

## เอกสารอ้างอิง

- ใจนุช จงรักษ์. ทันตรังสีวินิจฉัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เฮอร์บีคัพบลิตเซอร์; 2532.
- ชนะเพ็ญ ศรีสุวรรณ. ฟันที่ได้รับอุบัติเหตุ การวินิจฉัยและการรักษา. เชียงใหม่: กลางเวียงการพิมพ์; 2542.
- ธนาวุฒิ ประกอบผล. โครงข่ายประสาทเทียม. วารสาร มจร.วิชาการ. 2552; 12(24): 73-87.
- พรรณณี สุ่มสวัสดิ์, กฤษณา อธิฐรัตน์, ลัดดา เหลืองจามิกร, กาญจน์ เคาไวกุล, กอบกาญจน์ ทองประสม, วิไลวรรณ อเนกสุข, และคณะ. การตรวจพิเคราะห์โรคในช่องปาก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2531.
- ไพรัช ชีรวรางกูร. ทันตรังสีวิทยา. กรุงเทพฯ: บริษัท เพชรสยาม (1987) จำกัด; 2536.
- ศิริพร ทิมปาวัฒน์, นพคุณ วงษ์สวรรค์. ฟันที่ได้รับอุบัติเหตุ การตรวจ วินิจฉัย และรักษา. กรุงเทพฯ: ประชาชน; 2549.
- Bender FM, Andreasen JO. Resorption and mineralization process following root fracture of permanent incisors. **J Am Dent Assoc** 1983; 107: 595 – 600.
- Caliskan KMK, Pechlivan Y. Prognosis of root-fractured permanent incisors. **Endod Dent Traumatol** 1996; 12: 129 - 136.
- Cohen S, Blanco L, and Berman L. Vertical root fracture: clinical and radiography diagnosis. **American Dental Association** 2003; (134): 434 – 441.
- H M Huang, K L Ou, W N Wang, W T Chiu, C T Lin and S Y Lee. Dynamic Finite Element Analysis of the Human Maxillary Incisor Under Impact Loading in Various Directions. **American Association of Endodontists** 2005; (31): 723 – 727
- Ji-Un Lee, Ki-Jeong Kwon, and Kwang-Joon Koh. Diagnosis accuracy of artificially induced vertical root fracture: a comparison of direct digital periapical images with conventional periapical images. **Korean J Oral Maxillofac Radiol** 2004; (34): 185 – 90.
- Jongdee Kambungton, Apirum Janhom, Sangsom Prapaysatok, and Surawut Pongsiriwet. Assessment of vertical root fractures using three imaging modality: cone beam computed tomography, intraoral digital radiography and film. **National Graduate research conference** 2009; (25): 895-902.
- Kositbowornchai S, Nuansakul R, Sikram S, Sinahawattana S, and Saengmontri S. Root fracture detection : a comparison of digital radiography with conventional radiography. **Dentomaxillofac Radiol** 2001.; (30), 106-109.
- Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. **J Endod** 2003; (29): 523–528.
- Monagham P, Bajalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth. **J Endod** 1993; 19: 512 – 515.

**Reversing Tooth Decay** [online] [cited 2009 Mar 1]. Available from: <http://kakkabat.blogspot.com>

**Tooth Numbers Diagram** [online] [cited 2010 Sep 19]. Available from: <http://www.onedollardentist.com>

**Types Tooth** [online] [cited 2007 Sep 18]. Available from: <http://devilbio501.exteen.com>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ฝึกและทดสอบแบบจำลอง

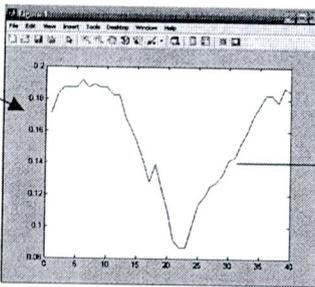
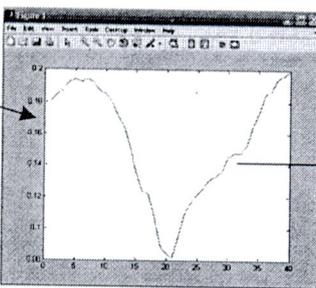
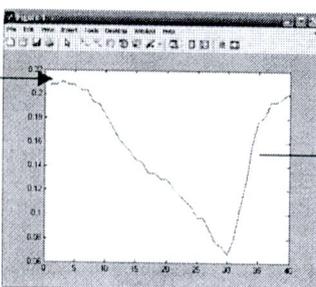
## ผังแสดงหัวข้อที่มีในภาคผนวก ก

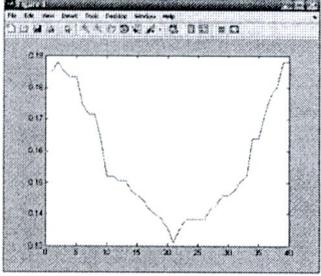
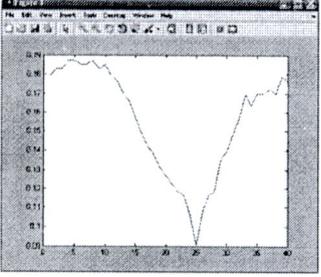
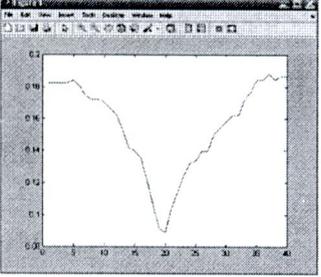
1. ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ฝึกและทดสอบแบบจำลอง
  - 1.1 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ฝึกแบบจำลอง กรณี มีรอยแตกหักของรากฟัน
  - 1.2 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง กรณี มีรอยแตกหักของรากฟัน
  - 1.3 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ฝึกแบบจำลอง กรณี ไม่มีรอยแตกหักของรากฟัน
  - 1.4 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง กรณี ไม่มีรอยแตกหักของรากฟัน

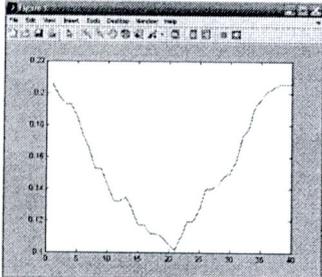
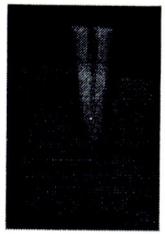
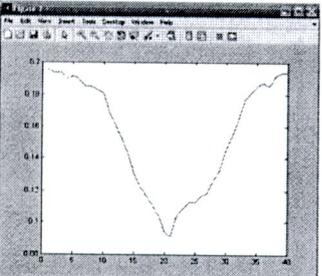
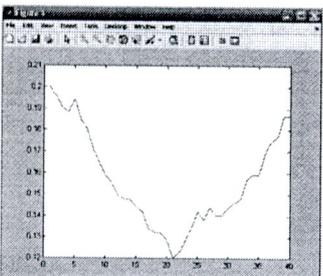


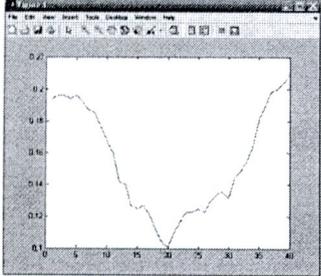
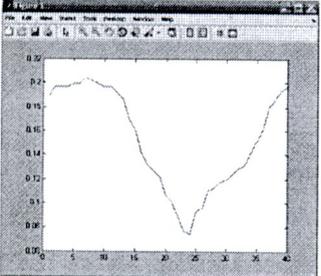
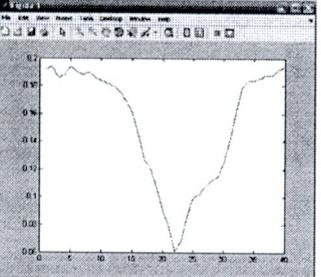
1. ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ฝึกและทดสอบแบบจำลอง

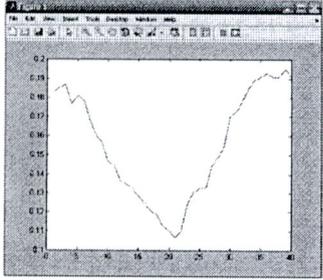
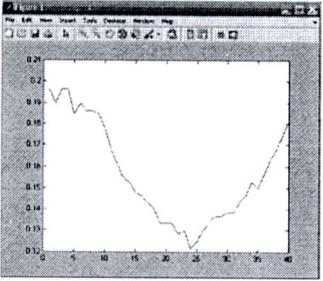
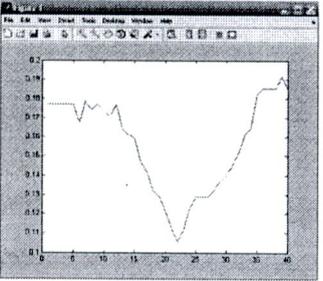
1.1 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพรังสีดิฟฟракชันที่ใช้ฝึกแบบจำลอง กรณี มีรอยแตกหักของรากฟัน

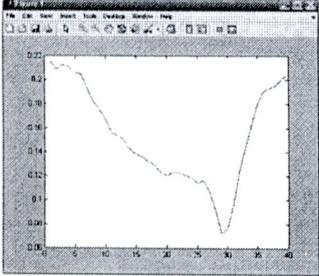
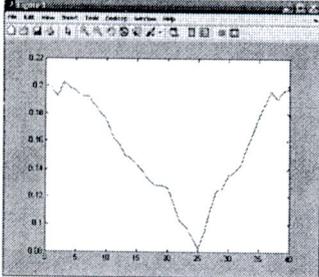
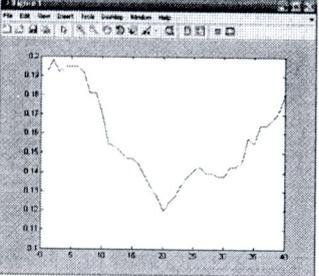
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
1	 <p>การตรวจสอบบริเวณที่มีรอยแตกหักได้โดยลากเส้นในแนวระดับจากซ้ายไปขวาดังรูป</p>	 <p>กราฟที่ได้จะเป็นค่าระดับความเทา 40 ค่าของภาพถ่ายรังสีที่ได้จากการวัดโดยการลากเส้น</p>	<p>[0.1712 0.1826 0.1872 0.1872 0.1872 0.1917 0.1872 0.1894 0.1872 0.1872 0.1826 0.1826 0.1689 0.1620 0.1529 0.1415 0.1278 0.1392 0.1233 0.1095 0.0913 0.0867 0.0867 0.1004 0.1141 0.1187 0.1255 0.1278 0.1324 0.1415 0.1438 0.1529 0.1598 0.1689 0.1758 0.1826 0.1826 0.1780 0.1872 0.1848]<sup>T</sup></p>
2			<p>[0.1803 0.1849 0.1873 0.1920 0.1943 0.1920 0.1943 0.1920 0.1873 0.1849 0.1803 0.1709 0.1639 0.1522 0.1358 0.1241 0.1217 0.1077 0.0889 0.0843 0.0820 0.0960 0.1100 0.1171 0.1217 0.1264 0.1311 0.1334 0.1358 0.1451 0.1475 0.1475 0.1522 0.1639 0.1732 0.1849 0.1873 0.1943 0.1966 0.1990]<sup>T</sup></p>
3			<p>[0.2081 0.2081 0.2104 0.2081 0.2081 0.2035 0.2035 0.1942 0.1919 0.1827 0.1734 0.1641 0.1572 0.1526 0.1457 0.1433 0.1341 0.1341 0.1295 0.1295 0.1225 0.1179 0.1110 0.1064 0.0971 0.0971 0.0879 0.0763 0.0740 0.0670 0.0810 0.1064 0.1295 0.1595 0.1781 0.1827 0.1942 0.1942 0.1989 0.2012]<sup>T</sup></p>

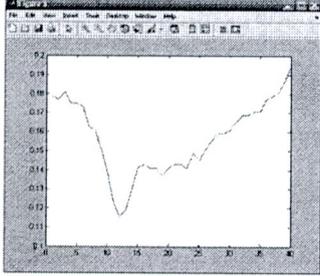
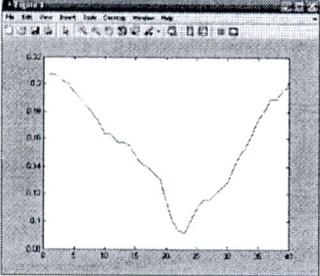
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
4			<p>[0.1850 0.1880 0.1850 0.1835  0.1835 0.1745 0.1715 0.1715  0.1640 0.1519 0.1519 0.1504  0.1504 0.1474 0.1459 0.1444  0.1414 0.1399 0.1384 0.1354  0.1309 0.1354 0.1384 0.1384  0.1384 0.1384 0.1414 0.1429  0.1459 0.1459 0.1474 0.1504  0.1519 0.1640 0.1640 0.1715  0.1775 0.1805 0.1880 0.1880]<sup>T</sup></p>
5			<p>[0.1787 0.1829 0.1829 0.1873  0.1873 0.1851 0.1851 0.1873  0.1829 0.1851 0.1787 0.1765  0.1700 0.1658 0.1571 0.1485  0.1421 0.1378 0.1313 0.1270  0.1227 0.1184 0.1163 0.1055  0.0904 0.1076 0.1163 0.1184  0.1356 0.1399 0.1485 0.1571  0.1700 0.1636 0.1700 0.1700  0.1722 0.1700 0.1787 0.1765]<sup>T</sup></p>
6			<p>[0.1823 0.1823 0.1823 0.1823  0.1844 0.1803 0.1743 0.1722  0.1722 0.1702 0.1662 0.1621  0.1520 0.1418 0.1398 0.1357  0.1216 0.1054 0.0912 0.0891  0.1033 0.1135 0.1236 0.1317  0.1337 0.1398 0.1398 0.1499  0.1540 0.1581 0.1621 0.1621  0.1722 0.1763 0.1844 0.1844  0.1884 0.1844 0.1864 0.1864]<sup>T</sup></p>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
7			<p>[0.2059 0.1983 0.1932 0.1932  0.1856 0.1729 0.1653 0.1526  0.1526 0.1424 0.1322 0.1322  0.1347 0.1271 0.1170 0.1170  0.1118 0.1118 0.1093 0.1043  0.1017 0.1093 0.1195 0.1195  0.1271 0.1398 0.1398 0.1424  0.1475 0.1500 0.1576 0.1729  0.1780 0.1907 0.1958 0.2009  0.2034 0.2059 0.2059 0.2059]<sup>T</sup></p>
8			<p>[0.1955 0.1935 0.1935 0.1893  0.1914 0.1893 0.1851 0.1851  0.1831 0.1810 0.1685 0.1602  0.1519 0.1435 0.1311 0.1227  0.1165 0.1102 0.1040 0.0936  0.0915 0.1040 0.1082 0.1123  0.1123 0.1165 0.1186 0.1269  0.1331 0.1456 0.1539 0.1643  0.1768 0.1810 0.1851 0.1872  0.1851 0.1914 0.1935 0.1935]<sup>T</sup></p>
9			<p>[0.2002 0.1963 0.1905 0.1886  0.1944 0.1846 0.1808 0.1711  0.1652 0.1594 0.1555 0.1497  0.1477 0.1477 0.1438 0.1419  0.1341 0.1322 0.1322 0.1283  0.1205 0.1225 0.1283 0.1341  0.1419 0.1380 0.1438 0.1400  0.1400 0.1438 0.1458 0.1477  0.1574 0.1594 0.1594 0.1691  0.1749 0.1769 0.1866 0.1866]<sup>T</sup></p>

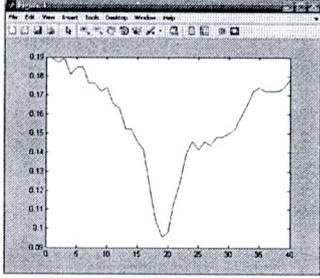
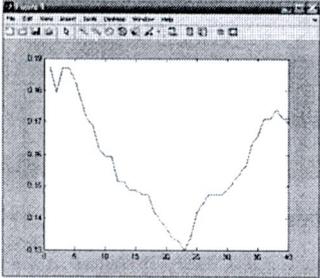
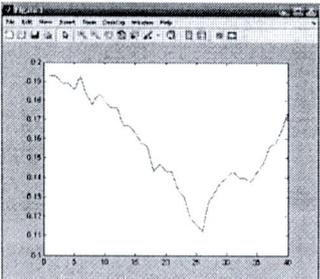
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
10			<p>[0.1937 0.1959 0.1959 0.1937  0.1959 0.1916 0.1873 0.1852  0.1765 0.1679 0.1593 0.1421  0.1399 0.1270 0.1249 0.1270  0.1205 0.1119 0.1033 0.1012  0.1098 0.1163 0.1227 0.1227  0.1249 0.1227 0.1292 0.1334  0.1356 0.1313 0.1442 0.1485  0.1550 0.1636 0.1808 0.1894  0.1981 0.2002 0.2045 0.2088]<sup>T</sup></p>
11			<p>[0.1895 0.1968 0.1968 0.1968  0.1991 0.1991 0.2039 0.2015  0.1991 0.1968 0.1968 0.1919  0.1872 0.1703 0.1607 0.1416  0.1320 0.1271 0.1224 0.1055  0.1008 0.0888 0.0768 0.0744  0.0935 0.0960 0.1104 0.1128  0.1176 0.1200 0.1247 0.1296  0.1320 0.1416 0.1512 0.1607  0.1799 0.1872 0.1943 0.1968]<sup>T</sup></p>
12			<p>[0.1919 0.1940 0.1858 0.1879  0.1940 0.1899 0.1879 0.1899  0.1858 0.1838 0.1817 0.1797  0.1756 0.1695 0.1613 0.1450  0.1266 0.1205 0.1062 0.0898  0.0796 0.0612 0.0674 0.0858  0.1001 0.1021 0.1082 0.1123  0.1143 0.1245 0.1409 0.1613  0.1797 0.1838 0.1838 0.1858  0.1879 0.1879 0.1919 0.1940]<sup>T</sup></p>

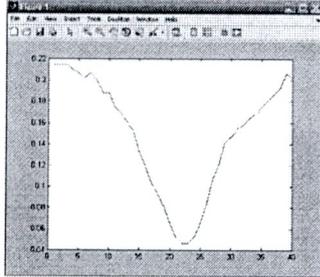
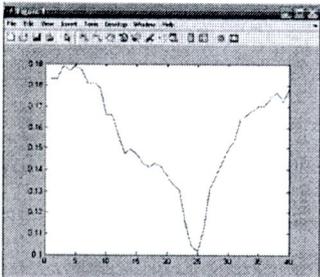
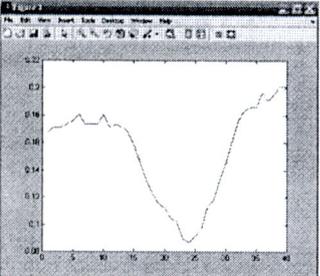
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
13			<p>[0.1829 0.1849 0.1869 0.1768  0.1808 0.1788 0.1688 0.1608  0.1568 0.1467 0.1447 0.1367  0.1346 0.1326 0.1286 0.1246  0.1206 0.1186 0.1125 0.1105  0.1065 0.1105 0.1246 0.1306  0.1326 0.1326 0.1447 0.1487  0.1548 0.1708 0.1728 0.1788  0.1849 0.1889 0.1909 0.1929  0.1909 0.1909 0.1949 0.1909]<sup>T</sup></p>
14			<p>[0.1964 0.1898 0.1964 0.1964  0.1848 0.1898 0.1864 0.1864  0.1848 0.1781 0.1681 0.1615  0.1548 0.1531 0.1481 0.1465  0.1432 0.1398 0.1332 0.1332  0.1332 0.1282 0.1298 0.1215  0.1248 0.1298 0.1332 0.1365  0.1365 0.1382 0.1382 0.1432  0.1465 0.1531 0.1498 0.1565  0.1631 0.1681 0.1748 0.1815]<sup>T</sup></p>
15			<p>[0.1771 0.1771 0.1771 0.1771  0.1771 0.1676 0.1787 0.1740  0.1771 0.1740 0.1707 0.1771  0.1643 0.1612 0.1596 0.1468  0.1420 0.1324 0.1292 0.1213  0.1133 0.1053 0.1117 0.1229  0.1292 0.1292 0.1292 0.1324  0.1372 0.1404 0.1452 0.1516  0.1612 0.1643 0.1819 0.1851  0.1851 0.1851 0.1915 0.1851]<sup>T</sup></p>

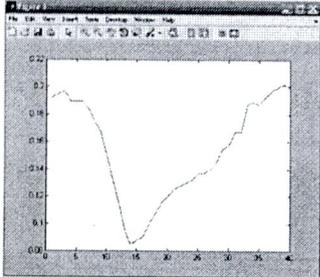
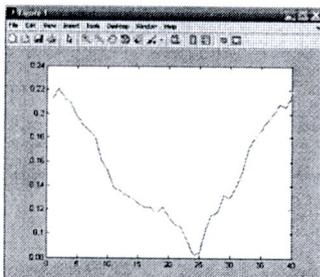
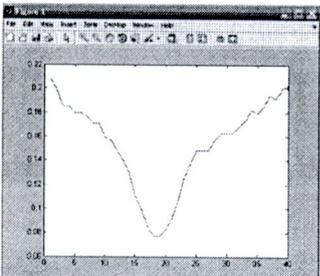
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
16			<p>[0.2150 0.2084 0.2129 0.2107  0.2063 0.2041 0.1931 0.1821  0.1755 0.1667 0.1558 0.1536  0.1492 0.1426 0.1383 0.1360  0.1317 0.1295 0.1229 0.1207  0.1229 0.1229 0.1207 0.1185  0.1141 0.1163 0.1075 0.0922  0.0724 0.0768 0.0965 0.1251  0.1448 0.1624 0.1800 0.1909  0.1931 0.1953 0.2019 0.2041]<sup>T</sup></p>
17			<p>[0.1988 0.1929 0.2027 0.1988  0.1968 0.1929 0.1929 0.1869  0.1811 0.1752 0.1634 0.1574  0.1496 0.1476 0.1437 0.1378  0.1318 0.1279 0.1279 0.1260  0.1142 0.1023 0.0984 0.0905  0.0827 0.0945 0.1102 0.1240  0.1260 0.1358 0.1378 0.1437  0.1555 0.1653 0.1771 0.1869  0.1968 0.1909 0.1968 0.1988]<sup>T</sup></p>
18			<p>[0.1917 0.1979 0.1917 0.1948  0.1948 0.1948 0.1917 0.1810  0.1810 0.1703 0.1549 0.1534  0.1503 0.1473 0.1473 0.1442  0.1380 0.1319 0.1273 0.1197  0.1242 0.1273 0.1335 0.1380  0.1411 0.1427 0.1396 0.1396  0.1380 0.1380 0.1427 0.1427  0.1457 0.1580 0.1549 0.1641  0.1641 0.1672 0.1718 0.1810]<sup>T</sup></p>

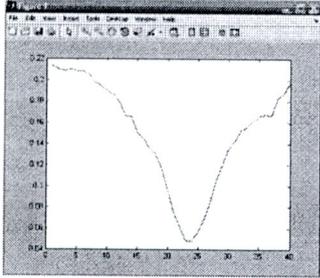
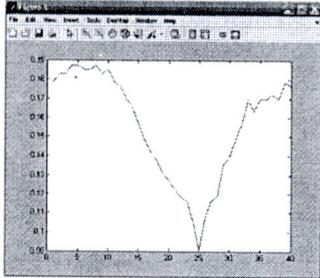
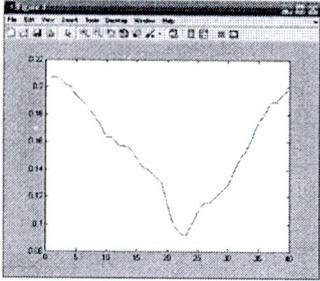
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
19			<p>[0.1789 0.1770 0.1810 0.1750  0.1750 0.1730 0.1631 0.1610  0.1511 0.1392 0.1233 0.1154  0.1193 0.1292 0.1412 0.1432  0.1412 0.1412 0.1372 0.1412  0.1432 0.1432 0.1412 0.1491  0.1452 0.1511 0.1551 0.1591  0.1591 0.1610 0.1650 0.1690  0.1690 0.1710 0.1710 0.1770  0.1789 0.1810 0.1869 0.1949]<sup>T</sup></p>
20			<p>[0.2070 0.2070 0.2027 0.2005  0.1940 0.1896 0.1852 0.1787  0.1722 0.1635 0.1635 0.1570  0.1570 0.1547 0.1482 0.1417  0.1395 0.1351 0.1308 0.1133  0.1003 0.0937 0.0915 0.1003  0.1090 0.1155 0.1155 0.1199  0.1242 0.1286 0.1395 0.1482  0.1547 0.1635 0.1744 0.1809  0.1896 0.1896 0.1961 0.1984]<sup>T</sup></p>

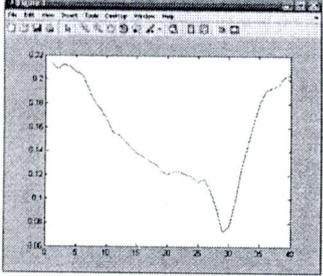
1.2 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพภาพรังสีดิคิตอลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง กรณี มีรอยแตกหักของรากฟัน

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
1			<p>[0.1894 0.1872 0.1894 0.1807  0.1850 0.1850 0.1763 0.1763  0.1720 0.1741 0.1654 0.1632  0.1524 0.1524 0.1458 0.1415  0.1219 0.1045 0.0957 0.0980  0.1132 0.1241 0.1393 0.1458  0.1415 0.1458 0.1437 0.1480  0.1480 0.1502 0.1524 0.1589  0.1654 0.1720 0.1741 0.1720  0.1720 0.1720 0.1741 0.1785]<sup>T</sup></p>
2			<p>[0.1871 0.1792 0.1871 0.1871  0.1832 0.1766 0.1712 0.1686  0.1619 0.1593 0.1593 0.1513  0.1513 0.1487 0.1487 0.1473  0.1473 0.1420 0.1394 0.1367  0.1341 0.1328 0.1301 0.1341  0.1420 0.1447 0.1473 0.1473  0.1473 0.1487 0.1513 0.1540  0.1566 0.1633 0.1659 0.1712  0.1712 0.1739 0.1712 0.1712]<sup>T</sup></p>
3			<p>[0.1927 0.1927 0.1890 0.1890  0.1854 0.1927 0.1836 0.1780  0.1836 0.1799 0.1762 0.1762  0.1670 0.1670 0.1633 0.1579  0.1560 0.1432 0.1468 0.1432  0.1432 0.1340 0.1303 0.1193  0.1157 0.1120 0.1267 0.1322  0.1377 0.1395 0.1432 0.1395  0.1395 0.1377 0.1432 0.1468  0.1560 0.1579 0.1652 0.1743]<sup>T</sup></p>

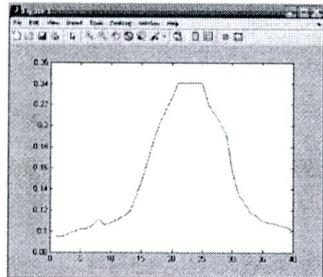
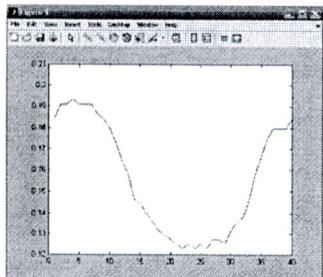
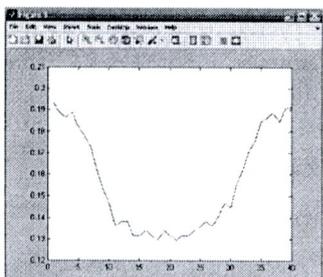
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
4			<p>[0.2145 0.2145 0.2145 0.2105  0.2065 0.2025 0.2065 0.2005  0.1884 0.1884 0.1744 0.1684  0.1604 0.1524 0.1323 0.1183  0.1023 0.0922 0.0802 0.0642  0.0521 0.0461 0.0461 0.0521  0.0662 0.0842 0.1062 0.1203  0.1423 0.1464 0.1544 0.1584  0.1644 0.1684 0.1744 0.1804  0.1865 0.1925 0.2065 0.2025]<sup>T</sup></p>
5			<p>[0.1829 0.1829 0.1892 0.1870  0.1892 0.1870 0.1808 0.1808  0.1788 0.1663 0.1663 0.1559  0.1476 0.1497 0.1476 0.1434  0.1414 0.1434 0.1414 0.1372  0.1330 0.1310 0.1143 0.1039  0.1019 0.1123 0.1310 0.1372  0.1434 0.1497 0.1538 0.1642  0.1663 0.1683 0.1705 0.1705  0.1746 0.1767 0.1725 0.1788]<sup>T</sup></p>
6			<p>[0.1684 0.1709 0.1709 0.1735  0.1760 0.1811 0.1735 0.1735  0.1735 0.1811 0.1709 0.1735  0.1709 0.1684 0.1582 0.1454  0.1327 0.1224 0.1148 0.1122  0.1046 0.1021 0.0893 0.0867  0.0919 0.0969 0.1122 0.1174  0.1327 0.1454 0.1608 0.1760  0.1837 0.1863 0.1863 0.1965  0.1913 0.1965 0.2015 0.2015]<sup>T</sup></p>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
7			<p>[0.1922 0.1947 0.1972 0.1897  0.1897 0.1897 0.1847 0.1747  0.1672 0.1498 0.1323 0.1148  0.0949 0.0849 0.0874 0.0899  0.0999 0.1073 0.1148 0.1198  0.1248 0.1273 0.1298 0.1323  0.1373 0.1373 0.1398 0.1448  0.1548 0.1573 0.1672 0.1672  0.1872 0.1897 0.1872 0.1922  0.1972 0.1997 0.2022 0.1997]<sup>T</sup></p>
8			<p>[0.2125 0.2208 0.2125 0.2084  0.1981 0.1898 0.1857 0.1795  0.1609 0.1527 0.1382 0.1362  0.1321 0.1300 0.1258 0.1217  0.1217 0.1176 0.1217 0.1135  0.1073 0.1052 0.0949 0.0825  0.0846 0.1032 0.1155 0.1176  0.1321 0.1300 0.1403 0.1527  0.1713 0.1795 0.1857 0.1939  0.2001 0.2084 0.2063 0.2167]<sup>T</sup></p>
9			<p>[0.2081 0.1995 0.1853 0.1853  0.1796 0.1796 0.1767 0.1711  0.1711 0.1596 0.1568 0.1482  0.1397 0.1311 0.1112 0.0998  0.0855 0.0770 0.0770 0.0827  0.0912 0.1055 0.1254 0.1368  0.1482 0.1482 0.1482 0.1568  0.1625 0.1625 0.1625 0.1682  0.1739 0.1825 0.1796 0.1853  0.1939 0.1910 0.1995 0.2024]<sup>T</sup></p>

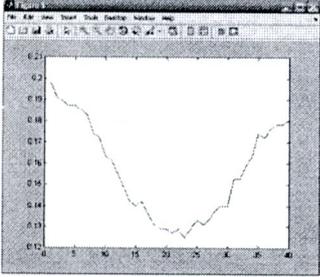
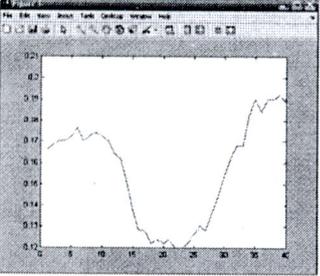
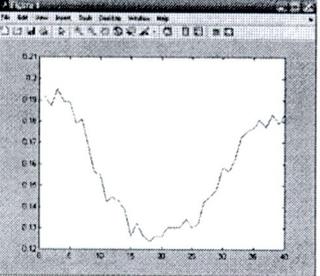
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
10			<p>[0.2137 0.2103 0.2086 0.2103  0.2086 0.2086 0.2052 0.1983  0.1949 0.1898 0.1864 0.1795  0.1659 0.1659 0.1505 0.1453  0.1351 0.1299 0.1163 0.0957  0.0752 0.0616 0.0479 0.0479  0.0564 0.0684 0.0838 0.1043  0.1197 0.1351 0.1419 0.1522  0.1556 0.1607 0.1659 0.1676  0.1659 0.1829 0.1864 0.1983]<sup>T</sup></p>
11			<p>[0.1787 0.1829 0.1829 0.1873  0.1873 0.1851 0.1851 0.1873  0.1829 0.1851 0.1787 0.1765  0.1700 0.1658 0.1571 0.1485  0.1421 0.1378 0.1313 0.1270  0.1227 0.1184 0.1163 0.1055  0.0904 0.1076 0.1163 0.1184  0.1356 0.1399 0.1485 0.1571  0.1700 0.1636 0.1700 0.1700  0.1722 0.1700 0.1787 0.1765]<sup>T</sup></p>
12			<p>[0.2070 0.2070 0.2027 0.2005  0.1940 0.1896 0.1852 0.1787  0.1722 0.1635 0.1635 0.1570  0.1570 0.1547 0.1482 0.1417  0.1395 0.1351 0.1308 0.1133  0.1003 0.0937 0.0915 0.1003  0.1090 0.1155 0.1155 0.1199  0.1242 0.1286 0.1395 0.1482  0.1547 0.1635 0.1744 0.1809  0.1896 0.1896 0.1961 0.1984]<sup>T</sup></p>

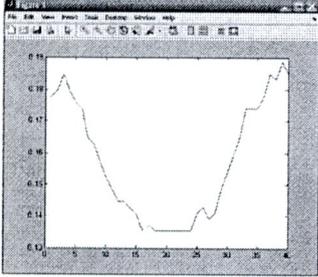
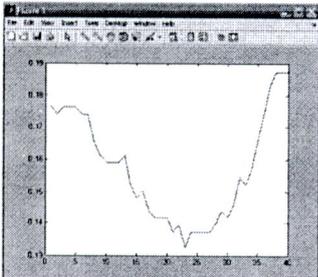
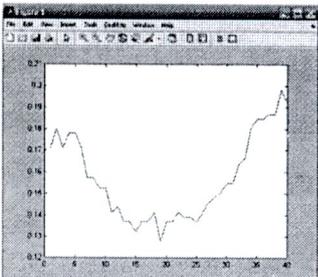
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
13			<p>[0.2150 0.2084 0.2129 0.2107  0.2063 0.2041 0.1931 0.1821  0.1755 0.1667 0.1558 0.1536  0.1492 0.1426 0.1383 0.1360  0.1317 0.1295 0.1229 0.1207  0.1229 0.1229 0.1207 0.1185  0.1141 0.1163 0.1075 0.0922  0.0724 0.0768 0.0965 0.1251  0.1448 0.1624 0.1800 0.1909  0.1931 0.1953 0.2019 0.2041]<sup>T</sup></p>

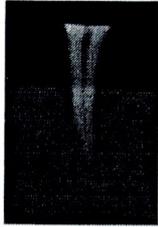
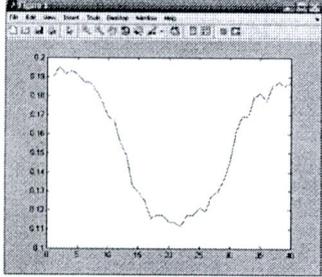
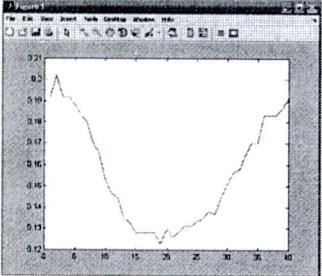
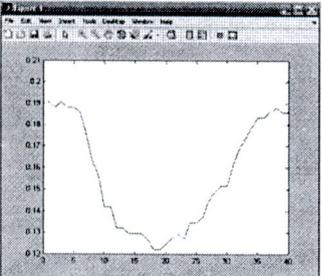
### 1.3 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ฝึกแบบจำลอง กรณี ไม่มีรอยแตกหักของรากฟัน

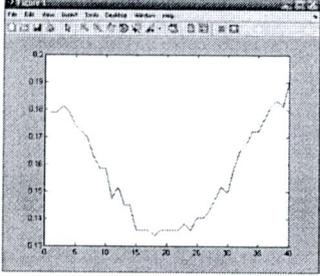
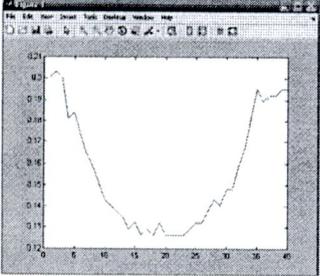
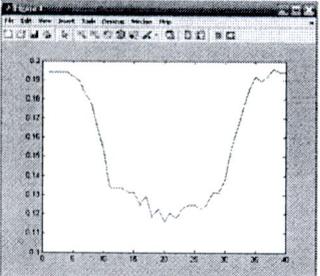
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
1	 <p>จากภาพถ่ายรังสีรากฟันนี้เป็นรากฟันปกติ แต่ได้รับการอุดคลองรากฟัน จึงทำให้เกิดความเทาของกราฟผิดเพี้ยน จากกราฟความเทาของรากฟันอื่น</p>		<p>[0.0952 0.0952 0.0976 0.1000 0.1024 0.1024 0.1048 0.1109 0.1060 0.1084 0.1109 0.1145 0.1181 0.1314 0.1470 0.1663 0.1868 0.2036 0.2157 0.2278 0.2410 0.2410 0.2410 0.2410 0.2410 0.2205 0.2121 0.2036 0.1916 0.1555 0.1350 0.1265 0.1169 0.1145 0.1097 0.1084 0.1072 0.1048 0.1037 0.1000]<sup>T</sup></p>
2			<p>[0.1844 0.1910 0.1910 0.1932 0.1910 0.1910 0.1910 0.1866 0.1844 0.1800 0.1734 0.1646 0.1581 0.1470 0.1449 0.1405 0.1361 0.1317 0.1295 0.1273 0.1251 0.1229 0.1251 0.1229 0.1251 0.1229 0.1273 0.1273 0.1251 0.1317 0.1361 0.1383 0.1470 0.1581 0.1668 0.1756 0.1800 0.1800 0.1800 0.1844]<sup>T</sup></p>
3			<p>[0.1933 0.1889 0.1867 0.1889 0.1823 0.1779 0.1735 0.1625 0.1537 0.1471 0.1362 0.1384 0.1384 0.1318 0.1318 0.1340 0.1318 0.1296 0.1340 0.1318 0.1296 0.1318 0.1318 0.1340 0.1362 0.1384 0.1362 0.1406 0.1471 0.1449 0.1559 0.1625 0.1713 0.1757 0.1845 0.1867 0.1889 0.1845 0.1911 0.1911]<sup>T</sup></p>

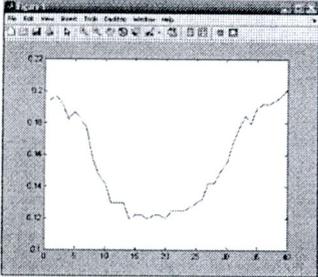
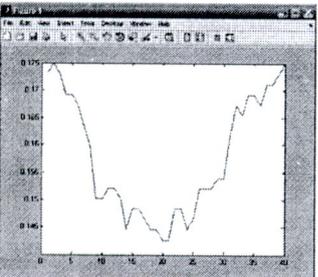
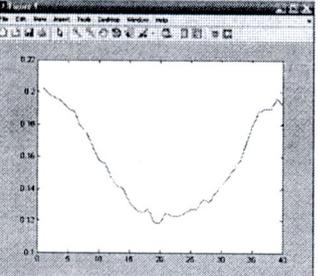


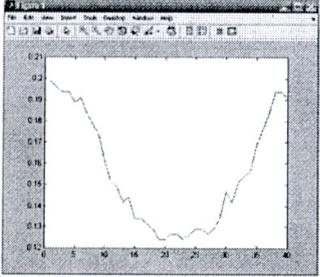
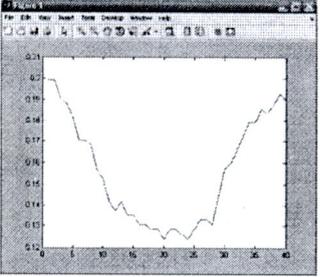
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
4			<p>[0.1980 0.1915 0.1894 0.1873            0.1873 0.1851 0.1829 0.1743            0.1722 0.1636 0.1614 0.1550            0.1485 0.1420 0.1399 0.1420            0.1356 0.1313 0.1291 0.1291            0.1270 0.1291 0.1249 0.1291            0.1334 0.1313 0.1334 0.1378            0.1399 0.1399 0.1528 0.1528            0.1593 0.1636 0.1743 0.1722            0.1765 0.1786 0.1786 0.1808]<sup>T</sup></p>
5			<p>[0.1663 0.1683 0.1703 0.1703            0.1724 0.1764 0.1703 0.1724            0.1744 0.1724 0.1703 0.1644            0.1623 0.1523 0.1383 0.1283            0.1283 0.1222 0.1242 0.1222            0.1242 0.1202 0.1202 0.1222            0.1263 0.1303 0.1283 0.1363            0.1443 0.1543 0.1623 0.1683            0.1683 0.1824 0.1904 0.1844            0.1904 0.1904 0.1924 0.1884]<sup>T</sup></p>
6			<p>[0.1914 0.1874 0.1955 0.1894            0.1894 0.1792 0.1812 0.1690            0.1568 0.1548 0.1425 0.1446            0.1425 0.1385 0.1262 0.1324            0.1262 0.1242 0.1262 0.1262            0.1303 0.1303 0.1303 0.1344            0.1303 0.1324 0.1425 0.1446            0.1487 0.1589 0.1568 0.1629            0.1731 0.1752 0.1772 0.1812            0.1772 0.1833 0.1792 0.1833]<sup>T</sup></p>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
7			<p>[0.1776 0.1794 0.1849 0.1794  0.1758 0.1739 0.1648 0.1629  0.1575 0.1520 0.1483 0.1446  0.1446 0.1428 0.1410 0.1355  0.1373 0.1355 0.1355 0.1355  0.1355 0.1355 0.1355 0.1355  0.1410 0.1428 0.1391 0.1410  0.1483 0.1538 0.1593 0.1648  0.1739 0.1739 0.1739 0.1776  0.1849 0.1831 0.1886 0.1849]<sup>T</sup></p>
8			<p>[0.1764 0.1742 0.1764 0.1764  0.1764 0.1742 0.1742 0.1655  0.1612 0.1590 0.1590 0.1590  0.1612 0.1524 0.1481 0.1503  0.1437 0.1416 0.1416 0.1416  0.1372 0.1394 0.1328 0.1372  0.1372 0.1372 0.1372 0.1394  0.1437 0.1416 0.1459 0.1546  0.1524 0.1568 0.1655 0.1742  0.1829 0.1873 0.1873 0.1873]<sup>T</sup></p>
9			<p>[0.1711 0.1802 0.1711 0.1780  0.1780 0.1711 0.1574 0.1574  0.1528 0.1528 0.1414 0.1437  0.1369 0.1369 0.1323 0.1369  0.1369 0.1414 0.1277 0.1369  0.1369 0.1414 0.1392 0.1392  0.1369 0.1414 0.1460 0.1483  0.1506 0.1551 0.1551 0.1643  0.1666 0.1802 0.1848 0.1848  0.1871 0.1871 0.1985 0.1916]<sup>T</sup></p>

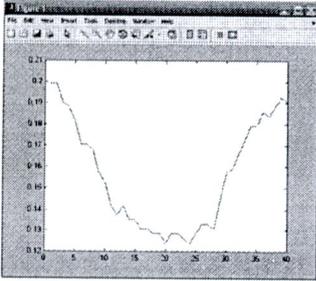
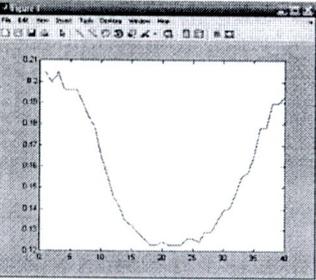
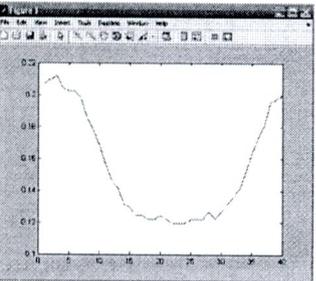
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
10			<p>[0.1892 0.1952 0.1913 0.1932  0.1913 0.1872 0.1872 0.1833  0.1773 0.1693 0.1673 0.1554  0.1494 0.1334 0.1295 0.1255  0.1156 0.1175 0.1175 0.1135  0.1135 0.1116 0.1175 0.1175  0.1215 0.1195 0.1275 0.1295  0.1355 0.1454 0.1613 0.1693  0.1693 0.1793 0.1813 0.1773  0.1853 0.1872 0.1853 0.1872]<sup>T</sup></p>
11			<p>[0.1920 0.2020 0.1920 0.1920  0.1886 0.1835 0.1801 0.1701  0.1650 0.1532 0.1465 0.1448  0.1347 0.1330 0.1279 0.1279  0.1279 0.1279 0.1229 0.1297  0.1263 0.1279 0.1313 0.1313  0.1330 0.1347 0.1381 0.1364  0.1448 0.1515 0.1566 0.1583  0.1650 0.1701 0.1701 0.1835  0.1835 0.1835 0.1869 0.1920]<sup>T</sup></p>
12			<p>[0.1908 0.1884 0.1908 0.1884  0.1884 0.1859 0.1762 0.1639  0.1566 0.1419 0.1419 0.1321  0.1321 0.1296 0.1296 0.1296  0.1272 0.1223 0.1223 0.1248  0.1272 0.1296 0.1272 0.1346  0.1346 0.1370 0.1444 0.1492  0.1517 0.1517 0.1615 0.1688  0.1737 0.1786 0.1835 0.1835  0.1859 0.1884 0.1859 0.1859]<sup>T</sup></p>

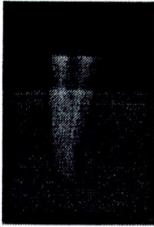
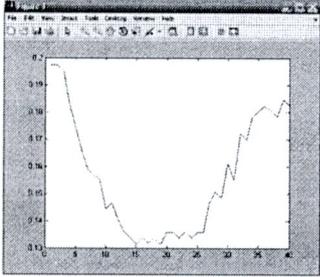
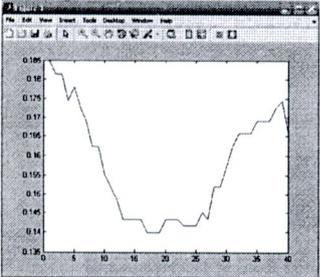
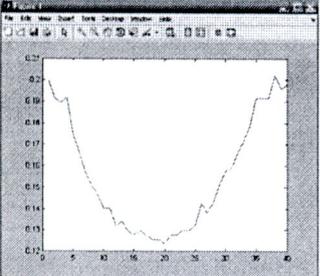
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
13			[0.1790 0.1790 0.1812 0.1790 0.1745 0.1722 0.1699 0.1632 0.1586 0.1586 0.1473 0.1518 0.1450 0.1450 0.1359 0.1359 0.1359 0.1337 0.1359 0.1359 0.1359 0.1359 0.1382 0.1359 0.1404 0.1404 0.1428 0.1473 0.1518 0.1495 0.1586 0.1654 0.1677 0.1722 0.1722 0.1767 0.1812 0.1835 0.1812 0.1903] <sup>T</sup>
14			[0.2006 0.2033 0.2006 0.1813 0.1841 0.1731 0.1649 0.1594 0.1511 0.1429 0.1401 0.1374 0.1347 0.1291 0.1319 0.1264 0.1291 0.1264 0.1319 0.1264 0.1264 0.1264 0.1264 0.1291 0.1319 0.1319 0.1374 0.1429 0.1401 0.1484 0.1484 0.1594 0.1676 0.1813 0.1951 0.1896 0.1923 0.1923 0.1951 0.1951] <sup>T</sup>
15			[0.1939 0.1939 0.1939 0.1939 0.1917 0.1894 0.1828 0.1783 0.1649 0.1538 0.1337 0.1337 0.1337 0.1315 0.1315 0.1248 0.1293 0.1181 0.1226 0.1159 0.1204 0.1181 0.1226 0.1248 0.1248 0.1226 0.1248 0.1315 0.1315 0.1382 0.1538 0.1649 0.1761 0.1850 0.1917 0.1894 0.1917 0.1961 0.1939 0.1939] <sup>T</sup>

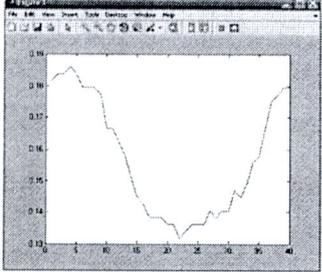
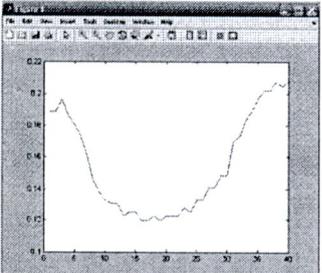
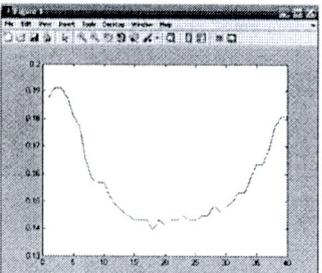
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
16			[0.1943 0.1968 0.1918 0.1819 0.1868 0.1819 0.1768 0.1570 0.1470 0.1420 0.1295 0.1295 0.1295 0.1195 0.1221 0.1221 0.1195 0.1221 0.1221 0.1195 0.1246 0.1246 0.1246 0.1270 0.1295 0.1320 0.1420 0.1420 0.1495 0.1544 0.1669 0.1768 0.1843 0.1794 0.1893 0.1918 0.1918 0.1943 0.1968 0.2017] <sup>T</sup>
17			[0.1731 0.1750 0.1731 0.1692 0.1692 0.1673 0.1636 0.1597 0.1502 0.1502 0.1521 0.1521 0.1502 0.1445 0.1483 0.1483 0.1464 0.1445 0.1445 0.1426 0.1426 0.1483 0.1483 0.1445 0.1464 0.1521 0.1521 0.1521 0.1540 0.1540 0.1616 0.1673 0.1655 0.1692 0.1692 0.1673 0.1711 0.1711 0.1731 0.1750] <sup>T</sup>
18			[0.2024 0.1981 0.1960 0.1938 0.1895 0.1874 0.1787 0.1744 0.1658 0.1572 0.1551 0.1465 0.1421 0.1400 0.1314 0.1271 0.1249 0.1271 0.1184 0.1184 0.1249 0.1227 0.1227 0.1249 0.1271 0.1271 0.1335 0.1314 0.1378 0.1421 0.1465 0.1529 0.1572 0.1680 0.1787 0.1874 0.1895 0.1895 0.1960 0.1917] <sup>T</sup>

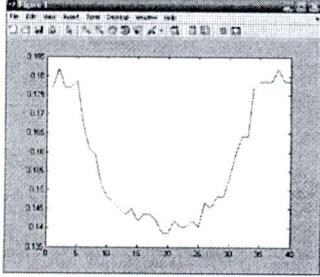
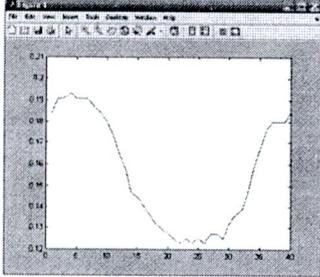
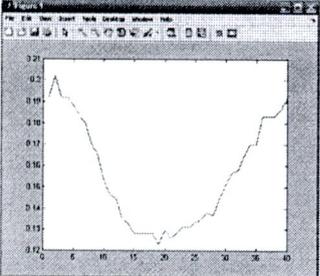
ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
19			<p>[0.1987 0.1963 0.1938 0.1938  0.1888 0.1913 0.1838 0.1789  0.1739 0.1615 0.1515 0.1491  0.1416 0.1441 0.1342 0.1342  0.1316 0.1292 0.1242 0.1242  0.1267 0.1267 0.1242 0.1267  0.1292 0.1292 0.1267 0.1292  0.1342 0.1466 0.1416 0.1515  0.1540 0.1565 0.1690 0.1764  0.1838 0.1938 0.1938 0.1913]<sup>T</sup></p>
20			<p>[0.1993 0.1993 0.1905 0.1882  0.1816 0.1706 0.1706 0.1683  0.1572 0.1528 0.1418 0.1373  0.1418 0.1351 0.1351 0.1307  0.1307 0.1285 0.1285 0.1240  0.1285 0.1285 0.1262 0.1240  0.1285 0.1329 0.1329 0.1307  0.1440 0.1572 0.1595 0.1661  0.1728 0.1794 0.1794 0.1860  0.1838 0.1882 0.1927 0.1905]<sup>T</sup></p>

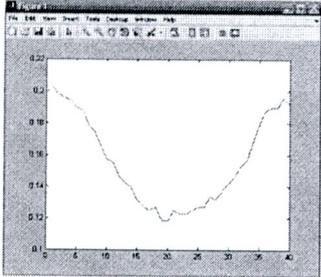
1.4 ตัวอย่างข้อมูลจากภาพภาพรังสีดิจิทัลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง กรณี ไม่มีรอยแตกหักของรากฟัน

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
1			<p>[0.1722 0.1755 0.1872 0.1855  0.1755 0.1688 0.1722 0.1638  0.1588 0.1538 0.1471 0.1471  0.1454 0.1438 0.1454 0.1421  0.1371 0.1371 0.1371 0.1354  0.1371 0.1371 0.1354 0.1404  0.1404 0.1438 0.1454 0.1471  0.1488 0.1555 0.1588 0.1621  0.1688 0.1755 0.1755 0.1755  0.1789 0.1789 0.1755 0.1789]<sup>T</sup></p>
2			<p>[0.2045 0.1996 0.2045 0.1963  0.1963 0.1963 0.1898 0.1832  0.1783 0.1652 0.1554 0.1456  0.1407 0.1341 0.1325 0.1292  0.1260 0.1227 0.1227 0.1243  0.1227 0.1227 0.1227 0.1260  0.1260 0.1243 0.1292 0.1292  0.1341 0.1390 0.1407 0.1472  0.1554 0.1570 0.1652 0.1783  0.1783 0.1898 0.1898 0.1930]<sup>T</sup></p>
3			<p>[0.2073 0.2098 0.2122 0.2049  0.2024 0.2024 0.1975 0.1853  0.1781 0.1683 0.1561 0.1463  0.1415 0.1317 0.1292 0.1244  0.1244 0.1220 0.1220 0.1244  0.1220 0.1195 0.1195 0.1195  0.1220 0.1220 0.1220 0.1268  0.1220 0.1268 0.1317 0.1366  0.1415 0.1512 0.1634 0.1731  0.1805 0.1951 0.1975 0.2000]<sup>T</sup></p>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
4			[0.1975 0.1975 0.1954 0.1826 0.1741 0.1656 0.1592 0.1571 0.1550 0.1444 0.1465 0.1401 0.1359 0.1338 0.1316 0.1338 0.1316 0.1338 0.1316 0.1359 0.1359 0.1338 0.1359 0.1338 0.1359 0.1359 0.1465 0.1507 0.1486 0.1614 0.1550 0.1720 0.1699 0.1784 0.1805 0.1826 0.1805 0.1784 0.1847 0.1826] <sup>T</sup>
5			[0.1848 0.1813 0.1813 0.1744 0.1779 0.1727 0.1692 0.1623 0.1623 0.1554 0.1520 0.1485 0.1433 0.1433 0.1433 0.1433 0.1399 0.1399 0.1399 0.1433 0.1433 0.1433 0.1416 0.1416 0.1416 0.1451 0.1433 0.1520 0.1520 0.1572 0.1623 0.1658 0.1658 0.1658 0.1692 0.1692 0.1692 0.1727 0.1744 0.1658] <sup>T</sup>
6			[0.2002 0.1916 0.1895 0.1916 0.1746 0.1661 0.1576 0.1512 0.1470 0.1405 0.1405 0.1320 0.1342 0.1299 0.1278 0.1299 0.1278 0.1257 0.1257 0.1235 0.1278 0.1278 0.1299 0.1299 0.1320 0.1427 0.1384 0.1427 0.1512 0.1576 0.1597 0.1661 0.1725 0.1789 0.1916 0.1916 0.1916 0.2023 0.1959 0.1981] <sup>T</sup>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
7			[0.1816 0.1838 0.1838 0.1860 0.1838 0.1795 0.1795 0.1795 0.1773 0.1665 0.1665 0.1621 0.1578 0.1513 0.1448 0.1427 0.1384 0.1384 0.1384 0.1362 0.1362 0.1319 0.1340 0.1362 0.1362 0.1362 0.1405 0.1384 0.1405 0.1405 0.1470 0.1448 0.1492 0.1557 0.1578 0.1665 0.1751 0.1773 0.1795 0.1795] <sup>T</sup>
8			[0.1885 0.1885 0.1965 0.1859 0.1806 0.1726 0.1620 0.1461 0.1381 0.1328 0.1302 0.1302 0.1222 0.1248 0.1248 0.1195 0.1195 0.1222 0.1195 0.1222 0.1222 0.1222 0.1275 0.1248 0.1328 0.1328 0.1407 0.1407 0.1487 0.1487 0.1700 0.1726 0.1833 0.1885 0.1965 0.2018 0.2018 0.2072 0.2045 0.2072] <sup>T</sup>
9			[0.1877 0.1911 0.1911 0.1877 0.1808 0.1773 0.1653 0.1584 0.1567 0.1567 0.1515 0.1481 0.1463 0.1446 0.1429 0.1429 0.1429 0.1394 0.1429 0.1412 0.1429 0.1429 0.1446 0.1429 0.1429 0.1446 0.1446 0.1481 0.1463 0.1481 0.1498 0.1532 0.1532 0.1584 0.1635 0.1635 0.1687 0.1773 0.1808 0.1808] <sup>T</sup>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
10			<p>[0.1770 0.1818 0.1770 0.1770            0.1786 0.1674 0.1611 0.1595            0.1515 0.1483 0.1467 0.1451            0.1435 0.1451 0.1419 0.1435            0.1435 0.1419 0.1387 0.1387            0.1419 0.1403 0.1403 0.1419            0.1403 0.1467 0.1451 0.1483            0.1483 0.1531 0.1595 0.1642            0.1642 0.1770 0.1786 0.1786            0.1786 0.1818 0.1786 0.1786]<sup>T</sup></p>
11			<p>[0.1844 0.1910 0.1910 0.1932            0.1910 0.1910 0.1910 0.1866            0.1844 0.1800 0.1734 0.1646            0.1581 0.1470 0.1449 0.1405            0.1361 0.1317 0.1295 0.1273            0.1251 0.1229 0.1251 0.1229            0.1251 0.1229 0.1273 0.1273            0.1251 0.1317 0.1361 0.1383            0.1470 0.1581 0.1668 0.1756            0.1800 0.1800 0.1800 0.1844]<sup>T</sup></p>
12			<p>[0.1920 0.2020 0.1920 0.1920            0.1886 0.1835 0.1801 0.1701            0.1650 0.1532 0.1465 0.1448            0.1347 0.1330 0.1279 0.1279            0.1279 0.1279 0.1229 0.1297            0.1263 0.1279 0.1313 0.1313            0.1330 0.1347 0.1381 0.1364            0.1448 0.1515 0.1566 0.1583            0.1650 0.1701 0.1701 0.1835            0.1835 0.1835 0.1869 0.1920]<sup>T</sup></p>

ลำดับ	ภาพ	กราฟ	ข้อมูล
13			<p>[0.2024 0.1981 0.1960 0.1938  0.1895 0.1874 0.1787 0.1744  0.1658 0.1572 0.1551 0.1465  0.1421 0.1400 0.1314 0.1271  0.1249 0.1271 0.1184 0.1184  0.1249 0.1227 0.1227 0.1249  0.1271 0.1271 0.1335 0.1314  0.1378 0.1421 0.1465 0.1529  0.1572 0.1680 0.1787 0.1874  0.1895 0.1895 0.1960 0.1917]<sup>T</sup></p>

ภาคผนวก ข  
การหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size)

### การหาขนาดตัวอย่าง (sample size)

โดยเริ่มจากการทดลองกดแรงลงที่รอกฟันจนรอกฟันเกิดรอยแตกด้วยเครื่อง Universal Testing Machine จำนวน 5 ซี่ จะได้แรงที่สูงที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกของรอกฟัน ดังตารางที่ ข1

ตารางที่ ข1. แสดงแรงที่สูงที่สุด ที่กดรอกฟันจนเกิดรอยแตก จำนวน 5 ซี่

ลำดับที่	แรงกดฟันสูงสุด(N)
1	594.3
2	349
3	254.9
4	359.9
5	581.6

เมื่อต้องการหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

จากสมการ 
$$N_T = \left[ \frac{t_{N-1, 95\%}}{d} \right]^2 \quad (1)$$

จากตารางที่ 1 นำมาหาค่าทางสถิติ จะได้ดังตารางที่ ข2 นี้

ตารางที่ ข2. แสดงค่าสถิติที่ได้จากตาราง ข1

ลำดับที่	$x_i$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	594.3	166.36	27675.65
2	349	-78.94	6231.52
3	254.9	-173.04	29942.84
4	359.9	-68.04	4629.44
5	581.6	155.66	23611.40

$$\sum x_i = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$$

$$\sum x_i = 594.3 + 349 + 254.9 + 359.9 + 581.6 = 2,139.70$$

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N} = \frac{2139.70}{5} = 427.94$$

$$\sum x_i^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2$$

$$\sum x_i^2 = 594.3^2 + 349^2 + 254.9^2 + 359.9^2 + 581.6^2 = 1,007,754.07$$

ต้องการหา ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

จากสูตร 
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1007754.07 - \frac{[2139.7]^2}{5}}{5-1}} = 151.73$$

ที่ 95% confidence interval

$$CI = \pm t_{v,95} S_{\bar{x}} = \pm t_{v,95} \frac{S_x}{\sqrt{5}}$$

จากตาราง student-t distribution จะได้ว่า

ที่  $N = 5, V = 4, t_{4,95} = 2.770$

$N = 4, V = 3, t_{3,95} = 3.182$

ดังนั้น

$$CI = \frac{2.770 \times 151.73}{\sqrt{5}} = 187.96$$

one-sided precision(d)

$$d = \frac{CI}{2}$$

จะได้ว่า  $d = \frac{187.96}{2} = 93.98$

จากสมการที่ (1) แทนค่าตัวแปรลงในสมการจะได้

$$N_T \approx \left( \frac{3.182 \times 151.73}{93.98} \right)^2 \approx 26.39$$

ดังนั้น ต้องใช้ตัวอย่างพื้นที่ทั้งหมด 27 ซี่

แต่ทำไปแล้ว 5 ซี่ จึงต้องทดสอบพื้นที่อีก 22 ซี่

ที่ 99% confidence interval

จากตาราง student-t distribution จะได้ว่า

ที่  $N = 5, V = 4, t_{4,99} = 4.604$

$N = 4, V = 3, t_{3,99} = 5.841$

$$CI = \frac{4.604 \times 151.73}{\sqrt{5}} = 312.41$$

$$d = \frac{312.41}{2} = 156.21$$

จากสมการที่ (1) แทนค่าจะได้

$$N_T \approx \left( \frac{5.841 \times 151.73}{156.21} \right)^2 \approx 32.19$$

ดังนั้น ต้องใช้ตัวอย่างพื้นที่ทั้งหมด 33 ซี่

แต่ทำไปแล้ว 5 ซี่ จึงต้องทดสอบพื้นที่อีก 28 ซี่

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งจำนวนพื้นที่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มของรากพื้นที่ไม่มีรอยแตกของราก จำนวน 33 ซี่ และกลุ่มทดลอง เป็นกลุ่มที่ต้องการสร้างรอยแตกให้กับรากพื้นที่ จำนวน 33 ซี่ แต่เนื่องจากกระบวนการในการวินิจฉัยรอยแตกของรากพื้นที่ด้วยเครื่องถ่ายภาพประสาทเทียม ยังไม่สามารถแยกรากพื้นที่ที่มีรอยแตกและรากพื้นที่ที่ไม่มีรอยแตกออกจากกันได้ จึงต้องมีการเพิ่มจำนวนพื้นที่ โดยในกลุ่มทดลองเพิ่มเป็น 150 ซี่ ในขณะที่กลุ่มควบคุมเพิ่มเป็น 50 ซี่ เพื่อเพิ่มข้อมูลให้กับเครื่องถ่ายภาพประสาทเทียม ทำให้เกิดความแม่นยำของแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

ภาคผนวก ก  
ตารางการแจกแจงแบบที



ตารางที่ ก.1 ตารางการแจกแจงแบบที

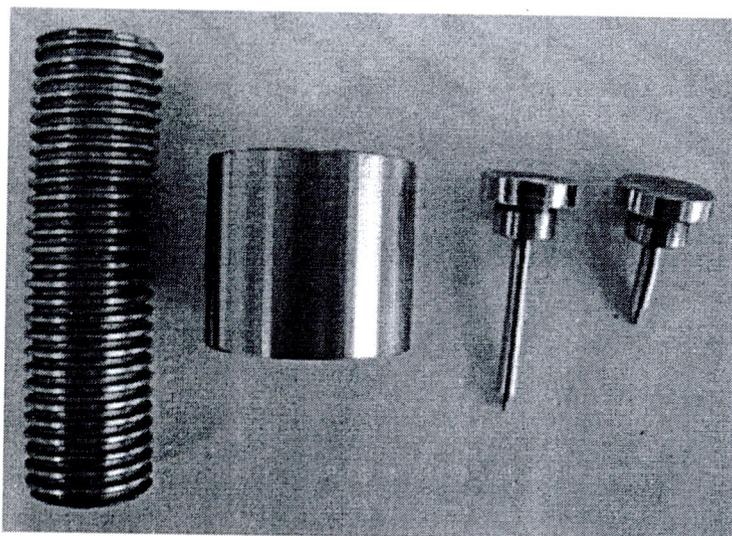
cum. prob one-tail two-tails	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$	
	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.001	0.0005
df												
1	0.000	1.000	1.376	1.983	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62	
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.985	9.925	22.327	31.599	
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924	
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.778	3.747	4.604	7.173	8.610	
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.478	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869	
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959	
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408	
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041	
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.282	2.821	3.250	4.297	4.781	
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587	
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.719	3.106	4.025	4.437	
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.691	3.055	3.930	4.318	
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221	
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140	
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073	
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015	
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965	
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922	
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883	
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850	
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819	
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792	
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768	
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745	
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725	
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707	
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690	
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674	
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659	
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646	
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551	
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.298	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460	
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416	
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390	
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300	
<b>Z</b>	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%	
	Confidence Level											

ภาคผนวก ง

รายละเอียดการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวดรากลึง

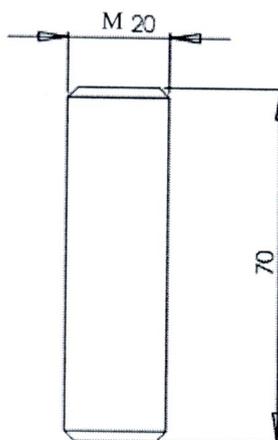
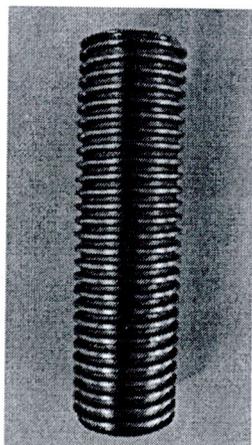
## รายละเอียดการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการกดรากฟัน

เนื่องจากในการทดสอบกดฟันเพื่อสร้างรอยแตกของรากฟันด้วย Universal Testing Machine จึงต้อง ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์เพื่อติดตั้งเข้ากับตัวเครื่อง ดังนี้



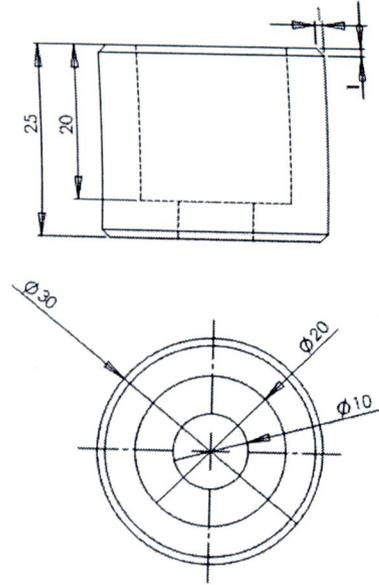
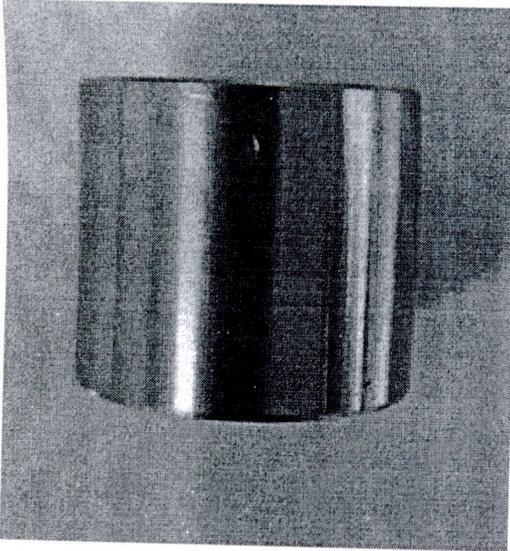
ภาพที่.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้กดฟัน

### 1. สลักเกลียวตัวผู้



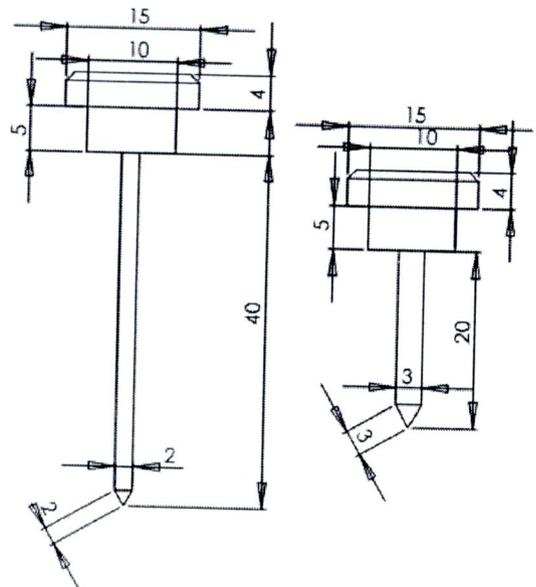
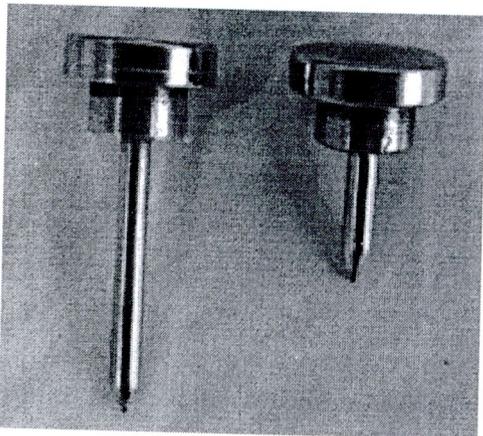
ภาพที่.2 แสดงสลักเกลียวตัวผู้และการออกแบบหน่วยมิลลิเมตร

## 2. สลักเกลียวตัวเมีย



ภาพที่ ๓.๓ แสดงสลักเกลียวตัวเมียและการออกแบบหน่วยมิลลิเมตร

## 3. ลิ้ม



ภาพที่ ๓.๔ แสดงลิ้มและการออกแบบหน่วยมิลลิเมตร

ภาคผนวก จ

ตารางแรงสูงสุดที่ทำให้รากฟันแตกที่บันทึกได้จาก **Universal Testing Machine**

ตารางที่ จ.1 แรงสูงสุดที่ทำให้รากฟันเกิดรอยแตกที่บันทึกได้จาก Universal Testing Machine

ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)
1	116.25	26	166.68	51	160.47	76	184.87
2	190.52	27	450.42	52	245.08	77	235.10
3	223.77	28	505.17	53	165.23	78	95.54
4	378.54	29	237.58	54	128.77	79	196.13
5	276.99	30	190.69	55	155.30	80	151.63
6	284.51	31	169.96	56	106.88	81	500
7	218.14	32	109.15	57	101.23	82	388.54
8	389.24	33	114.83	58	181.41	83	223.59
9	360.89	34	215.88	59	364.55	84	144.95
10	123.98	35	167.35	60	246.75	85	240.19
11	214.53	36	657.04	61	299.32	86	122.98
12	150.04	37	121.08	62	198.59	87	129.84
13	161.98	38	211.73	63	352.95	88	137.95
14	272.41	39	204.28	64	299.06	89	161.98
15	177.25	40	189.50	65	215.22	90	229.58
16	212.19	41	174.15	66	178.30	91	147.14
17	201.70	42	175.30	67	126.34	92	255.60
18	207.29	43	158.54	68	123.76	93	206.41
19	549.31	44	218.83	69	140.79	94	594.3
20	242.02	45	78.56	70	178.63	95	250.3
21	197.58	46	146.67	71	141.08	96	349
22	386.87	47	346.88	72	227.43	97	254.9
23	629.04	48	142.54	73	124.92	98	488.1
24	145.33	49	180.31	74	121.81	99	359.9
25	206.92	50	451.50	75	248.13	100	488

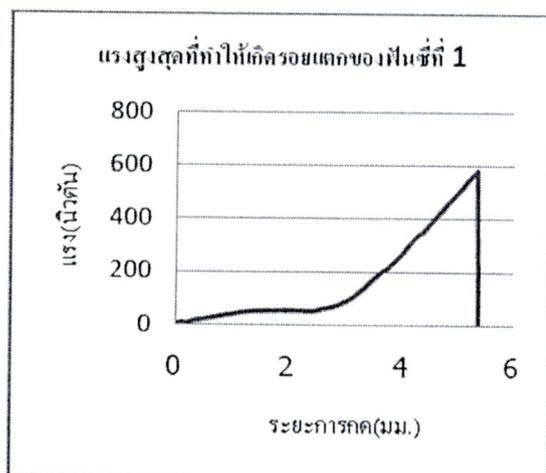
ตารางที่ จ.1 แรงสูงสุดที่ทำให้รากฟันเกิดรอยแตกที่บันทึกได้จาก Universal Testing Machine(ต่อ)

ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)	ลำดับที่	แรง(N)
101	581.6	114	102.61	127	163.37	140	214.11
102	246.06	115	172.97	128	154.29	141	372.25
103	221.58	116	355.45	129	221.87	142	360.44
104	145.78	117	237.77	130	168.14	143	121.79
105	238.96	118	267.82	131	116.64	144	208.07
106	176.45	119	198.19	132	242.13	145	155.46
107	193.35	120	351.56	133	187.87	146	164.97
108	155.81	121	268.42	134	117.27	147	281.25
109	234.08	122	222.79	135	195.52	148	181.93
110	178.27	123	176.22	136	228.44	149	219.71
111	122.66	124	134.46	137	368.73	150	205.85
112	155.30	125	115.62	138	267.69		
113	103.44	126	151.85	139	291.58		

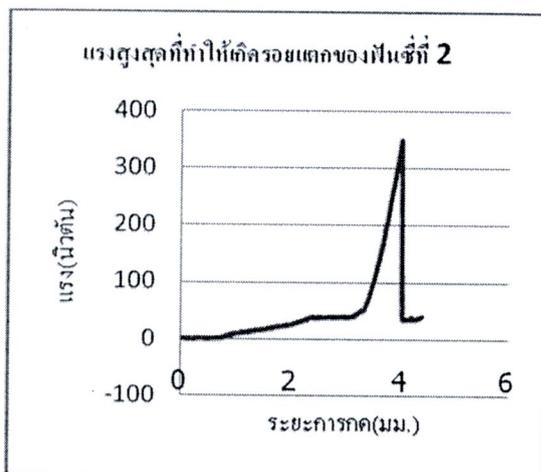
ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างกราฟแรงสูงสุดที่ทำให้รากฟันแตก

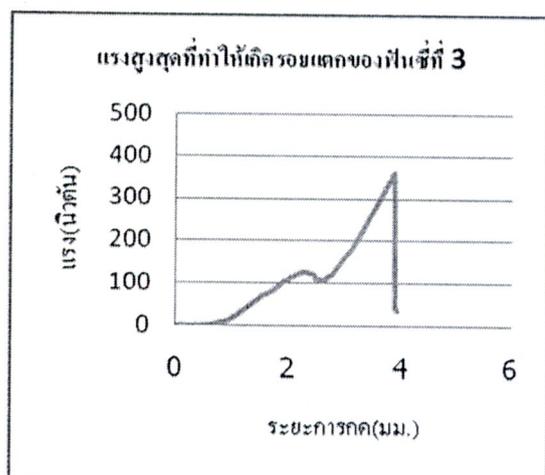
## ตัวอย่างกราฟแรงสูงสุดที่รากลึ้นแตก



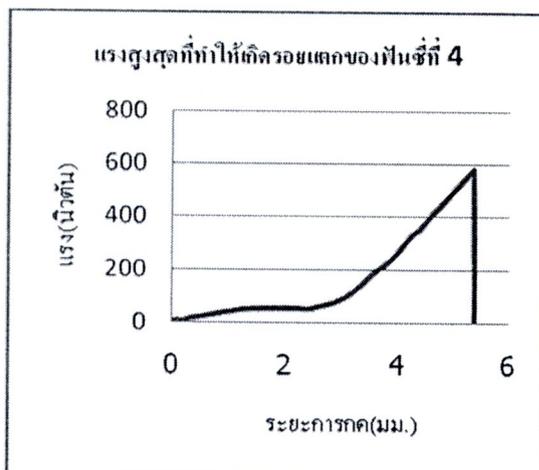
ภาพที่ จ.1 แสดงกราฟแรงที่ทำรากลึ้นแตก ซี่ที่ 1



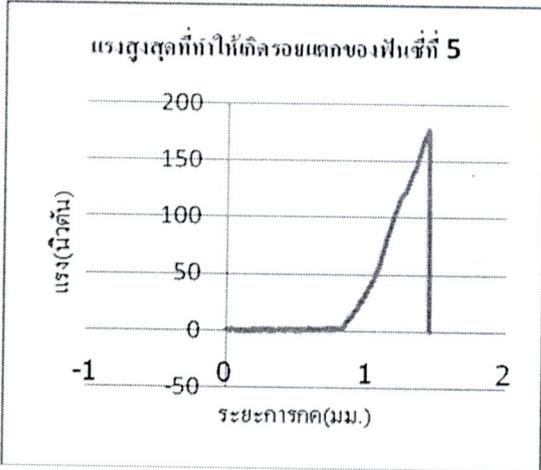
ภาพที่ จ.2 แสดงกราฟแรงที่ทำรากลึ้นแตก ซี่ที่ 2



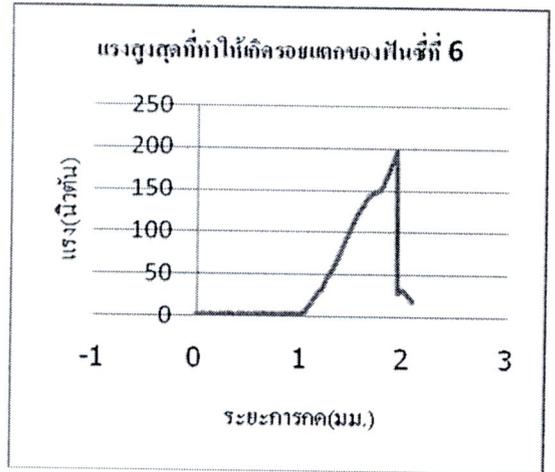
ภาพที่ จ.3 แสดงกราฟแรงที่ทำรากลึ้นแตก ซี่ที่ 3



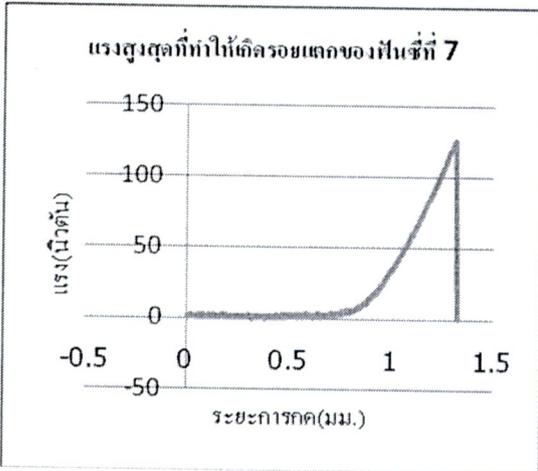
ภาพที่ จ.4 แสดงกราฟแรงที่ทำรากลึ้นแตก ซี่ที่ 4



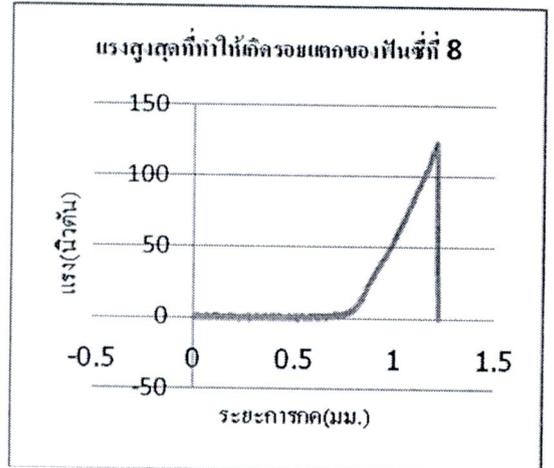
ภาพที่ จ.5 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 5



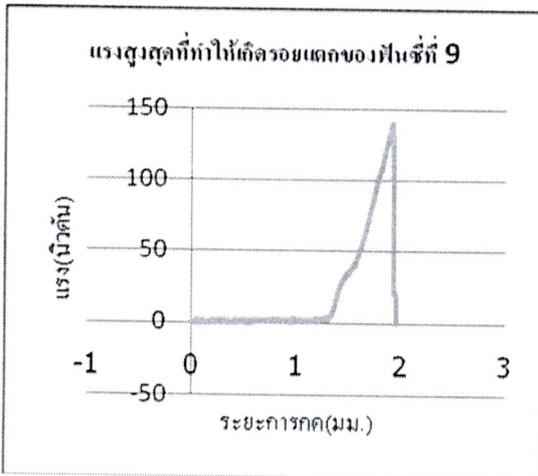
ภาพที่ จ.6 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 6



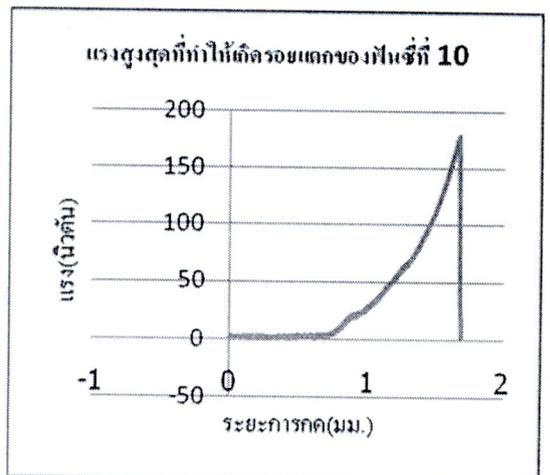
ภาพที่ จ.7 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 7



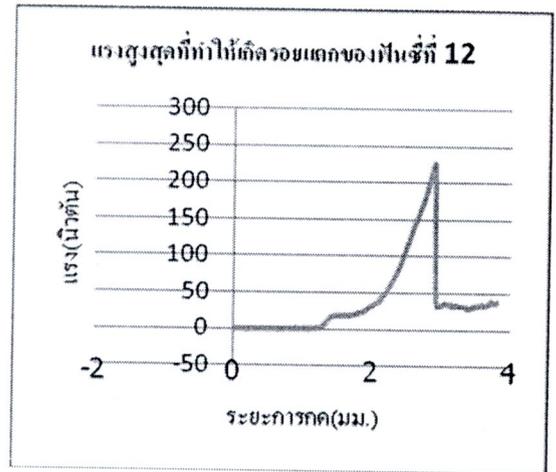
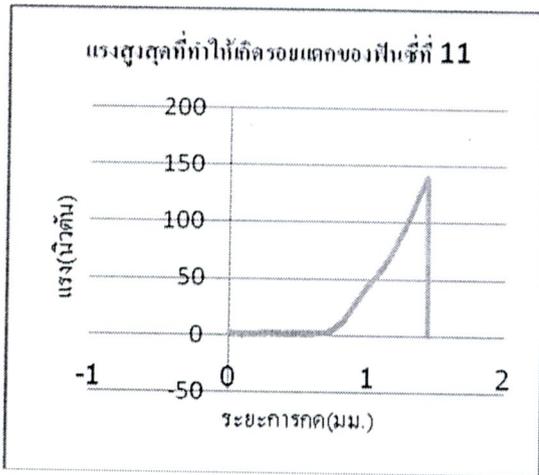
ภาพที่ จ.8 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 8



ภาพที่ จ.9 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 9

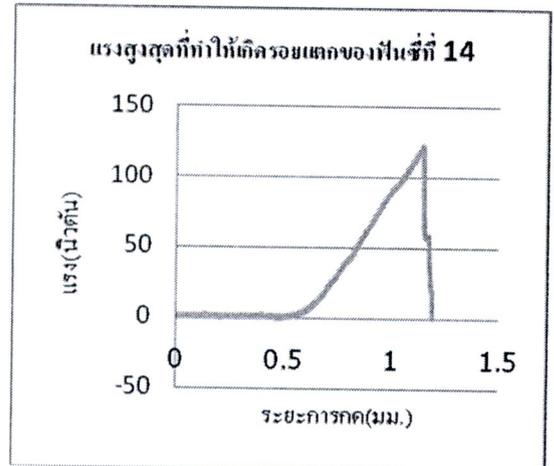
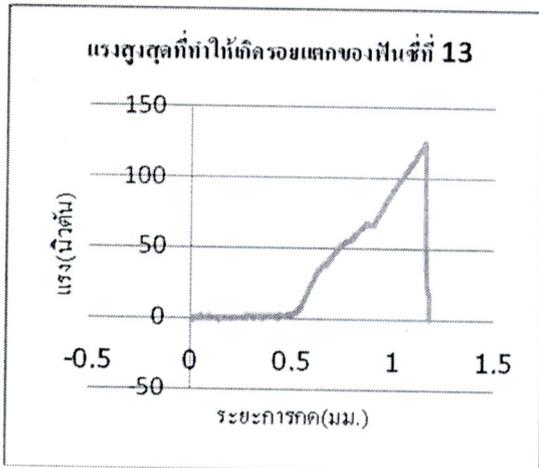


ภาพที่ จ.10 แสดงกราฟแรงที่ทำรากฟันแตก ซีที่ 10



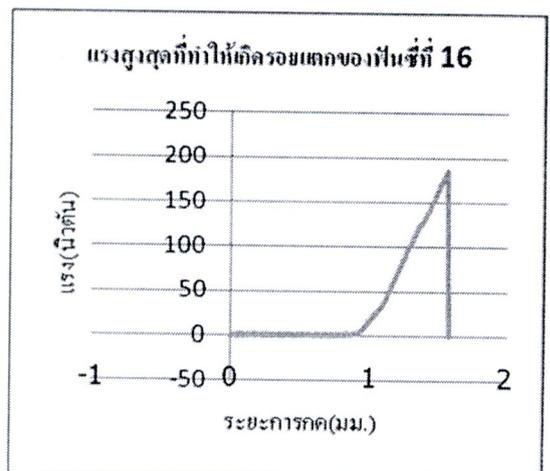
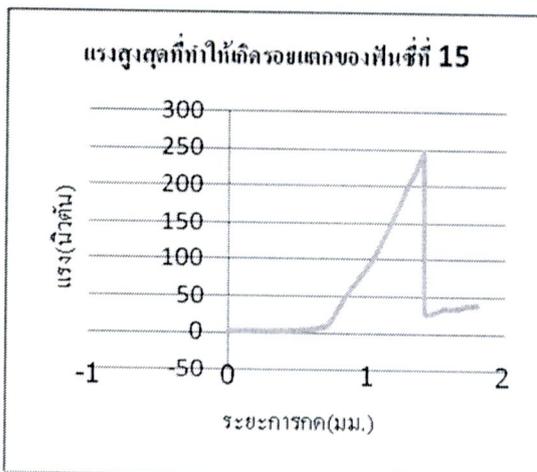
ภาพที่จ.11 แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 11

ภาพที่ จ.12 แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 12



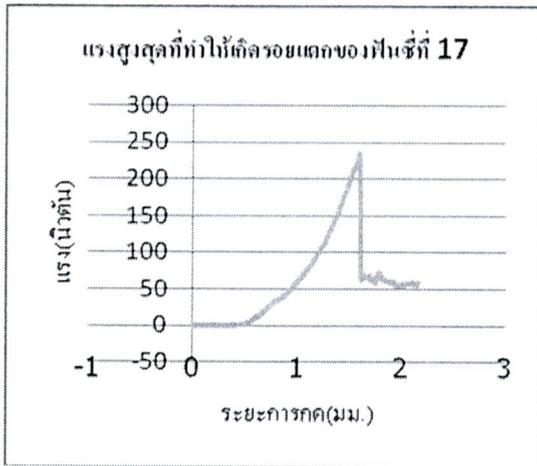
ภาพที่จ.13แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 13

ภาพที่จ.14แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 14

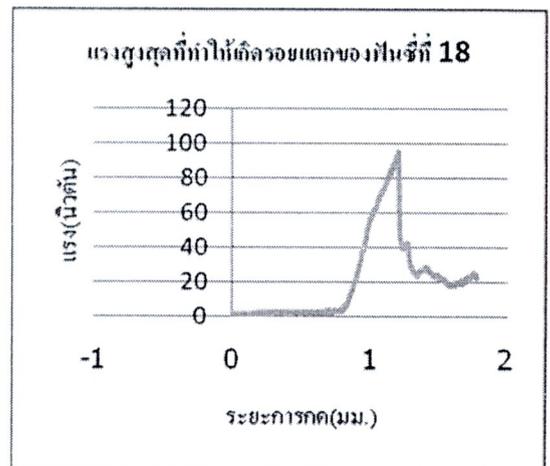


ภาพที่จ.15แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 15

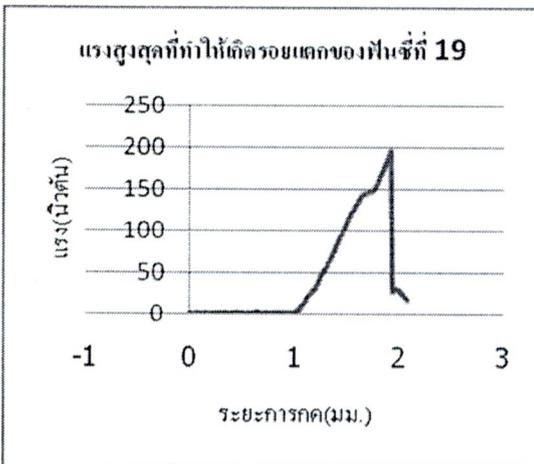
ภาพที่จ.16แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีเมนต์ 16



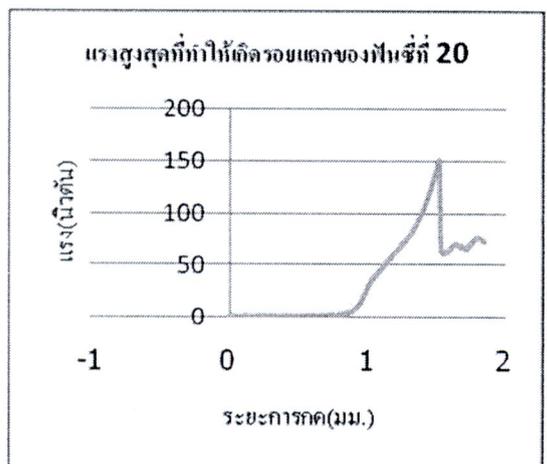
ภาพที่จ.17แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 17



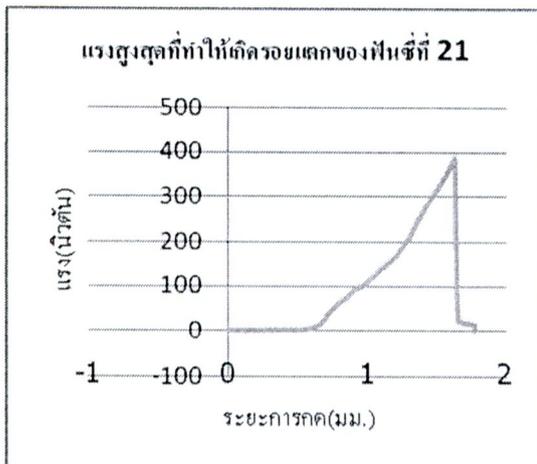
ภาพที่จ.18แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 18



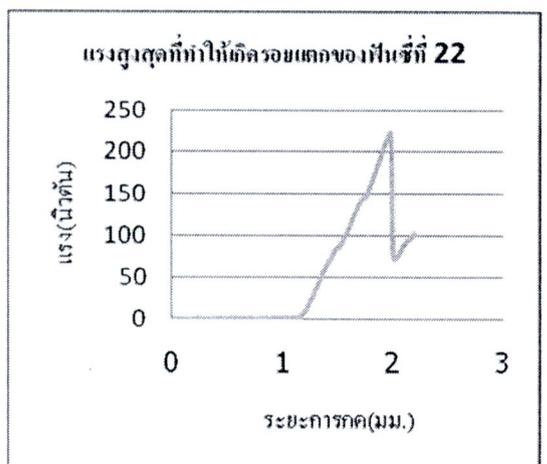
ภาพที่จ.19แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 19



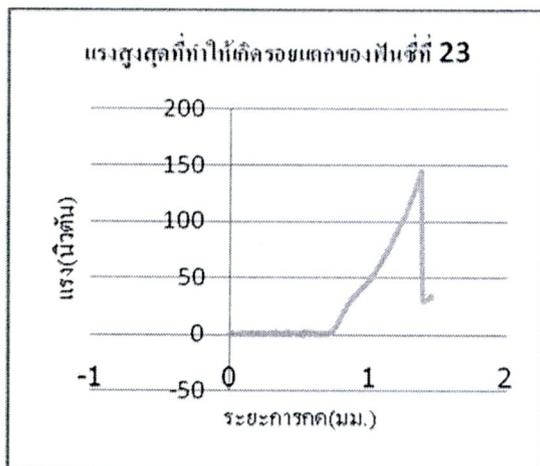
ภาพที่จ.20แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 20



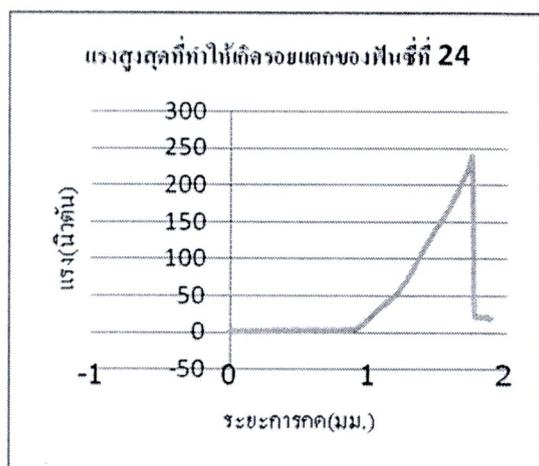
ภาพที่จ.21แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 21



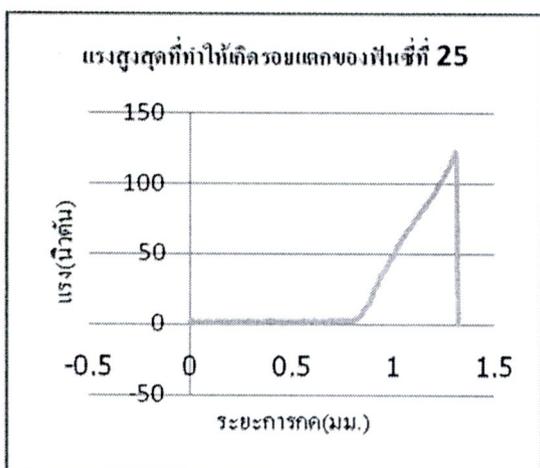
ภาพที่จ.22แสดงกราฟแรงที่ทำรากหินแตก ซีที่ 22



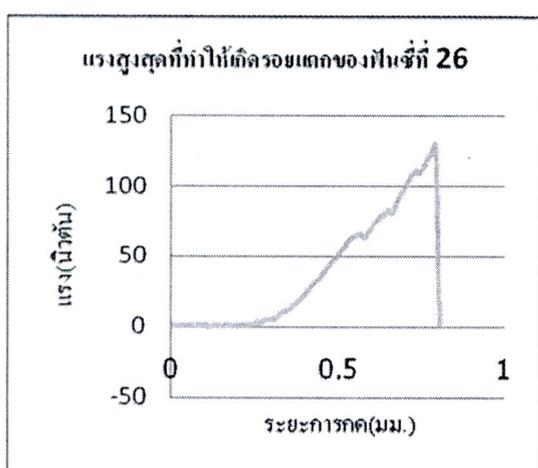
ภาพที่จ.23แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 23



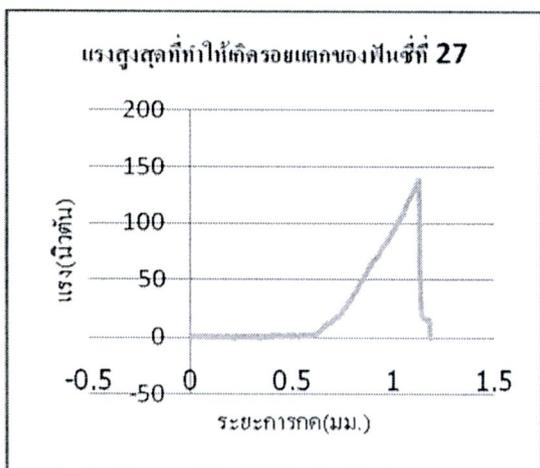
ภาพที่จ.24แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 24



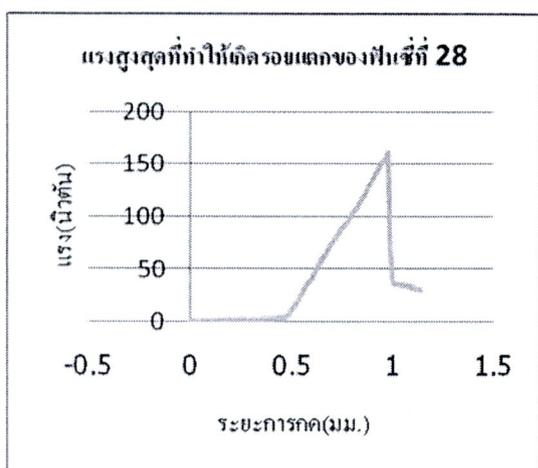
ภาพที่จ.25แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 25



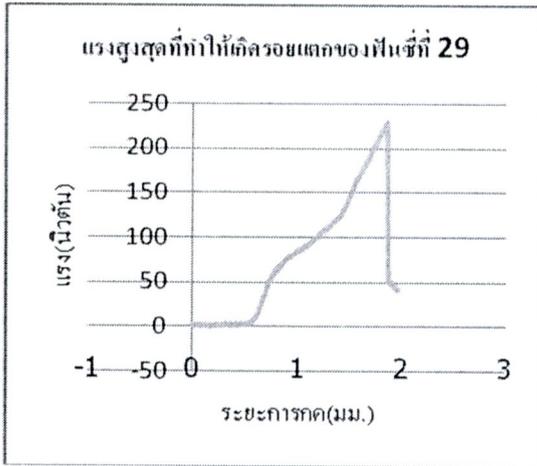
ภาพที่จ.26แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 26



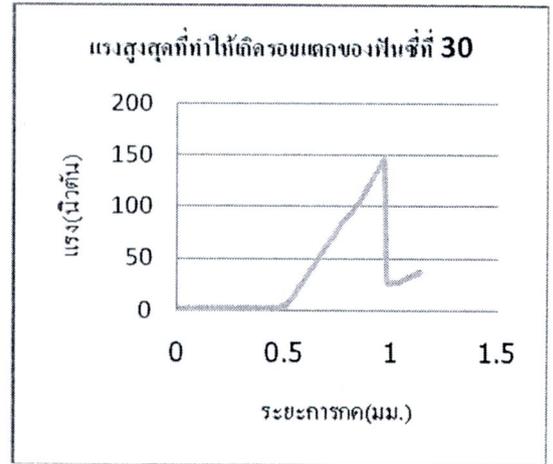
ภาพที่จ.27แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 27



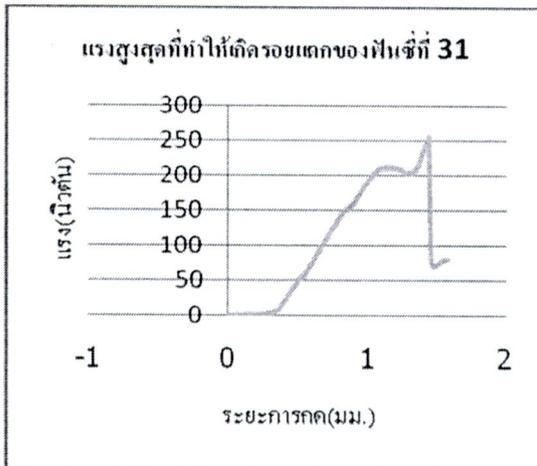
ภาพที่จ.28แสดงกราฟแรงที่ทำร้าวหินแตก ซีเมนต์ที่ 28



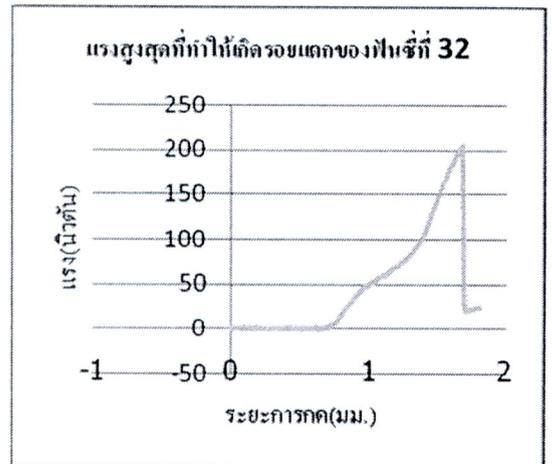
ภาพที่จ.29แสดงกราฟแรงที่ทำรากลหินแตก ซีที 29



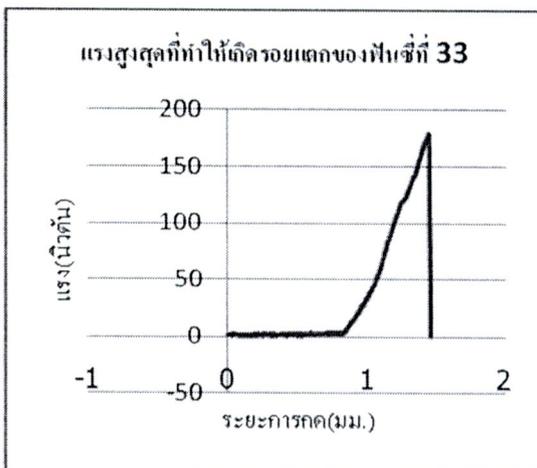
ภาพที่จ.30แสดงกราฟแรงที่ทำรากลหินแตก ซีที 30



ภาพที่จ.31แสดงกราฟแรงที่ทำรากลหินแตก ซีที 31



ภาพที่จ.32แสดงกราฟแรงที่ทำรากลหินแตก ซีที 32



ภาพที่จ.33แสดงกราฟแรงที่ทำรากลหินแตก ซีที 33



ภาคผนวก ข

ใบตอบรับเพื่อขอรับการยกเว้นการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ฯ



## สำเนา บันทึกข้อความ

ถ่วนราชการ สำนักงานคณะกรรมการจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โทร. 66616, 66617  
ที่ ศธ 0514.1.27/ ๕๓๕ วันที่ ๓๗ ก.ย. 2553

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาด้านจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์

เรียน นายตะวัน ตั้งโกศล (คณะวิศวกรรมศาสตร์)

ตามที่ท่านได้อื่นเสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการขกเว้นการพิจารณาจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์ เรื่อง "การวิเคราะห์รอยแตกร้าวของรากฟันโดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม" (Dental Root Fracture Detection by using Artificial Neural Network) หมายเลขสำคัญโครงการ HE532241 นั้น

คณะกรรมการจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์ ได้พิจารณาแล้วว่าเป็นโครงการที่เข้าข่ายไม่ต้องขอรับรองด้านจรรยาธรรมการวิจัย ตามประกาศมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฉบับที่ 99/2550 ข้อ 4.5.3 โครงการวิจัยในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวอย่างจากโครงกระดูก หรือสหอาจารย์ใหญ่ของคณะแพทยศาสตร์หรือพื้นที่ถูกถอนทิ้งตามปกติของงานทันตกรรม

ทั้งนี้ ได้บรรจุในวาระการประชุมคณะกรรมการจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์ ครั้งที่ 12/2553 วาระ 3.3.03 เพื่อทราบแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

(รองศาสตราจารย์จรรยา สิทธีฉาว)

รองประธานคณะกรรมการจรรยาธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

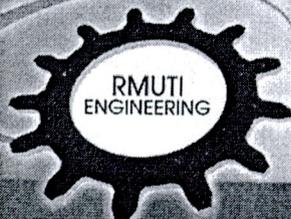
ภาคผนวก ซ  
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

## บทความที่ 1

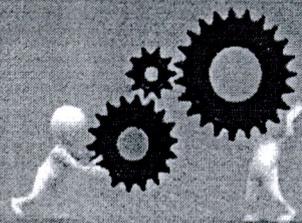
ระบบปัญญาประดิษฐ์กับงานทางด้านทันตกรรม

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมครั้งที่ 1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม  
ครั้งที่ 1 ประจำปี 2553 18 สิงหาคม 2553



THE 1<sup>st</sup> ENGINEERING CONFERENCE  
โครงการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม ครั้งที่ 1  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<http://www.eng.rmuti.ac.th>



- ❖ คุณลักษณะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง..... 91  
Drying Characteristics of Cassava using Continuous Dryer  
โดย สุระ ดันดี, ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์, ไชติชวล ชัยอวัชวิบูลย์, อนุชา สมพงษ์
- ❖ ระบบปัญญาประดิษฐ์กับงานทางด้านทันตกรรม..... 97  
Artificial Intelligence system with Dentistry  
โดย ตะวัน ตั้งโกศล, สุภัทรา ปลื้มกมล, สุวดี ไขษิตบวรชัย
- ❖ การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติผิวแม่พิมพ์ทำด้วยเหล็กเหนียว SKD 11 หลังกระบวนการ  
Heat treatment ต่างๆ..... 106  
Comparison the Surface Properties for SKD11 Tool Steel from Various Heat treatment  
Processes  
โดย ชวนันท์ ทองโยธี
- ❖ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลคะแนนคณิตศาสตร์พื้นฐานกับผลการเรียนวิชาแคลคูลัส 1  
สำหรับวิศวกร ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
วิทยาเขตขอนแก่น..... 116  
A study of a correlation between students' test score of fundamental mathematic and their  
GPA of advance mathematic (Calculus I for engineer) : Case study from students of  
engineer faculty: Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus  
โดย นิตยา แจ่มยวง, สมพงษ์ แจ่มยวง

#### ผลงานวิจัยที่นำเสนอภาคโปสเตอร์

- ❖ การพัฒนาตู้ลดอุณหภูมิผักและผลไม้โดยวิธีการ Hydro cooling และ Forced-Air cooling..... 120  
The Development of Temperature Reducing Chamber for Fruit and Vegetable by Hydro  
cooling and Forced-Air cooling  
โดย ประสิทธิ์ ไสภา
- ❖ เครื่องช่วยฝึกแบบวัดแรงกด..... 129  
Auxiliary pressure measurement training  
โดย ศรารุท คงลำพันธ์



## ระบบปัญญาประดิษฐ์กับงานทางด้านทันตกรรม Artificial Intelligence system with Dentistry

ตะวัน ตั้งโกศล<sup>1</sup>, สุภัทรา ปลื้มกมล<sup>1</sup>, สุวดี โภษิตบวรชัย<sup>2</sup>

Tawan Tangkosol, Supattra Plermkamon, Suwadee Kositbowornchai

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ มาผสมผสานกับเทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์ เพื่อทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยทันตแพทย์ในการตัดสินใจวินิจฉัยรอยโรคทางทันตกรรม เช่น ตรวจสอบรอยผุของฟัน และรอยแตกร้าวของรากฟัน จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำเอาโครงข่ายโประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบเวกเตอร์ควอนไทเซชัน(LVQ) มาใช้วินิจฉัยรอยผุผ่านภาพถ่ายด้วยกล้องซีซีดี และกล้องถ่ายภาพรังสีดิจิตอลตามลำดับ กรณีที่ใช้ภาพถ่ายจากกล้องซีซีดีมีความสามารถในการตรวจพบฟันผุ(sensitivity)และไม่ผุ(specificity) 77.4% และ 85.1% ตามลำดับ และกรณีใช้ภาพรังสีดิจิตอลความสามารถในการตรวจพบฟันผุและไม่ผุจะดีขึ้นเล็กน้อยคือ 80.8% และ 92.6% ตามลำดับ และเมื่อนำโครงข่ายโประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(PNN) มาประยุกต์ใช้เพื่อวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันผ่านภาพถ่ายรังสีระบบดิจิตอล พบว่า มีความสามารถในการตรวจวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน(sensitivity) 100% และความสามารถในการวินิจฉัยรากฟันที่ไม่มีรอยแตก(specificity) 91.67% และมีความแม่นยำในการวินิจฉัย 95.45%

**คำสำคัญ:** การแตกของรากฟันในแนวตั้ง ความไว ความจำเพาะ โครงข่ายโประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น และแอลวีคิว

### Abstract

In this research, artificial mix with machine vision are used to assist the dentist to dental disease such as caries detection and vertical root fraction detection. The result of test, Learning Vector Quantization Neural Network(LVQ) was used for caries detection by CCD(Charge coupled device) image and digital radiographic image. In case of CCD image the sensitivity and specificity are 77.4% and 85.1%, respectively. For digital radiograph the sensitivity inspections is 80.8% and the specificity inspections is 92.6%. Probabilistic Neural Network(PNN) was used to diagnose the vertical root fracture by radiographic image. The sensitivity and specificity inspections is 100% and 91.67% respectively and the accuracy of diagnosis is 95.45%

**Key words:** sensitivity, specificity, artificial neural network

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

<sup>2</sup> ภาควิชาวินิจฉัยโรคช่องปาก คณะทันตแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002



## 1. คำนำ

ปัจจุบันโครงข่ายประสาทเทียม(Artificial neural network) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก จึงทำให้เป็นที่ยอมรับและมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เพราะด้วยกระบวนการทำงานที่ค่อนข้างรวดเร็ว และมีรูปแบบกระบวนการทำงานทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างแน่นอนตายตัว จึงทำให้ง่ายต่อการเข้าใจ รวมทั้งยังมีความแม่นยำที่ค่อนข้างสูงด้วย การนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานก็ไม่ได้ถูกจำกัดอยู่เพียงงานด้านสาขาใดสาขาหนึ่ง แต่สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายสาขา เนื่องจากภายในโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมถูกสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับกับความต้องการของผู้ใช้ได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เช่น การแยกแยะรูปแบบ การทำงานของหุ่นยนต์ การสื่อสารโทรคมนาคม งานทางด้านการธนาคาร ทางด้านการผลิตในอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ ทางด้านการขนส่ง เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้ต้องการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในงานทางด้านใด

การแตกหักของรากฟันถือเป็นปัญหาหลักทางทันตกรรมเป็นอันดับ 3 ต่อจาก ฟันผุ(dental caries) และ โรคปริทันต์(periodontal disease) (Kishen et al, 2006) มีรายงานการเกิดประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 7 ของการได้รับบาดเจ็บที่มีต่อรากฟัน (Andreasen, 1970) และพบมากกับฟันรากเดี่ยวที่มีลักษณะรอยแตกที่เกิดขึ้นในแนวตั้งถึง 93% (Monaghani et al, 1993) สาเหตุของการแตกหักของรากฟัน แบ่งได้เป็น 2 สาเหตุหลักๆ คือ ทันตแพทย์เป็นผู้ทำให้เกิด เช่น การบูรณะฟันด้วยโพสท์(post) และการปักหมุด(pin) ที่มีขนาดใหญ่เกินไปหรือยาวเกินไปลงไปในคลองรากฟัน ทำให้เกิดแรงดันที่ผนังคลองรากฟันและเกิดการแตกหักได้ในที่สุด ส่วนสาเหตุต่อมาคือ เกิดจากแรงกระแทกต่อตัวฟัน (traumatic injury) เช่น การเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์จากการทำงาน หรือจากการเล่นกีฬา หรือการใช้ฟันผิด

วิธี เช่น ใช้ฟันเปิดผ่าขวด เป็นต้น

ในขณะที่เมื่อเกิดฟันขึ้นทันตแพทย์จะมีวิธีในการตรวจหารอยผุทางคลินิกด้วยตา และใช้ Explorer เขี่ย ซึ่งการตรวจลักษณะนี้จะระบุได้เพียงว่าฟันมีการผุหรือไม่เท่านั้น ไม่สามารถบอกถึงระดับการผุและความลึกได้และมีบางกรณีเช่นหากรอยผุเป็นรอยผุระยะแรกหรือรอยผุที่ซ่อนอยู่ได้วัดจุดได้เนื้องอกหรือด้านประชิดของฟันนี้ภาพรังสีจะมีบทบาทในการช่วยวินิจฉัย และในการวินิจฉัยภาพรังสีนั้นทันตแพทย์จะอ่านภาพรังสีด้วยตา นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่ใช้ในการวินิจฉัยภาพรังสีด้วยเช่นกันคือโปรแกรม LOGICON ซึ่งใช้กับภาพรังสีดิจิตอล แต่วิธีการใช้ภาพรังสีช่วยในการวินิจฉัยที่กล่าวมาสามารถระบุระดับการผุได้เท่านั้นไม่สามารถระบุระดับความลึกของรอยผุได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวินิจฉัยรอยผุโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม(สรรเพชญและคณะ, 2547) และนำโครงข่ายประสาทเทียมชนิดความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network) มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน และเพื่อทดสอบหาความสามารถในการตรวจพบรอยแตกหักของรากฟัน หรือค่าความไว(Sensitivity) และความสามารถในการตรวจพบรากฟันที่ไม่มีรอยแตกหักหรือค่าความจำเพาะ(Specificity)

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 โครงข่ายประสาทเทียม

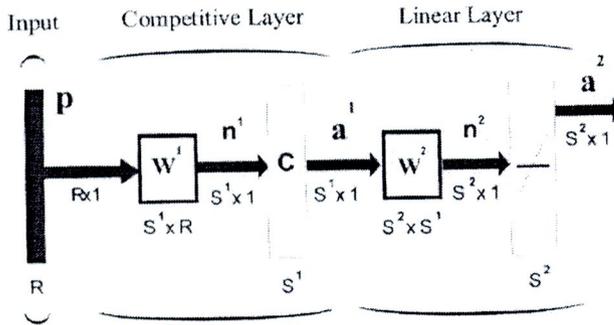
ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Learning Vector Quantization (LVQ) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Probabilistic Neural network ดังนี้

#### 2.1.1 Learning Vector Quantization Neural Network (LVQNN)

โครงข่ายนี้จะมี 2 ชั้น (layer) โดยชั้นแรก



จะเป็น competitive layer ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นแรกจะ  
 ปังบอกถึง subclass ของ input ที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย  
 และในชั้นที่สอง จะเป็น Linear layer ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้  
 จากชั้นนี้จะบอกถึง class ของ input ที่ป้อนเข้าสู่โครง  
 ข่าย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างระบบโครงข่ายแบบ Learning Vector Quantization Networks (LVQ) (สรรเพชญและคณะ, 2547)

จากภาพที่ 1

- P = เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรนำเข้า R ตัว
- R = จำนวนของตัวแปรนำเข้า
- $S^1$  = จำนวนปมประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นคอมเพทิทีฟ (competitive layer) ซึ่งจะหมายถึงจำนวนของชั้นย่อย (subclass)
- $W^1$  = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้นคอมเพทิทีฟ
- $n^1$  = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ทรินของชั้นคอมเพทิทีฟโดยที่

$$n^1 = - \begin{bmatrix} \|w^1_1 - P\| \\ \|w^1_2 - P\| \\ \vdots \\ \|w^1_{S^1} - P\| \end{bmatrix} \quad (1)$$

- C = เวกเตอร์ของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันชนิดคอมเพทิทีฟ
- $a^1$  = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้นคอมเพทิทีฟโดยที่

$$a^1 = \text{compet}(n^1) \quad (2)$$

- $S^2$  = จำนวนปมประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นลิเนียร์ (linear layer) ซึ่งจะหมายถึงจำนวนชั้นใหญ่(class)
- $W^2$  = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้นลิเนียร์ โดยที่คอลัมน์ของ  $W^2$  จะแสดงถึงชั้นย่อยและแถวจะบอกถึงชั้นใหญ่  $W^2$  จะมีเลข 1 เพียงตัวเดียวในแต่ละคอลัมน์ โดยที่ตัวอื่นๆในคอลัมน์จะถูกกำหนด เป็น 0 แถวซึ่งมีเลข 1 ปรากฏ จะบอกว่าชั้นย่อยนั้นอยู่ในชั้นใหญ่ใด
- $n^2$  = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ทรินของชั้นลิเนียร์
- $a^2$  = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้นลิเนียร์โดยที่

$$a^2 = W^3 a^1 \quad (3)$$

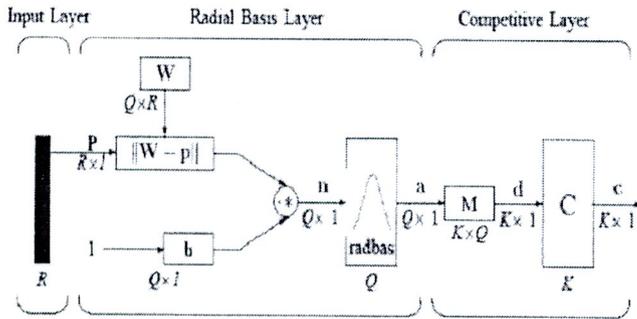
เนื่องจากในการวินิจฉัยรอยแผลที่ต้องการจากการวินิจฉัยคือระดับการผ่าอยู่ระดับปกติ(normal)



ชั้นนาเมล(enamel) เดนติน(dentin) และ โพรงประสาท  
ฟัน(expose pulp) และความลึกของการผุ ดังนั้นจึง  
ได้เลือกใช้โครงข่ายโพรงประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้  
แบบเวกเตอร์ควอนไทเซชัน(LVQ)ที่สามารถแบ่งกลุ่ม

ใหญ่(class)และกลุ่มย่อย(subclass)ได้ โดยกำหนด  
ให้ระดับการผุเป็นกลุ่มใหญ่(class) และความลึกของ  
การผุเป็นกลุ่มย่อย(subclass)

2.1.2 Probabilistic Neural Network  
(PNN)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างระบบโครงข่ายแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network) (Wu Stephen Gang et al,2007)

โครงข่ายชนิดนี้มีข้อดี คือ ความสามารถในการฝึกข้อมูลค่อนข้างง่ายและรวดเร็วกว่าโครงข่ายโพรงประสาทเทียมชนิดอื่น เช่น backpropagation นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสิ่งรบกวน(Noise)(Ali H. Al-Timemy et al,2009)

โดยโครงข่ายนี้จะมี 2 ชั้น(Layer) โดยชั้นแรกจะเป็น Radial Basis Layer โดยฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น radbas ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็น input ให้กับชั้นถัดไป และในชั้นที่สองจะเป็น competitive layer และมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น compet(C) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะบอกถึง class ของ input ที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 class คือฟันที่มีรอยแตกของรากกับฟันที่ไม่มีรอยแตกของราก และมีสถาปัตยกรรมแบบ 40-42-2 ดังภาพที่ 2

จากภาพที่ 2 กำหนดให้

- P = เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรนำเข้า R ตัว
- R = จำนวนของตัวแปรนำเข้า ในกรณีของงานวิจัย

นี้จะเก็บค่าระดับความเท่าจำนวน 40 ค่า

- W = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้น radial basis
- Q = เวกเตอร์ที่ใช้ในการฝึก ในงานวิจัยนี้จะให้ตัวอย่างในการฝึก 40 ตัวอย่าง
- b = ค่าไบแอส
- n = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ฟังก์ชัน radial basis โดยที่
 
$$n = \left\| W_i - p \right\| \cdot b_i \quad (4)$$
- a = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น radial basis
- M = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้น competitive
- d = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ฟังก์ชัน competitive
- K = จำนวน class ซึ่งในงานวิจัยนี้มี 2 class
- C = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น competitive

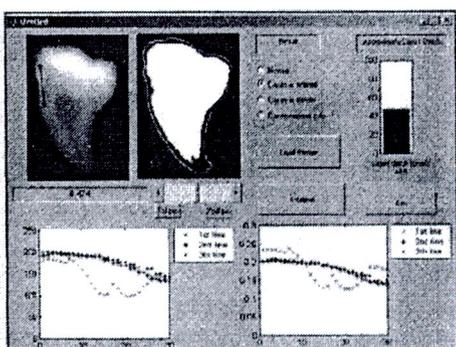


ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นเนื่องจากปัญหาารอยแตกของรากฟันซับซ้อนมากกว่ารอยผุและมองด้วยตาเปล่าได้ค่อนข้างยาก ลักษณะปัญหาจึงไม่เป็นแบบเชิงเส้น และปริมาณข้อมูลค่อนข้างมาก จึงเป็นสาเหตุให้การวิจัยรอยแตกของรากฟันเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

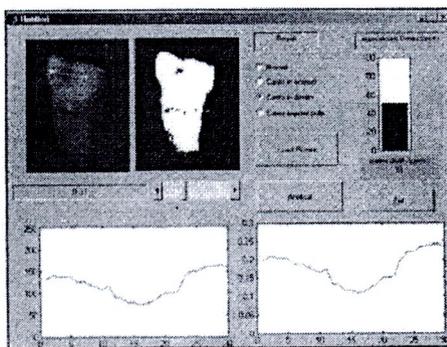
2.2 วิธีการวิจัย

ในขั้นตอนนี้เป็น การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่องานทางด้านทันตกรรม โดยเริ่มจากงานวิจัยการวินิจฉัยรอยผุ(สรพรเพชญและคณะ,

2547) งานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างแบบจำลองการวินิจฉัยรอยผุ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบเวกเตอร์ควอนไทเซชัน(LVQ) และเป็นการวินิจฉัยด้วยภาพถ่ายรังสี 2 ชนิด คือ ระบบซีซีดี และระบบดิจิตอล ซึ่งแบบจำลองแสดงได้ดังภาพที่ 3 (ก)-(ข) โดยแบบจำลองการวินิจฉัยรอยผุสามารถระบุระดับการผุได้ว่่าอยู่ระดับปกติ(normal) อินามัล(enamel) เคนทีน(dentin) และโพรงประสาทฟัน(expose pulp)



(ก)

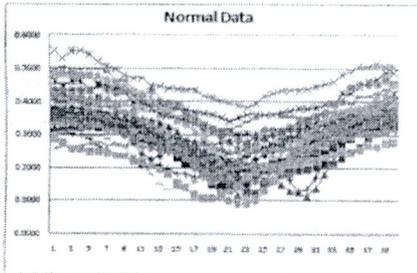


(ข)

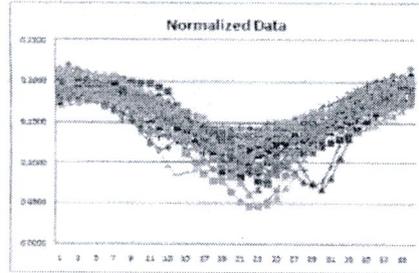
ภาพที่ 3 การทดสอบแบบจำลองการวินิจฉัยรอยผุด้วย(ก)ภาพจากกล้องรังสีดิจิตอลที่มีระดับการผุที่ชั้นเคลือบฟัน(ข)ภาพจากกล้องซีซีดีที่มีระดับการผุที่ชั้นเนื้อฟัน(สรพรเพชญและคณะ, 2547)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้นำหลักการเดียวกันนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน ด้วยภาพถ่ายรังสีระบบดิจิตอล โดยที่แบบจำลองได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural network) โดยข้อมูลนำเข้าจะเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพของรากฟันจำนวน 100 ซีซีละ 40 ข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้ออกได้ดังภาพที่ 4 - 5

แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดที่มีรอยแตกของรากและชุดที่ไม่มีรอยแตก โดยในแต่ละชุดใช้เป็นชุดฝึกและชุดทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 30 ซี และ 20 ซี ตามลำดับ แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแสดงได้ดังภาพที่ 6 สำหรับข้อมูลนำออกของโครงข่ายประสาทเทียมจะขึ้นบอกถึงรากฟันที่มีรอยแตกและรากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก)

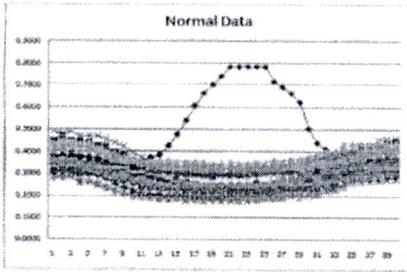


(ก)

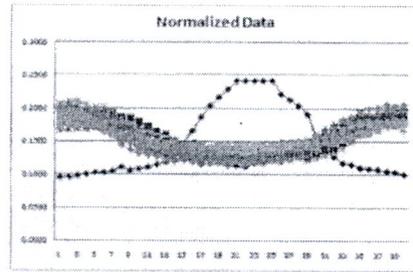


(ข)

ภาพที่ 4 ข้อมูลของภาพพื้น (ก) ที่มีรอยแตกของรากทั้งหมดที่ยังไม่ผ่านการนอร์มอลไลซ์ (ข) ที่มีรอยแตกของรากทั้งหมดที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์แล้ว

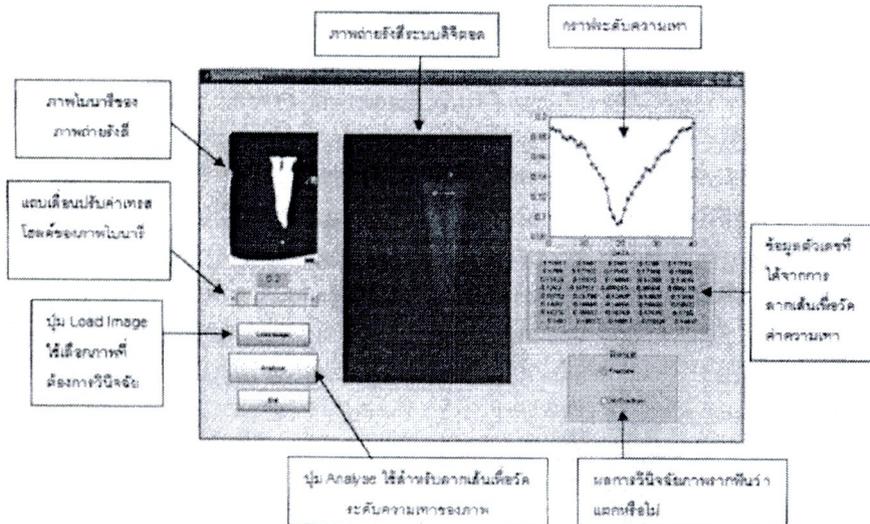


(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 ข้อมูลของภาพพื้น(ก)ที่ไม่มีรอยแตกของรากทั้งหมดที่ยังไม่ผ่านการนอร์มอลไลซ์ (ข) ที่ไม่มีรอยแตกของรากทั้งหมดที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์แล้ว



ภาพที่ 6 แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากพื้น



จากงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้นำหลักการเดียวกันนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน ด้วยภาพถ่ายรังสีระบบดิจิตอล โดยที่แบบจำลองได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (probabilistic neural network) โดยข้อมูลนำเข้าจะเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพของรากฟันจำนวน 100 ซี่ซี่ละ 40 ข้อมูล โดยข้อมูลที่ได้แสดงได้ดังภาพที่ 4 - 5

แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดที่มีรอยแตกของรากและชุดที่ไม่มีรอยแตก โดยในแต่ละชุดใช้เป็นชุดฝึกและชุดทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 30 ซี่ และ 20 ตามลำดับ แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแสดงได้ดังภาพที่ 6 สำหรับข้อมูลนำออกของโครงข่ายประสาทเทียมจะชี้บอกถึงรากฟันที่มีรอยแตกและรากฟันปกติ (ไม่มีรอยแตก)

#### 4. ผลและวิจารณ์

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความถูกต้องในการวินิจฉัยรอยแตกของแบบจำลอง (สรรเพชญและคณะ, 2547)

ชนิดของภาพ	ตัวอย่างภาพ	ความสามารถในการวินิจฉัยรอยแตก		
		ความไว (sensitivity)	ความจำเพาะ (specificity)	ระดับขั้นพื้นฐานของการดู
ภาพจากกล้องซีซีดี		77.4%	85.1%	58.1%
ภาพจากกล้องรังสีดิจิตอล		80.8%	92.6%	40.4%

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของฟันด้วยภาพจากกล้องซีซีดีมีความสามารถในการตรวจพบฟันผุหรือค่าความไว (sensitivity) 77.4% และความสามารถในการตรวจพบฟันไม่ผุหรือค่าความจำเพาะ (specificity) 85.1% และความสามารถในการวินิจฉัยระดับขั้นพื้นฐานของการดู 58.1%

ในขณะที่เดียวกันความสามารถของแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของฟันด้วยภาพจากกล้องรังสีดิจิตอลมีความสามารถในการตรวจพบฟันผุหรือค่าความไว (sensitivity) 80.8% และความสามารถในการตรวจพบฟันไม่ผุหรือค่าความจำเพาะ (specificity) 92.6% และความสามารถในการวินิจฉัยระดับขั้นพื้นฐานของการดู 40.4%



ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดในการฝึกและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

	RBF	ตัวอย่างภาพรากฟัน	จำนวนชุดฝึก	จำนวนชุดทดสอบ	จำนวนที่วินิจฉัยผิดพลาด
ชุดที่ 1 รากฟันแตก			30 ชุด	20 ชุด	2 ชุด
ชุดที่ 2 รากฟันไม่แตก			30 ชุด	20 ชุด	0

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความถูกต้องในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันของแบบจำลอง

จำนวนตัวอย่าง	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
40	100	91.67	95.45

จากตารางที่ 2 เมื่อนำชุดข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพมาป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั้งชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ให้มีจำนวนชุดฝึกและชุดทดสอบเท่ากัน เมื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการวินิจฉัย ผลที่ได้คือ ในชุดที่ 1 ที่เป็นกลุ่มของภาพถ่ายรังสีที่มีรอยแตกของรากฟันมีการวินิจฉัยผิด 2 ชุด ในขณะที่ชุดที่ 2 เป็นกลุ่มที่ไม่มีรอยแตกของรากฟัน ไม่มีการวินิจฉัยผิดเลย โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอน

ในชั้นเรเดียล เบสิส(radial basis layer) ให้มีค่าการกระจายตัว(spread)เท่ากับ 1

ในขณะเดียวกันจากตารางที่ 3 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าของความไว ที่เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวินิจฉัยพบรากฟันที่มีรอยแตก มีค่าเป็น 100% ซึ่งถ้าค่าความไวสูง จะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากสำหรับการวินิจฉัยภาพฟันที่มีรอยแตก ส่วนค่าความจำเพาะเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการวินิจฉัยภาพถ่ายรังสีของรากฟันที่ปกติ ซึ่งจากตารางที่ 1 จะมีค่า 91.67 แสดงให้เห็นว่าจะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากในการวินิจฉัยภาพถ่ายรังสีของรากฟันที่ไม่มีรอยแตกว่ามีรอยแตก และค่าสุดท้ายคือค่าความแม่นยำของการวินิจฉัย ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการวินิจฉัย มีค่าอยู่ที่ 95.45% และทั้ง



3 คำอยู่ในระดับที่น่าพอใจ

งานนั้นๆ

## 5. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการการประมวลผลภาพและโครงข่ายใยประสาทเทียมของแบบจำลองการวินิจฉัยรอยร้าวของฟันมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการวินิจฉัยรอยร้าวของรากฟันแนวตั้งด้วยภาพถ่ายรังสีระบบดิจิทัล โดยข้อมูลที่ป้อนเข้าให้กับแบบจำลองจะเป็นค่าระดับสีเทา(gray value) 40 ค่าของบริเวณที่เกิดรอยร้าว สำหรับข้อมูลนำออกของโครงข่ายใยประสาทเทียมจะขึ้นบอกลักษณะของรากฟันที่มีรอยร้าวและรากฟันปกติ(ไม่มีรอยร้าว)

สำหรับโครงข่ายใยประสาทเทียมที่เลือกใช้ในการวินิจฉัยรอยร้าวของรากฟัน คือ โครงข่ายใยประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural network) เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่มีความสามารถในการฝึกข้อมูลได้ค่อนข้างรวดเร็วและง่ายกว่าโครงข่ายชนิดอื่น มีความแม่นยำ และทนทานต่อสิ่งรบกวน(noise) นอกจากนี้โครงข่ายชนิดนี้ยังเหมาะสมกับงานที่ใช้แบ่งกลุ่ม(class) ซึ่งในแบบจำลองการวินิจฉัยรอยร้าวของรากฟัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลนำออกของโครงข่ายใยประสาทเทียม นั่นก็คือ รากฟันที่มีรอยร้าวและรากฟันปกติ(ไม่มีรอยร้าว) ซึ่งมี 2 กลุ่ม จึงทำให้งานวิจัยนี้เหมาะกับโครงข่ายใยประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น

สำหรับแบบจำลองการวินิจฉัยรอยร้าวของฟัน(สรพชญและคณะ. 2547) ได้เลือกใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบเวกเตอร์ควอนไทเซชัน(LVQ) เนื่องจากโครงข่ายชนิดนี้สามารถแบ่งกลุ่มได้เป็นกลุ่มใหญ่(class) และกลุ่มย่อย(subclass)ได้ ซึ่งในแบบจำลองผลของระดับการผุจะเป็นกลุ่มใหญ่ และระดับความลึกของรอยผุจะเป็นกลุ่มย่อย จึงทำให้แบบจำลองการวินิจฉัยรอยร้าวของฟันเหมาะสมกับโครงข่ายใยประสาทเทียมชนิดนี้ ดังนั้นในการเลือกใช้ชนิดของโครงข่ายใยประสาทเทียมจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับ

## 6. เอกสารอ้างอิง

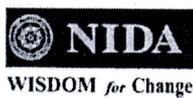
- สรพชญ สิริเทพทวี, สุภัทรา ปลื้มกมล, สุจินต์ บุรีรัตน์, สุวดี โยษิตบวรชัย และ ดนัยพงศ์ เซษฐ์โชติศักดิ์(2547). การวินิจฉัยรอยร้าวของฟันโดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18. จังหวัดกรุงเทพฯ
- Kishen A (2006). Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth, Endodontic topics, vol. 13, 206, pp. 57-83.
- Ali H. Al-Timerny, Fawzi M. Al-Naima and Nebras H. Qaab (2009). Probabilistic neural network for breast biopsy classification, MASAUM Journal of computing, vol. 1, September 2009, pp.199 – 204.
- Andreasen JO (1970). Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 11,298 cases. Scant J Dent Res, vol. 78, 1970, pp.329 – 342.
- Monaghan P, Bajalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. (1993). A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth, J Endod, vol. 19, 1993; pp. 512 – 515.
- Wu Stephen Gang, Bao Forrest Sheng, You Xu Enc, Wang Yu-Xuan, Chang Yi-Fan and Xiang Qiao- Liang (2007). A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network, cs.AI, July 2007.

## บทความที่ 2

การวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแนวตั้งด้วยโพร่งถ่ายเอยประสาทเทียม

การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 18

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



# รวมบทความวิชาการประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 18



**The 18<sup>th</sup> National Graduate Research Conference**  
 ณ ห้องประชุมจิวระ บุญมาก อาคารสยามบรมราชกุมารี  
 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

16-17 กันยายน 2553

ณ ห้องประชุมจิวระ บุญมาก อาคารสยามบรมราชกุมารี  
 สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญจากอธิการบดี สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์	ก
สารบัญจากประธานที่ประชุมคณะผู้บริหารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยของรัฐและมหาวิทยาลัยในกำกับของรัฐ (ทศพร.)	ข
กำหนดการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 18	ค
รวมบทคัดย่อผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา	
● กลุ่มวิทยาศาสตร์กายภาพ	
นายจิรวรรณ นกเอี้ยงทอง	1
นายพรเลิศ สุทธิเกียรติ	2
นายเอกศักดิ์ ศวีร์ โคตร	3
นายสัตยชัย พิทักษ์ชลทรัพย์	4
นายตะวัน ตั้ง โกลกล	5
นางสาวนุชฉนิทร์ พงศ์พันธ์	6
นายถกฤษณ์ พิเศษสุวรรณ	7
นายสาธิต พงษ์ดวง	8
นางสาวสิริวิรัตน์ เพ็ญศิริกุล	9

## การวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแนวตั้งด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

### Dental Vertical Root Fracture Detection by Artificial Neural Network

ละวัน คังโกศล\* สุภัทรา ปัสสัมภผล\*\* สุวดี โฉยนิษฐาชัย\*\*\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

#### บทคัดย่อ

การแตกของรากฟันแนวตั้ง มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการรักษาทางทันตกรรม เช่น การรักษาคอลงรากฟันด้วยโพสท์(post) ที่มีขนาดใหญ่มากเกินไป ทำให้เกิดแรงดันที่ผนังคลองรากฟัน และเกิดการแตกของรากฟันในที่สุด ในการตรวจวินิจฉัยของทันตแพทย์จะเริ่มจากการซักประวัติ การตรวจสอบทางคลินิก เช่น การใช้เอกซเรย์ (explorer) การใช้เครื่องมือตรวจปริทันต์(probe) การทดสอบการกัด การข้อมที่ฟัน และการถ่ายภาพรังสี เนื่องจากรอยแตกของรากฟันไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเอาระบบโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแนวตั้ง ด้วยภาพถ่ายรังสีระบบดิจิทัล ผลจากการศึกษาพบว่าความสามารถในการตรวจพบรอยแตกของรากฟันของแบบจำลองหรือค่าความไว(sensitivity) เป็น 97.96% และความสามารถในการตรวจพบรากฟันที่ไม่มีรอยแตก(specificity) เป็น 90.48% และความแม่นยำของแบบจำลอง(accuracy) เป็น 95.71%

#### Abstract

Dental vertical root fracture have mainly cause is iatrogenic, resulting from dental treatment excesses such as excessive width and length of a post space in relation to the tooth's anatomy and morphology. The detection for vertical root fracture, it start from patient's dental history and clinical examination such as explorer, probe, bite test, staining test and radiography. Because, fracture line fail to see with eyes. Therefore, this research take Artificial Neural Networks(ANN) to create dental vertical root fracture detection model with digital radiographic image. The result found that capability of detection vertical root fracture or sensitivity 97.96% and also the capability of detection normal root or specificity 90.48% and the accuracy of model is 95.71%

#### บทนำ (Introduction)

การแตกหักของรากฟัน คือ การที่ฟันนั้นไม่มีรากฟันหักและจะเป็นอันตรายต่อเคลือบรากฟัน เนื้อฟัน และโพรงในตัวของฟัน ลักษณะการแตกหักของรากฟันมีทั้งการแตกหักแนวตั้ง(vertical) แนวนอน(horizontal) และแนวเฉียง(oblique) การแตกหักของรากฟันอาจเป็นการแตกหักโดยสมบูรณ์ คือ เนื้อฟันแยกออกจากกันไม่มีส่วนใดติดกัน หรืออาจเป็นการแตกหักแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นการแตกหักที่ยังมีส่วนของเนื้อฟันติดกันอยู่ สาเหตุการแตกหักของรากฟันเกิด ได้จากแรงกระแทกต่อตัวฟัน(traumatic injury) โดยการได้รับบาดเจ็บ

บริเวณใบหน้าและศีรษะอย่างรุนแรง เช่น หกล้ม รดชน การเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน เกิดจากการเสกกีฬ เช่น ขกมวย รักบี้ และกีฬาที่ต้องมีการกระแทกอยู่บ่อยครั้ง หรือเกิดจากการใช้ฟันผิดหน้าที่ เช่นการใช้ฟันเปิดฝาขวด เป็นต้น และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันได้ คือ ทันตแพทย์เป็นผู้ทำให้เกิด(iatrogenic injury) ได้แก่ การบูรณะฟันด้วยโพสท์(post) การปักหมุด(pim) ที่มีขนาดใหญ่เกินไปหรือยาวเกินไปลงไปในคลองรากฟัน ทำให้เกิดแรงดันที่ผนังคลองรากฟันจึงทำให้เกิดการแตกหักของรากฟันในที่สุด การแตกหักของรากฟันนั้นถือเป็นปัญหาหลักทางทันตกรรมเป็นอันดับ 3

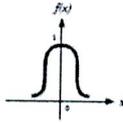
\* นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น e-mail address : tangkosol\_83@hotmail.com

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น e-mail address : supple@kku.ac.th

\*\*\* รองศาสตราจารย์ (ดร.) ภาควิชาวินิจฉัยโรคช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น e-mail address : suwadee@kku.ac.th



(spread parameter) ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และมีลักษณะของผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงฟังก์ชันเคาส์เซียน

ในชั้นที่สองจะเป็น competitive layer และมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น comp(C) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะบอกถึง class ของอินพุตที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 class คือ ฟินที่มีรอยแตกของรากกับฟินที่ไม่มีรอยแตกของราก และมีสถาปัตยกรรมแบบ

40-42-2

จากรูปที่ 1 กำหนดให้

P = เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรนำเข้า R ตัว

R = จำนวนของตัวแปรนำเข้า ในกรณีของงานวิจัยนี้ จะ

เก็บค่าระดับความเทาจำนวน 40 ค่า

W = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้น radial basis

Q = เวกเตอร์ที่ใช้ในการฝึก ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างในการฝึก 40 ตัวอย่าง

B = ค่าไบแอส

n = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าทุกของชั้น radial basis โดยที่

$$n = \left\| W_i - p \right\| \cdot b_i$$

a = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น radial basis

M = เมตริกซ์ของตัวแปรน้ำหนักในโครงข่ายชั้น competitive

d = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าทุกของชั้น competitive

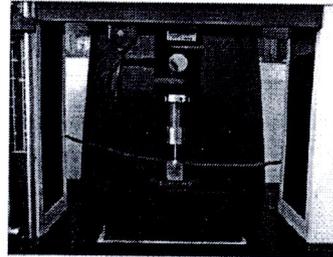
K = จำนวน class ซึ่งในงานวิจัยนี้มี 2 class

c = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น competitive

### 2. สร้างรอยแตกของรากฟิน

เก็บฟินจริงจำนวน 200 ซี่ ที่ถูกถอนออกมาแช่ใน 10% formalin จากนั้นนำฟินมาทำความสะอาด นำฟินกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาตัดส่วนตัวฟินออก ให้เหลือส่วนตัวฟินห่างจากรอยต่อเคลือบผิวฟินและเคลือบราก

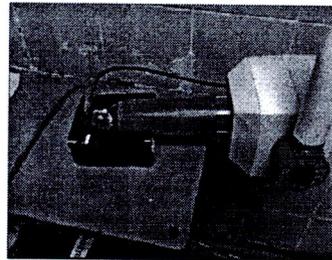
ฟิน(Cementoenamel junction, CEJ) 2 มม. หลังจากนั้นแบ่งฟินออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นฟินที่ไม่มีการแตกของราก จำนวน 50 ซี่ และ กลุ่มทดลอง จำนวน 150 ซี่ เคลือบซี่ที่ทั้งซี่ครอบรากฟิน และนำไปลงกล่องเรซิน ซึ่งใช้เป็นฐานรองรับฟินที่ทำรากฟินแตก หลังจากนั้นนำฟินในกลุ่มทดลองมาสร้างรอยแตกแนวค้ำ ด้วย Universal Testing Machine ดังรูปที่ 3



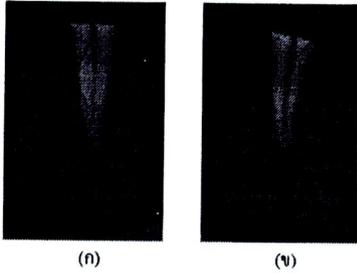
รูปที่ 3 แสดงการสร้างรอยแตกของรากฟินด้วย Universal Testing Machine

3 ถ่ายภาพรังสีด้วยระบบดิจิทัล

เมื่อทดลองกดฟินเสร็จแล้วนำฟินทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง) ไปถ่ายภาพรังสีด้วยกล้องถ่ายภาพรังสีดิจิทัล ดังรูปที่ 4 และภาพถ่ายรังสีที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 5(ก) และ 5(ข)



รูปที่ 4 แสดงการถ่ายภาพด้วยกล้องรังสีระบบดิจิทัล

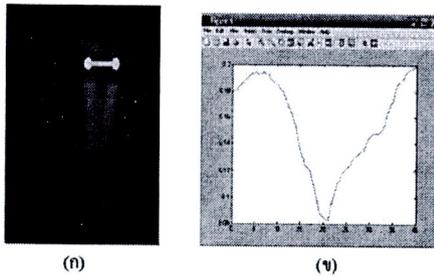


รูปที่ 5 แสดงการถ่ายภาพรังสี(ก)รากฟันที่มีรอยแตก(ข) รากฟันปกติ

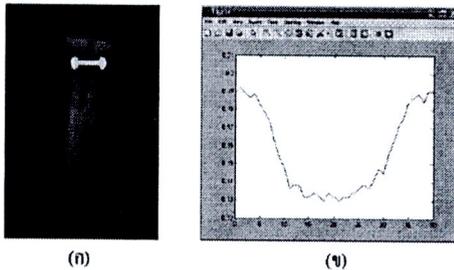
4 นำภาพถ่ายรังสีของรากฟันมาประมวลผล ภาพเพื่อหาลักษณะเด่น

ในขั้นตอนนี้เป็นการทำงานลักษณะเด่นของ ภาพถ่ายรังสีเพื่อหาความแตกต่างของรากฟันที่มีรอย แตกและไม่มีรอยแตก โดยในขั้นตอนนี้ได้สนใจไปที่ ระดับของความเทาของภาพเชิงตัวเลข การนำข้อมูลนำเข้า เริ่มตั้งแต่ลากเส้นผ่านบริเวณรอยแตก แสดงได้ดังรูปที่ 6(ก), 6(ข), 7(ก) และ 7(ข)

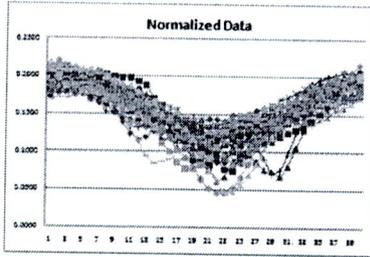
จากขั้นตอนในรูปที่ 6-7 นำข้อมูลที่ได้มา ทั้งหมดจากรากฟัน 200 ซี่ มาทำอนุกรมฟูริเยร์เพื่อลดความ ต่างของข้อมูลเจดตี ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทำอนุกรมฟูริเยร์ ของรากฟันที่มีรอยแตกและฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก) แสดงได้ดังรูปที่ 8(ก) และ 8(ข)



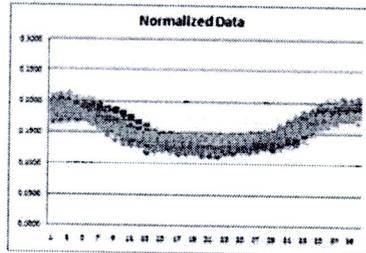
รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของรากฟันที่มีรอยแตก (ก) ลากเส้นเพื่อวัดระดับความเทาของ ภาพถ่ายรังสี (ข) ลักษณะกราฟระดับความเทาของพื้นที่ที่มีรอยแตก



รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของรากฟันปกติ (ก) ลากเส้นเพื่อวัดระดับความเทาของ ภาพถ่ายรังสี (ข) ลักษณะกราฟระดับความเทาของพื้นที่ที่มีรอยแตก



(ก)



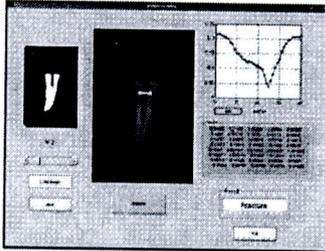
(ข)

รูปที่ 8 แสดงข้อมูลของภาพพื้นที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์ (ก) ที่มีรอยแตกของรอกทั้งหมด (ข) ที่ไม่มีรอยแตกของรอกทั้งหมด

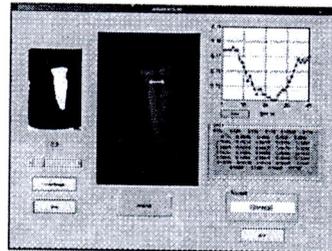
5. กิกตอนแบบจำลอง

นำพื้นที่ที่มีรอยแตกและไม่มีรอยแตกรวม 200 ซี ที่ถ่ายภาพรังสีดิจิทัลแล้ว มาป้อนข้อมูลให้แบบจำลองเรียนรู้ ดังรูปที่ 9(ก) และ 9(ข) ในการฝึกและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม ได้นำชุดข้อมูลเชิงตัวเลขของภาพถ่ายรังสีของรอกพื้นที่ได้จากกระบวนการประมวลผลภาพ จำนวน 200 ซี ซีละ 40 ข้อมูลลักษณะเด่นของรอกพื้นที่ที่มีรอยแตกและไม่มีรอยแตก รวมเป็น

8000 ข้อมูลนำเข้า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีรอยแตกของรอกพื้นที่ และกลุ่มที่ไม่มีรอยแตก โดยในกลุ่มที่มีรอยแตกของรอกพื้นที่ให้มีชุดฝึก 100 ซี และชุดทดสอบ 50 ซี ส่วนในชุดของรอกพื้นที่ที่ไม่มีรอยแตกให้ชุดฝึกและชุดทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 30 ซี และ 20 ซี สำหรับข้อมูลนำออกของโครงข่ายประสาทเทียมคือรอกพื้นที่ที่มีรอยแตกและรอกพื้นที่ปกติ(ไม่มีรอยแตก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 แสดงการวินิจฉัยของแบบจำลอง (ก) รอกพื้นที่ที่มีรอยแตก (ข) รอกพื้นที่ที่ไม่มีรอยแตก

6. ทดสอบศักยภาพของแบบจำลอง

คำนวณหาค่าความไว(Sensitivity, SE) ค่าจำเพาะ(Specificity, SP) และค่าความแม่นยำ(Accuracy, AC) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการวินิจฉัยของแบบจำลอง หาได้จากสมการต่อไปนี้ [10]

$$SE = \frac{TP}{(TP+FN)} \times 100 \quad (2)$$

$$SP = \frac{TN}{(TN+FP)} \times 100 \quad (3)$$

$$AC = \frac{(TP+TN)}{(TN+TP+FN+FP)} \times 100 \quad (4)$$

โดยกำหนดให้ TP คือผลการทดสอบเป็นบวกในกลุ่มคนที่ป่วยโรค TN คือ ผลการทดสอบเป็นลบในบุคคลที่ไม่เป็นโรค FP ผลการทดสอบเป็นบวกในบุคคลที่ไม่เป็นโรค และ FN ผลการทดสอบเป็นลบในบุคคลที่

เป็นโรค ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า TP, TN, FP และ FN ให้เป็นดังนี้

TP = ผลการวินิจฉัยรากฟันที่มีรอยแตกว่าแตก

FP = ผลการวินิจฉัยรากฟันที่มีรอยแตกว่าไม่แตก

TN = ผลการวินิจฉัยรากฟันที่ไม่มีรอยแตกว่าไม่แตก

FN = ผลการวินิจฉัยรากฟันที่ไม่มีรอยแตกว่าแตก

#### ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

การออกแบบแบบจำลองนี้ นอกจากจะสนใจไปที่ค่าความไว ความจำเพาะ และความแม่นยำแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังได้สนใจไปที่ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันเกาส์เซียนในชั้นเรเดียล เบสชีต (Radial Basis Layer) ของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากมีผลต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยของแบบจำลองด้วย

ตารางที่ 1 แสดงการวินิจฉัยฟันที่ค่าการกระจายตัว( $\sigma$ )ต่างกัน

ลำดับที่	ค่าการกระจายตัว ( $\sigma$ ) 	ผลการวินิจฉัยถูก	
		ฟันที่มีรอยแตก 50 ซี่	ฟันปกติ 20 ซี่
1	1	48	16
2	0.5	50	0
3	0.25	50	0
4	0.1	45	19
5	0.05	46	19
6	0.025	48	19
7	0.01	48	19
8	0.005	48	19

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำชุดข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการประมวลผลภาพมาป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการวินิจฉัย โดยให้พารามิเตอร์การกระจายตัว ( $\sigma$ ) ของฟังก์ชันเกาส์เซียนในชั้น radial basis layer มีค่าต่างกัน จากตารางที่ 1 เมื่อกำหนดให้ค่าการกระจายตัวลดลง ความแม่นยำในการวินิจฉัยเพิ่มมากขึ้น ที่ค่าการกระจายตัว 0.5 และ 0.25 สามารถวินิจฉัยรากฟันที่มีรอยแตกได้ถูกต้องทั้งหมด 50 ซี่ แต่ในขณะที่เดียวกันการวินิจฉัยฟันปกติผิดทั้งหมด 20 ซี่ แต่เมื่อค่าการกระจายตัวที่ 0.025 สามารถวินิจฉัยถูกของรากฟันที่มีรอยแตกได้ 48 ซี่ และรากฟันปกติได้ 19 ซี่ และผลการวินิจฉัยจะคงที่ไปจนถึงค่าการกระจายตัวที่ 0.005

ตารางที่ 2 แสดงค่า sensitivity specificity และ accuracy

ค่าการกระจายตัว ( $\sigma$ )	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
1	92.31	88.89	91.43
0.5	71.43	0.00	71.43
0.25	71.43	0.00	71.43
0.1	97.83	79.17	91.43
0.05	97.87	82.61	92.86
0.025	97.96	90.48	95.71
0.01	97.96	90.48	95.71
0.005	97.96	90.48	95.71

เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 1 มาคำนวณมาคำนวณหาค่าความไว (sensitivity) ค่าความจำเพาะ (specificity) และ ค่าความแม่นยำ (accuracy) ของแบบจำลอง ซึ่งเป็นตัวเลขดัชนีชี้วัดการประเมินผลการ

ทดสอบทางการแพทย์ จากตารางที่ 2 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ที่ค่าการกระจายตัว(σ) ของฟังก์ชันเกาส์ที่เขียนเท่ากับ 0.5 และ 0.25 ถึงแม้จะสามารถวินิจฉัยรากฟันที่มีรอยแตกถูกทั้งหมด แต่กลับให้ค่าความไวที่ 71.43% ส่วนค่าความจำเพาะเป็น 0% เนื่องจากวินิจฉัยรากฟันที่ปกติผิดทั้งหมด ส่วนค่าความแม่นยำของการวินิจฉัยอยู่ที่ 71.43% ในขณะที่เมื่อกำหนดให้ค่าการกระจายตัวเป็น 0.025 จะให้ค่าความไวที่ 97.87 และค่าความจำเพาะที่ 90.48 ความแม่นยำของแบบจำลองอยู่ที่ 95.71% และค่าทั้ง 3 จะยังคงเท่ากันเมื่อกำหนดให้ค่าการกระจายตัวเป็น 0.01 และ 0.005

จากผลการทดลองที่ได้ เมื่อค่าความไว (sensitivity) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวินิจฉัยพบรากฟันที่มีรอยแตก ซึ่งถ้าค่าความไวสูงจะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากสำหรับการวินิจฉัยภาพฟันที่มีรอยแตก และค่าความจำเพาะ (specificity) เป็นค่าที่บอกรถึงความสามารถในการวินิจฉัยภาพฟันที่ปกติ ซึ่งถ้าค่าจำเพาะสูงจะแสดงให้เห็นว่าจะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากในการวินิจฉัยภาพฟันที่ผิดปกติ

#### สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการเทคนิคการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์สร้างแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกหักของรากฟันแนวตั้งด้วยภาพถ่ายรังสีระบบดิจิทัล โดยที่ข้อมูลป้อนเข้า(input) จะเป็นค่าระดับความเทา(gray level) 40 ค่าของบริเวณที่สนใจของรากฟัน สำหรับข้อมูลนำออก(output) ของโครงข่ายประสาทเทียมจะขึ้นบอถึงรากฟันที่มีรอยแตกและรากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก) บั้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการวินิจฉัยอย่างหนึ่งที่พบในการวินิจฉัยของแบบจำลองคือ ระดับค่าความเทาของภาพถ่ายรังสีของฟันแต่ละซี่จะต่างกัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการทำนอร์มอลไลซ์ (normalized) ข้อมูลป้อนเข้าก่อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันนี้ยังมีข้อจำกัดคือ สำหรับฟันที่ได้รับผลการคัดเลือกรากฟันด้วยวัสดุทางการแพทย์ หรือหมุดชนิดต่างๆ เมื่อวัดระดับความเทาของภาพรังสีของฟันเหล่านี้ได้ระดับที่ผิดเพี้ยนไป อาจส่งผลต่อการวินิจฉัยได้ และอีกประการหนึ่งคือฟันที่มีรอรากฟันที่ลึก ข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับความเทาของรากฟันจะคล้ายกับข้อมูลของรากฟันที่มีรอยแตก ทำให้การวินิจฉัยเกิดข้อผิดพลาดได้

จากการทดลองนำภาพถ่ายรังสีของรากฟันมาวินิจฉัยในแบบจำลองพบว่า แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ(accuracy), ค่าความไว(sensitivity) และค่าความจำเพาะ(specificity) ซึ่งทั้งสามค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ดังนั้น หากแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันได้รับการพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง ก็จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยทันตแพทย์วินิจฉัยโรคได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำมากยิ่งขึ้น และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

#### กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์(โครงการทุนวิจัยเชิงนวัตกรรม) มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

#### เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Kishen A (2006). Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth, *Endodontic topics*, vol. 13, 206, pp. 57-83.
- [2] Andreasen JO (1970). Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 11,298 cases. *Scand J Dent Res*, vol. 78, 1970, pp.329 – 342.
- [3] Monaghan P, Bajjalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. (1993). A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth, *J Endod*, vol. 19, 1993; pp. 512 – 515.

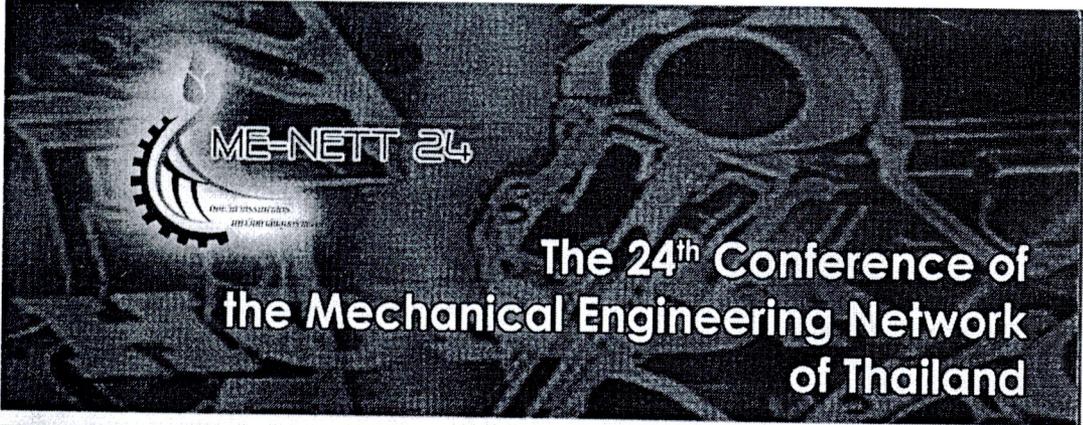
- [4] Cohen S, Blanco L, and Berman L. (2003). Vertical root fracture: clinical and radiography diagnosis. *JADA*, vol. 134, April 2003, pp.434 - 441.
- [5] Bender FM, Andreasen JO(1983). Resorption and mineralization process following root fracture of permanent incisors. *J AmDent Assoc*, vol. 107, 1983, pp.595 - 600.
- [6] Kositbowornchai S, Nuansakul R, Sikram S, Sinhawattana S, and Saengmontri S. (2001). Root fracture detection : a comparison of digital radiography with conventional radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 30, pp.106-109.
- [7] Ji-Un Lee, Ki-Jeong Kwon, and Kwang-Joon Koh. (2004). Diagnosis accuracy of artificially induced vertical root fracture: a comparison of direct digital periapical images with conventional periapical images. *Korean J Oral Maxillofac Radiol*, vol.34, 2009, pp.185 - 90.
- [8] Jongdee Kambungton, Apirum Janhom, Sangsom Prapaysatok, and Surawut Pongsiriwet.(2009). Assessment of vertical root fractures using three imaging modality: cone beam computed tomography, intraoral digital radiography and film. *National Graduate research conference*, 2009, pp.895-902.
- [9] Wu Stephen Gang, Bao Forrest Sheng, You Xu Eric, Wang Yu-Xuan, Chang Yi-Fan and Xiang Qiao-Liang (2007). A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network. *cs.AI*, july 2007.
- [10] Ali H. Al-Tinemy, Fawzi M. Al-Naima and Nebras H. Qaab (2009). Probabilistic neural network for breast biopsy classification, *MASAUM Journal of computing*, vol. 1, September 2009, pp. 199 - 204.

### บทความที่ 3

การวิเคราะห์รอยแตกร้าวของรากฟันด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



20<sup>th</sup>-22<sup>nd</sup> October 2010  
**SUNEE GRAND HOTEL AND CONVENTION CENTER, UBONRATCHATHANI**



Hosted by: Department of Mechanical Engineering, Ubon Ratchathani University  
Cooperated by: Thai Society of Mechanical Engineering (TSME)

CST10.....	98
การศึกษาประสิทธิภาพของอีเจ็คเตอร์ที่ใช้หัวฉีดแบบเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดที่คอคอด โดยใช้วิธีการคำนวณ พลศาสตร์ของไหล ณัฐ สุวรรณภู และ ธนรัฐ ศรีวีระกุล	
CST12.....	99
The order of stress singularity at the vertex in three-dimensional bonded joints Monchai Prukvilailert	
CST13.....	100
การคำนวณอุณหภูมิทางออกสำหรับตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลข้ามกัน ด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ ประเสริฐ อินประเสริฐ	
CST14.....	101
การวิเคราะห์การตัดและกวดตองแดงในกระบวนการวางลวดทองแดงบนแกนยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบอัตโนมัติ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์แบบพลศาสตร์ชัดแจ้ง รวิชัย บุญเหลือ ธนธรรม สองสี และ วีระ เจียรพงษ์กุล	
CST17.....	102
การออกแบบหาค่าเหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ระบายความร้อนแบบครีบบนโดยใช้อีมพีเอสโอร่วมกับพื้นผิวตอบสนอง สังคม ศรีสมพร และ สุจิตต์ บุรีรัตน์	
CST18.....	103
การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันในการติดอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเล็ก ปรัชญา มุขตา พิเชฐ นิลดวงดี อนุชา สายสร้อย อุทัย ผ่องวิทย์ กุลเชษฐ์ เพ็ญทอง และวีระพันธ์ สีหามาน	
CST22.....	104
การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิต กิตติราช สัจฉิวิทย์พิทย์ พิทักษ์ พยอมโรตง กิตติชัย คำพันธ์ม และ พงษ์เจต พรหมวงค์	
CST23.....	105
การไหลแบบราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีกริบบรูปตัวยู มุกต์ อุภษฎ์มโนรด คำวิทย์ จันทร์แสงสุข และ พงษ์เจต พรหมวงค์*	
CST24.....	106
การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบไหลราบเรียบในท่อกลมที่ติดตั้งกริบบางเอียง ภานุรุจ ปวีลาภา ภาว นันทิกะกุล รัตติกดิ์ พุ่มสกุล ป่ารุ่ง พ่วงเกิด และ พงษ์เจต พรหมวงค์	
CST27.....	107
การคำนวณรังสีตกกระทบนอกบรรยากาศโลกจากวงโคจรด้วยวิธีเชิงตัวเลข ประเสริฐ อินประเสริฐ	
CST28.....	108
การวิเคราะห์รอยแตกกว้างของรากฟันด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ ตะวัน ตั้งโกศล สุภัทรา ปลื้มกมล และ สุชาติ โยธิตบวรชัย	



CST 028

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24  
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

## การวิเคราะห์รอยแตกร้าวของรากฟันด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ Dental Root Fracture Detection by Using Artificial Neural Network

ตะวัน ตังโกศล<sup>1</sup>, สุภัทรา ปลื้มกมล<sup>1</sup> และ สุวดี โฆษิตบวรชัย<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

<sup>2</sup> ภาควิชาวินิจฉัยโรคช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ติดต่อ: โทรศัพท์: 043 202 845 , โทรสาร: 043 202 849

E-mail: tangkosol\_83@hotmail.com

supple@kku.ac.th

suwadee@kku.ac.th

### บทคัดย่อ

การตรวจหารอยโรคของฟันที่แตกร้าวจากอุบัติเหตุ โดยส่วนใหญ่ถูกวินิจฉัยด้วยสายตาเปล่าของทันตแพทย์ จากภาพถ่ายรังสีระบบฟิล์ม ซึ่งกระบวนการตรวจวินิจฉัยดังกล่าวสามารถตรวจพบได้เพียง 60% เท่านั้น ยิ่งถ้าหาก รอยแตกและร้าวที่เกิดขึ้นนั้นมีรอยบางๆและแคบมากยิ่งขึ้นจะทำให้การพยากรณ์การลุกลามของรอยโรคของทันต แพทย์ประสบปัญหามากยิ่งขึ้นเพราะไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการตรวจวินิจฉัย รอยโรคเพื่อทำการรักษาผิดพลาดไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์(Artificial Intelligent)มา ผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีจักรกลวิทัศน์(machine vision) เพื่อสร้างต้นแบบแบบจำลองการวิเคราะห์รอยแตกและ ร้าวของรากฟันเดี่ยวในแนวตั้ง ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural networks) โดยนำข้อมูลเกรสเกล (gray scale) ของภาพถ่ายรังสีระบบดิจิทัลของฟัน(ทั้งที่มีรอยแตกร้าวและปกติ) มาป้อน เป็นข้อมูลชุดฝึกให้กับโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 200 ชุด ซึ่งละ 40 ข้อมูล ที่มีการเรียนรู้ในชั้นซ่อนด้วยRadial basis function และชั้นขาคอกด้วย competitive function ผลจากการศึกษาพบว่าระดับความสามารถในการตรวจ พบบรากฟันที่มีรอยแตกและร้าว ของแบบจำลองนี้จะตรวจพบเพิ่มมากกว่าตรวจด้วยสายตาเปล่าหรือมีค่าความไว (sensitivity) เป็น 97.96% และความสามารถในการตรวจพบบรากฟันที่ไม่มีรอยแตกหรือมีค่าความจำเพาะ (specificity) เป็น 90.48% แบบจำลองนี้ถือเป็นนวัตกรรมใหม่ที่จะช่วยทันตแพทย์วินิจฉัยรอยแตกร้าวของรากฟัน

**คำหลัก:** การแตกของรากฟันในแนวตั้ง จักรกลวิทัศน์ ภาพถ่ายรังสีระบบดิจิทัล ความไว ความจำเพาะ โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็นหลายชั้น เรเดียลเบสิกฟังก์ชัน คอมเพทิทีฟฟังก์ชัน



### Abstract

The dentist's detection for traumatic dental injuries. Mainly diagnosis with eyes of dentist from film radiographic image . It can diagnose only 60%. If the fracture line is narrow, the dentist's diagnosis harder because of fail to see. To affect the dentist's treat fail. It may extract normal teeth. Therefore, this research had combined of artificial intelligence and machine vision for creating the simulation of vertical root fracture detection with probabilistic neural networks that learning in hidden layer with radial basis function and the output layer with competitive function. The input data is gray scale value of digital radiographic image(fracture and normal root) input the dataset 200 training, which is 40 data. The result found that performance of diagnosis vertical root fracture of model . it detect increasing more than human eye or sensitivity 97.96% and also the capability of detect the normal root teeth or specificity is 90.48%. Moreover this model can be good assistance of dentist and it's also modern innovation for detection vertical root fracture.

**Keywords:** vertical root fracture, machine vision, radiographic image, sensitivity, specificity, probabilistic multilayer neural networks, radial basis function, competitive function

### 1. บทนำ

การแตกหักของรากฟันถือเป็นปัญหาหลักทางทันตกรรมเป็นอันดับ 3 ต่อจาก ฟันผุ(dental carries) และ โรคปริทันต์(periodontal disease)[1] มีรายงานการเกิดประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 7 ของการได้รับบาดเจ็บที่มีต่อรากฟัน [2]และพบมากกับฟันรากเดี่ยวที่มีลักษณะรอยแตกที่เกิดในแนวตั้งถึง 93%[3] สาเหตุของการแตกหักของรากฟัน แบ่งได้เป็น 2 สาเหตุใหญ่คือ กระบวนการรักษาของทันตแพทย์ เช่น การบูรณะฟันด้วยโพสท์(post) และการปักหมุด(pin) ที่มีขนาดใหญ่เกินไปหรือยาวเกินไปลงไปในคลองรากฟัน ทำให้เกิดแรงดันที่ผนังคลองรากฟันและเกิดการแตกหักได้ในที่สุด ซึ่งอาจเกิดขึ้นที่หรืออาจเกิดได้ภายหลัง เป็นต้น ส่วนสาเหตุต่อมาคือ เกิดจากแรงกระแทกต่อตัวฟัน (traumatic injury) เช่น การเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์ จากการทำงาน หรือจากการเล่นกีฬา หรือการใช้ฟันผิดวิธี เช่น ใช้ฟันเปิดฝาขวด เป็นต้น

ขั้นตอนการวินิจฉัยรากฟันที่แตกหัก ก่อนที่จะมีการตัดสินใจวางแผนการรักษา ต้องเริ่มจากการซักประวัติและการตรวจทางคลินิก เช่น การตรวจรอบฟันที่สงสัย การส่องด้วยแว่นขยาย การย้อมสีฟัน(staining test) การทดสอบด้วยกระดาษแลสลูมิเนชั่น

(transillumination test) การใช้เอ็กซพลอเรอร์(explorer) การใช้เครื่องมือตรวจปริทันต์(probe) การทดสอบการกัด(bite test)และการถ่ายภาพรังสีแบบฟิล์ม(X-rays) ด้วยสายตาเปล่าของทันตแพทย์ รวมถึงการถ่ายภาพรังสี[4] ในการถ่ายภาพรังสีได้มีการแนะนำให้มีการถ่ายภาพรังสีในหลายมุม เพื่อช่วยในการตรวจหารอยแตกหักของรากฟันได้ดียิ่งขึ้น[5] สำหรับการวินิจฉัยฟันด้วยภาพถ่ายรังสีได้มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามศึกษาเพื่อประเมินความถูกต้องในการวินิจฉัยภาพถ่ายรังสีของรากฟันที่มีรอยแตกแนวตั้งด้วยกล้องถ่ายภาพรังสี 2 ระบบ คือ ระบบดิจิทัลและระบบฟิล์ม[6,7] ผลที่ได้คือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อมาได้มีการเปรียบเทียบภาพถ่ายรังสีอีกครั้งโดยเพิ่มระบบรังสีชนิดโคนบีมคอมพิวเตดโทโมกราฟีที่เข้าไป[8] ผลที่ได้ก็ยังคงพบว่ายังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของภาพถ่ายรังสีทั้ง 3 ชนิด ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีภาพถ่ายรังสีหลายชนิดแต่จะเห็นได้ว่าในการวินิจฉัยการแตกหักของรากฟันซึ่งจำเป็นต้องอาศัยภาพถ่ายรังสียังคงเป็นอุปสรรคสำหรับทันตแพทย์ต่อการวางแผนการรักษา



ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการนำโครงข่ายประสาทเทียมชนิดความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network) มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวินิจฉัยรอยแตกของรอกฟัน และเพื่อทดสอบหาความสามารถในการตรวจพบรอยแตกหักของรอกฟันหรือค่าความไว (Sensitivity) และความสามารถในการตรวจพบรอกฟันที่ไม่มีรอยแตกหักหรือค่าความจำเพาะ (Specificity)

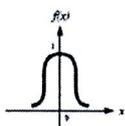
2. โครงข่ายประสาทเทียม

ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยโดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic Neural Network) เนื่องจากโครงข่ายชนิดนี้มีข้อดี คือ ความสามารถในการฝึกข้อมูลค่อนข้างง่ายและรวดเร็วกว่าโครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่น เช่น backpropagation นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อสิ่งรบกวน (Noise) [9]

โครงข่ายนี้จะแบ่งเป็น 2 ชั้น (Layer) ชั้นแรกจะเป็น Radial Basis Layer ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน เป็น radbas ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเกาส์เซียน (gaussian function) มีการทำงานดังสมการที่ 1

$$f(x) = e^{-x^2/\sigma^2} \tag{1}$$

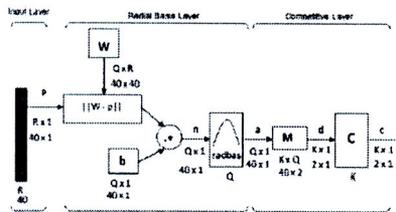
โดยมีพารามิเตอร์  $\sigma$  เป็นตัวควบคุมความกว้างของฟังก์ชันหรือเรียกว่าพารามิเตอร์การกระจายตัว (spread parameter) ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และมีลักษณะของผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงฟังก์ชันเกาส์เซียน

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นอินพุต ให้กับชั้นถัดไป และไปชั้นที่สี่จะเป็น competitive layer และมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น compet(C) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะบอกถึง class ของอินพุตที่ป้อนเข้าสู่โครงข่าย งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 class คือฟันที่มีรอยแตกของรอกกับ

ฟันที่ไม่มีรอยแตกของรอก และมีสถาปัตยกรรมแบบ 40-42-2



รูปที่ 2 แสดงสถาปัตยกรรมของ Probabilistic Neural Network

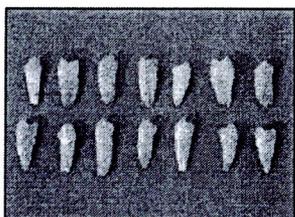
จากรูปที่ 2 กำหนดให้

- P = เวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็นตัวแปรนำเข้า R ตัว
- R = จำนวนของตัวแปรนำเข้า ในกรณีของงานวิจัยนี้จะเก็บค่าระดับความเทาจำนวน 40 ค่า
- W = เมตริกซ์ของตัวแปรนำห้ในโครงข่ายชั้น radial basis
- Q = เวกเตอร์ที่ใช้ในการฝึก งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างในการฝึก 40 ตัวอย่าง
- b = ค่าไบแอส
- n = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ของชั้น radial basis โดยที่  $n = \|W_i - p\| \cdot b_i$
- a = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น radial basis
- M = เมตริกซ์ของตัวแปรนำห้ในโครงข่ายชั้น competitive
- d = เวกเตอร์ของตัวแปรนำเข้าสู่ของชั้น competitive
- K = จำนวน class ซึ่งในงานวิจัยนี้มี 2 class
- c = เวกเตอร์ของตัวแปรนำออกของชั้น competitive

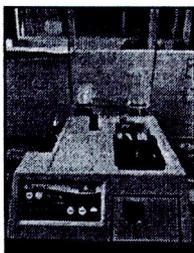
3. วิธีทำการวิจัย

ขั้นตอนในการทำการวิจัยนี้เริ่มจากการเก็บตัวอย่างข้อมูล การหาลักษณะเด่นและวิเคราะห์ภาพ และการรู้จำของแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

3.1 การเก็บตัวอย่างข้อมูล(Data Acquisition)  
เก็บฟันจริงจำนวน 200 ซี่ ที่ถูกถอนออกมาแล้ว  
นำไปแช่ในฟอมาลีน 10% และทำความสะอาด ดังรูป  
ที่ 3

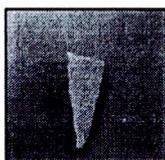


รูปที่ 3 แสดงฟันรากเดี่ยวที่ใช้ในการทดลอง  
จากนั้นนำฟันที่ทำความสะอาดแล้วมาแบ่ง  
ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นฟันปกติ 50  
ซี่ และกลุ่มทดลอง 150 ซี่ เป็นกลุ่มที่ต้องการให้เกิด  
รอยแตกของรากฟัน ตัดส่วนของตัวฟันออกให้เหลือ  
ส่วนของตัวฟันที่ห่างจากรอยต่อเคลือบผิวฟันและ  
เคลือบรากฟัน(Cementoenamel junction, CEJ) 2  
 มม. ด้วยเครื่อง Isomet ดังรูปที่ 4 เคลือบด้วยซีเมนต์  
ชมพูรอบรากฟัน แล้วนำไปลงกล่องเรซิน ที่ใช้เป็น  
ฐานรองรับฟัน ดังรูปที่ 5 แล้วนำฟันในกลุ่มทดลองทั้ง  
150 ซี่ มาสร้างรอยแตกด้วยเครื่อง Universal Testing  
Machine ดังรูปที่ 6 เมื่อสร้างรอยแตกเสร็จแล้วนำฟัน  
ทั้งหมดไปถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัลดังรูปที่ 7

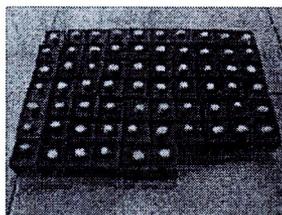


(ก)

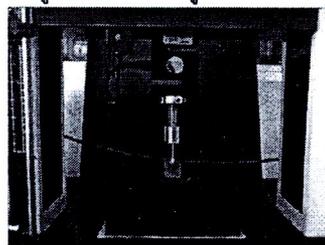
รูปที่ 4 แสดง(ก)เครื่อง Isomet (ข)ฟันที่ตัดตัวฟัน  
ออกให้เหลือแต่ส่วนของรากฟัน



(ข)

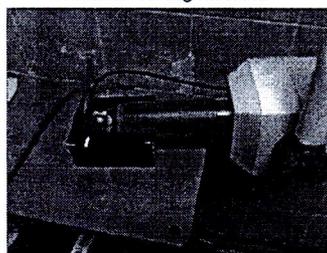


รูปที่ 5 แสดงฟันที่อยู่ในกล่องเรซิน



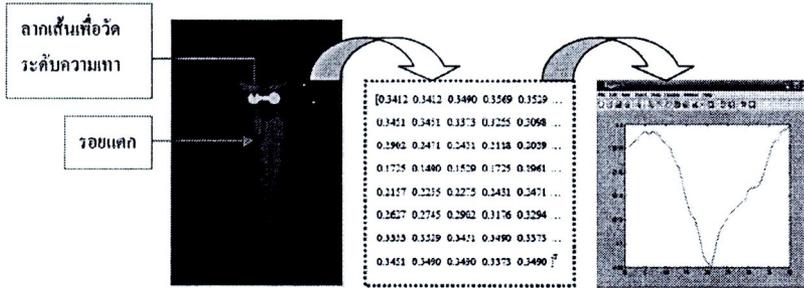
รูปที่ 6 แสดงการสร้างรอยแตกของรากฟันด้วย

Universal Testing Machine

รูปที่ 7 แสดงการถ่ายภาพด้วยกล้องรังสีระบบ  
ดิจิทัล

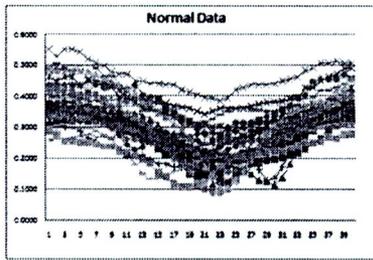
3.2 การทำลักษณะเด่นและการวิเคราะห์ข้อมูล  
(Image Segmentation and Data Analysis)

เมื่อได้ภาพถ่ายรังสีแล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการหา  
ลักษณะเด่นของภาพเพื่อหาความแตกต่างของภาพ  
รากฟันที่มีรอยแตกและไม่มีรอยแตกจากระดับความ  
เทาของภาพ(Gray Level) เชิงตัวเลข ในขั้นตอนนี้ได้  
ทำการลากเส้นเพื่อวัดระดับความเทาของพื้นที่ที่สนใจ  
40 ค่าเพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าให้กับโครงข่าย  
ประสาทเทียม ดังรูปที่ 8

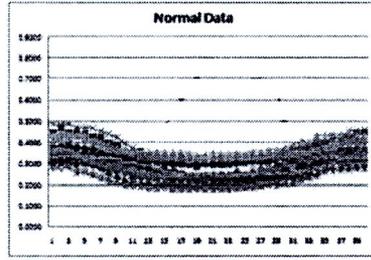


รูปที่ 8 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของภาพ

วัดระดับความเทาเข้ากับพื้นที่ทั้งหมด 200 ซึ่งรอยแตกของรากดังรูปที่ 9(ก) และกราฟของรากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก) ดังรูปที่ 9(ข)  
 จากนั้น นำข้อมูลมาเขียนกราฟจะได้กราฟข้อมูลที่มี



(ก)

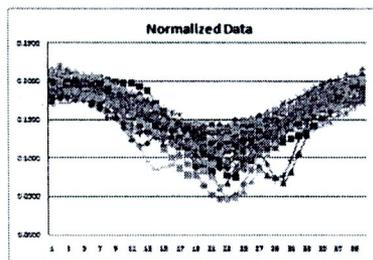


(ข)

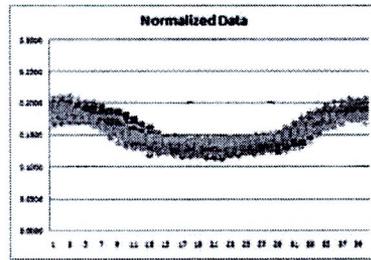
รูปที่ 9 ข้อมูลระดับความเทาของภาพ (ก) รากฟันที่มีรอยแตก (ข) รากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก)

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่ากราฟที่ได้ยังมีกรกระจัดกระจายเนื่องจากระดับความเทาของแต่ละภาพรากฟันนั้นมีความต่างกัน ส่งผลให้การวินิจฉัยของแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจะเกิด

ข้อผิดพลาดได้ เพื่อลดข้อผิดพลาดดังกล่าว จึงต้องทำการ نرمอลไลซ์ข้อมูล(Normalized Data) กราฟข้อมูลที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 10



(ก)



(ข)

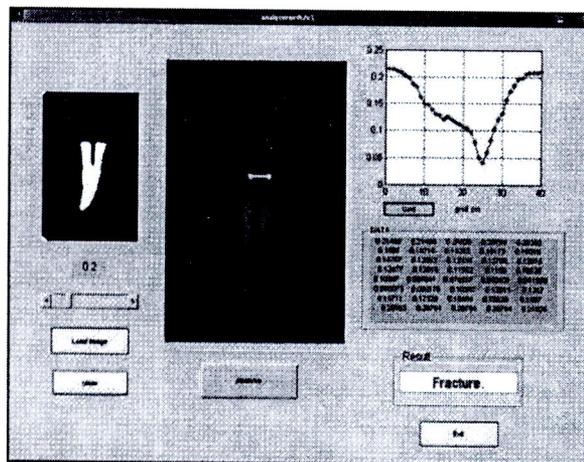
รูปที่ 10 ข้อมูลที่ผ่านการ نرمอลไลซ์ของ(ก)รากฟันที่มีรอยแตก (ข) รากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก)

### 3.3 การจดจำ(Recognition)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการจดจำข้อมูล รอยแตกของรากฟัน ด้วยการนำข้อมูลจำนวนฟัน 200 ซี่ แต่ละซี่มี 40 ข้อมูล รวมทั้งหมดเป็น 8,000 ข้อมูล เพื่อใช้ในการฝึกและทดสอบโครงข่ายโประสาทเทียม ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (กลุ่มฟันปกติ) กลุ่มทดลอง(กลุ่มฟันที่มีรอยแตก) และ ทั้ง 2 กลุ่มจะต้องถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดฝึกและชุดทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้แบ่งการทดสอบการจดจำ ข้อมูลของโครงข่าย ออกเป็น 3 กรณี คือ

- กรณีที่ 1 ชุดข้อมูลฝึก 80 ชุด และข้อมูลทดสอบ 120 ชุด
- กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลฝึก 105 ชุด และข้อมูลทดสอบ 95 ชุด
- กรณีที่ 3 ชุดข้อมูลฝึก 130 ชุด และข้อมูลทดสอบ 70 ชุด

หลังจากนั้นทำการทดสอบทั้ง 3 กรณีโดยสร้างเป็นแบบจำลองในการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน

สำหรับข้อมูลนำออกของโครงข่ายโประสาทเทียมคือรากฟันที่มีรอยแตกและรากฟันปกติ(ไม่มีรอยแตก) แล้วคำนวณหาค่าความไว(Sensitivity) ค่าความจำเพาะ(Specificity) และค่าความแม่นยำ(Accuracy) ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการวินิจฉัยของแบบจำลอง[10] โดยที่

ค่าความไว(Sensitivity) คือค่าความสามารถในการตรวจวินิจฉัย แล้วสามารถระบุคนที่ป่วยจริงได้ว่าป่วย และระบุคนที่ไม่ป่วยว่าไม่ป่วย โดยการทดสอบที่มีค่าความไวสูง จะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากสำหรับคนที่ป่วย แต่โอกาสที่คนที่ไม่เป็นโรค

จะปะนเข้ามาด้วยเช่นกัน ดังนั้นค่าความไวจะมีประโยชน์มากที่สุดเมื่อใช้เป็นตัวแยกโรคออกไป หากได้จากสมการที่ 2

$$SE = \frac{TP}{(TP+FN)} \times 100 \quad (2)$$

ค่าความจำเพาะ ( Specificity) คือ ค่าความสามารถในการตรวจวินิจฉัยคนที่ไม่ป่วยได้ถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบกับคนที่ไม่ป่วยทั้งหมด การทดสอบที่มีค่าความจำเพาะสูงจะมีโอกาสผิดพลาดน้อยมากในการวินิจฉัยคนที่ปกติว่าเป็นโรค หากได้จากสมการที่ 3

$$SP = \frac{TN}{(TN+FP)} \times 100 \quad (3)$$



CST 028

ค่าความแม่นยำ(Accuracy) คือ ค่าความแม่นยำของการวินิจฉัยของแบบจำลอง หาได้จากสมการที่ 4

$$AC = \frac{(TP+TN)}{(TN+TP+FN+FP)} \times 100 \quad (4)$$

โดยกำหนดให้ TP คือผลการทดสอบเป็นบวกในกลุ่มคนที่ป่วยโรค TN คือ ผลการทดสอบเป็นลบในบุคคลที่ไม่เป็นโรค FP ผลการทดสอบเป็นบวกในบุคคลที่ไม่เป็นโรค และ FN ผลการทดสอบเป็นลบในบุคคลที่เป็นโรค ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า TP, TN, FP และ FN ให้เป็นดังนี้

- TP = ผลการวินิจฉัยรภาพพื้นที่มีรอยแตกว่าแตก
- FP = ผลการวินิจฉัยรภาพพื้นที่มีรอยแตกว่าไม่แตก
- TN = ผลการวินิจฉัยรภาพพื้นที่ไม่มีรอยแตกว่าไม่แตก

แตก

FN = ผลการวินิจฉัยรภาพพื้นที่ไม่มีรอยแตกว่าแตก

4.ผลการทดลอง

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อวินิจฉัยรอยแตกของรภาพพื้น ในงานวิจัยนี้ได้สนใจไปที่ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแกาส์เซียนในชั้นเรเดียลเบซิส(radial basis layer)ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural network)ด้วย โดยมีผลการทดลองดังนี้

กรณีที่ 1 ชุดข้อมูลฝึก 80 ชุด และข้อมูลทดสอบ 120 ชุด

ตารางที่ 1 ผลการวินิจฉัยรอยแตกของรภาพพื้นของแบบจำลอง ในกรณีที่ 1

อันดับ	ค่าการกระจายตัว	ผลการวินิจฉัย		Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
		พื้นที่มีรอยแตก 100 ซี่	พื้นที่ไม่มีรอยแตก 20 ซี่			
1	1	45	19	97.13	2.48	13.33
2	0.5	100	8	13.53	100	13.53
3	0.25	91	14	33.30	42.42	79.17
4	0.1	78	17	16.20	43.29	78.17
5	0.05	84	18	87.78	68.06	58.13
6	0.025	91	12	91.92	57.14	59.83
7	0.01	99	14	93.2	28.32	66.87
8	0.005	98	16	55.76	59.24	67.20

จากตารางที่ 1 เมื่อทดสอบการวินิจฉัยของแบบจำลอง โดยใช้ภาพรภาพพื้นที่มีรอยแตกจำนวน 100 ซี่ และภาพรภาพพื้นที่ไม่มีรอยแตกจำนวน 20 ซี่ ที่ค่าการ

กระจายตัวของฟังก์ชันแกาส์เซียนในชั้นเรเดียลเบซิส(radial basis layer)ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural network) ต่างกัน แล้วหาค่าความไว(sensitivity) ค่าความจำเพาะ(specificity) และค่าความแม่นยำ(accuracy)ของแบบจำลอง พบว่าที่ค่าการกระจายตัวที่ 0.05 ให้ค่าความไว(sensitivity)สูงที่สุดที่ 97.78% และให้ค่าความจำเพาะ(specificity)สูงที่สุดที่ 60.00% และค่าความแม่นยำ(accuracy)ของแบบจำลองก็ให้ค่าสูงที่สุดที่ 88.33%

กรณีที่ 2 ชุดข้อมูลฝึก 105 ชุด และข้อมูลทดสอบ 95 ชุด

ตารางที่ 2 ผลการวินิจฉัยรอยแตกของรภาพพื้นของแบบจำลอง ในกรณีที่ 2

อันดับ	ค่าการกระจายตัว	ผลการวินิจฉัย		Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
		พื้นที่มีรอยแตก 75 ซี่	พื้นที่ไม่มีรอยแตก 20 ซี่			
1	1	48	18	67.14	72.00	69.53
2	0.5	76	8	78.94	68.00	78.85
3	0.25	74	4	82.22	100.00	82.11
4	0.1	67	12	97.10	89.23	88.47
5	0.05	69	10	97.18	75.00	91.28
6	0.025	70	18	97.22	78.26	92.63
7	0.01	70	18	97.22	78.26	92.63
8	0.005	70	18	97.22	78.26	92.63

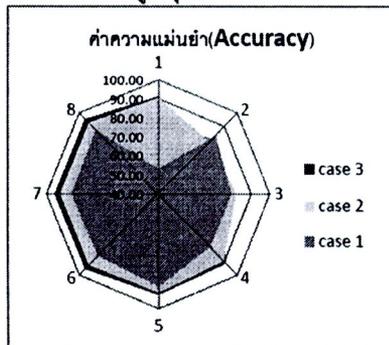
จากตารางที่ 2 เมื่อทดสอบการวินิจฉัยของแบบจำลอง โดยใช้ภาพรภาพพื้นที่มีรอยแตกจำนวน 75 ซี่ และภาพรภาพพื้นที่ไม่มีรอยแตกจำนวน 20 ซี่ ที่ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแกาส์เซียนในชั้นเรเดียลเบซิส(radial basis layer)ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น(probabilistic neural network) ต่างกัน แล้วหาค่าความไว(sensitivity) ค่าความจำเพาะ(specificity) และค่าความแม่นยำ(accuracy)ของแบบจำลอง พบว่าที่ค่าการกระจายตัวที่ 0.025-0.005 ให้ค่าความไว(sensitivity)สูงที่สุดที่ 97.22% และให้ค่าความจำเพาะ(specificity)สูงที่สุดที่ 78.26% และค่าความแม่นยำ(accuracy)ของแบบจำลองก็ให้ค่าสูงที่สุดที่ 92.63%

กรณีที่ 3 ชุดข้อมูลฝึก 130 ชุด และข้อมูลทดสอบ 70 ชุด

ตารางที่ 3 ผลการวินิจฉัยรอยแตกของรภาพพื้นของแบบจำลอง ในกรณีที่ 3

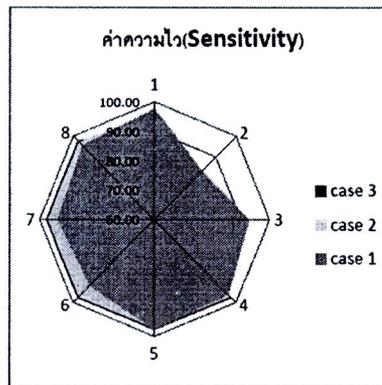
กรณี	ค่าความแปรปรวน	ขนาดของข้อมูล		Sensitivity (%)	Specificity (%)	Accuracy (%)
		ฝึกจำนวน	ทดสอบจำนวน			
1	1	45	14	92.31	85.50	91.41
2	0.5	50	0	71.43	0.00	71.43
3	0.25	50	0	71.43	0.00	71.43
4	0.1	25	19	97.87	79.17	91.43
5	0.05	46	19	97.87	82.61	92.36
6	0.025	45	19	97.96	96.48	95.71
7	0.01	45	19	97.96	96.48	95.71
8	0.005	45	19	97.96	96.48	95.71

จากตารางที่ 3 เมื่อทดสอบการวินิจฉัยของแบบจำลอง โดยใช้ภาพรากฟันที่มีรอยแตกจำนวน 50 ซี่ และภาพรากฟันปกติ จำนวน 20 ซี่ ที่ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนในชั้นเรเดียลเบซีส (radial basis layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (probabilistic neural network) ต่างกัน แล้วหาค่าความไว (sensitivity) ค่าความจำเพาะ (specificity) และค่าความแม่นยำ (accuracy) ของแบบจำลอง พบว่าที่ค่าการกระจายตัวที่ 0.025-0.005 ให้ค่าความไว (sensitivity) สูงที่สุดที่ 97.96% และให้ค่าความจำเพาะ (specificity) สูงที่สุดที่ 90.48% และค่าความแม่นยำ (accuracy) ของแบบจำลองก็ให้ค่าสูงที่สุดที่ 95.71%

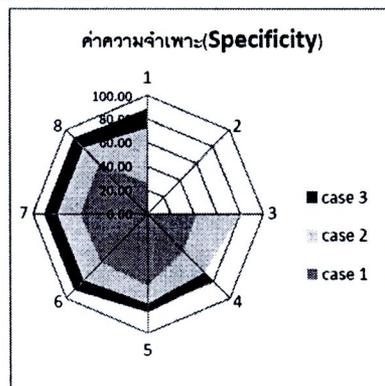


รูปที่ 12 กราฟความแม่นยำของแบบจำลองแต่ละกรณี จากผลการทดลอง ทั้ง 3 กรณีเมื่อพิจารณาที่ค่าความแม่นยำที่มากที่สุดของแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำค่าความแม่นยำของแต่ละกรณี จากตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 มาเขียนกราฟ จะพบว่า เมื่อปรับค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนในชั้นเรเดียลเบซีส (radial basis

layer) ลง กราฟกรณีที่ 3 จะให้ค่าความแม่นยำมากที่สุดในช่วงค่าการกระจายตัว 0.025 – 0.005 โดยมีค่าความแม่นยำที่ 95.71% แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มชุดข้อมูลที่ใช้การฝึกให้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มมากขึ้นแบบจำลองก็จะมีค่าความแม่นยำในการวินิจฉัยเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 13 กราฟค่าความไวของทั้ง 3 กรณี เมื่อพิจารณาที่ค่าความไว (sensitivity) ของทั้ง 3 กรณี จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่า ที่กรณีที่ 3 เมื่อลดค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนลง จะให้ค่าความไว (sensitivity) มากที่สุดในช่วงค่าการกระจายตัวที่ 0.1-0.005



รูปที่ 14 กราฟค่าความจำเพาะของทั้ง 3 กรณี เมื่อพิจารณาที่ค่าความจำเพาะ (specificity) ของทั้ง 3 กรณี จากรูปที่ 14 จะเห็นว่า ในกรณีที่ 3 เมื่อลด



## CST 028

ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนลงจะให้ค่าความจำเพาะ (specificity) มากที่สุดจากทุกกรณี ที่ช่วง 0.1-0.005 แต่เมื่อเข้าสู่ช่วง 0.025-0.005 จะให้ค่าความจำเพาะ (specificity) เท่ากันและมากที่สุดที่ 90.48%

### 5. สรุปผลการทดลอง

ในการสร้างแบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟัน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบความน่าจะเป็น (probabilistic neural networks) เนื่องจากในทางการแพทย์ได้มีดัชนีชี้วัดในการประเมินผลการทดสอบ นั่นก็คือ ค่าความไว (sensitivity) และ ค่าความจำเพาะ (specificity) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากจำนวนที่แบบจำลองวินิจฉัยถูกของรากฟันที่นำมาใช้ทดสอบ และความแม่นยำของแบบจำลองนี้ได้สอดคล้องกับการปรับค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนในชั้นเรเดียลเบส (radial basis layer) ด้วย ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำ (accuracy) ค่าความไว (sensitivity) และค่าความจำเพาะ (specificity) ในการวินิจฉัยที่สูง ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ค่าการกระจายตัวของฟังก์ชันแก๊สเซียนเป็น 0.01

แบบจำลองการวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันนี้ ยังมีข้อจำกัดในการวินิจฉัยสำหรับฟันที่ถูกรักษาลงรากฟันด้วยวัสดุอุด หมุด หรือเคียว เนื่องจากภาพถ่ายรังสีของฟันเหล่านี้ จะมีเจดสีระดับความเทาที่ต่างออกไป จะส่งผลต่อการวินิจฉัยของแบบจำลองได้ ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือฟันที่มีร่องรากฟันลึก จะทำให้เจดสีระดับความเทาของคลองรากฟันมีสีค่ามากกว่าปกติซึ่งเมื่อทำการวินิจฉัยด้วยการวัดระดับความเทาแล้วข้อมูลที่ได้อาจคลาดเคลื่อนกับข้อมูลของรากฟันที่มีรอยแตก จะส่งผลให้การวินิจฉัยผิดพลาดได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพผสมผสานกับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสร้างเครื่องมือวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันแทนทันตแพทย์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีการส่งผ่านข้อมูลและประมวลผลเข้า-

ออกแบบขนาน และสามารถปรับแต่งข้อมูลที่ซ่อนอยู่ภายในโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อโครงข่ายกันอย่างซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ดังนั้น หากเครื่องมือวินิจฉัยรอยแตกของรากฟันได้รับการพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง ก็จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยทันตแพทย์วินิจฉัยโรคได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำมากยิ่งขึ้น และลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ (โครงการทุนวิจัยเชิงนวัตกรรม) มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัยนี้

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kishen A (2006). Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth, *Endodontic topics*, vol. 13, 206, pp. 57-83.
- [2] Andreasen JO (1970). Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. A clinical study of 11,298 cases. *Scand J Dent Res*, vol. 78, 1970, pp.329 – 342.
- [3] Monaghan P, Bajalcaliev JG, Kaminski EJ, Lautenschlager EP. (1993). A method for producing experimental simple vertical root fractures in dog teeth, *J Endod*, vol. 19, 1993; pp. 512 – 515.
- [4] Cohen S, Blanco L, and Berman L. (2003). Vertical root fracture: clinical and radiography diagnosis. *JADA*, vol. 134, April 2003, pp.434 – 441.
- [5] Bender FM, Andreasen JO(1983). Resorption and mineralization process following root fracture of permanent incisors. *J AmDent Assoc*, vol. 107, 1983, pp.595 – 600.
- [6] Kositbowornchai S, Nuansakul R, Sikram S, Sinahawattana S, and Saengmontri S. (2001).



CST 028



- Root fracture detection : a comparison of digital radiography with conventional radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 30, pp.106-109.
- [7] Ji-Un Lee, Ki-Jeong Kwon, and Kwang-Joon Koh. (2004). Diagnosis accuracy of artificially induced vertical root fracture: a comparison of direct digital periapical images with conventional periapical images. *Korean J Oral Maxillofac Radiol*, vol.34, 2009, pp.185 – 90.
- [8] Jongdee Kambungton, Apirum Janhom, Sangsom Prapaysatok, and Surawut Pongsiriwet.(2009). Assessment of vertical root fractures using three imaging modality: cone beam computed tomography, intraoral digital radiography and film. *National Graduate research conference*, 2009, pp.895-902.
- [9] Wu Stephen Gang, Bao Forrest Sheng, You Xu Eric, Wang Yu-Xuan, Chang Yi-Fan and Xiang Qiao-Liang (2007). A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network, *cs.AI*, july 2007.
- [10] Ali H. Al-Timemy, Fawzi M. Al-Naima and Nebras H. Qaeeb (2009). Probabilistic neural network for breast biopsy classification, *MASAUM Journal of computing*, vol. 1, September 2009, pp. 199 – 204.

