

ระดับความพร้อมทางการผลิต (Manufacturing Readiness Level) กับการประยุกต์ใช้ในหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

นาวาโท กนก บุณนาค
นักวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศอาวุโส

ที่ผ่านมา การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมของประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level : TRL) ในการประเมินและแสดงค่าสถานะความพร้อมของเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างแพร่หลาย แต่ยังมีประเมินระดับความพร้อมในด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบนิเวศของเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างจำกัด การประเมินระดับความพร้อมทางการผลิต (Manufacturing Readiness Level : MRL) จะถูกกล่าวถึงก็ต่อเมื่อการวิจัยและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จและมีโอกาสต่อยอดสู่สายการผลิตได้ โดยความคาดหวังเกี่ยวกับขีดความสามารถในการผลิตส่วนใหญ่จะตกอยู่กับผู้ประกอบการที่มีส่วนร่วมในการวิจัยและพัฒนาหรือที่เป็นผู้รับช่วงต่อในการผลิตในระดับของอุตสาหกรรม การส่งผลิตภัณฑ์ต้นแบบเข้าสู่สายการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพจึงยังคงมีรอยต่อระหว่างหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนากับผู้ประกอบการที่ดำเนินการผลิต

บริบทของรอยต่อดังกล่าวเกิดขึ้นกับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เช่นเดียวกัน หน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาทิ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ให้ความสำคัญกับการประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับการทดสอบทดลองและส่งมอบเข้าประจำการในกองทัพเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังมีได้มีการประยุกต์ใช้การประเมินระดับความพร้อมทางการผลิตอย่างเป็นรูปธรรม แม้ว่า สทป.จะมีการควบคุมมาตรฐานการดำเนินงานตามมาตรฐาน International Organization for Standardization (ISO) เช่น มาตรฐานระบบงานคุณภาพ ISO 9001:2015 ที่ครอบคลุมถึงการบริหารจัดการความเสี่ยงและระบบการบริหารจัดการคุณภาพ แต่มาตรฐานดังกล่าวเน้นการจัดการคุณภาพขององค์กรโดยรวม ไม่ได้ลงลึกถึงกระบวนการผลิตโดยเฉพาะเจาะจง การประยุกต์ใช้การประเมินระดับความพร้อมทางการผลิต จึงเป็นโอกาสและเครื่องมือที่จะสนับสนุนให้ สทป. รวมทั้งหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศของไทยสามารถประเมินความพร้อมและบริหารจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตอย่างละเอียด ตั้งแต่ช่วงของการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบสู่การส่งเข้าสู่สายการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับระดับความพร้อมทางการผลิต และโอกาสในการประยุกต์ใช้สำหรับเตรียมความพร้อมในการที่จะนำส่งต้นแบบผลิตภัณฑ์ป้องกันประเทศเข้าสู่สายการผลิตอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง MRL กับ TRL และการบูรณาการใช้งาน MRL ร่วมกับ ISO 9001:2015 ซึ่งจะเป็นการช่วยยกระดับและส่งเสริมการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศให้ก้าวไปสู่การมีขีดความสามารถในการพึ่งพาตนเองและการมีขีดความสามารถในการแข่งขันต่อไป

ระดับความพร้อมทางการผลิต

ในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมนั้น การประเมินผลสัมฤทธิ์ถือเป็นกุญแจสำคัญในการสร้างความเข้าใจที่ตรงกันให้แก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบนิเวศด้านการวิจัยและพัฒนา รวมถึงระบบนิเวศของ

การผลิตและใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีและนวัตกรรม การประเมินผลสัมฤทธิ์ในรูปแบบของระดับความพร้อม (Readiness Level) เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำหรับการสร้างความเข้าใจดังกล่าว โดยการประเมินผลสัมฤทธิ์ด้วยระดับความพร้อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ การประเมินความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีในการวิจัยและพัฒนาที่เป็นต้นน้ำ การประเมินความพร้อมทางการผลิตในขั้นกลางน้ำซึ่งเป็นติดตามและเตรียมความพร้อมเชิงขีดความสามารถในการผลิตตั้งแต่การวิจัยและพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีจนกระทั่งมีเสถียรภาพการใช้งานแล้วนำส่งสู่สายการผลิต และการประเมินความพร้อมในเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นตัวชี้วัดของโอกาสทางการตลาดและการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีในส่วนที่เป็นปลายน้ำของอุตสาหกรรมด้านนวัตกรรม ระดับความพร้อมทางการผลิตจึงเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสำหรับหน่วยวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมในการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบและนำส่งเข้าสู่สายการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

ระดับความพร้อมทางการผลิต หรือ MRL เป็นเครื่องมือในการบ่งชี้ถึงความพร้อมในกระบวนการผลิต และความเสี่ยงในการดำเนินการจากมุมมองของการผลิต ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ TRL ที่ใช้บ่งชี้ของระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีในบริบทของการวิจัยพัฒนาและการใช้งาน โดยแนวความคิดเกี่ยวกับระดับความพร้อมทางการผลิตนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นในกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา เพื่อประเมินความพร้อมของกระบวนการผลิต ตั้งแต่ขั้นการกำหนดแนวคิดการผลิต การพัฒนาการผลิต การผลิตใช้งาน และการสนับสนุนปรับปรุงการผลิตเพื่อความต่อเนื่องในระยะยาว โดยได้มีการแบ่งระดับความพร้อมออกเป็น 10 ระดับ [1] ดังนี้

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับความพร้อมทางการผลิต (MRL)

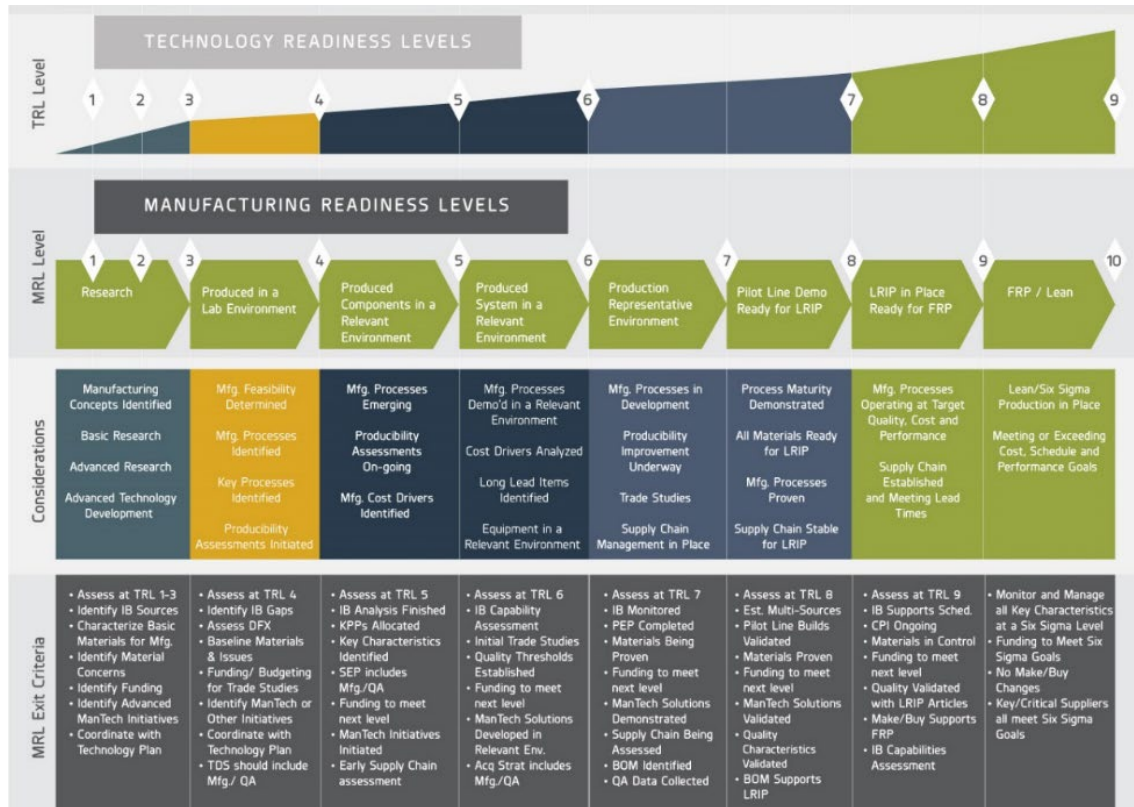
ระดับความพร้อม	คำอธิบาย
MRL 1 : มีข้อมูลการผลิตขั้นพื้นฐาน	มีการกำหนดแนวคิดการผลิต โดยมีการนำงานวิจัยมาสนับสนุนแนวคิดพื้นฐาน และมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิตแล้ว
MRL 2 : ระบุแนวคิดการผลิต	มีการกำหนดแนวคิดการผลิต โดยระบุถึงความเพียงพอของวัตถุดิบที่ใช้ ในแต่ละขั้นตอนกระบวนการ รวมถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ
MRL 3 : ตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิดการผลิต	เริ่มกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิดการผลิตบางส่วน ผ่านการวิเคราะห์หรือทดลอง
MRL 4 : จำลองขั้นตอนตามแนวคิดที่กำหนด โดยสอดคล้องกับระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ	มีการจำลองและทดสอบแนวคิดการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ โดยสอดคล้องกับระดับคุณภาพที่ต้องการ มีการวิเคราะห์กำหนดต้นทุนสิ่งอำนวยความสะดวก การจัดการวัสดุ และทักษะที่จำเป็น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถดำเนินการผลิตได้
MRL 5 : ทดลองผลิตชิ้นส่วนต้นแบบในสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิต	มีการทดสอบขั้นตอนการผลิตถูกในสภาวะแวดล้อมจริง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถดำเนินการผลิตได้ และมีการระบุความเสี่ยงด้านการผลิตในแต่ละขั้นตอน
MRL 6 : รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการจัดการขั้นตอนการผลิตหลายวัตถุดิบ	ดำเนินการทดลองผลิตบางส่วนตามกระบวนการผลิตที่กำหนดไว้ มีการประเมินขีดความสามารถการผลิตเทคโนโลยีหลัก และมีแผนงานด้านคุณภาพเบื้องต้น รวมถึงระบบจัดการคุณภาพ

MRL 7 : ทดลองการผลิตตามระบบต้นแบบทั้งหมด รวมถึงประเมินความเสี่ยงด้านคุณภาพ	ดำเนินการทดลองผลิตทั้งระบบในสภาวะแวดล้อมจริง ใช้วัสดุและขั้นตอนตรงตามตารางการผลิต มีการประเมินความเสี่ยงและศึกษาแนวทางการผลิตเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโดยละเอียด
MRL 8 : ทดลองผลิตในสภาวะแวดล้อมที่เป็นตัวแทนในการผลิตจริงและทดสอบคุณภาพ	สามารถดำเนินการผลิตได้ตามที่ต้องการ ผ่านมาตรฐาน และมีความเสถียรเพียงพอ โดยมีความเสี่ยงในการผลิตอยู่ในอัตราที่ต่ำ มีการออกแบบจำลองต้นทุนทางวิศวกรรมอย่างละเอียดและทำการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลจริงแล้ว มีการตรวจสอบคุณภาพทั้ง supply chain
MRL 9 : สามารถผลิตได้ตามปริมาณและมาตรฐานที่กำหนด	มีความพร้อมในการเข้าสู่สายการผลิตแบบเต็มอัตรา มีความเสถียร มีการตรวจสอบความเสี่ยงในการผลิตอย่างต่อเนื่อง สามารถบรรลุเป้าหมายด้านต้นทุนการผลิตขั้นต่ำ มีการพัฒนาแบบจำลองต้นทุนให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมของการผลิต
MRL 10 : สามารถวางแผนเพิ่มหรือลดปริมาณและขั้นตอนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Dynamic Production Capability)	มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงด้านวิศวกรรม การออกแบบ และ/หรือขั้นตอนการผลิต โดยยังสามารถรักษาคุณภาพและต้นทุนภายใต้อัตราการผลิตที่กำหนด และสามารถปรับวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือตรวจสอบ สิ่งอำนวยความสะดวก รวมถึงกำลังแรงงานให้เป็นไปตามเป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง

การเปรียบเทียบการประเมินทางเทคโนโลยีกับการประเมินความพร้อมทางการผลิต

หากเปรียบเทียบการประเมินความพร้อมทางเทคโนโลยีกับการประเมินความพร้อมทางการผลิตจะเห็นได้ถึงความต่อเนื่องและความสัมพันธ์ของทั้งสองกระบวนการ (ตามรูปภาพที่ 1) โดย TRL เป็นกระบวนการในการพิสูจน์ความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคของเทคโนโลยีก่อนการใช้งานจริง ในขณะที่ MRL ประเมินว่าเทคโนโลยี ระบบ หรือส่วนประกอบสามารถผลิตและส่งมอบได้อย่างน่าเชื่อถือ TRL และ MRL เป็นของคู่กัน โดยกระบวนการผลิตจะไม่สามารถเติบโตได้จนกว่าเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์และการออกแบบผลิตภัณฑ์จะมีเสถียรภาพ นอกจากนี้ กระบวนการประเมินทั้งสองยังช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งหมดมีความเข้าใจร่วมกันเกี่ยวกับความสมบูรณ์และความเสี่ยงของเทคโนโลยีตลอดช่วงวงจรชีวิตที่นำไปสู่การตัดสินใจในการผลิต

รูปภาพที่ 1 การเปรียบเทียบการประเมินความพร้อมด้วย TRL และ MRL

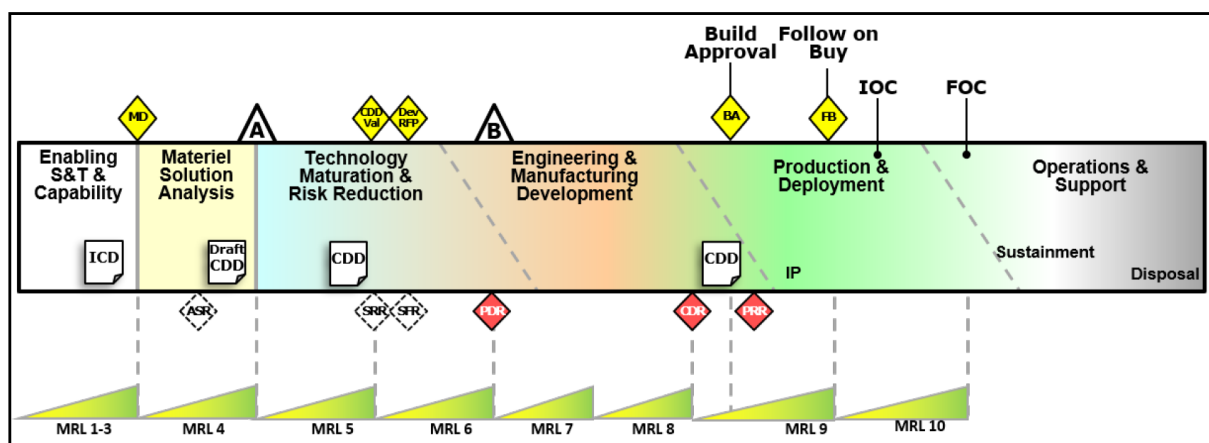


ที่มา : <https://www.plexus.com/en-us/current/articles/manufacturing-readiness-levels-aerospace-defense>

การใช้กรอบการประเมิน TRL และ MRL สามารถช่วยลดความเสี่ยงในทุกขั้นตอนของกระบวนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และช่วยให้สามารถบรรลุเป้าหมายสูงสุดของการผลิตแบบเต็มอัตราด้วยต้นทุนที่เหมาะสมที่สุด ในขณะเดียวกันก็ปรับปรุงความเร็วในการนำออกสู่ตลาด ยิ่งไปกว่านั้น การลดความเสี่ยงตลอดกระบวนการยังช่วยสนับสนุนความสำเร็จของภารกิจและความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์ในระยะยาวอีกด้วย ในการนี้ แนวทางการจัดการความเสี่ยงเชิงรุกสามารถนำมาใช้ประกอบการประเมิน TRL และ MRL ให้สามารถดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และหลีกเลี่ยงปัญหาในภายหลัง ตัวอย่างเช่น การหยุดชะงักของห่วงโซ่อุปทานถือเป็นภัยคุกคามอันดับต้น ๆ ต่อความพร้อมทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องแน่ใจว่าชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบที่ใช้ในการออกแบบจะพร้อมใช้งาน ไม่เพียงแต่สำหรับการสร้างต้นแบบและการผลิตเริ่มแรกอัตราต่ำ (Low-Rate Initial Production : LRIP) เท่านั้น แต่สำหรับการผลิตเต็มอัตรา (Full-Rate Production : FRP) ด้วย ความท้าทายที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการทำให้อย่างมั่นใจว่าเทคโนโลยีนั้น ๆ ได้รับการทดสอบและจัดทำเอกสารอย่างเหมาะสมเพื่อให้ทำงานได้ตามที่ระบุไว้ นอกจากนี้ จากมุมมองของความพร้อมในการผลิต ความท้าทายสำคัญคือ การสร้างความมั่นใจว่ามีทรัพยากรที่เพียงพอในการสนับสนุนโครงการ รวมถึงการขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะซึ่งยังคงเป็นอุปสรรคต่ออุตสาหกรรม

ประเทศมหาอำนาจทางการทหารอย่างสหรัฐอเมริกาได้นำการประเมิน MRL มาประยุกต์ใช้ในโครงการจัดหายุทโธปกรณ์ทางการทหาร โดยในบรรณสาร Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Version 2022 ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ [2] ได้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ MRL ในการประเมินระบบยุทโธปกรณ์ในโครงการจัดหายุทโธปกรณ์ต้นแบบของสหรัฐอเมริกา โดยได้มีการปรับเปลี่ยนความสัมพันธ์ของ MRL ให้สอดคล้องกับจุดตัดสินใจหรือเหตุการณ์ที่สำคัญตามแผนการดำเนินโครงการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งก่อนกระบวนการ Critical Design Review (CDR) ที่ต้องการความพร้อมของการผลิตในระดับที่เพียงพอต่อการตัดสินใจสำหรับการสร้างต้นแบบระบบหรือต้นแบบผลิตภัณฑ์ในครั้งแรก (First Build) ด้วยความเสี่ยงที่ยอมรับได้ โดยปกติแล้วนั้นการอนุมัติ First Build และ First System Build จะเกิดขึ้นไม่นานหลังจากการทำ CDR สำเร็จ ถึงแม้ว่าการสร้างจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการพัฒนาทางวิศวกรรมและการผลิต (Engineering and Manufacturing Development : EMD) แต่ด้วยการเป็นระบบการผลิตระบบแรก (และอาจเป็นระบบเดียวเท่านั้น) และเพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ด้านระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ระดับความพร้อมของการผลิตจึงควรเป็นไปตามเกณฑ์ MRL 8 ที่จุดตัดสินใจของ CDR โดยที่มีความพร้อมของระบบย่อยและส่วนประกอบในระดับ MRL 8 หรือ 9 ในขณะที่การประเมิน MRL 7 อาจดำเนินการระหว่างขั้นตอน Preliminary Design Review (PDR) และ CDR เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ (รายละเอียดตามรูปภาพที่ 2)

รูปภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของ MRL กับกระบวนการจัดหายุทโธปกรณ์ต้นแบบของสหรัฐอเมริกา



ที่มา : Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Version 2022

การประยุกต์ใช้การประเมิน MRL ในหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนา

การประยุกต์ใช้การประเมิน MRL ในหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนานับเป็นสิ่งที่ท้าทายเนื่องจากเกณฑ์ MRL ได้รับการออกแบบมาเพื่อวัดความพร้อมในการผลิตของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเมื่อผลิตภัณฑ์เข้าสู่การสายผลิต อย่างไรก็ตาม ในช่วงต้นของการวิจัยและพัฒนา มักจะมีความเชื่อมโยงเพียงเล็กน้อยระหว่างการวิจัยที่กำลังดำเนินการกับผลิตภัณฑ์หรือโปรแกรมการผลิตเฉพาะ ดังนั้น การประเมินโดยใช้เกณฑ์ MRL อาจต้องมีการปรับปรุงให้บรรลุเป้าหมายของสภาพแวดล้อมสำหรับการวิจัยและพัฒนา เช่น เพื่อให้ได้ความรู้พื้นฐานหรือความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับแนวโน้มวัสดุหรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ โดยวัตถุประสงค์หลักสำหรับการใช้เกณฑ์ MRL คือการช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจในโครงการสามารถทำความเข้าใจและลดความเสี่ยงด้านการผลิตในความพยายามที่จะถ่ายโอนการวิจัยและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์สู่สายการผลิต ขีดความสามารถของโครงการวิจัยและพัฒนาในการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเทคโนโลยีหรือ

ผลิตภัณฑ์อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพจากแนวคิด สู่ห้องปฏิบัติการ สู่โรงงาน และการใช้งานในภาคสนาม ถือเป็นสิ่งสำคัญในการประหยัดต้นทุนและลดระยะเวลาในการที่จะนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาด ทั้งนี้ทั้งนั้น การประยุกต์ใช้การประเมิน MRL ในหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาที่มีประเด็นปัญหาสำคัญ 4 ประการ ที่ต้องนำมาพิจารณาหาแนวทางให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนี้

1. ความจำกัดของทรัพยากร โดยการประเมิน MRL อาจต้องใช้ทรัพยากรมาก รวมถึงต้องใช้ เวลาและความพยายามอย่างมากจากผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความพร้อมและความเสี่ยงในการผลิต ซึ่งอาจทำให้เกิดสถานะความตึงเครียดทางทรัพยากร โดยเฉพาะในหน่วยงานที่มีทรัพยากรบุคคลหรืองบประมาณ จำกัด

2. ความเชี่ยวชาญและความซับซ้อนในการดำเนินการประเมิน โดยการดำเนินการประเมิน MRL อย่างเหมาะสมต้องอาศัยความรู้เฉพาะทางและความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต ความจำกัดขององค์ ความรู้และองค์บุคคลที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านนี้ในหน่วยงานวิจัยและพัฒนาซึ่งไม่ได้มีขีดความสามารถ หลักในการผลิต อาจนำไปสู่ความท้าทายในการประเมินและพัฒนา MRL ได้อย่างแม่นยำ

3. ความท้าทายในการบูรณาการกระบวนการ MRL เข้ากับกระบวนการวิจัยและพัฒนาที่มี อยู่อย่างมีประสิทธิภาพอาจเป็นเรื่องท้าทาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่มีการวางแผนการดำเนิน โครงการที่มุ่งเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบ โดยที่ความสำคัญของการพัฒนาการผลิตอยู่ใน ลำดับรองลงมา

4. ความสามารถในการประยุกต์กระบวนการ MRL ให้สอดคล้องสำหรับโครงการวิจัยและ พัฒนาหรือเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ อาจเป็นเรื่องท้าทาย เนื่องจากโครงการวิจัยและพัฒนาต่าง ๆ อาจ ต้องการรายละเอียดในระดับที่แตกต่างกันในการประเมิน ส่งผลให้การกำหนดมาตรฐานกลางของกระบวนการ MRL มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

จากประเด็นปัญหาและความท้าทายข้างต้น ผู้เขียนได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา เพื่อให้การประยุกต์ใช้ MRL มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดในหน่วยงานวิจัยและพัฒนา ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหาการประยุกต์ใช้ MRL ในหน่วยงานวิจัยและพัฒนา

ประเด็นปัญหา	แนวทางการแก้ไข
1. ความจำกัดของทรัพยากร	- การจัดลำดับความสำคัญ กำหนดโครงการที่สำคัญที่สุดและจัดลำดับ ความสำคัญของการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสม - การจัดหาเงินทุนและทรัพยากรเพิ่มเติม แสวงหาการสนับสนุนทางการเงินจาก แหล่งอื่น ๆ เช่น เงินสนับสนุนจากรัฐบาล หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน หรือ กองทุนต่าง ๆ เพื่อเพิ่มทรัพยากรสำหรับการพัฒนาขีดความสามารถและระบบใน การประเมิน MRL - การฝึกอบรมภายใน ฝึกอบรมบุคลากรภายในให้มีความรู้และทักษะในการ ประเมิน MRL เพื่อลดการพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญจากภายนอก
2. ความเชี่ยวชาญและความซับซ้อน ในการดำเนินการประเมิน	- การพัฒนาความเชี่ยวชาญ จัดโปรแกรมฝึกอบรมและการพัฒนาทักษะให้กับ บุคลากรในด้านการประเมิน MRL อย่างต่อเนื่อง - การสร้างทีมผู้เชี่ยวชาญ สร้างทีมผู้เชี่ยวชาญด้าน MRL ที่ประกอบด้วย บุคลากรจากหลากหลายสาขาวิชาเพื่อให้มีความรู้ครอบคลุมและสามารถ ดำเนินการประเมินได้อย่างแม่นยำ - การสร้างเครือข่ายความร่วมมือ ร่วมมือกับสถาบันวิจัยอื่น ๆ หรือองค์กรที่มี ความเชี่ยวชาญในด้าน MRL เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์

3. ความท้าทายในการบูรณาการกระบวนการ MRL เข้ากับกระบวนการวิจัยและพัฒนา	- การออกแบบกระบวนการ ออกแบบกระบวนการวิจัยและพัฒนาให้สามารถบูรณาการกับการประเมิน MRL ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดขั้นตอนและวิธีการที่ชัดเจน - การจัดทำแนวทางปฏิบัติ (Guidelines) จัดทำแนวทางปฏิบัติสำหรับการประเมิน MRL ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการวิจัยและพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ - การใช้เทคโนโลยี ใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ทันสมัยในการบูรณาการกระบวนการ MRL กับกระบวนการวิจัยและพัฒนา
4. ความสามารถในการประยุกต์กระบวนการ MRL ให้สอดคล้องสำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาแต่ละประเภท	- การปรับแต่งเกณฑ์ MRL ปรับแต่งเกณฑ์ MRL ให้สอดคล้องกับความต้องการและลักษณะเฉพาะของแต่ละโครงการวิจัยและพัฒนา - การสร้างมาตรฐานเฉพาะโครงการ สร้างมาตรฐานและแนวทางการประเมิน MRL ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาแต่ละประเภท เพื่อให้สามารถดำเนินการประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพ - การทบทวนและปรับปรุง ทบทวนและปรับปรุงกระบวนการประเมิน MRL อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการของโครงการวิจัยและพัฒนา

การประยุกต์ใช้การประเมิน MRL ในหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาต้องการการวางแผนและการดำเนินการอย่างเป็นระบบ แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวจะช่วยให้หน่วยงานสามารถประยุกต์ใช้ MRL ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงในกระบวนการผลิต และเพิ่มโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงเข้าสู่ตลาดได้อย่างรวดเร็วด้วยต้นทุนที่เหมาะสม

การบูรณาการใช้งาน MRL ร่วมกับมาตรฐาน ISO ในหน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ในปัจจุบัน หน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศของไทยยังมิได้มีการประยุกต์ใช้งาน MRL อย่างเป็นรูปธรรม แต่มีบางหน่วยงานที่ใช้กรอบมาตรฐาน ISO เพื่อควบคุมคุณภาพและกระบวนการในการดำเนินงาน หน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาทิ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีมาตรฐานการดำเนินงานและได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO ได้แก่ มาตรฐานระบบงานคุณภาพ (ISO 9001:2015) มาตรฐานข้อกำหนดสำหรับหน่วยตรวจ (ISO/IEC 17020:2012) มาตรฐานการสอบเทียบเครื่องมือวัดในอุตสาหกรรม (ISO/IEC 17025:2017) และมาตรฐานระบบบริหารจัดการความปลอดภัยของข้อมูล (ISO/IEC 27001:2022) โดยมาตรฐานเหล่านี้ล้วนมีกระบวนการในการบริหารจัดการความเสี่ยงทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ISO 9001:2015 ที่มุ่งเน้นถึงการจัดการคุณภาพขององค์กรในภาพรวมซึ่งหมายรวมถึงการบริหารจัดการความเสี่ยงในกระบวนการจัดการคุณภาพด้วย ดังนั้น จึงมีโอกาสดังกล่าวที่หน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศจะบูรณาการใช้งาน MRL เพื่อส่งเสริมการดำเนินงานตามมาตรฐาน ISO 9001:2015 ให้สามารถวิจัยพัฒนาและนำส่งต้นแบบผลิตภัณฑ์ออกสู่สายการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

ทั้ง MRL และ ISO 9001:2015 มีเป้าหมายร่วมกันในการสร้างผลิตภัณฑ์หรือบริการที่มีคุณภาพสูง เน้นการจัดการความเสี่ยง การวัดและประเมินผล การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การบูรณาการในการทำงานเป็นทีม และการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ เพียงแต่ ISO 9001:2015 นั้นมุ่งเน้นการจัดการคุณภาพขององค์กรโดยรวม ไม่ได้ลงลึกในกระบวนการผลิตแบบเฉพาะเจาะจงดังเช่น MRL ดังนั้น การประยุกต์ใช้ MRL

จึงสามารถช่วยเติมเต็มการดำเนินการของ ISO 9001:2015 โดยเฉพาะในด้านการประเมินความพร้อมและการจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิต การแบ่งระดับความพร้อมในการผลิต การเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ และการประเมินความพร้อมในการผลิตเป็นระยะ บทความนี้จะได้สังเคราะห์แนวทางสำหรับการบูรณาการใช้ MRL กับระบบงานของหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาที่ดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 9001:2015 ดังนี้

ตารางที่ 3 ข้อเสนอแนะแนวทางการบูรณาการ MRL ในหน่วยงานวิจัยและพัฒนาที่มีมาตรฐาน ISO 9001:2015

ประเด็น	ข้อเสนอแนะการบูรณาการ
1. การปรับปรุงกระบวนการจัดการคุณภาพ	- การกำหนดขั้นตอนการประเมิน MRL โดยพัฒนาขั้นตอนการประเมิน MRL ให้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการคุณภาพ ใช้หลักการ PDCA (Plan-Do-Check-Act) ของ ISO 9001:2015 เพื่อให้การประเมิน MRL มีความเป็นระบบ - การกำหนดหลักเกณฑ์การประเมิน มีการพิจารณากำหนดหลักเกณฑ์ เนื้อหา หัวข้อ และตัวชี้วัดในการประเมินให้มีความสอดคล้องกับบริบทการวิจัยและการผลิตเพื่อส่งมอบต้นแบบ และการผลิตเพื่อการพาณิชย์ของหน่วยงาน - การจัดทำคู่มือและแนวทางปฏิบัติ โดยจัดทำคู่มือและแนวทางปฏิบัติสำหรับการประเมิน MRL ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 9001:2015 และรวมเอาเกณฑ์ MRL เข้าไปในกระบวนการและวิธีการที่มีอยู่
2. การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร	- การฝึกอบรมการประเมิน MRL โดยจัดโปรแกรมฝึกอบรมให้กับบุคลากรเกี่ยวกับการประเมิน MRL เพื่อให้มีความรู้และทักษะในการประเมินความพร้อมและความเสี่ยงในการผลิต - การบูรณาการความรู้ เสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการบูรณาการการประเมิน MRL กับระบบการจัดการคุณภาพ ISO 9001:2015 โดยเน้นการเชื่อมโยงระหว่างการประเมิน MRL กับการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง
3. การจัดการความเสี่ยง	- การประเมินความเสี่ยงด้านการผลิต นำการประเมินความเสี่ยงด้านการผลิตตามเกณฑ์ MRL มารวมกับกระบวนการประเมินความเสี่ยงของ ISO 9001:2015 เพื่อให้การจัดการความเสี่ยงมีความครอบคลุมและครบถ้วน - การบูรณาการการจัดการความเสี่ยง ใช้เครื่องมือและเทคนิคในการจัดการความเสี่ยงที่มีอยู่ใน ISO 9001:2015 เช่น การวิเคราะห์ SWOT, FMEA, หรือ PESTLE มาประยุกต์ใช้กับการประเมินความเสี่ยงของ MRL
4. การปรับปรุงและตรวจสอบกระบวนการ	- การตรวจสอบและปรับปรุง โดยดำเนินการตรวจสอบและปรับปรุงกระบวนการประเมิน MRL อย่างต่อเนื่อง และใช้ข้อกำหนดของ ISO 9001:2015 เป็นกรอบในการตรวจสอบคุณภาพและการปรับปรุง - การทบทวนประสิทธิภาพ จัดทำทบทวนประสิทธิภาพของการบูรณาการการประเมิน MRL กับระบบการจัดการคุณภาพ ISO 9001:2015 อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้มั่นใจว่าการบูรณาการนั้นมีประสิทธิภาพและตรงตามวัตถุประสงค์
5. การรายงานและการสื่อสาร	- การรายงานผลการประเมิน สร้างระบบรายงานผลการประเมิน MRL ที่สอดคล้องกับระบบการรายงานของ ISO 9001:2015 เพื่อให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกฝ่ายได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนและทันเวลา

	- การสื่อสารภายในองค์กร ใช้การสื่อสารภายในองค์กรเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจ และการยอมรับเกี่ยวกับการบูรณาการการประเมิน MRL กับระบบการจัดการคุณภาพ ISO 9001:2015
--	---

ทั้งนี้ ในการประเมิน MRL ควรมีทีมผู้เชี่ยวชาญด้านความพร้อมในการผลิตเป็นผู้ทำการตรวจประเมินหลัก และให้ผู้อำนวยการโครงการ (Project Director : PD) รวมถึงผู้จัดการโครงการ (Project Manager : PM) ทำการประเมินระดับความพร้อมในการผลิตของโครงการตนเองด้วย เพื่อเป็นการสอบทานและลดช่องโหว่ทางด้านองค์ความรู้เฉพาะทางในการประเมิน ให้ได้มาซึ่งผลการประเมินที่สะท้อนถึงความพร้อมที่แท้จริงเชิงขีดความสามารถในการผลิต และการรับทราบถึงความเสี่ยงที่จะนำไปพิจารณาปรับปรุงแก้ไขให้โครงการสามารถดำเนินต่อไปได้ รวมถึงให้สามารถนำส่งต้นแบบผลิตภัณฑ์ออกสู่สายการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ หน่วยงานจะต้องพิจารณาถึงความสมดุลของการมุ่งเน้นกระบวนการวิจัยพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์กับการมุ่งเน้นสร้างกระบวนการผลิตให้มีความต่อเนื่องสมบูรณ์ที่สามารถจะส่งต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์สู่สายการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องบริหารทรัพยากรที่มี ทั้งในด้านบุคลากร เวลา ความเชี่ยวชาญ และงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้สามารถขับเคลื่อนดำเนินการประเมิน MRL ได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีความประสานสอดคล้องกับระบบงานตามมาตรฐาน ISO ที่ดำเนินการอยู่เดิม

บทสรุป

ระดับความพร้อมทางการผลิต (MRL) เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่หน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ทราบถึงความพร้อมในกระบวนการผลิตและความเสี่ยงในการดำเนินการจากมุมมองของการผลิต ควบคู่ไปกับการประเมินความพร้อมด้านเทคโนโลยี (TRL) โดยหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาสามารถนำ MRL มาใช้ประเมินความพร้อมและบริหารจัดการความเสี่ยงในกระบวนการผลิตอย่างละเอียด ตั้งแต่ช่วงของการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบไปจนถึงการส่งเข้าสู่สายการผลิตอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ ในการนี้ หน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนาควรเริ่มจากการประยุกต์ใช้ MRL ด้วยการกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานที่ชัดเจน บูรณาการขีดความสามารถและความเชี่ยวชาญจากกลุ่มงานและฝ่ายงานในองค์กร นอกจากนี้ยังต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาและฝึกอบรมบุคลากรเพื่อเพิ่มความรู้และทักษะในการประเมิน รวมถึงการบูรณาการการประเมินเข้ากับกระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีต้นแบบอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ทั้งนั้น การจัดการทรัพยากรอย่างเพียงพอและการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีทักษะเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องดำเนินการควบคู่ไปกับการจัดการความเสี่ยงเชิงรุกในการประเมิน MRL เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตได้

ในส่วนของหน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่มีมาตรฐานการดำเนินงานและได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO โดยเฉพาะมาตรฐานระบบงานคุณภาพ ISO 9001:2015 อยู่แล้วนั้น สามารถบูรณาการกระบวนการ MRL เข้ากับกระบวนการ ISO 9001:2015 ที่ดำเนินการอยู่ได้ โดยที่ MRL จะช่วยส่งเสริมและเติมเต็มระบบควบคุมคุณภาพและบริหารจัดการความเสี่ยงของหน่วยงาน ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงเข้าสู่ตลาดอย่างรวดเร็วด้วยต้นทุนที่เหมาะสม อีกทั้งจะเป็นการสนับสนุนความสำเร็จของภารกิจและความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์ในระยะยาว และเสริมสร้างศักยภาพของหน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ป้องกันประเทศที่สามารถสนับสนุนการดำรงไว้ซึ่งขีดความสามารถของกองทัพไทย พร้อมการยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขัน

ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ให้ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน ตามวิสัยทัศน์ของยุทธศาสตร์ชาติที่ได้กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดลยา พินิจไพฑูรย์. *ระดับความพร้อมทางการผลิต การพาณิชย์ สำหรับผู้ประกอบการฐานนวัตกรรม*. สารนิพนธ์, หลักสูตรปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต, วิทยาลัยการจัดการ, มหาวิทยาลัยมหิดล. 2562.
- [2] US Department of Defense. *Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Version 2022*. 1 October 2022.