भौतिकीय प्रतिमानों में मापक

हृदय प्रकाश
वरिष्ठ अनुसंधान अधिकरी
केन्द्रीय जल तथा विद्युत अनुसंधान शाला

सारांश

किसी भी परियोजना को मूलभूत से उपयोगी बनाने हेतु वैज्ञानिक उपकरणों का प्रयोग किया जाता है, जिससे परियोजना अधिक लाभकारी सिद्ध हो । समुद्री आवागन हेतु बंदरगाह एवं पत्तनों हेतु नौसंचालक वाहिकाओं, तरंगरोधकों व अन्य संगत प्रभावकारी सुविधाओं का निर्माण किया जाता है, परियोजना को नियम से पूर्ण किया जाए तो अधिक लाभकारी होती है अन्यथा विफल होने की अधिक आशंका हो जाती है, जिससे राष्ट्रीय संपत्ति नष्ट होती है। पत्तन, नहर, बांध, तापीय, द्रवीय विद्युत गृह इत्यादि परियोजनाओं की प्रथमतः प्रतिमान बनाकर जाँच की जाती है, आदिरूप से प्रतिमान रूप में लाने हेतु किसी पैमाने (scale) का सहारा लिया जाता है, अर्थात या तो आदिरूप को किसी स्केल से लघुरूप बनाया जाता है अन्यथा दीर्घरूप जिसे प्रतिमान कहते हैं। प्रतिमानों में स्केल निर्धारण की जानकारी होना आवश्यक है। प्रस्तुत लेख में भौतिकीय प्रतिमानों में स्केल के मूल सिद्धान्तों का पुनः अवलोकन किया गया है अर्थात कौन सा स्केल किस परिस्थिति में अधिक तर्कसंगत रहेगा और क्यों? इस छोटे लेख में अधिकतम सिद्धान्तों को समायोजित करने का प्रयास है, अधिक जानकारी हेतु विभिन्न पाठय पुस्तकों, प्रकाशित लेखों या संगत विद्वानों की राय लेना हितकर रहेगा।

भौतिकीय प्रतिमानों के सिद्धातः

विचाराधीन समस्या के अनुकूल प्रभावकारी लक्षणों को ध्यानाकर्षित करके लघु मापक में परिवर्तित रुप ही भौतिकीय प्रतिमान है। यह अनिवार्य नहीं कि दूसरे क्रम के प्रभावकारी अवयव भी पूर्णतया मापनक्रम में समायोजित हों और आदिरुप व प्रतिमान के परिणामों में अंतर की न्यूनता को मापन प्रभाव हेतु बाध्य करें। इस प्रकार भौतिकीय प्रतिमानक का यह प्रथम मूल कर्तव्य है कि समस्या के प्रभावकारी लक्षणों की ओर अधिक ध्यान देकर प्रतिमान में प्रभावकारी कारणों का मापक समायोजित करें, ताकि सफलतम परिणाम प्राप्त किये जा सकें।

ज्यामितीय, गतिज एव गतिकीय समरुपताएं किसी प्रतिमान निर्माण में न्यूनतम आवश्यक अंग है; ज्यामितीय समरुपता में त्रिविमीय मापक अनुपातों की समरुपता; गतिज समरुपता का तात्पर्य प्रतिमान के सभी स्थानों की समरुपता आदिरुप के संगत स्थानों पर वेगों में समरुपता से है, जबकि गतिकीय समरुपता का तात्पर्य मात्र संगत बलों की समरुपता से है। ये सभी समरुपतायें आपस में एक दूसरे पर निर्भर करती हैं एवं अधिकतर अवस्थाओं में गतिज समरुपता अन्य दो समरुपता क्रमशः ज्यामितीय व गतिकीय समरुपता पर ही निर्भर रहती है, यदि उचित भौतिकीय सीमा अवस्थायें व द्रवों को प्रतिमान में समायोजित किया जाय तो संपूर्ण प्रतिमान में सभी क्षेत्रों में लगनेवाले बल, वेग एवं त्वरण समान ही जनित होंगे। अतः प्रतिमानक को सर्वप्रथम कार्यकारी प्रभावशाली बलों को ध्यान में रखकर प्रतिमान को संरेखित करना चाहिए। अधिकतर भौतिक प्रतिमानों में दाब एवं गुरुत्वाकर्षण मिलकर, बल निर्माण करते हैं, जो पृष्ठ पर घर्षण यथारुप से जनित नहीं होने देता, अतः अन्य प्रकार से संगत घर्षण उत्पन्न करता है। त्रिविमीय नेवीयर स्टॉक समीकरण में समाये न्यूटन के द्वितीय नियम का सहारा लेकर प्रतिमानक मुख्य पदों की पहचान करके पूरे प्रतिमान में तुलनात्मक रुप से इन बलों को समायोजित करता है। परिणामतः ज्यामितीय, घनत्व, वेग, निस्सरण, दाब, प्रतिबल या अन्य समस्या से जुड़े महत्वपूर्ण अवयवों के लिए योग्य मापन निर्धारण करना आवश्यक होता है।

विमीय विश्लेषण बनाम गतिकीय समरुपता:

प्रतिमानन मुख्यत: गतिकीय समरुपता पर निर्भर करता है। अधिकतर प्रतिमानक यह दिखाने का प्रयत्न करते हैं कि उसने एक नया मापक लेकर प्रतिमान का निर्माण किया है, परन्तु विमाहीन राशि का सहारा लेकर प्रतिमान पर अनुसंधान कार्य में जुट जाता है। उदाहरण के तौर पर वीयर के ऊपर द्रव प्रवाह में मुख्यत: निम्नलिखित राशियां उपयोग में आयेगी, जिनकी संगत विमायें;

निस्सरण की संहति दर	Q	किलोग्राम प्रति समय
निकाय की चौड़ाई	W	मीटर
निकाय की गहराई	d	मीटर
गुरुत्वाकर्षण त्वरण	g	मीटर प्रति वर्ग सेकंड
द्रव का संहति घनत्व	ρ	किलोग्राम प्रति घनमीटर
पृष्ठ तनाव	σ	किलोग्राम प्रति वर्ग मीटर
श्यानता	μ	किलोग्राम प्रति मीटर सेकंड
तल पृष्ठ पर घर्षण और मुक्त पृष्ठ पर घर्षण	κ	मीटर

उपयुक्त विधि के अनुसार विमीय विश्लेषण को कई समूहों में वर्गीकृत किया जा सकता है किन्तु तर्क संगत रुप से निम्नवत समुच्चयों में विभाजित किया जाता है

$$\frac{Q}{k\mu};\quad \frac{Q\sqrt{kg}}{\sigma k};\quad \frac{Q}{K^2\rho\sqrt{gk}};\quad \frac{W}{d};\quad \frac{W}{k} \qquad (1)$$

अर्थात यहाँ से एक ही निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि वीयर का प्रतिमान बनाना असंभव है क्योंकि द्रव, खुरदरापन, एवं ज्यामितीय मापन कोई भी युग्म नहीं है जो अनिवार्य पाँचों समूहों को सन्तुष्ट कर सकें अत: मूल सिद्धान्तों से इस समस्या को आगे हल नहीं किया जा सकता है।

सौभाग्य से बुद्धिजीवी प्रतिमानकों को इस समस्या के अन्य पहलू उपलब्ध है इस मूलत: वीयर समस्या दर्शाती है कि वीयर पृष्ठ के ऊपर जल गहराई पर द्रव प्रवाह निर्भर करता है इस प्रकार निम्नलिखित वैकल्पिक समूह किये जा सकते हैं।

$$\frac{Q}{d^2\rho\sqrt{gd}};\quad \frac{d}{W};\quad \frac{d}{k};\quad \frac{\rho d\sqrt{gd}}{\mu};\quad \frac{\rho g d^2}{\sigma} \qquad (2)$$

अतएव पृष्ठ तनाव का गुरुत्वाकर्षण से अनुपात एवं श्यानता बल संकाय का आकार बढ़ने से बढ़ता है क्योंकि गुरुत्वाकर्षण प्रभाव आयतन पर निर्भर करता है, जबकि श्यानता बल पृष्ठ क्षेत्रफल या लम्बाई में कार्य करते हैं। इस प्रकार यदि प्रतिमान दीर्घ है तो श्यानता बल एवं पृष्ठ तनाव प्रभावों का मान नगण्य मानकर उपरोक्त समीकरण से अंतिम दो पद $\rho d\sqrt{gd}/\mu$ एवं $\rho g d^2/\sigma$ हटाये जा सकते हैं। शेष तीन पदों में यदि प्रतिमान में अधिक चिकना पृष्ठ बनाया एवं विकसित मापन रखा जाय तो निस्सरण की 5/2 घातांक रुप में संरेखीय मापन होगा, इस प्रकार मुख्यत: गुरुत्वाकर्षण से ही प्रवाह निर्यंत्रित रहेगा।

यदि समिश्र प्रक्रियायें जैसे कि अवसाद परिवहन प्रतिमान हेतु विमीय विश्लेषण के अभाव में तर्कसंगत समरुपता दर्शाते है या आनुभाविक ज्ञान अधिक सुलभ प्रतीत होता है।

समरुपता सिद्धान्त से विमीय विश्लेषण की तुलना का अति आधुनिक सिद्धान्त है कि प्रवाह धारा में उत्प्लावक वहिस्राव को तनुकरण से प्राप्त किया जा सकता है। सामान्य वाहिका एक समान गति प्रवाह से उत्प्लावक की मध्य रेखा पर तनुकरण S को निर्भर चर एवं प्रक्रिया को प्रभावित करनेवाले घटक जैसे कि प्लूम का ऊर्ध्व चढ़ाव y, जेट का व्यास D, प्रवाह वेग U, द्रव घनत्व ρ तथा उत्प्लावक बल जिसका गुरुत्व प्रतिनिधित्व कम हो तो $g' = g\frac{\Delta p}{p}$ होते हैं। इस प्रकार के पाँच स्वतंत्र अवयवों से दो समूह प्राप्त होते हैं जिन पर तनुकरण प्रक्रिया निर्भर करती हैं, अत: विमीय विश्लेषण द्वारा

$$S = [F\Delta;\ y/D] \text{ का फलन है} \quad (3)$$

$$\text{जबकि } F\Delta = U_j / \sqrt{g'D} \quad (4)$$

$F\Delta = U_j / \sqrt{g'D}$ जेट का घनत्वकारी फ्राऊड संख्या धारा की उपस्थिति में प्रवाह वेग U_a एवं जेट वेग U_j का अनुपात प्राकृतिक तौर से स्वत: सम्मिलित हो जाता है अत:

$$S = \lfloor F\Delta; \quad y/D; \quad U_a/U_j \rfloor \quad (5)$$

यह समुच्चय पूर्व समुच्चय का ही एक उपसमुच्चय है, जिसे निम्न प्रकार प्रदर्शित किया जा सकता है

$$S = S_o \text{ फलन } [U_a/U_j] \quad (6)$$

जबकि S_o शान्त जल में मध्य रेखा पर मूल तनुकरण है।

वैज्ञानिकों ने इन अधिक गतिशील महत्वपूर्ण अवयवों के बदले जेट के आयतन, संवेग और उत्प्लावक अभिवाह का उपयोग किया एवं

$$S = \text{फलन } [Q,\ M,\ B,\ U_a,\ y] \quad (7)$$

जबकि

$$Q = U_j \pi D^2/4 \quad (8)$$

$$M = U_j^2 \pi D^2/4 \quad (9)$$

$$B = Qg' \quad (10)$$

इन समीकरणों के आधार पर लम्बाई की तीन परिभाषायें उदभूत हुई

$$l_Q = Q/\sqrt{M} \quad (11)$$

$$l_M = M^{3/4}/\sqrt{B} \quad (12)$$

$$l_B = B/U_a^3 \quad (13)$$

जिनका सामान्यीकरण उर्ध्व विस्थापन y द्वारा किया जा सकता है। y/I_Q जेट के मुख पर जहां से प्रवाह आयतन अभिवाह और संवेग नियंत्रित होता है। $y/I_Q >> 1$ आयतन अभिवाह अधिक महत्वपूर्ण नहीं है, y/l_M संवेग एवं उत्प्लावक को नियंत्रित करके प्रक्रिया बढ़ता है। y/I_M ऊर्ध्व विस्थापन है जहाँ वेग उत्प्लावक व मिश्रण से प्रेरित हो, कम वेग में परिवर्तित हो जाता है। इस प्रकार जब $y/I_B < 1$ तो प्लूम स्थिर की तरह व्यवहार करती है परन्तु जब y/I_B हो तो उत्प्लावक प्रभावों को धारा प्रभाव से पीछे रहना पड़ता है। इस प्रकार वैज्ञानिकों द्वारा बनाये गये समूहों को वैकल्पिक तौर पर अधिक अच्छा माना जाता है

$$S = \lfloor l_Q/l_B \quad ; \ l_M/l_B \quad ; \ y/l_B \rfloor \quad (14)$$

इस क्रम का प्रथम पद l_Q/l_B नौजल के समीप अधिक महत्वपूर्ण है जहाँ स्रोत ज्यामिती एवं संवेग प्रभावकारी होंगें। अत: आरम्भकारी संवेग व उत्प्लावक कार्यवाह के बारे में प्लूम द्वारा जाना जा सकता है।

$$\text{जहाँ } S = \lfloor \sqrt{M} U_a^2/B \quad : \quad yU_a^3/B \rfloor \quad (15)$$

यदि बलकारी प्रक्रियाओं की पहचान को ध्यानपूर्वक समझा जाये तो विमीय विश्लेषण को भी गहन मार्गदर्शन की आवश्यकता है, ताकि अच्छे प्रभावकारी प्रतिमान मापक का चयन किया जा सके।

गतिक समरुपता बनाम प्रक्रिया फलन :

प्रक्रिया फलन का उपयोग उपलब्ध सूत्रों की भौतिक प्रक्रिया से किया जाता है। इन में से कुछ प्रक्रियायें जैसे कि घर्षण गुणांक, रिनॉल्ड संख्या तथा तुलनात्मक खुरदरा खंड सैद्धान्तिक विचारधारा पर अच्छी प्रकार से आधारित है जो परीक्षित अनुसंधान के विशेष आनुभाविक स्थिरांक एवं गुणांकों का परिणाम है। प्रचलित प्रतिमान घर्षण आलेख को लेब्रूक-व्हाइट समीकरण पर आधारित है उदाहरण के लिए आदिरुप में विक्षोभयुक्त प्रवाह को प्रतिकृति में उच्च रिनॉल्ड संख्या एवं खुरदरेपन के लिए प्रवाह जनित नहीं किया जा सकता या आदिरुप में पृष्ठ संक्रमण खुरदरा या चिकना भी हो सकता है, क्योंकि प्रतिकृति में अधिक चिकनाई संभव नहीं है।

किसी जलीय संरचना जैसे कि सुरंग उत्प्लव मार्ग हेतु प्रतिमानक का प्रथम उद्देश्य होता है कि आदिरुप एवं प्रतिमान में समान घर्षण स्थिरांक प्राप्त किये जाये। मुक्त पृष्ठ गुरुत्व प्रवाहों में फ्राऊड मापन प्रतिमानन की आवश्यकता पड़ती है, गुरुत्व बल एवं पृष्ठ घर्षण के अनुपात को आदिरुप एवं प्रतिमान मे समान ही होना चाहिए। इस प्रकार कई प्रतिमानों में रिनॉल्ड संख्या को कम करके यानो कि घर्षण स्थिरांक अर्थात खुरदरेपन को कम करके प्राप्त किया जा सकता है।

यदि आदिरुप का भू-पृष्ठ तुलनात्मक चिकना है तो प्रतिमान में संगत चिकनाई पृष्ठ जनित करना कठिन होता है ताकि आंकलित पृष्ठ घर्षण प्राप्त किया जा सके। ऐसी स्थिति में प्रतिमानक के पास निम्नलिखित विकल्प रह जाते हैं।

क) प्रतिमान में प्राक्कलित पृष्ठ घर्षण ये अधिक घर्षण का प्रयोग करे

ख) मुक्त रुप प्रवाह के ढलान का विकृत रुप प्रदान करने या लम्बाई या व्यास को मूल से अलग करके

ग) "मापक प्रभाव" हेतु संशोधित गणना करके

किसी वलयाकार प्रवाह पिंड की दीवार के त्वरण प्रवाह पर लगनेवाले घर्षण बल हेतु सैद्धान्तिक तौर पर समीकरण द्वारा दर्शाया जा सकता है। जल घर्षण एवं गुरुत्व बल के प्रभाव समान होते हैं, तो प्रवाह स्थाई हो जाता है, इस परिस्थिति में त्वरण प्रवाह क्षेत्र में अवकलन समीकरण को आंकीय तौर और सरलीकरण किन्तु औसत मान के समीप गहराई जहाँ कि 95% अंतस्थ वेग होता है, यह वेग निम्नवत समीकरण से अधिक नहीं हो सकता

$$v_t = 3.5\left[Q/\pi\lambda D'\sqrt{g}\right]^{2/3} \qquad (16)$$

जबकि D' किसी लूपक का व्यास है

उदाहरण के तौर पर यदि निस्सरण 2 घनमीटर प्रति सेकंड, घर्षण स्थिरांक $\lambda = 0.02$, कूपक का व्यास = 1 मीटर तो 16.424 मीटर प्रति सेकंड पर अंतस्थ वेग होगा। इस प्रकार प्राथमिक निस्पादन एवं कूपक के निचले सिरे पर ऊर्जा के क्षय को ध्यान में रखकर लगभग 20 मीटर से अधिक लम्बे कूपक का निर्माण करना पड़ेगा। जिसके कारण अन्य कार्यकारी अवयव प्रभावित होंगे जैसे कि वलयाकार में सतत क्षय प्रतिकृति में नहीं प्रदर्शित होगा, अत: इस मान की गणना करनी पड़ेगी।

अवसाद अनुकरण :

गतिक समरुपता, पृष्ठ अवस्था सूत्र या प्रक्रिया फलन?

संभवत: सन् 1875 से 1900 तक फारकी, रिनॉल्ड, वेरनान एवं इंगल द्वारा सरिता एवं खाड़ी में अवसाद आवागमन का प्रयोग किया गया था, इन्होने संगत भौतिकीय प्रतिमान बनाये, इस समय के तुरंत बाद कार्लस्रहे नामक स्थान पर तकनीकी विश्वविद्यालय में रेहबोक ने सरिता द्रवीय प्रयोगशाला की स्थापना की थी। गिबसन के मार्गदर्शन में ज्वारनद प्रतिमानों का क्रियाशील कार्यकाल के समय सन् 1926 में ज्वारीय ऊर्जा हेतु मानचेस्टर, इंग्लेंड के सेवर्न खाड़ी के प्रतिमान का अध्ययन किया गया। इस प्रतिमान मे मापन क्षैतिज में 1:8500 व उर्ध्वमापन 1:100 रखा गया बाद में उर्ध्व मापन को बदलकर 1:200 किया गया। इस प्रकार के प्रतिकृति अध्ययन फ्रांस व नीदरलेंड में भी किये गये।

भारत महाद्वीप की नदियों में अवसाद आवागमन के विकास हेतु अनेकों प्रतिमान बनाये गये; इन प्रतिमानों से बाढ़ रोकथाम कार्य, नदी नियंत्रण कार्य एवं सिंचाई प्रणाली परियोजनाओं को कार्यान्वित किया गया। सर क्लाउड केवेन्डिस इंगलिस ने वर्तमान जल संसाधन मत्रालय के अधीनस्थ केन्द्रीय जल और विद्युत अनुसंधान.शाला, खडकवाला, पुणे में स्थापना सन् 1916 में करके सन् 1945 तक कार्य किया। इस कार्य के बाद कई देशों में राष्ट्रीय स्तर के द्रव गतिक संस्थान भी खोले गये। भारत छोड़ने के उपरांत ब्रिटेन में भी बेलिंग फोर्ड स्थल पर सर इंगलिस ने 1954 में अनुसंधान संस्थान खोला।

इस प्रकार गत एक सदी से अधिक अवसाद परिवहन के प्रतिमानों में शैक्षणिक तौर पर अच्छी प्रगति हुई है किन्तु अवसाद कण को मापन नियमों के अधीन सूक्ष्म किया जाय तो अनुसंधान के माध्यम से यह परखना पड़ेगा कि प्रतिमान में जनित वेग अधिक या कम तो नहीं है एवं इस जनित वेग से अवसाद अवलंबन अवस्था में विचरण तो नहीं कर रहा है।

सन् 1936 में अवसाद कण की आरम्भिक गति के शील्ड द्वारा गणितीय रुप के समीकरण से प्रतिमान जगत में विशेष उपलब्धि मिली, जिससे अवसाद परिवहन को अच्छी प्रकार समझा जा सका। इसी प्रकार विमीय विश्लेषण का योगदान भी अविस्मरणीय है। उचित प्रक्रिया फलन के विकास काल में रेतीली नदियां प्रणाली के ज्यामितीय समरुपता, पृष्ठ अवस्था सूत्रों एवं प्रक्रिया फलनों से मापन निर्धारण में सरलता होती है। विमीय विश्लेषण एवं समरुपता तर्कों सहित गत चालीस वर्षों से अधिक समय से भूपृष्ठ पर जल में अवसाद परिवहन का विधिवत अध्ययन किया गया जिससे अनेक देशों में अनेक लघु व दीर्घ परियोजनाओं के सफलतम कार्य हुए हैं। अर्थात परिलब्धता को आनुभाविक एवं संगत अनुभव के आधार पर पाया जाता है। संगणक के माध्यम से गणनाओं के आकलन में अच्छी प्रगति हुई है, अतः संभावना की जाती है कि अवसाद परिवहन आकलन में भी अच्छी प्रगति होगी। विश्व स्तर पर भौतिकीय प्रतिमान एक मानक प्रचलन है।

द्विविमीय स्वतंत्र पृष्ठ क्षेत्र में अवसाद परिवहन को मात्रा के मूलतः द्रव घनत्व ρ, ठोस अवसाद घनत्व ρ_s, द्रव की श्यानता μ,अवसाद कण आकार D, द्रव गहराई d, भूतल पर अपरुपण वेग $\sqrt{gds}$ (जिसे u_* द्वारा प्रदर्शित किया जाता है) एवं गुरुत्व त्वरण g पर निर्भर करती है। विमीय विश्लेषण से इन मात्राओं को प्रमुखतः चार निम्नवत समूहों में विभाजित किया जा सकता है।

$$Re_* = \rho V_* D / \mu \tag{17}$$

$$\gamma = V_*^2 / (s-1) g D \tag{18}$$

$$Z = d / D \tag{19}$$

$$s = \rho_s / \rho \tag{20}$$

अवसाद परिवहन हेतु आइन्सटाइन (1950) के अनुसार विमाहीन समीकरण

$$\phi = q_s / \rho [(s-1) g D]^{3/2} \tag{21}$$

जबकि q_s अवसाद की निलंबन अवस्था द्रव में प्रति इकाई समय प्रति इकाई चौड़ाई अवसाद का भार है। निष्कर्षतः

$$\phi = \text{फलन}[Re_* ; \quad Y ; \quad Z ; \quad s] \tag{22}$$

विदित हो कि चलायमान तल पृष्ठ पर घर्षण गुणांक भी उपरोक्त चार राशियों पर ही निर्भर करते हैं। अति आधुनिक सिद्धान्त भी कुछ फेरबदल करके मूलतः इन चार राशियों पर ही आधारित होते हैं। एकर्स व व्हाइट ने सन् 1975 में अवसाद कण की रिनॉल्ड संख्या Re_* को निम्नवत परिवर्तित किया।

$$D_{gr} = D[g(s-1)/\nu^2]^{1/3} \tag{23}$$

जबकि $\nu = \mu / \rho$

इस समीकरण में प्रत्येक पद का अपना महत्व है। D_{gr} निमग्न भार एवं श्यानता के अनुपात से अवसाद कण पर तुलनात्मक पड़ने वाले प्रभाव, γ किसी पृष्ठ तल पर अपरुपण प्रतिबल एवं अवसाद कण परत मोटाई भार का अनुपात, z अवसाद कण एवं द्रव गहराई का अनुपात जो ज्यामितीय रुप से घर्षण को प्रभावित करती है, अंततः S अवसाद कण के आघूर्णन प्रभाव जो निमग्न भार γ द्वारा प्रभावित होता है।

समरुपता के सिद्धान्त के अनुसार जब अवसाद परिवहन मापन को ϕ के समतुल्य मानकर व्युत्पत्ति की गई हो तो प्रतिमान एवं आदिरुप में कथित चार राशियों को समान होना ही चाहिए। इस प्रकार द्रव के रुप में जल का प्रयोग किया जाय तो 1:1

मापन में चार राशियां स्वत: मेल अपनाती है। आवश्यकता अनुसार सुलह करने के लिए अनिवार्यता को देखते हुए फ्राउड संख्या भी गुरुत्वीयत्वरण पर ही निर्भर करती है।

अवसाद परिवहन से जुड़े अनुसंधानकर्ताओं, वैज्ञानिकों एवं अभियंताओं को यह मानना पड़ेगा कि S द्वारा प्रदर्शित समूह से संसूचक प्रभाव नहीं पड़ते फिर भी औसतन रुप से S को रिनॉल्ड संख्या व γ में समायोजित किया गया है। S को सम्मिलित न करने से अति सरल मार्ग प्रशस्त होगा किन्तु मात्रा के आकलन में यथार्थता की कमी पाई जाएगी वैसे इन्गलंड व हनसेन ने सन् 1967 में कथित समूह को अपने समीकरण में सम्मिलित नहीं किया था जबकि सन् 1971 में यालीन ने चतुर्थ पद S को प्रयोगात्मक दृष्टि से सम्मिलित नहीं किया क्योंकि Z से

$$s^{D} = s^{d} \tag{24}$$

इस प्रकार

$$s^{v^*} = 1/s^{d} \tag{25}$$

और

$$s^{S} = 1/s^{d3} \tag{26}$$

जबकि पूर्व पद S मापन को प्रदर्शित करता है एवं S वाहिका की प्रवणता है। अतएव अब यह पूर्ण स्पष्ट हो गया है कि प्रवणता में अति विरुपणता अप्रायोगिक है तथा प्रवाह के फ्राऊड समरुपता के योग्य नहीं हो पायेगी, अब अगर प्रथम दो पदों को ही महत्व दिया जाए तो प्रतिमान मापन निर्धारण में अधिक लचीलापन रहेगा, इस प्रकार आवश्यकतानुसार

$$s^{(s-1)} = 1/s^{D}3 \tag{27}$$

जो D_{gr} की समतुल्यता प्रदान करता है और

$$s^{S} = s^{D^{-2}} s^{d^{-1}} \tag{28}$$

जबकि प्रतिमान की प्रवणता में ऊर्ध्व विरुपणता को ही ध्यान में रखा जाता है। विहित कल्पना है कि रेतीली नदियों में प्रतिरोधकों का निर्धारण Re. एवं γ द्वारा किया जाता है। अतएव इस परिकल्पना के अनुसार दीर्घ प्रतिमान निर्माण में आवश्यकता अनुसार जहाँ अवसाद कण पर्याप्त बड़े नहीं है तो अवसाद रिनोल्ड संख्या को नकार दिया जाता है। बलुई नदियों एवं खाड़ियों के तल पर संगत अवसाद के साथ सफलतम प्रतिमान अध्ययन किये गये जहां ये कानून लागू नहीं होते फिर भी सफलतम परिणाम पाये गये। इस प्रकार क्या प्रतिमानक समरुपता विधि की ओर ध्यान नहीं देते थे ? या क्या शैक्षणिक तौर पर अनावश्यक तौर से मापक बंधन थोपे गये हैं? या सभी भ्रामक है?

इन सभी प्रश्नों के उत्तर की जिज्ञासा से ऐसा प्रतीत होता है कि प्रतिमानक जिन्होंने सैद्धान्तिक रुप से प्रतिमान निर्मित किये हैं वे बिना किसी शंका के यही कहेंगे कि उनका कार्य सर्वोत्तम है क्योंकि प्रतिमान आनुभविक एवं सिद्धान्त पर आधारित है। इस प्रकार सत्य शैक्षणिक एवं आनुभाविक दोनों के मध्य छुपा है

चौड़ाई $$W = C_1 Q^{1/2} \tag{29}$$

गहराई $$d = C_2 Q^{1/3} \tag{30}$$

प्रवणता या ढलान $$s = C_3 Q^{-1/6} \tag{31}$$

तीन स्थिरांकों C_1, C_2 एवं C_3 के परिमाण अवसाद कण के आकार एवं अवसाद सांद्रता पर निर्भर करते हैं। यदि प्रतिमान एवं आदिरुप दोनों में एक ही आकार के अवसाद प्रयोग में लाये जाते हैं तो अवसाद सांद्रता की समरुपता के फ्राऊड नियमानुसार ऊर्ध्व विरुपणता के वर्गमूल की व्युत्क्रमानुपाती होती है, जब

$$s^{w} = s^{x} = s^{d^{3/2}} = s^{v^{3}} = s^{q^{1/2}} \tag{32}$$

जबकि x प्रणाली में लम्बाई है।

इस प्रकार के अनेक फलन प्राचल विमाहीन राशियों के समुच्चयों पर निर्भर करते हैं, या प्रतिमान नियमों की व्युत्पित्ति की जा सकती है। कुछ प्राचल तो चयनित अवसाद परिवहन मापन फलनों में अधिक लचीलापन है फिर भी जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि अवसाद परिवहन के मापन का चयन मात्र संकलित आकड़ों के विश्लेषण पर निर्भर नहीं करता बल्कि आदिरुप एवं प्रयोगशाला मापक भी अच्छी समरुपता प्रदान नहीं करते हैं।

चयानत मापक के आधार पर कुल अवसाद भार फलन को सही माना जाय तो आधुनिक प्रचलित एकर्स व व्हाइट (1976) विधि को यहाँ उदाहरण स्वरुप दर्शाया गया है कि प्रतिमान में मापन कितने महत्वपूर्ण होते हैं एवं अन्य विधियों का भी इसी प्रकार उपयोग किया जा सकता है। किसी बलुई सीधी नदी में स्थाई-स्थिर द्रवीय अवस्था प्राप्त करने के लिए अवसाद परिवहन, प्रतिरोधक स्थिरांक, भूपृष्ठ स्थल की अवस्था के निचले प्रवाह में व्हाइट, पेरिस व बेटेस ने सन् 1980 में एक परियोजना के हल को समझाया गया है जिससे पता चलता है कि अवसाद परिवहन में कौन कौन से प्राचल अत्यंन्त आवश्यक होते हैं।

किसी विशेष उदाहरण के तौर पर यदि किसी नदी के अवसाद कण आकार D=0.2 मिलीमीटर निस्सरण प्रतिमीटर चौडाई में 10 से 40 घनमीटर प्रति सेकंड, अवसाद परिवहन की कुल दर 2000 से 3000 मिलीग्राम प्रतिलीटर अवसाद परिवहन एवं प्रतिरोध का संयुक्त हल गहराई, प्रवाह वेग, प्रवणता एवं मेनिंग के n पर निर्भर करता हो तो प्रतिमान की यथा स्थिति प्राप्त करने हेतु जो गहराई, वेग व निस्सरण फ्राउड आधार पर उर्ध्वमापक समरुपता प्रदान करेंगें। इस मापक के परीक्षण हेतु 1/30 मापक का चयन किया जाए तो वेग का मापन $1/\sqrt{30} = 1/5.48$ होगा, निस्सरण मापन 1/164.3 होगा। यदि आदिरुप एवं प्रतिमान में रिनोल्ड संख्या Re- (और D_{gr}) को समान मान लिया जाए तो आधुनिक लगभग सभी प्रयोगशालाओं में पृष्ठ अवस्था हेतु अवसाद कण के संक्रमित आकार का चयन किया जाता है। दीर्घ अवसाद कण आकार की नदियों में यह विधि अच्छा प्रदर्शन करती है।

इस प्रकार ऐसा प्रतीत होता है कि प्रतिमानों से प्रवणता एवं अवसाद प्रभार हल किये जाते हैं। प्रतिमान में प्रवाहित अवसाद की मात्रा प्रतिमान में सही गहराई एवं वेग प्राप्त करने हेतु सही पैमाने पर कि जाती है। प्रवणता स्वत: सुधर जाती है। प्रतिमानों में अवसाद परिवहन की मात्रा आदिरुप से प्राय: कम पाई जाती है तथा इस उदाहरण में आकारकीय समय मापक का मान फ्राऊड समय मापक अवसाद परिवहन के लिए कम होते हैं यह कमी लगभग 20 गुने से अधिक होती है, फिर भी अधिक प्रभावशाली नहीं होती जब यह मान लिया जाय कि प्रतिमान एवं आदिरुप दोनों में पर्याप्त समय के लिए अवस्था प्राय: स्थिर रखी जाय।

अवलोकनों से यह भी पता चला है कि आदिरुप एवं प्रतिमानों में प्रवणता अधिक प्रवाह क्षेत्र को छोड़कर समान पाई जाती है। बलुई नदियों की निम्न तल अवस्था में बालू के मध्य घर्षण से प्रवाह पृष्ठ तल में गिरावट आ जाती है (यह प्रक्रिया वास्तविक नदियों की समिश्र ज्यामिति से उत्पन्न अतिरिक्त हानि को यहां सम्मिलित नहीं किया गया है) अत: पूर्ण नदी की प्रवणता को समरुपता लाना आवश्यक नहीं होता, अपितु प्रतिमानों में अवसाद जमाव आदिरुप की ऊर्जा प्रवणता के लगभग समान ही होता है, इस प्रकार बलुई तल प्रतिमान प्रकृति के समान ही व्यवहार करते हैं क्योंकि सैद्धान्तिक रुप से मापन विरुपणता प्रवणता के लिए उपलब्ध नहीं है। इसी एक मात्र कारण से क्षैतिज मापन के चयन मे अवरोधकता होती है। नदी प्रशिक्षण के कई अध्ययनों में या वैराज की कार्यप्रणाली एवं नहर का अंत:प्रवाह की समस्या को किसी विशेष नदी खंड पर पारंपरिक अवसाद का प्रयोग करके आंशिक अध्ययन किया जाता है, जो शायद नदी की पूर्ण तल प्रवणता को प्रभावित नहीं करता या प्रवणता मापक के विरुपण से अधिक संवेदी नहीं होता।

यहाँ यह मान लिया गया है कि आदिरुप की निचली तल अवस्था में प्रतिमान भी सुचारु रुप से कार्य करता है जिसका पता लगाना आवश्यक है। सन् 1986 में बेटेस व वांग सिनिमांग ने तल की ऊपरी अवस्था या हेतु एक सिद्धान्त प्रतिपादित किया

$$UE = VS / \left[(g\nu)^{1/3} D_{gr}\right] \tag{33}$$

इन वैज्ञानिकों ने यह भी सुझाया कि जब UE >0.011(निचली अवस्था हेतु गणना की गई) पर उच्च अवस्था का संक्रमण आरम्भ होता है।

इस प्रकार यह स्पष्ट रुप से पता चलता है कि बलुई नदियों में एक ही विधि द्वारा सभी समस्याओं का निराकरण नहीं किया जा सकता, सभी समस्याओं को पृथक प्रतिमान का निर्माण करके गहन अध्ययन किया जाना चाहिए। मौलिक रुप से ऐसा कोई भी सफल सामान्य सिद्धान्त नहीं है, जिससे सभी समस्याओं का पूर्ण हल निकाला जा सके। विमीय विश्लेषण, समरुपता सिद्धान्त, प्रक्रिया समीकरण एवं अवस्था संकल्पनाओं के आधार पर किसी परियोजना या समस्या के निराकरण को हल करने में सहायक होती है, जिससे परिणामी त्रुटियों का क्षय होता है। इस प्रकार प्रतिमान में न्यायोक्ति, अनुभव और सुलह के आधार पर अवसाद परिवहन का निर्धारण किया जा सकता है। कई अवस्थाओं में उच्च कोटि की समरुपतायें पाई जाती है, उदाहरण के लिए अधिक ढलान बड़े कण आकार (शिलाष्म, कार्बन, गोलाष्म) की नदियों में प्रवाह विक्षुब्धता के कारण छोटे आकार के अवसाद कण प्राय: निलंम्बन अवस्था में ही रहते हैं।

बड़े अवसाद कण आकार के प्रतिमानों में ज्यामितीय मापक के आधार पर प्रतिमान का गठन किया जा सकता है बशर्ते कण का आकार एक मिलीमीटर से अधिक हो इन प्रतिमानों में श्रेणीबद्ध कण आकार मापक विधि का प्रयोग किया जाता है (इन प्रतिमानों में Re. या D_{gr} अनुरुप नहीं होते हैं। इन प्रतिमानों में अवलंबन अवसाद परिवहन के लिए कम घनत्व के पदार्थों का उपयोग भी किया जाता है, जिससे फ्राऊड वेग संख्या के समरुप पतन वेग प्राप्त किया जा सके। ये उदाहरण इस प्रकार के उदाहरण है जहां सैद्धान्तिक रुप में पृष्ठ घर्षण एक प्रतिरोधकता, तल पदार्थ के आरंभिक वेग, स्थापित गति फ्राऊड प्रवाह गति एवं नियंत्रित लक्षण, तल गति के लिए फ्राऊड समय मापक, अंत:ग्राही एवं नदी के मध्य निलंबित अवसाद वितरण तथा अंत:ग्राही प्रणाली में ठोस पदार्थों का प्रतिपूरण में किसी प्रकार समझौते की आवश्यकता नहीं होती।

प्रतिमानन की कला :

क्या प्रतिमान में मापक का प्रयोग एक कला कौसल्यता है या विज्ञान? स्थापित भौतिकीय नियमों के आधार पर सदैव समरुपता विमीय विश्लेषण के आधार पर हो या आनुभविक समीकरणों की विशेष प्रक्रिया पर आधारित हो यह निपुण विज्ञान है। किसी विशेष समस्या या परियोजना के निदान हेतु उपयुक्त विधि का चयन मतानुसार एवं आनुभविक तौर पर प्रतिमान मापक का प्रयोग सुलह द्वारा किया जाता है ताकि एक निर्धारित सीमा तथा कार्य सीमा में प्रतिमान परीक्षण किए जा सकें, अतएव प्रतिमानन एक कला है। सिद्धांतिक मापक को पूर्ण दृढ़ता से पालन करने हेतु प्रायोगिक जटिलतायें अवश्य आएँगी जो प्रतिमानक को सुलह करने के लिए बाध्य करेंगी या वास्तव में प्रतिमानक को इस निष्कर्ष पर पहुंचायेगी कि कई परिस्थितीयों में मापक प्रतिमानन पूर्णतया न्यायोचित नहीं है, तब क्या प्रतिमानक ने गलत प्रतिमान का निर्माण किया है?

अत: इस अवस्था में भौतिकीय प्रतिमान गणितीय प्रतिमान एवं आनुभविक सभी मिलकर किसी परियोजना की जटिल समस्या का निराकरण करते हैं। इस प्रकार की सामान्य समस्या को हल करने के लिए एक विमीय गणितीय प्रतिमानन उचित विधि है, किन्तु अवसाद परिवहन के लिए समीकरणों को हल करने की सही प्रक्रिया, सही आकलन एवं अवसादता कण की पूरी परिसर हेतु अपरदना पर निर्भर करती है, इस प्रकार काफी हद तक प्रवाह, विभिन्न नियंत्रण नियमों, अवसाद संचय व अपरदनता की समिश्रता से जुड़े होने पर उर्ध्व व क्षैतिज में अवसाद भ्रमण की गणना करना आसान विधि नहीं है। यदि कोई वैज्ञानिक गणना के आधार पर जलाशय में अवसाद परिवहन हेतु अच्छा प्रतिमान गठित कर भी लेता है तो अनुसंधान क्षेत्र में हुई प्रगति से या तो वंचित रह जाता है या पुन: गठित करने में जुट जाता है ताकि एक प्रभाव कारी आदर्श प्रतिमान प्रस्तुत कर सके। किसी बांध से सिंचाई या विद्युत के लिए प्रदत्त जल मात्रा के अध्ययन हेतु बाँध के समीप स्थानीय भूपृष्ठ संरचना से आये अवसाद अपरदन व परिवहन पर निर्भर करेगी। ये सभी प्रभाव त्रिविमीय है जो कि एक विमीय गणितीय प्रतिमान द्वारा प्रदर्शित नहीं किये जा सकते, इस प्रकार बाँध के समीप मापन प्रतिमान के सही चयन की आवश्यकता अवश्य पडेगी ताकि अवसाद की अपरदनता, परिवहन व संचयन का सही समरुप पूर्ण अवसाद कण परिसर के लिए प्रस्तुत किया जा सके।

प्रतिकृति के आकार के चयन में मापक एक महत्वपूर्ण कला है जिसका निर्धारण प्रयोगशाला में उपलब्ध स्थान व वांछित उपलब्ध निस्सरण पर निर्भर करती है। ऐसे प्रतिमानों में "मापक प्रभाव" से निष्कर्ष पूरी तरह प्रभावित होते हैं, दूसरी ओर प्रतिकूल प्रतिमान मापक बड़े कर दिये जायें तो काफी बड़े स्थान की आवश्यकता पड़ेगी एवं इस प्रतिमान हेतु निस्सरण का गुरुत्वीय प्रवाह उपलब्ध करा पाना क्या संभव है? कुछ एक समस्यायें ऐसी भी होती है कि आदिरुप ही अच्छा प्रतिमान प्रतीत होता है इस प्रकार की समस्याओं के निराकरण हेतु प्रतिमानक दल आदिरुप मे स्थल पर ही विधिवत रुप से अध्ययन करते हैं। छोटी-छोटी प्रयोगशालाओं की सुविधाओं में अच्छा ढाँचा प्रदान करना, प्रवाह नियंत्रण एवं अतिआधुनिक दक्ष मापक तकनीक द्वारा संग्रहण करना अनिवार्य होता है जिससे अधिकतम प्राचलों को एक साथ अधिक विवरण एवं यथार्थता से नापा जा सके ताकि मापनों से परिणाम आदिरुप में सरलता से प्रदान किये जा सकें। इस प्रकार के क्रिया कलापों से वास्तविक मापक समस्या का निराकरण नहीं होता अपितु महत्वपूर्ण अवयवों का समरुप प्रतिमान में यथार्थता से उत्पन्न नहीं होता।

इस वर्णक्रम का दूसरे सिरे पर आदिरुप की प्रतिकृति कुछ ही सुसज्य राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय प्रयोगशालाओं में ही उपलब्ध हैं। ऐसी प्रयोगशालाओं में अति आधुनिक मशीनों के अलावा कुशल अनुसंधानकों, कारीगरों की आवश्यकता पड़ती है ताकि सफल परिणाम प्राप्त किये जा सकें। ये मापक प्रभाव से अधिक आदिरुप की वास्तविकता पर विश्वास करते हैं।

उपसंहार :

प्रस्तुत लेख सामान्य प्रकृति का नहीं है जिसमें मापक प्रतिमानन के अनुकूल एवं प्रतिकूल प्रतिक्रियाओं को ध्यानाकर्षित किया गया है, विशेषत: आवश्यकतानुसार उदाहरणों को भी संगत स्थानों पर दर्शाया गया है। लेख में प्रयुक्त उपकरणों, कोटरन, दाब उच्चावचनता, वायु प्रवेश, फुहार, अवसाद आवागमन, निघर्षण, संघनित्र जलाशय, आकारकीय, ज्वार-भाटा प्रवाह, तरंग प्रतिमान, अधिप्लव, सुरंगे, भ्रनिल, टरबाइन, लचीली संरचानायें, दाब नलिकाओं में अनुनाद, बीयर, शान्त द्रोणी, तथा अवसाद डयून से संबंधित समरुप मापन की आवश्यकता का उल्लेख किया गया है। कुछ साहित्य मात्र मापक से ही संबधित होते हैं जैसे कि प्रतिमान सिद्धान्त; प्रतिमान परिमाणों के आदिरुप अवलोकनों से संबध; समस्याओं को विस्तारित करना या अपने को सफलतम् घोषित करना; प्रयोगशाला में विभिन्न मापकों की तुलना करना; विमीय विश्लेषण का प्रयोग; गतिक समरुपता; प्रक्रिया समीकरण या आनुभविक सूत्र; प्रतिमानों मे मापक का गणितीय प्रतिमापन से संबधित करना इत्यादि।

कुछ साहित्य सम्मेलनों को अविकसित माना जाता है यानी प्रदर्शित साहित्य को बदला नहीं जाता जबकि दूसरी ओर कुछ सम्मेलनों को बार बार करके प्रदर्शित साहित्य को सुधार कर बदला जाता है। इस प्रकार प्रस्तुत लेख के मुख्य निष्कर्ष निम्नलिखित हैं।

- समरुप सिद्धान्त या विमीय विश्लेषण के आधार समिश्र प्रवाहों के प्रतिमानों द्वारा सरल हल कभी भी प्राप्त होते हैं
- सिद्धान्तों को समझने हेतु प्रतिमानक को समीकरण प्रक्रिया से गुजरना पड़ता है जो प्रतिमान के मार्गदर्शन में अधिकाधिक लाभकारी प्रतीत होते हैं।
- समिश्र प्रवाह प्रणाली के कुछ प्राचलों को यह मान लिया जाता है कि इनके हल प्रतिमानों द्वारा सफलतापूर्वक प्राप्त नहीं किए जा सकते। इन पहलूओं को अन्य विधिओं द्वारा हल किया जाता है, जैसे कि आंककीय प्रतिमान या अन्य गणनायें किन्तु इन विधिओं के सयुक्तीकरण से प्राय: सर्वोतम हल मान लिया जाता है
- मापक के सुग्राहीकरण से प्रतिमान क्षेत्र में एक नई प्रगति हुई है जिससे संभवत: मापक प्रभाव को राहत मिले इन प्रभावों को नकारा नहीं जा सकता
- मापक की विश्वस्तता को मात्र सैद्धातिक या मात्र प्रयोगशाला परीक्षणों पर ही नहीं न्याय संगत मान लेना चाहिए। प्रवाह के आदिरुप में अवलोकन ही सफलता की कुंजी का प्रमाण है।

इस क्षेत्र में अधिक रुचि रखने वाले पाठकों, अभियंताओं एवं प्रतिमानकों हेतु संकलित सामग्री पर्याप्त नहीं है अत: विस्तृत विवरण हेतु उच्च स्तर के प्रकाशित लेखों एवं पाठय सामग्री का अवलोकन करना चाहिए। कुछ लेखकों के योगदान को नीचे दर्शाया गया है।

- Fundamentals (H Kobus)
- River models with fixed bed (J. Knauss)
- River models with mobile bed (W. Gehrig)
- River models with transport of matter and heat (H.Kobus and J.Grimm-Strele)
- Basin and reservoir models (M Markofsky)
- Tidal models with fixed bed (H. Schwarze and H.J.Vollmers)
- Tidal models with movable bed (E.Giese and H.J.Vollmers)
- Tidal models for transport of matter and heat (G.Abraham and F Ohlmeyer)
- Models of wave induced phenomena (S.Kohlhase and H.H.Dette)
- Models of hydraulic structures: discharge conditions, energy dissipation, erosion (H.Bret schneider)
- Models of hydraulic structures : flow induced forces, vibnations and cavitation (E. Naudascher)
- Pipe line models (C.Schreck)

- Scale effects in cavitation experiments (A.P.Keller)
- Air tunnel models for hydraulic engineering (B. Westrich)
- Hybrid models (K.P.Holtz)

सन् 1978 में मूल जर्मन में प्रकाशित एक ही प्रकाशन में 247 लेखकों व लेखकों के योगदान का संकलन है। राष्ट्रीय एवं अंतराष्ट्रीय स्तर पर गोष्ठियों संगोष्ठियों का आयोजन हर वर्ष किया जाता है, ताकि ज्ञान विज्ञान से संबंधित आदान प्रदान सतत बना रहे। अन्वेषकों द्वारा आंतरजाल पर अति आधुनिक सुविधायें उपलब्ध करा दी जाती है, ताकि अज्ञानता पूर्णतया मिट सके।