## ภาคผนวก ก. ตารางแสดงค่าฟลักซ์ ในการทดลองกับเมมเบรนชนิดแผ่น

ตาราง ก1 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน CA ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 1.63 ppm

| Time (min) | Flux (L/hr.m$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=400psi | p=500psi | p=600psi |
| 15 | 12.031 | 13.904 | 16.495 |
| 30 | 11.775 | 13.673 | 15.187 |
| 45 | 11.275 | 12.698 | 14.494 |
| 60 | 10.095 | 12.070 | 14.956 |
| 75 | 10.826 | 11.942 | 13.981 |
| 90 | 9.723 | 11.595 | 13.827 |
| 105 | 10.415 | 11.506 | 13.827 |
| 120 | 10.043 | 11.223 | 13.199 |
| 135 | 9.286 | 10.877 | 13.186 |
| 150 | 9.556 | 10.851 | 12.596 |
| 165 | 9.158 | 10.479 | 12.750 |
| 180 | 9.697 | 10.710 | 13.070 |
| 195 | 8.812 | 10.261 | 12.031 |
| 210 | 9.158 | 10.184 | 12.493 |
| 225 | 8.825 | 10.184 | 12.147 |
| 240 | 8.927 | 9.941 | 11.647 |
| 255 | 8.260 | 9.748 | 11.711 |
| 270 | 8.889 | 10.261 | 11.121 |
| 285 | 8.992 | 9.658 | 12.134 |
| 300 | 8.171 | 9.248 | 11.352 |

ตาราง ก2 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน HR ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 1.63 ppm

| Time (min) | Flux (L/hr.m$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=400psi | p=500psi | p=600psi |
| 15 | 12.031 | 13.904 | 16.495 |
| 30 | 11.775 | 13.673 | 15.187 |
| 45 | 11.275 | 12.698 | 14.494 |
| 60 | 10.095 | 12.070 | 14.956 |
| 75 | 10.826 | 11.942 | 13.981 |
| 90 | 9.723 | 11.595 | 13.827 |
| 105 | 10.415 | 11.506 | 13.827 |
| 120 | 10.043 | 11.223 | 13.199 |
| 135 | 9.286 | 10.877 | 13.186 |
| 150 | 9.556 | 10.851 | 12.596 |
| 165 | 9.158 | 10.479 | 12.750 |
| 180 | 9.697 | 10.710 | 13.070 |
| 195 | 8.812 | 10.261 | 12.031 |
| 210 | 9.158 | 10.184 | 12.493 |
| 225 | 8.825 | 10.184 | 12.147 |
| 240 | 8.927 | 9.941 | 11.647 |
| 255 | 8.260 | 9.748 | 11.711 |
| 270 | 8.889 | 10.261 | 11.121 |
| 285 | 8.992 | 9.658 | 12.134 |
| 300 | 8.171 | 9.248 | 11.352 |

ตาราง ก3 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน NF ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 1.63 ppm

| Time (min) | Flux ($L/hr.m^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=250psi | p=350psi | p=450psi |
| 15 | 59.157 | 80.975 | 87.734 |
| 30 | 56.065 | 76.126 | 83.284 |
| 45 | 54.911 | 73.458 | 80.398 |
| 60 | 54.013 | 71.316 | 78.486 |
| 75 | 53.000 | 70.752 | 77.127 |
| 90 | 52.769 | 70.252 | 75.639 |
| 105 | 51.679 | 69.174 | 74.279 |
| 120 | 51.255 | 67.263 | 73.664 |
| 135 | 50.781 | 68.187 | 71.637 |
| 150 | 50.883 | 65.762 | 71.073 |
| 165 | 50.768 | 66.301 | 70.354 |
| 180 | 51.589 | 64.711 | 69.097 |
| 195 | 50.460 | 64.121 | 67.661 |
| 210 | 51.191 | 63.479 | 67.122 |
| 225 | 51.101 | 63.005 | 65.532 |
| 240 | 51.0117 | 62.492 | 65.878 |
| 255 | 50.422 | 61.440 | 64.095 |
| 270 | 50.281 | 60.580 | 63.005 |
| 285 | 50.601 | 60.067 | 63.069 |
| 300 | 49.960 | 59.375 | 61.479 |

ตาราง ก4 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน CA ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5.00 ppm

| Time (min) | Flux (L/hr.m$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=400 psi | p=500 psi | p=600 psi |
| 10 | 16.739 | 20.317 | 24.069 |
| 20 | 16.431 | 19.817 | 23.069 |
| 30 | 16.239 | 19.509 | 20.240 |
| 40 | 16.104 | 19.009 | 21.818 |
| 50 | 15.950 | 18.798 | 19.644 |
| 60 | 15.815 | 18.586 | 21.279 |
| 70 | 15.719 | 13.872 | 19.009 |
| 80 | 14.064 | 18.336 | 18.817 |
| 90 | 15.334 | 18.143 | 20.644 |
| 100 | 15.296 | 18.086 | 18.567 |
| 110 | 11.352 | 17.912 | 19.182 |
| 120 | 15.161 | 12.948 | 19.856 |
| 130 | 15.084 | 17.739 | 18.259 |
| 140 | 13.795 | 17.643 | 20.164 |
| 150 | 14.642 | 17.528 | 17.758 |
| 160 | 14.796 | 17.470 | 19.990 |
| 170 | 14.796 | 12.775 | 18.259 |
| 180 | 14.661 | 17.316 | 19.721 |
| 190 | 14.661 | 17.201 | 17.951 |
| 200 | 10.640 | 17.124 | 17.085 |
| 210 | 14.507 | 12.391 | 19.490 |
| 220 | 13.641 | 16.989 | 17.528 |
| 230 | 13.930 | 16.874 | 19.317 |
| 240 | 14.334 | 16.816 | 19.240 |
| 250 | 14.295 | 16.739 | 17.701 |
| 260 | 10.024 | 16.720 | 15.969 |
| 270 | 14.218 | 10.197 | 18.990 |
| 280 | 14.180 | 16.604 | 16.412 |
| 290 | 14.180 | 16.566 | 17.143 |
| 300 | 11.871 | 16.489 | 18.432 |

ตาราง ก5 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน HR ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5.00 ppm

| Time (min) | Flux ($L/hr.m^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=400 psi | p=500 psi | p=600 psi |
| 10 | 2.886 | 5.156 | 7.869 |
| 20 | 2.751 | 5.022 | 7.888 |
| 30 | 2.655 | 4.887 | 7.888 |
| 40 | 2.617 | 4.887 | 7.850 |
| 50 | 2.559 | 4.810 | 7.850 |
| 60 | 2.617 | 4.810 | 7.888 |
| 70 | 2.578 | 4.848 | 7.850 |
| 80 | 2.578 | 4.733 | 7.869 |
| 90 | 2.559 | 4.772 | 7.850 |
| 100 | 2.520 | 4.791 | 7.965 |
| 110 | 2.597 | 4.752 | 7.888 |
| 120 | 2.540 | 4.695 | 7.792 |
| 130 | 2.540 | 4.733 | 7.811 |
| 140 | 2.520 | 4.791 | 5.445 |
| 150 | 2.559 | 4.695 | 6.176 |
| 160 | 2.463 | 4.733 | 7.119 |
| 170 | 2.578 | 4.675 | 6.195 |
| 180 | 2.482 | 4.733 | 7.715 |
| 190 | 2.578 | 4.695 | 7.677 |
| 200 | 2.482 | 4.637 | 4.598 |
| 210 | 2.482 | 4.695 | 7.523 |
| 220 | 2.501 | 4.637 | 7.504 |
| 230 | 2.501 | 4.733 | 7.484 |
| 240 | 2.501 | 4.618 | 7.484 |
| 250 | 2.482 | 4.733 | 7.388 |
| 260 | 2.520 | 4.618 | 7.234 |
| 270 | 2.501 | 3.502 | 4.887 |
| 280 | 2.501 | -0.077 | 7.311 |
| 290 | 2.501 | 3.963 | 7.330 |
| 300 | 2.482 | 4.714 | 7.388 |

ตาราง ก6 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน NF ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 5.00 ppm

| Time (min) | Flux (L/hr.m$^2$) | | |
|---|---|---|---|
| | p=250 psi | p=350 psi | p=450 psi |
| 10 | 51.929 | 56.739 | 90.928 |
| 20 | 51.005 | 55.681 | 80.827 |
| 30 | 49.254 | 52.929 | 77.941 |
| 40 | 48.004 | 51.582 | 75.055 |
| 50 | 46.157 | 50.909 | 71.457 |
| 60 | 44.983 | 49.004 | 67.205 |
| 70 | 43.713 | 49.197 | 66.744 |
| 80 | 42.386 | 45.483 | 64.396 |
| 90 | 41.443 | 47.465 | 59.413 |
| 100 | 40.635 | 43.713 | 61.087 |
| 110 | 38.749 | 44.502 | 57.873 |
| 120 | 38.288 | 44.983 | 57.181 |
| 130 | 37.980 | 44.329 | 56.123 |
| 140 | 37.345 | 41.270 | 53.372 |
| 150 | 35.748 | 40.077 | 53.410 |
| 160 | 34.978 | 42.540 | 52.525 |
| 170 | 34.286 | 39.230 | 49.947 |
| 180 | 34.863 | 41.501 | 48.889 |
| 190 | 34.305 | 40.442 | 50.062 |
| 200 | 33.766 | 39.808 | 46.214 |
| 210 | 31.092 | 39.192 | 47.523 |
| 220 | 32.785 | 36.806 | 47.100 |
| 230 | 32.342 | 39.423 | 42.963 |
| 240 | 31.842 | 38.365 | 44.791 |
| 250 | 30.707 | 36.171 | 41.886 |
| 260 | 30.938 | 38.365 | 43.502 |
| 270 | 29.418 | 34.767 | 41.462 |
| 280 | 30.091 | 37.845 | 40.212 |
| 290 | 27.667 | 36.017 | 41.828 |
| 300 | 29.264 | 37.460 | 39.673 |

ตาราง ก7 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน CA ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.12 ppm

| Time | Flux (L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (min) | p=400psi | p=450psi | p=500psi | p=550psi | p=600psi |
| 20 | 10.418 | 11.217 | 11.813 | 13.381 | 13.247 |
| 40 | 9.803 | 9.832 | 11.246 | 11.679 | 11.900 |
| 60 | 9.139 | 9.072 | 11.207 | 9.918 | 11.592 |
| 80 | 8.879 | 9.341 | 10.495 | 9.966 | 10.909 |
| 100 | 8.620 | 8.379 | 10.505 | 10.476 | 10.659 |
| 120 | 8.302 | 8.369 | 9.745 | 10.342 | 10.351 |
| 140 | 8.620 | 8.167 | 10.005 | 9.880 | 10.091 |
| 160 | 7.667 | 7.917 | 9.716 | 9.784 | 10.053 |
| 180 | 7.667 | 7.350 | 9.418 | 9.197 | 9.812 |
| 200 | 7.369 | 8.081 | 8.927 | 9.120 | 9.726 |
| 220 | 6.984 | 7.494 | 8.639 | 8.475 | 9.610 |
| 240 | 7.427 | 7.350 | 8.812 | 8.591 | 9.466 |
| 260 | 6.647 | 7.581 | 8.312 | 8.254 | 9.447 |
| 280 | 7.080 | 7.032 | 8.369 | 8.196 | 8.927 |
| 300 | 6.830 | 7.542 | 8.196 | 7.802 | 9.100 |

ตาราง ก8 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน HR ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.12 ppm

| Time (min) | Flux ($L/hr.m^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | p=400psi | p=450psi | P=500psi | p=550psi | p=600psi |
| 20 | 4.598 | 4.290 | 6.753 | 7.504 | 11.063 |
| 40 | 4.387 | 4.185 | 6.061 | 7.128 | 9.966 |
| 60 | 3.867 | 4.002 | 5.907 | 6.696 | 8.668 |
| 80 | 3.665 | 3.627 | 5.628 | 5.945 | 8.264 |
| 100 | 3.434 | 3.819 | 5.455 | 6.311 | 8.129 |
| 120 | 3.357 | 3.386 | 5.349 | 5.108 | 7.696 |
| 140 | 3.213 | 3.444 | 5.176 | 5.984 | 7.436 |
| 160 | 2.963 | 3.213 | 5.262 | 5.031 | 7.302 |
| 180 | 3.088 | 2.905 | 5.147 | 5.041 | 7.196 |
| 200 | 2.963 | 2.924 | 5.176 | 5.358 | 6.936 |
| 220 | 2.780 | 2.722 | 5.050 | 5.378 | 6.984 |
| 240 | 2.857 | 2.722 | 5.233 | 4.877 | 6.705 |
| 260 | 2.597 | 2.578 | 5.166 | 4.945 | 6.724 |
| 280 | 2.549 | 2.415 | 5.291 | 4.974 | 6.551 |
| 300 | 2.934 | 2.213 | 5.272 | 4.772 | 6.542 |

ตาราง ก9 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรน NF ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.12 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | p=250psi | p=300psi | p=350psi | p=400psi | p=450psi |
| 20 | 43.540 | 52.112 | 70.813 | 84.800 | 95.710 |
| 40 | 40.924 | 47.176 | 59.740 | 77.104 | 83.021 |
| 60 | 40.087 | 45.753 | 56.277 | 74.709 | 76.546 |
| 80 | 39.625 | 44.166 | 53.997 | 72.342 | 72.468 |
| 100 | 39.490 | 42.905 | 51.698 | 70.726 | 68.677 |
| 120 | 38.624 | 41.587 | 49.812 | 69.668 | 65.839 |
| 140 | 38.865 | 41.029 | 49.043 | 67.811 | 63.559 |
| 160 | 38.278 | 40.289 | 46.869 | 67.234 | 61.472 |
| 180 | 37.932 | 39.509 | 46.166 | 65.897 | 58.624 |
| 200 | 37.547 | 38.798 | 45.493 | 64.396 | 57.393 |
| 220 | 37.201 | 37.989 | 44.271 | 63.184 | 55.392 |
| 240 | 37.076 | 37.066 | 43.675 | 62.549 | 53.632 |
| 260 | 36.344 | 37.037 | 42.982 | 61.087 | 52.622 |
| 280 | 36.441 | 36.700 | 42.242 | 60.568 | 51.159 |
| 300 | 35.863 | 36.046 | 41.443 | 59.163 | 49.716 |

ตาราง ก10 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนCA ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.085 ppm

| Time | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 400 psi | 450psi | 500 psi | 550 psi | 600 psi |
| 20 | 13.074 | 14.834 | 18.846 | 23.001 | 24.550 |
| 40 | 11.534 | 14.151 | 15.690 | 19.067 | 22.232 |
| 60 | 10.640 | 14.016 | 14.324 | 18.865 | 21.126 |
| 80 | 10.572 | 12.977 | 13.843 | 18.249 | 20.404 |
| 100 | 10.284 | 12.477 | 13.430 | 18.105 | 20.106 |
| 120 | 9.495 | 12.698 | 13.276 | 17.855 | 19.663 |
| 140 | 9.726 | 12.391 | 12.833 | 17.912 | 19.423 |
| 160 | 9.630 | 12.535 | 12.929 | 18.259 | 19.086 |
| 180 | 9.216 | 11.881 | 13.824 | 18.288 | 18.855 |
| 200 | 9.043 | 12.333 | 13.689 | 18.451 | 18.615 |
| 220 | 9.331 | 12.006 | 13.170 | 18.345 | 18.557 |
| 240 | 9.033 | 11.130 | 13.439 | 18.153 | 18.220 |
| 260 | 9.110 | 12.006 | 13.112 | 18.018 | 18.114 |
| 280 | 8.822 | 11.640 | 12.670 | 17.893 | 17.980 |
| 300 | 8.793 | 11.804 | 12.766 | 17.720 | 17.836 |

ตาราง ก11 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนHR ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.085 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 400 psi | 450 psi | 500 psi | 550psi | 600 psi |
| 20 | 3.829 | 5.974 | 7.157 | 9.274 | 9.793 |
| 40 | 3.444 | 5.349 | 6.061 | 8.225 | 9.322 |
| 60 | 3.559 | 5.887 | 5.474 | 7.330 | 8.735 |
| 80 | 3.348 | 4.829 | 5.002 | 7.023 | 8.446 |
| 100 | 3.492 | 5.310 | 4.396 | 6.994 | 8.418 |
| 120 | 3.579 | 4.762 | 3.973 | 6.830 | 8.273 |
| 140 | 3.319 | 4.762 | 4.435 | 7.138 | 8.138 |
| 160 | 3.319 | 4.762 | 3.906 | 6.715 | 8.052 |
| 180 | 3.213 | 4.916 | 3.530 | 6.657 | 8.090 |
| 200 | 3.261 | 4.560 | 3.973 | 6.744 | 8.129 |
| 220 | 2.992 | 4.627 | 3.454 | 6.715 | 8.090 |
| 240 | 3.223 | 4.627 | 3.829 | 6.234 | 8.042 |
| 260 | 3.030 | 4.290 | 3.617 | 6.291 | 8.052 |
| 280 | 3.059 | 4.637 | 3.502 | 6.686 | 7.956 |
| 300 | 2.973 | 4.492 | 3.444 | 6.195 | 7.936 |

ตาราง ก12 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนNF ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 0.085 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.$m^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 250 psi | 300 psi | 350 psi | 400 psi | 450 psi |
| 20 | 59.163 | 70.255 | 76.720 | 82.453 | 101.212 |
| 40 | 57.537 | 62.992 | 68.687 | 74.545 | 88.244 |
| 60 | 55.950 | 57.624 | 66.320 | 70.871 | 81.732 |
| 80 | 55.132 | 52.583 | 64.300 | 68.408 | 77.864 |
| 100 | 53.843 | 48.754 | 63.232 | 66.455 | 76.518 |
| 120 | 53.304 | 47.051 | 61.664 | 65.099 | 73.834 |
| 140 | 52.535 | 46.147 | 60.231 | 63.386 | 71.496 |
| 160 | 51.602 | 45.349 | 59.125 | 62.030 | 69.649 |
| 180 | 51.082 | 45.503 | 58.268 | 61.174 | 67.956 |
| 200 | 50.399 | 52.833 | 57.441 | 60.154 | 66.128 |
| 220 | 49.764 | 45.849 | 56.729 | 59.596 | 64.877 |
| 240 | 49.630 | 43.078 | 55.604 | 59.336 | 63.444 |
| 260 | 48.735 | 43.300 | 55.132 | 59.134 | 62.088 |
| 280 | 48.013 | 40.635 | 54.478 | 58.163 | 61.097 |
| 300 | 48.090 | 41.404 | 53.458 | 58.182 | 59.981 |

ตาราง ก13 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนCA สารตั้งต้นจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 0.142 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 400 psi | 450 psi | 500 psi | 550 psi | 600 psi |
| 20 | 9.784 | 10.120 | 12.785 | 13.660 | 16.114 |
| 40 | 8.292 | 8.196 | 10.774 | 10.640 | 13.170 |
| 60 | 6.368 | 7.552 | 9.129 | 9.380 | 11.736 |
| 80 | 6.647 | 6.821 | 8.437 | 8.956 | 10.726 |
| 100 | 5.387 | 6.436 | 7.831 | 7.629 | 9.582 |
| 120 | 5.551 | 6.263 | 7.667 | 6.676 | 9.687 |
| 140 | 4.897 | 5.907 | 7.532 | 7.417 | 8.754 |
| 160 | 4.435 | 5.936 | 7.359 | 6.705 | 9.072 |
| 180 | 5.252 | 5.368 | 7.138 | 6.388 | 8.138 |
| 200 | 4.262 | 5.685 | 6.955 | 6.147 | 8.562 |
| 220 | 4.974 | 4.839 | 6.801 | 5.839 | 8.302 |
| 240 | 4.021 | 5.474 | 6.638 | 5.378 | 7.379 |
| 260 | 4.829 | 4.945 | 6.570 | 5.406 | 7.936 |
| 280 | 3.742 | 5.214 | 6.349 | 4.983 | 7.398 |
| 300 | 4.618 | 4.695 | 6.349 | 4.925 | 7.225 |

ตาราง ก14 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนHR สารตั้งต้นจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 0.142 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 400 psi | 450 psi | 500 psi | 550 psi | 600 psi |
| 20 | 4.512 | 4.570 | 5.137 | 6.888 | 7.042 |
| 40 | 3.858 | 4.098 | 4.425 | 5.570 | 5.416 |
| 60 | 3.617 | 3.771 | 4.416 | 4.772 | 4.800 |
| 80 | 3.444 | 3.521 | 4.242 | 4.358 | 4.464 |
| 100 | 3.184 | 3.357 | 4.031 | 4.050 | 4.127 |
| 120 | 3.117 | 3.107 | 3.723 | 3.761 | 3.454 |
| 140 | 3.050 | 2.992 | 3.713 | 3.550 | 3.771 |
| 160 | 2.261 | 2.347 | 3.492 | 3.328 | 3.559 |
| 180 | 3.078 | 2.857 | 3.444 | 3.242 | 2.722 |
| 200 | 2.982 | 2.703 | 3.319 | 3.040 | 3.319 |
| 220 | 2.982 | 2.030 | 3.261 | 2.886 | 3.165 |
| 240 | 2.136 | 2.569 | 3.155 | 2.953 | 2.309 |
| 260 | 2.915 | 2.424 | 2.848 | 2.809 | 3.050 |
| 280 | 2.857 | 2.290 | 3.040 | 2.761 | 3.078 |
| 300 | 2.713 | 2.261 | 2.501 | 2.626 | 3.030 |

ตาราง ก15 ค่าฟลักซ์ในเมมเบรนNF สารตั้งต้นจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 0.142 ppm

| Time (min) | Flux( L/hr.m$^2$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 250 psi | 300 psi | 350 psi | 400 psi | 450 psi |
| 20 | 30.563 | 31.833 | 32.958 | 50.534 | 53.391 |
| 40 | 20.568 | 26.089 | 25.993 | 33.372 | 35.356 |
| 60 | 16.537 | 22.530 | 22.713 | 26.445 | 29.649 |
| 80 | 14.632 | 20.837 | 20.067 | 22.799 | 25.455 |
| 100 | 13.391 | 19.096 | 18.490 | 19.827 | 23.723 |
| 120 | 12.525 | 17.114 | 17.047 | 18.451 | 21.433 |
| 140 | 12.015 | 16.739 | 16.383 | 16.797 | 20.519 |
| 160 | 11.486 | 14.998 | 15.402 | 15.681 | 19.038 |
| 180 | 11.024 | 14.892 | 14.651 | 14.805 | 18.211 |
| 200 | 10.428 | 13.622 | 13.987 | 14.093 | 17.239 |
| 220 | 10.062 | 13.487 | 13.170 | 13.266 | 16.748 |
| 240 | 10.543 | 12.987 | 13.093 | 12.727 | 16.142 |
| 260 | 9.216 | 12.266 | 12.121 | 12.304 | 15.912 |
| 280 | 10.236 | 11.861 | 12.227 | 11.890 | 14.709 |
| 300 | 9.533 | 11.631 | 12.006 | 11.496 | 14.555 |

ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของเมมเบรนชนิดแผ่นจากบริษัท DSS และเมมเบรนโมดูล จากบริษัท Filmtec

## RO/NF MEMBRANES

| TYPE | PERMEABILITY % NaCl | WATER FLUX l/m² x h | RECOMMENDED OPERATING LIMITS [1] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pH | °C | °F | bar | Psi |
| NF45PE | 40 - 60[2] | 35 - 45 | 2 - 10 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 40 | 0 - 580 |
| HR95PP | < 5 | 115 - 155 | 2 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 60 | 0 - 870 |
| HR98PP | < 2.5 | 105 - 145 | 2 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 60 | 0 - 870 |
| CA990PE | < 1.5 | 60 - 85 | 3 - 8 | 0 - 30 | 32 - 86 | 0 - 50 | 0 - 735 |
| CA995PE | < 6 | 40 - 65 | 3 - 8 | 0 - 30 | 32 - 86 | 0 - 50 | 0 - 735 |

PP: Polypropylene NF/HR: Thin film composite PE: Polyester CA: Cellulose acetate
[2] MgSo, permeability = 2%

## UF MEMBRANES

| TYPE | APP CUT OFF VALUE MW | WATER FLUX l/m² x h | RECOMMENDED OPERATING LIMITS [1] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pH | °C | °F | bar | Psi |
| GR40PP | 100,000 | 300 - 600 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| GR51PP | 50,000 | 275 - 625 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| GR60PP | 25,000 | 250 - 450 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| GR61PP | 20,000 | 275 - 475 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| GR81PP | 10,000 | 100 - 325 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| GR90PP | 5,000 | 50 - 250 | 1 - 13 | 0 - 75 | 32 - 167 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| FS40PP | 100,000 | 300 - 800 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| FS50PP | 50,000 | 300 - 700 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 15 | 0 - 217.5 |
| FS61PP | 20,000 | 300 - 600 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 15 | 0 - 217.5 |
| FS81PP | 10,000 | 200 - 500 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 15 | 0 - 217.5 |
| ETNA 20A | 20,000 | 250 - 450 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 15 | 0 - 217.5 |
| ETNA 10A | 10,000 | 100 - 300 | 1 - 11 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 15 | 0 - 217.5 |
| CA600FP | 20,000 | 150 - 215 | 2 - 8 | 0 - 50 | 32 - 122 | 0 - 10 | 0 - 145 |
| RC70PP | 10,000 | 150 - 250 | 1 - 10 | 0 - 60 | 32 - 140 | 0 - 10 | 0 - 145 |

GR: Polysulphone FS: Fluoro polymer ETNA: Coated, hydrophilic PP: Polypropylene
RC: Regenerated cellulose acetate CA: Cellulose acetate
[1] The operating limits for the modules may be different from the membrane data. Always consult module specification sheet before operating the membranes.

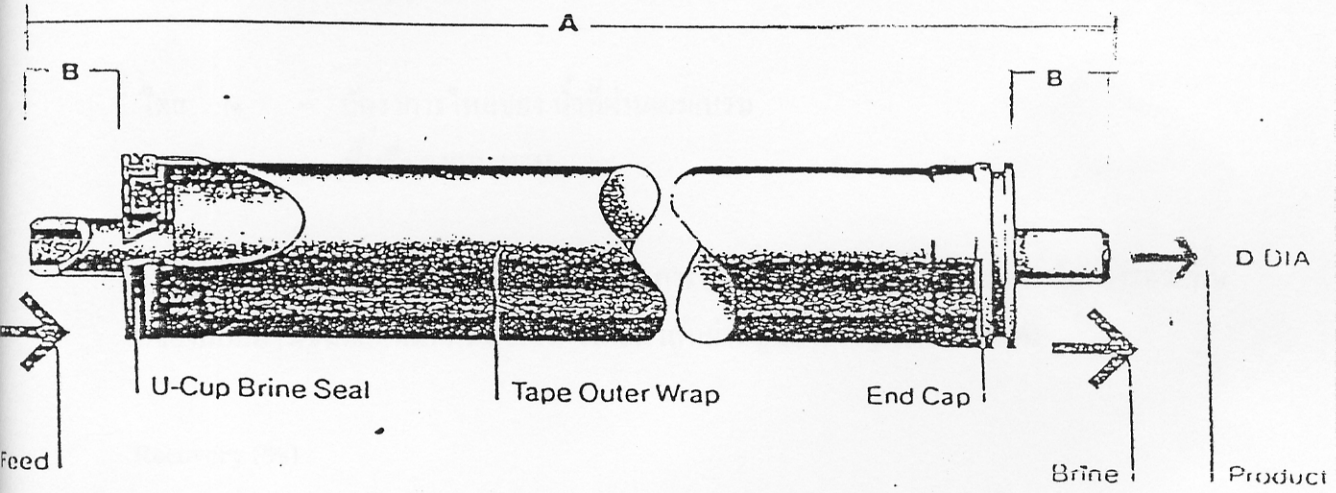
ภาพประกอบ ข1 แสดงคุณสมบัติของเมมเบรนแบบแผ่น จากบริษัท DSS

# FILMTEC® Membranes

## 8" Tapwater RO Element Specifications

| | Product Water Flow Rate gpd ($m^3$/D) | Minimum Salt Rejection CT (%) | Typical Salt Rejection CT (%) |
|---|---|---|---|
| W30-2514 | 150 (0.6) | 96 | 98 |
| W30-2521 | 250 (0.95) | 96 | 98 |
| W30-2540 | 600 (2.3) | 96 | 98 |

Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm NaCl, 225 psi (1.6 MPa), 77°F (25°C), pH 8, and recovery as noted below. 2. Flow rates for individual elements may vary ± 15%.




### Operating Limits

| | |
|---|---|
| Membrane Type | Thin-Film Composite |
| Maximum Operating Pressure | 300 psi (2.1 MPa) |
| Maximum Operating Temperature | 113°F (45°C) |
| Maximum Feed Turbidity | 1 NTU |
| Free Chlorine Tolerance | <0.1 ppm |
| pH Range | |
| Continuous operation | 2–11 |
| Short-term (30 min.), cleaning | 1–12 |
| Maximum Feed Flow | 3 gpm (11 lpm) |
| Maximum Feed Silt Density Index | SDI 5 |

ที่ใช้งานจริง TW 30 -1812 - 50

### Single Element Recovery (Permeate Flow to Feed Flow):

| | Recovery | Dimensions (Inches) A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|
| TW30-2514 | 0.05 | 14.0 | 1.2 | 0.75 | 2.4 |
| TW30-2521 | 0.08 | 21.0 | 1.2 | 0.75 | 2.4 |
| TW30-2540 | 0.15 | 40.0 | 1.0 | 0.75 | 2.4 |

1 element to fit 2.45 inch I.D. pressure vessel

ภาพประกอบ ข2 แสดงคุณสมบัติของเมมเบรนโมดูล จากบริษัท Filmtec

**ภาคผนวก ค.** การคำนวณค่าฟลักซ์ Recovery (%) และการวิเคราะห์ความเข้มข้น

Flux = Driving Force / Resistance

จากสมการที่ 4 สมการแสดงค่าฟลักซ์ของตัวทำละลายหรือน้ำเป็นดังนี้

$$J_v = L_p(\Delta P - \Delta \pi)$$

$$= N_v / A$$

โดย $N_v$ = อัตราการไหลของ น้ำที่ผ่านเมมเบรน

A = พื้นที่ของเมมเบรน

การคำนวณ ค่าที่ได้จากการทดลอง เป็นการวัดอัตราการไหลของ Permeate ต้องหารด้วยพื้นที่ของเมมเบรนชนิดแผ่นมีลักษณะเป็น วงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.15 เซนติเมตร

**Recovery (%)**

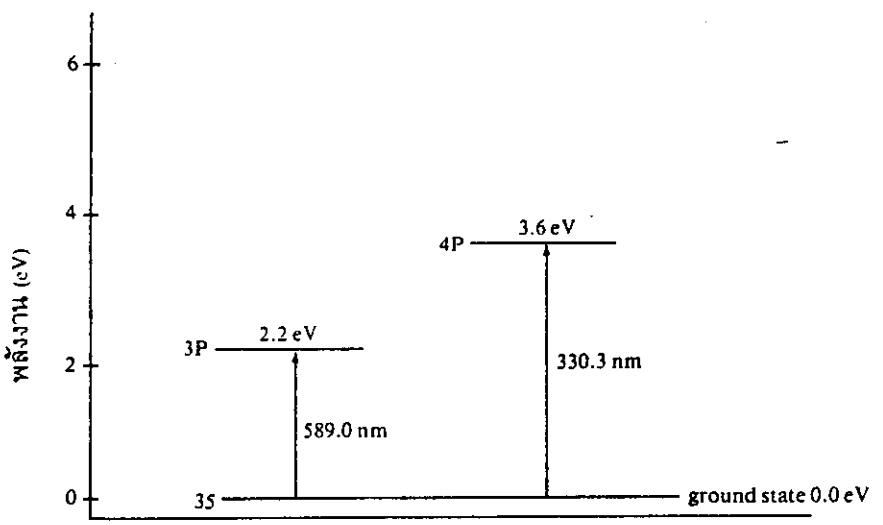
Recovery = อัตราการไหลของ Permeate / อัตราการไหลของสารป้อนเข้า

**การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารหนู**

การวิเคราะห์ในส่วนของน้ำสังเคราะห์ ส่งตัวอย่างวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy with Hydride Generator ที่ทรัพยากรธรณีเขต 1 จังหวัดสงขลา โดยคุณจาตุรงค์ กีระนันท์ นักวิทยาศาสตร์ 8 แต่เนื่องจากเครื่องมือมีปัญหาในเรื่องของหลอด Electrodeless Discharge Lamp ของสารหนูเสื่อมสภาพการใช้งาน จำเป็นต้องมีการเปลี่ยน รอสินค้าจากต่างประเทศซึ่งเป็นระยะเวลานาน ด้วยเหตุนี้ การทดลองกับน้ำธรรมชาติที่อำเภอ ร่อนพิบูลย์จึงนำมาวิเคราะห์โดยเครื่องมือ ICP AES จากหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ โดยทดลองเปรียบเทียบค่าจากการวิเคราะห์น้ำธรรมชาติ แหล่งเดียวกัน ผลออกมาได้ค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการทดลองกับน้ำ ธรรมชาติจึงมีการวัดหาความเข้มข้นโดย เครื่อง ICP AES

**หลักการของ Atomic Absorption** (แม้น อมรสิทธิ์ , 2539)

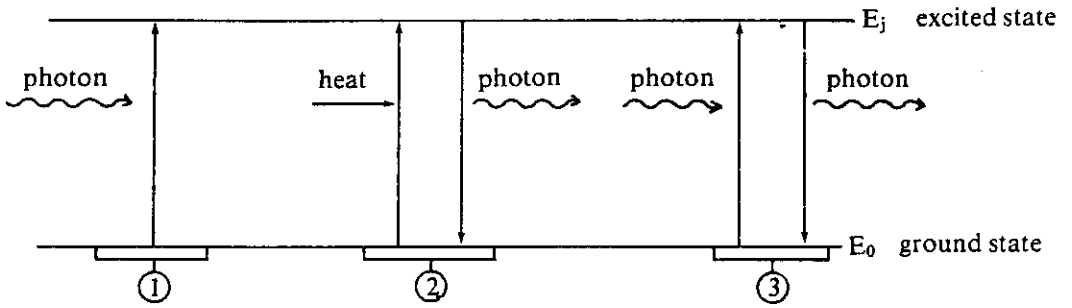
เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมอิสระของธาตุ ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่ความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ดังแสดงในภาพประกอบ ค1 ซึ่งจะเห็นว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น Spectroscopic line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด




ภาพประกอบ ค1 แสดงระดับพลังงานของอะตอม โซเดียม ($_{11}Na^{23}$) ($1S^2$ ,$2S^2$, $2P^6$,$3S^1$)

การเกิดอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน อิมิสชัน และ ฟลูออเรสเซนซ์นั้นมีลักษณะแสดงในภาพประกอบ ค2 ซึ่งเป็นการเกิดแทรนซิสชันของอิเล็กตรอนจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก (First Exited State) มีด้วยกัน 3 แบบคือ

แบบที่1 เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนเป็น อะตอมมิกแอบซอร์พชัน




ภาพประกอบ ค2 แสดง Transition Diagram สำหรับ

1. อะตอมมิกแอบซอร์พชัน
2. อะตอมมิกอิมิสชัน
3. อะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

แบบที่2 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากความร้อน ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่า อะตอมมิกอิมิสชัน

แบบที่ 3 เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับมาสู่สถานะพื้นจะให้โฟตอนออกมาเรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิกฟลูออเรสเซนซ์

<u>เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS</u>

1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame) ที่เหมาะสม

2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non-Flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Graphite Furnace หรือ Electrothermal Atomizer) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆกันและใช้เวลาต่างๆกันได้

3. ใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะให้เปลี่ยนเป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิคที่1 และเทคนิคที่ 2 ไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็น ไฮไดรด์ แล้วให้

ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากธาตุไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As , Se , Te, Ge, Bi, และ Sb ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป

4. ใช้ Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนเป็นไอได้ง่ายๆ ซึ่งได้แก่การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยๆโดยเฉพาะ

<u>การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Vapor Generation หรือ Hydride Generation Technique</u>

เทคนิคนี้นำมาใช้สำหรับหาปริมาณของธาตุที่ทำให้เป็นสารประกอบไฮไดรด์ (Hydride) ที่ระเหยได้ง่าย และไฮไดรด์ของธาตุเหล่านี้ยังสลายตัวได้ง่ายกลายเป็นธาตุ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As , Bi , Se , Pb ,Sb ,Sn และ Te โดยทำให้เกิดเป็นสารประกอบไฮไดรด์ดังแสดงในตาราง ค1

ตาราง ค1 แสดงสารประกอบไฮไดรด์และจุดเดือดของธาตุบางชนิด

| ธาตุ | ไฮไดรด์ที่ระเหยได้ | จุดเดือด , °C |
|---|---|---|
| As | $AsH_3$ | -55 |
| Bi | $BiH_3$ | -22 |
| Pb | $PbH_4$ | |
| Sb | $SbH_4$ | -17 |
| Se | $H_2Se$ | -42 |
| Sn | $SnH_4$ | -52 |
| Te | $H_2Te$ | -4 |

สารละลายที่มีธาตุเหล่านี้จะถูกรีดิวซ์ได้ดีด้วยโซเดียมบอโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) หรือ บอโรไซยาไนด์ ในสารละลายที่เป็นกรด ไฮไดรด์ของธาตุที่เกิดขึ้นนั้นถูกออกจากขวดที่ใช้ทำปฏิกิริยาด้วยแก๊สไนโตรเจนหรือ แก๊สอาร์กอนเข้าไปสู่ Hydrogen Flame ซึ่งอากาศเป็นตัวช่วยให้ไฮโดรเจนติดไฟ ความร้อนจาก Flame จะทำให้ไฮไดรด์สลายตัวเกิดเป็นอะตอมของธาตุ Atomic Absorption Signal จะเกิดขึ้นได้เป็น Sharp Peak โดยใช้ Resonance line จาก Electrode Discharge Lamp ซึ่งให้ Sensitivity ที่สูงกว่า Hollow Cathode Lamp และสัญญาณรบกวนน้อยกว่า

ตาราง ค2 แสดง Working Ranges and Sensitivities- Vapor Generation

| Element | Working Range (ppb) | Sensitivity (ppb) |
|---|---|---|
| As | 5-30 | 0.2 |
| Bi | 10-60 | 0.4 |
| Sb | 10-30 | 0.2 |
| Se | 10-120 | 0.6 |
| Te | 10-80 | 0.5 |

ปฏิกิริยาการเกิด รีดัคชันด้วยบอโรไฮไดรด์เป็นดังนี้

$$NaBH_4 \longrightarrow Na^+ + BH_4^-$$

$$2\,BH_4^- \longrightarrow B_2H_6 + H_2 + 2\,e^-$$

$$As^{3+} + 3H^+ + 6e^- \longrightarrow AsH_3$$

นั่นคือ $6BH_4^- + As^{3+} + 3H^+ \longrightarrow 3B_2H_6 + 3H_2 + AsH_3$

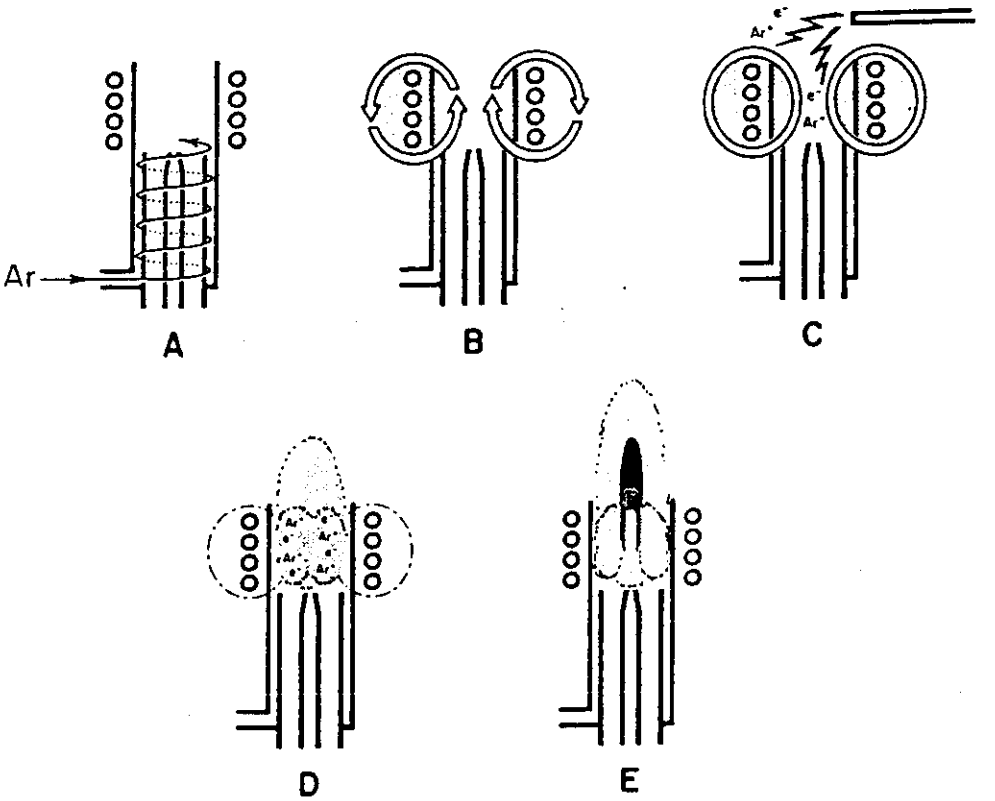
บอเรนเมื่อถูกกับน้ำ $B_2H_6 + 6H_2O \longrightarrow 2H_3BO_3 + 6H_2$

ในทางปฏิบัติการหาปริมาณของธาตุเหล่านี้ ซึ่งมี Oxidation State หลายค่า การรีดิวซ์ให้เกิดไฮไดรด์จะมีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์อย่างมากในการทำการวิเคราะห์จึงควรให้ความสนใจด้วย

**Inductive Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)**

ICP เป็นวิธีการวิเคราะห์อย่างหนึ่งใน อิมิสชัน สเปกโตรสโกปี ซึ่งเทคนิคนี้ผลิตพลาสมาได้โดยไม่ต้องมีขั้วไฟฟ้า Fassel และเพื่อนร่วมงานในสหรัฐอเมริกาพร้อมๆกับ Greenfield และเพื่อนร่วมงานแห่งประเทศอังกฤษ ได้เป็นผู้ศึกษาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 และมีการผลิตเครื่อง ICP Spectro Meter ขึ้นมาใช้ในปี ค.ศ.1975

ICP ในสมัยของ Fassel นั้นได้อธิบายไว้ คือ ปล่อยให้แก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคบ (Torch) ซึ่งประกอบด้วยหลอดที่ทำด้วยควอร์ตซ์ (Quartz Tube) ซ้อนกัน 3 ชั้นดังแสดงในรูปที่ 3 ค. ที่ปลายคบด้านบนจะมีท่อกลวงทำด้วยทองแดงล้อมรอบอยู่เรียกว่า Load Coil นี้ต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (Radio Frequency ,RF Generator) เมื่อให้ RF Power (โดยทั่วไปจะเป็น 700-1500 วัตต์)




ภาพประกอบ ค3 แสดงภาพตัดขวางของคบ ICP และ Load Coil เพื่อให้เห็นถึงการเกิด ICP Discharge

ภาพ A แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปจะหมุนรอบๆในคบ (Torch)

ภาพ B เมื่อใช้ RF ผ่านเข้าไปใน Load Coil

ภาพ C เป็นการทำให้เกิดสปาร์ค (จาก Tesla) เพื่อให้เกิดอิเล็กตรอนจากแก๊สอาร์กอน

ภาพ D อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามแม่เหล็กทำให้เกิดพลาสมา

ภาพ E สารละลายที่เป็นฝอยถูกแก๊สอาร์กอนพาเข้าไปในพลาสมาตรงกลางทำให้เกิดเป็นช่องขึ้น

ปล่อยเข้าไปใน Load Coil จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับเคลื่อนที่ไปมาในหลอดทองแดงหรือเกิดการสั่น (Oscillate) ด้วยอัตราเร็วเท่ากับความถี่ของเครื่องส่ง (RF Generator) ในเครื่อง ICP ส่วนมากจะใช้ความถี่ที่ 27 หรือ 40 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) จากการผ่าน RF เข้าไปในหลอดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (H) ขึ้นที่บริเวณปลายคบ แล้วทำให้เกิดการชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า ( Eddy Current) ไหลผ่านตัวนำ แล้วทำให้ตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น แก๊สอาร์กอนที่ผ่านเข้าไปในแนวตั้งฉากเพื่อให้เกิดการหมุนไปรอบหลอดควอตร์ตซ์ นั้นไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็น

ต้องทำให้เป็นตัวนำด้วยการทำให้เกิดสปาร์ค หรือปล่อยประจุไฟฟ้าจากเทสลา ( Tesla Discharge) ให้ผ่านแก๊สอาร์กอนเสียก่อน เพื่อทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออไนส์ได้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะทำหน้าที่ช่วยเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วขึ้น ประกอบกับมีหลอดทองแดงทำหน้าที่เป็นขดลวด ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้นเรียกว่า Inductive Coupling อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอนต่อไป ทำให้เกิดอิเล็กตรอนมากขึ้นอีกเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ กลายเป็นพลาสมา จึงเรียกว่า Inductive Coupled Plasma (ICP) การปล่อยประจุจากพลาสมานี้จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 1000-10000 K และมีความเสถียรเมื่อใช้กำลังไฟ 1- 2 kW

<u>ลักษณะเฉพาะของ ICP</u>

1. ให้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 10000 K
2. สารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์สามารถอยู่ในพลาสมาได้นานพอ โดยทั่วไปจะอยู่ได้นานถึง 2-3 ms ทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง
3. Matrix และ Interelement Effects มีน้อย โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในบรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ทำให้อะตอมอิสระที่เกิดขึ้นมนพลาสมามี Life Time ยาวขึ้น
4. ในกรณีที่ใช้ Ar –ICP พบว่าให้ Electron Density สูง แม้จะใส่สารบางชนิดที่ไอออไนส์ได้ง่ายเข้าไปก็จะไม่มีผลต่อจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ดังนั้นการแทรกสอดที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะมีผลกระทบน้อย
5. Molecular Species มีโอกาสเกิดน้อย หรือไม่เกิดเลย เพราะอุณหภูมิสูงทำให้ลดการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ และ Self –Absorption
6. แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สเฉื่อยจึงไม่มีการระเบิดเกิดขึ้น
7. ไม่ต้องใช้ขั้วไฟฟ้าเลย