है
 (b) संपीडन अनुपात के बढ़ने पर कम होती है
 (c) संपीडन अनुपात के बढ़ने पर बढ़ती है
 (d) संपीडक की क्षमता के आधार पर कम अथवा अधिक हो सकती है
20. संपीडक की आयतनात्मक दक्षता क्लीयरेन्स आयतन के साथ—
 (a) संपीडन अनुपात के बढ़ने पर बढ़ती है
 (b) संपीडन अनुपात पर निर्भर नहीं करती है
 (c) संपीडन अनुपात के बढ़ने पर कम होती है
 (d) संपीडक की क्षमता के आधार पर कम अथवा अधिक हो सकती है
21. संपीडक की दक्षता (Efficiency) उच्चतम होगी यदि इसका प्रवेश तापमान (intake temperature) है—
 (a) उच्चतम (highest)
 (b) न्यूनतम (lowest)
 (c) वायुमण्डलीय (atmospheric)
 (d) कुछ भी (anything)
22. पश्चाग्र संपीडक (Reciprocating compressor) सबसे अधिक उपयोगी होते हैं—
 (a) उच्च दाब पर वायु की थोड़ी मात्रा के लिये
 (b) उच्च दाब पर वायु की अधिक मात्रा के लिये
 (c) निम्न दाब पर वायु की थोड़ी मात्रा के लिये
 (d) निम्न दाब पर वायु की अधिक मात्रा के लिये

ANSWERS SHEET (उत्तर सूची)

- | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1. Ans. (b) | 28. Ans. (b) | 55. Ans. (c) | 82. Ans. (d) | 109. Ans. (b) |
| 2. Ans. (c) | 29. Ans. (a) | 56. Ans. (b) | 83. Ans. (c) | 110. Ans. (d) |
| 3. Ans. (b) | 30. Ans. (c) | 57. Ans. (a) | 84. Ans. (a) | 111. Ans. (a) |
| 4. Ans. (a) | 31. Ans. (d) | 58. Ans. (c) | 85. Ans. (c) | 112. Ans. (c) |
| 5. Ans. (d) | 32. Ans. (a) | 59. Ans. (a) | 86. Ans. (c) | 113. Ans. (a) |
| 6. Ans. (c) | 33. Ans. (c) | 60. Ans. (b) | 87. Ans. (d) | 114. Ans. (d) |
| 7. Ans. (c) | 34. Ans. (a) | 61. Ans. (a) | 88. Ans. (a) | 115. Ans. (b) |
| 8. Ans. (a) | 35. Ans. (d) | 62. Ans. (a) | 89. Ans. (b) | 116. Ans. (b) |
| 9. Ans. (b) | 36. Ans. (b) | 63. Ans. (d) | 90. Ans. (b) | 117. Ans. (a) |
| 10. Ans. (b) | 37. Ans. (d) | 64. Ans. (b) | 91. Ans. (d) | 118. Ans. (a) |
| 11. Ans. (b) | 38. Ans. (a) | 65. Ans. (a) | 92. Ans. (b) | 119. Ans. (b) |
| 12. Ans. (a) | 39. Ans. (b) | 66. Ans. (b) | 93. Ans. (c) | 120. Ans. (d) |
| 13. Ans. (d) | 40. Ans. (c) | 67. Ans. (c) | 94. Ans. (a) | 121. Ans. (b) |
| 14. Ans. (c) | 41. Ans. (d) | 68. Ans. (a) | 95. Ans. (c) | 122. Ans. (c) |
| 15. Ans. (b) | 42. Ans. (a) | 69. Ans. (d) | 96. Ans. (a) | 123. Ans. (a) |
| 16. Ans. (a) | 43. Ans. (d) | 70. Ans. (a) | 97. Ans. (a) | 124. Ans. (c) |
| 17. Ans. (b) | 44. Ans. (b) | 71. Ans. (c) | 98. Ans. (b) | 125. Ans. (b) |
| 18. Ans. (c) | 45. Ans. (b) | 72. Ans. (b) | 99. Ans. (c) | 126. Ans. (b) |
| 19. Ans. (a) | 46. Ans. (d) | 73. Ans. (a) | 100. Ans. (d) | 127. Ans. (a) |
| 20. Ans. (c) | 47. Ans. (b) | 74. Ans. (b) | 101. Ans. (a) | 128. Ans. (d) |
| 21. Ans. (b) | 48. Ans. (b) | 75. Ans. (a) | 102. Ans. (d) | 129. Ans. (a) |
| 22. Ans. (a) | 49. Ans. (a) | 76. Ans. (d) | 103. Ans. (b) | 130. Ans. (c) |
| 23. Ans. (c) | 50. Ans. (c) | 77. Ans. (d) | 104. Ans. (b) | 131. Ans. (b) |
| 24. Ans. (a) | 51. Ans. (c) | 78. Ans. (b) | 105. Ans. (a) | 132. Ans. (b) |
| 25. Ans. (d) | 52. Ans. (b) | 79. Ans. (a) | 106. Ans. (c) | 133. Ans. (d) |
| 26. Ans. (d) | 53. Ans. (d) | 80. Ans. (b) | 107. Ans. (c) | 134. Ans. (c) |
| 27. Ans. (b) | 54. Ans. (b) | 81. Ans. (a) | 108. Ans. (b) | 135. Ans. (b) |