अध्याय

5

द्रव इंजीनियरी तंत्र

(Hydraulic System)

5.1 परिचय (Introduction)

द्रव शक्ति प्रणाली (Hydraulic System)

द्रव शक्ति प्रणाली वह परिपथ (circuit) है जिसमें बल और शक्ति का स्थानान्तरण तरल के माध्यम से होता है। साधारणतया तरल के रूप में एक तेल का उपयोग किया जाता है। एक द्रवीय तरल पदर्थ या एक द्रवीय तरल (hydraulic fluid) वह माध्यम है जिसके द्वारा हाइड्रॉलिक मशीनरी में शक्ति स्थानान्तरित की जाती है। सामान्यतः हाइड्रॉलिक तरल पदार्थ खनिज तेल या पानी पर आधारित होते हैं। द्रव शक्ति या तेल प्रणाली को दो भागों में बाँटा गया है—

(i) द्रव स्थैतिकी प्रणाली (Hydraustatic system)

(ii) द्रव गतिकी (Hydrokinetic system)

(i) **द्रव स्थैतिकी प्रणाली** (Hydraustatic System)—द्रव स्थैतिक प्रणाली वह प्रणाली है जिसमें द्रवीय तरल का प्राथमिक कार्य बल व शक्ति का स्थानान्तरण दाब के माध्यम से करना होता है। एक द्रव स्थैतिक प्रणाली में दो बुनियादी अंग होते हैं—

प्रथम—एक पम्पिंग इकाई (Pumping unit) जो यांत्रिक कार्य को द्रवीय ऊर्जा (Hydraulic energy) में परिवर्तित करती है।

द्वितीय—द्रवीय मोटर (Hydraulic motor) जो पश्चाग्र (Reciprocating) या घूर्णीय (rotary) प्रकार की होती है, द्रवीय ऊर्जा को यांत्रिक कार्य मे परिवर्तित करती है।

एक लीड (lead) जो परिपथ (circuit) के रूप में होती है दो मुख्य घटकों (components) को जोड़ती है। पम्पिंग इकाई जो तरल के दाब को स्थानान्तरित करती है, ट्रांसमीटर कहलाती है। द्रवीय मोटर जो बल और शक्ति को द्रवीय दाब से प्राप्त करती है रिसीवर (receiver) कहलाती है।

उदाहरण— एक पम्पिंग इकाई, द्रवीय प्रेस (Hyraulic press) का परिचालन करती है। इस स्थिति में पम्पिंग इकाई एक ट्रांसमीटर और हाइड्रॉलिक प्रेस एक रिसीवर के रूप में कार्य करती है। पम्प द्वारा किया गया कार्य एक बल के विरुद्ध तेल को विस्थापित करने में प्रयुक्त होता है। यह बल द्रवीय प्रेस में प्लंजर की गति के प्रतिरोध से उत्पन्न होता है।

(ii) **द्रव गतिकी प्रणाली** (Hydrokinetic or Rotadynamic System)—द्रव गतिकी प्रणाली का उद्देश्य शक्ति के स्थानान्तरण करना व कार्यकारी माध्यम के वेग में प्रवाह के परिवर्तन के कारण प्राथमिक आवश्यक प्रभाव प्राप्त करना है। इस स्थिति में दाब परिवर्तन को जितना संभव हो टालना (avoid) चाहिए।

एक द्रव गतिकी ट्रांसमीटर में, एक अपकेन्द्री पम्प (centrifugal pump) या आन्तरनोदक (impeller) अवश्य होता है जो चालक शाफ्ट (driving shaft) से जुड़ा होता है व एक ऑयल टरबाइन या रनर भी होता है जो ड्रिविन शाफ्ट

Scanned with CamScanner

(driven shaft) से जुड़ी होती है। शक्ति का स्थानान्तरण ड्राइविंग शाफ्ट से ड्रविन शाफ्ट की ओर तेल के सरकुलेशन के कारण आन्तरनोद (impeller) और रनर (runner) के बीच होता है।

उदाहरण— हाइड्रॉलिक कप्लिंग (Hydraulic coupling) एवं बल-आघूर्ण परिवर्तक (Torque converter)।

5.2 द्रवीय तेल शक्ति और गैस की प्रणाली के व्यावसायिक अनुप्रयोग (Industrial Applications of Oil Power Hydraulics and Pneumatic System)

आज आधुनिक युग में हमारे चारों ओर हमें विभिन्न प्रकार की मशीनें देखने को मिलती हैं। सभी मशीनों का अपना-अपना कार्य व सिद्धान्त है। आज सुई से लेकर हवाई जहाज तक सब कुछ मशीनों से ही बनाया जाता है। बड़ी-बड़ी औद्योगिक इकाई में, सिविल इंजीनियरिंग के कार्यों में (जैसे—भवन निर्माण में, बहु मंजिला इमारतों के निर्माण में, सड़क बनाने में, नहर, नाले बनाने में), यांत्रिक कार्यों में व वैद्युत इंजीनियरिंग आदि सभी में द्रव शक्ति व वायु या गैसिकी पर आधारित मशीनों का बड़ा ही विशेष योगदान है। इन मशीनों के औद्योगिक जगत में आ जाने से कार्यों को शीघ्रता से पूर्ण करने में इन मशीनों का योगदान महत्वपूर्ण रहा है व मशीनों के युग में नई क्रांति-सी ला दी है। इन मशीनों को देखने से लोगों के मन में यह प्रश्न भी उठता है कि द्रव शक्ति क्या है? सरल शब्दों में द्रव शक्ति व गैस की किसी तरल पदार्थ (तेल या वायु) के माध्यम से ऊर्जा का नियंत्रित संचरण है। शक्ति को प्रेषित किया जा सकता है व विभिन्न तरीकों से नियंत्रित किया जा सकता है जैसे—

यांत्रिक—क्लच, गियर, तीवर आदि

वैद्युत—मोटर, स्विच गियर, जनरेटर आदि

द्रवीय—वाल्व, पम्प, मोटर, सिलिण्डर आदि

वायु या गैसिकी—वाल्व, संपीडक आदि

तरल शक्ति-ऑयल हाइड्रॉलिक्स और गैसिकी का उपयोग औद्योगिक मशीनरी और उपकरणों की एक विस्तृत श्रृंखला को नियंत्रित करने के लिए पूरे उद्योग में किया जाता है।

हाइड्रॉलिक सिस्टम (Hyraulic system) प्रेशराइज्ड द्रव के साथ कार्य करता है जबकि न्यूमेटिक्स (Pneumatics) संपीडित हवा (compressed air) का उपयोग करती है। इसके कुछ उदाहरण नीचे दिये गये हैं—

	मशीन (Machine)	प्रणाली (System)
(i)	पृथ्वी पर खुदाई के लिए प्रयुक्त मशीन—एक्जावेटर (Earth moving machine For example—Exavators	हाइड्रॉलिक
(ii)	क्रेन और नावों पर विन्चिंज (Winches on cranes and boats)	हाइड्रॉलिक
(iii)	एक्सट्रूजन प्रेस के लिए रेम (Ram for extrusion press)	हाइड्रॉलिक
(iv)	हवाई जहाज नियंत्रण (Aeroplane controls)	हाइड्रॉलिक
(v)	स्वचालित उत्पादन लाइन (Automated production line)	न्यूमेटिक व हाइड्रॉलिक
(vi)	मशीन टूल्स (Machine Tools)	हाइड्रॉलिक
(vii)	स्वचालित एसेम्बली इकाई (Automated assembly unit)	न्यूमेटिक व हाइड्रॉलिक
(viii)	रोबोट्स (Robots)	न्यूमेटिक व हाइड्रॉलिक

इसके अतिरिक्त ऑयल पावर हाइड्रॉलिक्स प्लास्टिक प्रसंस्करण मशीनरी, स्टील बनाने और प्राथमिक धातु निष्कर्षण अनुप्रयोगों, स्वचालित उत्पादन लाइन, मशीन उपकरण उद्योग, लोडर, क्रशर, प्रेस, कपड़ा उद्योग मशीनरी आदि में उपयोगी है।

उद्योगों में प्रयुक्त वायवीय या गैसी प्रणाली आमतौर पर संपीडित हवा या संपीडित अक्रिय गैसों (inert gases) द्वारा संचालित होती है।

न्यूमेटिक्स का दन्त चिकित्सा, निर्माण, खनन और अन्य क्षेत्रों में भी उपयोग होता है।

Note—द्रवीय शक्ति के अध्ययन के लिए अध्याय-1 परिचय (Introduction) का अध्ययन करें।

5.3 द्रव इन्जीनियरी या द्रव-शक्ति विज्ञान (Hydraulics)

द्रव-शक्ति विज्ञान अर्थात् "Hydraulics" में अंग्रेजी शब्द "Hydrau" का अर्थ पानी है। अत: "Hydraulics" शब्द दो ग्रीक शब्दों को मिलाकर बना है जिनके अर्थ 'पानी' और 'पाइप' हैं। अत: अब इस विषय के अन्तर्गत पानी के साथ-साथ, पाइप में उनके प्रवाह आदि का भी अध्ययन किया जाता है।

तरल-यांत्रिकी और द्रव इन्जीनियरी में आपस में समानता होने के कारण आधुनिक युग में द्रव इन्जीनियरी के अन्तर्गत तरल-यान्त्रिकी (Fluid Mechanics) के सिद्धान्तों का द्रवों से सम्बन्धित अभियान्त्रिकी (Engineering) कार्यों के आधार पर अध्ययन किया जाता है।

द्रव इन्जीनियरी का प्रमुख सम्बन्ध सतहों से घिरे द्रव प्रवाह से है जैसे नॉजल (Nozzle), पाइपों (Pipes), नालों, नदियों तथा नहरों और द्रविक मशीनों के अंगों में द्रव का प्रवाह। अत: द्रव इन्जीनियरी द्रव की विरामावस्था और गति की अवस्था से सम्बन्ध रखती है।

इसलिए द्रव इन्जीनियरी प्रयोगात्मक पहलुओं से जल के प्रवाह से सम्बन्धित होती है। वैज्ञानिक और इन्जीनियरों जैसे चेजी (Chezy), वेन्चुरी (Venturi), मैनिंग (Manning), फ्रान्सिस (Francis), डेरे (Darey) आदि ने विभिन्न प्रयोगों द्वारा द्रव इन्जीनियरी का विकास किया।

द्रव इन्जीनियरी को अध्ययन की सरलता के लिए निम्न तीन भागों में बाँटा गया है—

(i) द्रव-स्थैतिकी (Hydrostatics)

(ii) द्रव-शुद्धगतिकी (Hydro-kinematics)

(iii) द्रव-गतिकी (Hydrodynamics)

(i) **द्रव-स्थैतिकी** (Hydrostatics)—विज्ञान की वह शाखा जिसमें द्रवों की विरामावस्था का अध्ययन किया जाता है, द्रव-स्थैतिकी कहलाती है। इसके अन्तर्गत जब द्रव विरामावस्था में होता है तो उसके एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु पर दाब के घटने या बढ़ने का अध्ययन करते हैं। विरामावस्था में द्रव द्वारा ऊर्ध्वाधर, क्षैतिज और झुकी सतह (inclined surface) पर आरोपित बलों का अध्ययन इसके अन्तर्गत होता है जबकि सतह द्रवों के सम्पर्क में हो।

(ii) **द्रव-शुद्धगतिकी** (Hydro-kinematics)—विज्ञान की वह शाखा जिसमें द्रवों की गति की अवस्था का अध्ययन किया जाता है परन्तु जिस बल के कारण गति होती है उसका अध्ययन नहीं किया जाता है, द्रव शुद्ध-गतिकी कहलाती है। इसके अन्तर्गत किसी द्रव कण (liquid particle) का गति की अवस्था में वेग (velocity) और त्वरण (acceleration) को प्राप्त किया जाता है। द्रवों की गति का विशलेषण उन सिद्धान्तों पर किया जाता है जो ठोस की गति के लिए प्रयुक्त होते हैं।

(iii) **द्रव-गतिकी** (Hydrodynamics)—विज्ञान की वह शाखा जिसमें द्रवों की गति के साथ उस बल का भी अध्ययन किया जाता है जिसके कारण गति होती है, द्रव-गतिकी कहलाता है। द्रवों की बल के कारण गति का पूर्णरूप से विश्लेषण कुछ आधारभूत समीकरणों जैसे सातत्य समीकरण (continuity equation), ऊर्जा समीकरण (energy equation), और संवेग समीकरण द्वारा किया जा सकता है। ये तीनों समीकरण, तीन आधारभूत नियमों जैसे द्रव्यमान संरक्षण का नियम (law of conservation of mass), ऊर्जा संरक्षण का नियम (law of conservation of energy) और संवेग संरक्षण का नियम (law of conservation of momentum) पर आधारित होते हैं।

5.4 आधुनिक इन्जीनियरी में द्रव इन्जीनियरी की भूमिका (Role or Part Played by Hydraulics in Modern Engineering)

आज का युग विज्ञान का युग है। दिन-प्रतिदिन नयी-नयी तकनीकियों का विकास हो रहा है। द्रव इन्जीनियरी में इन्जीनियरी तकनीकियों (द्रवों से सम्बन्धित) का विकास बहुत तेजी से हुआ है। द्रव इन्जीनियरी एक इन्जीनियरी विषय है

SAMPLE COPY

Scanned with CamScanner

अत: आधुनिक इन्जीनियरी में इसकी महत्वपूर्ण भूमिका है। इसके अन्तर्गत छोटी से छोटी दैनिक व्यवहार की वस्तुओं से लेकर जटिल इन्जीनियरी निर्माण कार्यों तथा क्रियाओं में इस विषय का उपयोग लाभकारी सिद्ध हुआ है। प्रारम्भ में इस विषय का उपयोग सीमित था जिसके अन्तर्गत नदियों, नहरों तथा पाइपों आदि में द्रवों के प्रवाह तथा सम्बन्धित समस्याओं को हल करते थे तथा पास्कल सिद्धान्त पर आधारित द्रव प्रेसों (Hydraulic Presses), द्रविक जैक, द्रविक ब्रेक आदि का निर्माण किया गया।

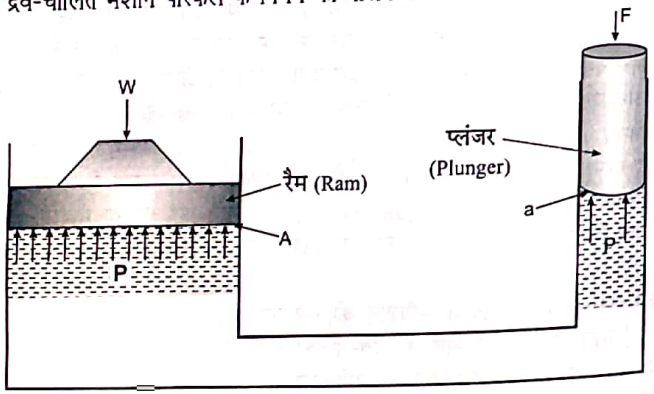
बल तथा गति पारेषित करने, झटका शोषकों (shock absorbers), स्वत: दरवाजा बन्द करने वाली युक्तियों (automatic door closers), विभिन्न मशीनों तथा युक्तियों (devices) के स्वत: नियंत्रण और विभिन्न प्रकार के पम्पों (Pumps) तथा टरबाइनों (Turbines) की क्रियाओं आदि में द्रव इन्जीनियरी एक महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाती है।

उपरोक्त से ज्ञात होता है कि मोटरों, रेलगाड़ियों तथा मशीनों में झटका सोखने तथा ब्रेक और क्लच (clutch) प्रबन्धों में, मरोड़-घूर्ण परिवर्तकों (torque convertors) में, विभिन्न प्रकार के पम्पों तथा टरबाइन में, वायुयानों, समुद्री जहाजों, मिसाइलों के स्वत: नियन्त्रण में, बड़ी तथा छोटी दाब प्रैसों में, उत्थापकों (lifts), द्रव रिवेटकों (hydraulic riveters), वाइसों तथा क्रेनों आदि में इस विषय का अत्यधिक उपयोग होता है।

द्रव इन्जीनियरी की आधुनिक युग में द्रविक नियन्त्रण निकायों (Hydraulic Control Systems) के रूप में उपयुक्त के साथ-साथ खराद (lathe), शेपर (shapper), प्लेनर (planner), ड्रिल, ग्राइन्डर, सार्विक परीक्षण (universal testing) मशीनों आदि में विभिन्न क्रियाओं, शक्ति पारेषण (Power transmission) तथा नियन्त्रण और शीतलन (cooling) तथा स्नेहन (lubrication) प्रबन्धों आदि में महत्त्वपूर्ण भूमिका है।

5.5 द्रविक प्रैस (Hydraulic Press)

द्रविक प्रैस पास्कल के नियम पर कार्य करती है। पास्कल के नियमानुसार "यदि विरामावस्था में किसी परिबद्ध (enclosed) तरल का दाब किसी बिन्दु पर बदल जाता है तो सभी बिन्दुओं पर तरल का दाब उतने ही मान से बदल जायेगा।" अधिकांश द्रव-चालित मशीनें पास्कल के नियम का पालन करती हैं।



चित्र 5.1–द्रविक प्रैस

ये वे मशीनें हैं जिनकी सहायता से कम बल लगाकर अधिक भार उठाया जा सकता है। इस प्रेस का उपयोग छेद करने में (Punching) तथा इस्पात की प्लेटों को काटने, पदार्थ परीक्षण तथा बड़े उपकरणों के स्वत: नियंत्रण (automatic control) आदि कार्यों में किया जाता है। **चित्र-5.1** से प्रदर्शित है कि इसमें दो स्थिर सिलिण्डर होते हैं जिनमें एक सिलिण्डर बड़े व्यास का तथा दूसरा छोटे व्यास का होता है। बड़े सिलिण्डर में रैम (Ram) तथा छोटे में प्लंजर (Plunger) ऊपर-नीचे सरक सकते हैं। दोनों सिलिण्डरों को एक पाइप की सहायता से जोड़ा या सम्बन्धित किया जाता है। सिलिण्डरों तथा पाइपों के मध्य एक द्रव भरा रहता है, यह साधारणतया पानी या तेल होता है। प्लंजर तथा रैम दोनों ही घर्षण रहित

(friction less) और जलरोधी (water tight) बनाये जाते हैं। द्रवरोधी होने के कारण इनमें से द्रव का रिसाव या क्षरण (leakage) नहीं हो सकता।

अब यदि रैम तथा प्लंजर के क्षेत्रफल क्रमश: A तथा a मानें और रैम पर रखे भार W को उठाने भर के लिए प्लंजर पर F बल नीचे की ओर लगाने की आवश्यकता पड़ती है तो,

रैम के नीचे दाब-तीव्रता, $p = \frac{W}{A}$

तथा प्लंजर के नीचे दाब-तीव्रता, $p = \frac{F}{a}$

फिर पास्कल के नियमानुसार, $\frac{F}{a} = \frac{W}{A} = p$

या $\frac{F}{a} = \frac{W}{A}$

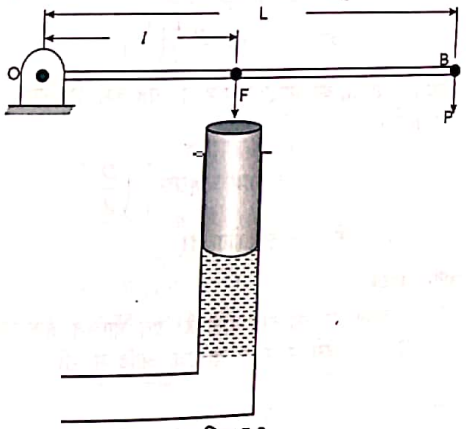
$F = W \times \frac{a}{A}$ .... (1)

या $\frac{W}{F} = \frac{A}{a}$ .... (2)

परन्तु यांत्रिक लाभ (mechanical advantage) $= \frac{\text{उठाया गया भार}}{\text{लगाया गया भार}}$

$= \frac{W}{F} = \frac{A}{a}$

अत: यांत्रिक लाभ, रैम तथा प्लंजर के क्षेत्रफलों का अनुपात है। और अधिक यांत्रिक लाभ प्राप्त करने के लिए प्लंजर का बल F एक लीवर की सहायता से लगाया जाता है, **चित्र-5.2** के अनुसार।



चित्र 5.2

लीवर, O पर हिंज द्वारा बँधा है। माना कि B पर बल P लगाया जाता है जिससे प्लंजर पर F बल लगता है। O पर घूर्ण (moment) लेने से,

Scanned with CamScanner

$$F \times l = P \times L$$

$$F = P \times \frac{L}{l} \quad \text{....(3)}$$

$\frac{F}{P} = \frac{L}{l}$ को लीवर का यांत्रिक लाभ भी कहते हैं और अनुपात (ratio) $\frac{L}{l}$ लीवरेज कहलाता है।

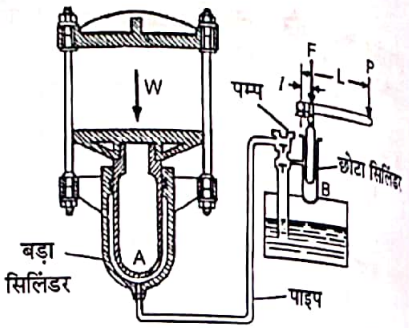
अब सम्बन्ध (1) तथा (3) से,

$$W \times \frac{a}{A} = P \times \frac{L}{l}$$

$$\frac{W}{P} = \frac{L}{l} \times \frac{A}{a}$$

अतः लीवर सहित प्रैस का यांत्रिक लाभ $= \frac{W}{P} = \frac{L}{l} \times \frac{A}{a}$

.... (4)



चित्र 5.3–द्रविक प्रैस

चित्र-5.3 में सम्पूर्ण प्रैस का रेखाचित्र दर्शाया गया है। इसमें प्रैस द्वारा बोझ पर लगाया गया बल,

$$W = P.\frac{L}{l}.\frac{A}{a} \quad \text{....(5)}$$

जहाँ P लीवर के सिरे पर लगाया गया बल है। यदि बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों के व्यास क्रमशः D तथा d हैं तो, बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों के क्रमशः क्षेत्रफल $A = \frac{\pi}{4}D^2$ तथा $a = \frac{\pi}{4}d^2$

इस प्रकार सम्बन्ध (5) निम्न रूप धारण कर लेता है—

$$W = P.\frac{L}{l}\left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad \text{....(6)}$$

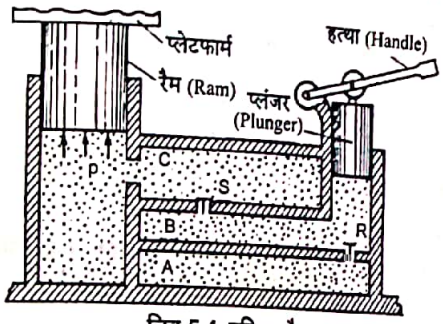
W का मान वास्तव में सम्बन्ध (5) या (6) की अपेक्षा कम होगा। यह कमी सिलिण्डरों आदि में घर्षण के कारण होती है। इस कारण यदि प्रैस की दक्षता η है तो,

$$W = \eta.P.\frac{L}{l}.\left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad \text{....(7)}$$

सामान्यतः प्रैस की दक्षता का मान 0.8 से 0.85 तक होता है।

5.6 द्रविक जैक (Hydraulilc Jack)

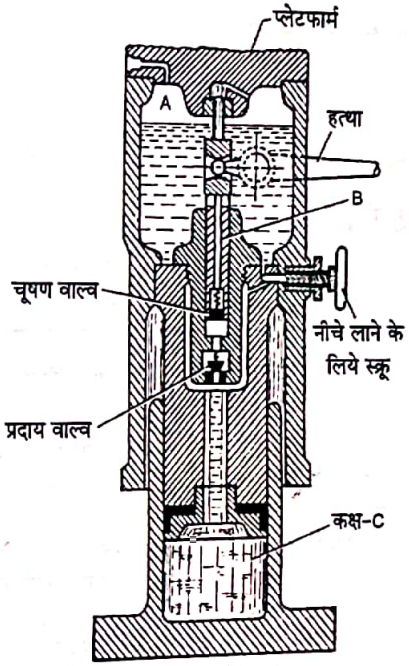
द्रविक जैक की कार्यप्रणाली भी द्रविक प्रैस की तरह होती है। द्रव चालित जैक एक सुबाह्य (Portable) मशीन है जिसका प्रयोग साधारणतया चारपहिया वाहनों जैसे मोटरकार या ट्रक आदि में पहिया बदलने या मरम्मत करने के लिये उसे उठाने में किया जाता है।



चित्र 5.4–द्रविक जैक

द्रव चालित जैक में दायीं ओर एक प्लंजर होता है जिसे एक हत्थे (handle) की सहायता से ऊपर-नीचे चलाया जा सकता है जैसा कि **चित्र-5.4** में प्रदर्शित है। जैक के दूसरी ओर एक रैम होता है जिसके ऊपर, उठाये जाने वाले भार को टिकाने के लिये एक प्लेटफार्म होता है। रैम का क्षेत्रफल प्लंजर से अधिक होता है।

जब प्लंजर को ऊपर की ओर उठाया जाता है तो उसके नीचे कक्ष (chamber) B में आंशिक निर्वात (partial vacuum) उत्पन्न हो जाता है। फलस्वरूप वाल्व (valve) R खुलता है और कक्ष A से कुछ द्रव कक्ष B में आ जाता है। जब प्लंजर नीचे की ओर लाया जाता है तो वाल्व R बन्द हो जाता है और कक्ष B में द्रव दाब बढ़ जाता है जिसके कारण वाल्व S के खुलने से अधिक दाब वाला द्रव कक्ष C में आता है। कक्ष C में द्रव दाब से रैम पर ऊपर की ओर बल लगने से रैम ऊपर उठ जाती है। फिर जब प्लंजर ऊपर उठेगा तो वाल्व S बंद हो जायेगा और R खुल जायेगा जिससे पहले वाली क्रिया होगी। इस प्रकार बार-बार हत्थे को ऊपर-नीचे करने से A में से और द्रव B से होता हुआ कक्ष C में पहुँचता जायेगा और प्लेटफार्म पर रखा भार ऊपर उठा लिया जाता है। रैम की अधिकतम उठान किसी जैक में निश्चित होती है।



चित्र 5.5–द्रविक जैक

कार्य समाप्त होने पर एक स्क्रू (Screw) की सहायता से कक्ष C का A से सीधा सम्बन्ध कर दिया जाता है जिससे C में से द्रव पुनः A में बह जाता है जिससे रैम अपनी पूर्व अवस्था में नीचे की ओर आ जाती है।

इसमें प्रयोग के लिये साधारणतया तेल लिया जाता है परन्तु आवश्यकतानुसार पानी भी प्रयोग कर सकते हैं।

चित्र-5.5 में एक व्यावहारिक द्रविक जैक दर्शाया गया है। इसमें हत्थे की पश्चाग्र गति से कक्ष A का द्रव खोखले प्लंजर B में से होता हुआ और चूषण तथा प्रदाय वाल्वों के बीच से कक्ष C में अधिक दाब पर प्रवेश करता है। कक्ष C के ऊपर उत्थापक रैम है जो द्रव-दाब से ऊपर उठता है। फलस्वरूप इस रैम से सम्बन्धित प्लेटफार्म पर रखा बोझ भी उठता है। बोझ नीचे लाने के लिए एक स्क्रू का प्रबन्ध भी दिखाया गया है जिसे क्रियान्वित करने पर कक्ष C का द्रव वापस कक्ष A में चला जाता है। इसमें द्रव को भरने और निकालने के लिये भी पर्याप्त प्रबन्ध होता है।

इस यंत्र का सैद्धान्तिक यांत्रिक लाभ

Scanned with CamScanner

$$= m\frac{A}{a} \quad \text{...(1)}$$

जहाँ, $m = \dfrac{\text{लीवर का विस्थापन}}{\text{लीवर के अनुरूप प्लंजर का विस्थापन}}$

A = रैम का क्षेत्रफल

a = प्लंजर का क्षेत्रफल

यदि प्लेटफार्म पर रखा भार W है और लीवर पर बल P लगाया जाता है तो इनमें सम्बन्ध निम्न प्रकार है—

$$W = P \cdot m \cdot \frac{A}{a} \quad \text{...(2)}$$

वास्तव में जैक में घर्षण-हानियाँ भी होती हैं इसलिये P बल लगाने से सम्बन्ध (2) की अपेक्षा कम बोझ उठाया जाता है। यदि जैक की दक्षता η है तो W तथा P में सम्बन्ध निम्न प्रकार होगा—

$$W = \eta \cdot P \cdot m \cdot \frac{A}{a} \quad \text{...(3)}$$

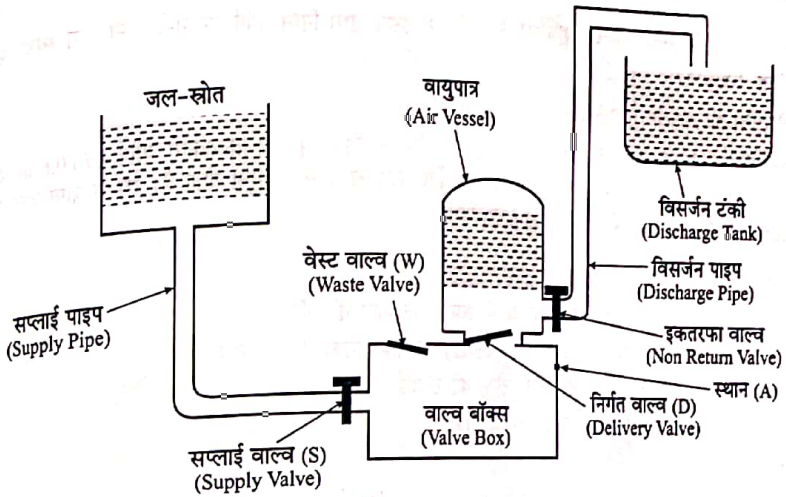
जैक की दक्षता η का मान 0.66 से 0.93 तक होता है और ये सामान्यत: 30 kN तथा 1000 kN तक बोझ उठाने के लिये बनाये जाते हैं। 30 kN से कम बोझ वाले जैक भी उपलब्ध हैं।

5.7 द्रवीय रैम (Hydraulic Ram)

द्रवीय रैम एक ऐसा उपकरण है, जो थोड़ी ऊँचाई या कम ऊँचाई से गिरने वाले द्रव की अधिक मात्रा की गतिज-ऊर्जा (Kinetic-energy) का प्रयोग करके उसमें से कुछ द्रव को अपेक्षकृत अधिक ऊँचाई तक पहुँचाता है। इसके कार्य के लिए किसी वाह्य स्रोत की आवश्यकता नहीं होती है। पहाड़ी स्थानों पर जहाँ कुछ ऊँचाई पर प्राकृतिक जल पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध होता है (जैसे - झरना या जल-स्रोत आदि), वहाँ पर द्रवीय रैम के प्रयोग से कुछ जल को अधिक ऊँचाई तक पहुँचाया जाता है।

द्रवीय रैम अपने कार्य के लिए द्रव के गतिज-दाब (dynamic pressure) का प्रयोग करता है तथा जल-आघात (Supply pipe) के सिद्धान्त पर आधारित है। द्रविक रैम का आविष्कार डर्बी के जॉन व्हाइटहर्स्ट (John Whitehurst) द्वारा सन् 1775 ई० में किया गया था।

रचना (Construction)—**चित्र-5.6** में एक द्रवीय रैम (Ram) दर्शाया गया है। इसमें एक वाल्व बॉक्स (Valve Box) है जिसमें कम शीर्ष वाला द्रव प्रवेश करता है। वाल्व बॉक्स में एक वेस्ट वाल्व (W) तथा डिलीवरी वाल्व (D) होता है। वेस्ट वाल्व (W) नीचे की ओर खुलता है जबकि डिलीवरी वाल्व (D) ऊपर की ओर खुलता है। डिलीवरी वाल्व के ऊपर एक वायु-पात्र होता है। यह वायुपात्र (air vessel) एक इकतरफा वाल्व (non return valve) द्वारा विसर्जन पाइप (delivery pipe) से जुड़ा रहता है। विसर्जन पाइप का दूसरा सिरा विसर्जन टंकी (discharge tank) से जुड़ा रहता है। जल-स्रोत से वाल्व बॉक्स, सप्लाई वाल्व (S) के साथ जुड़ा रहता है।



चित्र 5.6–द्रवीय रैम

कार्य-विधि (Working Method)—प्रारम्भ में सप्लाई वाल्व को खोलने पर जल, सप्लाई टैंक से वाल्व बॉक्स में प्रवेश करता है। वेस्ट वाल्व (W) अपने भार के कारण खुली स्थिति में होता है जिससे जल, वेस्ट वॉल्व (W) के द्वारा वाल्व बॉक्स से बाहर निकलने लगता है। जब सप्लाई पाइप में प्रवाह वेग बढ़ता है तो वेस्ट वाल्व पर नीचे से ऊपर की ओर गतिज दाब (dynamic pressure) बढ़ता जाता है जो वाल्व को बन्द कर देता है। वाल्व के अचानक बन्द होने से सप्लाई पाइप में जल का प्रवाह रुक जाता है जिसके कारण जल-आघात (water-hammer) पैदा होता है तथा वाल्व बॉक्स में उच्च दाब स्थापित हो जाता है। उच्च दाब के कारण डिलीवरी वाल्व (D) ऊपर की ओर खुलता है तथा कुछ जल वायुपात्र (air-vessel) में प्रवेश कर जाता है। वायुपात्र में जल के प्रवेश से पात्र के अन्दर की वायु संपीडित होती है। वायुपात्र में वायुदाब बढ़ने से कुछ जल विसर्जन पाइप से होकर विसर्जन टंकी में प्रवेश करता है।

इस प्रकार जब वाल्व बॉक्स में जल का संवेग (momentum) समाप्त हो जाता है तो डिलीवरी वाल्व (D) बन्द हो जाता है तथा वेस्ट वाल्व (W) फिर खुल जाता है। वाल्व बॉक्स में जलप्रवाह पुन: स्थापित हो जाता है और नया क्रिया-चक्र फिर प्रारम्भ हो जाता है। सप्लाई वाल्व को बन्द करने से रैम की क्रिया रोकी जा सकती है। यह क्रिया-चक्र बहुत कम समय में पूरा हो जाता है। अर्थात् रैम के एक पूर्ण क्रिया-चक्र में एक सेकण्ड से भी कम समय लगता है जिससे द्रवीय रैम द्वारा विसर्जन टंकी में लगातार जल की सप्लाई होती रहती है।

द्रवीय रैम के लाभ (Advantages of Hydraulic Ram)—

1. इसकी क्रिया में शोर नहीं होता है।
2. इसकी दक्षता उच्च होती है।
3. यह लगातार काफी समय तक कार्य कर सकता है।
4. इसकी क्रिया के लिए बाह्य ऊर्जा (कोयला, तेल या विद्युत आदि) की आवश्यकता नहीं होती है बल्कि यह जल की अधिक मात्रा से ही क्रिया करता है।
5. यह ऑटोमेटिक कार्य करता है तथा इसका रख-रखाव भी सस्ता होता है।
6. इसमें चल भागों जैसे-पिस्टन तथा ग्लैण्ड आदि के न होने से स्नेहन की आवश्यकता नहीं होती है।

द्रवीय रैम के अन्य उपयोग–

1. द्रवीय रैम में थोड़े सुधार के बाद इसे वायु-संपीडक (air compressor) के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।

Scanned with CamScanner

2. द्रवीय रैम के साथ उपयुक्त युक्तियों के प्रयोग से इसके द्वारा निम्न शीर्ष पर गन्दे पानी द्वारा स्वच्छ पानी को पम्प किया जा सकता है।

द्रवीय रैम की दक्षता (Efficiency of Hydraulic Ram)—

द्रविक रैम की दक्षता 20% से 75% तक होती है। रैम के लिए न्यूनतम क्रियाकारी शीर्ष (H) 0.6 m होता है। विसर्जन शीर्ष (delivery head) (h) का मान क्रियाकारी शीर्ष (H) का 6 से 12 गुना होता है। रैम से प्राप्त जल की मात्रा प्रदत्त (supplied) मात्रा की $\frac{1}{24}$ से $\frac{1}{12}$ तक होती है।

यदि किसी रैम के लिए

H = क्रियाकारी शीर्ष (वेस्ट वॉल्व से ऊपर जल-स्रोत की ऊँचाई)

Q = जल की व्यर्थ मात्रा (Wasted water) या बाहर निकाली गयी मात्रा

h = वेस्ट वाल्व से ऊपर सर्विस टंकी की ऊँचाई

q = रैम द्वारा पम्प की गयी जल की मात्रा

तब,

$$q = \frac{Q \times H}{2h}$$

द्रवीय रैम की रैंकिन दक्षता,

$$\eta = \frac{q(h-H)}{QH}$$

5.8 द्रवीय ब्रैक (Hydraulic Brakes)

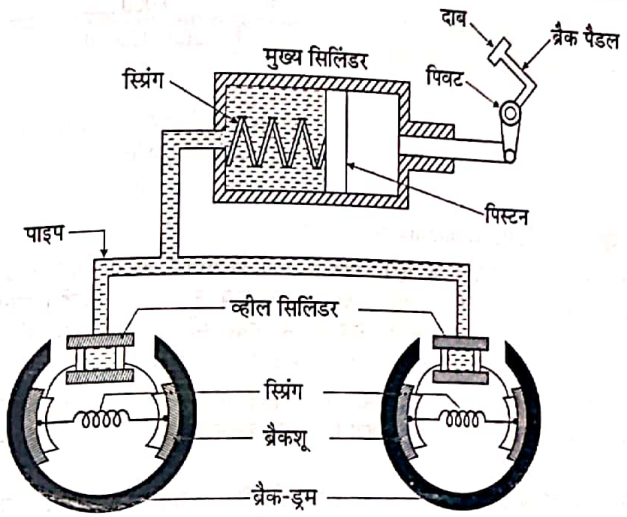
विभिन्न प्रकार के ब्रेकों जैसे—यांत्रिक ब्रैक, द्रवीय ब्रैक, वायवीय ब्रैक (pneumatic brake), विद्युत ब्रैक आदि का प्रयोग वाहनों की गति कम करने या रोकने के लिए किया जाता है।

द्रवीय ब्रैक, द्रव के द्वारा क्रियान्वित होते हैं। ये पास्कल के नियम पर कार्य करते हैं जिनके अनुसार, विरामावस्था में द्रव पर लगाया गया दाब सभी दिशाओं में एकसमान दाब लगाता है या कार्य करता है। **चित्र-5.7** में दो पहियों के बीच द्रवीय ब्रैक का प्रबन्ध दिखाया गया है। यदि वाहन चार पहियों वाला है तो बाकी के दो पहियों में भी यह प्रबन्ध समान होगा।

द्रवीय ब्रैक में मुख्यत: एक सिलिन्डर होता है जिससे लगा पिस्टन ब्रैक पैडल से सम्बन्धित रहता है। सिलिण्डर में एक स्प्रिंग लगी होती है जो पिस्टन पर बल लगाकर पिस्टन को दायीं ओर बनाये रखती है। मुख्य सिलिण्डर एक पाइप के माध्यम से व्हील सिलिण्डर से जुड़ा रहता है। व्हील सिलिण्डर में दो पिस्टन लगे होते हैं जो ब्रैक-शू से सम्बद्ध रहते हैं। ब्रैक-शू की वाह्य सतह पर एक घर्षण पदार्थ की लाइनिंग (Lining) लगी रहती है जिसको ब्रैक-ड्रम के विरुद्ध दबाकर ब्रैकिंग क्रिया प्राप्त की जाती है। ब्रेक-शू एक सिरे पर पिवोटेड (Pivoted) रहते हैं तथा आपस में एक स्प्रिंग द्वारा जुड़े रहते हैं।

वाहन की गति को घटाने या रोकने के लिए ब्रैक पैडिल को दबाया जाता है जिससे मुख्य सिलिण्डर का पिस्टन बायीं ओर चलता है तथा सिलिण्डर में भरे द्रव को दबाता है जिससे सारे तंत्र का द्रव-दाब बढ़ जाता है। व्हील सिलिण्डर में भी द्रव का दाब बढ़ जाता है जिससे दोनों पिस्टन पर बाहर की ओर दाब बढ़ता है जिससे ब्रैक-ड्रम के विरुद्ध ब्रैक-शू दाब लगाता है। ब्रैक-ड्रम तथा ब्रैक-लाइनिंग के मध्य उत्पन्न घर्षण के कारण पहिये का वेग कम हो जाता है।

जब ब्रैक-पैडल से दाब हटाया जाता है तो पिस्टन अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है जिससे सिलिण्डर में पिस्टन के बायीं ओर द्रव-दाब घट जाता है। ब्रेक-शू में लगे स्प्रिंग द्वारा ब्रेक-शू अपनी पूर्व अवस्था में आ जाता है तथा ब्रेक-शू तथा ब्रैक-ड्रम का सम्पर्क समाप्त हो जाता है तथा सभी अंग पूर्व अवस्था में आ जाते हैं।



चित्र 5.7 हाइड्रॉलिक ब्रैक

द्रवीय ब्रैक के लाभ (Advantage of Hydraulic Brake)—

1. व्हील पर दाब एकसमान लगता है।
2. स्वस्नेहित होने के कारण घिसाई दर कम रहती है।
3. यांत्रिक लाभ उच्च होता है।

उदाहरण 1 एक द्रविक प्रैस की दक्षता 80% है तथा उसके लीवर की भुजाओं में अनुपात 1 : 5 है। यदि बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों के व्यासों में अनुपात 6 हो तो ज्ञात कीजिये कि लीवर पर 50 N के बल से प्रैस द्वारा कितना दाब बल लगाया जाता है।

हल यहाँ $\eta = 80\% = 0.8,\ P = 50N, \frac{L}{l} = 5$ तथा $\frac{D}{d} = 6$

∴ लगाया गया दाब बल, $W = \eta P \frac{L}{l}\left(\frac{D}{d}\right)^2$ से,

$= 0.8 \times 50 \times 5 \times (6)^2 = 7200$ N

$= 7.2$ kN **उत्तर**

उदाहरण 2 उस द्रविक जैक की दक्षता ज्ञात कीजिये जिसके द्वारा 8 kN का भार उठाने के लिए 200 N का बल लीवर पर लगाना पड़ता है। जैक के लिए $m = 12, \frac{A}{a} = 10$ है।

हल $W = \eta P \cdot m \cdot \frac{A}{a}$ से,

दिया है कि $W = 8$ kN $= 8000$ N, P = 200 N

Scanned with CamScanner

$$\therefore \quad \eta = \frac{W}{P \cdot m \cdot \frac{A}{a}} = \frac{8000}{200 \times 12 \times 10}$$

$$= 0{\cdot}3333$$

$$= 33{\cdot}33\%$$

उत्तर

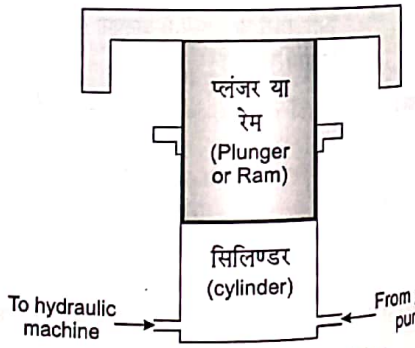
5.9 द्रवीय संचायक (Hydraulic Accumulator)

द्रवीय संचायक एक ऐसा उपकरण है जो कुछ गतिशील बलों के विरुद्ध बाहरी स्रोत के द्वारा असंपीड्य तरल (incompressible fluid) की स्थैतिक ऊर्जा (potential energy) को दाब के अन्तर्गत संग्रहीत करता है। यह गतिशील बल विभिन्न स्रोतों (different sources) से आता है। संचायक में संचित स्थैतिक ऊर्जा, उपयोगी कार्य करने में सक्षम तरल शक्ति (capable fluid power) का एक त्वरित द्वितीयक स्रोत है।

दूसरे शब्दों में, एक्युमुलेटर पंप द्वारा दिए गए दबाव के अन्तर्गत तरल को संचित करने का एक उपकरण है; जब मशीन द्वारा इसकी आवश्यकता नहीं होती है। दाब को बाद में आवश्यकतानुसार मशीन को उपलब्ध या आपूर्ति (supply) किया जा सकता है।

उपरोक्त विभिन्न दाबों को वांछित दाब पर तरल प्रदान करने के लिए अलग पम्पिंग इकाइयों की आवश्यकता होती है। इस प्रकार के पम्पों को प्रेस पंप कहा जाता है। आमतौर पर इन पंपो द्वारा उत्पन्न दबाव 50 से 150 किग्रा०/सेमी^{2} तक होता है और पूरी आपूर्ति (supply) अवधि में एक-समान (uniform) होता है। तथापि द्रव और उसके आवश्यक दाब की मांग परिवर्तनशील या अस्थिर होती है। यह भी हो सकता है कि कुछ क्षणों के लिए मशीन बिल्कुल भी कार्य नहीं कर रही हो। और द्रव को ग्रहण करने व संचित करने की व्यवस्था में कुछ कठिनाइयों के साथ समझौता करना पड़ रहा हो व पंप द्वारा लगातार आपूर्ति की जा रहे तरल को संचित (store) करना आवश्यक है। उपकरण को आवश्यकता पड़ने पर मशीन को तरल वापस देने में सक्षम होना चाहिए। कुछ मामलों में यह स्वयं पंप द्वारा प्रदान किये गये दाब की तुलना में अधिक दाब पर संग्रहीत द्रव प्राप्त करने के लिए वांछनीय हो सकता है। यह सब दाव संचायक या द्रवीय संचायक (pressure accumulator or hydraulic accumulator) द्वारा किया जाता है।

हाइड्रॉलिक एक्युमुलेटर में एक सिलिण्डर होता है और सामान्यत: एक प्लंजर (plunger) जिसे रैम (ram) कहा जाता है। सिलिण्डर की एक साइड प्रेस पम्प स व दूसरी साइड द्रवीय मशीन (Hydraulic machine) से जुड़ी होती है। सिलिण्डर या रेम दोनों में से कोई एक स्थिर या स्थायी (fixed) होता है। सामान्यत: सिलिण्डर स्थिर होता है और सिलिण्डर द्वारा तरल की एक परिवर्तनशील या अस्थिर मात्रा को अन्दर समायोजित करने के लिए रैम ऊपर और नीचे गति करता है।



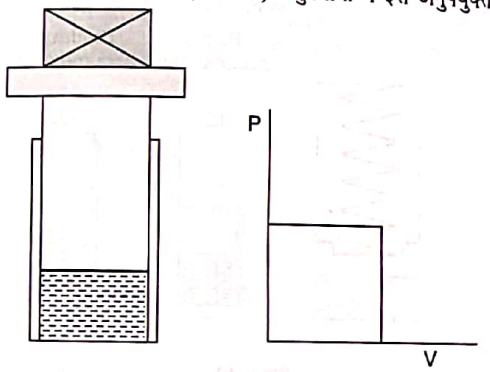
चित्र 5.8–Hydraulic Accumulator

संचायक मृत भार प्रकार (dead weight type) या अस्थिर भार प्रकार (variable load type) के हो सकते हैं। पहले डेड वेट (dead weight) प्लंजर को दबाने में नियोजित किया जाता है जबकि बाद में भाप दाब (steam pressure) नियोजित किया जाता है। इस प्रकार का मुख्य लाभ यह है कि दाब में भिन्नता हो सकती है लेकिन यह भाप की आपूर्ति करने के लिए बॉयलर की आवश्यकता से असमर्थ होता है। हालांकि, इसका उपयोग जहाजों पर किया जा सकता है यदि भाप आसानी से उपलब्ध हो।

संचायक एक दाब नियामक (pressure regulator) के उद्देश्य को भी पूरा करता है। रैम की एक निश्चित दूरी चलने के बाद मोटर को बंद करने और चालू करने के लिए एक उपयुक्त व्यवस्था आसानी से की जा सकती है।

तीन मूल प्रकार के संचायक होते हैं—

1. **वेट-लोडेड संचायक या गुरुत्वाकर्षण संचायक** (Weight-loaded or gravity accumulator)—चित्र में ढांचे के रूप में एक वेट-लोडेड संचायक दिखाया गया है। यह बड़े भारों के साथ जोड़े गये (mounted) ऊर्ध्वाधर सिलिण्डर है। जब हाइड्रॉलिक तरल पदार्थ इसमें डाला जाता है तो इसका वजन या भार बढ़ता है। यह भार पिस्टन पर एक बल लगाता है जो पिस्टन की ओर के द्रव पर एक दाब उत्पन्न करता है। इस प्रकार के संचायक का अन्य प्रकारों के संचायकों पर यह लाभ है कि यह अपनी गति के दौरान द्रव पर निरन्तर दाब लगाता है। इसकी मुख्य हानि यह है कि यह अत्यंत बड़े आकार और भारी वजन का होता है। यह गतिशील (mobile) अनुप्रयोगों में इसे अनुपयुक्त बनाता है।



चित्र 5.9–वेट लोडेड एक्युमुलेटर (Weight-loaded Accumulator)

2. **स्प्रिंग-लोडेड संचायक** (Spring-loaded accumulator)—एक स्प्रिंग-लोडेड संचायक ऊर्जा को संपीडित स्प्रिंग (compressed air) के रूप में संचित करता है। एक हाइड्रॉलिक तरल को जब संचायक में डाला जाता है तो इस कारण पिस्टन ऊपर की ओर गति करता है और स्प्रिंग को दबाता है जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। तब संपीडित स्प्रिंग पिस्टन पर एक बल लगाती है, जोकि हाइड्रॉलिक तरल पर एक दाब लगाती है।

इस प्रकार का संचायक अपेक्षाकृत कम दाब पर तेल की थोड़ी मात्रा को वितरित या डिलीवर (deliver) करता है। इसके अलावा, तेल पर डाला गया दबाव स्थिर नहीं होता जैसे कि डेड वेट एक्युमुलेटर (dead-weight accumulator) में होता है। जैसे ही स्प्रिंग संपीडित या दबती है, संचायक का दाब अपने चरम (peak) पर होता है और जब स्प्रिंग अपनी मुक्त अवस्था में होती है, तब संचायक का दाब न्यूनतम (minimum) तक गिर जाता है।

3. **गैस-लोडेड संचायक** (Gas-loaded Accumulator)—एक गैस-लोडेड एक्युमुलेटर लोकप्रिय रूप से उद्योगों में उपयोग किया जाता है। यहाँ संपीडित हवा का उपयोग करके तेल पर बल लागू किया जाता है। गैस-लोडेड संचायक के योजनाबद्ध आरेख (schematic diagram) को चित्र में दिखाया गया है। एक गैस संचायक बहुत बड़ा हो सकता है और यह अक्सर गैस चार्ज के रूप में हवा का उपयोग करके पानी या उच्च पानी आधारित तरल के साथ प्रयोग किया जाता है। वितरण बंद प्रवाह को सुचारू करने के लिए वाल्व बंद होने और रैम पंपों पर दाब बढ़ने को अवशोषित करने के लिए पानी के टरबाइनों पर विशिष्ट अनुप्रयोग होता है। चित्र 5.10 में तीनों मूल प्रकार के संचायकों को दिखाया गया है।

Scanned with CamScanner

संचायक मे पानी का शीर्ष $= \frac{60\times100\times100}{1000} = 600$ m of water

मेन मे घर्षण शीर्ष हानि $h_f = \frac{4\times0.01\times250}{0.05}\times\frac{(2.9)^2}{2\times9.81}$

$= 85.6$ m of water

रैम, पुली आदि के यांत्रिक घर्षण के कारण शीर्ष हानि $= \frac{2.80\times100\times100}{1000}$

$= 28$ m of water

रैम पर उपलब्ध कुल शीर्ष $= 600 - (85.6 + 28)$

$= 486.4$ m of water

रैम पर कुल दाब तीव्रता $= \frac{486.4\times1000}{100\times100}$

$= 48.64$ kg / cm^2

रैम पर लोड (load) $= 48.64 \times \frac{\pi}{4} \times (22)^2 \times \frac{1}{1000}$

$= 18.4$ tonne

∴ क्रेन हुक द्वारा उठाया गया भार (load) $= \frac{18.4}{4}$

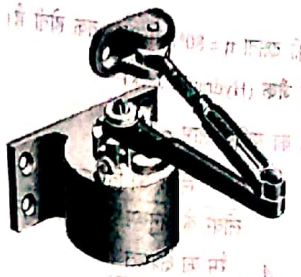
$= 4.6$ tonne उत्तर

हाइड्रॉलिक डोर क्लोजर (Hydraulic Door Closer)

हाइड्रॉलिक डोर क्लोजर एक ऐसा उपकरण है जो दरवाजों के ऊपरी भाग और उसके फ्रेम पर लगाया जाता है। एक हाइड्रॉलिक डोर क्लोजर दरवाजे को स्वत: (automatically) बंद करने में सहायता करता है। सामान्यत: एक डोर क्लोजर यांत्रिक उपकरण होता है जो दरवाजे को एक नियंत्रित तरीके से बंद करता है व इसे तेज आवाज के साथ बंद होने से रोकता है। यह सामान्य रूप से तब होता है जब कोई इसे खोलता है या यह स्वत: ही खुलने के बाद बंद होता है। दरवाजे को खोलने में उपयोग होने वाला बल एक प्रकार की स्प्रिंग में संग्रहीत (store) होता है और जब इस ऊर्जा को दरवाजे को वापस किया जाता है तो वह इसे बंद कर देती है। डोर क्लोजर बिल्डिंग के फायर अलार्म सिस्टम (fire alarm system) से सम्बन्धित होता है, जहाँ दरवाजों को वैद्युत चुम्बकीय उपकरण के साथ अधिक समय तक वापस खुला रोकने के लिए आवश्यकता होती है। जब फायर अलार्म चालू हो जाता है, तो वैद्युत चुम्बकीय होल्ड-ओपन (hold-open) उपकरण में बिजली काट देता है जिससे दरवाजे बंद हो जाते हैं। ये होल्ड-ओपन उपकरण डोर क्लोजर या इसके भाग की डिजायन से पृथक (separate) हो सकता है।

Modern manual door closer

(अ)



(ब)

चित्र 5.11–डोर क्लोजर

चित्र-5.11 (अ) व (ब) में डोर क्लोजर दर्शाये गये हैं।

सारांश (Summary)

- द्रवीय तेल शक्ति प्रणाली—तेल शक्ति प्रणाली वह परिपथ है जिसमें बल और शक्ति का स्थानान्तरण तरल के माध्यम से होता है। साधारणतया तरल के रूप में एक तेल का उपयोग किया जाता है।
- **द्रव स्थैतिकी प्रणाली** (Hydrostatic system)—द्रव स्थैतिकी प्रणाली वह प्रणाली है जिसमें द्रवीय तरल का प्राथमिक कार्य बल व शक्ति का स्थानान्तरण दाब के माध्यम से करना होता है।
- **द्रव गतिकी प्रणाली** (Hydrokinetic or Rotadynamic system)—द्रव गतिकी प्रणाली का उद्देश्य शक्ति का स्थानान्तरण करना व कार्यकारी माध्यम के वेग में प्रवाह के परिवर्तन के कारण प्राथमिक आवश्यक प्रभाव प्राप्त करना है।

द्रविक प्रैस—

- **द्रविक प्रैस या मशीन का यांत्रिक लाभ—** $\frac{W}{F} = \frac{A}{a}$

जहाँ, $W \rightarrow$ रैम पर भार

$F \rightarrow$ प्लंजर पर बल

$A \rightarrow$ बड़े सिलिण्डर का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल

$a \rightarrow$ छोटे सिलिण्डर का अनुप्रस्थ क्षेत्रफल

- अधिक यांत्रिक लाभ हेतु बल F एक लीवर पर बल P द्वारा लगाते हैं तब लीवर का यांत्रिक लाभ, $\frac{F}{P} = \frac{L}{l}$ जहाँ $\frac{L}{l}$ = लीवरेज
- प्रैस द्वारा उठाया गया भार, $W = \eta \cdot P \frac{L}{l}\left(\frac{D}{d}\right)^2$

जहाँ $\frac{D}{d}$ = बड़े तथा छोटे सिलिण्डरों का व्यासानुपात

CAMBRIDGE COPY

Scanned with CamScanner