

บทที่ 10

การปฏิวัติอุตสาหกรรม

1. แนวคิดใหม่เกี่ยวกับ"การปฏิวัติอุตสาหกรรม"

การปฏิวัติอุตสาหกรรม(Industrial Revolution)นั้นโดยทั่วไปถือกันว่า หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม โดยเปลี่ยนจากการผลิตในระบบช่างฝีมือมาเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักร การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วถือว่าเป็นผลจากการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องจักรกลบางชนิดขึ้นเป็นจุดเริ่ม โดยเฉพาะคือเครื่องจักรในการทอผ้าและเครื่องจักรไอน้ำ ผู้ที่คิดประดิษฐ์กรรมเหล่านั้นเป็นคนอังกฤษ เป็นผลให้อุตสาหกรรมโรงงานขยายตัวขึ้นในอังกฤษอย่างรวดเร็ว และเป็นสถานที่ซึ่งใช้แรงงานผู้หญิงและเด็กอย่างไร้มนุษยธรรม ในไม่ช้าอังกฤษก็เป็นประเทศแห่งโรงงานอุตสาหกรรม การ"ปฏิวัติ"นี้สิ้นสุดลงประมาณต้นศตวรรษที่ 19

แนวคิดเกี่ยวกับการปฏิวัติอุตสาหกรรมข้างต้นนี้ ในปัจจุบันภายหลังจากที่มีการศึกษาทำความเข้าใจอย่างละเอียดลึกซึ้งมากขึ้นก็ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ว่า ความจริงแล้วกระบวนการนำเอาเครื่องจักรกลเข้ามาใช้ในการทำการผลิตทางอุตสาหกรรมนั้น มิใช่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วประดังกัน หากแต่เป็นกระบวนการอันยาวนานของการค้นคว้าทดลองมาตั้งแต่ยุคโบราณ จากบุคคลต่าง ๆ ไม่ใช่เฉพาะชาวอังกฤษ ความรู้ที่สะสมกันมาเรื่อย ๆ เป็นผลทำให้เกิดคิดค้นเครื่องจักรกลใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ในที่สุดเมื่อเวลาและสภาพแวดล้อมเหมาะสม อันได้แก่การมีตลาดขนาดใหญ่พอ มีการออมและการลงทุนขนาดใหญ่โดยผ่านการใช้จ่ายเงินตราและสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนอื่น ๆ เช่นสินเชื่อ นอกจากนั้นนักประวัติศาสตร์สมัยใหม่ยังเห็นว่าการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้นไม่มีจุดยุติลงอย่างแท้จริง เพราะหลักการพื้นฐานของการปฏิวัติอุตสาหกรรมคือการค้นคว้าเพื่อผลิตสินค้าโดยใช้เครื่องจักรนั้น ยังคงเป็นหลักการสำคัญในการทำการผลิตทางอุตสาหกรรมมาจนถึงปัจจุบัน

ในด้านผลของการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้น นักประวัติศาสตร์สมัยใหม่ยังได้พบว่า การปฏิวัติอุตสาหกรรมมิได้มีแต่ผลเสียต่อแรงงาน เพราะแม้ว่าสภาพการทำงานในโรงงาน อุตสาหกรรมสมัยแรก ๆ ส่วนมากจะเลวร้าย แต่โดยทั่วไปแล้วสภาพก็ยังไม่เลวไปกว่าเมื่อ สมัยที่คนงานทำงานในระบบจ่ายงาน (putting-out system) หรือแม้แต่สมัยที่คนงาน เป็นแรงงานในการทำการเกษตร นอกจากนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมยังนำไปสู่การสูงขึ้นใน ค่าจ้างที่แท้จริง (real wage) ซึ่งก็คืออำนาจซื้อของเงินค่าจ้างนั้นของคนงานด้วย

สิ่งที่นักประวัติศาสตร์สมัยใหม่เน้นอีกประการหนึ่งก็คือ ในเขตนอกจากอังกฤษ นั้น สภาพแวดล้อมก็เหมาะสมที่จะนำเอาเครื่องจักรไปใช้ในการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่นกัน และในไม่ช้า เขตเหล่านี้ก็ได้ดำเนินรอยตามอังกฤษ โดยใช้กรณีของอังกฤษเป็นตัวอย่าง ทำให้สามารถพัฒนากระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมขึ้นได้อย่างกว้างขวางออกไปอีก

2. ปัจจัยที่นำไปสู่การปฏิวัติอุตสาหกรรม

จากแนวคิดใหม่เกี่ยวกับการปฏิวัติอุตสาหกรรมข้างต้นนี้ ทำให้วิเคราะห์ต่อไป ได้ว่านอกจากการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องจักรสมัยใหม่แล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกมากมายร่วมกัน ที่ทำให้เกิดกระบวนการปฏิวัติอุตสาหกรรมขึ้น ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

- (1) ความปรารถนาในความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุ
- (2) การสะสมทุนเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวาง
- (3) อุปสงค์ต่อสินค้าและบริการที่เพิ่มมากขึ้น
- (4) แรงงานที่ปรารถนาจะทำงานเพื่อแลกกับค่าจ้างและสามารถปรับตัวเข้ากับ

การผลิตแบบใหม่ได้มีเป็นจำนวนมาก

- (5) วัตถุดิบมีเพียงพอที่จะรวบรวมได้ง่ายสำหรับการผลิตขนาดใหญ่
- (6) วิธีการขนส่งที่ปรับปรุงขึ้นทำให้การขนส่งวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปไปสู่ตลาด

อันกว้างขวางและห่างไกลทำได้สะดวก

2.1 ความปรารถนาที่จะมีความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุ

การที่คนปรารถนาที่จะมีความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุ นั้น อาจกล่าวได้ว่าเริ่มจากการที่เกิดกลุ่มผู้มั่งคั่งกลุ่มใหม่(ที่ไม่ใช่กษัตริย์, ขุนนาง, พระ) ขึ้นตั้งแต่ปลายยุคกลาง นั่นก็คือพวกที่อาศัยอยู่ในเมืองซึ่งเรียกกันว่าพวกชน"ชั้นกลาง"(bourgeois ซึ่งมาจากคำว่าbourgs ซึ่งแปลว่าเมือง) คนเหล่านี้มีความมั่งคั่งและได้รับเกียรติในสังคมและมีบทบาททางการเมืองเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากอำนาจทางเศรษฐกิจของเขา ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกอยากจะมี ความมั่งคั่งและเกียรติเช่นนั้นบ้างเพราะเป็นสิ่งที่ไม่อยู่นอกเหนือความสามารถ(ต่างกับสมัยระบบศักดินาซึ่งคนแทบจะไม่อาจเลื่อนชั้นทางสังคมได้เลย) นอกจากนั้นปรากฏว่านักปรัชญาสำคัญในยุคนั้น โดยเฉพาะในฝรั่งเศส เช่นวอลแตร์, จาง จาร์ค รูสโซ ซึ่งมาจากชนชั้นกลางก็ยกย่องการปรับปรุงให้เกิดความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุ ทั้งนี้โดยอ้างถึงว่ามีกฎแห่งสังคมประการหนึ่งว่าในการที่มนุษย์จะได้ประสบความสำเร็จในชีวิตนั้น เขาต้องมีความมั่งคั่งซึ่งเขาสะสมได้และใช้ได้โดยไม่ต้องไปผูกมัดกับชนบประเพณีหรือกฎที่มนุษย์สร้างขึ้น

ทัศนคติของการมีความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุ นั้น ได้เป็นที่ยอมรับมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังเห็นได้จากความพยายามที่จะลบล้างกฎหมายและชนบประเพณีที่ห้ามไม่ให้บุคคลบางพวกเข้าทำการค้าที่ได้กำไรงาม ดังนั้นในไม่ช้าขุนนางก็สามารถหลุดพ้นจากกฎที่ห้ามพวกเขาเข้าทำอุตสาหกรรมหรือการค้าบางชนิด(เดิมนั้นถ้าทำจะต้องสูญเสียตำแหน่งและยศไป) ช่างฝีมือก็หาทางเข้าทำลายการผูกขาดของผู้อื่นลงซึ่งนำไปสู่ความอ่อนแอของสมาคมช่างฝีมือ ส่วนผู้ประกอบการทั้งหลายก็พยายามทำการค้าขายในตลาดที่ขยายออกไปเพื่อที่จะเพิ่มรายได้ ซึ่งหมายถึงว่าพวกเขาต้องการให้รัฐยกเลิกการให้สิทธิพิเศษเฉพาะกลุ่ม และให้รัฐประชาชาติมีการเก็บภาษีศุลกากรเป็นระบบเดียวกัน ไม่ใช่ในแต่ละเมืองต่างคนต่างเก็บ และภายในประเทศเดียวกันเมื่อขนส่งสินค้าผ่านเมืองก็ไม่ต้องเสียภาษีอีก

ความปรารถนาจะมีความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุนี้มีมากขึ้นอีกเนื่องจากกรณีที่คนบางกลุ่มมีความจำเป็นต้องปรับปรุงฐานะของตนเองให้ดีขึ้น กลุ่มที่สำคัญก็อย่างเช่นผู้ที่ต้องอพยพจากชนบทมาอยู่ในเมือง และกลุ่มผู้อพยพไปตั้งถิ่นฐานใหม่ในอาณานิคมโพ้นทะเล เป็นต้น คนเหล่านี้มักมีความปรารถนาแรงกล้าเป็นพิเศษที่จะต้องปรับปรุงฐานะเศรษฐกิจของตนเองขึ้นโดยเร่งด่วน นอกจากนั้นแล้วความปรารถนาที่จะมีความเป็นอยู่ดีขึ้นทางวัตถุนั้น ยังเป็นสิ่งที่เกิดร่วมไปกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจด้วย เพราะเมื่อมีการพัฒนาอุตสาหกรรมทำให้ปริมาณสินค้าที่จะมีให้ได้อีกต่อบุคคลนั้นเพิ่มขึ้น และขณะเดียวกันการที่เศรษฐกิจขยายตัวก็ทำให้บุคคลมีอำนาจซื้อสูงขึ้นและมีความต้องการมากขึ้นด้วย

2.2 การสะสมทุนเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวาง

การสะสมทุนเพื่อการลงทุนที่เพิ่มอย่างกว้างขวางในระยะของการปฏิวัติอุตสาหกรรมนี้ เป็นไปหลายรูปแบบด้วยกัน กรณีหนึ่งนั้นเป็นการที่คนเก็บออมเงินส่วนที่เหลือจากการบริโภคไว้ แล้วนำมาลงทุนเพื่อแสวงกำไรซึ่งจะทำให้เขามีรายได้มากขึ้น และจะมีส่วนเหลือไปลงทุนเพิ่มขึ้นต่อไปอีก กรณีเช่นนี้นั้นเกิดขึ้นโดยทั่วไปในหมู่ผู้ประกอบการซึ่งมีจำนวนมากที่มาจากครอบครัวของชนชั้นกลางระดับต่ำ (lower middle class) เริ่มสร้างตัวจากการเป็นคนงานจนสามารถตั้งกิจการของตนเองได้ด้วยทุนจำนวนหนึ่งซึ่งไม่มากนัก (บางส่วนอาจกู้ยืมมาหรือหาหุ้นส่วนมาร่วมลงทุนได้) หลังจากนั้นก็สร้างกิจการจนเป็นกิจการใหญ่ได้กำไรสูง

อีกกรณีหนึ่งของการสะสมทุนที่เพิ่มอย่างกว้างขวางได้แก่ การที่ธนาคารมีเงินฝากและรายได้จากการให้กู้สะสมอยู่มากจนเป็นแหล่งการสะสมทุนขนาดใหญ่ เช่นในอังกฤษนั้นมีสาขาของธนาคารกระจายครอบคลุมอยู่ทั่วไป และบริหารโดยผู้ที่รู้จักผู้ประกอบการในท้องถิ่นเป็นอย่างดี และปรารถนาจะให้สินเชื่อแก่ผู้ที่เขาเชื่อว่าเป็นนักธุรกิจที่มีความรับ

ผิดชอบและไม่เสี่ยงมาก นายธนาคารอาจช่วยผู้ประกอบการเหล่านี้ได้หลายทาง ซึ่งที่สำคัญก็คือการรับซื้อลดตัวเงิน (พ่อค้าจ่ายตัวเงินเพื่อซื้อสินค้าจากอุตสาหกรรม แล้วอุตสาหกรรมอาจนำมาขึ้นเป็นเงินได้ก่อนครบกำหนดโดยถูกหักลดไปเป็นค่าธรรมเนียม) นอกจากนี้ธนาคารเหล่านี้อาจออกธนบัตรที่มีมูลค่าต่าง ๆ ทำให้มีสื่อกลางการแลกเปลี่ยนที่จำเป็นจำนวนมากซึ่งธนาคารแห่งประเทศไทยไม่ได้ทำขึ้น (เพราะทำแต่ธนบัตรที่มีมูลค่าสูงเท่านั้น)

อีกกรณีหนึ่งของการสะสมทุนที่เพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวางก็คือ ทุนที่ได้จากค่าเช่าที่ดินที่ถูกนำไปลงทุนในกิจการบางประเภทเป็นพิเศษที่มีความเกี่ยวพันใกล้ชิดกับความเป็นเจ้าของที่ดิน เช่นในการทำเหมืองถ่านหินในอังกฤษ นอกจากนั้นก็อาจมีการสะสมทุนในกรณีอื่น ๆ อีก เช่นการสะสมทุนจากผลกำไรการค้า เป็นต้น

เหตุผลที่จูงใจให้ผู้สะสมทุนเหล่านี้นำเงินไปลงทุนเป็นจำนวนมากในกิจการอุตสาหกรรมนั้นเป็นเรื่องซับซ้อนมาก เหตุผลสำคัญนั้นอาจเป็นว่าอัตรากำไรที่สูงและค่อนข้างแน่นอนซึ่งคาดว่าจะได้จากอุตสาหกรรม เพราะการใช้เครื่องจักรใหม่ ๆ จะช่วยลดต้นทุนลงมาก ยิ่งกว่านั้นการที่ราคาสูงขึ้นติดต่อกันเป็นเวลานานนับแต่กลางศตวรรษที่ 18 จนถึงช่วงหลังสงครามโบเลียน ก็ช่วยให้กิจกรรมเศรษฐกิจเฟื่องฟูมากด้วยเพราะกำไรสูง

ไม่ว่าการลงทุนในอุตสาหกรรมจะทำได้ด้วยเหตุผลใด ก็เป็นที่แน่ชัดว่า ในระยะของการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้น ทุนสำหรับการลงทุนมีมากขึ้นเรื่อย ๆ และสามารถได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (ดอกเบี้ย) สูงนักถ้าหากรัฐบาลไม่ทำการกั๊กยืมมากจนอัตราดอกเบี้ยสูงขึ้น

2.3 อุปสงค์ต่อสินค้าและบริการที่เพิ่มขึ้น

สาเหตุที่ทำให้อุปสงค์ต่อสินค้าและบริการเพิ่มขึ้นนั้นมีมากมาย แต่สาเหตุที่สำคัญก็คือการที่ประชากรเพิ่มขึ้นในประเทศยุโรปตะวันตกทุกประเทศ เช่นในฝรั่งเศสประชากร

การเพิ่มขึ้นของอุปสงค์อีกทางหนึ่งนั้นเนื่องมาจากการขยายตลาดออกไปยังโพ้นทะเล ซึ่งทำให้ต่างประเทศมีความต้องการซื้อสินค้าจากยุโรปตะวันตกมากขึ้น ในช่วงจากปี 1700-1800 ปริมาณสินค้าที่ผ่านท่าเรืออังกฤษนั้นเพิ่มขึ้นกว่า 6 เท่า ผลกระทบของการเพิ่มในการค้าต่างประเทศที่มีต่ออุตสาหกรรมนั้นมีสูงยิ่ง อุตสาหกรรมจะเน้นมากขึ้นในการผลิตสินค้าที่มีความต้องการสูง จนต้องใช้เครื่องจักรเข้าช่วยในการผลิต ทั้งนี้โดยจำเป็นต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ และหลังจากผ่านขั้นตอนการผลิตทางอุตสาหกรรมแล้วจึงส่งออกไปขายยังตลาดต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง จากการผลิตในลักษณะนี้เองที่ทำให้ประเทศในยุโรปตะวันตกถูกเรียกว่าเป็น "โรงงานของโลก"

2.4 การมีกำลังแรงงานเป็นจำนวนมาก

ในการพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ร่วมกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเทคนิคทางอุตสาหกรรมขึ้นได้นั้น กำลังแรงงานเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากว่าในการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นต้องมีแรงงานที่ปรารถนาจะทำงานโดยแลกกับค่าจ้าง, มีแรงงานที่สามารถใช้เครื่องจักรใหม่ ๆ ได้ และมีจำนวนมากพอจะสนองความต้องการของนายจ้างด้วย ในเรื่องนี้นักประวัติศาสตร์เศรษฐกิจทั้งหลายมักมีความเห็นว่า อังกฤษนั้นมีความพร้อมในเรื่องนี้มากกว่าประเทศอื่น ทั้งนี้เนื่องจากการที่เกษตรกรที่ถูกบีบให้ต้องออกจากที่ดินทำกินด้วยการกันรั้วนั้นไม่มีทางเลือกอื่นเลยซึ่งพอกจากที่ดินได้อีก จึงต้องยอมทำงานทุกอย่างที่จะหาได้ อย่างไรก็ตามแนวคิดนี้ปัจจุบันได้มีข้อโต้แย้งว่า แม้ขุนนางเจ้าของที่ดินในอังกฤษจะทำการกันรั้ว แต่เกษตรกรจำนวนมากที่ถูกผลักดันออกจากที่ทำกินดั้งเดิมนั้น ไม่ได้เข้าไปสู่เมืองอุตสาหกรรมทันที ส่วนมากจะไปตั้งถิ่นฐานในหมู่บ้านใหม่ใกล้ ๆ และทำงานทำในที่ดินที่กันรั้วของขุนนางนั่นเอง หรือไม่ก็ทำงานรับจ้างซุกคอลลองและทำถนน สรุปได้ว่าแม้จะไม่มี การ

เพิ่มขึ้นจากประมาณ 20 ล้านคนในปี 1700 เป็น 26 ล้านคนในปี 1789 ส่วนในอังกฤษนั้น ประชากรเพิ่มขึ้นจาก 11 ล้านคนในปี 1801 เป็น 16.5 ล้านคนในปี 1831 การเพิ่มขึ้นของประชากรนี้มาจากหลายสาเหตุ แต่ที่สำคัญก็คือการที่อัตราการตายลดลงมาก โรคระบาดไม่ค่อยเกิดขึ้นในครึ่งหลังศตวรรษที่ 18 การบริโภคอาหารมีคุณภาพดีขึ้น และความสนใจในเรื่องอนามัยมากขึ้น เป็นต้น ยิ่งกว่านั้นประชากรยังเพิ่มเพราะอัตราการเกิดสูงขึ้นด้วยหลังจากปี 1750 การเพิ่มขึ้นของประชากรย่อมหมายถึงว่าการบริโภคย่อมเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน ความต้องการสินค้าจึงเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็นสัดส่วนเดียวกับประชากร เช่นในอังกฤษอุปสงค์ต่อสินค้าเพิ่มเป็น 2 เท่าในครึ่งหลังศตวรรษที่ 18 เพราะมีคนมากขึ้น

ผลที่เห็นได้ชัดของการเพิ่มประชากรต่ออุตสาหกรรมนั้น ก็คือผลต่ออุตสาหกรรมทอผ้าและการก่อสร้าง โดยการที่ประชากรเพิ่มย่อมทำให้ความต้องการเสื้อผ้าขยายตัวตามไปด้วย ประกอบกับความนิยมในการใช้ผ้าฝ้ายที่เพิ่มขึ้นมากก็ทำให้อุตสาหกรรมทอผ้าฝ้ายขยายตัวอย่างรวดเร็วเป็นพิเศษ ส่วนในด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้น การที่ประชากรเคลื่อนย้ายเข้าสู่เมือง และการเกิดขึ้นของเมืองใหม่รอบ ๆ เขตโรงงานอุตสาหกรรมและท่าเรือ ทำให้การก่อสร้างที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งการก่อสร้างที่อยู่อาศัยนี้ก่อให้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าซึ่งใช้ในการผลิตอุตสาหกรรมที่สำคัญในการก่อสร้างด้วย การขยายตัวในอุตสาหกรรมเหล็กยังมีมากขึ้นไปอีกเมื่อมีการเร่งสร้างถนนและขุดคลอง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้จำนวนมากนั้นทำด้วยเหล็ก

นอกจากการขยายตัวของอุปสงค์อันเนื่องมาจากการเพิ่มของประชากรแล้ว การเกิดสงครามหลายครั้ง เช่นสงครามแย่งอาณานิคมระหว่างอังกฤษกับฝรั่งเศส ,สงครามกบฏอิสระภาพสหรัฐฯ, สงครามปฏิวัติฝรั่งเศส และสงครามนโปเลียน ทำให้เกิดความจำเป็นต้องเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลในอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งในสงครามทางบกและทางทะเล

กันเร็วและผลักดันเกษตรกรออกจากที่ทำการเกษตร ก็ยังคงมีแรงงานจำนวนมากเพียงพอสำหรับปฏิบัติการปฏิวัติอุตสาหกรรมได้

สาเหตุสำคัญของการมีกำลังแรงงานมาก ตามแนวคิดใหม่ก็คือ การเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างมาก เมื่อมีผู้เข้าสู่กำลังแรงงานมากขึ้นและไม่อาจหางานทำได้พอในชนบท คนเหล่านี้จะค่อย ๆ ทะยอยเข้าสู่เมือง นอกจากนั้นการที่ชีวิตในเมืองที่น่าดึงดูดใจในแง่ที่มีงานและรายได้เป็นเงิน ก็ทำให้คนชนบทจำนวนมากอพยพเข้าเมืองด้วย โดยเฉพาะผู้หญิงและเด็กซึ่งมีรายได้เล็กน้อยมาจากฟาร์มนั้น ถ้าหากเข้ามาทำงานในอุตสาหกรรมจะได้ค่าจ้างเป็นเงินซึ่งน่าดึงดูดใจกว่า และถ้ารวมรายได้ทั้งครอบครัวก็ดูว่าเป็นเงินที่มากที่เดียวสำหรับแรงงานส่วนมากในสมัยนั้น

ค่าจ้างที่แท้จริงสำหรับ แรงงานในอุตสาหกรรมขณะนั้นคาดได้ว่าสูงกว่าค่าจ้างที่แท้จริงในสาขาเกษตรกรรมเล็กน้อย แต่ค่าจ้างนี้ก็ยังคงต่ำอยู่สำหรับนายทุนนักอุตสาหกรรมทั้งหลาย แรงงานก็มีมากพอที่จะสามารถกำหนดให้ทำงานวันละ 14 ชั่วโมงเป็นเวลาสัปดาห์ละ 6 วันได้ โดยไม่ต้องขึ้นค่าจ้าง นอกจากนั้นสภาพแรงงานก็ยังไม่เกิดขึ้น และรัฐก็ยังป้องกันไม่ให้แรงงานรวมกลุ่มกันนัดหยุดงานหรือต่อรองกับนายจ้างได้ด้วยการออกกฎหมายที่เรียกว่า Combination Act (1799-1800) ในอังกฤษ และกฎหมาย Le Chapelier Law (1791) ในฝรั่งเศส ห้ามการตั้งสหภาพแรงงาน(กฎหมายดังกล่าวในอังกฤษยกเลิกเมื่อปี 1825 ส่วนในฝรั่งเศสยกเลิกในปี 1864)

ไม่ต้องสงสัยเลยว่าการมีกำลังแรงงานจำนวนมากมายซึ่งได้รับค่าจ้างมากกว่าที่เคยได้รับในการทำการเกษตรนั้นย่อมส่งเสริมการขยายตัวของอุตสาหกรรมอย่างมาก เพราะทำให้แรงงานเหล่านี้สามารถซื้อสินค้าอุตสาหกรรมที่วางขายในตลาดได้ด้วย ทำให้อุปสงค์ต่อ

สินค้าอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น และนายทุนขยายการลงทุนเพิ่มขึ้นไปอีก

การสลายตัวของระบบศักดินาและระบบแมนเนอร์ทำให้แรงงานในยุโรปตะวันตกมีเสรีภาพในการเคลื่อนย้ายเพื่อแสวงหาความมั่งคั่งได้ตามปรารถนาโดยไม่ต้องผูกพันกับที่ดินเหมือนแต่ก่อน ประกอบกับการที่มีการปรับปรุงด้านการคมนาคมโดยเฉพาะทางน้ำ ทำให้การเดินทางสะดวกขึ้นและต้นทุนต่ำลง นอกจากนั้นการใช้เครื่องจักรกลอย่างเดียวกันอย่างกว้างขวางก็ทำให้แรงงานสามารถทำงานในที่ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้นเพราะวิธีการทำงานคล้ายคลึงกัน ในแง่ของแรงงานนี้อาจกล่าวได้ว่าอังกฤษมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าประเทศยุโรปตะวันตกอื่นในการทำงานด้านอุตสาหกรรมเพราะแรงงานในอังกฤษนั้นมีเสรีในการเข้าทำงานอุตสาหกรรมมากกว่าเนื่องจากในอุตสาหกรรมสำคัญซึ่งเป็นหลักในการปฏิวัติอุตสาหกรรมคืออุตสาหกรรมทอผ้าและการถลุงโลหะนั้น สมาคมช่างฝีมือได้ผ่อนคลายกฎข้อบังคับไปเป็นส่วนใหญ่มานานแล้ว ทำให้แรงงานจำนวนมากสามารถทำงานได้เต็มขีดความสามารถ นอกจากนั้นการจ่ายค่าจ้างเป็นรายชิ้นก็ทำให้แรงงานมีสิ่งจูงใจที่จะปรับปรุงการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้ค่าจ้างมากขึ้น ในขณะที่ประเทศยุโรปตะวันตกส่วนใหญ่ในยุคนั้น สมาคมช่างฝีมือยังมีอำนาจควบคุมจำกัดกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมอยู่มาก ข้อได้เปรียบของอังกฤษอีกประการหนึ่งก็คือ อังกฤษมีแรงงานที่ได้รับการฝึกฝนสำหรับทำงานกับเครื่องจักรค่อนข้างมาก เพราะปรากฏว่าในอังกฤษนั้นการศึกษาขั้นต้นมีการพัฒนาแพร่หลายกว่าประเทศอื่น ความสนใจในการค้นคว้าต่าง ๆ ก็มีมากกว่า นอกจากนั้นการประดิษฐ์และการใช้เครื่องจักรกลก็มีกว้างขวางกว่า ทำให้โอกาสฝึกฝนที่จะทำงานกับเครื่องนั้นมีมากกว่าด้วย ดังนั้นจึงปรากฏว่าอังกฤษมีปริมาณแรงงานที่มีความสามารถทางเทคนิคจำนวนมากเพียงพอสำหรับการปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี อังกฤษในขณะนั้นรู้ดีถึงความได้เปรียบในแง่ความรู้ความชำนาญของแรงงานนี้ จึงพยายามที่จะป้องกันไม่ให้ประเทศอื่นแย่งชิงความได้เปรียบไป ด้วยการออกกฎหมายในปี 1782 ห้ามไม่

ให้แรงงานฝีมือออกนอกประเทศ และถ้าออกไปจะต้องกลับมาภายใน 6 เดือน มิฉะนั้นจะถูกถอนสัญชาติและยึดทรัพย์สินทั้งหมด (กฎหมายนี้ก็จะยกเลิกไปก็เป็นในปี 1843) แม้กระนั้นก็ตาม หลายประเทศก็สามารถนำช่างเทคนิคจากอังกฤษไปปรับปรุงอุตสาหกรรมของตนได้ด้วย การให้สิ่งจูงใจอย่างมาก เช่นฝรั่งเศสซึ่งรัฐบาลจ่ายเงินอุดหนุนจำนวนมากแก่ผู้ที่นำช่างเทคนิคจากอังกฤษเข้ามาและสร้างเครื่องจักรทอผ้าขึ้นทำการผลิตได้ เป็นต้น

2.5 การมีวัตถุดิบและแหล่งพลังงานเพียงพอ

การมีวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมมากเพียงพอ นั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมขึ้นได้ ซึ่งในแง่การมีวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมนั้น อังกฤษมีข้อได้เปรียบมากเป็นพิเศษเพราะมีเกาะที่เลี้ยงเพื่อเอาขนสำหรับอุตสาหกรรมทอผ้าขนสัตว์อยู่ในประเทศเองเป็นจำนวนมาก ทำให้ผ้าขนสัตว์เป็นสินค้าออกสำคัญของอังกฤษติดต่อกันมาเป็นเวลานาน นอกจากขนสัตว์แล้วอังกฤษก็ยังสามารถได้ฝ้ายดิบจำนวนมากมาจากการเข้ายึดครองอินเดียอันเป็นแหล่งผลิต และจากการนำฝ้ายไปปลูกในอาณานิคมในอเมริกา

วัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอีกอย่างหนึ่งที่อังกฤษมีอยู่มากก็คือถ่านหิน โดยเฉพาะในระยะแรก ๆ เหมือนถ่านหินอยู่ใกล้ทะเลทำให้สามารถขนส่งไปยังเมืองท่าต่าง ๆ ได้สะดวกและต้นทุนต่ำ สามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้แพร่หลายยิ่งกว่าประเทศตะวันตกอื่น ๆ นอกจากนั้นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมอีกอย่างหนึ่งคือเหล็กนั้น แม้อังกฤษจะไม่ได้มีมากกว่าประเทศยุโรปอื่น แต่ก็มี การนำไปใช้มากที่สุดในปลายศตวรรษที่ 18 และมีการพัฒนาเทคนิคในการผลิตเหล็กไปมากที่สุดด้วย โดยเฉพาะเมื่อแหล่งแร่เหล็กอยู่ใกล้กับแหล่งถ่านหิน ทำให้การถลุงเหล็กทำได้สะดวก นอกจากนั้นอังกฤษยังสามารถสั่งซื้อเหล็กแท่งจากสวีเดนมาทางทะเลบอลติกด้วยค่าขนส่งที่ต่ำ มายังชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของเกาะอังกฤษซึ่งมีแหล่งถ่านหินสำหรับใช้แปรรูปเหล็กอย่างมากด้วย ทำให้อังกฤษมีผลิตภัณฑ์จากเหล็กเป็นจำนวนมากและ

ราคาถูกยิ่งกว่าแต่ก่อน

นอกจากการมีถ่านหินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญสำหรับเครื่องจักร (ไอน้ำ) ในระยะหลัง ๆ อยู่มาากแล้ว ในระยะแรกเริ่มพัฒนาอุตสาหกรรมซึ่งยังไม่มีการใช้เครื่องจักรไอน้ำหรือมีใช้น้อยนั้น การมีแหล่งพลังงานสำหรับขับเคลื่อนเครื่องจักรกลตามธรรมชาติก็มีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเป็นอันมาก แหล่งพลังงานเหล่านี้ได้แก่ พลังจากน้ำ ซึ่งมีหลายท้องที่ในอังกฤษที่มีภูมิประเทศเป็นเนินเขาที่มีแม่น้ำไหลผ่าน ทำให้สามารถใช้พลังจากน้ำที่ไหลลงจากที่สูงมาขับเคลื่อนเครื่องจักรกลได้

2.6 การคมนาคมขนส่ง

ในแง่การคมนาคมขนส่งนั้น อังกฤษมีข้อได้เปรียบประเทศอื่นมากทั้งการขนส่งภายในประเทศและการขนส่งระหว่างประเทศ โดยการขนส่งระหว่างประเทศซึ่งเป็นการขนส่งทางเรือข้ามมหาสมุทร เป็นสำคัญนั้น อังกฤษมีกองเรือใหญ่ที่สุดในบรรดาประเทศยุโรปตะวันตกทั้งหลาย ทำให้อังกฤษมีข้อได้เปรียบอย่างยิ่งทั้งในแง่การขนส่งสินค้าไปขายและการนำทรัพยากรจากเขาคอื่นมาใช้

ส่วนในแง่การขนส่งภายในประเทศนั้น อังกฤษนับเป็นประเทศแรกที่ทำให้ความสนใจในการปรับปรุงระบบการขนส่งทางน้ำภายใน ด้วยการปรับปรุงให้แม่น้ำสายต่าง ๆ ใช้ในการเดินเรือได้สะดวก และมีการขุดคลองสำคัญขึ้นเสริมเส้นทางน้ำธรรมชาติด้วย เช่น ในปี 1761 มีการขุดคลองจากเหมืองถ่านหินของ Duke of Bridgewater มาถึง Manchester ซึ่งเป็นเมืองอุตสาหกรรมสำคัญ และการขุดคลอง The Grand Trunk Canal เชื่อมตอนกลางกับตอนเหนือของอังกฤษและเปิดทางสู่ทะเล ซึ่งทั้ง 2 งานนี้ผู้บุกเบิกที่สำคัญก็คือ James Brindley และเป็นการชักนำให้มีการขุดคลองขึ้นมากมายในอังกฤษจนมีระบบการขนส่งทางน้ำภายในประเทศที่ดีที่สุดในเวลานั้น ส่วนในฝรั่งเศสช่วงศตวรรษที่ 18 ยัง

มีการซุกคองค่อนข้างน้อยเพราะว่ารัฐบาลมีปัญหาทางการเงินอย่างรุนแรงจนไม่อาจดำเนินการอะไรได้ ส่วนบริษัทเอกชนก็ไม่ค่อยสนใจเนื่องจากต้องลงทุนสูง และยังมีระบบการเก็บภาษีภายในและค่าผ่านทางชักขวางการขนส่งภายในประเทศด้วย ส่วนในเขตอื่น ๆ เช่นเยอรมันแม้จะมีแม่น้ำหลายสายทอดยาวเข้าไปในประเทศ แต่ไม่มีทางต่อเชื่อมกันเป็นระบบ และระบบภาษีภายในและค่าผ่านทางก็เป็นอุปสรรคต่อการขนส่งเช่นเดียวกับในฝรั่งเศส

แม้ว่าการขนส่งของที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะทำโดยทางน้ำได้ต้นทุนต่ำกว่าทางบก แต่การขนส่งทางบกก็ยังจำเป็นสำหรับบางเขต ไม่ว่าจะเป็นการนำวัตถุดิบไปทำการผลิตหรือการนำสินค้าสำเร็จรูปไปยังผู้บริโภค ดังนั้นถนนที่ดีจึงจำเป็นสำหรับความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมด้วย เพราะแม้แต่ถนนเลว ๆ รถที่ใช้ม้าลากก็สามารถบรรทุกได้มากกว่าการบรรทุกบนหลังม้าถึง 5 เท่า และถ้าเป็นถนนที่ดีก็จะสามารถบรรทุกได้มากกว่าบนถนนที่เลวถึง 2-3 เท่า

ในเรื่องการขนส่งทางถนนนี้ อังกฤษก็มีความได้เปรียบเช่นกัน เพราะมีการเร่งสร้างถนนขึ้นขนานใหญ่ในศตวรรษที่ 18 ได้มีการทดลองสร้างถนนแบบที่ต้นทุนต่ำกว่าการปูด้วยก้อนหินแบบถนนโรมันขึ้นในหลายที่ ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการสร้างถนนแบบใหม่ที่ต้นทุนต่ำและคุณภาพดี^{๕๕} คือ Thomas Telford และ John McAdam ซึ่งสร้างถนนด้วยการวางรากฐานด้วยหินก้อนใหญ่ก้อน แล้วชั้นต่อมาก็เป็นหินขนาดเล็กลง และผิวถนนจะเป็นกรวดหรือบางครั้งก็อาจเป็นดิน ลักษณะถนนจะลาดลงด้านข้างซึ่งมีร่องระบายน้ำเพื่อให้หน้าไม่ขัง และระบายออกไปจากถนนได้ดี ถนนแบบนี้สามารถทนทานต่อรถหนัก ๆ และการมีรถวิ่งไปมามาก ๆ ได้ ปรากฏว่าได้มีบริษัทที่สร้างถนนเพื่อเก็บเงินค่าผ่านทางตามแบบข้างต้นขึ้นหากำไรอย่างกว้างขวางในอังกฤษ ส่วนในประเทศยุโรปตะวันตกอื่น ๆ นั้นการตื่นตัวในการสร้างถนนแบบใหม่ในช่วงศตวรรษที่ 18 มีน้อยกว่าในอังกฤษมาก เพราะมีถนนโรมันแบบเก่าอยู่แล้ว และ

ส่วนใหญ่ใช้วิธีซ่อมและปรับปรุงถนนเก่าเท่านั้น การปรับปรุงถนนในประเทศเหล่านี้จึงไม่ได้มีก่อนล่วงหน้าเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการปฏิวัติอุตสาหกรรม หากแต่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกับการพัฒนาอุตสาหกรรมนั่นเอง

3. การนำเครื่องจักรกลมาใช้ในอุตสาหกรรม

ในระยะแรกของการปฏิวัติอุตสาหกรรม การประดิษฐ์คิดค้นที่ก้าวหน้าไปมากที่สุดนั้น เกิดในอุตสาหกรรมทอผ้า, อุตสาหกรรมเหล็ก และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกลสร้างพลังงาน(ในระยะแรกนี้คือเครื่องจักรไอน้ำ) ความต้องการผลผลิตเหล่านี้มีสูงมาก และการผลิตอุตสาหกรรมดังกล่าวมีโอกาสได้ผลตอบแทนสูงมากสำหรับผู้ประกอบการที่มีประสิทธิภาพ ยิ่งกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเหล่านี้ยังมีผลให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อไปด้วย เช่นในอุตสาหกรรมทอผ้า นั้น การพัฒนาการผลิตแบบใหม่เป็นการแสดงให้เห็นชัดถึงผลที่ได้จากการแบ่งงานกันทำ, การทำการผลิตในระบบโรงงาน และการผลิตสินค้าที่มีมาตรฐานเดียวกันเพื่อขายยังตลาดห่างไกล ส่วนในด้านอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการผลิตเหล็กนั้น การปรับปรุงในกรรมวิธีการผลิตและผลที่ทำให้ราคาผลิตภัณฑ์เหล็กต่ำลงทำให้มีวัสดุที่จำเป็นสำหรับการสร้างเครื่องจักรที่ทนทานต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น และในด้านอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรสร้างพลังงานก็มีการผลิตโดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ตามธรรมชาติเป็นจำนวนมาก(ในขณะนั้นคือถ่านหิน) เป็นสิ่งให้พลังงาน ซึ่งไปช่วยในการเดินเครื่องจักรการผลิตที่ติดตั้งอยู่ในโรงงาน และขณะเดียวกันก็ช่วยในการขับเคลื่อนในด้านการคมนาคมขนส่ง(โดยเฉพาะรถไฟ) ทำให้มีวิธีการขนส่งที่ปลอดภัยและสะดวกขึ้นแต่ต้นทุนต่ำลง และยังมีมากเพียงพอขึ้นด้วย

3.1 อุตสาหกรรมทอผ้า

การนำเครื่องจักรมาใช้ในอุตสาหกรรมในระยะเริ่มแรกอย่างกว้างขวางที่สุดนั้นเป็นในอุตสาหกรรมทอผ้าโดยเฉพาะในการทอผ้าฝ้าย จนเป็นเหตุให้เมื่อมีการศึกษาถึง

การปฏิวัติอุตสาหกรรมแล้ว ก็มักจะเริ่มที่อุตสาหกรรมนี้ก่อนเสมอ

สาเหตุสำคัญที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญขึ้นในอุตสาหกรรมทอผ้าก่อนอุตสาหกรรมอื่นในศตวรรษที่ 18 นั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นเนื่องจาก

(1) เทคนิคการทอผ้าให้พัฒนามามากจนถึงจุดที่มีการปรับปรุงอีกเพียงเล็กน้อยในเรื่องการปั่นด้ายและการทอผ้าก็จะสามารถนำเอาเครื่องจักรที่ใช้พลังไอน้ำมาดำเนินการได้แล้ว

(2) การที่มีคนจำนวนมากคุ้นเคยกับเทคนิคการทอผ้าที่เป็นอยู่ขณะนั้น เนื่องจากการดำเนินการปั่นด้ายและทอผ้าที่แพร่หลายอย่างกว้างขวาง ทำให้ความพยายามที่จะแก้ปัญหาพื้นฐานของอุตสาหกรรมทอผ้าที่มีมาจากคนหลายกลุ่มมากมายที่พยายามใช้ความชำนาญในการประดิษฐ์คิดค้นให้เป็นผลสำเร็จ

(3) ผ้าเป็นสินค้าที่มีอุปสงค์มากเพราะทุกคนต้องใช้ โดยที่คนบางกลุ่มไม่สามารถผลิตได้เองเนื่องจากไม่มีเวลา เช่นคนที่อยู่ในเมืองใหญ่ ๆ เป็นต้น

(4) การทอผ้าเป็นสาขาการผลิตที่ค่อนข้างมีเสรีในการใช้เทคนิคใหม่ ๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพราะในด้านการทอผ้าขนสัตว์โดยระบบจ่ายงาน (putting-out system) นั้น ไม่ต้องอยู่ใต้ข้อกำหนดของสมาคมช่างฝีมือ และในด้านอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้ายก็เป็นอุตสาหกรรมใหม่ทำให้ไม่มีสมาคมช่างฝีมือเข้าผูกขาดด้วย

(5) เนื่องจากแรงงานในระบบจ่ายงานได้รับค่าจ้างเป็นรายชิ้น พวกเขาจึงมีสิ่งจูงใจที่จะรับวิธีการผลิตใหม่ที่มีประสิทธิภาพ

ในอุตสาหกรรมทอผ้านั้น ข้อจำกัดสำคัญในการผลิตอยู่ที่การปั่นด้ายและการทอผ้า เพราะกระบวนการอย่างอื่นใช้เวลาไม่มากนัก การปั่นด้ายและทอผ้าเป็นกระบวนการที่เสียเวลามากและน่าเบื่อหน่าย ในช่วงก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้นผู้ประกอบการจะใช้ระ-

บบจ่ายงานไปให้แรงงานที่อยู่ตามบ้าน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเด็กและผู้หญิงทำ โดยนำวัตถุดิบและเครื่องมือไปให้ และจ่ายค่าตอบแทนเป็นรายชิ้นของผลงาน

การปรับปรุงวิธีการผลิตในการปั่นด้ายและทอผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตนั้น เกิดขึ้นก่อนในด้านทอผ้า โดยที่ John Kay ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์ "กระสวยบิน" (flying shuttle) ขึ้นในปี 1733 ทำให้การทอผ้าทำได้เร็วมากขึ้น แม้ว่าจะมีการต่อต้านโดยช่างทอผ้าที่เกรงว่าจะต้องตกงาน แต่กระสวยบินก็เป็นที่ยอมรับอย่างรวดเร็วในอังกฤษ จนกระทั่งการปั่นด้ายไม่อาจทำได้ทัน แต่เดิมนั้นอังกฤษมีสัดส่วนช่างปั่นด้าย 4 คนผลิตด้ายให้ช่างทอผ้า 1 คนพอดี ดังนั้นถ้าจะใช้วิธีใหม่ในการทอผ้าให้ได้ ก็จะต้องเพิ่มจำนวนช่างปั่นด้ายหรือปรับปรุงเทคนิคในการปั่นด้ายขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้มีความพยายามที่จะประดิษฐ์เครื่องช่วยให้การปั่นด้ายมีประสิทธิภาพขึ้นจากหลายแนวทางด้วยกัน การประดิษฐ์ที่สำคัญนั้นเป็นโดย James Hargresves ซึ่งประดิษฐ์เครื่องปั่นด้ายที่ชื่อว่า " Spinning Jenny " ขึ้นในปี 1770 ปรากฏว่าประสบผลสำเร็จได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง จากการที่ผู้ประดิษฐ์เครื่องปั่นด้ายและทอผ้าที่มีประสิทธิภาพขึ้นนี้เอง ทำให้นักประดิษฐ์ในยุคนั้นเริ่มมองเห็นว่ามีทางที่จะนำเอาพลังงานจากเครื่องจักรกลมาเดินเครื่องปั่นด้ายและทอผ้าแทนการใช้แรงงานคนในกระบวนการผลิตที่ซ้ำซากและน่าเบื่อหน่ายนี้ ก้าวสำคัญที่สุดในการนำเครื่องจักรกลมาใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้าก็คือการที่ Richard Arkwright สร้าง " Water Frame " ขึ้นในปี 1769 เป็นการนำเครื่องจักรไปเดินเครื่องปั่นด้าย และหลังจากนั้นก็มีการประดิษฐ์คิดค้นอื่นๆ อีกมากมายที่ทำให้เกิดการพัฒนาในเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมทอผ้าอย่างรวดเร็ว เช่น Samuel Crompton ประดิษฐ์เครื่องที่เรียกว่า " Mule " ซึ่งทำให้สามารถผลิตเส้นด้ายที่ดีมากสำหรับการทอผ้าขึ้นในราวปี 1782 และ Edmund Cartwright ประดิษฐ์เครื่องจักรทอผ้าที่เรียกว่า " Power Loom " ขึ้นในปี 1785 ซึ่งเป็นเครื่องที่ทอผ้าได้โดยอัตโนมัติจากพลังงานของเครื่องจักรกล และในปี 1803 ก็มีการประดิษฐ์เครื่องทอผ้าที่ทำด้วยโลหะ

ขึ้น ทำให้มีการนำเอาเครื่องจักรไอน้ำมาใช้ในกระบวนการทอผ้าเป็นครั้งแรกในปีนั้น

ในการที่กรรมวิธีการทอผ้ามีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นนี้ เป็นเหตุให้ความต้องการฝ้ายเป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อุปสรรคสำคัญนั้นอยู่ที่การ แยกเมล็ดฝ้ายออกจากปุยฝ้ายซึ่งเป็นงานที่เสียเวลามาก คน ๆ หนึ่งสามารถแยกเมล็ดฝ้าย ออกจากฝ้ายได้เพียงประมาณ 1-6 ปอนด์ต่อวันเท่านั้น ได้มีการพยายามคิดเครื่องมือที่จะแยก เมล็ดฝ้ายขึ้นมาอยู่หลายแบบ แต่ที่สำคัญและประสบผลสำเร็จสูงสุดก็คือ เครื่องที่เรียกว่า cotton gin ที่ประดิษฐ์โดย Eli Whitney ชาวอเมริกันในปี 1793 ซึ่งสามารถแยกเมล็ด ฝ้ายได้ถึง 50 ปอนด์ต่อวันโดยใช้คนคุมเครื่อง 3 คน และสามารถใช้กับฝ้ายได้ทุกประเภท ของเส้นใย

การประดิษฐ์คิดค้นต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้อาจสรุปลักษณะของอุตสาหกรรมทอผ้า ในต้นศตวรรษที่ 19 ได้ว่า

- (ก) ค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องจักรเหล่านี้สูงมาก ซึ่งทำให้เครื่องมือการผลิตต้อง เป็นของฝ่ายผู้ลงทุนเป็นสำคัญ(มิใช่เป็นของแรงงาน) อันเป็นลักษณะสำคัญของระบบทุนนิยม
- (ข) เครื่องจักรมีน้ำหนักมาก ทำให้จำเป็นต้องติดตั้งไว้ในสถานที่ซึ่งมีการสร้าง ไร่โดยเฉพาะ การผลิตจำเป็นต้องทำในอาคารนั้นเป็นสำคัญ ซึ่งทำให้เกิดการผลิตในระบบโรงงาน
- (ค) การที่เครื่องจักรเหล่านี้ใช้พลังงานในการเดินเครื่อง(ตอนแรกเป็นพลังจาก น้ำ ต่อมาเป็นพลังไอน้ำ) ทำให้การที่จะทำการผลิตให้ประหยัดนั้นจะต้องใช้เครื่องจักรพร้อม กันหลายเครื่อง

(ง) การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานมีความสำคัญที่จะต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น อยู่บนเนินเขาเพื่อใช้พลังน้ำตกเดินเครื่องจักร หรือใกล้แหล่งถ่านหินในกรณีที่เป็นเครื่องจักร ไอน้ำ หรือไม้ก็จะต้องอยู่ ณ ที่ซึ่งวัตถุดิบสามารถนำมาได้สะดวก เช่นอยู่ริมแม่น้ำสำคัญ และใกล้ เมืองท่าที่จะขนส่งฝ้ายจากโพ้นทะเลมาได้ง่าย

อังกฤษเป็นประเทศที่กลายเป็นศูนย์กลางการผลิตผ้าฝ้ายที่สำคัญที่สุดของโลก เพราะเป็นผู้นำในการใช้เทคนิคใหม่ ๆ ที่กล่าวข้างต้น ในต้นศตวรรษที่ 19 ปรากฏว่าการส่งออกผ้าฝ้ายของอังกฤษมีมูลค่ามากกว่าสินค้าออกอื่น ๆ ทุกชนิด และในปี 1841 คนงานในอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้ายก็มีมากกว่าในอุตสาหกรรมโลหะต่าง ๆ ถึงเกือบ 2 เท่า การที่อังกฤษได้รับประโยชน์มากมายจากความก้าวหน้าในเทคนิคการผลิตผ้าฝ้ายนี้ ทำให้ชาติอื่น ๆ ในยุโรปตะวันตกสนใจที่จะทำตาม บางประเทศโดยเฉพาะฝรั่งเศสได้ส่งสายลับเข้ามาเพื่อเรียนรู้เทคนิคใหม่ ๆ เหล่านี้ และให้เงินอุดหนุนแก่นักอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรแบบใหม่หรือสามารถจ้างแรงงานชาวอังกฤษได้ นอกจากนี้นักอุตสาหกรรมทอผ้าประเภทอื่นเมื่อได้เห็นผลสำเร็จของการใช้เครื่องจักรในการทอผ้าฝ้าย ก็สนใจที่จะลดต้นทุนโดยใช้เครื่องจักรเช่นกัน ในราวปี 1773 ก็มีการนำเครื่องปั่นด้ายแบบ Spinning Jenny ไปใช้ในการปั่นเส้นด้ายจากขนสัตว์ และเครื่องทอผ้าแบบ Power Loom ก็มีการใช้ทอผ้าขนสัตว์ในครั้งแรกของศตวรรษที่ 19 เป็นต้น ส่วนในด้านการทอผ้าใหม่ก็มีการใช้เครื่องจักรทอผ้าแบบไม่ใช้แรงคนในราวปี 1844 โดยเฉพาะในฝรั่งเศส เป็นต้น

3.2 อุตสาหกรรมการถลุงเหล็กและการผลิตเครื่องจักรจากเหล็ก

เมื่อการใช้เทคนิคใหม่ ๆ ในอุตสาหกรรมทอผ้าได้กระตุ้นให้นักธุรกิจเห็นประโยชน์ของการใช้เครื่องจักรในการผลิตทางอุตสาหกรรม และในการใช้พลังงานมาเดินเครื่องจักร ตลอดจนการผลิตในระบบโรงงาน สิ่งที่ต้องมีการพัฒนาอีกเพื่อให้เรื่องดังกล่าวมาข้างต้นเป็นไปได้อีกคือ ในเรื่องการผลิตแร่เหล็กเพื่อขจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป, ในการผลิตเหล็กกล้า และในการเปลี่ยนเหล็กและเหล็กกล้าเหล่านี้ให้เป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการผลิตทางอุตสาหกรรมแผนใหม่

ในด้านการขจัดสิ่งไม่บริสุทธิ์ออกจากแร่เหล็กนั้น โดยทั่วไปโรงถลุงแร่มักพยายามตั้งอยู่ใกล้แหล่งเชื้อเพลิง เนื่องจากเชื้อเพลิงกินเนื้อที่มากในการขนส่งทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสูง ไม่ค่อยคุ้มค่าในการขนส่งไกล ๆ และการถลุงแร่เหล็กเพียง 1 ตันต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนหลายตัน ดังนั้นก่อนศตวรรษที่ 19 ซึ่งการถลุงแร่ยังใช้ไม้ฟืนและถ่านไม้ โรงถลุงแร่จึงมักตั้งอยู่ใกล้ป่าไม้ ทรายจนเมื่อป่าไม้ในพื้นที่นั้นร่อยหรอลง ก็จะย้ายสถานที่ตั้งโรงงานใหม่ไปยังแหล่งที่มีเชื้อเพลิงชนิดนี้อุดมสมบูรณ์ ซึ่งการเคลื่อนย้ายแต่ละครั้งเสียค่าใช้จ่ายเป็นอันมาก และในปลายศตวรรษที่ 18 ก็ยังปรากฏว่าแทบจะหาสถานที่ซึ่งมีป่าไม้สำหรับทำถ่านไม้ใช้ถลุงแร่มากพอไม่ได้เลย จึงเห็นได้ชัดว่าจำเป็นต้องหาเชื้อเพลิงอย่างอื่นมาแทน มิฉะนั้นการถลุงแร่เหล็กจะต้องหยุดชะงักทันที

ความจริงได้มีการพยายามทดลองใช้เชื้อเพลิงอื่นแทนไม้อยู่ตลอดมาในศตวรรษที่ 17 โดยที่เชื้อเพลิงสำคัญที่นำมาทดลองเสมอคือถ่านหิน แต่ปรากฏว่าผลการทดลองใช้ถ่านหินในการถลุงเหล็กนั้นไม่น่าพอใจ เนื่องจากไม่ให้ความร้อนพอและการมีกำมะถันปนอยู่มาก ทำให้มีตำหนิมากเวลาทำเป็นเหล็กหล่อ นอกจากนั้นถ้าจะเอาไปทำเป็นเหล็กที่ใช้ทำเป็นรูปต่าง ๆ ด้วยการตี (wrought iron) ก็ทำไม่ได้เพราะจะเปราะเกินไป ดังนั้นสิ่งที่ต้องการก็คือถ่านหินบริสุทธิ์ที่จะให้ความร้อนได้สูงขึ้นและไม่ทำให้เหล็กมีสิ่งเจือปน

ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการเอาชนะปัญหาการนำถ่านหินไปใช้ถลุงเหล็กก็คือ Abraham Darby ซึ่งเป็นคนแรก(ประมาณปี 1709)ที่นำถ่านหินไปเผาเพื่อไล่แก๊สและสิ่งเจือปนออกเสียก่อนจนเป็นถ่านที่เรียกว่าโค้ก (coke) และต่อมาก็มีผู้ประดิษฐ์เครื่องเป่าลมให้ความร้อนในเตาถลุงสูงขึ้นอีกมากด้วย อย่างไรก็ตามการนำโค้กไปใช้นี้ไม่ได้แพร่หลายไปอย่างรวดเร็วเพราะถ่านหินมีหลายชนิด ซึ่งบางชนิดไม่อาจทำเป็นโค้กได้ดี และถ่านโค้กนี้

ยังแตกร่วนง่ายเวลาขนส่ง เป็นผลให้ต้นทุนในการใช้สูงมากเกินไปสำหรับการถลุงแร่รายย่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ในหลายประเทศที่ยังมีป่าไม้ค่อนข้างมากเช่นสหรัฐฯ นั้น การนำเอาถ่านหินไปใช้ในการถลุงเหล็กจึงเป็นไปได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ได้มีการปรับปรุงในด้านต่าง ๆ อีกมากมายเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็ก เช่นมีการใช้ถ่านโค้กในการหล่อเหล็ก เป็นภาชนะต่าง ๆ และแม้แต่ปืนใหญ่ และใช้ในการให้ความร้อนในกระบวนการต่าง ๆ ของการแปรรูปเหล็กด้วยมีชื่อเสียงในขั้นการถลุงเท่านั้น การปรับปรุงที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือการประดิษฐ์ค้อนพลังไอน้ำ (steam hammer) โดย James Watt ในทศวรรษหลังปี 1780 สำหรับตีเหล็กซึ่งตีได้ถึง 150 ครั้ง/นาที และการพัฒนาเครื่องทำเหล็กแผ่นซึ่งทำให้การทำหมอน้ำสำหรับเครื่องจักร, แผ่นเหล็กสำหรับสร้างเรือ และเกราะทำได้ง่ายขึ้น

การใช้ถ่านโค้กอย่างแพร่หลายมีส่วนทำให้อุตสาหกรรมเหล็ก เคลื่อนย้ายไปตั้งอยู่บริเวณใกล้แหล่งถ่านหินมากขึ้น และเนื่องจากอังกฤษมีข้อได้เปรียบตรงที่เป็นผู้ริเริ่มในการปรับปรุงทางเทคนิคก่อน จึงทำให้ขีดความสามารถเหนือกว่าประเทศอื่น ๆ อยู่เป็นเวลานาน เช่นในปี 1865 นั้นกว่าครึ่งหนึ่งของปริมาณการผลิตเหล็กแห่งของโลกต่อปี มาจากอังกฤษ

ส่วนในด้านการผลิตเหล็กกล้าซึ่งเป็นสาขาสำคัญที่สุดสาขาหนึ่งของอุตสาหกรรมเหล็กนั้น อังกฤษก็อยู่ในฐานะเป็นผู้นำเช่นกันเพราะได้มีการพัฒนาด้านเทคนิคเหนือกว่า เทคนิคที่สำคัญในการผลิตเหล็กกล้าเช่นที่ Sir Henry Bessemer ชาวอังกฤษพัฒนาขึ้นในปี 1856 เรียกว่า Bessemer process (กระบวนการเบสซีเมอร์) แต่กระบวนการนี้ยังมีข้อเสียที่ต้องลงทุนมากและค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนั้นเหล็กแห่งที่ทำจากแร่ที่มีฟอสฟอรัสผสมอยู่ก็ยังไม่อาจใช้กับกระบวนการนี้ได้ด้วย การที่แร่เหล็กแบบที่มีฟอสฟอรัสผสมอยู่นั้นมีมากมาย จึงได้

มีการค้นคว้าหาวิธีผลิตเหล็กกล้าแบบอื่นซึ่งประสบผลสำเร็จในปี 1866 โดย Sir William Siemens ชาวอังกฤษและ 2 พี่น้องชาวฝรั่งเศสคือ Emile และ Pierre Martin ร่วมกันคิดกรรมวิธีที่เรียกว่า Siemens-Martin Process ขึ้น ซึ่งแม้จะเป็นวิธีที่ช้ากว่ากระบวนการเบสซีเมอร์มาก แต่ก็มีข้อได้เปรียบที่ใช้กับแร่เหล็กได้ทุกชนิดและให้ผลผลิตออกมาสูงกว่า และที่สำคัญที่สุดนั้นสามารถควบคุมปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ได้ ทำให้สามารถกำหนดความแข็งและเหนียวของเหล็กกล้าได้แน่นอนกว่าแบบเบสซีเมอร์ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการผลิตเหล็กกล้าแบบประสบผลสำเร็จที่สุดจากการคิดค้นของ Sidney Thomas และ P.C.Gilchrist ชาวอังกฤษในปี 1878

นอกจากการพัฒนาในด้านกรรมวิธีการผลิตเหล็กกล้าแล้ว ก็ได้มีการพัฒนาในการปรับปรุงคุณภาพเหล็กกล้าให้ดีขึ้นด้วยการผสมธาตุอื่นเข้าไป เช่นการผสมแมงกานีสทำให้มีความเหนียวมากขึ้น, ทังสเตนทำให้แข็งขึ้น, โครเมียมทำให้ช่วยป้องกันสนิม เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทางเทคนิคเหล่านี้มีผลมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจ เพราะทำให้ราคาเหล็กกล้าลดลงมาก(ในช่วงจากปี 1856-1870 ลดลงถึง 50%) และทำให้มีเหล็กกล้าสำหรับใช้ในงานที่เหล็กธรรมดาไม่เหมาะ ยิ่งกว่านั้นยังทำให้เป็นที่ประจักษ์ว่าถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญยิ่งในการแปรรูปเหล็ก อุตสาหกรรมนี้จึงไม่ต้องพึ่งป่าไม้ที่มีอยู่จำกัดอีกต่อไป เทคนิคใหม่เหล่านี้ทำให้แร่เหล็กถูกนำไปแปรรูปในบริเวณใกล้แหล่งถ่านหินเป็นสำคัญ

ในด้านกรรมวิธีการผลิตเหล็กนั้น สิ่งที่สำคัญต่อการปฏิวัติอุตสาหกรรม(คือการนำเครื่องจักรไปใช้ในการผลิต)ที่สุดก็คือ การปรับปรุงวิธีการแปรรูปเหล็กและเหล็กกล้าให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามปรารถนา ถ้าการแปรรูปนี้ยังคงใช้วิธีดั้งเดิมอยู่ ก็จะไม่สามารถผลิตเครื่องจักรที่แข็งแรงทนทาน และทำหน้าที่ทางการผลิตอุตสาหกรรมได้อย่างเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพ

การที่เหล็กและเหล็กกล้ามีปริมาณมากขึ้น และอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็ต้องการ เครื่องจักรที่ทนทานมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักดันให้มีการปรับปรุงเทคนิคในการผลิตโลหะขึ้น การพัฒนาที่สำคัญเช่น John Wilkinson ในปี 1774 ได้คิดเครื่องคว้านล่ำลึงปืนใหญ่ ซึ่ง นับว่ามีความสำคัญยิ่งเพราะไม่เพียงเป็นการปรับปรุงด้านการผลิตปืนใหญ่และปืนเล็กเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้คว้านกระบอกสูบของ เครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพและเที่ยงตรง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่จะให้ได้ เครื่องจักรไอน้ำที่ทำงานได้ดี นอกจากนี้การผลิตเครื่องรีดเหล็ก แผ่นโดย Henry Cort ในปี 1783 ก็ทำให้แผ่นเหล็กหมอน้ำ (สำหรับเครื่องจักร) ราคาถูกลงมากด้วย เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว การประดิษฐ์คิดค้นต่าง ๆ เกี่ยวกับการผลิตและการแปรรูปเหล็ก นี้ เป็นผลทำให้มีการใช้เหล็กและเหล็กกล้ากว้างขวางมากขึ้น, มีเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น, นอกจากนั้นก็ยังทำให้มีการผลิตชิ้นส่วน เครื่องจักรที่ใช้แทนกันได้และมีมาตรฐานเดียวกันขึ้นอีกด้วย

3.3 อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรสร้างพลังงาน

ในบรรดาการพัฒนาทั้งหลายที่ทำให้เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมขึ้นได้นั้น การประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำนับเป็นการพัฒนาที่เด่นชัดมากที่สุด เครื่องจักรไอน้ำเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ ที่มีการคิดค้นขึ้น และทำให้แหล่งที่ตั้งโรงงานไม่ต้องจำกัดอยู่เพียงบางสถานที่เหมือนการใช้พลังงานธรรมชาติ (เช่นจากกระแสน้ำ, แรงลม) ความจริงแล้วความคิดที่จะใช้ไอน้ำเป็นแรงผลักดันได้มีมาตั้งแต่สมัยโบราณแล้ว แต่การคิดค้นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงนั้นเป็นโดย Thomas Newcomen ชาวอังกฤษเมื่อประมาณปี 1708 ซึ่งเป็นการคิดเครื่องจักรไอน้ำในการสูบน้ำออกจากเหมือง อย่างไรก็ตามเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้เพื่อเดินเครื่องจักรทำการผลิตทางอุตสาหกรรมนั้น เป็นไปตามแนวคิดของ เจมส์ วัตต์

(James Watt) และขอจดทะเบียนสิทธิบัตรในช่วงจากปี 1775-1800 และมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในราวปี 1800 ปรากฏว่ามีเครื่องจักรไอน้ำที่สร้างขึ้นราว 500 เครื่อง โดยส่วนใหญ่ยังใช้ในการสูบน้ำอยู่ แต่ก็มีที่ถูกนำไปใช้ในโรงงานเหล็ก, โรงงานทอผ้า และโรงงานต้มกลั่นสุราด้วย นอกจากนั้นในปี 1807 Robert Fulton ก็นำไปใช้ในการเดินเรือได้สำเร็จ และในปี 1814 Robert Stephenson ก็สร้างหัวรถจักรที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรไอน้ำขึ้นได้ เป็นผลให้การใช้เครื่องจักรไอน้ำได้แพร่หลายออกไปอย่างกว้างขวางมากขึ้นเรื่อย ๆ ในประเทศต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อเรื่อง : รายงานการศึกษาค้นคว้า
 เรื่อง : การพัฒนาเครื่องจักรไอน้ำ
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีที่ : ๒๕๖๓
 โดย : นายสมชาย ใจดี