औद्योगिक पाइप और स्टक्चरल फैब्रिकेशन

संपूर्ण मास्टर हस्तपुस्तिका

12-मॉड्यूल संपूर्ण पाठ्यक्रम: थ्योरी, व्यावहारिक मानक, सचित्र लेआउट और फील्ड गणना नियम

📖 **विषय:** पाइपिंग इंजीनियरिंग एवं स्ट्रक्चरल स्टील फैब्रिकेशन

🔧 **स्तर:** बुनियादी से लेकर एडवांस स्तर (रिफाइनरी और कंस्ट्रक्शन प्रोजेक्ट्स मानकों हेतु)

📐 **मानक अनुपालन:** ASME B36.10, ASME B16.5, ASME B16.9 और अंतर्राष्ट्रीय सुरक्षा मानक

⚡ **विशेष आकर्षण:** सटीक ज्यामितीय चित्र, कट-बैक फॉर्मूले और टू-होल रूल संरेखण

संशोधित एवं विस्तारित पूर्ण संस्करण - 2026

औद्योगिक प्रशिक्षण एवं फील्ड ऑपरेशन्स के लिए अधिकृत गाइड

विषय सूची (Table of Contents)

मॉड्यूल 1: बुनियादी सुरक्षा, टेप मापन और टूल्स 3

मॉड्यूल 2: पाइप ज्यामिति, मानक और समकोण त्रिकोणमिति 4

मॉड्यूल 3: पाइप ऑफसेट और रोलिंग ऑफसेट थ्योरी 5

मॉड्यूल 4: मायटर्ड एल्बो लेआउट और मेकिंग 6

मॉड्यूल 5: टी-ब्रांच (इक्वल, अनइक्वल और लेटरल टी) 7

मॉड्यूल 6: वाई-ब्रांच और रिड्यूसर लेआउट (Concentric & Eccentric) 8

मॉड्यूल 7: फ्लांज और फिटिंग्स डायमेंशनिंग (Two-Hole Rule) 9

मॉड्यूल 8: स्ट्रक्चरल स्टील फैब्रिकेशन - 1 (I-Beam & Channel Layout) 10

मॉड्यूल 9: स्ट्रक्चरल स्टील फैब्रिकेशन - 2 (Truss & Bracing) 11

मॉड्यूल 10: वेल्डिंग जॉइंट तैयारी और फिट-अप मानक 12

मॉड्यूल 11: पाइपिंग आइसोमेट्रिक ड्राइंग और P&ID वाचन 13

मॉड्यूल 12: हाइड्रोस्टेटिक प्रेशर टेस्टिंग और सेफ्टी गाइड 14

मॉड्यूल 1: बुनियादी सुरक्षा, टेप मापन और टूल्स

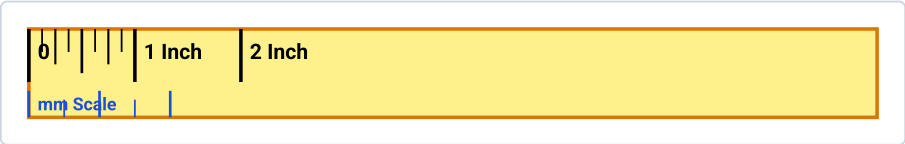
1. कक्षा व्याख्यान: औद्योगिक सुरक्षा एवं मापन टूल्स

किसी भी फैब्रिकेशन यार्ड में सुरक्षा पहला और सबसे महत्वपूर्ण कदम है। **Personal Protective Equipment (PPE)** नियमों का पालन न करने पर गंभीर दुर्घटनाएं हो सकती हैं। फैब्रिकेटर के लिए ग्राइंडिंग गॉगल्स, लेदर ग्लव्स, सेफ्टी शूज़, और एप्रन सबसे बुनियादी आवश्यकताएं हैं।

पाइपिंग में माप की शुद्धता मिलीमीटर (mm) में मापी जाती है। अमेरिकी परियोजनाओं में इंच और सूत (Soot) का उपयोग किया जाता है। एक इंच में 8 सूत होते हैं। 0.5 mm स्तर तक की शुद्धता प्राप्त करना एक कुशल फैब्रिकेटर की पहचान है।

2. व्यावहारिक निर्देश एवं लैब गतिविधि

- **ग्राइंडर संचालन:** हमेशा ग्राइंडिंग व्हील के गार्ड को सही दिशा में रखें। एंगल ग्राइंडर का उपयोग करते समय चिंगारी को अपने शरीर और ज्वलनशील पदार्थों से दूर रखें।
- **मापन गतिविधि:** शिक्षार्थियों को 10 अलग-अलग पाइप सैंपल दिए जाएंगे। प्रत्येक की थिकनेस और लंबाई को टेप और वर्नियर कैलिपर की मदद से 0.5 mm स्तर पर मापें और रिकॉर्ड करें।



चित्र 1.1: इंच-सूत विभाजन और मीट्रिक (mm) मापन टेप संरचना

मॉड्यूल 2: पाइप ज्यामिति, मानक और समकोण त्रिकोणमिति

1. कक्षा व्याख्यान: पाइप मानक एवं ज्यामितीय सिद्धांत

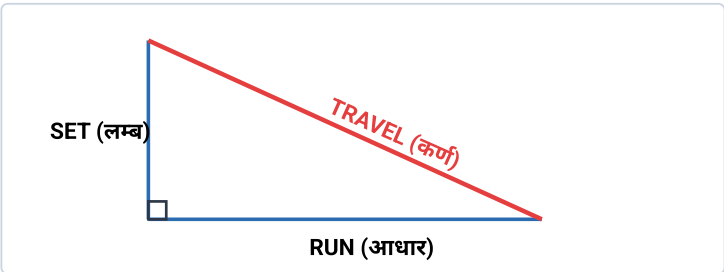
पाइपिंग में प्रयुक्त होने वाले आयामों को **ASME B36.10 (Carbon Steel Pipe)** मानक के तहत नियंत्रित किया जाता है। मुख्य शब्दावलियां निम्न हैं:

- **OD (Outer Diameter):** पाइप का बाहरी व्यास। 14 इंच और उससे ऊपर के पाइपों के लिए OD और Nominal Size समान होते हैं।
- **ID (Inner Diameter):** पाइप का आंतरिक व्यास। (ID = OD - 2 * Wall Thickness)
- **WT (Wall Thickness) / Schedule:** पाइप की मोटाई। Schedule संख्या (जैसे Sch 40, Sch 80) जितनी अधिक होगी, पाइप की दीवार उतनी ही मोटी होगी।

2. समकोण त्रिकोणमिति और व्यावहारिक गणना

फैब्रिकेशन में समकोण त्रिभुज (Right-Angled Triangle) के बिना कोई काम नहीं होता। पाइथागोरस थ्योरम और त्रिकोणमितीय अनुपात की मदद से हम किसी भी कटिंग या फिटिंग एंगल की गणना करते हैं।

> **पाइथागोरस सूत्र:**
>
> $Travel^2 = Run^2 + Set^2 \Rightarrow Travel = \sqrt{(Run^2 + Set^2)}$
>
> **कोण (θ) निकालने के लिए:**
>
> $\tan(\theta) = Set / Run \Rightarrow \theta = \tan^{-1}(Set / Run)$



चित्र 2.1: समकोण त्रिभुज के बुनियादी घटक

मॉड्यूल 3: पाइप ऑफसेट और रोलिंग ऑफसेट थ्योरी

1. कक्षा व्याख्यान: सिंपल बनाम रोलिंग ऑफसेट

जब एक पाइपलाइन दो अलग-अलग दिशाओं में एक साथ विस्थापित होती है (जैसे ऊर्ध्वाधर/वर्टिकल और क्षैतिज/हॉरिजॉन्टल), तो उसे **रोलिंग ऑफसेट (Rolling Offset)** कहा जाता है। इसमें साधारण ऑफसेट के दो आयामों (Set और Run) के साथ तीसरा आयाम **Roll (रोल)** जुड़ जाता है।

2. गणितीय गणना और सूत्र

सिंपल 45° ऑफसेट सूत्र:

$$Travel = Set \times 1.414$$

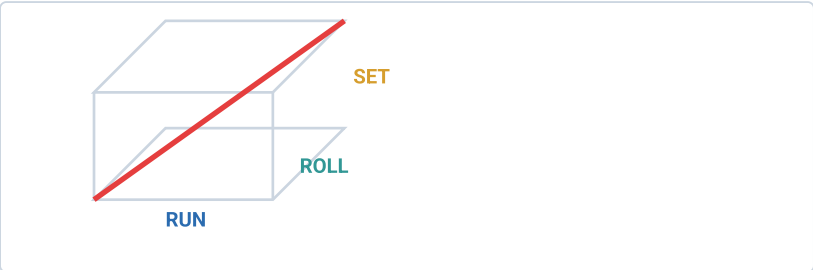
रोलिंग ऑफसेट में वास्तविक सेट की गणना (True Set):

$$True\ Set = \sqrt{(Set^2 + Roll^2)}$$

$$Travel = \sqrt{(Set^2 + Roll^2 + Run^2)}$$

3. व्यावहारिक निर्देश एवं लैब गतिविधि

शिक्षार्थियों को तांबे या लोहे का तार दिया जाएगा। उन्हें दिए गए सेट, रन और रोल के आयामों को ध्यान में रखते हुए तार को मोड़कर रोलिंग ऑफसेट का एक सटीक 3D मॉडल तैयार करना होगा ताकि वे 3-डायमेंशन स्पेस की कल्पना आसानी से कर सकें।



चित्र 3.1: 3D स्पेस बॉक्स में रोलिंग ऑफसेट का ज्यामितीय प्रतिनिधित्व

मॉड्यूल 4: मायटर्ड एल्बो लेआउट और मेकिंग

1. कक्षा व्याख्यान: मायटर बेंड का सिद्धांत

जब बड़े व्यास के पाइपों को घुमाना हो और मानक फिटिंग्स जैसे एल्बो अनुपलब्ध हों, तो सीधे पाइप को एक निश्चित कोण पर काटकर आपस में फिट-अप किया जाता है। इसे **मायटर बेंड (Miter Bend)** कहते हैं।

2. कट-बैक की गणितीय गणना

मायटर कोण (φ) का सामान्य सूत्र:

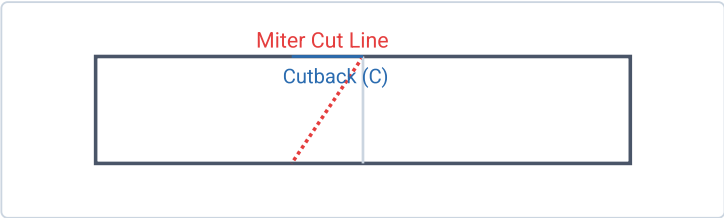
$$\varphi = Total\ Bend\ Angle / (2 \times Number\ of\ Cuts)$$

कट-बैक मान (C) का सूत्र:

$$C = (OD / 2) \times \tan(\varphi)$$

3. व्यावहारिक निर्देश: 12/24 डिवीजन लाइन्स

सटीक वक्र काटने के लिए पाइप की परिधि (Circumference) को 12 या 24 बराबर भागों में विभाजित किया जाता है। परिधि के लिए $C = \pi \times OD$ सूत्र का प्रयोग करें और इसे 12 भागों में बाँटकर मार्किंग करें।



चित्र 4.1: पाइप पर मायटर कट-बैक मार्किंग का सिद्धांत

मॉड्यूल 5: टी-ब्रांच (इक्वल, अनइक्वल और लेटरल टी)

1. कक्षा व्याख्यान: टी-कनेक्शन के प्रकार

पाइपिंग सिस्टम में एक इनपुट लाइन से एक नया आउटलेट निकालने के लिए टी-ब्रांच का उपयोग किया जाता है। इसके तीन मुख्य प्रकार हैं:

- **Equal Tee (समान टी):** मुख्य पाइप (Header) और शाखा पाइप (Branch) का व्यास (OD) बिल्कुल समान होता है।
- **Unequal / Reducing Tee (असमान टी):** शाखा पाइप का व्यास मुख्य पाइप की तुलना में छोटा होता है।
- **Lateral Tee (लेटरल टी):** शाखा पाइप मुख्य पाइप से 90° के बजाय किसी अन्य कोण (आमतौर पर 45°) पर जुड़ती है।

2. ज्यामितीय मार्किंग और विकास (Template Layout)

ब्रांच पाइप को हेडर के ऊपर फिट करने के लिए इसके सिरे को कर्व (Curved shape) में काटना पड़ता है, जिसे "फिश माउथ" (Fish Mouth) प्रोफाइल कहते हैं। इसके लिए रेडियल लाइन विधि का उपयोग करके पेपर टेम्पलेट विकसित किया जाता है।

> **डिवीजन मार्क दूरी (Ordinates) की गणना:**
>
> पाइप की परिधि को 12 बराबर भागों में बांटकर हेडर की सतह से गहराई मापी जाती है।
>
> $$Cutback\ (Y) = R - \sqrt{(R^2 - r^2)}$$
>
> *(जहाँ R = हेडर का बाहरी अर्धव्यास, r = ब्रांच का बाहरी अर्धव्यास)*

3. व्यावहारिक निर्देश एवं लैब गतिविधि

शिक्षार्थियों को एक 4" पाइप (हेडर) और एक 3" पाइप (ब्रांच) दिया जाएगा। उन्हें बताए गए गणितीय सूत्रों की मदद से चार्ट पेपर पर टेम्पलेट लेआउट बनाकर मेटल पाइप पर ट्रांसफर करना होगा तथा गैस कटर व ग्राइंडर से कटिंग कर 90° फिट-अप करना होगा।

मॉड्यूल 6: वाई-ब्रांच और रिड्यूसर लेआउट (Concentric & Eccentric)

1. कक्षा व्याख्यान: वाई-ब्रांच और रिड्यूसर का उद्देश्य

वाई-ब्रांच (Y-Branch / True Wye): इसमें मुख्य प्रवाह दो समान भागों में 45° या 30° के कोण पर विभाजित होता है। यह हाइड्रोलिक दबाव और प्रवाह प्रतिरोध को कम करने में मदद करता है।

रिड्यूसर (Reducer): पाइप का आकार (Diameter) घटाने के लिए इसका उपयोग किया जाता है।

- **Concentric Reducer:** दोनों सिरों का केंद्र बिंदु (Centerline) एक ही रेखा में होता है। इसका उपयोग वर्टिकल लाइनों में किया जाता है।
- **Eccentric Reducer:** एक तरफ की सतह सपाट (Flat) होती है, जिससे दोनों सिरों की केंद्र रेखाएं अलग होती हैं। इसका उपयोग हॉरिजॉन्टल लाइनों में कैविटेशन (हवा फंसना) से बचने के लिए किया जाता है।

2. लेआउट और कटिंग सूत्र

कंसेंट्रिक रिड्यूसर के लिए शंकु विकास (Cone Development) सूत्र:

बड़ा व्यास (D), छोटा व्यास (d), और ऊँचाई (H) होने पर, झुकी हुई ऊँचाई (Slant Height 'L') होगी:

$$L = \sqrt{H^2 + ((D - d) / 2)^2}$$

$$\text{Radius for outer arc } (R1) = (D \times L) / (D - d)$$

$$\text{Radius for inner arc } (R2) = (d \times L) / (D - d)$$

$$\text{Stretchout Angle } (\theta) = (180 \times D) / R1$$

3. व्यावहारिक निर्देश

शंकु विकास (Cone Development) पद्धति का उपयोग करके फ्लैट प्लेट पर मार्किंग करें, फिर प्लेट रोलिंग मशीन की सहायता से उसे मोड़कर रिड्यूसर का आकार दें और वेल्डिंग द्वारा जोड़ को मजबूत करें।

मॉड्यूल 7: फ्लांज और फिटिंग्स डायमेंशनिंग (Two-Hole Rule)

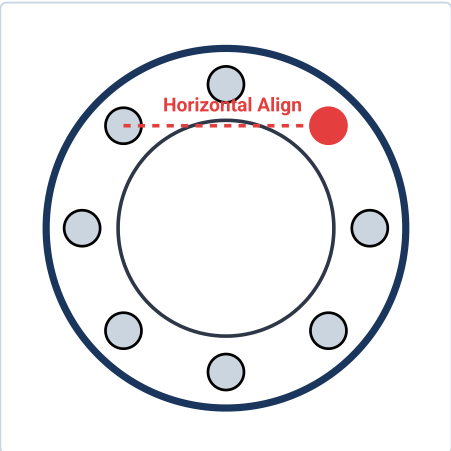
1. कक्षा व्याख्यान: फ्लांज प्रकार और संरेखण

फ्लांज का उपयोग पाइपों, वाल्वों, और अन्य उपकरणों को आपस में जोड़ने के लिए किया जाता है ताकि रखरखाव के समय उन्हें आसानी से खोला जा सके। सामान्य प्रकारों में Slip-on, Weld-neck, और Blind Flange शामिल हैं।

फ्लांज को वेल्ड करते समय यह सुनिश्चित करना आवश्यक है कि उसके बोल्ट होल सही दिशा में हों। इसके लिए **Two-Hole Rule (टू-होल नियम)** का पालन किया जाता है।

2. टू-होल नियम का सिद्धांत

इस नियम के अनुसार, फ्लांज के ऊपर के दो बोल्ट होल हमेशा जमीन के समानांतर (Horizontal) या ऊर्ध्वाधर (Vertical) होने चाहिए। कभी भी एक एकल छेद बिल्कुल शीर्ष (Top dead center) पर नहीं होना चाहिए, जब तक कि ड्राइंग में विशेष निर्देश न हो।



चित्र 7.1: टू-होल रूल का उपयोग करके फ्लांज का क्षैतिज संरेखण

3. व्यावहारिक निर्देश

- फ्लांज के दो छेदों में वॉटर लेवल या स्पिरिट लेवल पिन डालें।
- लेवल इंडिकेटर के बबल को केंद्र में लाएं। जब बबल ठीक बीच में आ जाए, तो फ्लांज को पाइप के साथ क्लैंप करके पहला 'टैक वेल्ड' (Tack Weld) लगाएं।

मॉड्यूल 8: स्ट्रक्चरल स्टील फैब्रिकेशन - 1 (I-Beam & Channel Layout)

1. कक्षा व्याख्यान: स्ट्रक्चरल स्टील के बुनियादी घटक

औद्योगिक ढांचों (Structures) को बनाने के लिए I-Beam, H-Beam, C-Channel, और Angles का बड़े पैमाने पर उपयोग किया जाता है।

- **Web:** बीम या चैनल का मध्य ऊर्ध्वाधर भाग।
- **Flange:** बीम का ऊपरी और निचला क्षैतिज भाग जो लोड को सहन करता है।

2. कॉपिंग (Coping) और जॉइंट प्रिपरेशन

जब एक बीम को दूसरे बीम से 90° पर जोड़ना होता है, तो मिलने वाले बीम के फ्लैंज को काटना पड़ता है ताकि वह मुख्य बीम के वेब में पूरी तरह समा सके। इस प्रक्रिया को **कॉपिंग (Coping)** कहा जाता है।

बीम का आकार (mm)	कॉपिंग की गहराई (C1 - mm)	कॉपिंग की लंबाई (C2 - mm)	सुरक्षा क्लीयरेंस (mm)
IPE 100	15	45	2.0
IPE 200	25	65	3.0
IPE 300	35	80	3.0

3. व्यावहारिक निर्देश

दिए गए ड्राइंग आयामों के अनुसार I-Beam के सिरे पर कॉपिंग मार्किंग करें। ऑक्सी-एसिटिलीन गैस कटिंग टॉर्च का उपयोग करके चिन्हित हिस्से को सावधानीपूर्वक काटें और अंत में ग्राइंडर की मदद से किनारे को सुचारू और साफ करें।

मॉड्यूल 9: स्ट्रक्चरल स्टील फैब्रिकेशन - 2 (Truss & Bracing)

1. कक्षा व्याख्यान: कैंची (Truss) और स्थिरता के लिए ब्रेसिंग

ट्रस (Truss) एक त्रिकोणीय ढांचा होता है जो बड़े शेड और छत के भार को बिना कॉलम के संभालने की क्षमता रखता है।

संरचना को हवा और अन्य पार्श्व बलों (Lateral forces) से बचाने के लिए **क्रॉस ब्रेसिंग (Cross Bracing)** का उपयोग किया जाता है। आमतौर पर ब्रेसिंग के लिए एंगल्स और गसेट प्लेट्स (Gusset Plates) का उपयोग होता है।

2. गसेट प्लेट लेआउट

गसेट प्लेट वह स्टील प्लेट है जो ट्रस के विभिन्न सदस्यों (Chords and Web members) को एक साथ जोड़ती है।

> **गसेट प्लेट मार्किंग नियम:**
>
> प्रत्येक ब्रेसिंग मेंबर की केंद्र रेखा (Centerline) गसेट प्लेट के भीतर एक ही बिंदु (Common Node Point) पर मिलनी चाहिए। यदि ये रेखाएं एक बिंदु पर नहीं मिलती हैं, तो जॉइंट पर अवांछित मरोड़ (Torsional stress) पैदा होता है।

3. व्यावहारिक निर्देश

एक मिनी-ट्रस मॉडल बनाने के लिए एंगल्स को सही डिग्री पर काटें। सभी एंगल के जोड़ों के लिए गसेट प्लेट की मार्किंग करें, न्यूनतम वेल्ड लंबाई (Edge distance) बनाए रखें, और वेल्डिंग से पहले पूरे ढांचे के विकर्णों (Diagonals) को मापकर उसका 'समकोण' (Squareness) सुनिश्चित करें।

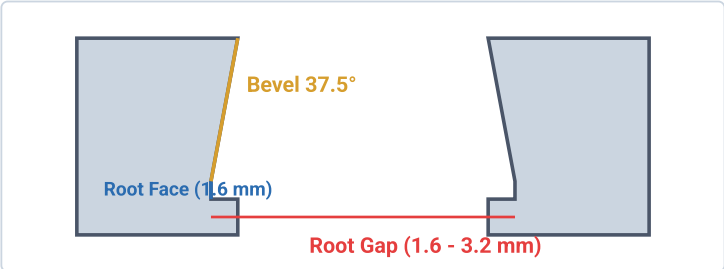
मॉड्यूल 10: वेल्डिंग जॉइंट तैयारी और फिट-अप मानक

1. कक्षा व्याख्यान: ASME मानकों के अनुसार वेल्ड तैयारी

दबाव पाइपलाइनों (Pressure piping) में वेल्ड की मजबूती सीधे तौर पर जॉइंट की तैयारी पर निर्भर करती है। **ASME B16.25** मानक बट-वेल्ड जोड़ों की तैयारी को नियंत्रित करता है।

2. बेवल कोण, रूट फेस और रूट गैप

- **Bevel Angle (बेवल कोण):** पाइप के किनारे को तिरछा काटना ताकि वेल्डिंग इलेक्ट्रोड गहराई तक जा सके। मानक बेवल कोण **37.5° (±2.5°)** होता है, जिससे दो पाइपों को मिलाने पर 75° का इन्क्लूडिड कोण (Included Angle) बनता है।
- **Root Gap (रूट गैप):** दो जोड़ों के बीच की खाली जगह। यह आमतौर पर 1.6 mm से 3.2 mm रखी जाती है ताकि वेल्ड मेटल दूसरी तरफ (Root penetration) तक पहुँच सके।
- **Root Face / Land (रूट फेस):** बेवल के निचले हिस्से में छोड़ी गई सपाट सतह। यह लगभग 1.6 mm मोटी रखी जाती है ताकि वेल्डिंग के दौरान अत्यधिक पिघलकर छेद (Burn-through) न बने।



चित्र 10.1: ASME मानक बट-वेल्ड जॉइंट की बनावट

मॉड्यूल 11: पाइपिंग आइसोमेट्रिक ड्राइंग और P&ID वाचन

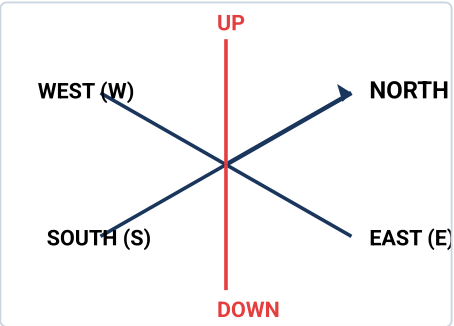
1. कक्षा व्याख्यान: आइसोमेट्रिक ड्राइंग के नियम

आइसोमेट्रिक ड्राइंग एक त्रि-आयामी (3D) प्रतिनिधित्व है जो पाइपिंग प्रणाली की दिशा, लंबाई, और फिटिंग्स की जानकारी देता है। इसमें तीन मुख्य अक्ष होते हैं जो क्षैतिज रेखा से 30° के कोण पर झुके होते हैं।

ड्राइंग को समझने के लिए सबसे पहले **दिशा चक्र (Isometric Compass)** को देखा जाता है।

2. आइसोमेट्रिक कम्पास और दिशा निर्धारण

आइसोमेट्रिक ड्राइंग में उत्तर (North) दिशा हमेशा ऊपरी दाहिने कोने की ओर संकेत करती है। इसके आधार पर अन्य दिशाओं की गणना की जाती है:



चित्र 11.1: आइसोमेट्रिक दिशा चक्र (Compass)

3. व्यावहारिक निर्देश

दिए गए आइसोमेट्रिक ड्राइंग के आधार पर स्पूल (Spool) की कुल लंबाई की गणना करें। इसमें फिटिंग्स की लंबाई (Take-out dimensions) और वेल्ड गैप को घटाकर कट-लेंथ (Cut Length) की गणना की जाएगी।

मॉड्यूल 12: हाइड्रोस्टेटिक प्रेशर टेस्टिंग और सेफ्टी गाइड

1. कक्षा व्याख्यान: प्रेशर टेस्टिंग के मूल सिद्धांत

निर्माण पूरा होने के बाद पाइपिंग सिस्टम की मजबूती और लीक-प्रूफ होने की जांच करने के लिए हाइड्रोस्टेटिक टेस्ट (Hydro-test) किया जाता है। इसके तहत सामान्यतः पानी का उपयोग करके पाइप के डिजाइन दबाव से 1.5 गुना अधिक दबाव पर सिस्टम की जांच की जाती है।

2. हाइड्रोस्टेटिक टेस्ट मैनीफोल्ड और प्रेशर गेज

जांच प्रक्रिया को सुरक्षित रूप से पूरा करने के लिए एक टेस्ट मैनीफोल्ड (Test Manifold) का निर्माण किया जाता है।

- **प्रेशर गेज (Pressure Gauge):** लाइन में हमेशा दो प्रेशर गेज लगाए जाने चाहिए। इन्हें परीक्षण दबाव सीमा के 1.5 से 4 गुना रेंज का होना चाहिए ताकि सुई स्पष्ट रूप से दबाव दिखा सके।
- **हाई पॉइंट वेंट (High Point Vent):** हवा को बाहर निकालने के लिए सिस्टम के सबसे ऊपरी हिस्से पर वाल्व लगाया जाता है।
- **लो पॉइंट ड्रेन (Low Point Drain):** पानी भरने और परीक्षण के बाद पानी को बाहर निकालने के लिए सबसे निचले हिस्से पर वाल्व लगाया जाता है।

3. सुरक्षा दिशानिर्देश और आपातकालीन प्रोटोकॉल

- दबाव बढ़ाते समय परीक्षण क्षेत्र के चारों ओर बैरिकेडिंग करें और चेतावनी बोर्ड लगाएं।
- जब सिस्टम पूरी तरह से दबाव में हो, तो कभी भी किसी भी वेल्ड जॉइंट या फिटिंग पर हथौड़े या टूल्स से चोट न करें।
- दबाव को धीरे-धीरे और नियंत्रित चरणों (जैसे 25%, 50%, 75%, और फिर 100%) में बढ़ाएं।