समुद्री मीथेन गैस हाइड्रेट : संभाव्य भावी हाइड्रोकार्बन ऊर्जा स्रोत

एम. कोचेर्ला

सी.एस.आई.आर. - राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, दोना पावला, गोवा-403 004

सारांश

गैस हाइड्रेट जल एवं कम अणुभार वाले हाइड्रोकार्बन (मुख्यत: मीथेन) से बने ठोस पदार्थ हैं तथा ये क्लेथ्रेट्स के नाम से जाने जाते हैं। ये विश्व भर में समुद्री एवं स्थायी तुषार भूमि में पाये जाते हैं जहाँ इतना निम्न ताप तथा दाब होता है जो मीथेन को गैस हाइड्रेट के क्रिस्टल बना देता है। विश्व भर के वैज्ञानिक समुदाय का ध्यान गैस हाइड्रेट के अध्ययन की ओर आकर्षित हुआ है क्योंकि उनकी उपस्थिति काफी विस्तृत है तथा ये ऊर्जा के संभाव्य स्रोत हैं। गैस हाइड्रेट्स में उपस्थित मीथेन हाइड्रेट तलछट के नीचे संग्रहित होती है जो कि ऊर्जा की वृहद् संभावना रखती है। अनुमान है कि विश्व के कुल खनिज ऊर्जा भंडार की मात्रा से इनकी दुगुनी मात्रा है। फिर भी, अब तक गैस हाइड्रेट्स की प्रकृति, निर्माण प्रक्रिया तथा वितरण के बारे में जानकारी कम है। अभी तक इनके परिमाण के आकलन की कोई सटीक विधि उपलब्ध नहीं है। विभिन्न प्राचल जैसे बैथीमीट्री, समुद्रतल तापमान, तलछट दर, कुल जैव कार्बन धारिता आदि विश्व के अपतटीय क्षेत्रों में गैस हाइड्रेट्स के निर्माण में अनुकूल अवस्था की ओर संकेत करते हैं। गैस हाइड्रेट्स की पहचान में समुद्रतल में वेंटिंग या गैस उत्सर्जन लक्षण जैसे परोक्ष चिन्ह, भूकंपीय ऐक्शन पर BSR, क्लोराइड, सल्फेट एवं मीथेन असंगतता आदि उपयोगी सूचक हैं। यहाँ पर गैस हाइड्रेट्स के लिये बहुशास्त्रीय परोक्ष अध्ययनों का संक्षिप्त विवरण प्रस्तुत है जिनसे गैस हाइड्रेट्स क्षेत्रों की पहचान तथा चिन्हांकन तथा अन्तर्निहित स्वतंत्र गैस एवं इसके संसाधन का आकलन किया जा सके। सन् 2006 के दौरान NGHP-01 अभियान में भारत के अपतटीय क्षेत्र में गहन समुद्र में ड्रिलिंग द्वारा भारत के पूर्वी तट पर कृष्णा-गोदावरी बेसिन के अपतटीय क्षेत्र में 100 मीटर मोटा गैस हाइड्रेट का भंडार मिला।

मूलशब्द : हाइड्रोकार्बन्स, गैस हाइड्रेट्स, कृष्णा-गोदावरी अपतटीय बेसिन, भारत का पूर्वी तट

सामान्य परिचय

खनिज ईंधन का उपभोग कई गुना बढ़ जाने के कारण विश्व का वैज्ञानिक समुदाय वैकल्पिक नवीन ऊर्जा संसाधन की खोज में लगा है। वर्तमान में कोयला एवं प्राकृतिक गैस का भारत में योगदान क्रमश: 58% एवं 38% है जबकि आणविक एवं जलशक्ति का योगदान मात्र 4% ही प्रश्न है। इसके फलस्वरुप तेल एवं गैस के नवीन स्रोतों की खोज में तीव्रता तथा विकास संबंधी प्रयास जारी हैं। भारत जैसे देश में प्राकृतिक गैस की माँग तथा आपूर्ति में निरन्तर फासला बढ़ता जा रहा है (तालिका 1)। वैसे तो भारत के पास कोयला एवं जलशक्ति का काफी भंडार है जबकि हाइड्रोकार्बन (तेल एवं गैस) भंडार देश की बढ़ती आपूर्ति को पूरा करने में असमर्थ हैं। हाल के अनुमानों के अनुसार भारत में कच्चे तेल एवं प्राकृतिक गैस के भंडार 0.4% ही हैं जबकि इसका घरेलू उपभोग विश्व का 2.8% है। सन् 2001 की शुरुआत में पुनर्प्राप्त भंडार का शेष भाग कच्चे तेल का 773.70 MMT एवं प्राकृतिक गैस 749.65 बिलियन घन मीटर था। अब कच्चे तेल की माँग घरेलू उत्पादन 34 MMT के मुकाबले 146 MMT है। इसी प्रकार, प्राकृतिक गैस की माँग घरेलू उत्पादन लगभग 80 मिलियन मैट्रिक मानक घन मीटर प्रतिदिन (MMSCMD) के मुकाबले 179 MMSCMD है। भारत की कच्चे तेल के आयात पर निर्भरता वर्तमान में 72% से सन् 2025 में 90% तक बढ़ने का अनुमान है। भारत की प्राकृतिक गैस की घरेलू माँग वर्तमान में 70 घन मीटर प्रतिदिन से 200 MM घन मीटर प्रतिदिन होने के आसार हैं। नये क्षेत्र से अतिरिक्त गैस का उत्पादन, जैसा कि कृष्णा-गोदावरी के अपतटीय क्षेत्र में रिलायंस इंडस्ट्रीज ने किया है. फिर भी आपूर्ति पूरी नहीं होगी क्योंकि पावर सेक्टर तथा उर्वरक ईकाइयों की माँग 74% से ज्यादा होगी तथा बाकी 26% अन्य उद्योग, परिवहन तथा घरेलू उपयोग के लिये अपेक्षित है।

तालिका 1 - सन् 1994 के अंत के अनुमान के अनुसार प्राकृतिक गैस की माँग तथा आपूर्ति में अन्तर (मिलियन मीट्रिक मानक घन मीटर प्रतिदिन, MMTCMD)।

वर्ष	भारत में उत्पादन	माँग	अन्तर
1996-1997	63	89	26
1996-2000	68	146	78
2004-2005	68	188	120
2009-2010	68	283	215

यद्यपि देश में कोयले का पर्याप्त भंडार है लेकिन उसका कम प्रभावी उपयोग, कोयला आधारित उद्योगों के उपयोग हेतु एवं वहनीय अवधि में काफी खर्च से ऊर्जा उपभोग में इसकी कमी हुई है । नये ऊर्जा स्रोतों की खोजों में अन्वेषकों का ध्यान गैस हाइड्रेट्स की और गया है तथा उनकी खोज और कम कीमत पर इसके दोहन की विधियाँ खोजी जा रही हैं। माँग में वृद्धि आयात द्वारा अथवा घरेलू उत्पादन बढ़ाने से पूरी होगी या अन्य अपरंपरागत ऊर्जा ईंधन के उपयोग द्वारा होगी। ऐसा ही अपरंपरागत ईंधन मीथेन गैस है जो गैस हाइड्रेट भंडारों में पाई जाती है। गैस हाइड्रेट की विशिष्टता यह है कि यह ढलान के छिछले समुद्री तलछट में काफी मात्रा में उपलब्ध है तथा विघटित होने पर 1 घन मीटर गैस हाइड्रेट से करीब 164 घन मीटर शुद्ध मीथेन तथा 0.8 घन मीटर शुद्ध जल की प्राप्ति होती है। गैस हाइड्रेट माँग तथा आपूर्ति के अन्तर को समाप्त करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है। भारत के तेल एवं गैस क्षेत्रों से उत्पादन में राष्ट्रीय एवं निजी तेल कम्पनियों के प्रयासों के बावजूद कमी आ रही है। वर्तमान में, अन्वेषण कार्यकलाप परंपरागत हाइड्रोकार्बन भंडारों तक ही सीमित नहीं हैं बल्कि नवीन, अधिक कुशलतापूर्वक उत्पादन तथा पुनप्राप्ति तकनीकों का विकास करने की आवश्यकता। खोज को अपरंपरागत आपूर्ति जैसे कोयला संसार में मीथेन, भूमिगत कोयला गैसीकरण तथा गैस हाइड्रेट की ओर बढ़ाया जा रहा है। हाइड्रेट्स से गैस की प्राप्ति अपरंपरागत है क्योंकि इसका उद्गम, मौजूदगी की अवस्था, ट्रैपिंग साधन एवं ग्रहण योग्य उत्पादन विधि अलग हैं।

गैस हाइड्रेट्स : ज्वलंत विषय

गैस हाइड्रेट्स बर्फ के समान यौगिक हैं जो मीथेन गैस के अणुओं को जल अणुओं द्वारा घेर लिया जाता है (वेनवोल्डेन, 1988)। प्राकृतिक रूप से प्राप्त गैस हाइड्रेट्स लगभग 10% मीथेन से निर्मित होते हैं, अतएव ये मीथेन हाइड्रेट्स के नाम से जाने जाते हैं। ऊर्जा, सुरक्षा एवं पर्यावरणीय कारणों से पिछले कुछ वर्षो से इनकी तरफ अंतर्राष्ट्रीय ध्यान दिया गया है। मीथेन गैस हाइड्रेट से मुक्त गैस स्वच्छ, प्रभावी ऊर्जा वाली होती है अतएव मीथेन हाइड्रेट्स को संभावित ऊर्जा स्रोत के रूप में देखा जा रहा हैं। कई वर्षों तक तेल एवं गैस ड्रिलिंग कम्पनी गैस हाइड्रेट्स को खतरनाक समझती थीं क्योंकि वे पाइपलाइन एवं कुँओं को बंद करने में असमर्थ थे। समुद्री तलछट में गैस हाइड्रेट्स समुद्रतल स्थायित्व पर प्रभाव डाल सकते हैं जो कि गैस उत्पादक यंत्रों की सुरक्षा के लिये खतरा है। मीथेन हाइड्रेट्स पर्यावरणीय संबंधी मुद्दे उठाते हैं। अध्ययनों से पता चला है कि वे जलवायु बदलाव में प्रमुख भूमिका निभाते हैं तथा समुद्रतलीय संवेदनशील जैव समुदाय के लिये निर्वाह के स्रोत की तरह हैं । अतएव. मीथेन हाइड्रेट्स राष्ट्रीय एवं अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर सक्रिय अनुसंधान का मुद्दा बन गये हैं।

गैस हाइड्रेट्स: भूवैज्ञानिक तंत्र एवं उनका निर्माण

गैस हाइड्रेट का भूवैज्ञानिक तंत्र एक प्राकृतिक तंत्र की तरह परिभाषित किया जा सकता है जिसमें सक्रिय गैस स्रोत, स्थानान्तरण एवं एन्ट्रेपमेंट चक्र सहित निम्नलिखितकारक शामिल है-

1. तापमान
2. दबाव
3. अन्त: स्तरीय जल लवणता
4. गैस केमिस्ट्री
5. गैस एवं जल की उपलब्धता
6. स्थानांतरण मार्ग-विभ्रंश नेटवर्क
7. भंडार एवं अवरुद्ध चट्टानों की उपस्थिति

प्रकृति में मृत जीवों के अपरदी अवशेष से जैव कार्बन दो तरीके से मीथेन में परिवर्तित होता है (चित्र 1)-जैवजनित (बैक्टीरिया) एवं तापजनित (ऊष्मा) । समुद्री तलछट में बैक्टीरिया का जीवन तलछट में मृत जीवों के अवशेष से जैविक कार्बन के उपभोग द्वारा संचालित होता है। यह बैक्टीरियल क्रियाशीलता समुद्रतल के ऊपर कई मीटर तक रहती है। विभिन्न बैक्टीरिया द्वारा मुख्य प्रतिक्रियायें हैं- बैक्टीरियल ऑक्सीकरण, (2 एवं 3) बैक्टीरियल सल्फेट अवकरण, (4) बैक्टीरियल किण्वन एवं (5) बैक्टीरियल कार्बोनेट अवकरण:

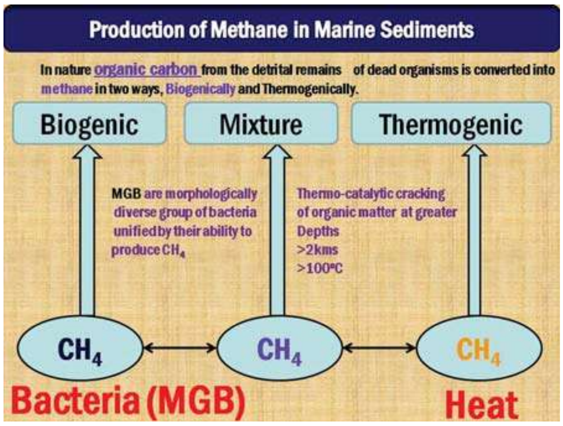

Figure-1. Schematic diagram showing the production of methane in marine environments.

$$\Rightarrow CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (1)$$

$$\Rightarrow 2CH_2O + SO_4^{2-} \rightarrow 2CO_2 + S^{2-} + 2H_2O \quad (2)$$

$$\Rightarrow CH_4 + SO_4^{2-} \rightarrow CO_2 + S^{2-} + 2H_2O \quad (3)$$

$$\Rightarrow 2\,CH_2O \rightarrow CH_4 + CO_2 \quad (4)$$

$$\Rightarrow CO_2 + 8^{e-} + 8H^{+} \rightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (5)$$

प्रतिक्रिया में किण्वन तथा प्रतिक्रिया 5 में कार्बोनेट अवकरण द्वारा मीथेन पैदा होती है। प्रतिक्रिया 5 में आवश्यक कार्बन डाइऑक्साइड प्रतिक्रिया 1 से 4 में प्राप्त होती है। इस प्रकार पैदा हुई मीथेन समुद्री जल मे जम जाती है और समुद्री तलछट के कणों के बीच में सीमेंट की भाँति जम जाती है। जब जैविक कार्बन युक्त तलछट बेसिन की गहराई में जाता है तो तापजन्य बदलाव होता है और तापमान बढ़ जाता है।

जब तापमान लगभग 100°C पहुँचता है तो जैविक कार्बन मीथेन एवं कार्बन डाइऑक्सासाइड में बदल जाता है। तापजन्य बदलाव से पैदा मीथेन तलछटीय ढेर से अंत:स्त्रवण होता है तब जल से युक्त होकर मीथेन हाइड्रेट बनती है। मीथेन गैस अवस्था (मुक्त मीथेन) के रूप में रह सकती है जो गैस हाइड्रेट में ट्रैप नहीं होती। यह मुक्त मीथेन तापजनिक, जैवजनिक या पिघले गैस हाइड्रेट से पैदा होती है। मुक्त मीथेन प्राय: सेंडस्टोन जैसी चट्टानों के छिद्रों में पाई जाती है। मुक्त मीथेन की धनात्मक उत्प्लावकता का अर्थ है कि यह पर्पटी के माध्यम से सतह की ओर स्थानांतरित होती है जब तक कि अमेद्य चट्टानों में यह ट्रैप नहीं हो जाती। गैस हाइड्रेट तलछट को सीमेंट की तरह बाँधती है फिर भी कुछ परिस्थितियों में गैस भंडार के ट्रैप करने का काम करती है।

गैस हाइड्रेट कहाँ मिलते हैं?

ऐसा विश्वास किया जाता है कि गैस हाइड्रेट महाद्वीपीय सीमांत के तलछट में प्राय: पाये जाते हैं क्योंकि भूकंपीय परावर्तन आँकड़ों से प्रत्येक सागरीय बेसिन में इनकी उपस्थिति स्पष्ट होती है (वेनवोल्डेन एवं बर्नार्ड, 1983; वेनवोल्डेन, 1988)। जहाँ कहीं पानी एवं उचित साइज के 'अभ्यागत' अणु (उदाहरणार्थ मीथेन, कार्बन डाइऑक्साइड) उच्च दबाव एवं निम्न तापमान की अवस्था में होते हैं तो गैस हाइड्रेट्स की उत्पत्ती होती है एवं वे समुद्री सेटिंग्ज में विभिन्न रूपों में होते हैं (चित्र 4)। चित्र 2 में साधारण गैस हाइड्रेट्स की विशिष्ट अवस्था का डायग्राम दिखाता है, इस मामले में मीथेन क्लेथ्रेट्स हैं। हाइड्रोकार्बन उत्पादन आपरेशन के दौरान प्राय: गैस हाइड्रेट निर्माण की सुयोग्य अवस्था होती है जहाँ प्रमुख प्रवाह निश्चिय ही एक समस्या है। प्राकृतिक पर्यावरण में गहन समुद्र महाद्वीपीय सीमांत के तलछट में आर्कटिक तुषार भूमि के अधोतल एवं गहरी ग्लेशियल बर्फ में

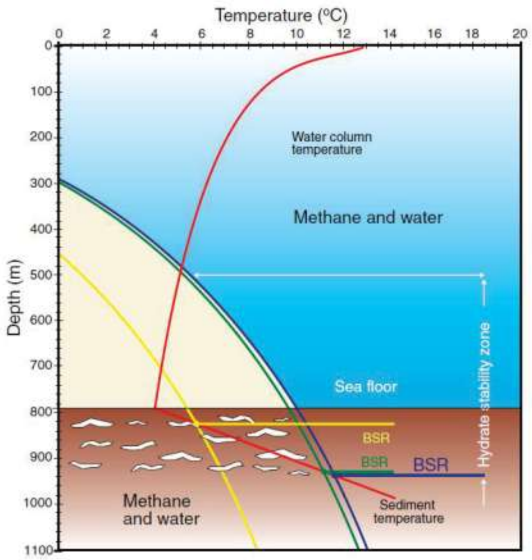

Figure-2. Gas Hydrate Phase Diagram in Marine Sediment (After Trehu, 2006).

हाइड्रेट्स पाये जाते हैं। गैस हाइड्रेट्स का स्थायित्व एवं फेज सीमायें समुद्र में गहराई–तापमान वितरण (लाल) तथा ऊपरी सतह स्तंभ के ऊपर आरोपित की गई हैं। सामान्य समुद्री जल लवणता (हरे) पर शुद्ध मीथेन हाइड्रेट की फेज सीमा, समुद्री जल पर 3 मोल–% H_2S के साथ मीथेन हाइड्रेट की फेज सीमा (नीले) तथा पाँच गुनी समुद्री जल लवणता में शुद्ध मीथेन की फेज सीमा (पीले) से दिखाई गई है।

फेज सीमाओं के साथ तापमान प्रोफाइल के प्रतिच्छेद तीनों हाइड्रेट संरचनाओं के प्रत्येक के लिये हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र (HSG) एवं तलीय सिमुलेटिंग परावर्तक (BSR) निर्धारित करते हैं । समुद्री तलछट में गैस हाइड्रेट की उपस्थिति परावर्तन भूकंपीय प्रोफाइल्स की अनुहारी तीव्र परावर्तक की उपस्थिति से स्पष्ट होता है (वेनवोल्सेन एवं क्लेपूल, 1988)। यह परावर्तक सामान्यत: तलीय सिमुलेटिंग परावर्तक गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र का आधार (BGHSZ) चिन्हित करता है तथा कभी–कभी गैस के नीचे होता है।

सन् 1960 में गैस हाइड्रेट के महत्वपूर्ण परिमाण की पहचान हुई, नामश: मीथेन हाइड्रेट जो अधोसमुद्री महाद्वीपीय ढलान के तलछट तथा आर्कटिक तुषार भूमि के अधोतल पर स्वाभाविक रूप से पाये जाते हैं। तलछट में गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र (HSZ); जलतापीय प्रवणता (अधोसमुद्री गैस हाइड्रेट), जलतापीय प्रवणता एवं क्लेथ्रट्स फेज सीमा (अधो समुद्री तलछट के लिये) जैसा कि चित्र 2 में दिखाया गया है, के साथ–साथ तापमान बनाम गहराई (दाब) प्रोफाइल से चिन्हित होता है। गैस हाइड्रेट सीमा की स्थिति गैस संरचना का मुख्यत: एक कारक है लेकिन छिद्र द्रव संरचना (उदाहरणार्थ लवणों की उपस्थिति), छिद्र आकार एवं तलछट खनिजिकी से नियंत्रित होती है। जलतापीय एवं भूतापीय प्रवणतायें स्थान विशेष पर निर्भर हैं तथा भौगोलिक स्थल एवं भूकंपीय सेटिंग्स के साथ स्पष्टत: बदलती हैं। मीथेन प्रमुख हाइड्रेट बनाने वाली गैस है, साथ में कार्बन डाइऑक्साइड एवं हाइड्रोजन सल्फाइड कुछ मात्रा में आवश्यक हैं– ये सब तलछटीय जैव कार्बन बहुल क्षेत्रों में, क्लेथ्रेट्स में गहराई में पैठे जलतापीय गैस घटक शामिल होते हैं। ये प्राय: ईथेन एवं प्रोपेन रूप में होते हैं जो बढ़ोतरी को प्राप्त ऊष्मागतिक स्थायित्व के कारण हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र को काफी छिछली गहराइयों तक स्थानांतरित कर सकते हैं ।

समुद्रतल परावर्तन से समुद्रजल भूकंपीय गति (1500 मी/से) एवं तलछट गति (लगभग 1300 मी/से) के मध्य वैषम्य धनात्मक ध्रुवता दिखाता है। फिर भी, तलछट के अन्दर क्लेथ्रेट की उपस्थिति का तात्पर्य यह नहीं हो जाता कि HSZ के आधार पर BSR उपस्थिति है तथा इस लक्षण की वास्तविक प्रकृति एवं क्लेथ्रेट वृद्धि के संबंध में इसका विकास अभी वाद–विवाद का विषय है। पहले प्रस्तावित किया गया कि BSR द्वारा उच्चतर ध्वानिक गति, HSZ का हाइड्रेट द्वारा सीमेंट किया तलछट एवं नीचे की तरफ निम्नतर

ध्वानिक गति, हाइड्रेट मुक्त तलछट के मध्य सीमा निर्धारित होता है (चित्र 3)। फिर भी, बढ़ते प्रमाण भूकंपीय गति वैषम्य की ओर इंगित करते हैं जो क्लेथ्रेट स्थायित्व के आधार के नीचे मुक्त गैस जमाव के क्षेत्र से उत्पन्न होते हैं। वायुमंडलीय गैसों (वायु) के क्लेथ्रेट हाइड्रेट्स आर्कटिक एवं अंटार्कटिक क्षेत्रों के उच्च दबाव एवं निम्न तापमान स्थिति में पैदा हुए होंगे।

जब पक्की बर्फ में वायु पॉकेट ट्रैप होने से क्लेथ्रेट्स का निर्माण हुआ जो इनके गहराई में दब जाने से ऊपरी उच्च दबाव के कारण हुआ। ये वायु हाइड्रेट्स वैज्ञानिक समुदाय के लिये काफी महत्तपूर्ण हैं क्योंकि ये हाल की ग्लेशियल अंत:-ग्लेशियल चक्रों के ऊपर पृथ्वी के वायुमंडल की बदलती संरचना पर सजीव सूचना देते हैं। इससे वैश्विक जलवायु परिवर्तन के बारे में हमारी जानकारी में वृद्धि होती है। इसके अलावा हीम शीट में वायु क्लेथ्रेट्स से उत्पन्न गैसें, यदि उचित जमाव हो, अंटार्कटिका की वोस्टोक झील जैसी अधो-ग्लेशियल झीलों में निम्न स्तर की जैव-जनित प्राणि समुदाय संभवत: सहायक होते है।

समुद्री पर्यावरण में गैस हाइड्रेट्स का स्थायित्व भौतिक प्राचलों, जैसे-बैथीमीट्री, समुद्रतल तापमान, भूतापीय प्रवणता एवं लवणता से नियंत्रित होता है। समुद्रतल से BSR तक का तलछट क्षेत्र हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र (HSZ) जाना जाता है। तापीय तथा दाब के अनुसार HSZ की मोटाई समुद्रतल से लेकर समुद्रतल के कई सौ मीटर नीचे तक होती है (चित्र 2)। भूकंपीय रिकॉर्ड्स में प्रेक्षित BSR गहराई प्राय: सैद्धांतिक फेज सीमावस्था अध्ययन से पूर्वानुमानित HSG मोटाई से मेल खाते हैं। बैथीमीट्री, समुद्रतल तापमान एवं भूतापीय प्रवणता के साथ मिलाकर इन अध्ययनों से महाद्वीपीय सीमांत के सहारे HSZ की मोटाई का अनुमान लगाया जा सकता है। समुद्री पर्यावरण में, HSZ की मोटाई में दसेक मीटर से लगभग 1000 मीटर तक का बदलाव होता है। प्राकृतिक रूप से उपस्थित गैस हाइड्रेट दो मूल क्रिस्टल संरचनाओं (चित्र 5) में से किसी एक रूप में होते हैं जिन्हें संरचना I या संरचना II से जाना जाता है (स्लोअन, 1998)। गैस हाइड्रेट में मीथेन की अधिकतम मात्रा क्लेथ्रेट ज्यामिती द्वारा फिक्स होती है। संरचना I गैस हाइड्रेट छोटे अणु रखते हैं जैसे मीथेन एवं ईथेन, जिनका गैस/जल अनुपात 8/46 होता है। संरचना II गैस हाइड्रेट उच्चतर अणु गैसें जैसे प्रोपेन एवं आइसोब्यूटेन जिनमें गैस/जल अनुपात 24/136 होता है। इससे गैस हाइड्रेट्स में जल की यथेष्ट मात्रा की पुष्टि होती है एवं गैस हाइड्रेट निर्माण में गैस एवं जल की उपलब्धता आवश्यक है। वह प्राचल जो गैस और जल की उपलब्धता को नियंत्रित करते हैं, वे हैं-निम्न तापमान, उच्च दबाव, मोटी तलछट पर्त तथा जैव कार्बन जमाव की बहुलता । उपरोक्त गुणकों के अलावा उच्च तलछटीय दर (जो द्रव निकास बढ़ाती है), विभ्रंश नेटवर्क (जो स्थानांतर रास्तों को नियंत्रित करता है), छिद्र दबाव, छिद्र-जल लवणता, गैस रासायनिकी, शैल/अवरोध भंडारण की उपस्थिति) एवं शैल पारगम्यता संभावित हाइड्रेट भंडार के लिये द्रवों का प्रभावी स्थानांतरण के लिये सहायक हैं।

पूर्ववर्ती गैस हाइड्रेट अध्ययनों की पुनरीक्षा से सूचित होता है कि गैस हाइड्रेट्स का निर्माण तथा उपस्थिति को प्रभावित करने वाले प्राचल हैं- निर्माणी तापमान, छिद्र दबाव, गैस रासायनिकी, छिद्र-जल लवणता, स्थानांतरण रास्ते एवं संग्रहण शैल एवं अवरोधक । छिद्र-जल से क्लोराइड आयन के निष्कासन के साथ तलछट में छिद्र भराव अवयव की तरह हाइड्रेट का निर्माण होगा (डिकेंस इत्यादि, 1997)।

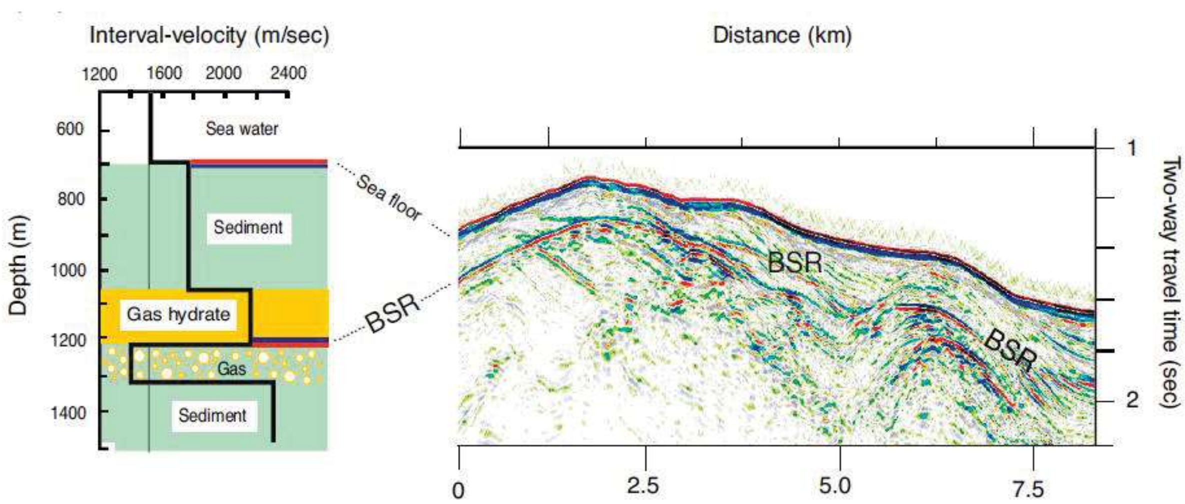

Figure-3. Schematic seismic velocity distribution of sub-seafloor strata (left) and seismic profile across hydrate and gas-containing strata showing layered and folded structures with crosscutting bottom simulating reflection (BSR; right). Red = large positive amplitude p-waves, and blue = large negative amplitude p-waves. BSR with negative polarity comes from the contrast between high acoustic impedance of hydrate-filled sediment (>2000 m/sec) and free gas-containing sediment (<1500 m/sec) (After Trehu, 2006).

परिणामस्वरूप, हाल में निर्मित गैस हाइड्रेट्स के चारों ओर जल में लवणता की बहुलता हो जाती है। हाइड्रेट पुनर्प्राप्ति स्थलों पर छिद्र-जल लवणता 19.8 से लगभग 0.5-3.2% हाइड्रेट में कम हो जाती है, इस प्रकार ड्रिलिंग के समय नवीन छिद्र-जल गैस हाइड्रेट्स की उपस्थिति दिखाता है। पुनप्राप्ति हाइड्रेट नमूनों के विश्लेषण से बूथ इत्यादि (1998) इस परिणाम पर पहुँचे कि विभ्रंश क्षेत्र जैसी संरचनात्मक विशेषताओं के साहचर्य में गैस हाइड्रेट की उपस्थिति पाई जाती है। लगभग तीन-चौथाई गैस हाइड्रेट युक्त स्थल गैस या गैस बहुल द्रव का ऊर्ध्वाधर गमन प्रवर्तक हैं।

गैस हाइड्रेट की पहचान

प्राय: गैस हाइड्रेट भूकंपीय परावर्तन आँकड़ों मे BSR की उपस्थिति से सूचित होते हैं। बहुधा BSR तलछट संस्तरीय तल को आरपार काटते हैं, इस प्रकार, निक्षेपण संस्तर की अपेक्षा डायजेनेटिक परिवर्तन के विरुद्ध ध्वानिक प्रतिक्रिया से स्पष्ट होते हैं। BSR गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार को दिखाता है जो महाद्वीपीय चढ़ाव पर समुद्रतल से लगभग 200 से 600 मी नीचे स्थित होता है। BSR के ऊपर तलछट का छिद्र अंतराल आंशिक रूप से गैस हाइड्रेट से भरे होते हैं जो तलछट घनत्व में वृद्धि करते हैं, जबकि गहराई के तलछट में मुक्त गैस होती है, जिसके परिणामस्वरूप गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार पर ध्वानिक इंपीडेंस एवं तीव्र परावर्तक में तीक्ष्ण विरोध होता है। कोर नमूनों की अनुपस्थिति में अधोसमुद्री तलछट में गैस हाइड्रेट का जमाव तीव्र असंगति तल सिमुलेटिंग परावर्तन या BSR की समुद्री भूकंपीय प्रोफाइल्स के ऊपर आभास होने से अनुमानित होता है (चित्र 3)। BSR प्राय: गहराई पर समुद्रतल स्थलाकृति से मिमिक होती हैं, मौजूद स्ट्रेटीग्राफिक की आरपार काट तथा हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार को चिन्हित की जाती हैं।

Figure-4. Mode of occurrence of Gas hydrate from a sediment sample retrieved from KG basin East coast of India in which hydrate occurs in various modes: (A) Nodules; (B) Laminae/Veins; (C) Grains; (D) Massive. (Source: NGHP-01 expedition, India).

तुषार हिमक्षेत्र बर्फ की ध्वानिक लाक्षणिकता रखते हैं तथा हाइड्रेट्स से उत्पन्न ध्वनि से ज्यादा अलग नहीं होते। भूकंपीय सेक्शंस पर BSR की उपस्थिति नहीं दिखती लेकिन तुषार क्षेत्रों से हाइड्रेट्स की उपस्थिति अपरोक्ष रूप से लॉग परीक्षण से स्पष्ट होती है। तुषार क्षेत्रों में लॉग रिकॉर्ड्स से कॉलेट (1983) ने निष्कर्ष निकाला कि एक लॉग पर आधारित हाइड्रेट युक्त तलछट की पहचान करना कठिन है। इसके लिये आवश्यक है कि लॉग्स का सेट जैसे ध्वानिक ट्रांजिट समय, प्रतिरोधकता एवं न्यूट्रॉन पोरोसिटी लॉग आवश्यक हैं।

गैस हाइड्रेट संसाधन एवं विश्व भर में इसकी उपस्थिति

सामान्यत: गैस हाइड्रेट का निर्माण एवं स्थायित्व निम्न ताप एवं उच्च दबाव तथा साथ में तलछट के छिद्रीय जल में घुलनशीलता से ज्यादा मीथेन की प्रचुरता की दशा में बना रहता है। गहन समुद्री तलछट में उत्पन्न मीथेन, हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र में हाइड्रेट्स का निर्माण हेतु चैनल्स एवं विभ्रंश के द्वारा स्थानांतरित होती है। विश्व भर में प्राकृतिक गैस हाइड्रेट मध्यद्वीपीय एवं इंसुलर ढलान एवं क्रियाशील तथा निष्क्रिय सीमांतों में, अंत:भूमि झील एवं समुद्रों के गहन जल तलछट में तथा महाद्वीपों एवं महाद्वीपीय शेल्फों में पाये जाते हैं। जलीय तलछट जहाँ पानी की गहराई 300 मी. से ज्यादा तथा तलीय जल तापमान 0°C से.ग्रे. होता है, वहाँ लगभग 1100 मी. गहराई के तलछट के समुद्री तल पर गैस हाइड्रेट पाये जाते हैं। ध्रुवीय महाद्वीपीय क्षेत्रों में गैस हाइड्रेट लगभग 150 एवं 2000 मी. गहराई के तलछट में उपस्थित रहते हैं। इस प्रकार, प्राकृतिक गैस हाइड्रेट छिछले भूमंडल तक सीमित हैं जहाँ इनकी उपस्थिति तल समीपीय तलछट के भौतिक एवं रासायनिक गुणों को प्रभावित करती है। विश्व भर की 20 जगहों से प्राप्त प्राकृतिक गैस हाइड्रेट पर यह अद्यतन वैश्विक तालिका रिपोर्टों में 79 जगहों को शामिल किया गया है जहाँ गैस हाइड्रेट की उपस्थिति भूभौतिकीय, भूरासायनिकी, या भूवैज्ञानिक साक्ष्यों पर आधारित है। प्राकृतिक गैस हाइड्रेट में मीथेन की संभावित मात्रा काफी है तथा आज के अनुमान के अनुसार मीथेन कार्बन की मात्रा लगभग 10 एक्साग्राम (10,000 गीगा टन) है। मीथेन का यह बृहद भंडार जो ठोस धरातल के 2000 मी के अन्दर तथा विश्व भर में व्याप्त है, ऊर्जा संभावना का प्रमुख विषय है।

गैस हाइड्रेट निर्माण के लिये तलछट दर 730 मी/हजार वर्ष, जैविक, कार्बन धारिता 70.5% एवं न्यूनतम अवशिष्ट मीथेन जमाव गीले तलछट का 10 मिली/लि अनुकूल घटक हैं। यद्यपि अनुकूल P-T अवस्थायें महाद्वीपों के अपतटीय क्षेत्र में प्रचुरता से हैं तथापि गैस हाइड्रेट निर्माण उन क्षेत्रों तक सीमित है जहाँ मीथेन की अतिरिक्त प्रचुरता है।

गैस हाइड्रेट तभी निर्मित होते है जब 10% केजूस भर जाती हैं। चित्र 6 में दिखाई गई गैस हाइड्रेट उपस्थिति का अद्यतन वैश्विक रिपोर्ट के

अनुसार 79 स्थलों से गैस हाइड्रेट की उपस्थिति अपरोक्ष रूप से रिपोर्ट की गई है। फिर भी, उनकी उपस्थिति कोर प्राप्ति के आधार पर पृथ्वी के सिर्फ 17 समुद्री पर्यावरण एवं 4 तुषार क्षेत्रों से सत्यापित हुई है। ध्यान देने की बात यह है कि गैस हाइड्रेट महाद्वीपों के निष्क्रिय (डायवरजेंट) तथा क्रियाशील सीमांत जैसी भिन्न भूकंपीय सेटिंग्ज में मिलते हैं। छिछले भूमंडल में भंडारित गैस हाइड्रेट के रूप में मीथेन की मात्रा अत्यधिक है। फिर भी, ऐसे आकलन कल्पना मात्र हो सकते हैं क्योंकि विभिन्न भंडार प्राचलों के बारे में हमारी जानकारी अधूरी है। ब्लेक रिज पर प्रत्यक्ष यथावत मापन के आधार पर यू. एस. अटलांटिक सीमा में अच्छी तरह अध्ययन की गई गैस हाइड्रेट वाली संरचना से डिकेंस इत्यादि (1997) ने निष्कर्ष निकाला कि गैस हाइड्रेट्स में मीथेन का वैश्विक अनुमान 2×10^{15} से 20×10^{15} मी^{3} के मध्य है। तालिका 1 में मीथेन के समीक्षात्मक वैश्विक अनुमान प्रस्तुत है जबकि चित्र 1.7 में पिछले दो दशकों में इन अनुमानों में हुए परिवर्तन दिखाये गये है।

तुषारयुक्त क्षेत्रों तथा अपतटीय समुद्री तलछट में गैस हाइड्रेट्स पाये जाते हैं तथा अन्य महत्वपूर्ण भंडारों की तुलना में। गैस हाइड्रेट अत्यधिक मात्रा में जैव कार्बन एकत्रित करते हैं। गैस हाइड्रेट भंडार में प्राकृतिक गैस की मात्रा का वैश्विक अनुमान तुषारभूमि के लिये 5.0×10^2 से 1.2×10^6 ट्रिलियन घन फीट समुद्री तलछट के लिये 1.1×10^5 से 2.7×10^8 ट्रिलियन घन फीट है। प्रकाशित गैस हाइड्रेट संसाधन अनुमानों में काफी बदलाव है लेकिन महाद्वीपीय तलछटों की अपेक्षा समुद्री तलछटों में प्राकृतिक गैस का अत्यधिक भंडार है। विश्व के गैस हाइड्रेट भंडार की अद्यतन आकलित मात्रा अनुमानतः 7×10^5 ट्रिलियन घन फीट है।

निम्न तापमान एवं उच्च दबाव अवस्था तथा साथ ही मीथेन की अत्यधिक आपूर्ति में गैस हाइड्रेट्स निर्मित होते हैं। ये अवस्थायें दो विशिष्ट भौगोलिक पर्यावरणों में हो सकती हैं, नामश: आर्कटिक क्षेत्र की तुषार भूमि तथा अपतटीय क्षेत्र में गहन जल समुद्री तलछटों में। आदर्श रूप से संतृप्त मीथेन हाइड्रेट में, मीथेन गैस में जल का आयतनात्मक अनुपात 216:1 (STP पर) मीथेन गैस से ठोस हाइड्रेट का आयतनात्मक अनुपात 164.:1 होता है। अनुमान के अनुसार तलछटों में गैस हाइड्रेट में कार्बन का भंडार लगभग 10^4 Gt ($Gt=10^{15}$ ग्राम) है जो कि अन्य सभी जीवाश्म ईंधन भंडारों में कार्बन की मात्रा से लगभग दुगुना है (वेन वोल्डन,1987)। इसके अलावा, छिद्र द्रवों में घुलित गैस के तथा BSR के साहचर्य में ऊपर स्थित गैस हाइड्रेट सीमेंटेड क्षेत्र के नीचे मुक्त गैस का महत्वपूर्ण आयतन मौजूद है।

अन्य महत्वपूर्ण भंडारों की तुलना में गैस हाइड्रेट जैव कार्बन की काफी अत्यधिक मात्रा रखते हैं। वैश्विक बजट के संबंध में कुछ अनिश्चितता है फिर भी गैस हाइड्रेट मे लगभग 10,000 गीगा टन कार्बन मौजूद है। यह जीवाश्म ईंधन में मौजूद कार्बन से कहीं ज्यादा है। वैकल्पिक ऊर्जा स्रोत के रूप में भूमंडल की छिछली गहराइयों में गैस हाइड्रेट्स के विशाल भंडार काफी आकर्षक लगते हैं। गैस हाइड्रेट की एक घनमीटर में मीथेन के जमाव को यदि विघटित किया जाये तो 164 घन मीटर गैस एवं 0.8 घन मीटर पानी मिलता है। अतएव, गैस हाइड्रेट की संभावना अधिक है और विश्वास किया जाता है कि गैस हाइड्रेट के भंडार प्राकृतिक गैस भंडारों की तुलना में दो से पाँच गुना ज्यादा हैं। जब परंपरागत जीवाश्म ईंधन समाप्त हो जायेगा तो भविष्य में गैस हाइड्रेट ऊर्जा के संभावित स्रोत होंगे।

गैस हाइड्रेट्स से गैस का उत्पादन

गैस हाइड्रेट का संभावित अन्वेषण दो मुख्य मुद्दे उठाता है। पहला यह कि गैस हाइड्रेट का उत्पादन एवं उपयोग पादपगृह, गैस कार्बन डाइऑक्साइड का उत्सर्जन करेगा। दूसरे, समुद्री गैस हाइड्रेट एवं तुषार भूमि के गैस हाइड्रेट के लिये उत्पादन तकनीकी कम लागत की तथा पर्यावरणीय दृष्टि से सुरक्षित होनी चाहिये (तालिका 1)। यथावत् गैस हाइड्रेट्स से हाइड्रेट्स की प्राप्ति विघटन या ''मेल्टिंग'' से संबंधित है अतएव या तो हाइड्रेट निर्माण तापमानों से भंडारों को गर्म किया जाये, अथवा भंडार का दबाव हाइड्रेट साम्यावस्था से कम किया जाये, अथवा निरोधक जैसे कि मिथेनॉल या ग्लायकॉल भंडार के अन्दर

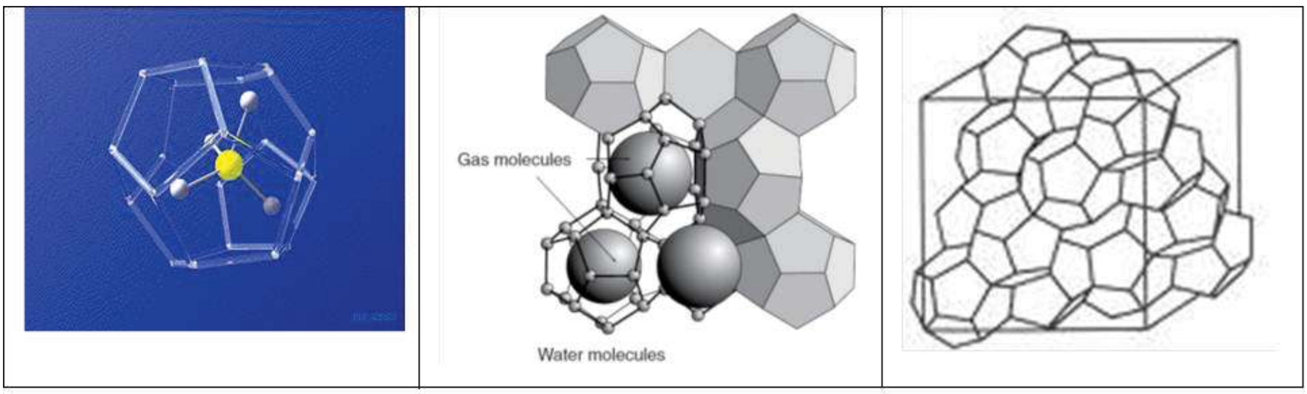

Figure-5. Hydrate Crystal structures:(A) Methane Molecule, (B) Structure I; (C) Structure II.

प्रविष्ट कराया जाये जिससे हाइड्रेट स्थायित्व अवस्था कम हो जाये। गैस हाइड्रेट्स से गैस की प्राप्ति में बाधा होती है क्योंकि गैस ठोस अवस्था में होती है तथा प्रतिकूल आर्कटिक एवं गहन समुद्री पर्यावरण में यह बिखरी हुई है। गर्म जल एवं भाप प्रवाह द्वारा हाइड्रेट गैस उत्पादक की जाँच हेतु साधारण तापीय स्टिम्युलेशन मॉडल तैयार किया गया जिससे समुचित दर पर हाइड्रेट्स से गैस तकनीकी पुनर्प्राप्ति संसाधन बन सकता है। फिर भी, गैस पुनर्प्राप्ति तकनीकों के इन प्रकारों के साथ आर्थिक लागत का ज्यादा होना एक समस्या है। इसी प्रकार, गैस हाइड्रेट्स से गैस हाइड्रेट रोधक के उपयोग द्वारा उत्पादन तकनीकी तौर पर संभव है। मिथेनॉल जैसे रसायनों का बड़ी मात्रा में उपयोग उच्च आर्थिक एवं पर्यावरणीय लागत की तकनीक है। यथावत् गैस हाइड्रेट्स से प्राकृतिक गैस के उत्पादन के लिये विभिन्न तकनीकों में अधोदबावीकरण (depressurization) पद्धति आर्थिक रूप से बेहतर विधि है। पश्चिमी साइबेरियन बेसिन के उत्तरी भाग में मेस्सोयाखा गैस फील्ड हाइड्रोकार्बन भंडार का एक उदाहरण है जहाँ यथावत् प्राकृतिक गैस हाइड्रेट्स से गैस का उत्पादन किया जाता है। उत्पादन आँकड़ों एवं अन्य संबंधित भूवैज्ञानिक सूचना के उपयोग से मेस्सोयाखा फील्ड के ऊपरी भाग में गैस हाइड्रेट्स की उपस्थिति सिद्ध हुई है। यह भी प्रस्तावित है कि मेस्सोयाखा फील्ड का उत्पादन इतिहास दिखाता है कि गैस हाइड्रेट्स प्राकृतिक गैस के तुरन्त उत्पादन योग्य स्रोत हैं तथा उत्पादन प्रारंभ किया जा सकता है एवं परंपरागत तरीकों से बनाये रखा जा सकता है। मेस्सोयाखा फील्ड्स के गैस हाइड्रेट भाग से दीर्घावधि उत्पादन अधोदबावीकरण पद्धति से प्राप्त किया जा सकता है। मेस्सोयाखा फील्ड के निम्न मुक्त गैस भाग का उत्पादन सन् 1969 में शुरू हुआ, मापे गये भंडार दबाव से पूर्वानुमानित ह्रास संबंध प्रकट हुए; जबकि, सन् 1971 तक भंडार दबाव अनुमानित मानों से विचलन को प्राप्त हुए। इस विचलन का कारण विघटित गैस हाइड्रेट्स से मुक्त गैस प्राप्त करना है। मेस्सोयाखा फील्ड के उत्पादन इतिहास के दौरान अनुमानित है कि गैस की लगभग 36% (लगभग 183 बिलियन घन फीट) भाग गैस हाइड्रेट से प्राप्त हुआ है। फिर भी, हाल के अध्ययन से सूचित होता है कि मेस्सोयाखा फील्ड में गैस उत्पादन में गैस हाइड्रेट्स का विशेष योगदान नहीं है (माकागन, 1981)। गैस हाइड्रेट का संभावित अन्वेषण दो प्रमुख मुद्दे उठाता है। पहला, गैस हाइड्रेट का उत्पादन एवं उपयोग कार्बन डाइऑक्साइड पादपगृह गैस उत्सर्जित करेगा तथा दूसरे, उत्पादन प्रौद्योगिकी जो समुद्री गैस हाइड्रेट तथा साथ ही तुषार भूमि गैस हाइड्रेट के लिये लागत मूल्य प्रभावी तथा साथ ही पर्यावरण के लिये सुरक्षित हो, उसका विकास करना है।

गैस हाइड्रेट अन्वेषण: वैश्विक जलवायु तथा समुद्रतल स्थायित्व पर प्रभाव

जब मीथेन का वायुमंडल में उत्सर्जन होता है, यह कार्बन डाइऑक्साइड की भाँति व्यवहार करती है और इसका प्रभाव 30 गुना होता है। अतएव, यह भी वायुमंडल के वैश्विक तापवृद्धि का एक कारक है। यद्यपि वायुमंडल 760 गीगा टन कार्बन डाइऑक्साइड का भंडार रखता है, तथापि अनुमानित 10,000 गीगा टन गैस हाइड्रेट भंडार से मीथेन का उत्सर्जन वायुमंडल के गुणों में महान् परिवर्तन ला सकता है। गैस हाइड्रेट से निकली मीथेन की वृद्धि ग्लेशियल/अंत:-ग्लेशियल चक्र को प्रभावित कर सकती है। भूमि पर इसके तापमान सुग्राहिता के कारण तुषार गैस हाइड्रेट से घनात्मक प्रतिपुष्टि प्राप्त होगी जबकि समुद्री गैस हाइड्रेट से ऋणात्मक प्रतिपुष्टि होगी क्योंकि यह समुद्र स्तर परिवर्तनों से नियंत्रित होती है। तीव्र अस्थायित्व की दशा में, गैस हाइड्रेट जलवायु परिवर्तन की महत्वपूर्ण एजेंट बन जाती है जिसका समय स्केल हमारी जानकारी से बाहर है। गैस हाइड्रेट में भंडारित

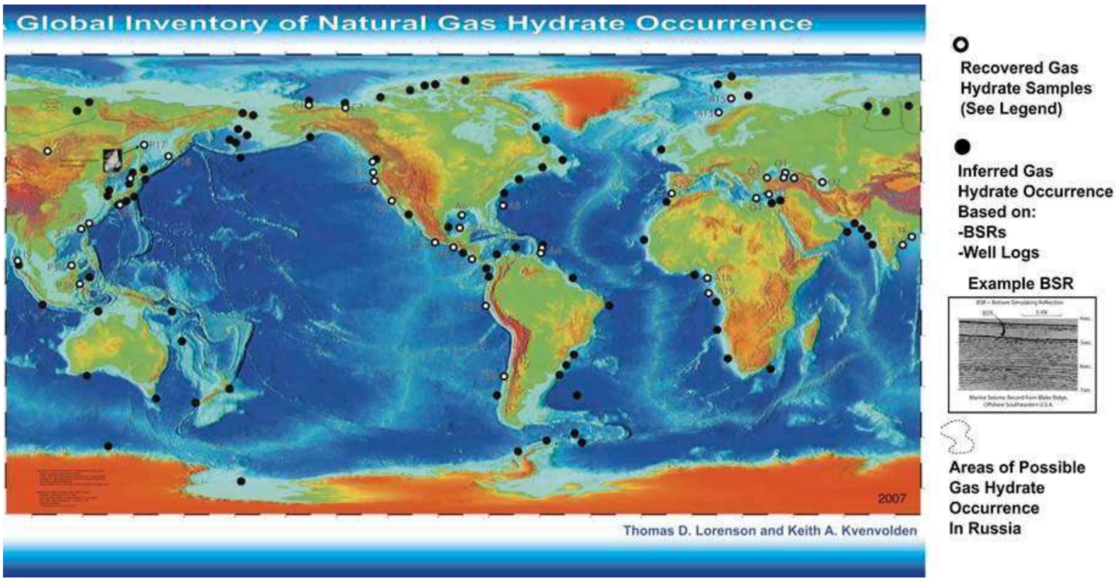

Figure-6. The Earth showing the locations of known and inferred gas hydrate deposits in Oceans and permafrost (After Kvenvolden and Lorenson, 2000).

मीथेन स्थायी आइसोटोप $\delta^{12}C$ से समृद्ध होती हैं, जो एक महत्वपूर्ण संकेतक है । पुराजलवायु अनुसंधान के परिणाम सूचित करते हैं कि लगभग 55 Ma पूर्व समुद्रों में घुलित अकार्बनिक कार्बन के भंडार की आइसोटोपिक संरचना में अचानक परिवर्तन हुआ जैसा कि आधुनिक जलवायु रिकॉर्ड में समुद्री हाइड्रेट भंडारों के कारण वर्णित किया जा सकता है। प्रारंभिक मॉडलिंग दिखाती है कि किस प्रकार गैस हाइड्रेट के एक गीगाटन के विघटन से मीथेन शीर्ष प्रवर्तित हो सकता है जो 20,000 वर्ष के लिये वायुमंडलीय एवं समुद्री $\delta^{13}C/\delta^{12}C$ को प्रभावित कर सकता है। वैश्विक $\delta^{12}C$ असंगतता जो 55 My पूर्व घटित गई, की व्याख्या करने में पहला कदम है।

जब तलछटीय छिद्र जगह में बंद होती है तब गैस हाइड्रेट समुद्रतल को पक्का एवं स्थायी बनाने में सीमेंट की तरह काम करता है । फिर भी, यदि असंघटित भंडारों में उत्पन्न हो तो गैस हाइड्रेट पक्का करने की सामान्य वृद्धि शैल–स्थायित्व दबाव को रोकता है। यदि दबाव और/या तापमान के बदलाव के सम्मुख होती है तो अंतरालीय गैस हाइड्रेट विघटित होती हैं। इस मामले में, यदि समुद्रतल की दृढ़ता कम होती है तो अधोसमुद्री भू–स्खलन को बढ़ावा मिलता है। समुद्र की भूकंपीय, बैथीमीट्रिक एवं साइड–स्कैन सोनार से स्पष्ट होता है कि सभी महाद्वीपीय ढलान विभिन्न परिणाम के भू–स्खलन से प्रभावित हुए है। अधोसमुद्री स्खलन का हाल का कोई साक्ष्य नहीं है जो गैस हाइड्रेट विघटन से शुरू हुआ है। अब भी इस परिकल्पना की पुष्टि कुछ प्रेक्षणों द्वारा होती है। दृष्टांत के तौर पर, स्खलन के निशानों के पास गैस एवं द्रव फ्लक्स की गति भूकंपीय रजिस्टर्ड रास्तों के सहारे ऊपर की ओर है। समुद्रतल स्वयं क्रेटर जैसे अवनमय, पोक चिन्ह, या द्विकपाट एवं बैक्टीरियल मैट्स (ठंडे वेंट्स) जो द्रव वेटिंग सूचित करते हैं। ऊपरी शेल्फ किनारे पर 4^{0} से अधिक के ढलान हैं। गुरुत्व स्खलन का दीखना संभव है यदि ऐसे ढलान गैस हाइड्रेट विघटन के कारण कम स्थायित्व के हो जाते हैं।

एक महत्वपूर्ण कारक उत्सर्जित गैस का फैलाव है जो जल की गहराई कम होने से बढ़ता है। उदाहरण के तौर पर, 650 मी. जल की गहराई पर उत्सर्जित गैस एवं जल आयतन मूल गैस हाइड्रेट आयतन से लगभग तीन गुना है। ऊपरी शेल्फ किनारे पर गैस हाइड्रेट विघटन के परिणामस्वरूप काफी छिद्र दबाव पैदा होता है जो दृढ़ता में ह्रास पैदा करता है जबकि बड़े छिद्र स्थान तलछट को काफी विकृत करते हैं। तल सिमुलेटिंग परावर्तक, ढलान–समान्तर प्रवृत्ति वाले के साथ, अधोसमुद्री स्खलन को शुरू करने वाला एक और गुणक है। जब गैस हाइड्रेट विघटित होते हैं, वे ढलान के समान्तर कमजोर पर्त पैदा करते हैं। ऊपरी शेल्फ किनारे पर गैस हाइड्रेट विघटन निम्न समुद्र स्तर से उत्पन्न कम दबाव के कारण होता है। पिछला ग्लेशियल उच्चतम 18,000 वर्ष पूर्व, वैश्विक समुद्र स्तर वर्तमान से करीब 120 मी नीचे था इससे गैस हाइड्रेट के विघटन ने ऊपरी शेल्फ किनारे को अस्थायित्व प्रदान किया होगा। इस अवधि में तथा बाद में वास्तव में बहुत से स्खलन हुए होंगे। फिर भी, महाद्वीपीय ढलान पर उच्च तलछटीय दासे

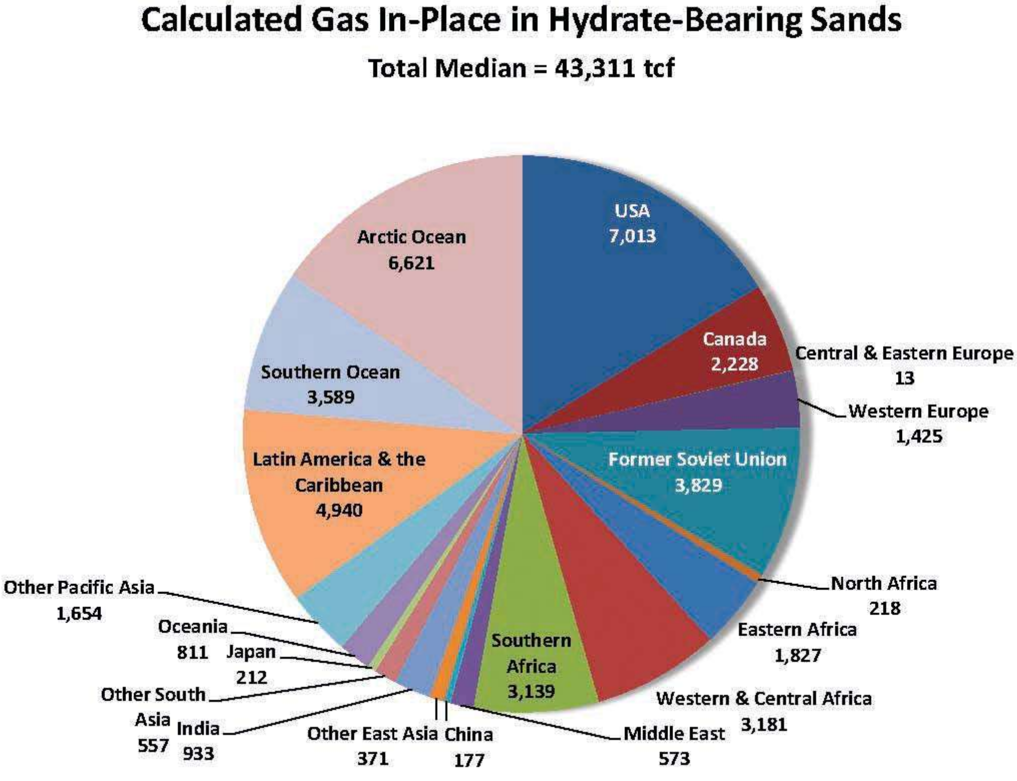

Figure-7. Calculated gas in-place in hydrate-bearing sands (median, tcf)(After Arthur H.Johnson 2011)

उसका कारण बने होंगे। निष्कर्ष यह है कि हाल के प्रेक्षण से ऐसा प्रतीत होता है कि अधोसमुद्री स्खलन एवं अधिक मात्रा में स्थानांतरण गैस हाइड्रेट विघटन से प्रारंभ हुए होंगे। फिर भी, अब तक हम कारणों के बारे में यही अंदाज लगा सकते हैं। गैस यांत्रिक ऊर्जा का स्वल्पावधि उत्सर्जन, मीथेन की मात्रा अथवा पर्यावरण पर दीर्घावधि प्रभाव । नार्वेजियन फियोर्ड्स में तलछट से स्पष्ट होता है कि नार्वे के परे महाद्वीपीय ढलान पर स्टोरेगा स्खलन ने सुनामी पैदा की।

गैस हाइड्रेट्स : भावी लक्ष्य एवं भूवैज्ञानिक तथा भूरासायनिक प्रोक्सीज

जल एवं निम्न अणुभार गैसों (मुख्यतया मीथेन) से बने ठोस अवस्था वाले गैस हाइड्रेट हैं जो निम्न ताप, उच्च दबाव तथा यथेष्ट गैस जमाव की अवस्था में निर्मित होते हैं तथा ये तीव्रता से जमा हुए समुद्री तलछट के ऊपरी कई सौ मीटर में पाये जाते हैं (क्लेपूल एवं कैप्लान, 1974; स्लोअन, 1998)। यद्यपि गैस हाइड्रेट छिछले भू–जैवमंडल में सामान्य फेज में रहते हैं पर सामान्य सतही अवस्थाओं में यह अस्थिर है तथा इस प्रकार आश्चर्य रूप से प्राकृतिक सेटिंग्स में इसके बारे में कम जानकारी है। गैस हाइड्रेट युक्त तलछटों में प्राकृतिक गैस की काफी मात्रा इकट्ठी होती है क्योंकि ठोस अवस्था के प्रति यूनिट आयतन में STP पर गैस का संतृप्त जमाव 164 गुना होता है। अनुमान है कि तलछटों में गैस हाइड्रेट में एकत्रित कार्बन 10^4 गीगा टन (Gt=10^{15} ग्राम) जो कि अन्य सभी जीवाश्म ईंधन भंडारों में कार्बन के अनुमान का लगभग दुगुना है। इसके अलावा, BSR के साहचर्य में ऊपर स्थित गैस हाइड्रेट युक्त पक्के क्षेत्र के नीचे मुक्त गैस का काफी आयतन हो सकता है तथा छिद्र द्रवों में घुलित गैस होती है। महाद्वीपीय सीमांत तलछटों में गैस हाइड्रेट की उपस्थिति सामान्य बात है क्योंकि प्रत्येक समुद्र बेसिन में भूकंपीय परावर्तन आँकड़ों से यह सूचित होता है। BSR की उपस्थिति से भूकंपीय परावर्तन आँकड़ों में प्रायः गैस हाइड्रेट का पता चलता है । BSR गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार का प्रतिनिधित्व करता है जोकि महाद्वीपीय सीमांतों पर लगभग 400 से 600 मीटर समुद्रतल से नीचे होता है। BSR के ऊपर तलछटों के छिद्र–स्थान आंशिक रूप से गैस हाइड्रेट से भरे होते हैं जो तलछट घनत्व बढ़ाते हैं जबकि गहन तलछट में मुक्त गैस होती है, परिणामतः ध्वानिक इंपीडेंस में तीव्र वैषम्य तथा गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार पर शक्तिशाली परावर्तक होता है।

यद्यपि ड्रिल किये गये कोर में गैस हाइड्रेट की पहचान हुई है, उनकी वृहद् क्षेत्रों में उपस्थिति दक्षता पूर्वक ध्वानिक विधि से भूकंपीय परावर्तन प्रोफाइल्स के उपयोग द्वारा जाँची जा सकती है। समुद्री तलछट में गैस हाइड्रेट की पहचान के लिये ध्वानिक सिग्नेचर का साधारणतः उपयोग किया जाता है जिनमें समुद्री भूकंपीय रिकॉर्ड पर असंगत सिग्नेचर्स की उपस्थिति से तल सिमुलेटिंग परावर्तन (BSR) होते हैं। गैस हाइड्रेट स्थायित्व क्षेत्र के आधार से भूकंपीय परावर्तन प्रायः परावर्तन ध्रुवीय व्युत्क्रम द्वारा पहचाना जाता है जिसका परिणाम ऋणात्मक परावर्तन गुणांक होता है। BSR परावर्तन फेज डायग्राम से पूर्वानुमानित गहराई से संपाती होती है तथा यह उच्च एवं निम्न भूकंपीय गतियों के मध्य एक पार्थक्य पृष्ठ होता है। गैस हाइड्रेट निर्माण के दौरान जल अणुओं का घनीय जालीय संरचना में क्रिस्टलीकरण होता है। इस प्रकिया के दौरान गैस हाइड्रेट क्रिस्टल संरचना से साल्ट आयन पृथक् कर देते हैं। यह पृथक् किया साल्ट प्रारंभ में होस्ट तलछटों में छिद्र–जल क्लोरिनिटी में वृद्धि करता है। समय गुजरने के साथ यह उच्च लवणतायुक्त छिद्र–जल वापस परिवेशी स्तर पर पहुँच जाता है। जब हाइड्रेट का विघटन होता है तब जालीय संरचना से मुक्त मीठा जल छिद्रीय जल के लवण धारिता को पतला करता है, परिणामतः क्लोरोनिटी में भारी कमी होती है। यद्यपि छिद्रीय–जल की क्लोरोनिटी असंगतता हाइड्रेट की उपस्थिति की उपयोगी सूचक होती है, परन्तु वह द्रव बहाव से भी उत्पन्न हो सकती है। फिर भी ध्यान रहना चाहिये कि यह द्रव प्रवाह सामान्यतया हाइड्रेट निर्माण उत्पन्न करता है। गैसों के आण्विक एवं आइसोटोपिक संघटकों से गैस के स्रोत का प्रदर्शन होता है, जबकि छिद्र–जलों के आयनिक एवं आइसोटोपिक संघटक उन तलछटों को सूचित करते हैं जिनमें हाइड्रेट रहे हों। विभिन्न प्राचल जैसे–बैथीमीट्री, समुद्रतल तापमान, तलछटीकरण, कुल जैवकार्बन धारिता इत्यादि भारत के अपतटीय क्षेत्रों में गैस हाइडेट्स के निर्माण की अनुकूल अवस्थाओं को सूचित करते हैं। अतएव, संसाधन संभावना जाँचने के लिये भारत के महाद्वीपीय सीमांतों के सहारे गैस हाइड्रेट्स की पहचान तथा परिमाण हेतु विभिन्न भूवैज्ञानिक, भूरासायनिक एवं भूभौतिकीय विश्लेषण किये गये। प्रोक्सीज जैसे समुद्रतल वेंटिंग या गैस मुक्ति की लाक्षणिकता, क्लोराइड या सल्फेट असंगतता किसी क्षेत्र में गैस–हाइड्रेट्स की पहचान के उपयोगी सूचक हैं।

तेल एवं गैस की क्रियाशीलता में वृद्धि से महाद्वीपीय शेल्फ तथा कृष्णा–गोदावरी (KG), महानदी एवं कावेरी बेसिन के निकटवर्ती ढलान क्षेत्रों में विस्तृत जाँच शुरू हुई है जो कि भारत के महाद्वीपीय सीमांत के सहारे समृद्ध पेट्रोलिफेरस बेसिन हैं। गैस हाइड्रेट संबंधित जाँच को बढ़ावा देने के लिये सुसंगता को महसूस कर राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, गोवा में गैस हाइड्रेट्स पर एक अनुसंधान कार्यक्रम चलाया गया है जिसमें समुद्री मीथेन गैस हाइड्रेट्स के कई अनुसंधान एवं विकास पहलू शामिल हैं।

आभार

हम निदेशक, राष्ट्रीय समुद्र विज्ञान संस्थान, गोवा, भारत को सुविधाएँ प्रदान करने तथा इस कार्य को प्रकाशित करने की अनुमति के लिए धन्यवाद देते हैं। यह अनुसंधान राष्ट्रीय गैस हाइड्रेट कार्यक्रम (NGGP), भारत द्वारा अनुदानित है। लेखक टी.रामप्रसाद, ए. मजूमदार तथा एच.एम. जोआन्स को उनके मूल्यवान योगदान के लिए धन्यवाद देते हैं।

References

*Booth, J., Winters, W.J., Dillon, W.P., Clennell, M.B., and Rowe, M.M., **1998**. Major occurrences and reservoir concepts of marine clathrate hydrates: implications of field evidence, in Henriet, J.P. and Mienert, J., eds., Gas Hydrates: Relevance to World Margin Stability and Climate Change: Geological Society of London Special Publication Number **137**:113-128.*

*Chopra, N.N., **1985**. "Gas hydrate An unconventional Trap in Fore Act regions of the Andaman offshore" Bulletin of ONGC, **22** June,1985.*

*Claypool, G. E., and Kaplan, I. R., **1974**. The origin and distribution of methane in marine sediments. Natural Gasses in Marine sediments. Kaplan, I. R., (Eds.) Plenum, New York, 99-139,*

*Collett, T. S., **1983**. Detection and evaluation of natural gas hydrates from well logs, Prudhoe Bay, Alaska. 169-174. In Proceedings of the Fourth International Permafrost Conference, Fairbanks, Alaska, July 17-22.*

*Dickens, G. R., Paull, C. K., Wallace, P., and the ODP Leg 164 Scientific Party, **1997**. Direct measurements of in situ methane quantities in a large gas-hydrate reservoir. Nature, 385, 426-428.*

*Johnson, A.H. **2011**. Global Resource Potential of Gas Hydrate - A New Calculation, in: Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011), Edinburgh, Scotland, United Kingdom, July 17-21, CD, Paper 638, 4pp.*

*Kvenvolden, K, A., and Lorenson, T. D., **2000**. The global occurrence of natural gas hydrates, in C. K. Paull, and W. P. Dillon, eds., Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Dynamics, AGU Monograph, p. 55.*

*Kvenvolden K A., **1988**. Methane hydrate: a major reservoir of carbon in the shallow geosphere? Chemical Geology, **71**:41-51.*

*Kvenvolden, K. A., and Bernard, L.A., **1983**. Hydrates of natural gas in continental margins. In:Watkins JS and Drake CL (eds.), studies of continental margin Geology, AAPG Memoir, **34**:631-640.*

*Kvenvolden, K.A., Claypool, G.E., **1988**. Gas hydrates in Oceanic sediments, USGS open file report **88-**216:1-50.*

*Makogan, Y. F., **1981**. Hydrates of natural gas: Tulsa, Okla., Penn Well Publishing, 237p.*

*Tréhu, A.M., Ruppel, C., Holland, M., Dickens, G.R., Torres, M.E., Collett, T.S., Goldberg, D.S., Riedel, M., Schultheiss, P., **2006**. Gas hydrates in marine sediments: lessons from scientific ocean drilling. Oceanography, **19**: 124–142.*

*Rastogi, A., Deka, B., Bhattacharya, G.C., Ramprasad, T., KameshRaju, K.A., Srinivas, K., Murty, G.P.S., Chaubey, A.K., Ramana, M.V., Subrahmanyam, V.; Sarma, K.V.L.N.S.; Desa, M.; Paropkari, A.L.; Menezes, A.A.A., Murty, V.S.N., Antony, M.K., SubbaRaju, L.V., Desa, E., Veerayya, M., **1999**. Gas hydrates stability zone thickness map of Indian deep offshore areas - A GIS based approach,PETROTECH-99. Papers of the Third International Petroleum Conference and Exhibition, 9-12 January 1999, Vigyan Bhavan, New Delhi. Vol. 4: Hydrocarbon exploration. ed. by: Bhatnagar, A.K.(3. Int. Petroleum Conf. and Exhibition; Vigyan Bhavan, New Delhi; India; 9-12 Jan 1999). Indian Oil Corporation; New Delhi; India; 489-494.*

*Ramana, M.V., Ramprasad, T., Desa, M., Sathe, A.V. and Sethi, A.K., **2006**, Gas hydrate-related proxies inferred from multidisciplinary investigations in the India offshore areas. Current Science, **91:**183–189.*

*Sloan, E. D., **1998**. Clathrate Hydrates of Natural Gases. 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 705.*