**บทที่ 3**

**ขั้นตอนการดำเนินโครงการ**

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการออกแบบและขั้นตอนการพัฒนาการ การปริวรรตอักษรด้วยเครื่องสำหรับภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทย โดยมีวิธีการดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

1. ศึกษาหลักการทฤษฎีและงานวิจัยรวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง
2. จัดเตรียมแหล่งข้อมูลไว้สำหรับการศึกษาและการทดสอบระบบ
3. วิเคราะห์ข้อมูล กำหนดภาพรวมของงาน เลือกรูปแบบการพัฒนา
4. ออกแบบและกำหนด กฎ (Rule-based) ขั้นตอนวิธี (Algorithm)
5. พัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)
6. พัฒนาส่วนตัวปริวรรตอักษร(Transliteration Machine)
7. พัฒนาส่วนต่อผู้ใช้งาน(User Interface)
8. ทดสอบและประเมินผลการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญภาษาสันสกฤต
   1. **การศึกษาหลักการทฤษฎีและงานวิจัยรวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง**

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทฤษฎีและงานวิจัยรวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หลักการปริวรรตภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทย ตัวอย่างงานวิจัยการปริวรรตอักษรด้วยเครื่อง และเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาทั้งที่เป็น เครื่องมือพัฒนา ภาษาโปรแกรม ชุดไลบรารี่ ฟังก์ชัน เฟรมเวิร์ค เพื่อให้ทราบถึงการทำงาน และแนวทางในการพัฒนาการปริวรรตอักษรด้วยเครื่อง โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

* + 1. **การศึกษาด้านทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

1. **ศึกษาลักษณะการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทย**

เป็นการศึกษารวบรวมและสรุปแนวทางการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นอักษรไทยในลักษณะต่างๆ จากตัวอย่างที่เกี่ยวกับการปริวรรตหรือภาษาสันสกฤตในงานวิจัยและเอกสารออนไลน์ อีกทั้งจากตัวอย่างที่ใช้กันในสังคมออนไลน์ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับภาษาสันสกฤต และจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาสันสกฤตอย่างไรก็ตามหลักการยังไม่เป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัวบางตำราบางอาจารย์อาจจะแตกต่างไป หรือมีการปรับเปลี่ยนกันเล็กน้อย หรืออาจจะต้องอาศัยหลักการปริวรรตอักษรจากกลุ่มภาษาเดียวกันมีการปริวรรตที่เป็นแบบแผนและมาตรฐานอยู่แล้ว เช่น ภาษาบาลี ภาษาฮินดี และสามารถสรุปลักษณะการปริวรรตจากการศึกษาได้ดังนี้

1. การปริวรรตอักษรแบบคงรูป หรือ แบบแผน คือการปริวรรตอักษรแบบตรงตามรูปศัพท์เดิมโดยใช้เครื่องหมายพินทุด้วย เพื่อให้ถอดกลับเป็นอักษรโรมันหรืออักษรเทวนาครีได้ถูกต้องและได้ลักษณะอักขรวิธีได้ใกล้เคียงกับคำเดิม

2. การปริวรรตอักษรแบบปรับรูป หรือ แบบทั่วไป คือหมายถึงการปริวรรตอักษรโดยปรับให้เข้ากับอักขรวิธีไทย เช่น โดยไม่ใช้พินทุ และเพิ่มวิสรรชนีย์หรือใส่เครื่องหมายทัณฑฆาต เพื่อให้อ่านได้ง่ายขึ้นและรูปคำกลมกลืนกับภาษาไทย จึงนิยมใช้การทับศัพท์อย่างง่าย

1. **ศึกษาด้านทฤษฎีแนวทางการพัฒนาการปริวรรตอักษร**

เป็นการศึกษาทฤษฎีทางเทคโนโลยีสารสนเทศที่เกี่ยวกับการปริวรรตอักษรว่ามีลักษณะการพัฒนาอย่างไรหลักการและแนวทางมีอะไรเพื่อใช้เป็นหลักในการพัฒนาที่เหมาะสมกับ การปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทย ได้ทำการศึกษาแนวทางการปริวรรตอักษร(Machine Transliteration Approaches) และโมเดลปริวรรตอักษรด้วยเครื่อง (Machine Transliteration Models)

1. **ศึกษางานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง**

ศึกษาทางด้านเทคนิคการปริวรรต หรือกระบวนการที่ใกล้เคียงกันในงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมต่อการพัฒนาและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการฉบับนี้

* + 1. **การศึกษาด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง**

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและทำความเข้าใจเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เครื่องมือพัฒนา ซอฟแวร์ ภาษาโปรแกรม ชุดไลบรารี่ ฟังก์ชัน เฟรมเวิร์ค ที่ช่วยพัฒนาส่วนเสริมการปริวรรตและสำหรับการทดสอบโดยมีรายละเอียดต่อไป

1. **ไลบรารี่การปริวรรตชุดอักษรอินเดียเป็นอักษรโรมันมาตรฐานต่างๆ**

เพื่อเพิ่มความสามารถให้ระบบเพื่อรองรับอักษรต้นฉบับภาษาสันสกฤตให้หลากหลายยิ่งขึ้น ผู้จัดทำได้ค้นหาไลบรารี่การปริวรรตชุดอักษรอินเดียเป็นอักษรโรมันมาตรฐานต่างๆ เนื่องจากมีซอฟแวร์และชุดไลบรารี่อยู่หลายชุด โดยผู้ศึกษาจะเลือกได้เลือกชุดไลบรารี่ ที่เป็นโอเพนซอร์ส โดยสามารถทำการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤต อักษรอินเดียให้เป็นอักษรโรมันมาตรฐานต่างๆ และสามารถแปลงไปกลับได้(Forward And Backward Transliteration) และทำการศึกษาวิธีใช้งานชุดไลบรารี่นั้น

1. **ซอฟแวร์สำหรับการเปรียบเทียบข้อความ**

ในการทดสอบความถูกต้องของการแปลนั้น มีส่วนการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากระบบ นั้นต้องเปรียบเทียบกับตัวอย่างการปริวรรตซึ่งมีข้อความอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้จัดทำจึงต้องค้นหา ซอฟแวร์สำหรับการเปรียบเทียบข้อความที่สามารถบอกความแตกต่างในระดับตัวอักษรได้

* 1. **การจัดเตรียมแหล่งข้อมูลไว้สำหรับการศึกษาและการทดสอบระบบ**

ผู้จัดทำได้ทำการจัดเตรียม จัดหาแหล่งข้อมูลและเก็บรวบรวมข้อมูลไว้สำหรับการศึกษาและการทดสอบระบบ ได้แก่ ตัวอย่างสำเนาเอกสารต้นฉบับภาษาสันสกฤต ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทย โดยมีรายละเอียดต่อไป

* + 1. **แหล่งข้อมูลตัวอย่างสำเนาเอกสารต้นฉบับภาษาสันสกฤต**

ผู้จัดทำได้ทำการสืบค้นหาและเลือกแหล่งข้อมูลตัวอย่างสำเนาเอกสารต้นฉบับภาษาสันสกฤต เพื่อใช้ทดสอบการปริวรรต และใช้ประกอบการศึกษา โดยมีเงื่อนไขคือ เป็นข้อมูล ที่จัดเก็บเป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ชนิด TEXT มีข้อมูลจัดเรียงกันเป็นหมวดหมู่และมีเอกสารอยู่หลากหลายชนิด โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้แหล่งข้อมูลตัวอย่างสำเนาเอกสารต้นฉบับภาษาสันสกฤต จาก 2 แหล่ง เป็นแหล่งข้อมูลหลักในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่

1. **Digital Sanskrit Buddhist Canon(DSBC)**

DSBC [1] ทำงานอยู่บนอินเตอร์เน็ตที่เว็บไซต์ www.dsbcproject.org โดยเป็นคลังเก็บข้อมูลเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวกับพระพุทธศาสนาในภาษาสันสกฤตหรือปรากฤต โดยที่ DSBC เป็นโครงการที่ทำการถอดความภาษาสันสกฤตหรือปรากฤตจากต้นฉบับตัวเขียน (Manuscript) และจัดเก็บเป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ชนิด TEXT เป็นตัวอักษรเทวนา-ครีและตัวอักษรโรมันแบบ IAST โครงการ DSBC เป็นโครงการของมหาวิทยาลัยออฟ-เดอะเวสต์ (University of the West) รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

1. **Göttingen Register of Electronic Texts in Indian Languages(GRETIL)**

GRETIL [1] ทำงานอยู่บนอินเตอร์เน็ตที่เว็บไซต์ gretil.sub.uni-goettingen.de โดยเป็นคลังเก็บข้อมูลเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ในสาขาภารตวิทยา (Indology) โดยมีเอกสารทั้งภาษาสันสกฤต ปรากฤตและภาษาอินเดียอื่นๆ จากแหล่งข้อมูลจากในอินเดีย เอเชียกลาง และเอเชียตะออกเฉียงใต้ GRETIL เป็นโครงการของห้องสมุดกลางแห่งรัฐนีเดอร์ซัคเซินและมหาวิทยาลัยเกิททิงเงิน\* สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

*\*หมายเหตุ ห้องสมุดกลางแห่งรัฐนีเดอร์ซัคเซินและมหาวิทยาลัยเกิททิงเงิน ใช้ชื่อภาษาอังกฤษ: Göttingen State and University Library ภาษาเยอรมัน: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen หรือเรียกโดยย่อว่า SUB Göttingen[2]*

*มหาวิทยาลัยเกิททิงเงิน ใช้ชื่อในภาษาอังกฤษ : University of Göttingen ภาษาเยอรมัน :* *Georg-August-Universität Göttingen[3]*

* + 1. **ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทย**

ผู้จัดทำได้รวบรวมตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นอักษรไทย เพื่อไว้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ถอดกฎการปริวรรต และทดสอบระบบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ ตัวอย่างการปริวรรตส่วนหนึ่งมาจากภาคผนวกของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านภาษาสันสกฤตและจากแหล่งข้อมูลออนไลน์ โดยมากเป็นงานที่ปริวรรตมาจากต้นฉบับอักษรเทวนาครี บางส่วนนั้นไม่แสดงข้อความต้นฉบับ ผู้จัดทำจำเป็นต้องหาต้นฉบับในแหล่งข้อมูลข้างต้น ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทยที่ผู้จัดทำนำมาเป็นแนวทางหลักแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. **ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทยแบบคงรูปหรือแบบแผน**

ผู้จัดทำใช้ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทยแบบคงรูปหรือแบบแผน จาก 5 คัมภีร์เป็นแนวทางหลัก แต่ละคัมภีร์มีที่มาดังต่อไปนี้

* 1. **คัมภีร์มูลสรวาสติวาทวินยวัสตุ จีวรวัสตุและกรรมวัสตุ**

จากภาคผนวก ก ปริวรรตอักษรไทยของจีวรวสฺตุและกรฺมวสฺต ในวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2552 เรื่องการศึกษาเปรียบเทียบคัมภีร์มูลสรวาสติวาทวินยวัสตุกับพระวินัยปิฎก ศึกษาเฉพาะกรณีจีวรวัสตุและกรรมวัสตุ โดย พระมหาฉัตร ชัยมูลสาร[]

* 1. **คัมภีร์ทิวยาวทาน**

จากภาคผนวก ข บทปริวรรตทิวยาวทาน ในวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากรปี 2556 เรื่องการศึกษาวิเคราะห์คัมภีร์ทิวยาวทานเรื่องที่ 1-19 โดย นางสาวปัทมา นาควรรณ[1]

* 1. **คัมภีร์โพธิจรรยาวตาร**

จากภาคผนวก ก คัมภีร์โพธิจรรยาวตาร ฉบับปริวรรต ในวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2549 เรื่อง การศึกษาเชิงวิเคราะห์คัมภีร์โพธิจรรยาวตาร โดย พระมหาวิชาญ กำเหนิดกลับ[2]

* 1. **คัมภีร์มูลมัธยมกการิกา**

จากภาคผนวก ก คัมภีร์มูลมัธยมกการิกา ฉบับปริวรรต ในวิทยานิพนธ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี 2554 เรื่อง การศึกษาเชิงวิเคราะห์การใช้เหตุผลแบบวิภาษวิธีในคัมภีร์มูลมัธยมกการิกา โดย นายกฤษฎา ภูมิศิริรักษ์[3]

* 1. **คัมภีร์ภควัทคีตา**

จากหนังสือภควัทคีตา(ฉบับโศลก )เกียรติขจร ชัยเธียร[4]

* 1. **คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับอักษรไทย**

จาก Internet Archive: Digital Library โดย กรกิจ ดิษฐาน []

1. **ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทยแบบปรับรูปหรือแบบทั่วไป**

เนื่องจากเอกสารประเภทนี้มีอยู่น้อยมาก และไม่ค่อยแพร่หลายเนื่องจากมีผู้ปริวรรตน้อยมาก ไม่ได้รับความนิยมเท่าภาษาบาลีที่มีผู้ปริวรรตเป็นบทสวดมนต์สำหรับบุคคลทั่วไปอยู่เป็นจำนวนมาก หรือหากพบก็พบเป็นข้อความหรือบทสั้นๆ ที่บุคคลทั่วที่สนใจปริวรรตกันขึ้นเองซึ่งปรากฏในสังคมออนไลน์และเว็บบอร์ดในกลุ่มที่สนใจในภาษาและวรรณคดีสันสกฤต กลุ่มที่สนใจหรือนับถือศาสนาพราหมณ์-ฮินดูและกลุ่มที่สนใจ ศาสนาพุทธแบบมหายาน ซึ่งส่วนมากก็เป็นในลักษณะการถอดเสียงไม่ใช่การปริวรรตอักษร ดังนั้นผู้จัดทำจึงใช้วิธีการ ใช้เอกสารที่เป็นบทสวดมนต์ภาษาบาลีที่มีอยู่ทั่วไปประกอบเข้าบางส่วนแต่ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง

ส่วนเอกสารการปริวรรตประเภทนี้ที่ผู้จัดทำนำมาเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบนั้นเป็นเอกสารที่เป็นผลงานการปริวรรตของคุณ กรกิจ ดิษฐาน ผู้ช่วยบรรณาธิการต่างประเทศและกีฬา หนังสือพิมพ์ M2F(2559) [] ที่เผยแพร่ในอินเตอร์เน็ต ผู้จัดทำใช้ตัวอย่างการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตเป็นไทยแบบปรับรูปหรือแบบทั่วไป 3 ตัวอย่างดังต่อไปนี้

* 1. **คัมภีร์ลลิตวิสตระ อัธยายที่ 26 ธรรมจักรประวรรตนสูตร**

จากห้องสมุดเสรีออนไลน์ วิกิซอร์ซ โดย กรกิจ ดิษฐาน []

* 1. **คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับคำอ่านอักษรไทย**

จาก Internet Archive: Digital Library โดย กรกิจ ดิษฐาน []

* 1. **คัมภีร์ปรัชญาปารมิตาหฤทัยสูตร**

จากสารานุกรมเสรีออนไลน์ วิกิพีเดีย โดย กรกิจ ดิษฐาน []

* 1. **การวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดภาพรวมของงาน เลือกรูปแบบการพัฒนา**

ผู้จัดทำได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้และกำหนดภาพรวมของงาน นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มา เลือกรูปแบบการพัฒนาและเทคโนโลยี ให้เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

* + 1. **สรุปวิธีการปริวรรตอักษรที่จะนำมาพัฒนา**

เนื่องจากกฎการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทยที่รวบรวมมานั้นบางส่วนมีความแตกต่างในการปริวรรตอยู่มาก อาจมีกฎอื่นๆที่ใช้กันแต่ผู้จัดทำยังรวบรวมมาไม่หมด หรือไม่กฎเหล่านั้นก็ยังคลุมเครืออยู่ยังไม่มีแนวทางหลักในการปริวรรตโดยเฉพาะการปริวรรตแบบปรับรูปมีปัญหามากที่สุด และเพื่อการพัฒนาให้เหมาะสมกับข้อจำกัดทางเวลา ผู้จัดทำจัดเป็นไปได้ยากที่จะจัดทำได้ครบทุกกฎ ดังนั้นจึงเลือกกฎจากทฤษฎีการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤตแบบอักษรโรมันเป็นอักษรไทยดังสรุปได้ต่อไปนี้

**วิธีการปริวรรตเป็นอักษรไทยแบบคงรูป หรือ แบบแผน**

* 1. การถอดรูปพยัญชนะ สระ เครื่องหมาย ตัวเลข หากมีวิธีเดียวให้ใช้ให้ใช้วิธีนั้น(อ้างอิงในบทที่ 2)
  2. ในกรณีถอดรูปพยัญชนะอักษรโรมันที่ประสมด้วยสระ ṛ ṝ ḷ ḹ (ฤ ฤๅ ฦ ฦๅ) มี 2 วิธี ให้ใช้ แบบไม่ใส่พินทุ
  3. รูปเครื่องหมายจันทรพินทุหรืออนุนาสิกะ มี 3 วิธี ให้ใช้ แบบไม้หันอากาศและมีนิคหิตข้างบน
  4. รูปเครื่องหมายวิสรรคะ มี 2 วิธี ให้ใช้ แบบวิสรรชนีย์ (ะ)
  5. รูปเครื่องหมายอวครหะ ไม่ถอดใช้ตามเดิม
  6. รูปเครื่องหมาย ทัณฑะและทวิทัณฑะ ถอดเป็น ฯ (อังคั่นเดี่ยว) ๚ (อังคั่นคู่)
  7. การถอดรูปพยัญชนะสังโยค หรือ พยัญชนะสังยุกต์ ถอดเฉพาะชุดพยัญชนะอักษรโรมัน ที่เป็นพยัญชนะสังโยคซ้อนหรือควบพยัญชนะโรมัน r (รูปพยัญชนะ ร)

**วิธีการปริวรรตเป็นอักษรไทยแบบปรับรูป หรือ แบบทั่วไป**

* 1. การถอดรูปพยัญชนะ สระ เครื่องหมาย ตัวเลข หากมีวิธีเดียวให้ใช้ให้ใช้วิธีนั้น(อ้างอิงในบทที่ 2)
  2. กรณี ร-เรผะ (รฺ) คือพยัญชนะอักษรโรมันประสมกับสระ a (รูปสระ อะ) ตามด้วยพยัญชนะอักษรโรมันตัว r ที่ไม่มีสระอักษรโรมันกำกับหรือตามมา (ar) มี 2 วิธี ให้ใช้ แบบ ร- หัน
  3. กรณีพยัญชนะอักษรโรมันประสมกับสระ a (รูปสระ อะ) ตามด้วยพยัญชนะอักษรโรมันตัว v ที่ไม่มีสระอักษรโรมันกำกับหรือตามมา (av) มี 2 วิธี ให้ใช้ แบบ วิสรรชนีย์
  4. กรณีพยัญชนะอักษรโรมันประสมกับสระ a (รูปสระ อะ) ตามด้วยพยัญชนะอักษรโรมันตัว h ที่ไม่มีสระอักษรโรมันกำกับหรือตามมา (ah) มี 2 วิธี ให้ใช้ แบบ ตัดทิ้ง
  5. ถอดรูปเครื่องหมายอนุสวาระและเครื่องหมายจันทรพินทุ พยัญชนะวรรคโรมันตามติดมา ให้ใช้ แบบมีการสนธิ
  6. ถอดรูปเครื่องหมายอนุสวาระและเครื่องหมายจันทรพินทุและมีพยัญชนะอวรรคโรมันที่เป็นอูษมะ ได้แก่ ś ṣ s h ตามติดมา ให้ใช้ แบบไม่มีการสนธิ
  7. รูปเครื่องหมายวิสรรคะ แบบ ห ใส่ทัณฑฆาต
  8. รูปเครื่องหมาย ทัณฑะและทวิทัณฑะ ถอดเป็น ฯ (อังคั่นเดี่ยว) ๚ (อังคั่นคู่)
  9. การถอดรูปพยัญชนะสังโยค หรือ พยัญชนะสังยุกต์ ที่ประสมกับรูปสระ e ai o au (รูปสระ เอ ไอ โอ เอา) ไม่มีแบบแน่นอน แต่ผู้จัดทำเห็นว่าสมควรว่าใช้แบบคงรูปคือ ถอดเฉพาะชุดพยัญชนะอักษรโรมัน ที่เป็นพยัญชนะสังโยคซ้อนหรือควบพยัญชนะโรมัน r (รูปพยัญชนะ ร)
     1. **สรุปแนวทางและโมเดลที่จะนำมาพัฒนา**

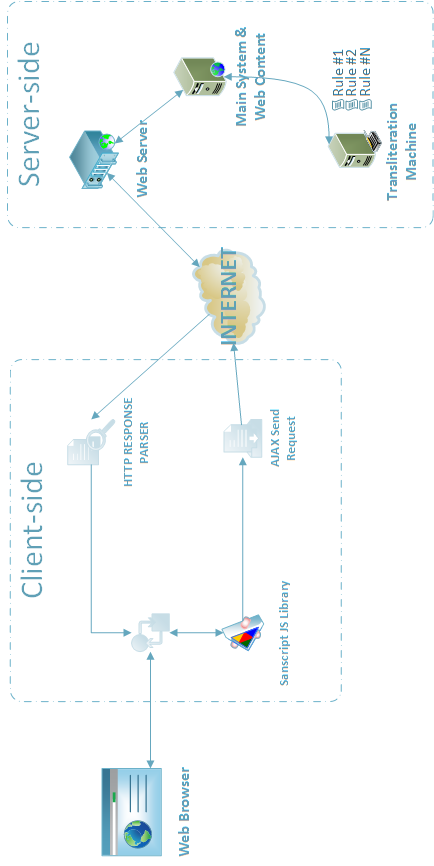
ในการเลือกแนวทางการปริวรรตอักษร(Machine Transliteration Approaches)เนื่องการศึกษาค้นคว้าจนได้รูปแบบกฎเกณฑ์การปริวรรต ผู้จัดทำจึงเลือกการปริวรรตอักษรด้วยเครื่องแบบใช้ฐานกฎ (Rule-based Approach)และในการเลือกโมเดลการปริวรรตอักษรด้วยเครื่อง (Machine Transliteration Models) ผู้จัดทำได้พิจารณาเห็นว่า ตัวอักษรโรมันแบบ IAST กับอักษรไทยนั้นครบคู่กัน อาจจะมาจากสาเหตุที่ไทยได้รับอิทธิพลภาษาสันสกฤตอย่างมาก ถึงแม้ว่าอักษรไทยบางตัวออกเสียงไม่เหมือนเสียทีเดียว แต่มองในรูปศัพท์แล้วจะให้ความหมายเดียวกัน ผู้จัดทำจึงเลือก โมเดลแบบใช้ตัวอักษร (Grapheme Based Model) ในการพัฒนา

* + 1. **สรุปเทคโนโลยีที่ช่วยพัฒนาส่วนเสริมการปริวรรตและการทดสอบ**

ไลบรารี่การปริวรรตชุดอักษรอินเดียเป็นอักษรโรมันมาตรฐานต่างๆ นั้นผู้จัดทำเลือกไลบรารี่ Sanscript [10],[11] เป็นไลบรารี่จาวาสคริปท์ที่สามารถทำการปริวรรตอักษรภาษาสันสกฤต อักษรอินเดียหลากหลายตัวอักษรให้เป็นอักษรโรมันมาตรฐานต่างๆ และสามารถแปลงไปกลับได้(Forward And Backward Transliteration) แม้ว่า Sanscript มุ่งเน้นการปริวรรตอักอักษรในภาษาสันสกฤต แต่ก็ยังสนับสนุนการปริวรรตสำหรับภาษาอินเดียอื่น ๆ อีกด้วยและยังสามารถติดตั้งและเรียกใช้งานโดยง่าย สำหรับซอฟแวร์สำหรับการเปรียบเทียบข้อความ ผู้จัดทำเลือก Pretty Diff v2.0.0 []ที่สามารถเปรียบเทียบข้อความเป็นจำนวนมากได้และสามารถเปรียบเทียบข้อความที่สามารถบอกความแตกต่างในระดับตัวอักษร พร้อมทั้งออกรายงานได้

* + 1. **สรุปภาพรวมของงาน**

สรุปภาพรวมของงานระบบจะทำงานในลักษณะ Server-Client โดยทำงานบนเว็บบราวเซอร์ โดยกระบวนการฝั่ง Client และการส่ง Request นั้น จะทำโดยผู้ใช้สามารถป้อนข้อความภาษาสันสกฤตโดยการเลือกชนิดตัวอักษรจากนั้น ไลบรารี่ Sanscript จะทำการปริวรรตอักษรชนิดต่าง ๆ และแสดงบนเว็บบราวเซอร์ได้ทันที่เนื่องจากเป็นไลบรารี่จาวาสคริปท์ที่จะทำงานในฝั่ง Client แต่หากจะต้องการปริวรรตอักษรชนิดอื่น ๆ เป็นภาษาไทยข้อความจะถูกส่งให้ไลบรารี่ Sanscript และปริวรรตชนิดตัวอักษรเหล่านั้นให้เป็นอักษรโรมันมาตรฐาน IAST แล้วส่งไปให้ Server โดยวิธีการ AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) เมื่อระบบหลัก(Main System)รับคำขอดังกล่าวแล้วจะส่งข้อความให้กับ Transliteration Machine เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ส่วนกระบวนการทางฝั่ง Server และ Response นั้น เมื่อ Transliteration Machine ได้ทำการประมวลผลจะนำข้อความไปผ่านกระบวนการตามกฎที่ได้กำหนดไว้ และคืนค่าเป็นผลการปริวรรตแบบคงรูปหรือแบบแผนและแบบปรับรูปหรือแบบทั่วไป โดยออกมาในรูปแบบ JSON (JavaScript Object Notation) จากนั้นก็ส่งต่อให้ระบบหลัก และส่งกลับไปยัง Client โดยมีตัวแปลง Response โดยจะทำหน้าที่แปลง JSON ที่ได้รับมาก แปลงให้เป็นตารางเปรียบเทียบข้อความตามชนิดตัวอักษร และแสดงผลลัพธ์การปริวรรตบนเว็บบราวเซอร์



รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์หลังจากการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)

* 1. **การออกแบบและกำหนด กฎ (Rule-based) ขั้นตอนวิธี (Algorithm)**

ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและกำหนด กฎ (Rule-based) ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการปริวรรตอักษรกฎ (Rule-based) วิธีการปริวรรตเป็นอักษรไทยแบบคงรูป หรือ แบบแผน

* + 1. **สัญลักษณ์ประกอบขั้นตอนวิธีของกฎการปริวรรตอักษรไทย**

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบรูปพยัญชนะวรรค

|  |  |
| --- | --- |
| **สัญลักษณ์** | **ชุดข้อมูลหรืออำอธิบายการทำงาน** |
| **TA** | พยัญชนะและสระอักษรไทยใด ๆ |
| **TS** | อักษรไทยใด ๆ ที่ไม่ใช้พยัญชนะและสระ |
| **TC** | พยัญชนะอักษรไทยใด ๆ |
| **TV** | สระอักษรไทยใด ๆ |
| **RNP** | ชุดตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรโรมันได้แก่ {0,1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9 ,॥,।} |
| **TNP** | ชุดตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรไทยได้แก่  {๐, ๑, ๒, ๓, ๔, ๕, ๖, ๗, ๘, ๙, ๚, ฯ} |
| **RMC** | ชุดพยัญชนะอักษรโรมันประกอบกัน 2 ตัวอักษรได้แก่  { kh,ch,ṭh,th,ph,gh,jh,ḍh,dh,bh } |
| **TMC** | ชุดพยัญชนะอักษรไทยที่แปลงมาจาก RMC ได้แก่  {ข,ฉ,ฐ,ถ,ผ,ฆ,ฌ,ฒ,ธ,ภ} |
| **RMV** | ชุดสระอักษรโรมันประกอบกัน 2 ตัวอักษรได้แก่ {ai,au} |
| **TMV** | ชุดสระอักษรไทยที่แปลงมาจาก RMV ได้แก่{ไ,เา} |
| **RSC** | ชุดพยัญชนะอักษรโรมันที่ตัวอักษรเดี่ยวได้แก่  {k,g,ṅ,c,j,ñ,ṭ,ḍ,ṇ,t,d,n,p,b,m,y,r,l,v,ḻ,ś,ṣ,s,h,ṁ,ṃ,ḥ,' } |
| **TSC** | ชุดพยัญชนะอักษรไทยที่แปลงมาจาก **RSC** ได้แก่  {ก,ค,ง,จ,ช,ญ,ฏ,ฑ,ณ,ต,ท,น,ป,พ,ม,ย,ร,ล,ว,ฬ,ศ,ษ,ส,ห,ँ,ํ,ะ,'} |
| **TSC2** | ชุดพยัญชนะอักษรไทยที่มาจาก **TSC** ใช้ในแบบปรับรูป แตกต่างที่ตำแหน่งวิสรรคะ(ห์)  {ก,ค,ง,จ,ช,ญ,ฏ,ฑ,ณ,ต,ท,น,ป,พ,ม,ย,ร,ล,ว,ฬ,ศ,ษ,ส,ห,ँ,ํ,ห์,'} |
| **RSV** | ชุดสระอักษรโรมันที่เป็นตัวอักษรเดี่ยวได้แก่  { a,ā,i,ī,u,ū,ṛ,ṝ,ḷ,ḹ,e,o } |
| **TSV** | ชุดสระอักษรไทยที่แปลงมาจาก **RSV** ใช้ในแบบคงรูป ได้แก่  { a,า,ิ,ี,ุ,ู,ฤ,ฤๅ,ฦ,ฦๅ,เ,โ } |
| **TSV2** | ชุดสระอักษรไทยที่มาจาก **TSV** ใช้ในแบบปรับรูป แตกต่างที่ตำแหน่งแรก ได้แก่{ะ,า,ิ,ี,ุ,ู,ฤ,ฤๅ,ฦ,ฦๅ,เ,โ } |
| **TIF** | ชุดสระอักษรไทยเมื่ออยู่ต้นคำต้องทำการเปลี่ยนแปลง ใช้ในแบบแบบคงรูป ได้แก่{ A ,า,ิ,ี,ุ,ู,เ,โ,ไ} |
| **TIFR** | ชุดสระอักษรไทยเมื่ออยู่ต้นคำเมื่อเปลี่ยนแปลงแล้ว ใช้ในแบบแบบคงรูปได้แก่ {อ, อา, อิ, อี, อุ, อู, เอ, โอ, ไอ} |
| **TIF2** | ชุดสระอักษรไทยชุดเดียวกันกับ **TIF-F** แต่ใช้ในแบบปรับรูป แตกต่างที่รูปตำแหน่งแรก ได้แก่ { ะ,า,ิ,ี,ุ,ู,เ,โ,ไ} |
| **TIFR2** | ชุดสระอักษรไทยชุดเดียวกันกับ **TIFR-F** แต่ใช้ในแบบปรับรูป แตกต่างที่รูปตำแหน่งแรก ได้แก่ {อะ, อา, อิ, อี, อุ, อู, เอ, โอ, ไอ} |
| **F-RS**(X,Y,Z)  Replace String Function | X คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวอักษรที่จะเปลี่ยน Y คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวอักษรที่ไปแทนที่  Z คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นข้อความ  **F-RS**() คือฟังก์ชั่นการการแทนที่ตัวอักษร X ในข้อความ Zทั้งหมดด้วยตัวอักษร Y เช่น  X = C , Y = R , Z = CAT ดังนั้น RS(X,Y,Z) = RAT |
| **F-RSA** (X,Y,Z)  Replace String with Array Function | X คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นชุดตัวอักษรที่จะเปลี่ยน  Y คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นชุดตัวอักษรที่ไปแทนที่  X และ Y ต้องมีสมาชิกจำนวนเท่ากัน  Z คือค่าพารามิเตอร์ที่เป็นข้อความ  **F-RSA**() คือฟังก์ชั่นการการแทนที่ชุดตัวอักษร X ในข้อความ Z ทั้งหมดด้วยชุดตัวอักษร Y เช่น X คือพารามิเตอร์ของชุดข้อมูลที่จะ  X = {A,B} , Y = {APP,L} , Z = ABE เช่น ดังนั้น RSA(X,Y,Z) = APPLE |

* + 1. **กำหนดกฎการปริวรรตอักษรไทยแบบคงรูป**

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบรูปพยัญชนะวรรค

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ลำดับ** | **ชื่อกฎ** | **หน้าที่** |
| 1. | RomanChandrabinduToSingle | เปลี่ยนเครื่องหมายจันทรพินทุให้เป็นแบบตัวเดียว |
| 2. | RomanNumberAndPunctuate | เปลี่ยนตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอน |
| 3. | RomanMixConsonant | เปลี่ยนพยัญชนะโรมันแบบตัวผสม |
| 4. | RomanMixVowel | เปลี่ยนสระโรมันแบบตัวผสม |
| 5. | RomanSingleConsonant | เปลี่ยนพยัญชนะโรมันแบบตัวเดี่ยว |
| 6. | RomanSingleVowel | เปลี่ยนสระโรมันแบบตัวเดี่ยว |
| 7. | Bindu | ใส่จุดพินทุให้พยัญชนะไทย |
| 8. | ThaiVowelInFist | เปลี่ยนสระกรณีอยู่ต้นคำ โดยการเติมรูปพยัญชนะ อ ผสมเข้าไป |
| 9. | ThaiVowelPrefix | เลื่อนสระที่เป็นสระหน้าไปหน้าพยัญชนะ |
| 10. | ARemove | ลบสระ A |
| 11. | SwapAnusvaraAndChandrabindu | เลื่อนเครื่องหมายอนุสาวระอักษรไทยและจันทรพินทุอักษรโรมันไปข้างหน้ากรณีอยู่หลัง ลากข้าง(า) |
| 12. | Chandrabindu | แปลงเครื่องหมายจันทรพินทุ |
| 13. | ThaiAAInFist | เปลี่ยนลากข้าง(า) โดยผสมรูปพยัญชนะ อ กรณีอยู่ถัดรูปสระอื่น ซึ่งเป็นสระตัวสุดท้ายที่จะแปลง เนื่องจากต้องแปลงรูปสระเอา ก่อน |

* + 1. **กำหนดกฎการปริวรรตอักษรไทยแบบปรับรูป**

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบรูปพยัญชนะวรรค

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ลำดับ** | **ชื่อกฎ** | **หน้าที่** |
| 1. | AvagarahaRemove | ลบอวครหะ |
| 2. | RomanChandrabinduToSingle | เปลี่ยนเครื่องหมายจันทรพินทุให้เป็นแบบตัวเดียว |
| 3. | RomanNumberAndPunctuate | เปลี่ยนตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอน |
| 4. | RomanMixConsonant | เปลี่ยนพยัญชนะโรมันแบบตัวผสม |
| 5. | RomanMixVowel | เปลี่ยนสระโรมันแบบตัวผสม |
| 6. | RomanSingleConsonant | เปลี่ยนพยัญชนะโรมันแบบตัวเดี่ยว |
| 7. | RomanSingleVowel | เปลี่ยนสระโรมันแบบตัวเดี่ยว |
| 8. | AnusvaraAndChandrabindu | เข้าสนธิอนุสวาระและจันทรพินทุ |
| 9. | ThaiVowelInFist | เปลี่ยนสระกรณีอยู่ต้นคำ โดยการเติมรูปพยัญชนะ อ ผสมเข้าไป |
| 10. | ThaiVisarga | เปลี่ยนข้อความที่เป็นประวิสรรชณีย์ |
| 11. | ThaiVowelPrefix | เลื่อนสระที่เป็นสระหน้าไปหน้าพยัญชนะ |
| 12. | ThaiAAInFist | เปลี่ยนลากข้าง(า) โดยผสมรูปพยัญชนะ อ กรณีอยู่ถัดรูปสระอื่น |
| 13. | convertAE | เลื่อนสระที่เป็นสระ เ ไปหน้าพยัญชนะหากตัวอักษรก่อนหน้าถูกแปลงเป็นไม้หันอากาศแล้วต้องแปลงกลับเป็นวิสรรชณีย์(ะ) |
| 14. | convertAO | เลื่อนสระที่เป็นสระ โ ไปหน้าพยัญชนะหากตัวอักษรก่อนหน้าถูกแปลงเป็นไม้หันอากาศแล้วต้องแปลงกลับเป็นวิสรรชณีย์(ะ) |

* + 1. **ขั้นตอนวิธีของกฎการปริวรรตอักษรไทยแบบคงรูป**

ขั้นตอนวิธีของกฎการปริวรรตอักษรไทยแบบคงรูป จะทำการตามลำดับกฎดังต่อไปนี้

**กฎที่ 1. RomanChandrabinduToSingle**

เปลี่ยนเครื่องหมายจันทรพินทุ จากการเขียนด้วยตัวอักษร m และเครื่องหมาย Dot Moonที่อยู่ด้านบน(m̐)ให้เป็นเครื่องหมายจันทรพินแบบตัวอักษรเดี่ยวคือ ṁ ออกแบบไว้เพื่อรองรับไว้สำหรับการใช้เครื่องหมายจันทรพินทุโรมันทั้งสองแบบ และเตรียมไว้สำหรับการแปลงต่อไปโดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(‘m̐’ , ‘ṁ', input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 2. RomanNumberAndPunctuate**

เปลี่ยนตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรโรมันให้เป็นตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรไทย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RNP** , **TNP**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 3. RomanMixConsonant**

เปลี่ยนชุดพยัญชนะอักษรโรมันที่มีลักษณะอักษรที่ประกอบกันมากกว่า 1 ตัว ให้เป็นชุดพยัญชนะอักษรไทย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RMC**, **TMC**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 4. RomanMixVowel**

เปลี่ยนชุดสระอักษรโรมันที่มีลักษณะอักษรที่ประกอบกันมากกว่า 1 ตัว ให้เป็นชุดสระอักษรไทย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RMV**, **RMV**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 5. RomanSingleConsonant**

เปลี่ยนชุดพยัญชนะอักษรโรมันที่เป็นอักษรเดี่ยว ให้เป็นชุดพยัญชนะอักษรไทย ในชุด **TSC** มีกรณีพิเศษคือ เครื่องหมายจันทรพินแบบตัวอักษรเดี่ยวคือ ṁ จะถูแปลงเป็น Moon dot (ँ )ก่อนเพื่อเตรียมประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSC** , **TSC**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 6. RomanSingleVowel**

เปลี่ยนชุดสระอักษรโรมันที่เป็นอักษรเดี่ยว ให้เป็นชุดสระอักษรไทย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSV**, **TSV**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 7. Bindu**

เติมเครื่องหมายพินทุในพยัญชนะอักษรไทยที่ไม่มีสระกำกับ โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. # anusvara เครืองหมายนิคหิต(ํ)
2. # chandrabindu เครืองหมาย Moon dot( ँ )
3. # avagaraha เครืองหมาย apostrophe( ‘ )
4. # bindu เครืองหมายพินทุ( ฺ )
5. # ThaiVisarga เครืองหมายวิสรรชนีย์(ะ)
6. START
7. READ input
8. FOR each character of the input
9. current character = character
10. next character = input[current index +1]
11. condition = [
12. current character NOT IN **TC** And
13. current character ≠ anusvara And
14. current character ≠ chandrabindu And
15. current character ≠ ThaiVisarga And
16. current character ≠ Avagaraha And
17. next character ≠ "a" And
18. next character NOT IN **TV**
19. ]
20. IF condition THEN
21. character = bindu
22. ENDIF
23. output = output Concatenated character
24. ENDFOR
25. RETURN output
26. END

**กฎที่ 8. ThaiVowelInFist**

เพิ่มรูปพยัญชนะ อ เข้าไปในกรณีสระอักษรไทยอยู่ต้นคำ แต่จะละเว้นไว้รูปสระอา ไว้ก่อน เพื่อประกอบรูปสระ เอา ก่อนแล้วจะพิจารณารูปสระ อา ในกฎสุดท้าย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. ADD 1 space before input #Prevent Index Out of Bound
4. ADD 1 space after input #Prevent Index Out of Bound
5. FOR each character of the input
6. current character = character
7. previous character = input[current index -1]
8. next character = input[current index +1]
9. main condition = [
10. Previous character NOT IN **TV** And
11. current character IN **TIF**
12. ]
13. condition 1 = [
14. current character NOT IN **{ เ ,า}**
15. ]
16. condition 2 = [
17. current character ≠ ‘**เ**’
18. next character ≠ ‘**า**’
19. ]
20. condition 3 = [
21. current character ≠ ‘**า**’
22. previous character ≠ ‘**เ**’
23. ]
24. IF main condition AND condition 1 THEN
25. character = **F-RSA**(**TIF**, **TIFR**, input)
26. ELSE IF main condition AND condition 2 THEN
27. character = **F-RSA**(**TIF**, **TIFR**, input)
28. ELSE IF main condition AND condition 3 THEN
29. character = **F-RSA**(**TIF**, **TIFR**, input)
30. ENDIF
31. output = output Concatenated character
32. ENDFOR
33. RETURN output
34. END

**กฎที่ 9. ThaiVowelPrefix**

ทำการสลับที่สระอักษรไทยที่เป็นสระโดยการเลื่อนจากหลังพยัญชนะ ไปไว้หน้าพยัญชนะหากพยัญชนะตัวหน้าเป็นรูปอักษร ร ให้ตรวจสอบดูว่าพยัญชนะที่ถัดจาก อักษร ร นั้นเป็นพยัญชนะหรือสระหากเป็นพยัญชนะ ให้เลื่อนสลักอักษรไทยที่เป็นสระหน้าไปไว้หน้าพยัญชนะตัวนั้น โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. # bindu เครืองหมายพินทุ( ฺ )
2. START
3. READ input
4. ADD 4 space before input #Prevent Index Out of Bound
5. FOR each character of the input
6. current character = character
7. IF current character IN {'เ','โ', 'ไ'} THEN
8. previous character 1 = input[current index -1]
9. previous character 2= input[current index -2]
10. previous character 3= input[current index -3]
11. previous character 4 = input[current index-4 ]
12. conjunct r condition = [
13. previous character 1 = "ร" AND
14. previous character 2 = bindu AND
15. previous character 3 IN **TC** AND
16. previous character 4 ≠ "เ" AND
17. previous character 4 ≠ "โ" AND
18. previous character 4 ≠ "ไ"
19. ]
20. normal condition = [
21. previous character 1 IN **TC**
22. ]
23. IF conjunct r condition THEN
24. SWAP value in current index TO current index -1
25. SWAP value in current index TO current index -2
26. SWAP value in current index TO current index -3
27. ELSE IF normal condition THEN
28. SWAP value in current index TO current index -1
29. ENDIF
30. output = output Merge character
31. ENDFOR
32. RETURN output
33. END

**กฎที่ 10. ARemove**

ทำการลบสระอักษรโรมัน A ออกจากข้อความทั้งหมด

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(‘A’ , empty value, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 11. SwapAnusvaraAndChandrabindu**

เปลี่ยนเครื่องหมายอนุสาวระอักษรไทยและ Moon Dot ไปข้างหน้ากรณีอยู่หลัง ลากข้าง(า)

1. #anusvara เครืองหมายนิคหิต(ํ)
2. #chandrabindu เครืองหมาย Moon dot( ँ )
3. START
4. READ input
5. output = **F-RS(‘าํ’ , ‘ํา’ , input)**
6. output = **F-RS(‘าँ’ , ‘ँา’, input)**
7. RETURN output
8. END

**กฎที่ 12. Chandrabindu**

แปลงเครื่องหมาย Moon Dot โดยใช้ไม้หันอากาศและนิคหิตแทน

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(**‘ँ’** , **‘ัํ’**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 13. ThaiAAInFist**

เปลี่ยนลากข้าง(า) โดยผสมรูปพยัญชนะ อ กรณีอยู่ถัดรูปสระอื่น ซึ่งเป็นสระตัวสุดท้ายที่จะแปลง เนื่องจากต้องแปลงรูปสระเอา ก่อน

1. START
2. READ input
3. FOR each character of the input
4. current character = character
5. previous character = input[current index -1]
6. IF previous character NOT IN **TV** AND character = "า" THEN
7. character = "อา"
8. ENDIF
9. output = output Concatenated character
10. ENDFOR
11. RETURN output
    * 1. **ขั้นตอนวิธีของกฎการปริวรรตอักษรไทยแบบปรับรูป**

**กฎที่ 1. AvagarahaRemove**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. #avagaraha เครื่องหมาย ' (apostrophe)
2. START
3. READ input
4. output = **F-RSA**(avagaraha , empty value, input)
5. RETURN output
6. END

**กฎที่ 2. RomanChandrabinduToSingle**

เปลี่ยนเครื่องหมายจันทรพินทุ จากการเขียนด้วยตัวอักษร m และเครื่องหมาย Dot Moonที่อยู่ด้านบน(m̐)ให้เป็นเครื่องหมายจันทรพินแบบตัวอักษรเดี่ยวคือ ṁ ออกแบบไว้เพื่อรองรับไว้สำหรับการใช้เครื่องหมายจันทรพินทุโรมันทั้งสองแบบ และเตรียมไว้สำหรับการแปลงต่อไปโดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(‘m̐’ , ‘ṁ', input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 3. RomanNumberAndPunctuate**

เปลี่ยนตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรโรมันให้เป็นตัวเลขและเครื่องหมายวรรคตอนอักษรไทย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RNP** , **TNP**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 4. RomanMixConsonant**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RMC** , **TMC**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 5. RomanMixVowel**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RMV** , **TMV**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 6. RomanSingleConsonant**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSC** , **TSC2**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 7. RomanSingleVowel**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSV** , **TSV2**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 8. AnusvaraAndChandrabindu**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSC** , **TSC**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 9. ThaiVowelInFist**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. ADD 1 space before input #Prevent Index Out of Bound
4. ADD 1 space after input #Prevent Index Out of Bound
5. FOR each character of the input
6. current character = character
7. previous character = input[current index -1]
8. next character = input[current index +1]
9. main condition = [
10. Previous character NOT IN **TV** And
11. current character IN **TIF2**
12. ]
13. condition 1 = [
14. current character NOT IN **{ เ ,า}**
15. ]
16. condition 2 = [
17. current character ≠ ‘**เ**’
18. next character ≠ ‘**า**’
19. ]
20. condition 3 = [
21. current character ≠ ‘**า**’
22. previous character ≠ ‘**เ**’
23. ]
24. IF main condition AND condition 1 THEN
25. character = **F-RSA**(**TIF2**, **TIFR2**, input)
26. ELSE IF main condition AND condition 2 THEN
27. character = **F-RSA**(**TIF2**, **TIFR2**, input)
28. ELSE IF main condition AND condition 3 THEN
29. character = **F-RSA**(**TIF2**, **TIFR2**, input)
30. ENDIF
31. output = output Concatenated character
32. ENDFOR
33. RETURN output
34. END

**กฎที่ 10. ThaiVisarga**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RSA**(**RSC** , **TSC**, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 11. ThaiVowelPrefix**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. ADD 3 space before input #Prevent Index Out of Bound
4. FOR each character of the input
5. current character = character
6. IF current character IN {'เ','โ', 'ไ'} THEN
7. previous character 1 = input[current index -1]
8. previous character 2= input[current index -2]
9. previous character 3= input[current index -3]
10. conjunct r condition = [
11. previous character 1 = "ร" AND
12. previous character 2 IN **TC** AND
13. previous character 3 ≠ "เ" AND
14. previous character 3 ≠ "โ" AND
15. previous character 3 ≠ "ไ"
16. ]
17. normal condition = [
18. previous character 1 IN **TC**
19. ]
20. IF conjunct r condition THEN
21. SWAP value in current index TO current index -1
22. SWAP value in current index TO current index -2
23. ELSE IF normal condition THEN
24. SWAP value in current index TO current index -1
25. ENDIF
26. output = output Merge character
27. ENDFOR
28. RETURN output
29. END

**กฎที่ 12. ThaiAAInFist**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. FOR each character of the input
4. current character = character
5. previous character = input[current index -1]
6. IF previous character NOT IN **TV** AND character = "า" THEN
7. character = "อา"
8. ENDIF
9. output = output Concatenated character
10. ENDFOR
11. RETURN output

**กฎที่ 13. convertAE**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(**‘**ัเ**’** , ‘ะเ’, input)
4. RETURN output
5. END

**กฎที่ 14. convertAO**

โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. START
2. READ input
3. output = **F-RS**(‘ัโ’,, ‘ะโ’,, input)
4. RETURN output
5. END
   * 1. **ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการปริวรรตอักษร**

เนื่องจากการทำงานปริวรรตนั้นต้องทำกับข้อความจำนวนมากและโปรแกรมทำงานแบบ Server-Client หากการทำงานใช้เวลามากเกินไปจะเกิดปัญหา Time Out ใน Web Browser ได้ เพื่อให้การปริวรรตได้ราบรื่น และให้ได้ลักษณะการส่งข้อความไปประมวลผลให้เหมาะกับกฎที่ออกแบบไว้ ที่มี Loop อยู่เป็นจำนวนมาก ผู้จัดทำจึงได้ออกแบบ ขั้นตอนวิธีในการปริวรรตอักษรไว้ 3 วิธี

วิธีที่ 1. รับตัวอักษรต้นฉบับอักษรโรมันทำการปริวรรตทั้งข้อความ

1. START
2. READ roman text
3. thai text = TRANSLITERATION (roman text)
4. RETURN thai text
5. END

วิธีที่ 2. รับตัวอักษรต้นฉบับอักษรโรมันทำการปริวรรตที่ละบรรทัด

1. START
2. READ roman text
3. FOR each line of the roman text
4. thai text = thai text + TRANSLITERATION (line)
5. ENDFOR
6. RETURN thai text
7. END

วิธีที่ 3. รับตัวอักษรต้นฉบับอักษรโรมันทำการปริวรรตที่ละคำในแต่ละบรรทัด

1. START
2. READ roman text
3. FOR each line of the roman text
4. FOR each word of the line
5. thai text = thai text + TRANSLITERATION (word)
6. ENDFOR
7. ENDFOR
8. RETURN thai text
9. END
   1. **การพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)**

ผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype) เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้และการพิสูจน์แนวคิดของการพัฒนาส่วนตัวปริวรรตอักษร(POC: Proof-of-Concept) ว่าระบบจะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและตรงความต้องการหรือไม่ โดยผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาโดยใช้ภาษา JAVA ทำการโปรแกรมให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบ Console Command โดยเลือกทำเฉพาะส่วนที่ประเมินว่ามีความยากในการพัฒนามากที่สุดคือ การปริวรรตอักษรแบบปรับรูป หรือ แบบทั่วไป โดยทดสอบใช้กฎ 7 กฎ อีกทั้งการทำตัวต้นแบบนี้ยังเพื่อพิสูจน์ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการปริวรรตอักษร 3 วิธีที่ออกแบบไว้ก่อนหน้าว่า ขั้นตอนวิธีใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อเลือกเอาไปพัฒนาต่อไป

รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์หลังจากการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)



รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์หลังจากการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)

หลังจากพิสูจน์ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการปริวรรตอักษร 3 วิธีที่ออกแบบไว้ โดยทดสอบกับตัวอักษรโรมันต้นฉบับ จำนวน 34,769 ตัวอักษร ขั้นตอนวิธีมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ วิธีที่ 2. การปริวรรตที่ละบรรทัด มีเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ยจากการ execute 5 ครั้งที่น้อยที่สุด ผลลัพธ์ตามตารางที่

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบรูปพยัญชนะวรรค

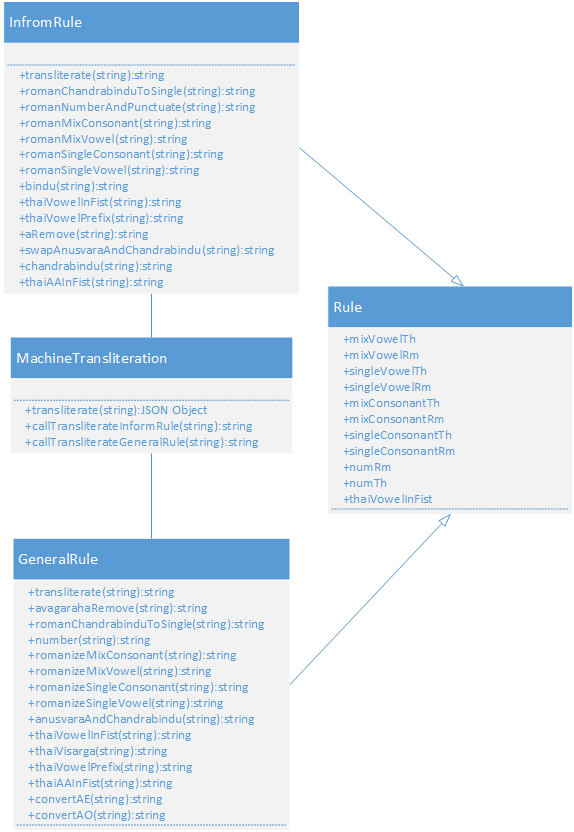
|  |  |
| --- | --- |
| **ขั้นตอนวิธีในการปริวรรตอักษร** | **เวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย(วินาที)** |
| วิธีที่ 1. ทำการปริวรรตทั้งข้อความ | 9.86 |
| วิธีที่ 2. ทำการปริวรรตที่ละบรรทัด | 0.61 |
| วิธีที่ 3. ทำการปริวรรตที่ละคำในแต่ละบรรทัด | 0.76 |

* 1. **การพัฒนาส่วนตัวปริวรรตอักษร(Transliteration Machine)**

ผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาส่วนตัวปริวรรตอักษร(Transliteration Machine) ให้สามารถทำงานได้ตามกฎ (Rule-based) และขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งทำการทดสอบ ตรวจสอบผลลัพธ์ ภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญภาษาสันสกฤตโดยการพัฒนานั้นพัฒนาโดยใช้ภาษา PHP พัฒนาเป็นแบบ Object Oriented Programming ประกอบไปด้วยคลาส 3 Class ได้แก่ MachineTransliteration Class InfromRule Class และ GeneralRule Class

MachineTransliteration Class จะทำหน้าที่เป็น API สำหรับเชื่อมต่อกับระบบอื่นภายนอก

InfromRule Class จะทำหน้าที่ปริวรรตข้อความให้เป็นอักษรไทยแบบคงรูปหรือแบบแผน และGeneralRule Class จะทำหน้าที่ การปริวรรตข้อความให้เป็นอักษรไทยแบบปรับรูปหรือแบบทั่วไป ส่วนการทำงานนั้นหากมีการส่งข้อความเข้ามา MachineTransliteration Class จะรับเอาข้อความเข้ามา แล้วนำไปประมวลผลโดยจะแบ่งข้อความแบบทีละบรรทัด ตามที่ได้ออกแบบไว้ และส่งบรรทัดข้อความนั้น ๆ ไปให้ทั้งสอง Class โดยเรียกใช้ฟังก์ชัน transliterate() จากคลาส InfromRule และ GeneralRule ทำการประมวลผล ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ทั้งแบบคงรูปและแบบปรับรูปเมื่อเสร็จจะส่งผลลัพธ์กลับไปยังที่ MachineTransliteration Class ทำการสะสมค่าผลลัพธ์เอาไว้ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทุกบรรทัดในข้อความแล้ว MachineTransliteration Class จะนำผลลัพธ์ที่ได้มาประมวลผลแล้วส่งออกเป็น JSON Object ให้กับระบบอื่นภายนอก ดังมีโครงสร้างใน class diagram ดังต่อไปนี้



* 1. **การพัฒนาส่วนต่อผู้ใช้งาน(User Interface)**

ผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาส่วนต่อผู้ใช้งาน(User Interface) ที่ไว้สำหรับสำหรับในการป้อนอักษรต้นฉบับจากผู้ใช้ เพื่อส่งไปยังส่วนตัวปริวรรตอักษร(Transliteration Machine) เพื่อทำประมวลให้ได้ผลลัพธ์ออกมาแสดงและส่วนการแสดงการเปรียบเทียบตรวจสอบจากอักษรต้นฉบับกับอักษรผลลัพธ์จากการปริวรรต การพัฒนาส่วนต่อผู้ใช้งาน(User Interface) โดยมีหน้าจอไว้สำหรับรับข้อมูลจากผู้ใช้ โดยลักษณะหน้าจอจะมี select box สำหรับเลือกตัวอักษรต้นฉบับ select box ตัวที่ 2 ใช้สำหรับเลือกอักษรชนิดอื่น ๆ ในการเปรียบเทียบหากผู้ใช้เลือกอักษรต้นฉบับและอักษรเปรียบเทียบตัวที่ 2 แล้ว จะปรากฏตารางเปรียบเทียบตัวอักษรที่ด้านล่างสุด ถัดลงมาด้านล่างจะเป็น text area ช่องแรกไว้สำหรับข้อความต้นฉบับช่องที่ 2 เป็นผลลัพธ์จากการปริวรรตอักษรอื่น ๆ ด้านล่างจะมีปุ่มไว้สำหรับทำการปริวรรตอักษรเป็นอักษรไทย

หากผู้ใช้กรอกตัวอักษรต้นฉบับและกดปุ่ม การปริวรรตเป็นอักษรไทยแล้ว จะมีผลลัพธ์ผลลัพธ์การปริวรรตเป็นอักษรไทยแบบคงรูป และแบบปรับรูป ออกแสดงที่ตารางเปรียบเทียบผลการปริวรรตโดยสามารถเลือกการเปรียบเทียบได้มากที่สุดถึง 4 ชนิดตัวอักษรและยังสามารถซ่อนหรือแสดงตารางเปรียบเทียบตัวใดตัวหนึ่งได้ อีกทั้งยังสามารถทำการเปรียบเทียบโดยการไฮไลท์ที่คำในแต่ละบรรทัดระบบจะทำการไฮไลท์ข้อความจากทุกๆตัวอักษร



รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์หลังจากการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)



รูปที่ 2.5 ผลลัพธ์หลังจากการพัฒนาตัวต้นแบบการปริวรรตอักษร (Prototype)

* 1. **การทดสอบและประเมินผลการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญภาษาสันสกฤต**

เพื่อให้ผลการทดสอบสามารถประเมินผลการดำเนินโครงการ ให้ความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาโครงการเฉพาะเรื่อง จึงมีการกำหนดขอบเขตและออกแบบวิธีการทดสอบและประเมินผล ดังต่อไปนี้

* + 1. **การทดสอบการตัวปริวรรตอักษร**

การทดสอบการตัวปริวรรตอักษรเป็นขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของส่วนตัวปริวรรตอักษร ประกอบด้วย ชุดข้อมูลของการทดสอบ และวิธีการทดสอบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **ชุดข้อมูลของการทดสอบ**
   1. กรณีที่ใช้ในการทดสอบ(Test Case) โดยเป็นชุดข้อความผลลัพธ์ที่ถูกต้องและสามารถครอบคลุมกฎทั้งกรณีการปริวรรตแบบคงรูปและปรับรูป จำนวนอย่างละ 59 กรณี รวมเป็น 118 กรณี
   2. ตัวอย่างตัวอย่างการปริวรรต ผู้จัดทำได้เลือกหนึ่งในตัวอย่างการปริวรรตที่ กล่าวมาก่อนแล้ว โดยเลือกที่มีเนื้อหาไม่มากไม่น้อยจนเกินไป และมีต้นฉบับที่เก็บอยู่ในรูปแบบ TEXT โดยตัวอย่างการปริวรรต ผู้จัดทำได้เลือกคือ
      1. ตัวอย่างการปริวรรตแบบคงรูป ใช้ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับอักษรไทย ขนาด 31,436 ตัวอักษร
      2. ตัวอย่างการปริวรรตแบบปรับรูป ใช้ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับคำอ่านอักษรไทย ขนาด 34,117 ตัวอักษร
   3. ตัวอย่างต้นฉบับ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตา อักษรโรมัน จากโครงการ DSBC (www.dsbcproject.org )
2. **วิธีการทดสอบความถูกต้อง**

วิธีการทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้มาจาก ส่วนตัวปริวรรตอักษร มี 2 วิธีดังนี้

* 1. **การทดสอบแบบแยกส่วน (Unit Testing)**

การทดสอบแบบแยกส่วนนั้นจะใช้ PHPUnit (PHP Testing Framework) เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบและทดสอบกฎ โดยใช้ชุดคำเป็นกรณีที่ใช้ทดสอบ(Test Case) 118 กรณี เพื่อทดสอบการทำงานของส่วนการปริวรรตว่า ผลลัพธ์ที่ออกมาตรงกับชุดคำดังกล่าวหรือไม่

* 1. **การทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับตัวอย่างการปริวรรต**

การทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับตัวอย่างการปริวรรต มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

* + 1. ใช้ตัวอย่างต้นฉบับ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตา อักษรโรมัน ทำการปริวรรตเป็นอักษรไทยแบบคงรูปและปรับรูป
    2. นำผลลัพธ์การปริวรรตอักษรไทยแบบคงรูป ไปเปรียบเทียบกับ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับอักษรไทย และ ผลลัพธ์การปริวรรตอักษรไทยแบบปรับรูป ไปเปรียบเทียบกับ คัมภีร์วัชรเฉทิกปรัชญาปารมิตาสูตร ฉบับคำอ่านอักษรไทย โดยใช้โปรแกรม Pretty Diff v2.0.0 เป็นโปรแกรมเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาอัตราความถูกต้องของส่วนตัวปริวรรตอักษร
    3. **ประเมินผลการใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญภาษาสันสกฤต**

การประเมินผลการใช้งานประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาสันสกฤตโดยมี ข้อคิดเห็นจากผู้ประเมินพร้อมหัวข้อแบบประเมิน โดยในแบบการประเมิน จะมีตัวเลขของระดับความเหมาะสม/ความพึงพอใจในแต่ละด้านมีความหมายดังนี้

5 หมายถึง ระดับมากที่สุด

4 หมายถึง ระดับมาก

3 หมายถึง ระดับปานกลาง

2 หมายถึง ระดับน้อย

1 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

สำหรับการเกณฑ์การวัดระดับความเหมาะสม/ความพึงพอใจในโดยรวมของแต่ละด้าน โดยคิดจากค่าเฉลี่ย มีความหมายดังนี้มีดังนี้

5.0 หมายถึง ระดับมากที่สุด

4.5 ถึง 4.9 หมายถึง ระดับมากค่อนไปทางมากที่สุด

4.0 ถึง 4.4 หมายถึง ระดับมาก

3.5 ถึง 3.9 หมายถึง ระดับปานกลางค่อนไปทางมาก

3.0 ถึง 3.4 หมายถึง ระดับปานกลาง

2.5 ถึง 2.9 หมายถึง ระดับน้อยค่อนไปทางปานกลาง

2.0 ถึง 2.4 หมายถึง ระดับน้อย

1.5 ถึง 1.9 หมายถึง ระดับน้อยค่อนไปทางน้อยที่สุด

1.0 ถึง 1.4 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

การประเมินผลการใช้งานประเมินผล แบ่งหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. **แบบประเมินผลการใช้งานระบบ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Function)**

โดยจะประเมิน ความถูกต้องของการผลลัพธ์ ความรวดเร็วในการประมวลผล ความครอบคลุมของงาน ความสามารถป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และความน่าเชื่อถือได้ของระบบ โดยมีงานที่จะประเมินดังนี้

* 1. การปริวรรตจากอักษรโรมันเป็นอักษรไทยแบบคงรูป
  2. การปริวรรตจากอักษรโรมันเป็นอักษรไทยแบบปรับรูป
  3. ตารางการเปรียบเทียบผลการปริวรรต
  4. ตารางการเปรียบเทียบอักษร

1. **แบบประเมินผลการใช้งานระบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability)**

โดยจะประเมินจากส่วนต่อผู้ใช้งาน(User Interface)แบ่งหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. ความง่ายต่อการใช้งานของระบบ
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดตัวอักษรบนจอภาพ
3. ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษรและรูปภาพ
4. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย
5. ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย
6. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ
7. ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้
8. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ
9. คำศัพท์ที่ประกอบใช้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและสามารถปฏิบัติตามได้โดยง่าย