खण्ड-12, अंक-1, वर्ष-2024, मु0प्र0 1-5
D.O.I.: https://doi.org/10.22445/avsp.v12i1.1
SJIF (2024) : 8.287

शोध पत्र

Membrane-Based Technology for Air Pollution Treatment

Afren Ansari[1], A.K. Shukla[1] and M.A. Ansari[2]
[1]Department of Chemistry, S.M.S. Govt. Model Science College, Gwalior-474 009, M.P., India
[2]Department of Chemistry, Bipin Bihari College, Jhansi-284 001, U.P., India
afreenansari011@gmail.com

Received: 05-09-2024, Accepted: 20-11-2024

Abstract- Air pollution is currently one of the biggest global environmental challenges. The rapid increase in environmental awareness led to strict regulations on air pollution control and great development in air filtration or cleaning technologies. The artificial membrane is one of the promising technologies for air filtration due to its high efficiency, low cost, and easy to scale-up. Electro-spun fibrous and micro porous polymeric air filtration membranes have been used to provide high efficiency in pollutant reduction. Fibrous membranes are made up of irregularly spaced micro-fibers or nano-fibers and are being widely used for the removal of fine particles present in aerosols, dust, etc. Similarly micro porous membranes are also being used for the removal of particles present in toxic gases. This paper describes the role of membrane technologies in air pollution control.

Key words- Air pollution, Synthetic Membrane, Membrane Technology

वायु प्रदूषण उपचार के लिए झिल्ली–आधारित प्रौद्योगिकी

आफरीन अन्सारी[1], ए0 के0 शुक्ला[1] एवं मुहम्मद अयूब अन्सारी[2]
[1]रसायन विज्ञान विभाग, श्रीमंत माधवराव सिंधिया शासकीय आदर्श विज्ञान महाविद्यालय
ग्वालियर–474 009, म0प्र0, भारत
[2]रसायन विज्ञान विभाग, बिपिन बिहारी महाविद्यालय, झाँसी–284 001, उ0प्र0, भारत
afreenansari011@gmail.com

सार– वायु प्रदूषण वर्तमान में सबसे बड़ी वैश्विक पर्यावरणीय चुनौतियों में से एक है। पर्यावरण जागरूकता में तीव्र वृद्धि ने वायु प्रदूषण नियंत्रण पर सबल नियम बनाए एवं वायु निस्पंदन या सफाई प्रौद्योगिकियों में महान विकास को जन्म दिया। कृत्रिम झिल्ली अपनी उच्च दक्षता, कम लागत एवं स्केल–अप में आसानी के कारण वायु निस्पंदन के लिए आशाजनक प्रौद्योगिकियों में से एक है। इलेक्ट्रो–स्पन रेशेदार एवं माइक्रोपोरस पॉलीमेरिक वायु निस्पंदन झिल्ली का उपयोग प्रदूषक को कम करने में उच्च दक्षता प्रदान करने के लिए किया गया है। रेशेदार झिल्ली अनियमित रूप से माइक्रो फाइबर या नैनो–फाइबर से बनी होती है, एवं इसका उपयोग एरोसोल, धूल में उपस्थित महीन कणों को हटाने के लिए व्यापक रूप से किया जा रहा है इसी प्रकार माइक्रोपोरस झिल्ली का उपयोग भी विषाक्त गैसों में उपस्थित कणों को हटाने के लिए किया जा रहा है। यह लेख वायु प्रदूषण नियंत्रण में झिल्ली प्रौद्योगिकियों की भूमिका की समीक्षा करता है।

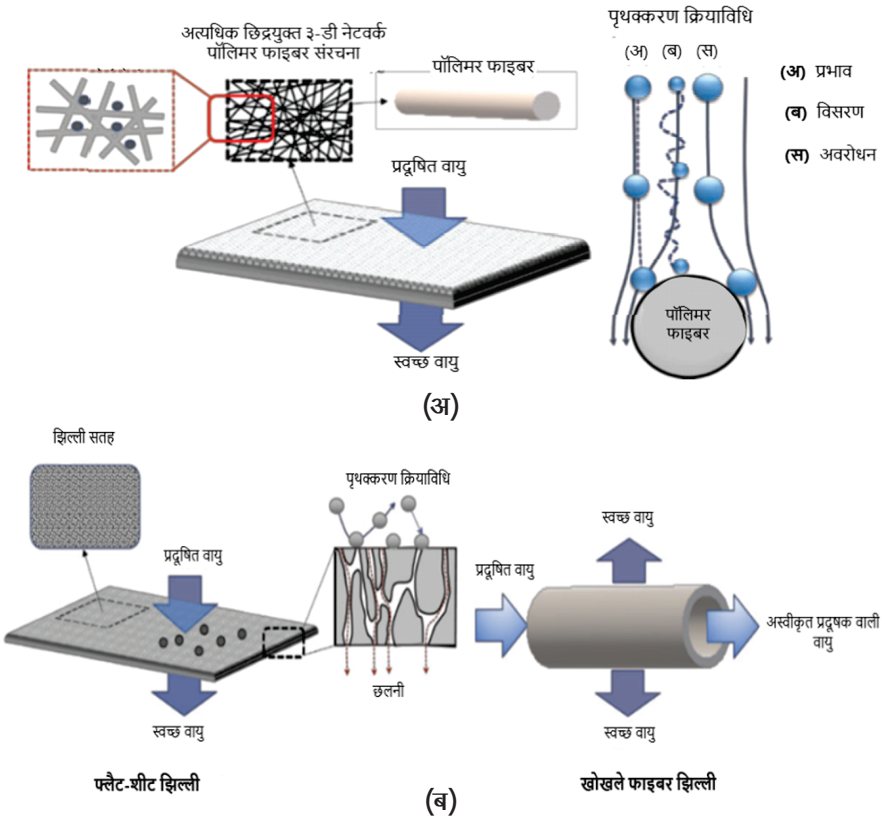
बीज शब्द– वायु प्रदूषण, कृत्रिम झिल्ली, झिल्ली प्रौद्योगिकी

1. **परिचय**– भारत में वायु प्रदूषण अति गंभीर मुद्दा बन चुका है, जो मुख्यतः मोटर वाहनों से ईंधन दहन, गर्मी एवं बिजली उत्पादन (जैसे–कोयला बिजली संयंत्र), औद्योगिक सुविधाएं (जैसे–विनिर्माण कारखाने, खदानें एवं तेल रिफाइनरियां आदि), नगर निगम/नगरपालिका, कृषि अपशिष्ट स्थल एवं अपशिष्ट भस्मीकरण/जलाना, आवासीय खाना पकाने, हीटिंग एवं प्रदूषणकारी ईंधन पराली दहन के साथ प्रकाश व्यवस्था से उत्पन्न होते हैं।[1,2] वायु प्रदूषण में अतिसूक्ष्म कण (जैसे–धूल या एरोसोल), जहरीली गैसों (जैसे–सल्फर डाइऑक्साइड (SO_2),नाइट्रोजन ऑक्साइड (NO2), कार्बन मोनोऑक्साइड (CO), एवं ओजोन) और वाष्पशील कार्बनिक यौगिकों (VOCs) आदि का जटिल मिश्रण होता है, जिसका प्रभाव मानव के स्वास्थ्य पर पड़ता है।[3]

वायु प्रदूषण को नियंत्रित करने के लिए 1981 में वायु (प्रदूषण की रोकथाम एवं नियंत्रण) अधिनियम पारित किया गया था एवं कुछ सुधार भी हुए हैं।[4] 2015 में, भारत सरकार ने आई.आई.टी. कानपुर के साथ मिलकर राष्ट्रीय वायु गुणवत्ता सूचकांक लॉन्च किया।[5] वायु गुणवत्ता सूचकांक 8 प्रदूषकों (PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2, CO, O_3, NH_3,एवं Pb) से बना है। वायु गुणवत्ता सूचकांक हवा की गुणवत्ता को मापता है। यह हवा में घुली गैसों की मात्रा एवं प्रकार को दर्शाता है। इस वायु गुणवत्ता सूचकांक में हवा की 6 श्रेणियां बनाई गई हैं। AQI को छह श्रेणियों में बांटा गया है: अच्छा (0–50), संतोषजनक (51–100), मध्यम (101–200), खराब (201–300), बहुत खराब (301–400) एवं गंभीर (401–500) आदि हैं।

औसत व्यास के आकार के आधार पर, कण पदार्थों को दो मुख्य वर्गों में वर्गीकृत किया गया है, अर्थात् 10μm (PM_{10}) से कम वायुगतिकीय व्यास आकार वाले कण, एवं 2.5μm ($PM_{2.5}$) से कम व्यास वाले महीन कण। WHO वायु गुणवत्ता ने PM_{10} के लिए 20 $\mu g/m^3$ एवं $PM_{2.5}$ के लिए 10–15 $\mu g/m^3$ के वार्षिक औसत मान तक वायु प्रदूषण को कम किया है।[6–8] अति सूक्ष्म कण (जैसे–सल्फेट, नाइट्रेट्स, ब्लैक कार्बन एवं महीन एरोसोल) आसानी से फेफड़ों में जा सकते हैं एवं विभिन्न श्वसन और हृदय संबंधी बीमारियां, यहाँ तक कि मृत्यु दर के जोखिम का कारण बन सकते हैं।[9]

पृथक्करण क्रियाविधि के आधार पर वाणिज्यिक एयर फिल्टर तकनीक मुख्यतया: दो प्रकार की होती हैं, अर्थात् गैर–बुना रेशेदार एवं झिल्ली निस्पंदन जिसे चित्र–१ द्वारा दर्शाया गया है। रेशेदार झिल्ली अनियमित रूप से माइक्रो फाइबर या नैनो–फाइबर से बनी होती है जो अपनी पूरी गहराई में अवरोधन, प्रभाव एवं विसरण क्रियाविधि द्वारा वायु में मौजूद कणों को पकड़ते हैं।[10,11] जबकि, सूक्ष्म–छिद्रित झिल्ली निस्पंदन,आकार अपवर्जन क्रियाविधि द्वारा पृथक्करण प्रक्रिया निष्पादित करते हैं,जो झिल्ली छिद्र के आकार से बड़े वायुजनित कणों को रोकता है।[12]



चित्र–१: पृथक्करण क्रियाविधि के आधार पर वायु निस्पंदन प्रौद्योगिकियों के प्रकार: (अ) रेशेदार फिल्टर एवं(ब) सूक्ष्म छिद्रित झिल्ली
[https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1217/1/012046/pdf]

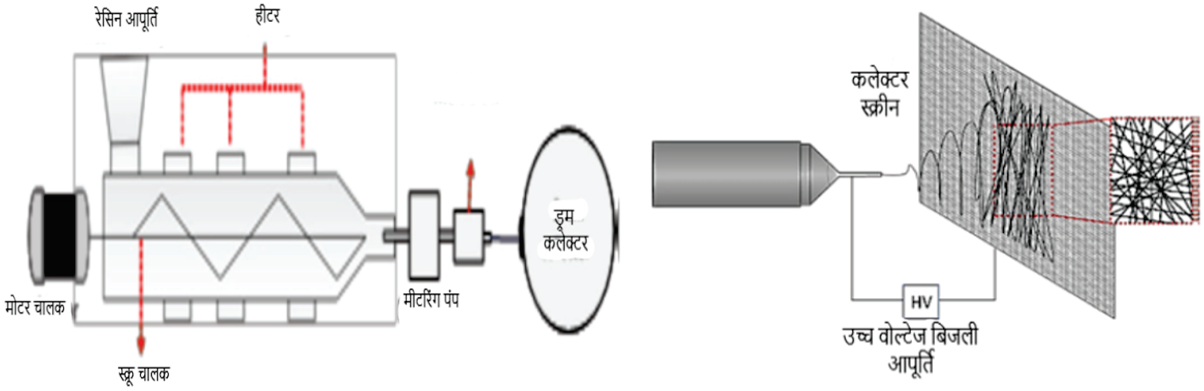
नैनो फाइबरस फिल्टर को झिल्ली फिल्टर माना जाता है, जिसे सेलेक्ट्रो–स्पन नैनो फाइबरस झिल्ली के नाम से जाना जाता है, क्योंकि इन फिल्टर के छिद्र का आकार माइक्रो–पोरस झिल्ली के समान होता है एवं सब–माइक्रोन कणों को हटाने में सक्षम होता है। नैनो फाइबरस झिल्ली अन्य फाइबर फिल्टर की तुलना में छोटे छिद्र आकार, छिद्रों का उच्च घनत्व एवं उच्च सतह क्षेत्र से आयतन अनुपात प्रदान करता है।

२. **वायु प्रदूषण नियंत्रण के लिए झिल्ली प्रौद्योगिकी**– वायु प्रदूषण को नियंत्रित करने के लिए विभिन्न प्रकार की झिल्लियों का उपयोग किया गया है। अधिकांश झिल्लियाँ पॉलीएक्रिलोनिट्राइल (पीएएन), पॉलीइमाइड (पीआई), पॉलीयूरेथेन (पीयू), पॉलीसल्फोन (पीएसएफ) एवं पॉलीप्रोपाइलीन (पीपी) जैसी बहुलक सामग्री से निर्मित होती हैं। इस लेख में, विभिन्न प्रकार की झिल्ली प्रौद्योगिकियों के अनुप्रयोग पर चर्चा की गई, जिसमें नैनोफाइब्रस झिल्ली, सूक्ष्म छिद्रयुक्त झिल्ली एवं अन्य झिल्ली प्रकार सम्मिलित हैं।

२.१ वायु निस्पंदन के लिए नैनो रेशेदार झिल्ली

नैनोफाइब्रस झिल्ली में 40 से 2000nm के बीच औसत छिद्र का आकार होता है, जिसमें फाइबर व्यास की सीमा 100 और 1000 nm के बीच होती है। इसकी विशेषताओं के कारण, कोई भी रेशेदार झिल्ली माइक्रोन से लेकर सब–माइक्रोन कणों को हटा सकती है।[13,14] नैनोफाइब्रस झिल्ली तीन प्रकार से बनाई जाती है, अर्थात् मल्टी–कंपोनेंट फाइबर स्पिनिंग[15], मॉड्यूलर मेल्ट–ब्लो[16–18], एवं इलेक्ट्रोस्पिनिंग विधि।[19] नैनोफाइबर के निर्माण के लिए मेल्ट–ब्लो एवं इलेक्ट्रोस्पिनिंग का योजनाबद्ध आरेख को चित्र–२ में दर्शाया गया है। इन विधियों में से, इलेक्ट्रोस्पिनिंग सबसे अधिक उपयोग की जाने वाली विधि है।

इलेक्ट्रोस्पिनिंग विधि[20] द्वारा नैनोफाइबर के निर्माण में उच्च निष्कासन दक्षता, कम दबाव ड्रॉप एवं दोष–मुक्त या दोष नियंत्रणीय लक्ष्य बन जाते हैं। इन लक्ष्यों को प्राप्त करने के लिए, कई विकास प्रस्तावित किए गए हैं, जिनमें मल्टीलेयर (या सैंडविच) नैनोफाइब्रस झिल्ली[21–23], संयुक्त नैनोफाइब्रस झिल्ली[24, 25] एवं इलेक्ट्रेट नैनोफाइब्रस झिल्ली[26, 27] भी सम्मिलित हैं।



चित्र–२: नैनोफाइब्रस झिल्ली के निर्माण के तरीके: (अ) मेल्ट–ब्लोन एवं (ब)इलेक्ट्रोस्पिनिंगविधि [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1217/1/012046/pdf]

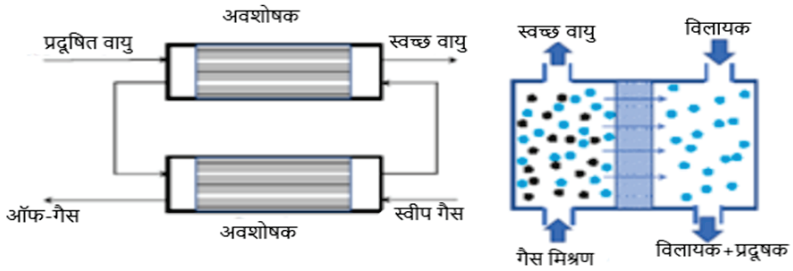
२.२ सूक्ष्म छिद्रयुक्त झिल्ली निस्पंदन

वायु निस्पंदन क्षेत्र में, माइक्रोपोरस झिल्ली का उपयोग दबाव–संचालित झिल्ली के लिए किया जाता है, जैसे कि माइक्रोफिल्ट्रेशन (एमएफ) एवं अल्ट्राफिल्ट्रेशन (यूएफ) झिल्ली, जिसका छिद्र आकार 10μm से 0,01μm के बीच होता है।माइक्रोपोरस झिल्ली का उपयोग माइक्रोन (एरोसोल) एवं सब–माइक्रोन या अल्ट्राफाइन प्रदूषकों दोनों को हटाने के लिए किया जाता है।[28–30] वायु निस्पंदन के लिए दो प्रकार की झिल्लियाँ विकसित की गई हैं, जो निम्न हैः फ्लैट–शीट एवं खोखली–फाइबर झिल्ली। फ्लैट–शीट झिल्ली की तुलना में, खोखले–फाइबर

झिल्ली उच्च पैकिंग घनत्व और कम लागत उत्पादन प्रदान करती है। वांग एट अल[31] ने एरोसोल को हटाने के लिए पॉलीविनाइलिडीन फ्लोराइड–पॉलीइथिलीन ग्लाइकॉल (PVDF&PEG) खोखले फाइबर झिल्ली तैयार की, जिसका कण आकार 30nm है। 300 nm के कण व्यास के साथ एरोसोल हटाने के लिए पॉली इथर सल्फोन (PES) झिल्ली का उपयोग किया।

२.३ वायु से गैस एवं वाष्पशील कार्बनिक यौगिक हटाने के लिए झिल्ली संपर्कक

झिल्ली संपर्कक का उपयोग अवशोषण क्रियाविधि द्वारा विभिन्न स्रोतों से कार्बन बन्धन के लिए किया जाता है।[32] छिद्रित झिल्ली संपर्ककर्ता एक गैर–फैलाव संपर्क प्रणाली है एवं विलायक और प्रदूषित वायु के बीच एक गैस या वाष्प पारगम्य अवरोध के रूप में कार्य करता है। संपर्ककर्ता झिल्ली का पृथक्करण क्रियाविधि चित्र–३ में दर्शाया गया है।



चित्र ३: वायु निस्पंदन प्रक्रिया के लिए झिल्ली प्रौद्योगिकी: झिल्ली संपर्ककर्ता
[https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1217/1/012046/pdf]

३. **निष्कर्ष**– पर्यावरण एवं मानव स्वास्थ्य पर वायु प्रदूषण के प्रभाव को कम करने के लिए वायु निस्पंदन प्रणाली का उपयोग किया गया है। इस लेख में झिल्ली के प्रदर्शन को बेहतर बनाने के लिए नैनोफाइब्रस झिल्ली का अध्ययन किया गया हैं, जिसमें रेशेदार सामग्रियों पर संशोधन, इलेक्ट्रोस्पिनिंग प्रक्रिया के दौरान परिचालन स्थितियों को समायोजित करना और नैनोफाइब्रस झिल्ली का इंजीनियरिंग विधान आदि शामिल है। अन्य प्रकार की झिल्ली तकनीक जैसे– झिल्ली संपर्ककर्ता, झिल्ली निस्पंदन का भी उपयोग किया गया है, विशेष रूप से उच्च निस्पंदन दक्षता के साथ हवा में आणविक संदूषकों, जैसे कि जहरीली गैस और वाष्पशील कार्बनिक यौगिकों को हटाने के लिए किया गया।

References

1. Vanam Sudhakar, Dr. Anil Kumar Kastala, G. Shalini]Air Pollution Control Using Membrane Technique: A Review]JETIR, Volume 5, Issue 3, March 2018,
2. WHO Ambient air pollution: Pollutants, 2017
3. A.A.I.A.S. Komaladewi, P.T.P. Aryanti, ID.G.A. Subagia,and IG.Wenten,Membrane technology in air pollution control: prospect and challenge, IOPConf. Series:Journal of Physics:Conf. Series1217,012046, 2019
4. Johnson, Keith ,"How Carbon Dioxide Became A 'Pollutant'. Wall Street Journal, 18 April 2009.
5. Barbalace, Roberta C. "Co2 Pollution And Global Warming: When Does Carbon Dioxide Become A Pollutant". Environmentalchemistry.Com. November 7, 2006.
6. Yuan Y, Liu S, Castro R, and Pan X , ACS Publications,2012
7. Chow J C , Watson J G, Lowenthal D H, Antony Chen L-W, Tropp R J, Park K, and Magliano K A Aerosol Sci. Technol. 40(10) 796-810 2006
8. Lee B-K and Hieu NT,Aerosol Air Qual. Res.11(6) 679-688, 2011
9. DieLing Zhao, Wangyi Zhou, Liguo Shen, Bowen Li, Hongyu Sun, Qianqian Zeng, ChuyangY. Tang, Hongjun Lin, Tai-Shung Chung,New directions on membranes for removal and degradation of emerging

pollutants in aqueous systems,Water Research, Volume 251, 121111, March 2024
10. Zhu M, Han J, Wang F, Shao W, Xiong R, Zhang Q, Pan H, Yang Y, Samal S K, and Zhang F ,Macromol. Mater. Eng302(1) 1600353, 2017
11. Sathish Kumar Ramachandran, Palanivel Sathishkumar, Membrane-based techniques for pollutants removal: An outlook on recent advancements, Current Opinion in Environmental Science & Health,Volume 36, 100513, 2023
12. Li M, Feng Y, Wang K, Yong W F, Yu L, and Chung T-S, Environ. Sci. Techno*l*.51(17) 10041-10049, 2017
13. AussawasathienD,TeerawattananonC,andVongachariyaAJ.Mem.Sci.315(1-2)11-19,2008
14. Pengfei Tan, Yuanzhang Jiang , Dakai Gong, Yidong Shi, Xianning Shi, Pengfei Wu, Lin Tan,Synthetic polyurethane nanofibrous membrane with sustained recharge ability for integrated air cleaning, polymer, Volume 258, 14 October 2022, 125279
15. TakajimaT,KajiwaraK,andMcIntyreJE,Adv.FiberSpinningTechnol:Woodhead Publishing 1994
16. UppalR,BhatG,EashC,andAkatoK,FibersPolym.,14(4)660-668, 2013
17. WardG,Filtr.Sep.42(7)22-24, 2005
18. Hassan M A, Yeom B Y, Wilkie A, Pourdeyhimi B, and Khan S A J. Mem. Sci. 427336- 344, 2013
19. AhmedFE,LaliaBS,andHashaikehR, Desalination35615-30, 2015
20. HuangZ-M,ZhangY-Z,KotakiM,andRamaKrishna S,Compos.Sci.Technol.63(15)2223- 2253, 2003
21. WangN,SiY,WangN,SunG,El-NewehyM,Al-DeyabSS,andDingB,Sep.Purif. Technol. 12644-51, 2014
22. PatanaikA,JacobsV,andAnandjiwalaRD,J.Mem.Sci.352(1-2)136-142,2010
23. WangQ,BaiY,XieJ,JiangQ,andQiuY, PowderTechnol.29254-63, 2016
24. YoonK, Kim K, WangX, Fang D, Hsiao B S, and Chu B, Polymer47(7) 2434-2441, 2006
25. ZhangS, LiuH, YinX, YuJ, and Ding B *ACS Appl .Mater. Interfaces.* 8(12) 8086-8095, 2016
26. Mescheder U, Müller B,Baborie S, and Urbanovic P2009 *J.* Micromechanics Microengineering 19(9) 094003, 2009
27. Wang N, Cai M, Yang X, and Yang Y ,J. ColloidInter face Sci.530**,**695-703, 2018
28. MaoG,HarrisKT,LummeKM,andWilliamsJJ, PorexTechnologiesCorp, 2018
29. KhanFIandKr.GhoshalA,J.LossPrev.ProcessInd.13(6)527-545, 2000
30. AryantiP,NoviyaniA,KurniaM,RahayuD,andNisaAYearin*IOP*ConferenceSeries:Mater. Sci. Eng.,IOP Publishing, 2018
31. Wang L-Y, Yong W F, Liya E Y , and Chung T – S J. Memb. Sci. 535342-349, 2017
32. Mansourizadeh A, Ismail A, and Matsuura T J.Mem. Sci.353(1-2) 192-200, 2010