

太陽熱 暖房의 계절에 따른 에너지 貯藏

J. E. BRAUN, S. A. KEEIN and J. W. MITCHELL*

(Solar Energy, Vol. 26, pp. 403~411, 1981)

金 鍾 輔^{**} 譯

要 約

1 論文은 물을 貯藏物質로 使用하는 空間暖房에 있어서의 seasonal storage 의 몇가지 중요한 문제 研究하고 있다. 集熱器 面積과 貯藏體積 그리고 시스템性能間的 關係를 transient simulation program(TRNSYS)을 使用하여 調査하였다.

2 여기서 seasonal storage 의 가장 일어나기 쉬운 상태가 나타내어지는데 seasonal storage system 의 2에 특히 弱점을 두고 있다. 이러한 설계방법은 몇일간에서 seasonal storage 에 이르는 seasonal capacity (貯藏容量)에 대하여 적용되어진다. 費用과 관련하여 이러한 설계방법은 seasonal storage system 경제성 (economic viability)을 추정하는데 유용할 것이다. 또한 시스템 설계에서 負荷 集熱器의 크기 變斷熱 集熱器 경사 매년 氣候變化의 중요성이 調査되고 있다.

序 論

太陽에너지를 이용하는 대부분의 경우에 있어서 사용가능한 太陽에너지와 필요한 에너지의 量에 따른 분포의 차이가 존재하게 된다. 空間 暖房시스템에서 이러한 차이는 하루중과 계절적 間의 범위가 모두 다 중요한 문제이다.

3 短期貯藏은 항상 負荷를 받는 시스템의 능력이 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554

명하고 그것의 性能을 simulation 하고 계산하는 데 필요한 지식을 간단히 要約하고 있다.

둘째로는 集熱器 面積, 貯藏, 體積 시스템 性能의 상호관계가 TRNSYS를 使用하여 조사되고 가장 빈번히 일어나는 seasonal storage의 상태가 나타내어진다. 셋째로는 seasonal storage system의 설계를 다루고 있는데 몇일간 혹은 seasonal storage에 이르는 貯藏容量에 대하여 적용될 수 있는 설계방법이 要約되어진다. 그런데 이러한 간단한 절차는 TRNSYS에 대해 타당성이 있다. 따라서 이러한 설계방법은 시스템 설계에서 熱交換器의 크기, 탱크斷熱, 集熱器 경사 그리고 매년 氣候變化의 중요성을 研究하는데 使用되고 있다.

2. 시스템 설명과 simulation 모델

本 研究에서 고려된 sensible storage를 가진 空間暖房시스템의 제통도가 그림 1에 나타나 있다. storage에서 공급된 에너지가 暖房을 위한 처음의 熱源이며 太陽熱시스템이 要하는 室內溫度를 유지할 수 없을 경우에는 附加的인 에너지가 재래식 補助 熱源에 의해 供給된다. 이 章에서는 本 研究에서 채택된 component model과 假定이 나타나 있다.

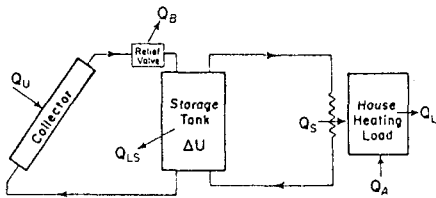


Fig.1. Schematic of a space heating system

sensible storage 媒體는 완전히 혼합된 같은 體積의 segment [6] N개로서 탱크가 구성되어 있다고 假定함으로써 modeling 되었고 degree of stratification은 N값에 의하여 결정된다.

탱크로 들어가는 流体는 溫度가 가장 가까운

segment를 찾는다라고 假定하고 segment들 사이의 軸方向 熱轉度現狀은 무시한다. 충분한 segment를 假定함으로써 이 假定으로 최대의 degree of stratification을 얻을 수 있다. N=1이면 Storage는 완전히 혼합된 탱크이며 어떠한 層狀效果도 없다. 시스템 性能에서의 層狀效果는 3-1에서 조사된다.

Storage에 대한 附加的인 假定은 다음과 같다

(1) 貯藏容器는 땅속에 묻힌 높이와 직경이 같은 수직 圓筒이다.

(2) 일년 平均 空氣溫度 (즉, 땅속온도)와 같은 溫度 (T_s)로 Storage 損失이 발생한다.

(3) 탱크는 斷熱이 잘 되어 있어서 어느 순간든지 땅을 통한 熱流動은 정상상태 (steady state)로 고려될 수 있다.

즉 탱크주위의 땅의 內部에너지 變化率은 貯藏 損失率에 비하여 작다.

(4) 복합의 地面에 의한 斷熱效果는 時間에 따라 크게 변하지 않는다.

완전히 혼합된 탱크에 대하여 熱損失率은 다음과 같다.

$$\dot{Q}_{LS} = (UA)_T (T_T - T_S) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 $(UA)_T$ 는 熱損失에 대한 constant overall conductance이고 T_T Storage의 溫度이다.

集熱器의 有效에너지 變化率 (\dot{Q}_u)은 Hot tel-Whillier式 [7]에 의하여 구해진다.

$$\dot{Q}_u = F_R \cdot A_c (I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)) \dots \dots \dots (2)$$

여기서 A_c , U_L , F_R ($\tau\alpha$)는 각각 集熱器 面積 全損失係數, 熱除去 效率係數 그리고 透射率, 吸收率의 곱이다. 또한 T_i 와 T_a 는 入口, 出口의 溫度이고 I_T 는 集熱器表面에 흡수된 位面積當복사량이다.

本 研究에서는 완전히 혼합된 탱크入口溫度 대하여 集熱器가 Storage 溫度와 같도록 하 위하여 파이프에서의 에너지 損失이 무시되었 集熱器의 出口에 위치한 안전 밸브는 出口 溫度가 循環流體의 沸騰點을 초과하지 못하도록

요에 따라 에너지 (\dot{Q}_s)를 放出한다.

建物에서의 순간적인 에너지 平衡式은 다음과 같다.

$$cap_L \frac{dT_R}{dt} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_A - \dot{Q}_L \dots\dots\dots (3)$$

여기서 cap_L 은 效果的인 單一建物 capacitance 이고 T_R 은 室內溫度, \dot{Q}_s 는 太陽에너지供率 \dot{Q}_A 는 補助에너지 追加供給率이고 \dot{Q}_L 은 物로부터의 暖房損失率이다. 실제로 室內溫度 補助暖房裝置가 필요한 最低溫度 T_{RL} 과 太陽이 정지되는 곳에서의 最高溫度 T_{RH} 사이에 定義되는 “dead band” 내에서 變化한다. 可室內溫度 모델은 建物內的 에너지 Storage의 량이 3-3節에서와 같이 液体 Storage가 아 경우에 대하여 使用된다. 本 論文의 나머지 果에 대하여 항상 建物로부터 熱損失率을 決하기 위해 暖房空間에 에너지 供給을 調節하 理想的 調節器가 假定된다. 이것은 室內溫度 항상 T_{RL} 에서 고정되어 있다는 것을 의미한 . 이 에너지率 (energy rate) 調節方法은 주 간단하며 적당한 液体 Storage가 있을때 만 스런 結果를 나타내었다.[8]

집으로부터 순간 熱損失率은 다음과 같이 定 義된다.

$$\dot{Q}_L = (UA)_L (T_R - T_a) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 $(UA)_L$ 은 집으로부터 熱流動에 대한 onstant conductance 이다.

負荷率 交換器에서 暖房空間으로 供給되는 에 1지 供給率은 아래와 같이 주어진다.

$$\dot{Q}_s = \epsilon C_{min} (T_h - T_R) \dots\dots\dots (5)$$

여기서 ϵ 과 C_{min} 은 效率[9]와 최소교환기 apacitance 率이고 T_h 은 熱交換器로 들어오는 口의 流体溫度이다.

시스템의 性能을 계산하기 위하여 年中 太陽 熱에 의해 주어진 負荷率은

$$T = 1 - \frac{\int_{year} \dot{Q}_A + dt}{\int_{year} \dot{Q}_i + dt} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 t 는 양의 값만이 고려됨을 나타낸다. single-year simulation이 長期平均性能의 精確한 結果를 나타내도록 증명하기 위하여 Storage의 年間內部에너지 變化가 負荷에 비 해서 작다고 假定하는 것이 필요하다. 이는 시스템의 動作을 modeling하는 式의 解가 정상상태 (Steady-State)의 週期的인 解임을 그리고 內部에너지 變化가 負荷의 1% 以內임을 알 수 있다.

이 論文에서는 시스템의 몇가지 parameter를 變化시켰는데 使用된 대부분의 parameter의 값은 Table 1에 있다. 제외된 것과 첨가된 parameter는 적당한 곳에서 具体化되었다. 建物의 全体 損失 係數 $(UA)_L$ 와 capacitance cap_L 이 적당한 크기의 斷熱이 잘된 집에 대하여 擇하여 졌다.

Table 1. System parameters

Collector	
1. Loss Coefficient - U_L	2.78 W/m ² -°K
2. Transmittance-Absorptance Product - $(\tau\alpha)$.75
3. Mass Flow Rate Per Unit Area	50 kg/hr-m ²
4. Efficiency Factor - F'	.95
5. Circulating Fluid	Water
6. Slope	Latitude
7. Relief Valve Temperature	100 °C
Load	
1. Overall Loss Conductance - $(UA)_L$	333 W/°K
2. Capacitance - Cap_L	25,000 KJ/°K
3. Minimum Allowable Room Temperature - T_{RL}	18 °C
Load Heat Exchanger	
1. Effectiveness - ϵ	0.4
2. Minimum Capacitance Rate - C_{min}	1528 W/°K

3. Minimum Useable Temperature - T_{min} 18 °C

Storage

- 1. Medium
- 2. Specific Heat - C_p 4.19 KJ/kg-°K
- 3. Density - ρ 1000 kg/m³

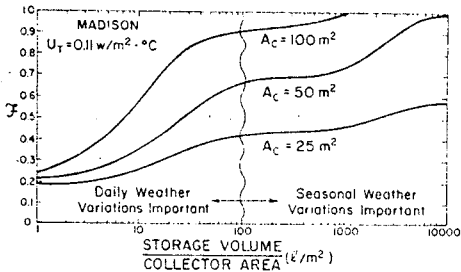


Fig. 2. Performance as a function of storage volume

3. 貯藏體積과 集熱器面積의 效果

3.1 層狀效果

以前的 研究 [10]에서 短期 sensible storage 를 가지고 있는 空間暖房시스템은 시스템性能에 미치는 層狀效果가 작음을 보였다. 本研究에서는 層狀效果가 seasonal storage 空間暖房시스템에서도 그다지 중요하지 않음이 밝혀졌다. Madison의 seasonal storage 시스템에서도 탱크의 node 수를 1 ~ 40 까지 變化시켰는데 年中 太陽熱利用率은 2% 以內의 變化를 보였다. 탱크斷熱의 量도 이 결과에 영향을 끼치지 못한다. 第2章에서 설명한 multi node 탱크 모델에서 최대의 層狀모양을 갖는것이 가능하다.

이 model을 利用한 結果는 層狀이 seasonal storage 를 가지고 있는 시스템의 性能에 무시할 수 있을 정도의 영향을 미치고 있다는 것을 나타내고 있다. 그러므로 sensible storage 를 포함하는 모든 研究에 완전히 혼합된 탱크로 假定했다.

3.2 貯藏體積의 함수로서의 性能

太陽에 能量을 利用할 때 貯藏量의 重要은 負荷의 분포와 순간적인 太陽熱 복사량에 依 存한다. 空間暖房시스템에서는 하루의 분포도 계절적 분포도가 있다. 그림 2는 Madison의 房空間시스템에 대해서 각각 다른 세가지의 集熱器面積에 따라 물의 貯藏體積 V_T 의 영향을 나타내고 있다. 처음에는 能量이 밤이나 흐린 日에 使用될 수 있기 때문에 貯藏能力의 增加에 따라 시스템의 性能이 급속히 향상되었다.

100 l/m² 이상에서는 貯藏能力이 일교차의 영향을 감소시키는데 충분하다. storage 가 더욱 增加함에 따라 여름에 蓄積해 놓은 能量이 겨울 暖房에 利用되므로 性能의 向上은 大 小이다. 氣候의 일교차를 없앨 수 있는데 필 要한 이상의 貯藏體積에서 2次의 크기의 增加가 계절적 效果를 完 善시키기 위해 必要하다. 貯藏能力이 貯藏된 물의 沸騰에 의해 能量의 損 失이 일어나지 않는다는 假定을 충분히 만족시킬 性能은 어느정도 均 衡해진다. (이러한 상태는 $A = 100 m^2$ 에서는 결코 일어나지 않는다)

이러한 점에서 볼때 탱크溫度는 一年을 周 回로 거의 sine 曲線과 같은 變化를 하며 크기- 안전밸브溫度와 최소 供給溫度사이의 차이보다 작다. 貯藏體積이 더욱 增加한다면 太陽熱에 의해 생긴 계절적 負荷率은 결국은 減少할 것이다. 貯藏量이 無限帶에 接近함에 따라 0에 가까워진다.

이는 體積의 增加에 따라 表面積의 增加와 함께 一定 斷熱두께라는 假定에 기인된다. 그러나 斷熱두께 대신에 탱크로부터 傳導熱損失(UA)를 一定하게 한다면 貯藏體積의 增加에 따라 시스템性能은 最大點에 도달할 것이다. 貯藏量이 無限帶로 接近함에 따라 $(UA)_T$ 가 有限인 狀態에서) storage 溫度는 一定해지며 주어진 氣候 狀態와 시스템 parameter에 대하여 最大의 시스템性能이 된다. 空間暖房과 家庭用 溫水加熱이 같이 並行되는 것이 보통이다.

이 결합된 시스템 성능의 저장능력에의 의존도
공간과 물을加熱하는데 필요한 負荷의 相對
인 크기에 관계된다. 대부분의 물에 의한 暖
負荷는 계절에 따른 큰 變化가 없다.

結論적으로 결합된 system의 경우가 空間暖
만을 위한 시스템보다 계절적으로 더욱 均一
負荷분포를 갖는다. 溫水暖房負荷가 全體負
에 비하여 작을 경우에 대해 계절적인 氣候變
의 效果를 줄임에 의해 seasonal storage가 시
스템 성능을 크게 向上시킬 수 있다. 물의 暖房
負荷가 全體負荷의 큰 부분을 차지하는 경우
는 절에 따른 負荷變化가 減少되며 큰 貯藏能
力이 시스템 성능을 크게 向上시키지는 못한다.
暖房과 水加熱이 혼합된 seasonal storage는 물의 暖
負荷가 全體負荷의 작은 부분을 차지할 때
만 미가 있다. 이는 북반구의 추운 날씨의 경
우 해당될 것이다.

3.3 集熱器 面積과 貯藏體積間的 關係

그림 3은 集熱器面積과 貯藏體積에 따른
間暖房시스템의 성능을 나타낸다. "Ideal"
無限한 熱容量 (capacitance)으로서 고려
다. $(UA)_T$ 는 有限이다 그림 3에서 보
바와같이 集熱器 面積이 增加함에 따라 시
스템 성능의 storage capacitance에의 의존도는 增
한다. 集熱器 面積이 작을 경우 주택의 cap-
itance cap_L 는 晝間負荷의 초과로 蓄積된
에너지에 대한 충분한 storage를 提供할 수 있
. 성능은 集熱器 面積에 대한 貯藏體積의 비가
클 경우 集熱器 面積에 더욱 크게 의존한다.
集熱器 面積이나 貯藏能력이 增加함에 따라 集
에너지와 負荷에 의해 使用된 量間的 더욱 큰
態移動을 收用한다. 그림 3에 나타난 結果를
은 면에서 관찰하면 集熱器 面積과 固定된 年
比率을 위해 必要한 貯藏體積間的 關係를 研
하는 것이다.

거는 特定한 시스템 성능을 얻기 위해 必要한 集
熱器 面積의 현저한 減少는 貯藏能력을 크게 함

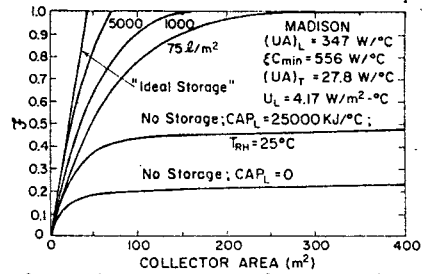


Fig.3. Performance as a function of collector area and storage volume

으로써 이루어질 수 있다. storage 增加에 따른
集熱器 面積의 더욱 큰 減少는 더 높은 solar
fraction을 일으킨다. 높은 solar fraction은
太陽熱시스템이 最惡의 負荷와 集熱狀態에서 좀
더 자주 負荷와 直面하게 되기를 要求한다. 이
것은 太陽에너지가 작게 얻어지는 동안에도 높
은 탱크溫度가 유지되어야 한다는 것을 의미한
다. 短期貯藏은 相對적으로 큰 集熱器 面積이 없
는 한 이런 狀態를 보장하기에 불충분하다. 이
것은 無限한 貯藏의 경우 集熱器 面積에 대한 集
熱器 面積비가 固定된 시스템 성능을 위한 集
熱器 面積과 貯藏體積의 關係는 位置에 따라 달라진
다. 이러한 것은 無限한 storage에 相應하는 集
熱器 暖房負荷의 95%를 供給하는 시스템의 여
러 位置에 대한 單位 集熱器 面積當 貯藏體積이
그려진 그림 4에 나타나 있다. 貯藏能력의 增加
에 따른 必要한 集熱面積의 더욱 큰 減少는 북
반구에서 일어난다.

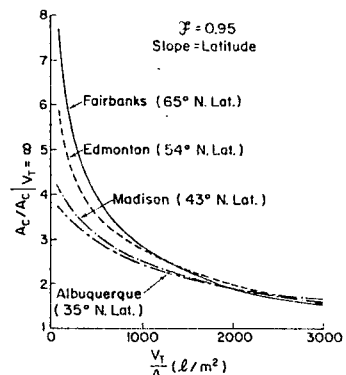


Fig.4. Location dependence of the tradeoffs between collector area and storage volume

이것은 有用한 太陽에너지와 負荷와의 더욱 큰 계절적인 差異와의 結果이다. 위도가 더욱 큰 경우 表面에서 일어나는 全體 年間 太陽복사의 더욱 큰 部分은 여름철에 일어나고 總負荷의 작은 部分은 겨울에 일어난다. storage는 供給과 負荷間의 差異를 연결짓는데 대단히 重要하다. 이러한 結果는 負荷의 큰 部分이 太陽熱 시스템에 의해 附加될때 복반구에 seasonal storage가 가장 적합함을 나타낸다. 이 結論은 適用되는 裝置의 크기에 無關한다.

4. Seasonal Storage 시스템의 설계

太陽熱 暖房시스템의 長期性能을 계산할 때는 경제성을 고려하는 것이 必要하다. 경제적으로 최적상태인 太陽에너지 시스템은 설계상의 기술적 계산만으로는 결정될 수 없다. Peter Lunde [11]가 매월 性能을 예측하기 위하여 시스템 Parameter에 따른, 미리 과정이 결정된 특정위치의 data에 따라 seasonal storage 시스템의 설계방법을 제시하였다.

임의의 위치에 대해서 長期性能을 예측하는 데는 최소한 일년동안 매시간마다의 data를 미리 결정하는 것이 필요하다. 더구나 그 절차는 storage와 負荷間의 한정된 熱交換器의 영향을 포함하지 않는다. 가장 최근에 seasonal storage를 이용하는 시스템을 해석하는데 단지 2개월 마다의 자료만이 요구되는 설계절차가 발표되었다.[12] 그러나 이 방법 역시 storage와 暖房空間 사이의 한정된 熱交換器의 영향이 고려되지 않고 있다. 이 章에서는 시스템 性能을 예측하는데 오직 한달의 기후 입력자료와 중요한 시스템 parameter (熱交換器의 크기 포함)만을 필요로 하는 간단한 설계방법이 제시되고 있다. 이 방법에 의한 결과가 集熱器 面積에 대한 貯藏體積의 비가 200ℓ/m²이 넘는 경우에 대한 TRNSYS simulation에 의한 결과와 잘 일치함이 나타나고 있다. 그러므로 이 설계방법은 시

스템 설계에 있어서 熱交換器의 크기, 탱크의 集熱, 集熱器의 경사, 그리고 年間기후변화 등의 중요성을 연구 하는데 사용되고 있다.

4.1 Sensible Storage 시스템의 설계방법

그림 1의 空間暖房 시스템의 貯藏탱크에서 매월 에너지 평형식은 다음과 같다.

$$\Delta U = Q_U - Q_{LS} - Q_S \dots\dots\dots(6)$$

여기서, ΔU는 storage의 內部에너지 변화이다. 1달을 기준으로 system性能을 예측하기 위하여 式(7)의 각 항과 負荷는 알려진 변수: 기후자료, 초기조건의 항으로 표시되어야 한다. 集熱器로부터 1달간 얻어진 유용에너지는 다음 式으로 계산된다.

$$Q_U = A_C \cdot \bar{h}_R \cdot \bar{H}_T (\bar{\tau}\alpha) N \bar{\phi} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 \bar{H}_T 는 集熱器 表面에서 매월 복사되던달 평균 복사량 [13]이고 $(\bar{\tau}\alpha)$ 는 한달 평균 透過率과 吸收率의 곱 [14], N는 한달 동안의 날(day)수이며, 그리고 $\bar{\phi}$ 는 한달간 集熱器 表面에 의해 吸收된 총 복사에너지의 fraction이다. $\bar{\phi}$ 는 固定限界 level, 통계적 기후인자 集熱器 形狀의 함수로 나타난다.[15, 16]

또한, $\bar{\phi}$ 는 Liu와 Jordan [17]의 매시간마다의 ϕ 로부터 결정될 수 있고, 실제 기후자료: 매시간 분석에 의해서도 가능하다. $\bar{\phi}$ 관계는 어느 달의 계산을 위해 하나의 임계복사 기준의 具體化가 필요하다. 小形貯藏 容量의 경우는 溫度 변화가 긴 기간동안 (즉, 주, 달, 계절)에 걸쳐 분포되므로 임계수준은 거의 一定해진다. $\bar{\phi}$ 를 계산하는데 사용되는 월간평균임계수준은 다음 式으로 계산된다.

$$I_c = \frac{F_R U_L (\bar{T}_T - \bar{T}_{da})}{F_R (\bar{\tau}\alpha)} \dots\dots\dots(8)$$

여기서, \bar{T}_T 는 월간탱크평균온도이고, \bar{T}_{da} 는 월간평균 낮 주위溫度이다.

또한 storage에서의 에너지 손실은 다음과 같이 계산된다.

$$Q_{LS} = (UA)_T (\bar{T}_T - T_S) \Delta t \dots\dots\dots(9)$$

여기서, Δt 는 월별 시간의 길이이다. store로부터 負荷에 공급되는 에너지는 負荷와 에지 양의 최소치로 가정하고 그 에너지는 熱交器가 한달내내 가동될때 공급될 수 있다. 그
 으로,

$$Q_s = \min(\epsilon C_{min}(\bar{T}_T - T_R) \Delta t, Q_L) \dots (11)$$

월간 총 空間暖房負荷 Q_L 은 $(UA)_L$ 과 한달간의 degree day의 數의 곱으로 계산된다.

간평균탱크溫度 (\bar{T}_T)는 월간溫度의 시작과 의 평균 값으로 가정된다.

$$\bar{T}_T = (T_I + T_F) / 2 \dots (12)$$

여기서, T_I 와 T_F 는 매월 시작과 끝의 탱크 溫이다.

앞서, 式(7)에서 定義된 storage의 内部에너지의 변화는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta U = cap_s (T_F - T_I) \dots (13)$$

여기서 cap_s 는 貯藏物質의 capacitance이다. 제 式(7)의 각 항은 시스템 parameter 기록자료 처음과 마지막 storage溫度의 向으로 義된다. 만약 처음의 溫度를 안다면 마지막 溫는 결정될 수 있다. 임의의 어떤 달의 설계과 은 다음과 같다.

(1) 달초의 처음 탱크溫度 (T_I)가 주어지 T_F 를 가정한다.

(2) $\bar{T}_T = (T_I + T_F) / 2$ 를 계산한다.

(3) 월간기후자료, 시스템 parameter, \bar{T}_T 의 으로 ϕ , Q_U , Q_{LS} , Q_S 를 결정한다.

(4) 월간 에너지 평형式으로부터 새로운 T_F 계산한다.

$$T_F = (Q_U - Q_{LS} - Q_S) / cap_s + T_I$$

(5) T_F 가 수렴될 때까지 과정 (2)~(4)를 복한다. 만일, 반복과정에 의해 산출된 마지막 貯藏溫度 T_F 가 최소 使用溫度 T_{min} 보다 작 나, 안전밸브 溫度 T_B 보다 크면 부수적인 단 가 더 필요하다.

(6) 만약,

① $T_F < T_{min}$ 일때

$$T_F = T_{min}$$

\bar{T}_T , ΔU , Q_U , Q_{LS} 를 다시 계산한다.

$$Q_s = Q_U - Q_{LS} - \Delta U$$

② $T_F > T_R$ 일때

$$T_F = T_B$$

\bar{T}_T , ΔU , Q_U , Q_{LS} , Q_S 를 다시 계산한다.

$$Q_B = Q_U - Q_{LS} - Q_S - \Delta U$$

年間 분석을 할때 초기 탱크溫度가 가정되어 야 한다. 暖房 계절의 끝에서 시작하는 것이 편 리하다. 그 달의 맨 나중 溫度를 그 다음 달의 초기 溫度로 하여 (1)~(6)단계를 수행한다. 이 과정을 年間 초기溫度와 최종溫度가 대략 같아 질 때까지 반복 하는데, 보통 2 cycle 정도이 면 충분하다. 부록에 이 설계과정의 예가 주어 져 있다. 매달 性能을 계산하는데 있어서 탱크 의 溫度변화가 매일의 기후조건에 크게 관계되 지 않는 storage 크기의 경우에는 평균임계 기준 을 使用하는 것이 합리적이다. 이 설계방법은 몇 일 동안 혹은 seasonal storage에 이르는 범위의 storage capacity에 대하여 적용할 수 있다.

그림 5에 Madison에 있는 貯藏體積의 크기 에 대한 이 설계방법과 TRNSYS에 의한 결과 가 비교되었다. 集熱器 이용의 매달 평균이 [15]에서 요약된 바와 같이 결정되었다. 이 설계방 법과 TRNSYS 값이 달라지기 시작하는 集熱器 面積에 대한 貯藏體積의 비는 集熱器 面積 50 m^2 일 때가 25 m^2 나 100 m^2 일 때보다 다소 작다. 面積이 큰 경우에 탱크溫度 변화가 복사의 日較 差에 더 크게 관련되어 있으며, 面積이 작은 경 우(즉, 面積에 대한 體積比가 一定하며 이 때

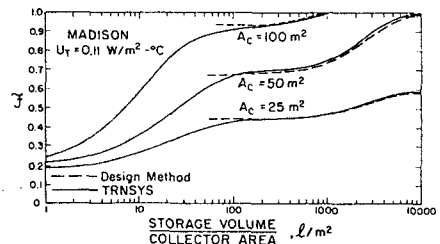


Fig. 5. Comparison of TRNSYS and design method results in Madison, Wisconsin

體積이 작을 경우)는 storage 溫度 변화가 負荷 변화에 더욱 크게 영향을 받는다. 이 설계 방법이 합리적인 값을 나타내는 貯藏體積과 集熱器 面積의 比는 시스템의 모든 parameter와 기후 조건의 관계에 따라 달라진다. 일반적으로 이러한 방법은 storage capacity가 $200 \ell / m^2$ 보다 클 때 정확하다. 이것은 Madison, Albuquerque, Seattle에 대해서 集熱器 面積에 대한 貯藏體積의 比로서 그림 6에 설명되어 있다.

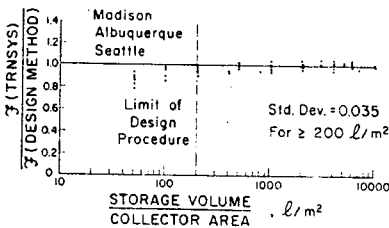


Fig. 6. Comparison of TRNSYS and design method results for three locations.

이들 세 지역은 이 설계방법의 사용이 그럴듯한 기후의 영역을 나타낸다. 面積에 대한 體積의 比가 $200 \ell / m^2$ 보다 큰 경우 solar fraction S.D가 3.5%이다.

4.2 負荷 熱交換器와 탱크斷熱의 중요성

설계가 잘된 seasonal storage의 空間暖房시스템에서는 負荷에 공급되는 에너지가 storage로부터 손실되는 에너지보다 커야 한다. 따라서 storage loss conductance $[(UA)_T]$ 에 대한 負荷 熱交換器 conductance (ϵC_{min})의 比가 커야만 한다. Seasonal storage system의 性能에 대한 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 의 영향에 의한 일반적인 결과가 그림 7에 나타나 있다. ϵC_{min} 과 $(UA)_T$ 는 독립적으로 $0.4 < \epsilon C_{min} / (UA)_T < 2$ 의 범위에서 변화했다. 시스템 性能에 대한 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 의 영향에 의한 거의 유일한 관계는 集熱器와 storage 效率 사이의 상호작용의 결과로서 일어난다. $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 가 固定된 값일 경우 ϵC_{min} 과 $(UA)_T$ 의 작은 값은 높은 storage 溫度를 발생시키며 상대적으로

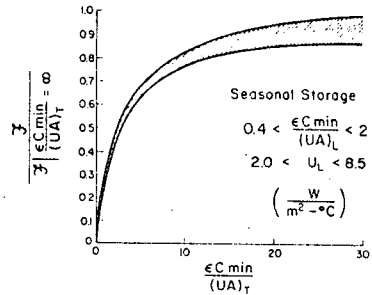


Fig. 7. A general result for the dependence system performance on $\epsilon C_{min} / (UA)_T$

낮은 集熱效率을 발생시킨다. 그러나 storage 效率은 좋아진다. ϵC_{min} 과 $(UA)_T$ 가 클 경우 storage 溫度는 낮아지며 集熱器의 效率은 좋아나, 그러나 storage 效率은 나빠진다. 전형적인 板形 集熱器의 경우 균일한 시스템 效率을 내기 하여 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 를 固定시키고 ϵC_{min} 과 $(UA)_T$ 를 변화시킬 때 각각의 效率間에 어떠한 계가 발생한다.

흡수된 에너지와 거의 같은 정도가 ϵC_{min} 과 $(UA)_T$ 의 각각의 값에 관계없이 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 의 특정한 값에 대하여 손실된다. 단지 집 C와 storage 사이의 상호관계가 변한다. 시스템 性能의 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 와의 유일한 관계로부터 差는 集熱器의 效率이 클 때 더욱 심하다. 그림 7서 알 수 있는 하나의 결론은 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 값이 20보다 클 때는 시스템 性能이 크게 향상되 않고, 최대로 가능한 年間 太陽에너지 부분이 90%가 ($\epsilon C_{min} / (UA)_T = \infty$ 일 때) $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 의 값이 20일 때 도달된다. 이것은 集熱效率을 얻기에 필요한 負荷 熱交換器의 크기 탱크의 斷熱 정도를 측정하는 눈대중 방법으로 유용하다. 이 결론은 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 가 0.4~인 범위에 한정된다. $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 의 실제도 일반적으로 이 범위내에 있다.

그림 7로부터 얻는 또 하나의 결론은 20보다 $\epsilon C_{min} / (UA)_T$ 에 대해서, 지면에서 정상상 (Steady-State) 熱流動의 가정은 시스템의

큰 영향을 미치지 못한다. 이 상태에서의 Q_L 은 storage로부터 손실율의 변화에 민감하지 못하다. 탱크의 斷熱은 최악의 경우 유효 지 斷熱 $(UA)_T$ 와 $\epsilon C_{min}/(UA)_T$ 에 대한 性 변화율이 작도록 정해져야 한다.

3. 최적 集熱器 경사

재래식 크기의 storage에 대해서 暖房제 동안에 최대의 集熱량을 위해서 集熱器가 위 1도 약 10~15° 더 경사져야 한다.[18] Seasonal storage는 集熱器 표면의 年間 총 복사량을 최대로 하도록 최적경사를 변화 시킴으로써 集熱에너지와 使用되는 에너지 사이의 더 큰 phase shift를 허용한다. 이것은 그림 8 Madison (43° N, 위도)에서의 재래식 storage와 seasonal storage의 시스템 性能에 미치는 集熱器 경사의 영향을 비교함으로써 설

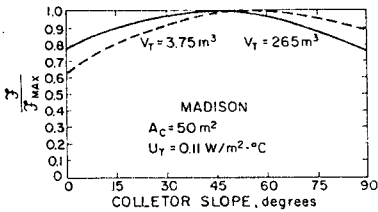


Fig. 8. Comparison of optimum collector slopes for short-term and long-term storage.

한다. seasonal storage 시스템에 대한 최적 경사는 위도와 대략 같으며, 반면에 短期貯藏에 대한 최적치는 약(위도 + 15°)이다. 다른 지에서도 seasonal storage에 대하여 비슷한 결과가 나타났다. 일반적으로 seasonal storage를 사용하는 空間暖房 시스템의 최적 集熱器 경사는 대 위도와 같다.

4.4 시스템 설계에서 기후의 年변화의 영향

空間暖房 시스템을 설계하는데 있어서 중요한 점은 長期 시스템의 性能을 예측하는 것이 재래식 크기의 storage에 대해서는 以前의 연구[2]로부터 다음의 사실을 알 수 있다. 유용 자료들로부터 선택된, 최고의 평균달로 구성

된 설계년도로부터 長期的 性能에 가까운 값을 낼 수 있었다. 그러나 매년 에너지가 충분한 것이 중요하기 때문에 seasonal storage에 대해서도 마찬가지로 하는 것을 입증하는 것이 중요하다. 그림 9는 TMY (typical meteorological year) 기간동안 暖房負荷의 91.5%를 공급하는 시스템에 대한 21년 동안의 에너지량을 그린 것이다.

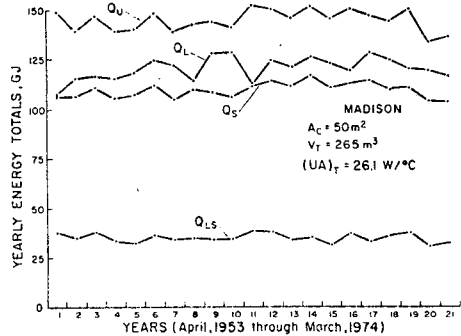


Fig. 9. Yearly energy totals for a seasonal storage system in Madison for 21 yr.

그림 9에서 Q_L 에 대한 Q_S 의 비 즉, 太陽에 의해 공급된 負荷의 年間 fraction은 최대 0.99에서 최소 0.82로 변한다. 21年間の Solar fraction은 0.917이다. 따라서 TMY 자료는 이 시스템의 長期 平均性能을 예측하는데 대단히 적합하다는 것이 입증된다. seasonal storage는 補助暖房의 필요없이 100% 太陽熱로 暖房하는 하나의 수단이다. 이를 위해서 太陽熱 시스템은 설계년도 분석과 平均기후 조건에서 사용되도록 설계되어야 함은 물론 그것의 사용기간중에 발생하는 최악의 조건에 대해서도 설계되어야 한다.

그림 9에 나타난 바와 같이 TMY자료는 연간 기후변화까지 포함하지는 못한다. 그러므로 이러한 기후변화에 대해서는 100% 太陽熱 暖房을 보장하기 위해서는 시스템을 설계년도 분석을 해서 결정된 것보다 조금 크게 설계해야 한다. 年度の 최악의 기후에 대한 중요한 매년 모든 剩餘效果를 무시하는 가능성을 排除할 수 없다.

그림 10은 TMY, Madison의 21년 최악의 해를 이용해서 결정된 100% 太陽熱 暖房을 보장하는데 필요한 과소평가를 한다. 설계년도와 21년에 대한 차이는 storage 容量이 작은 경우에 크다. 큰 容量에 대해서는 매년 性能변화의 감소가 일어나고(즉, 최적년도에서 최악년도로의 큰 每 剩餘分), 21년 자료에 의한 설계는 하나의 설계년도 분석에 接近한다. 특히 Madison의 기후기록에 대해서는 최악년도 분석이 적당한 설계방법이다. 만약 100% 太陽熱 暖房이 목적이라면 몇년간의 자료나 최악년도에 의한 신중한 분석이 적당하다.

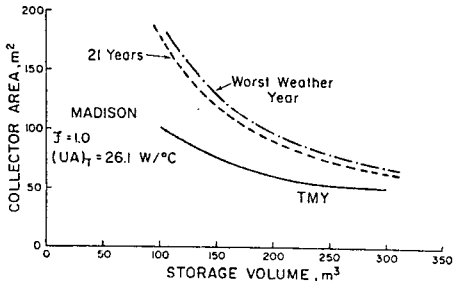


Fig.10. Comparison of collector area and storage volume requirements for 100 per cent solar heating using a design-year, 21-yr, and worst-year analysis

5. 結 論

특정한 시스템 性能을 위한 集熱器 面積의 큰 감소는 seasonal storage를 이용하여 이루어진다. 더욱 큰 감소는 북반구에서 일어나며, 負荷의 대부분이 太陽熱 시스템에 의해 공급된다.

Seasonal Sensible Storage 시스템의 설계는 이 論文에 요약된 설계방법을 사용하여 성취될 수 있다. 이 방법은 集熱器 面積에 대한 물의貯藏 體積의 비가 200 l/m²보다 클때 적용 가능하다. 費用에 따른 이 방법은 seasonal storage 시스템의 경제성을 연구하는데 使用된다.

이 論文에서 연구한 중요한 설계인자는 負荷 熱交換器의 크기, 탱크斷熱, 集熱器, 경사, 매년 기후변화 조건의 영향이다. 熱交換器 conduct-

ance(ϵC_{min})과 storage 탱크 열손실에 대한 conductance의 비는 가능한 90%의 性能 ($\epsilon C_{min} / (UA)_T = \infty$ 일때)을 얻기에 20% 더 큰 것이 적당하다.

Seasonal Storage 시스템의 최적 集熱器 設計는 대략 위도와 일치한다. 暖房負荷의 100%보다 작게 공급하기 위한 seasonal storage에 대해서는 1년의 설계년도가 長期 平均性能을 예측하는데 사용되는 것이 좋다. 100% 太陽熱 暖房을 위해서는 貯藏容量이 포함된 매년 모든 剩餘分을 허용할 만큼 충분히 크지 않다면, 1년의 설계년도를 사용해서 결정된 설계조건은 부적당하다. 만약, 100% 太陽熱 暖房이 목적이라면 몇년간의 자료나 최악년도의 자료를 사용하는 신중한 해석이 꼭 필요하다.

NOMENCLATURE

- Ac : 集熱器 面積
- cap_L : 單一 效果的 建物 capacitance
- cap_S : 貯藏 capacitance
- C_{min} : 負荷 熱交換器에 對한 最少 capacitance 率
- T : 太陽熱에 依한 年間 擔當負荷比率
- F_R : 集熱器 熱除去效率係數
- \overline{H}_T : 集熱器 表面에 每日 複寫되는 한달 日 均 複寫量
- H : 水平面에 每日 複寫되는 한달 平均 複寫量
- I_c : 臨界複寫水準
- I_T : 集熱器 表面에 複寫되는 瞬間 複寫量
- Q_A : 補助에 너지
- Q_B : 에너지 boil-off
- Q_L : 負荷率
- Q_{LS} : storage로부터 에너지 損失
- Q_S : storage로부터 暖房空間에의 에너지 供給量
- Q_U : 集熱된 에너지

- : 時間
- t_a : 大氣溫度
- t_b : 安全밸브溫度
- t_{da} : 한달 平均 낮의 大氣溫度
- t_F : 한달 맨 마지막 storage 溫度
- t_h : 負荷 熱交換器로 들어가는 動作物質
 : 의 溫度
- t_i : 集熱器 入口溫度
- t_I : 한달 처음의 storage 溫度
- t_{min} : 最少使用 storage 溫度
- t_R : 室內溫度
- t_{RL} : 最少許用 室內溫度
- t_{RH} : 最大許用 室內溫度
- t_T : 한달 平均 storage 溫度
- t_s : 地面 sink 溫度
- $(UA)_L$: 建物에서 熱損失에 對한 conductance
- $(UA)_T$: storage에서 熱損失에 對한 conductance
- J_L : 集熱器 損失係數
- J_T : 탱크損失係數
- V_T : 貯藏體積
- ΔU : 한달 storage의 內部에너지 變化
- ϵ : 熱交換器 效率
- f : 한달 平均 集熱器 利用度
- $(\tau\alpha)$: 透過率-吸收率의 곱
- : 에너지率 (energy rate)을 나타내는 기호

REFERENCES

1. E. Speyer, Optimum storage of heat with a solar house. Solar Energy 3(4), 24(1959)
2. S.A. Klein et al., A design procedure for solar heating systems. Solar Energy 18, 113 (1976)
3. S.A. Klein and W.A. Beckman, A general design method for closed-loop for energy systems. Solar Energy 22, 269(1979)
4. J.D. Balcomb and J.C. Hedstrom, A simplified method for sizing a solar collector array for space heating. Paper LAUR-76-160, Los Alamos Scientific Laboratory(1976)
5. SOLCOST, 1977, Solar hot water handbook, A simplified design method for sizing and costing residential and commercial solar hot water systems. ERDA, Rep. No. DSE-2531/2.
6. TRNSYS - A Transient Simulation Program, Engineering Experiment Station, Rep. 38, Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison.
7. H.C. Hottel and B.B. Woertz, Performance of flat-plate solar heat collectors. Trans. ASME 64, 91(1942)
8. J.E. Braun, Seasonal storage of energy in solar heating. M.S. Thesis, University of Wisconsin-Madison(1980).
9. W. Kays and A.L. London, Compact Heat Exchangers. McGraw-Hill, New York(1964).
10. S.A. Klein, A design procedure for solar heating systems. Ph. D. Thesis, University of Wisconsin - Madison, (1976).
11. P. J. Lunde, Prediction of the performance of solar heating systems utilizing annual storage. Solar Energy 22, 69(1979).
12. F. Baylin and S. Sillman, Systems analysis techniques for annual cycle thermal energy storage solar systems. Paper SERI/RR-721-676, Solar Energy Research Institute(1980).
13. S.A. Klein, Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces.

- Solar Energy 19, 325 (1977).
14. S.A.Klein, Calculation of the monthly average transmittance - absorptance product. Solar Energy (1981).
15. S.A.Klein, Calculation of flat-plate collector utilizability. Solar Energy 22, 393 (1978).
16. M.Collares -Pereira and A. Rabl, Simple procedure for predicting long-term average performance of nonconcentrating and of concentrating solar collectors. Solar Energy 23, 235 (1979).
17. B.Y.H.Liu and R.C. Jordan, The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors. Solar Energy 7, 53 (1963).
18. G.O.G.Löf and R.A. Tybout, Cost of house heating with solar energy. Solar Energy 14, 253 (1973).

APPENDIX (附錄)

Section 4.1에서 要約된 設計 절차의 例로서 Madison에 있는 seasonal sensible storage system의 性能이 2월달 (February)에 대하여 決定한다.

그 system parameter는 Table 1에 있고 아래와 같다.

$$A_c = 50 \text{ m}^2$$

$$V_T = 250 \text{ m}^3$$

$$\epsilon C_{\min} = 556 \text{ W/K}$$

$$(UA)_T = 27.8 \text{ W/K}$$

$$(UA)_L = 347 \text{ W/K}$$

$$T_{\text{SINK}} = 8.25 \text{ }^\circ\text{C}$$

2월달의 全体 degree days (DD), 水平面의 入射 複寫(F), 平均 낮 大氣溫度는

$$DD = 663 \text{ }^\circ\text{C days}$$

$$\bar{H} = 9.43 \text{ MJ/day-m}^2$$

$$\bar{T}_{da} = -4.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = 27.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

\bar{H}_T 는 [13]에 要約된 것처럼 決定된다.

이 예제의 條件에 대하여

$$\bar{H}_T = 14.9 \text{ MJ/day-m}^2$$

한달 맨 마지막 storage 溫度를 $26 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 假定한다면 平均溫度는

$$\bar{T}_T = (T_i + T_F) / 2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

集熱器의 한달 有用한 에너지는 다음과 같이 計算된다.

$$(1) I_c = \frac{U_L (\bar{T}_T - \bar{T}_{da})}{(\tau \alpha)} = 116 \text{ W/m}^2$$

(2) Ref. [15]와 이 예제의 條件을 使用하여 $\bar{\phi} = 0.744$

$$(3) Q_U = A_c F_R (\tau \alpha) \bar{H}_T \bar{\phi} N$$

$$= (50 \text{ m}^2) (0.93) (0.75) (14.9 \text{ MJ/day-m}^2) (0.744) (28 \text{ days})$$

$$= 10.82 \text{ GJ}$$

空間暖房負荷는

$$Q_L = (UA)_L DD \Delta t$$

$$= 19.89 \text{ GJ}$$

Storage로부터 에너지의 負荷로의 損失과 給된 에너지는

$$Q_{Ls} = (UA)_T (\bar{T}_T - T_s) \Delta t$$

$$= 1.26 \text{ GJ}$$

$$Q_s = \min(\epsilon C_{\min} (\bar{T}_T - T_R) \Delta t, Q_L)$$

$$= 12.10 \text{ GJ}$$

Storage의 内部 에너지 變化는

$$\Delta U = Q_U - Q_s - Q_{Ls}$$

$$= 10.82 \text{ GJ} - 12.10 \text{ GJ} - 1.26 \text{ GJ}$$

$$= -2.54 \text{ GJ}$$

最終 storage 溫度에 대한 새로운 假定은

$$T_F = \Delta U / \text{cap}_s + T_i$$

$$= -2.54 \text{ GJ} / (1.05 \text{ GJ/}^\circ\text{C}) + 27.9 \text{ }^\circ\text{C} = 25.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

만약 새로운 T_F 의 값으로 過程이 反復된다면 $25.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 最終溫度가 決定되고 아무런 附加

關係가 必要하지 않다. 이 달에 대하여 太陽
에 對해 擔當된 負荷比率은

$$T = \frac{Q_s}{Q_L} = 0.59$$

年 分析할때 그 달의 終 storage 溫度가 다

음 달의 처음 溫度로서 使用된다. 이러한 設計
過程은 年間 初期溫度와 最終溫度가 대략 같아
질 때까지 必要에 따라 여러 cycle을 反復한다

Table A1 은 1년동안의 이 예제에 system 에
대한 結果들을 말해주고 있다.

Table A1. Results of a yearly analysis for sensible storage

	\bar{H} (KJ/day -m ²)	\bar{H} (KJ/day -m ²)	DD (°C days)	\bar{T}_{da} (°C)	T_i (°C)	$\bar{\phi}$	Q_U (GJ)	Q_S (GJ)	Q_{Ls} (GJ)	ΔU (GJ)	Q_L (GJ)	F
March	13.48	17.25	571	1.3	25.8	.81	15.0	12.4	1.34	1.26	17.1	.72
April	16.87	17.54	354	8.7	26.8	.84	15.3	10.6	1.45	3.25	10.6	1.00
May	20.10	18.09	151	17.0	30.0	.85	16.7	4.5	1.98	10.22	4.5	1.00
June	24.77	21.09	29	24.7	39.6	.84	18.5	.9	2.77	14.83	.9	1.00
July	21.48	18.69	11	25.2	54.0	.73	14.9	.3	3.77	10.83	.3	1.00
August	19.74	19.35	30	22.8	64.0	.67	14.0	.9	4.46	8.64	.9	1.00
September	15.47	18.25	128	17.3	72.6	.60	11.4	3.8	4.72	2.88	3.8	1.00
October	10.13	14.69	235	13.4	75.0	.54	8.5	7.1	4.86	-3.46	7.1	1.00
November	6.30	11.03	452	5.0	72.0	.48	5.5	13.5	4.16	-12.16	13.5	1.00
December	5.16	10.22	661	-2.1	60.2	.51	5.7	19.8	3.25	-17.35	19.8	1.00
January	6.32	12.07	763	-5.1	43.6	.64	8.4	22.9	2.04	-16.54	22.9	1.00
February	9.43	14.90	663	-4.2	27.9	.75	10.9	11.8	1.24	-2.14	19.9	.59