

अकार्बनिक अवक्षेप द्वारा निर्मित कृत्रिम झिल्ली के आर-पार द्वि-आयनिक विभव का अध्ययन

प्रशांत कुमार पाठक¹, के०के० मौर्य¹, रमेश कुमार प्रजापति², के०एस० दादोरिया³,
मुहम्मद अयूब अंसारी⁴

¹रसायन विज्ञान विभाग, एस०एल०पी० शासकीय कॉलेज, मोरार, ग्वालियर(म०प्र०)-474006, भारत

²रसायन विज्ञान विभाग, दिगम्बर जैन कॉलेज, बड़ौत, बागपत(उ० प्र०)-250611, भारत

³रसायन विज्ञान विभाग, शासकीय महाविद्यालय, दतिया(म०प्र०)- 475335, भारत

⁴रसायन विज्ञान विभाग, बिपिन बिहारी महाविद्यालय, झाँसी (उ०प्र०)-284001, भारत

ayub67@rediffmail.com; prashant_pathak58@yahoo.com; rameshkrpr@yahoo.com;
kkm61@rediffmail.com; ks_dadoriya@gmail.com

सार

विभिन्न सान्द्रता के विद्युत अपघट्यों का उपयोग करते हुए पॉलीस्टीरिन आधारित क्रोमियम टंग्स्टेट झिल्ली द्वारा प्राप्त 'झिल्ली विभव' और 'झिल्ली द्वि आयनिक विभव' की आख्या प्रस्तुत की गयी है, गैर संतुलन ऊष्मप्रवैगिकी के आधार पर झिल्ली क्षमता और द्वि-आयनिक क्षमता के लिए तोयोशिमा और नोजाकी द्वारा व्युत्पन्न सैद्धांतिक समीकरणों का, विभिन्न झिल्ली मापदंडों के मूल्यांकन के लिए प्रयोग किया गया है। व्युत्पन्न झिल्ली मापदंडों का उपयोग, सिद्धांतों की वैधता की जांच करने के लिए किया गया है। सैद्धांतिक भविष्यवाणियों का हमारे प्रयोगात्मक परिणामों से काफी संतोषजनक ढंग से वहन किया गया है। झिल्ली की स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप छवि भी प्रस्तुत की गयी है।

बीज शब्द : क्रोमियम टंग्स्टेट से बनी हुई झिल्ली, झिल्ली विभव, झिल्ली द्वि-आयनिक विभव, के सूक्ष्म छवि।

Bi-ionic potential studies across the inorganic precipitate synthetic membrane

Prashant Kumar Pathak¹, K.K. Maurya¹, Ramesh Kumar Prajapati², K.S. Dadoriya³,
Muhammad Ayub Ansari⁴

¹Department of Chemistry, S.L.P. Govt. College, Morar, Gwalior(M.P.)-474006, India

²Department of Chemistry, Digamber Jain College, Baraut, Bagpat(U.P.)-250611, India

³Department of Chemistry, Govt. Degree College, Datia(M.P.)-475335, India

⁴Department of Chemistry, Bipin Bihari P.G. College, Jhansi(U.P.)-484001, India

ayub67@rediffmail.com; prashant_pathak58@yahoo.com; rameshkrpr@yahoo.com;
kkm61@rediffmail.com; ks_dadoriya@gmail.com

Abstract

Bi-ionic potentials observed across polystyrene based chromium tungstate membrane using various electrolytes are reported. Theoretical equations derived recently by Toyoshima and Nozaki for the membrane potential and bi-ionic potential based on non-equilibrium thermodynamics have been used for the evaluation of various membrane parameters. The derived membrane parameters have been used to examine the validity of the theory utilized. Theoretical predictions were borne out quite satisfactorily by our experimental results. Scanning electron microscope (SEM) images of the membrane has also been presented.

Keywords: Bi-ionic potential, chromium tungstate membrane, SEM micrograph.

प्रस्तावना

अकार्बनिक कृत्रिम झिल्ली, उच्च तापमान तथा आक्रामक प्रतिकूल वातावरण में भी उचित ढंग से उपयोग होने के फलस्वरूप औद्योगिक अनुप्रयोगों के लिए बहुत महत्व की है^{1,5}। बेग^{6,7,8} और रफीउद्दीन^{9,10,11,12} के पत्रों की श्रृंखला में विभिन्न प्रकार की, अकार्बनिक अवक्षेप, सपोर्टर/बाइंडर द्वारा, झिल्ली बनाने और इन झिल्लियों का उपयोग आयनों के परिवहन, झिल्ली विभव के लिए हाल ही में विकसित समीकरणों की वैधता, के अध्ययन के लिए, एक मॉडल के रूप में करने की जानकारी दी गयी है।

इस समीक्षा पत्र में, क्रोमियम टंग्स्टेट की झिल्ली के आर-पार विभिन्न 1 : 2 विद्युत अपघट्य के उपयोग द्वारा पर प्राप्त झिल्ली विभव और झिल्ली द्वि-आयनिक विभव का वर्णन किया गया है। तोयासिमा और नोजाकी¹³ के द्वारा दिये गये झिल्ली विभव के सिद्धांतों की वैधता जानने के लिए प्रयास किया गया है।

सामग्री और विधि

झिल्ली तैयार करना

पॉलीस्टीरिन आधारित, क्रोमियम टंग्स्टेट की झिल्ली, बेग और सहकर्मियों⁶ द्वारा सुझाई गयी विधि द्वारा तैयार की गई। 0.2 मोलर क्रोमियम क्लोराइड के साथ 0.2 मोलर सोडियम टंग्स्टेट घोल की रासायनिक क्रिया द्वारा क्रोमियम टंग्स्टेट अवक्षेप को तैयार किया गया। अवक्षेप के मुक्त इलेक्ट्रोलाइट को दूर करने के लिए अन-आयनीकृत पानी के साथ अच्छी तरह से धोकर, कमरे के तापमान पर सुखाया गया। अवक्षेप का बारीक पाउडर के रूप में पीस दिया गया और 200 मेष(दाना आकार 0.07 मिमी) के द्वारा पिरो दिया गया। शुद्ध अनाकार पॉलीस्टीरिन भी पीसकर पिरो दिया गया। पॉलीस्टीरिन और क्रोमियम टंग्स्टेट अवक्षेप के विभिन्न अनुपात को ग्राइंडर यन्त्र द्वारा अच्छी तरह से मिला लिया गया। तत्पश्चात् इस मिश्रण को 2.45 सेमी0 व्यास वाली कास्ट डाई में रखा गया और इसे संतुलित करने के लिए 20⁰ सेल्सियस पर आधे घंटे के लिए भट्टी में रखा गया। मिश्रण युक्त डाई को एक दबाव यन्त्र में तेजी से स्थानांतरित किया गया था और झिल्ली के गठन के दौरान दबाव डाला गया। जिससे, क्रोमियम टंग्स्टेट से बनी हुई, लगभग 0.094 सेमी मोटाई वाली झिल्ली प्राप्त हुई। हमारा प्रयास रासायनिक और यांत्रिक स्थिरता की झिल्ली बनाना था। पॉलीस्टीरिन के 30 प्रतिशत के मिश्रण से तैयार झिल्ली यांत्रिक रूप से स्थिर पाई गयी और हमारे अध्ययन के लिए उपयुक्त थी।

झिल्ली का विभव मापन

झिल्ली के आर-पार उत्पन्न द्वि-आयनिक विभव को मापने के लिए निम्न सेल का निर्माण और उपयोग किया गया।

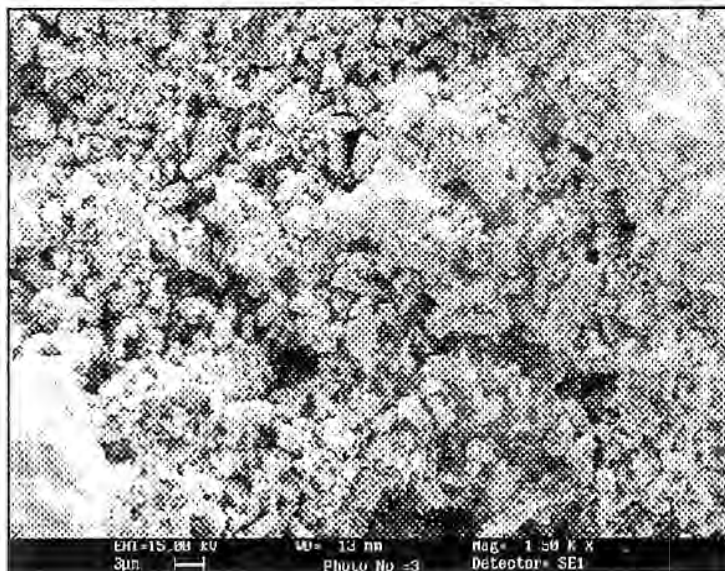
से0के0इ0	विलयन AX	झिल्ली	विलयन BX	से0के0इ0
----------	-------------	--------	-------------	----------

यहाँ झिल्ली विभवन, झिल्ली के दोनों तरफ समान सान्द्रण वाले दो विद्युत अपघट्य विलयनों को लेने पर प्राप्त किया गया। झिल्ली विभव E_m , झिल्ली के दोनों तरफ, एक ही विद्युत अपघट्य की विभिन्न सांद्रता, इस तरह से ली ताकि $\sigma = C'/C'' = 10$ प्राप्त हो। विभवों की निगरानी मल्टीमीटर के माध्यम से की गयी। सभी मापन, पानी थर्मोस्टेट द्वारा 30 ± 0.1^0 सेल्सियस पर किए गये। दोनों तरफ धीरे-धीरे सतत् चलाने का काम, एक चुंबकीय कील विलेयक यंत्र से किया गया। विभिन्न नमक घोलों को विश्लेषणात्मक ग्रेड अभिकर्मकों, और पुनः-पुनः आसुत जल, से तैयार किया गया।

झिल्ली का इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी अध्ययन:

झिल्ली के लक्षण वर्णन और विशेषीकरण के लिए, झिल्ली और अवक्षेप के विकास में कार्यरत अनेक कार्मिकों द्वारा इलेक्ट्रॉनिक माइक्रोस्कोपिक सूक्ष्मछवि का बहुतायत में उपयोग हुआ है^(13,14)। झिल्ली समग्र छिद्र संरचना,

सूक्ष्म/वृहद सरंघता, एकरूपता, मोटाई, दरारें, सतह बनावट/आकारिकी आदि का विशेष रूप से स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी द्वारा गहन अध्ययन किया गया (15,16)। सूक्ष्म छवियों से प्राप्त जानकारी सुव्यवस्थित अवक्षेप बनाने में मार्गदर्शक सिद्ध हुई है। नतीजतन, क्रोमियम टंग्स्टेट से बनी हुई झिल्ली के अतिसूक्ष्म सतह छवियों को लिया गया है। चित्र 1 में अतिसूक्ष्म छवि में, छोटे कणों के घने और झिल्ली एकत्रीकरण को दर्शाया गया है, और छिद्र गैर रेखीय चैनल के साथ, लेकिन पूरी तरह से परस्पर दिखाई नहीं देते हैं।



चित्र-1 पॉलीस्टीरिन आधारित क्रोमियम टंग्स्टेट झिल्ली की स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोग्राफ छवि

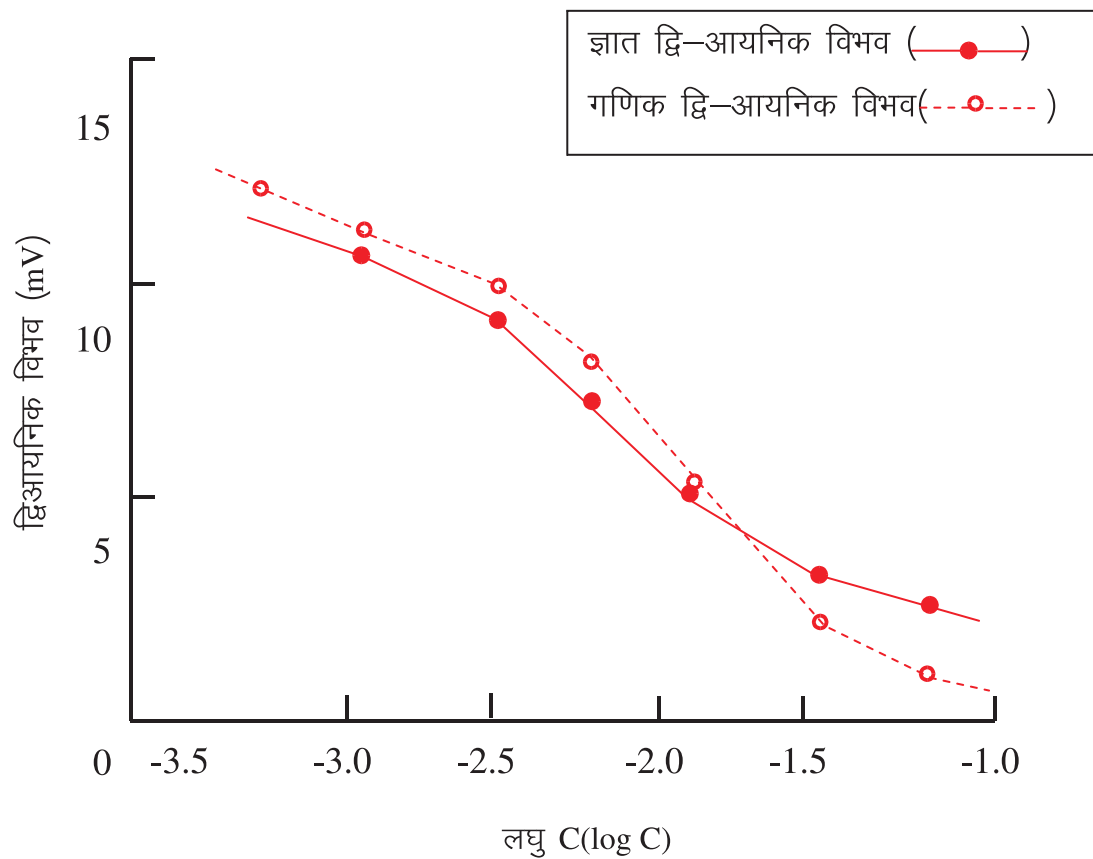
परिणाम और विचार विमर्श

विभिन्न 1 : 01 विद्युत अपघट्य का उपयोग कर, पॉलीस्टीरिन आधारित क्रोमियम टंग्स्टेट से बनी हुई झिल्ली के आर-पार उत्पन्न झिल्ली विभव के आंकड़ों को सारणी 1 में दिया गया है। द्वि-आयनिक विभव के आंकड़ों को चित्र 2, 3 में चित्रित किया गया है।

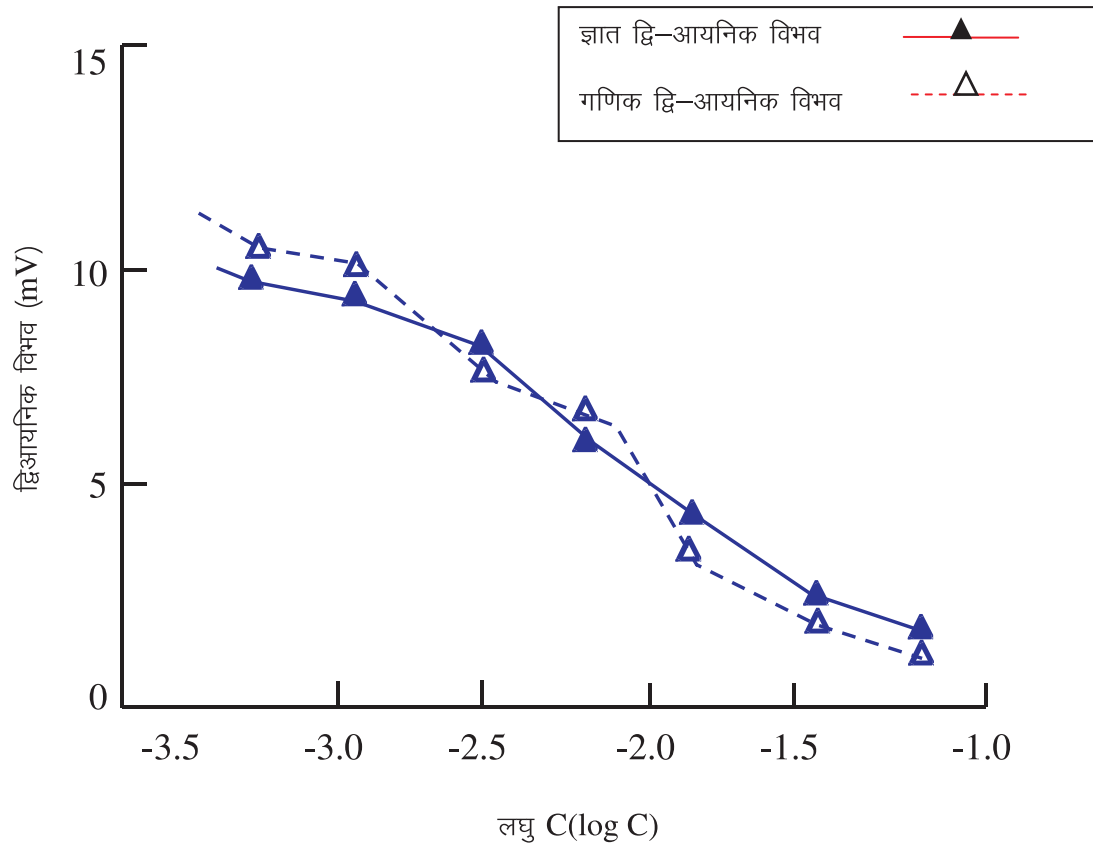
सारणी-1

क्रोमियम टंग्स्टेट झिल्ली के आर-पार विभिन्न विद्युत अपघट्य के भिन्न-भिन्न सान्द्रताओं पर ज्ञात झिल्ली विभव E_m (mV) के मान

विद्युत अपघट्य	झिल्ली विभव के विभिन्न सान्द्रताओं पर मान (eq/l)					
	1/0.1	0.5/0.05	0.2/0.02	0.1/0.01	0.02/0.001	0.01/0.001
CaCl_2	8.51	7.11	16.21	27.01	48.31	52.33
MgCl_2	-3.98	-1.91	12.20	25.17	52.24	53.69
BaCl_2	-11.2	-5.87	0.83	5.98	20.03	24.06



चित्र 2. CaCl_2 - MgCl_2 सेट के लिये क्रोमियम टर्स्टेट झिल्ली, को उपयोग करते हुये ज्ञात एवं गणित द्विआयनिक विभव एवं लघु C के मध्य वक्र



चित्र 3. CaCl_2 - BaCl_2 सेट के लिये क्रोमियम टंगस्टेट झिल्ली, को उपयोग करते हुये ज्ञात एवं गणित द्विआयनिक विभव एवं लघु C के मध्य वक्र

जब आयन एक्सचेंज झिल्ली को एक ही विद्युत अपघट्य के दो अलग-अलग सांद्रता वाले घोलों के मध्य रखा जाता है, तो विकसित विभवान्तर, सान्द्रण विभव या झिल्ली विभव कहलाता है। इस विद्युत वाहक बल का चिन्ह (+ या -) एवं मूल्य विद्युत अपघट्य में उपस्थित आयन की ओर झिल्ली की चयनात्मकता को दर्शित करती है। यदि झिल्ली एक ही सांद्रता वाली दो विभिन्न विद्युत अपघट्य को विभाजित करती है तो विकसित विभव, द्वि-आयनिक विभव कहलाता है। जो समान चिन्ह (+ या -) वाले आयन की चयनात्मकता का एक लक्षण है। बहुत से जांचकर्ताओं द्वारा झिल्ली पर आधारित, विकसित विभव के सिद्धांतों को रखा गया और समीक्षा की गयी^{19,20,21,22}। तोयोसिशा और नोजाकी ने, एक ही सांद्रता वाले दो साधारण 1 : 2 (समान सम-आयन वाली) विद्युत अपघट्य के मध्य ऋणात्मक आवेश वाली झिल्ली को रखकर, द्वि-आयनिक विभव के लिए, सैद्धांतिक समीकरण का विकास किया। इस समतापीय सिस्टम में बाहर से कोई विद्युत आवेश प्रवाहित नहीं किया गया। आयन की गति एवं गतिविधियों की, सांद्रता-निर्भरता के लिए निम्नलिखित मान्यताओं का समीकरण में प्रयोग किया गया।

$$u_+c_+ = u_+^0(c_- + \theta) \quad (1)$$

$$u_-c_- = u_-^0c_- \quad (2)$$

$$a_+ = \gamma_+^0(c_- + \theta) \quad (3)$$

$$a_- = \gamma_-^0c_- \quad (4)$$

जहाँ, आयन “i” (I = + या -)

u_i = आयन गतिशीलता

c_i = आयन मोलर कॉन्सेंट्रेशन

a_i = आयन की क्रियाशीलता

यहाँ आयन I की, मुक्त विलयन में,

u_i^0 = गतिशीलता गुणांक

γ_i^0 = क्रियाशीलता गुणांक

θ = झिल्ली का ऊष्मप्रवैगिक प्रभावी फिक्स्ड आवेश घनत्व

अतः द्वि-अयनिक विभव के लिए निम्न समीकरण है¹³

$$E_{BIP} = (RT/F) [2 \ln (K_A / K_B) + \ln (JV_A + 1)/(JV_B + 1)] \quad (5)$$

जहाँ J और g निम्न द्वारा परिभाषित है

$$(2J+1) \ln (g_A + 2J)/(g_B + 2J) - \ln (JV_A + 1)/(JV_B + 1) - \ln (g_n / g_B) = 0 \quad (6)$$

और

$$g_N = \left[1 + \left\{ 1 + (2CK_N / \theta)^2 \right\}^{1/2} \right] \quad (7)$$

V_N = घनात्मक क्रियाशीलता ($N \equiv A$ or B)

J = विद्युत अपघट्य फलक्स।

शेष चिन्हों का स्वाभाविक महत्व है।

झिल्ली में उपस्थित आयन की गतिशीलता, क्रियाशीलता की मान्यताओं और उपर्युक्त मूल प्रवाह समीकरण का प्रयोग करके तोयोशिमा एवं नोजाकी¹³ ने झिल्ली विभव E_m की निम्नलिखित समीकरण दिया।

$$E_m = \left(\frac{RT}{F} \right) \left[-\ln \sigma - (1 - 2/V_N) \ln \frac{\sqrt{1 + (2K_N C_N'' / \theta)^2} + (1 - 2/V_N)}{\sqrt{1 + (2K_N C_N' / \theta)^2} + (1 - 2/V_N)} + \ln \frac{\sqrt{1 + (2K_N C_N'' / \theta)^2} + 1}{\sqrt{1 + (2K_N C_N' / \theta)^2} + 1} \right] \quad (8)$$

सांद्रता अनुपात स्थिर रखकर, $1/C_N$ की घात बढ़ाने पर, समीकरण (8) निम्न समीकरण प्रदान करती है।

$$-E_m = \left(\frac{RT}{F} \right) \left[(1 - 2/V_N) \ln \sigma - 2(1 - 1/V_N) (1/V_N) (1 - 1/\sigma) (\theta/K_N) (1/C_N') + \dots \right] \quad (9)$$

को आयन का अपरेंट ट्रान्सफरन्स नंबर (t_{app}), नेर्नस्ट समीकरण द्वारा परिभाषित किया जाता है।

को आयन का अपरेंट ट्रान्सफरन्स नंबर (t_{app}), नेर्नस्ट समीकरण द्वारा परिभाषित किया जाता है।

$$E_m = -\left(\frac{RTF}{n}\right) (1 - 2t_{app}) \ln C'/C'' \quad (10)$$

समीकरण (9) को समीकरण (10) में रखने पर प्राप्त समीकरण को $1/C'_N$ में घात श्रेणी के रूप में बढ़ाने पर निम्न समीकरण प्राप्त होती है।

$$1/t_{app} = V_N + (V_N - 1) \left\{ \frac{(\sigma - 1)}{\sigma \ln \sigma} \right\} \left(\theta / K_N \right) \left(1/C'_N \right) + \dots \quad (11)$$

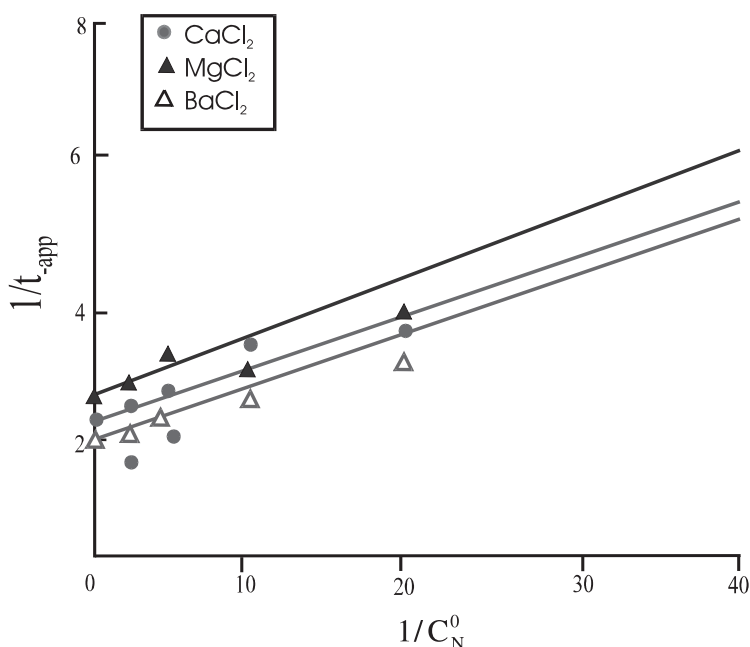
समीकरण (11) $1/t_{app}$ और $1/C'_N$ के बीच एक रैखिक संबंध बताती है।

झिल्ली-अपघट्य व्यवस्था तंत्र में V_N और θ/K_N की मात्रा को हम, $1/t_{app}$ प्रति $1/C'_N$ ग्राफ के ऑरडिनेट इन्टरसेप्ट और प्रारम्भिक ढाल द्वारा ज्ञात कर सकते हैं। इस तरह चित्र 4 द्वारा V_N and θ/K_N की प्राप्त की गयी मात्रा को सारणी 2 में दर्शाया गया है। प्राप्त की गयी V_N and θ/K_N की मात्रा का उपयोग, समीकरण (7) द्वारा g_N की मात्रा की ज्ञात करने में किया जाता है (सारणी 3)।

सारणी 2

क्रोमियम टंग्स्टेट झिल्ली के लिये V_N और θ/K_N के विभिन्न सान्द्रताओं के 1:1 विद्युत अपघट्य विलयनों के मान

विद्युत अपघट्य	क्रोमियम टंग्स्टेट	
	V_N (सेमी. सेकेण्ड ⁻¹)	θ/K_N
CaCl_2	2.13	0.180
MgCl_2	1.96	0.160
BaCl_2	1.69	0.140



चित्र-4 $1/t_{app}$ और $1/C'_N$ के मध्य विभिन्न सान्द्रताओं का क्रोमोयम टंग्स्टेट के आर-पार वक्र

सारणी-3
क्रोमियम टंस्टेट झिल्ली के लिये 30° सेल्सियस पर g_N के मान

झिल्ली	विद्युत अपघट्य	g_N सान्द्रण मान (eq/l)			
		0.1	0.05	0.02	0.01
क्रोमियम टंस्टेट	$CaCl_2$	2.83	2.60	2.41	2.32
	$MgCl_2$	3.10	2.70	2.81	2.41
	$BaCl_2$	3.90	2.87	2.96	2.56

झिल्ली-विद्युत अपघट्य व्यवस्था तंत्र के V_N , g_N and θ/K_N आदि झिल्ली पैरामीटर्स पता चलने पर समीकरण 5 और 6 का उपयोग कर विद्युत अपघट्य विलयन के सिद्धांतिक द्वि-आयनिक विभव का पता किया गया। अतः द्वि-आयनिक विभव की प्राप्त मात्रा चित्र 2-3 में विद्युत अपघट्य सांद्रण C के फलन के रूप में (टूटी हुई लाइन द्वारा) दर्शाई गयी है। द्वि-आयनिक विभव की गणना की गयी मात्रा और देखी गयी मात्रा (जुड़ी हुई लाइन द्वारा दर्शित) की तुलना की जा सकती है। इससे यह पता चलता है कि, सैद्धांतिक अवकाल्पनाएं, प्रायोगिक परिणाम को बहुत हद तक, संतुष्ट कर रही हैं। इस प्रकार यह प्रयोगात्मक परिणाम तोयोशिमा और नोजाकी के सिद्धांतों की वैधता की पुष्टि करता है। पाया गया मामूली विचलन, कम अचर आवेश घनत्व की झिल्ली और आयनों के अंतर्प्रभाव के कारण हो सकता है²³।

निष्कर्ष

इन अध्ययनों में द्वि-आयनिक विभव की, गणना की गयी मात्रा और देखी गयी मात्रा की तुलना गयी है। सैद्धांतिक अवधारणाएं हमारे द्वारा किए गए प्रायोगिक काम में काफी हद तक सही साबित हुई हैं, जो कि तोयोशिमा और नोजाकी द्वारा दिए गये सिद्धांतों की वैधता की पुष्टि करती है। यद्यपि मामूली विचलन, झिल्ली और आयनों के अंतर्प्रभाव आदि के कारण हो सकता है।

आभार

लेखक आवश्यक अनुसंधान सुविधाएं प्रदान करने के लिए बिपिन बिहारी पी0 जी0 कॉलेज, झांसी, के प्राचार्य डॉ0 एम0 एम0 पाण्डेय के लिए आभारी है।

संदर्भ

1. भावे, रमेश आर0(1991) इनऑर्गेनिक मैम्ब्रेन सिंथेसिस, कंरेक्टरिस्टिक्स एण्ड अप्लिकेशन्स(बैन नोस्टरंड रेनहोल्ड, न्यू यार्क), पृ0 35।
2. क्लेआरफीएल्ड, ए0(1982) इनऑर्गेनिक आयन एक्सचेंजर्स, जी0 आर0 सी0 प्रेस, बोका रेटोन, फ्लोरिडा।
3. अंसारी, एम0 ए0; कुमार, मनोज; कुशवाहा, आर0 एस0(2007) प्रोग्रेसिव रिसर्च, खण्ड 2, अंक 1-2, मु0 पृ0 11-15।
4. अंसारी, एम0 ए0; कुमार, मनोज; कुशवाहा, आर0 एस0(2005) ज0 इंडि0 काउन्सिल केम0, बॉल0 नो0, खण्ड 2, मु0 पृ0 23-31।
5. कुशवाहा, आर0 एस0; अंसारी, एम0 ए0; कुमार, मनोज तथा बेग, एम0 एन0(2010), ज0 इंडियन केम0, सोसाइटी0, बॉल, खण्ड 87, मु0 पृ0 471-479।
6. बेग, एम0 एन0; मतीन, एम0 ए0(2002), ज. मैम्ब्रेन साइंस, खण्ड 196, मु0 पृ0 95-102।
7. बेग एम एन, सिद्दीकी एफ ए; श्याम आर0; अरशद एम0(1977) ज. मैम्ब्रेन साइंस, खण्ड 2, मु0 पृ0 365-374।
8. बेग, एम एन; सिद्दीकी, एफ ए0; खान, इबदूर रहमान; हसन, एम0; अकुईल म0, इस्लाम, बी0(1978) ज. मैम्ब्रेन साइंस 4, मु0 पृ0 275-281।
9. तनवीर, आरिफ एवं रफीउद्दीन, ए0(2011) डीसेलीनेशन, खण्ड 274, मु0 पृ0 206-2011।
10. खान, एम0 एम0 एवं रफीउद्दीन, ए0(2011) डीसेलीनेशन, खण्ड 272, मु0 पृ0 306-312।
11. खान, एम0 एम0 एवं रफीउद्दीन, ए0(2008) ज0 एप्लाइड पॉलीमर साइंस, खण्ड 124, 338-346।
12. खान, एम0 एम0; रफीउद्दीन, ए0 एवं इनामुद्दीन(2013) ज. इन्डि0 इन्जि0 केमि0, खण्ड 19, मु0 पृ0 120-128।
13. तोयोशिमा, वाई0; नोजाकी, एच0(1970) ज0 फिजि0 केम0, खण्ड 74, पृ0 2704।

14. मलिक, डब्ल्यू0 यू0; श्रीवास्तव, एस0 के0; भंडारी, वी0 एम0 एवं कुमार, एस0(1974) ज0 कोलॉइड इंटरफेस, खण्ड. 47, पृ0 1।
15. संतोष, एल0 आर0 बी0; पुलसिनेल्ली, एस0 एच0 एवं सांथिल्ली सी0 वी0(1997) ज0 सोल0 जेल0 स0 टेक्नोलॉजी, खण्ड 8, मु0 पृ0 477-481।
16. वेक्मन, आर0 जे0; हेनशॉल जे0 अल0 एवं अन्य(1996) ट्रांस0 केम0, खण्ड 74(ए), मु0 पृ0 329-339।
17. हुआंग, एल0 बांग0 जेड0; सुन, जे0 इली0; वाई, एल0 एम0 क्यू0; यान, युआन एवं झाओ, डी0(2000) जर्नल ऑफ अमेरिकन केमिकल सोसाइटी, खण्ड 122, मु0 पृ0 3530-3531।
18. इजूत्सु, एच0; मीजोकामी, एफ0; नायर, पी0 के0 एवं कियोजुमी, वाई(1997) जर्नल ऑफ मेटीरियल केमिस्ट्री, खण्ड 7, अंक 5, मु0 पृ0 767-771।
19. केडम, ओ0 तथा कटचलस्काइ, ए0(1963) ट्रांस0 फॅरडे सोसाइटी, खण्ड 59, पृ0 1918।
20. स्पीएगलेर, के0 एस0(1958) ट्रांस0 फॅरडे सोसाइटी0, खण्ड 54, पृ0 1408।
21. स्कोत्तेरगूड, ई0 एम0 तथा लाइटफुट, ई0 एन0(1968) ट्रांस0 फॅरडे सोसाइटी, खण्ड 64, पृ0 1135।
22. कॉबाल्टेक, वाई0; टेकगुचि, एन0; टोयोशिमा, वाई0 एवं फूजीता, एच0(1965) ज0 फिज0 केम0, खण्ड 69, पृ0 3981।
23. संडबलूम, जे0 पी0 तथा आइजिनम, एन0(1967) जर्नल ऑफ बायोफिजिक्स0, खण्ड 7, पृ0 217।