ഇലക്ട്രോകെമിക്കൽ രീതിയിലൂടെ അമോണിയ ഉത്പ്പാദനം: ഒരു കാർബൺ രഹിത ഇന്ധന മാർഗം

അങ്കു ഗുഹ
(ഗവേഷണ വിദ്യാർത്ഥി, ടി. ഐ. എഫ്. ആർ, ഹൈദരാബാദ്)

Translation: Anu Joy
Review: Amogh K. Ravi and Subindev D

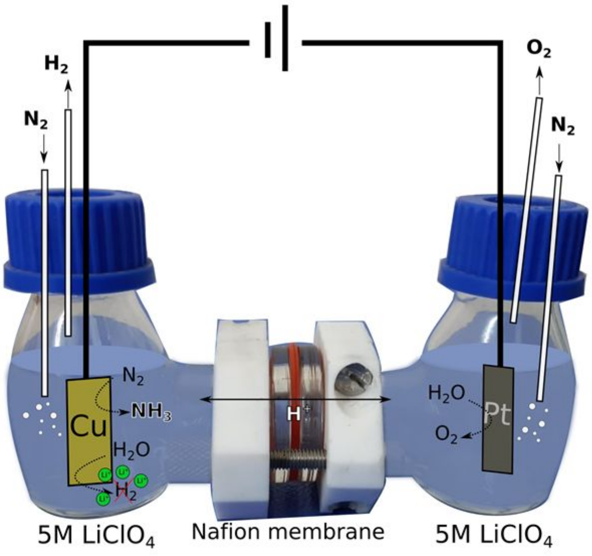
ഈ നൂറ്റാണ്ടിന്റെ മധ്യത്തോടെ, ലോക ജനസംഖ്യ 9.8 ബില്യൻ അടുത്തെത്തുമെന്നു കണക്കാക്കപ്പെടുന്നു. ഇത് ഊർജ്ജത്തിന്റെയും ഭക്ഷണത്തിന്റെയും ആവശ്യകത വർദ്ധിപ്പിക്കും. ഉർജ്ജത്തിനു വേണ്ടി നമ്മൾ കൂടുതലും ജൈവഇന്ധനങ്ങളായ കൽക്കരി, എണ്ണ, പ്രകൃതി വാതകം എന്നിവയെയാണ് സാധാരണഗതിയിൽ ആശ്രയിക്കാറുള്ളത്. ഇവ വളരെ പരിമിതമായ ഊർജ്ജസ്രോതസ്സുകളാണ്. അതുകൂടാതെ ഇവയുടെ അമിത ഉപയോഗം വലിയ അളവിൽ കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡ് പുറത്തു വിടുന്നു - ഇത് ആഗോളതാപനത്തിനു വളരെ വലിയ രീതിയിൽ വഴിയൊരുക്കുന്നു.

ഊർജ്ജത്തിന്റെ കൂടെ കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡ് ഉപോല്പന്നമായി പുറത്തു വിടുന്ന ഉർജ്ജസ്രോതസുകളെ ആശ്രയിക്കുന്നതു കുറയ്ക്കുന്നതിനായും സുസ്ഥിരത ഉറപ്പാക്കുന്ന ഊർജസ്രോതസുക്കളായ സൗരോർജ്ജം, ഹൈഡ്രജൻ ഫ്യൂൽ സെൽ തുടങ്ങിയവ വികസിപ്പിക്കുന്നതിനായും ശാസ്ത്രജ്ഞർ പരിശ്രമിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുകയാണ്. ജലത്തെ വൈദ്യുതവിശ്ലേഷണത്തിനു വിധേയമാക്കുന്നതു വഴി ഹൈഡ്രജൻ ഉത്പ്പാദിപ്പിക്കാനും, അതിനുശേഷം ഫ്യുയൽ സെല്ലിന്റെ ഉള്ളിൽ അത് ജ്വലനവും വൈദ്യുതവിശ്ലേണവും നടത്തി ഊർജം ഉത്പ്പാദിപ്പിക്കുന്നു. കാർബൺഡൈഓക്സൈഡ് രഹിത ഉർജ്ജ സ്രോതസ്സ് ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള ഏറ്റവും പ്രതീക്ഷ നൽകുന്ന ഒരു മാർഗമാണിത്. എന്നിരുന്നാലും, ഹൈഡ്രജൻ കത്തുന്ന വാതകമാണ്. ഹൈഡ്രജൻ വാതകത്തിന്റെ സംഭരണവും ഗതാഗതവും ഒരു വെല്ലുവിളിയാണ്. ഇത് ഹൈഡ്രജൻ ഫ്യൂൽ സെൽ സാങ്കേതിക വിദ്യയുടെ വാണിജ്യവത്ക്കരണത്തെ തടസ്സപ്പെടുത്തുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ അമോണിയ രൂപത്തിൽ സംഭരിക്കുന്നതിലൂടെ ഈ പ്രശ്നം പരിഹരിക്കാനാകും. അമോണിയയിൽ ഭാരം അനുസരിച്ച് 17.6% ഹൈഡ്രജൻ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ദ്രാവക ഹൈഡ്രജനുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ അമോണിയ ഇരട്ടി ഊർജ്ജസാന്ദ്രത തരുന്നു. വളരെ എളുപ്പത്തിൽ അമോണിയയിൽ നിന്ന് ഹൈഡ്രജൻ വേർതിരിച്ചെടുക്കാൻ കഴിയുന്നതു മൂലം അമ്മോണിയാരൂപത്തിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻന്റെ സംഭരണവും വഹനവും സുഗമമായി സാധിക്കുന്നു. ഇതു വാണിജ്യപരമായി ലാഭകരമായ അവസരങ്ങൾക്കു വഴിയൊരുക്കുന്നു.

എങ്ങനെ മതിയായ അമോണിയ ശേഖരം ലഭിക്കും? വളരെ ഉയർന്ന മർദ്ദത്തലും (250 bar) താപ നിലയിലുമായി (350 degree celcius) ഒരു ഉൾപ്രേരകത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ ഹൈഡ്രജനുമായി നൈട്രജനെ ഒരു രാസപ്രവർത്തനത്തിനു വിധേയമാകുന്നതിലൂടെ കൃത്രിമമായി അമോണിയ ഉണ്ടാക്കാമെന്നു 1909 ഇൽ ഫ്രിറ്റ്സ് ഹേബർ കണ്ടെത്തി. സുഷിരങ്ങളുള്ള ഇരുമ്പാണ് ഉൽപ്രേരകമായി ഇവിടെ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ പ്രക്രിയ വാണിജ്യവൽക്കരിച്ചത് കാൾ ബോഷ് ആണ്. അന്തരീക്ഷത്തിലെ വാതക രൂപത്തിലുള്ള നൈട്രജനെ അമോണിയ രൂപത്തിൽ ആക്കുന്ന ഒരേയൊരു പ്രക്രിയയാണ് ഹേബർ-ബോഷ് പ്രക്രിയ. ഹേബർ-ബോഷ് പ്രക്രിയ കൽക്കരിയും പ്രകൃതിവാതകവും തമ്മിലുള്ള നീരാവി നവീകരണത്തിൽ നിന്നും ഉത്ഭവിക്കുന്ന ഹൈഡ്രജൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു, കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡിനെ ഉപേക്ഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഉയർന്ന മർദ്ദത്തിന്റെയും താപനിലയുടെയും അധിക ആവശ്യകതകൾ കൂടുതൽ ജൈവ ഇന്ധനങ്ങൾ കത്തുന്നതിലേക്കും കൂടുതൽ കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡ് പുറത്തു വിടുന്നതിനും കാരണമാകുന്നു. ഹേബർ-ബോഷ് പ്രക്രിയ 5% പ്രകൃതിവാതകങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുകയും 1% കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡ് പുറത്തു വിടുകയും ചെയ്യുന്നു, അതിനാൽ തന്നെ ഏറ്റവും അശുദ്ധമായ വ്യാവസായിക പ്രക്രിയകളിൽ ഒന്നാണിത്. അതിനാൽ, അമോണിയയെ സമന്വയിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള പരിസ്ഥിതി സൗഹൃദമായ ഒരു പ്രക്രിയ അഭിലഷണീയമാണ്.

താപോർജ്ജം ഉപയോഗിച്ചു നൈട്രജൻ തന്മാത്രയിലെ (N_2) ത്രിബന്ധം തകർക്കുന്നതിനുപകരം (ഹേബർ-ബോഷ് പ്രക്രിയയിലെന്നപോലെ) മറ്റ് രീതികളും നിലവിലുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന് അഭികാരകങ്ങൾ നിറച്ച ലായകത്തിലുടനീളം വൈദ്യുത ശേഷി ഉപയോഗിച്ചുകൊണ്ടു അമോണിയ ഉത്പാദിപ്പിക്കാം. ഈ പ്രക്രിയയ്ക്ക് വൈദ്യുതരാസപരമായി ഒരു ചെറിയ തന്മാത്രയെ ഓക്സികരണം ചെയ്യാനോ നിരോക്സീകരണം ചെയ്യാനോ കഴിയും. നൈട്രജന്റെ ജലീയ മാധ്യമത്തിൽ വെച്ചുള്ള വൈദ്യുതരാസ നിരോക്സീകരണം വഴി അമോണിയ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നതു ഒരു നല്ല ബദൽ രീതി ആയിരിക്കും. എന്നാൽ ഈ രീതി കൃത്യമായി എന്താണ്? ചുവടെയുള്ള ചിത്രം ഉപയോഗിച്ച് പരീക്ഷണം വിശദീകരിക്കാൻ ഞാൻ ശ്രമിക്കാം. ഈ പ്രക്രിയയിൽ, രണ്ട് കമ്പാർട്ട്മെന്റുള്ള ഒരു എച്ച്-സെൽ (എച്ച് അക്ഷരത്തിന്റെ ആകൃതിയിലുള്ള സെൽ) ഉപയോഗിക്കുന്നു. രണ്ട് കമ്പാർട്ടുമെന്റുകളിലും വ്യത്യസ്ത പ്രക്രിയകൾ നടക്കുന്നു, അവ പ്രോട്ടോൺ എക്സ്ചേഞ്ച് മെംബ്രൺ ഉപയോഗിച്ചു വേർതിരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോലൈറ്റിൽ ലയിക്കുന്ന നൈട്രജനെ ഉൾപ്പെടുടുത്തുന്നതിനായി നൈട്രജൻ ഒരു ഫീഡിങ് വാതകമായും ജലത്തെ പ്രോട്ടോൺ ഉറവിടമായും ഉപയോഗിക്കുന്നു. ജലം, നൈട്രജൻ എന്നിവയുടെ നിരോക്സീകരണത്തിലൂടെ, ഹൈഡ്രജൻ വാതകത്തോടൊപ്പം അമോണിയയും (NH_3) ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നു. ജലീയ മാധ്യമത്തിൽ നടക്കുന്ന ഈ ഹൈഡ്രജൻ പരിണാമമാണു വൈദ്യുതാരസപരമായ

നൈട്രജൻ നിരോക്സീകരണത്തിനു ആവശ്യമുള്ള പ്രധാന റിയാക്ഷന്. മറ്റേ അറയിൽ ഓക്സിജൻ ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നത് ജലത്തിന്റെ ഓക്സീകരണം വഴിയാണ്.



അമോണിയ ഉത്പാദനത്തിനുള്ള പരീക്ഷണ സജ്ജീകരണം.

ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെട്ട അമോണിയ പ്രധാനമായും ഇലക്ട്രോലൈറ്റിൽ അലിഞ്ഞുപോയ അമോണിയമായി തുടരുന്നു. വൈദ്യുതാരസ നിരോക്സീകരണം വഴി നൈട്രജനെ അമോണിയയിലേക്ക് കുറയ്ക്കുന്നത് സാധാരണ അന്തരീക്ഷ സാഹചര്യങ്ങളിൽ നടത്താം. ഇത് ഈ രീതിയെ ഒരു ആകർഷകമായ ഒരു ബദലായി മാറ്റുന്നു. കൂടാതെ കാറ്റ്, സൗരോർജ്ജം തുടങ്ങിയ പുനരുപയോഗ ഉർജ്ജ സ്രോതസ്സുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ആവശ്യമായ വൈദ്യുത ശേഷി പൂർത്തീകരിക്കാൻ കഴിയും. എന്നിരുന്നാലും, ഈ രീതിക്ക് ചില പോരായ്മകളുണ്ട്: (1) നൈട്രജൻ വളരെ സ്ഥിരതയുള്ള തന്മാത്രയാണ്, അതിനാൽ അണുക്കൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം വിഭജിക്കുന്നതിന് മതിയായ ഊർജ്ജം ആവശ്യമാണ്, (2) അമോണിയയ്ക്കൊപ്പം ഹൈഡ്രജൻ വാതകത്തിന്റെയും ഉത്പാദനം, (3) നൈട്രജൻ വാതകത്തിന്റെ വെള്ളത്തിൽ അലിയാത്ത അവസ്ഥ.

ഈ പ്രശ്നങ്ങൾ പരിഹരിക്കുന്നതിനു ആദ്യമായി [പ്രയത്നിച്ചത്] 1994-ൽ സുനെറ്റോയും അദ്ദേഹത്തിന്റെ സഹപ്രവർത്തകരും ആണ്. ഹൈഡ്രജൻ ഉണ്ടാകുന്നത് ഒഴിവാക്കാൻ അവർ ടെട്രാഹൈഡ്രോഫ്യൂറാനിൽ (ജലീയമല്ലാത്ത ഒരു മാധ്യമം) ലിഥിയം പെർക്ലോറേറ്റ് ഉപയോഗിക്കുകയും പ്രോട്ടോൺ ഉറവിടമായി എഥനോൾ ഉപയോഗിക്കുകയും ചെയ്തു. 57.7% ഊർജ്ജക്ഷമത (ഊർജ്ജ ഉൽപാദനത്തിന്റെയും ഊർജ്ജ നിക്ഷേപത്തിന്റെയും അനുപാതം) അവർ വിജയകരമായി നേടി. ഈ പ്രക്രിയയ്ക്ക് ഉയർന്ന മർദ്ദം (50 എടിഎം) ആവശ്യമാണ് എന്നതാണ് ഒരു പ്രധാന പോരായ്മ.

വാതക രൂപത്തിലുള്ള നൈട്രജനെ ജലീയ മാധ്യമത്തിൽ സാധാരണ താപനിലയിലും സമ്മർദ്ദത്തിന്റെയും കീഴിൽ അമോണിയയാക്കി മാറ്റുന്നതായിരുന്നു ഞങ്ങളുടെ ലക്ഷ്യം. ഈ വൈദ്യുതരാസ നൈട്രജൻ നിരോക്സികരണത്തിന്നു ഞങ്ങൾ ചെമ്പ് ഒരു മാതൃകാ വൈദ്യുതോൽപ്രേരകമായി തിരഞ്ഞെടുത്തു. ലഭ്യമായ അയിരുകളിൽ ഉയർന്ന സാന്ദ്രത ഉള്ള വിലകുറഞ്ഞ ലോഹങ്ങളിലൊന്നാണ് ചെമ്പ്. കൂടാതെ, ചെമ്പ് ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ അനാവശ്യമായ ഹൈഡ്രജൻ ഉത്പാദനം വളരെ കുറവാണ്.

ഞങ്ങളുടെ മുൻപിലുള്ള പ്രധാന വെല്ലുവിളികളിൽ ഒന്ന് നൈട്രജൻ അണുക്കൾ തമ്മിലുള്ള സുസ്ഥിരമായ ത്രിബന്ധത്തെ തകർക്കുക എന്നതായിരുന്നു. ജലീയ മാധ്യമത്തിൽ നൈട്രജനെ ലയിയിപ്പിക്കുക എന്നതു മറ്റൊരു ക്ലേശമേറിയ കാര്യമാണ്. ആദ്യപ്രശ്നം മറികടക്കാൻ ഞങ്ങൾ സാന്ദ്രീകൃത ജലീയ ലിഥിയം പെർക്ലോറേറ്റ് മാധ്യമമായി ഉപയോഗിച്ചു. ലിഥിയം അയോണുകൾ നൈട്രജനെ ആകർഷിക്കുന്നതു വഴി ഒരു തന്മാത്രയിലെ തൃബന്ധനത്തിലായ രണ്ട് നൈട്രജൻ അണുക്കൾ തമ്മിലുള്ള ദൂരം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു, ഇതു നൈട്രജൻ തന്മാത്രയെ വിഭജിക്കുന്നതിനു ആവശ്യമായ ഊർജ്ജ്നിക്ഷേപം കുറയ്ക്കുന്നു.

മുൻ പഠനങ്ങൾ മിക്കതും വൈദ്യുതോൽപ്രേരകങ്ങളെ പരിഷ്ക്കരിക്കുന്നതിനെ ആശ്രയിച്ചായിരുന്നു. രാസപ്രക്രിയാ മാധ്യമത്തിനെ   പരിഷ്കാരങ്ങൾക്കു വിധേയമാകുന്ന ആദ്യ പഠനങ്ങളിൽ ഒന്നാണിതു. അമോണിയാ ഉത്പത്തിക്കുള്ള ഈ രാസപ്രവർത്തനം ചിട്ടപ്പെടുത്തുന്നതിനായി ലിഥിയം അയോണുകളുടെ സാന്ദ്രതയിലെ വൈവിധ്യമാർന്ന സാധ്യതകളും വ്യത്യാസങ്ങളും പഠിച്ചു. പരമ്പരാഗത നൈട്രജൻ നിരോക്സീകരണം റിയാക്ഷനുമായി (-0.35 V vs. RHE) താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ വളരെ ചെറിയ പൊട്ടൻഷ്യൽ (−0.6V vs. RHE) കൊണ്ടുതന്നെ ഞങ്ങൾ 12.1% ഊർജ്ജ ക്ഷമത കൈവരിചു.

ഏകദേശം 19 മണിക്കൂർ നീണ്ടു നിൽക്കുന്ന ഒരു നൈട്രജൻ നിരോക്സീകരണ പരീക്ഷണം ഞങ്ങൾ നടത്തി. ഊർജ്ജ്ക്ഷമതയ്ക്കു കോട്ടം തട്ടാതെ തന്നെ കോപ്പർ ഉൾപ്രേരകത്തിനു മാറ്റങ്ങളൊന്നുമില്ലാതെ രാസപ്രവർത്തനം നിലനിർത്താൻ കഴിയുമോ എന്ന് നിരീക്ക്ഷിക്കുന്നതിനു വേണ്ടി ആയിരുന്നു ഇത്. ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്ന അമോണിയ സമയം നീങ്ങുന്നതനുസരിച്ചു ആനുപാതികമായി വർദ്ധിക്കുന്നുവെന്നും നൈട്രജൻ അടങ്ങിയ ഹൈഡ്രാസൈൻ പോലുള്ള മറ്റ് ഉപോൽപ്പന്നങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നില്ലെന്നും ഞങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ചു. ഇതു ഞങ്ങൾ കണ്ടെത്തിയ വൈദ്യുതാരസ നൈട്രജൻ നിരോക്സികാരണ പ്രക്രിയ വളരെ ഈടുനിൽക്കുന്നതാണെന്നു സ്ഥിരീകരിക്കുന്നു.

സാധാരണ അന്തരീക്ഷ അവസ്ഥയിൽ നൈട്രജന്റെ മേല്പറഞ്ഞ രീതിയിലുള്ള നിരോക്സീകരണം വഴി 12.1% ഊർജ്ജക്ഷമത കൈവരിക്കാമെങ്കിലും, ഇത് വാണിജ്യവത്ക്കരണത്തിൽ നിന്ന് വളരെ അകലെയാണ്. വൈദ്യുതരാസ

അമോണിയ ഉത്പ്പാദനത്തിനെ കുറിച്ച് ഇനിയും വിശദമായ അറിയേണ്ടതുണ്ട്. ചുരുക്കത്തിൽ, വൈദ്യുതരാസ അമോണിയ ഉത്പ്പാദനം ലിഥിയം പെർക്ലോറേറ്റിന്റെ സഹായത്താൽ ജലീയ മാധ്യമത്തിൽ ചെയ്യാം എന്ന ആശയം ഈ ദിശയിൽ സമീപഭാവിയിൽ കൂടുതൽ രാസപ്രവർത്തനങ്ങൾ രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുന്നതിനു സഹായകരമാകും. ഇത് സാധാരണ അന്തരീക്ഷ താപനിലയിലും മർദ്ദത്തിലും അമോണിയയുടെ സമന്വയം വേഗത്തിലാക്കാൻ കഴിയുന്നവയാകും.

ചിത്രങ്ങൾ: **Pixabay**