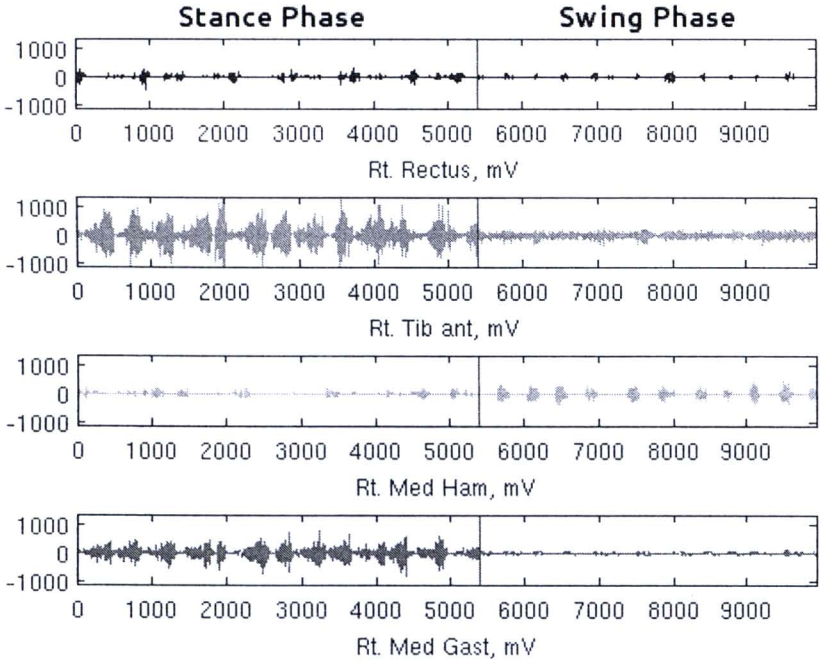
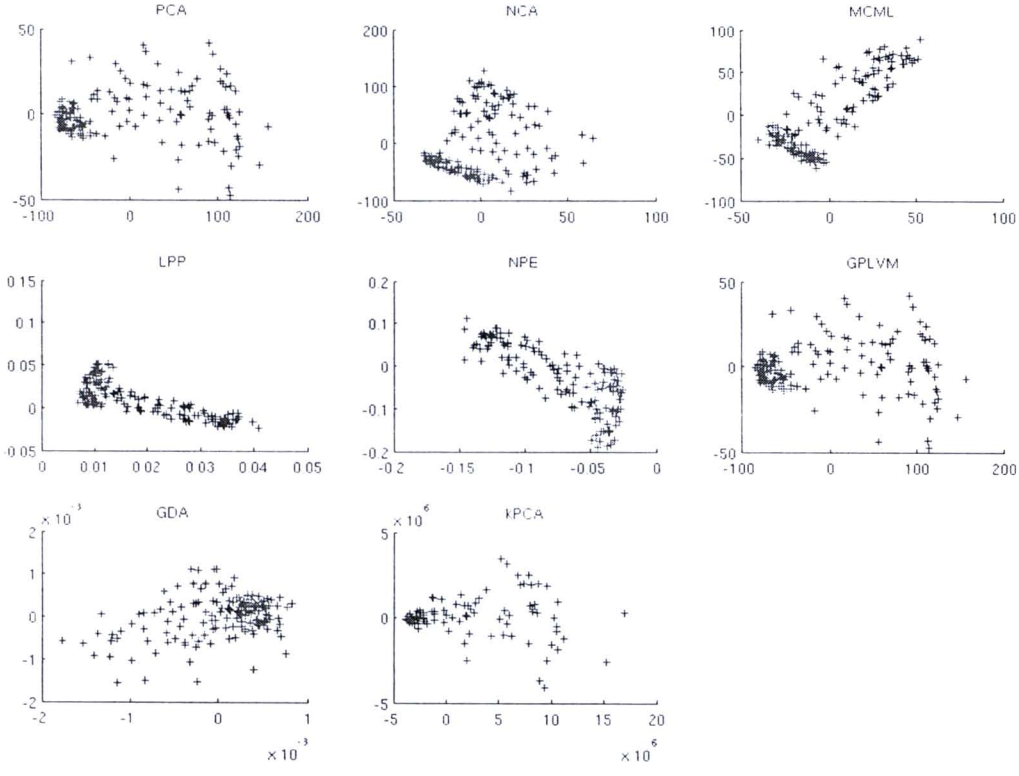
บทที่ 5 ผลการทดลองและอภิปราย

5.1 ผลการทดลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพวิธีการลดมิติข้อมูลสำหรับการจำแนกเฟสการเดิน

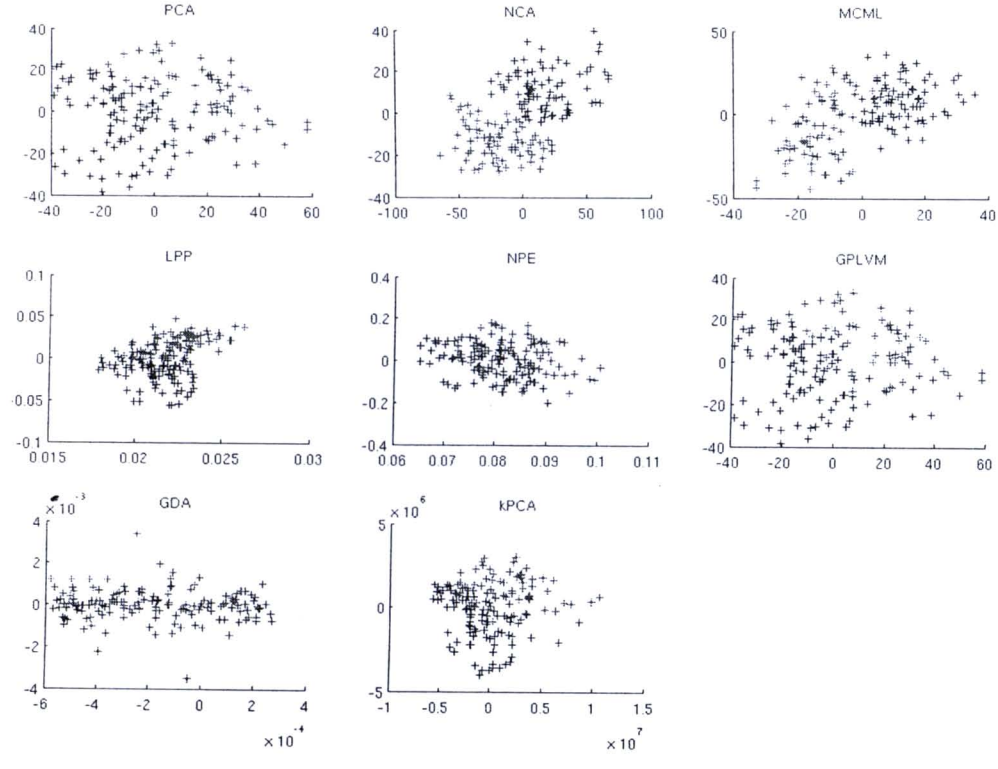
จากการบันทึกค่าสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการเดินแบบปกติ ทำให้ได้สัญญาณออกมาและจัดแบ่งกลุ่มออกเป็น Stance Phase และ Swing Phase ดังรูปที่ 5.1 ข้อมูลสัญญาณนี้เมื่อถูกนำไปสกัดลักษณะเด่นและลดมิติลงให้เหลือสองมิติด้วยวิธีต่างๆ ผลลัพธ์ของการลดมิติแสดงดังในรูปที่ 5.2 – 5.11 ข้อมูลสีแดงคือกลุ่ม Stance Phase และข้อมูลสีน้ำเงินคือกลุ่ม Swing Phase โดยเปรียบเทียบสำหรับในแต่ละลักษณะเด่น



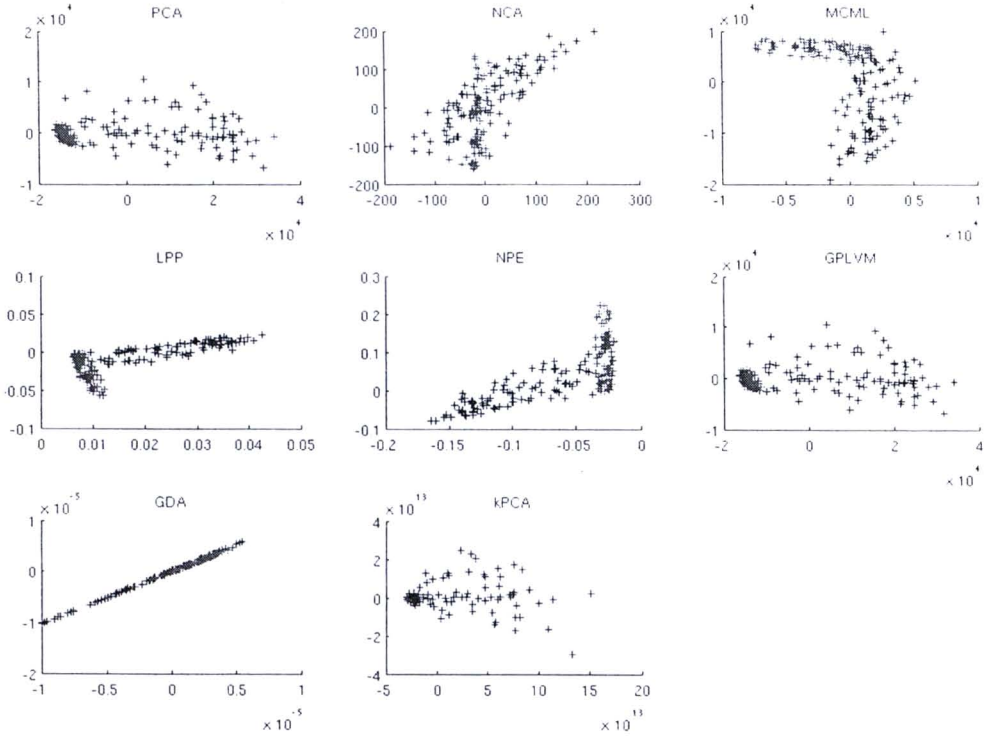
รูปที่ 5.1 ข้อมูลของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่ทำการแบ่งกลุ่มด้วยมือแล้ว



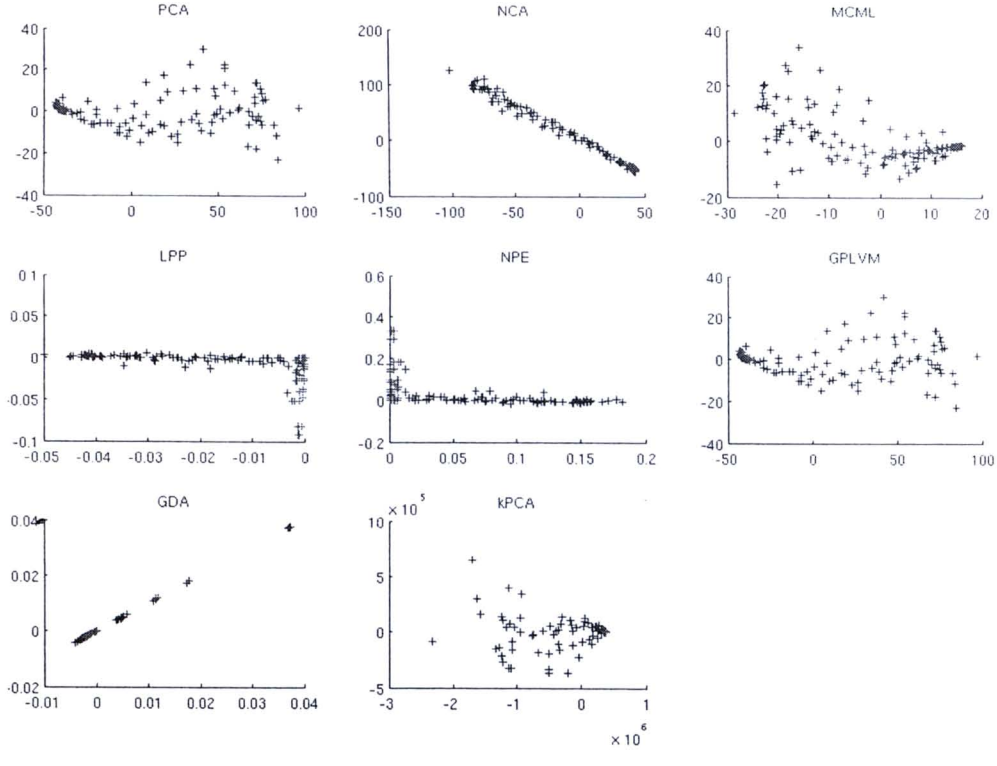
รูปที่ 5.2 ผลการลดมิติของค่า Mean Absolute Value



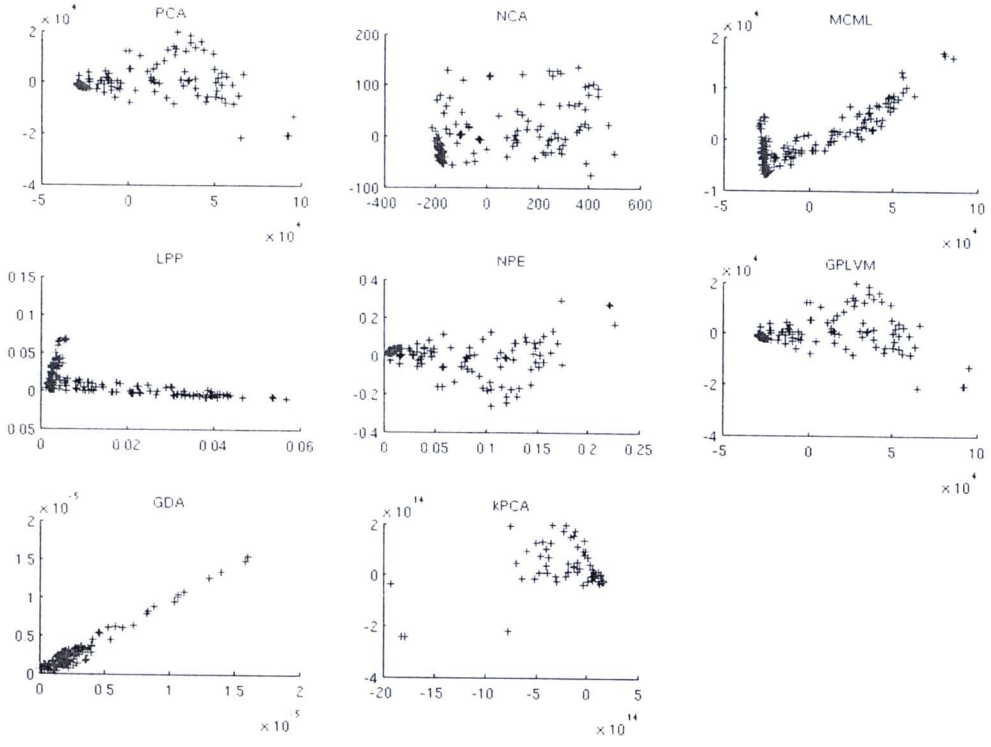
รูปที่ 5.3 ผลการลดมิติของค่า Slope Sign Changes



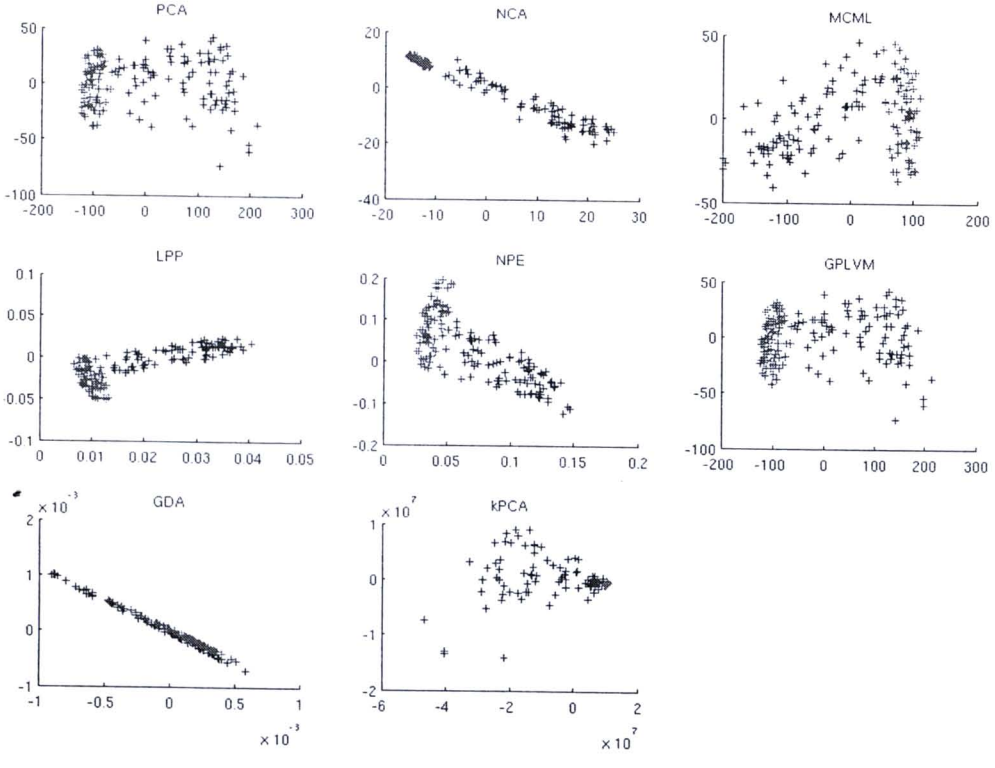
รูปที่ 5.4 ผลการลดมิติของค่า Waveform Length



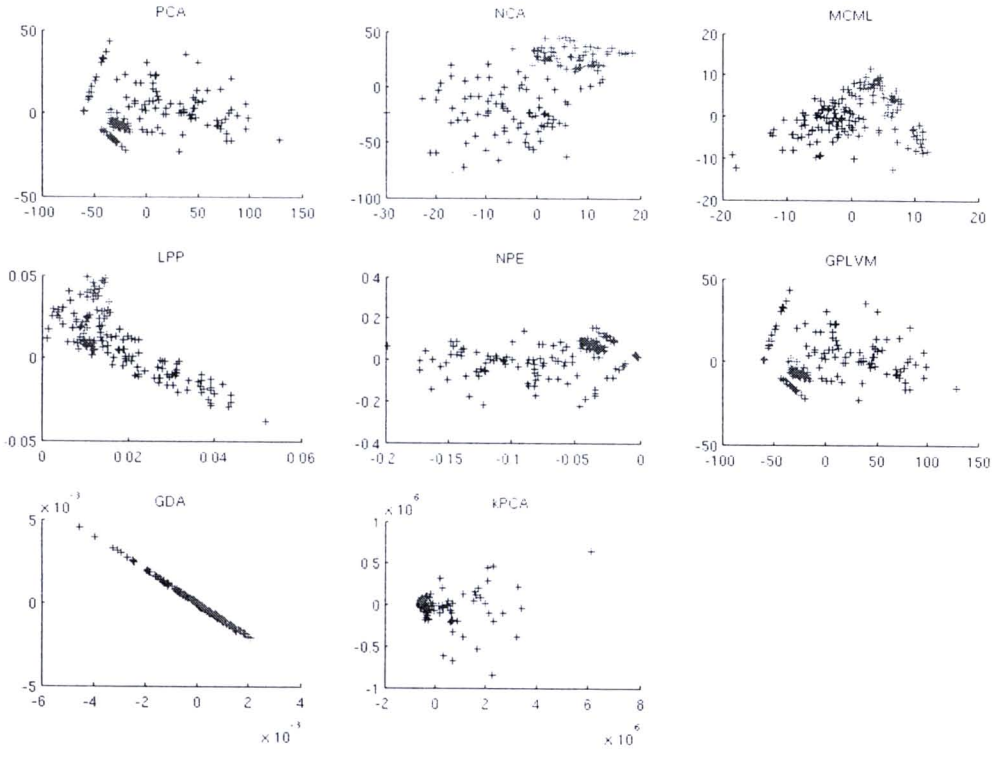
รูปที่ 5.5 ผลการลดมิติของค่า Willison Amplitude



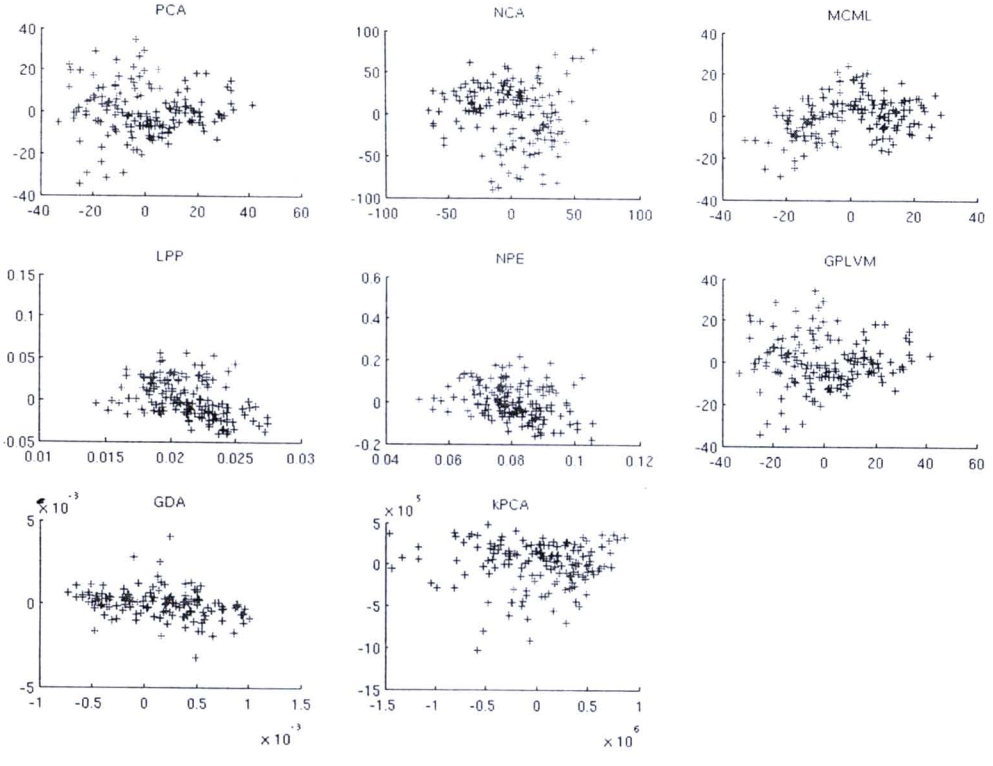
รูปที่ 5.6 ผลการลดมิติของค่า Variance



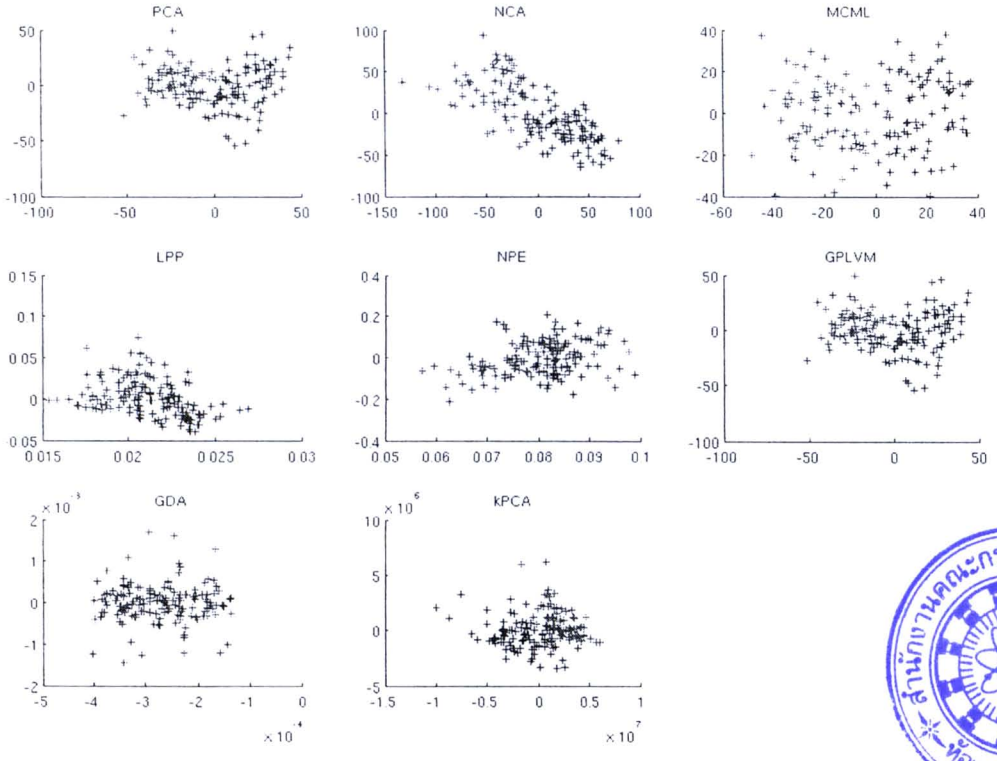
รูปที่ 5.7 ผลการลดมิติของค่า Root Mean Square



รูปที่ 5.8 ผลการลดมิติของค่า log-Detector

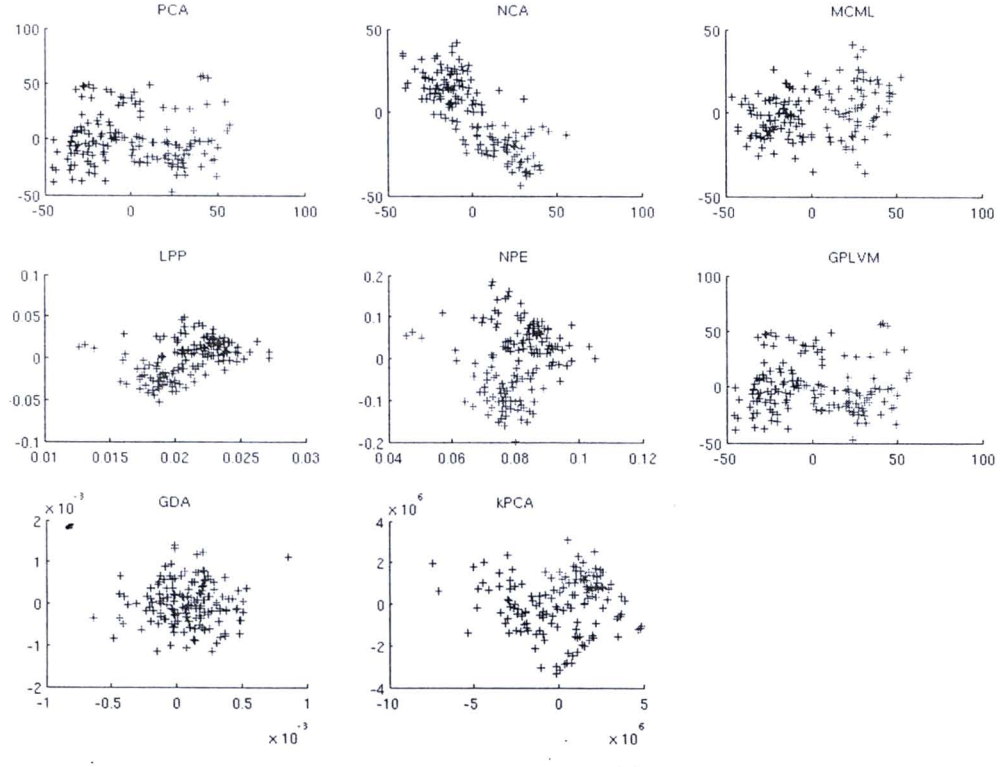


รูปที่ 5.9 ผลการลดมิติของค่า Zero Crossing



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 5.10 ผลการลดมิติของค่า Median Frequency



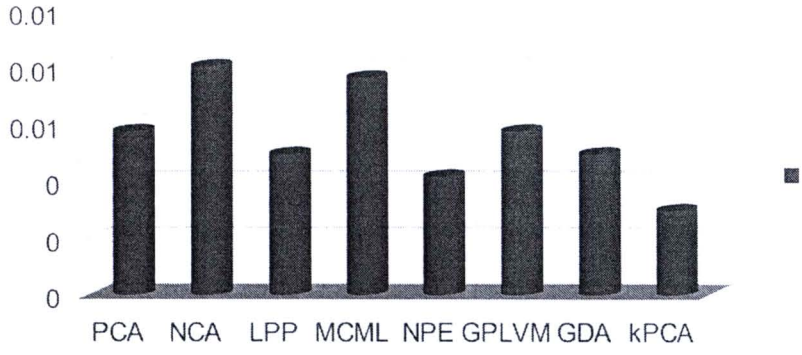
รูปที่ 5.11 ผลการลดมิติของค่า Mean Frequency

ตารางที่ 5.1 ค่า Fisher Index ของกลุ่มข้อมูลในแต่ละขั้นตอนวิธี

	PCA	NCA	LPP	MCML	NPE	GPLVM	GDA	kPCA
MAV	0.0071	0.0187	0.0053	0.0102	0.0052	0.0071	0.0053	0.0036
VAR	0.0052	0.0060	0.0048	0.0059	0.0029	0.0052	0.0048	0.0014
LOGD	0.0046	0.0194	0.0045	0.0083	0.0050	0.0046	0.0045	0.0018
WL	0.0068	0.0025	0.0045	0.0074	0.0040	0.0068	0.0045	0.0033
ZC	0.0042	0.0040	0.0053	0.0082	0.0048	0.0042	0.0053	0.0022
WAMP	0.0063	0.0055	0.0049	0.0034	0.0049	0.0063	0.0049	0.0026
SSC	0.0054	0.0064	0.0054	0.00092	4.06×10^{-4}	0.0054	0.0054	0.0029
RMS	0.0078	0.0056	0.0049	0.0075	0.0052	0.0077	0.0049	0.0039
MNF	0.0060	0.0052	0.0055	0.0107	0.0053	0.0060	0.0055	0.0060
MDF	0.0050	0.0078	0.0049	0.0058	0.0039	0.0050	0.0049	0.0022

ตารางที่ 5.2 ค่า Thornton's Separability Index ของกลุ่มข้อมูลในแต่ละขั้นตอนวิธี

	PCA	NCA	LPP	MCML	NPE	GPLVM	GDA	kPCA
MAV	0.9868	0.9934	0.9539	0.9342	0.9539	0.9868	0.6711	0.9803
VAR	0.9934	0.9934	0.9408	0.9803	0.9934	0.9934	0.7632	0.9934
LOGD	0.9671	0.9934	0.8618	0.9013	0.9474	0.9671	0.7632	0.9671
WL	0.9868	0.9145	0.9803	0.9605	0.9605	0.9868	0.7961	0.9868
ZC	0.8684	0.9276	0.9013	0.9013	0.8289	0.8618	0.6053	0.8882
WAMP	0.9934	0.9934	0.9934	0.9211	0.9934	0.9934	0.8750	0.9868
SSC	0.8289	0.9671	0.8947	0.8882	0.6711	0.8289	0.5132	0.8355
RMS	0.9737	1.0000	0.9868	0.9408	0.9671	0.9803	0.8882	0.9934
MNF	0.9474	0.9803	0.9342	0.9737	0.9342	0.9474	0.5263	0.9605
MDF	0.9276	0.9803	0.9474	0.9342	0.9276	0.9276	0.5263	0.9605



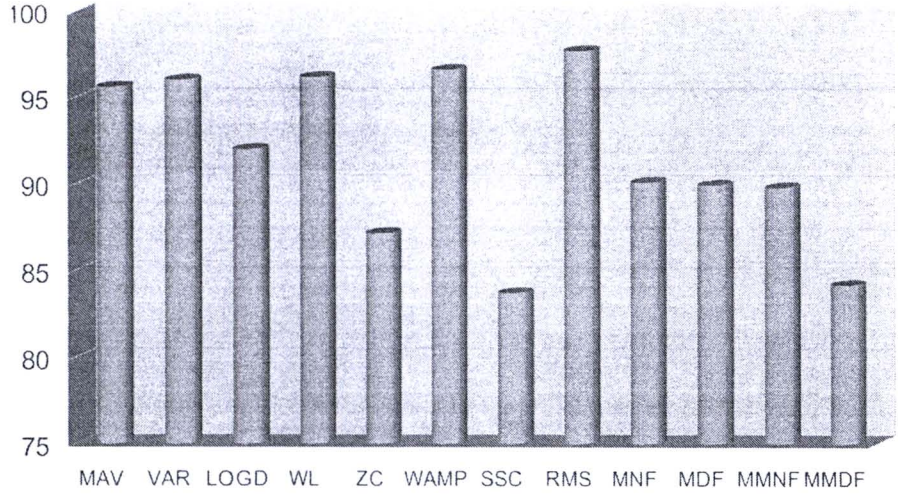
รูปที่ 5.12 กราฟค่าเฉลี่ยของความแยกตัวในทุกลักษณะเด่นของแต่ละขั้นตอนวิธีลดมิติข้อมูล

จากตารางที่ 5.1 เราพบว่าค่า Fisher Index ของ NCA ที่ลักษณะเด่น log-Detector มีค่ามากที่สุด อยู่ที่ 0.0194 และในตารางที่ 5.2 ค่า Thornton's Separability Index ที่มากที่สุดคือลักษณะเด่น RMS ที่ลดมิติลงด้วยวิธี NCA เช่นกัน รูปที่ 5.12 แสดงค่าเฉลี่ยของความแยกตัวในทุกลักษณะเด่นของแต่ละขั้นตอนวิธีลดมิติข้อมูล ซึ่งก็พบว่าขั้นตอนวิธี NCA นั้นมีค่ามากกว่าขั้นตอนวิธีอื่นๆ ด้วยเช่นกัน

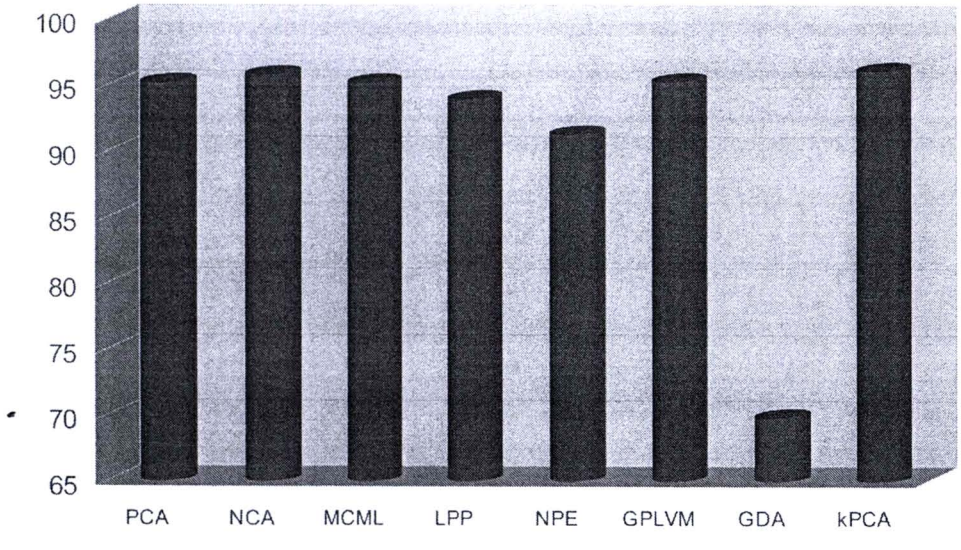
ตารางที่ 5.3 ค่าร้อยละความแม่นยำของ SVM แต่ละโมเดล

	PCA	NCA	MCML	LPP	NPE	GPLVM	GDA	kPCA
MAV	98.286	99.088	95.84	98.442	98.717	98.286	76.423	99.556
VAR	98.847	98.933	98.571	98.388	99.773	98.847	72.933	97.603
LOGD	96.296	98.029	93.127	88.251	92.418	96.296	75.333	96.364
WL	98.823	91.104	98.345	98.612	98.515	98.823	85.333	99.300
ZC	90.824	92.746	92.367	91.893	89.322	90.831	58.865	90.444
WAMP	98.882	99.865	94.759	99.048	98.802	98.882	84.000	98.667
SSC	85.181	91.919	92.000	92.104	75.207	85.181	61.680	86.628
RMS	98.272	99.984	98.544	98.694	98.394	98.226	89.825	98.892
MNF	95.268	97.067	95.829	91.707	91.674	95.268	58.312	95.927
MDF	93.548	93.978	95.629	93.971	95.002	93.548	57.883	96.009
MMNF	96.298	96.699	97.136	93.219	87.077	96.298	56.444	96.069
MMDF	92.086	90.475	90.364	83.366	70.738	92.086	60.864	93.493

ในส่วนขั้นตอนการนำเซตทดสอบไปทดลองใช้กับโมเดล SVM ที่สร้างขึ้น เพื่อวัดผลการทดสอบโมเดลที่สร้างขึ้นมาทั้งหมดนั้น ได้ผลค่าความแม่นยำออกมาเป็นร้อยละ ดังแสดงอยู่บนตารางที่ 5.3 ส่วนในรูปที่ 5.13 และ 5.14 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าความแม่นยำเฉลี่ยในแต่ละลักษณะเด่น และวิธีการลดมิติข้อมูล ตามลำดับ



รูปที่ 5.13 กราฟค่าความแม่นยำเฉลี่ยของแต่ละลักษณะเด่น

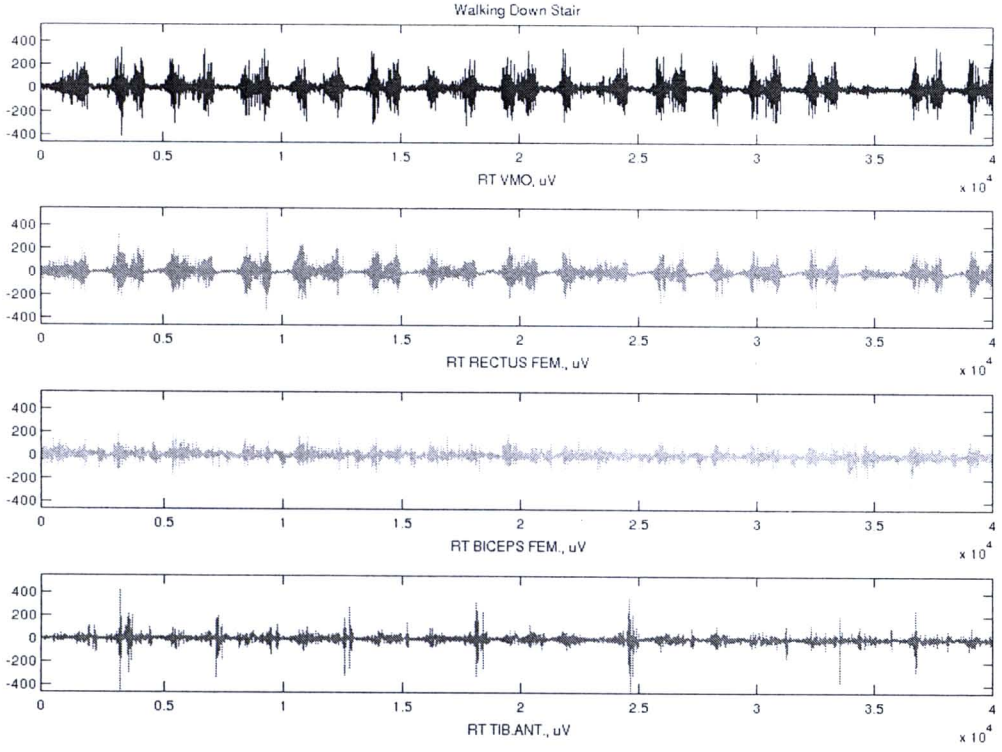


รูปที่ 5.14 กราฟค่าความแม่นยำเฉลี่ยของแต่ละวิธีการลดมิติข้อมูล

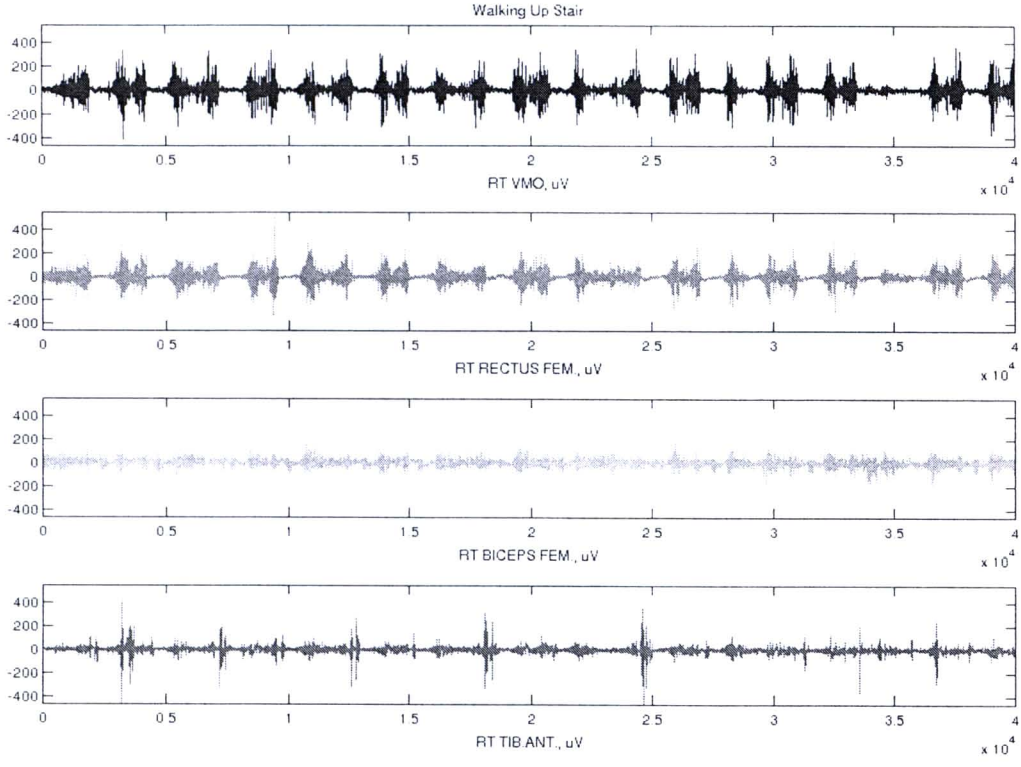
จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่าลักษณะเด่นแบบ RMS จะให้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยมากสุดอยู่ที่ 97.7164 % และในรูปที่ 5.21 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของการลดมิติข้อมูลแบบ kPCA มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 96.1207 % และรองลงมาคือ NCA ที่ 95.2093 % แต่ข้อด้อยกว่าของ kPCA เมื่อเทียบกับ NCA คือ ระยะเวลาในการคำนวณที่มากกว่า ซึ่งทำให้เราสามารถบอกได้ว่าลักษณะเด่นที่เหมาะสมกับการจำแนกเฟสการเดินซึ่งประกอบไปด้วย Stance Phase และ Swing Phase นั้นคือ Root Mean Square (RMS) และวิธีการลดมิติการพิจารณาที่เหมาะสมคือ Neighborhood Components Analysis (NCA) ดังจะเห็นได้จากค่าความแม่นยำของ RMS โดยใช้วิธี NCA ในการลดมิติของข้อมูล ที่มีค่าสูงถึง 99.884% ซึ่งขั้นตอนวิธี NCA นี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอีกการทดลองถัดไป

5.2 ผลการทดลองจำแนกสภาพพื้นผิวการเดิน

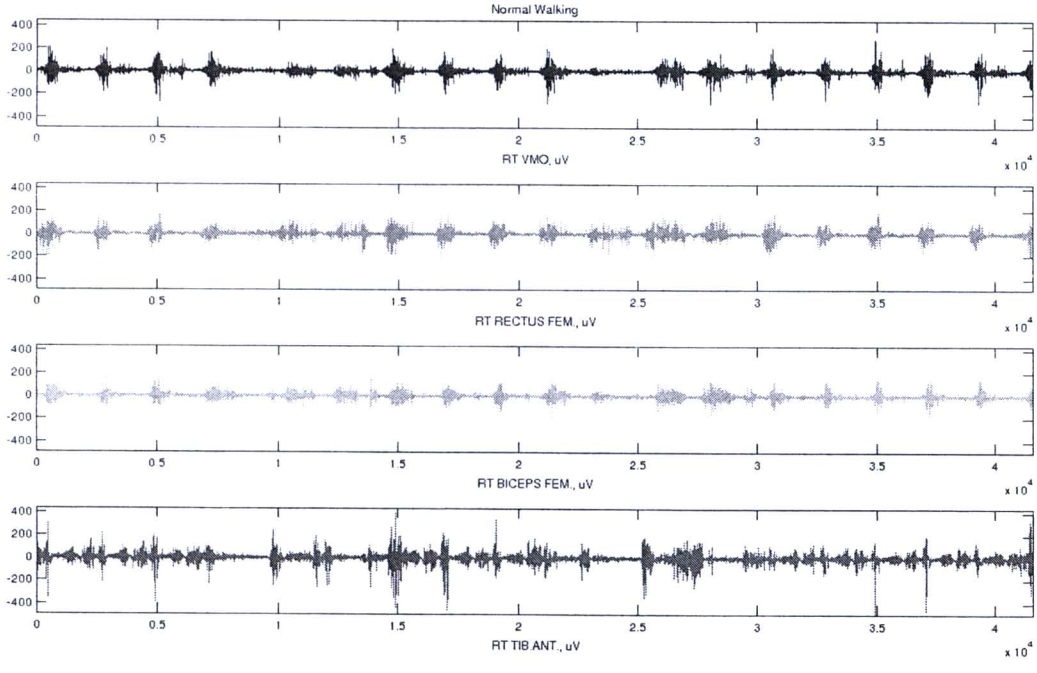
สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่บันทึกได้สำหรับการเดินบนสภาพพื้นต่างๆแสดงดังรูปที่ 5.15 ถึง 5.17 ซึ่งเมื่อถูกสกัดลักษณะเด่นออกมา แล้วนำไปลดมิติข้อมูลลงให้เหลือ 2 มิติ ด้วยวิธี NCA แล้วจะได้ผลปรากฏออกมาดังรูปที่ 5.18 จะเห็นได้ว่าข้อมูลในปริภูมิใหม่นั้นมีการแยกกลุ่มดีลักษณะเด่น wAmp เท่านั้นส่วนในลักษณะเด่นอื่นๆนั้น มีการทับกันของข้อมูลระหว่างกลุ่มอยู่มาก



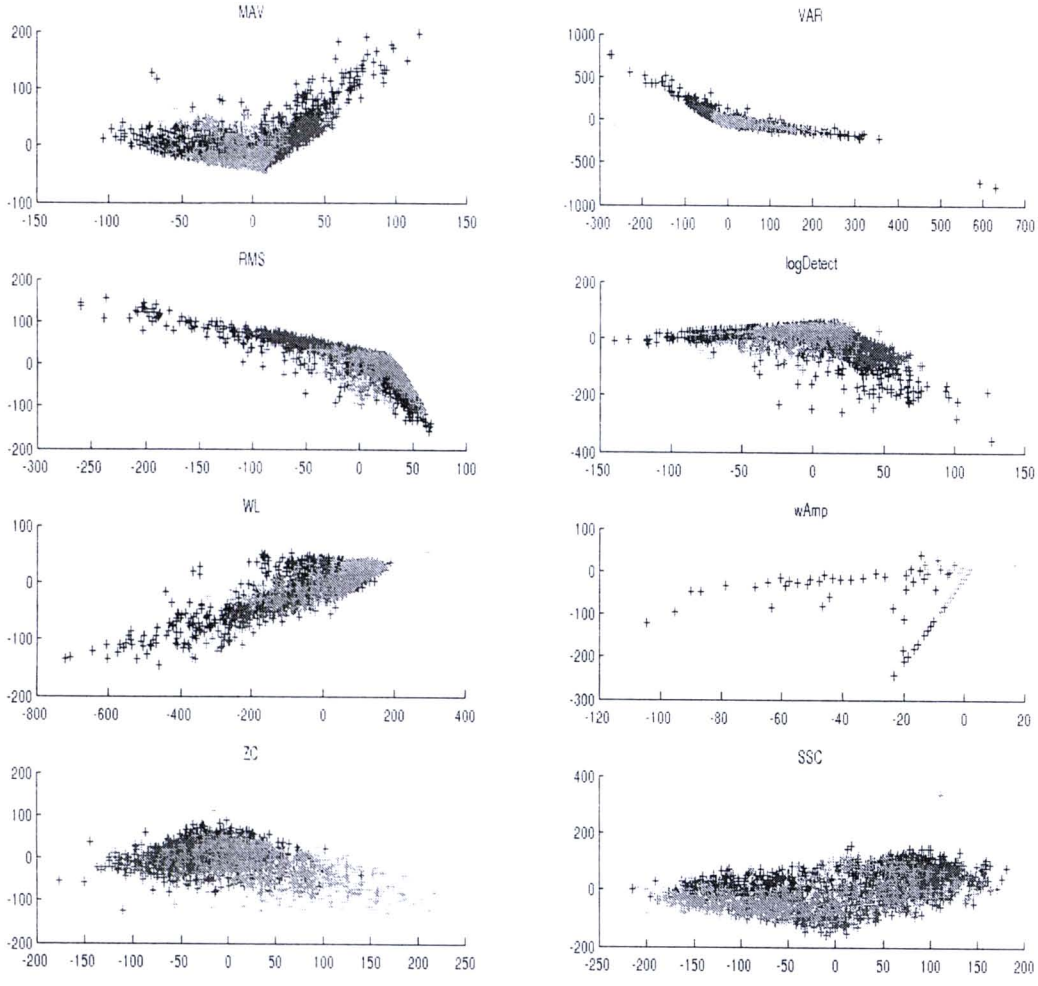
รูปที่ 5.15 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของขาในการเดินลงบันได



รูปที่ 5.16 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของขาในการเดินขึ้นบันได



รูปที่ 5.17 สัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อของขาในการเดินบนพื้นราบ



รูปที่ 5.18 เวกเตอร์ลักษณะเด่นของการเดินบนพื้นผิวลักษณะต่างๆที่ถูกแปลงให้เหลือ 2 มิติ

และเมื่อพิจารณาถึงค่าความแยกตัว ตารางที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลที่แปลงด้วย NCA ในส่วนใหญ่นั้นยังมีการทับซ้อนกันของแต่ละกลุ่มค่อนข้างสูง มีเพียงลักษณะเด่น wAmp เท่านั้นที่สามารถให้ค่าความแยกตัวที่สูงคือ Fisher's Index ที่เท่ากับ 1.4398×10^{-4} และ 0.9990 สำหรับค่า SI ซึ่งจากข้อมูลตรงนี้ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าลักษณะเด่นที่เหมาะสมในการนำไปจำแนกลักษณะพื้นผิวการเดินนั้นคือ wAmp เช่นเดียวกับค่าความแม่นยำของระบบที่ได้ ลักษณะเด่น wAmp ให้ค่าความแม่นยำของระบบมากถึง 90.07%

สุดท้ายเมื่อทำการโหลดข้อมูลลงไปยังระบบฝังตัวในบอร์ด Mini6410 เพื่อทดสอบเวลาในการประมวลผลพบว่า การประมวลผลในช่วงสกัดลักษณะเด่นต่อหนึ่งหน้าต่างใช้เวลาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.76 มิลลิวินาที ใช้เวลาในการลดมิติข้อมูลด้วย NCA เป็นเวลา 5.33 มิลลิวินาที และใช้เวลาในการ

ประมวลผลสำหรับจำแนกกลุ่มข้อมูลอีก 5.86 มิลลิวินาที เมื่อนำมารวมกับเวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อจากเครื่องวัดสัญญาณอีกเท่ากับ 21 มิลลิวินาที จะทำให้ได้เวลาในการประมวลผลรวมสำหรับระบบจำแนกสัญญาณอยู่ที่ 116.34 มิลลิวินาที ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ซึ่งเป็นเวลาที่ต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ และเพียงพอต่อการประมวลผลในลักษณะ Real-Time

ตารางที่ 5.4 ค่าความแยกตัวและความแม่นยำของระบบสำหรับการจำแนกลักษณะพื้นผิวการเดิน

	Fisher's Index	SI	%Accuracy
MAV	3.0594×10^{-5}	0.6498	81.29
VAR	2.1495×10^{-7}	0.5664	59.66
LOGD	1.3848×10^{-4}	0.6368	77.49
WL	2.5816×10^{-5}	0.5383	69.02
ZC	3.1068×10^{-4}	0.5565	88.71
WAMP	1.4398×10^{-4}	0.9990	90.07
SSC	2.1552×10^{-6}	0.5831	63.70
RMS	1.5890×10^{-5}	0.6423	78.11

ตารางที่ 5.5 เวลาในการคำนวณที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ

	EMG Acquisition	Feature Extraction	NCA	SVM Classification	Total
Computational Time (ms)	85.33	0.96	5.33	24.72	**116.34**