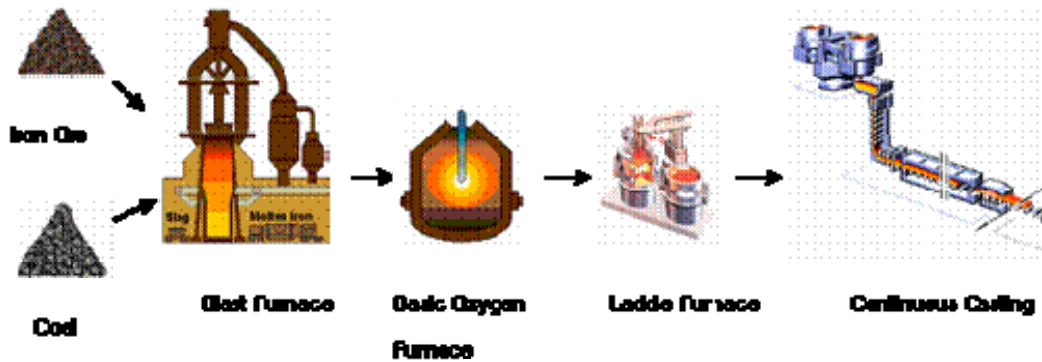


## การใช้พลังงานกับอุตสาหกรรมเหล็ก

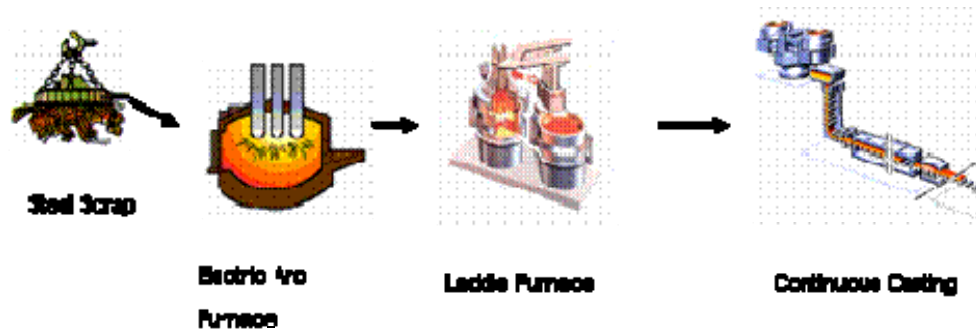
อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่ยังมีปัญหาด้านการแข่งขันกับต่างประเทศ ทั้งนี้เกิดขึ้นจากการขาดวัตถุดิบเบื้องต้น เช่น แร่เหล็ก (Iron Ore) และถ่านหินสำหรับการผลิตถ่านโค้ก (Coal for Coke Making) การขาดการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า (Value added Products) การขาดการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดต้นทุน (Cost Reduced by Process Development) ซึ่งเมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตเหล็ก จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันดังนี้

1. **การผลิตเหล็กจากแร่เหล็ก (BF-BOF Route)** เริ่มกระบวนการผลิตจากการนำแร่เหล็กมาทำการถลุงด้วยเตาถลุงทรงสูง (Blast Furnace) ที่ใช้ถ่านโค้กและถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและใช้ในการเปลี่ยนสภาพจากแร่เหล็กในรูปเหล็กออกไซด์ให้เป็นโลหะหลอมเหลว (Molten Metal) ที่มีคาร์บอนร้อยละ 3.00 - 4.50 โดยน้ำหนัก จากนั้นจะผ่านกระบวนการต่อเนื่องในการลดคาร์บอนโดยใช้ออกซิเจนด้วยกระบวนการ Basic Oxygen Furnace (BOF) ซึ่งจะได้เหล็กกล้าหลอมเหลว (Molten Steel) ที่มีคาร์บอนร้อยละ 0.10 - 0.30 โดยน้ำหนัก แล้วทำการส่งผ่านสู่กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Machine) เพื่อทำการหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป ดังแสดงตามรูปที่ 1



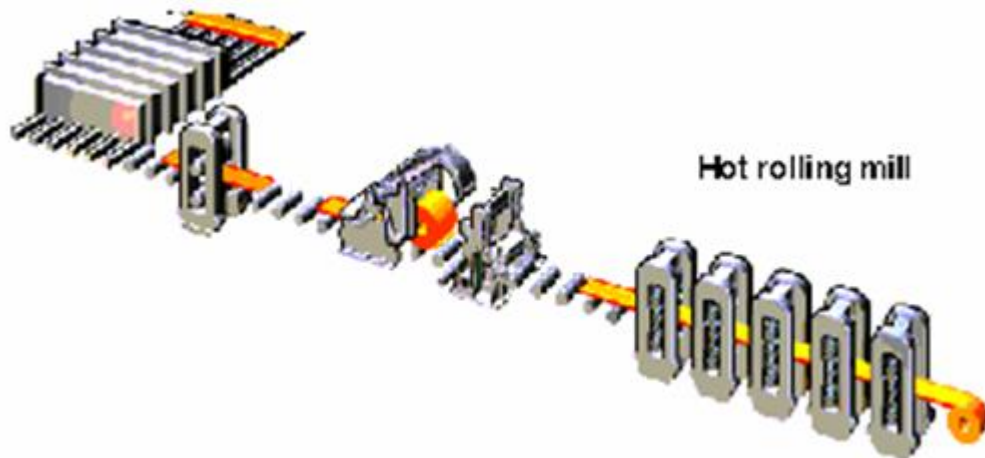
รูปที่ 1 : การผลิตเหล็กจากแร่เหล็ก

2. **การผลิตเหล็กจากเศษเหล็ก (EAF Route)** กระบวนการผลิตเหล็กกล้าทั้งหมดในประเทศไทยเป็นกระบวนการ EAF ทั้งหมด โดยเริ่มจากการนำเศษเหล็ก (Steel Scrap) มาหลอมภายในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) ที่ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก นอกจากนี้ยังมีพลังงานทางเคมีจากการรวมตัวของออกซิเจนกับคาร์บอนและจากการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติ ซึ่งทำให้ได้เหล็กกล้าหลอมเหลว (Molten Steel) และทำการส่งผ่านสู่กระบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Machine) เพื่อทำการหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป ดังแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 : การผลิตเหล็กจากเศษเหล็ก

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปในปริมาณมาก ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกันตามภาคตัดขวางจะใช้กระบวนการรีดร้อน (Hot rolled) โดยทำการอบเหล็กในเตาเผา (Reheating Furnace) ให้เหล็กมีอุณหภูมิประมาณ 1,100 – 1,250 องศาเซลเซียส แล้วทำการรีดลดขนาดของหน้าตัดโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน ทำให้ขนาดของเหล็กลดและเปลี่ยนรูปร่างตามร่องรีด โดยจำนวนแท่นรีดจะเหมาะสมตามความต้องการในการแปรรูป ดังแสดงตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 : กระบวนการรีดเหล็กแผ่น

จากกระบวนการผลิตเหล็กข้างต้น เราสามารถจำแนกต้นทุนการผลิต (Operation Cost) ออกได้เป็นสามส่วนดังนี้

- **วัตถุดิบสำหรับกระบวนการ BF-BOF** มีวัตถุดิบหลัก คือ แร่เหล็กในลักษณะต่างๆ และสารสร้างขี้ตะกรัน (Flux) โดยต้นทุนวัตถุดิบมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 55 ของต้นทุนการผลิต (Operation Coat) ขณะที่กระบวนการผลิต EAF มีวัตถุดิบหลักคือ เศษเหล็กในลักษณะต่างๆ เหล็กถลุง (Pig Iron) และสาร

สร้างที่ตะกั่ว (Flux) โดยต้นทุนวัตถุดิบมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 73 ของต้นทุนการผลิต สำหรับต้นทุนวัตถุดิบในส่วนของโรงรีดร้อนมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 89 ของต้นทุนการผลิต

- **ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost)** สำหรับกระบวนการ BF-BOF จะอยู่ในรูปของ ถ่านโค้ก ถ่านหิน และออกซิเจน ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 25 ของต้นทุนการผลิต ขณะที่กระบวนการ EAF มีต้นทุนพลังงานที่ประมาณร้อยละ 17 ส่วนโรงรีดร้อนมีต้นทุนพลังงานที่ร้อยละ 4.6 ของต้นทุนการผลิต
- **ต้นทุนอื่นๆ** เช่น ต้นทุนวัสดุสิ้นเปลือง ค่าจ้างพนักงาน และอื่นๆ เป็นต้นทุนส่วนที่เหลือจากสองข้อแรก

**ตารางที่ 1 : ประมาณการต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากแต่ละกระบวนการ<sup>[1]</sup>**

กระบวนการ	วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนการผลิต (USD/Ton)	วัตถุดิบ		พลังงาน		อื่นๆ	
				%	USD/Ton	%	USD/Ton	%	USD/Ton
BF-BOF	Iron ore, Flux, Steel Scrap (15% in BOF)	Slab, Billet, Bloom, Ingot, etc	170	55	94	25	43	20	33
EAF	Steel Scrap, Flux	Slab, Billet, Bloom, Ingot, etc	230	70	161	17	39	13	30
Rolling Mill	Slab, Billet, Bloom, Ingot	Hot-rolled Coil, Hot-rolled Bar, etc	260	89	231	5	13	6	16

**หมายเหตุ :** ต้นทุนการผลิตดังกล่าวไม่รวมต้นทุนจากค่าเสื่อมราคาและต้นทุนจากดอกเบี้ย

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าราคาวัตถุดิบเป็นต้นทุนหลักของต้นทุนการผลิตเหล็ก และเป็นต้นทุนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrolled) โดยเป็นไปตามสภาวะความสมดุลของความต้องการ และปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กในโลกหรืออ้างอิงตามตลาดโลก สำหรับต้นทุนในอันดับที่รองลง คือ ต้นทุนพลังงานซึ่งในกระบวนการ EAF ประมาณ 35 – 45 USD/Ton และสำหรับโรงรีดร้อนประมาณ 10 – 15 USD/Ton

การใช้พลังงานในการผลิตเหล็กสำหรับในประเทศไทยแล้ว จะมีข้อตกลงร่วมกันเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (เช่น CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>) ที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น โดยมีการตรวจประเมินการใช้พลังงาน (Energy Audit) ในการผลิตเหล็กหนึ่งตันในแต่ละกระบวนการ (Energy Intensive) เพื่อลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตเหล็ก และเป็นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ลง สำหรับในประเทศไทยมีหน่วยงานในระดับโลกและระดับประเทศหลายหน่วยงานเข้ามาให้การสนับสนุนโรงงานในประเทศไทยเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิต ซึ่งผลตอบแทนโดยตรงกับทางโรงงานที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ มีดังนี้ คือ

- สามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์
- ช่วยเพิ่มผลผลิต ในกรณีอัตราการใช้พลังงานเป็นตัวกำหนดผลผลิต
- ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในโรงงานและบริเวณรอบข้าง

สำหรับอุปสรรคในการพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมาจาก ข้อจำกัดด้านเงินลงทุน ความคุ้มทุน ระยะเวลาที่นาน และความพร้อมในการตรวจประเมินพลังงาน และความเชื่อที่ว่าปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว

การพิจารณาถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต้องทำการแปรค่าของเชื้อเพลิงและพลังงานในรูปแบบให้อยู่ในหน่วยเดียวกันก่อน (ในที่นี้จะใช้หน่วยจูลล์ตาม ตารางที่ 2)

สำหรับหลักการแปลงหน่วยพลังงานจะอ้างอิงตามแหล่งกำเนิดของพลังงาน โดยพลังงานของเชื้อเพลิง คือ พลังงานในตัวของเชื้อเพลิง (Heat Content) รวมกับพลังงานที่ใช้ในการจัดหาพลังงานนั้นๆ เช่น ในกรณีของพลังงานไฟฟ้าถ้าแปลงค่าโดยตรงจะพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้า 1 Kwh เท่ากับ 3.6 MJ แต่เมื่อพิจารณาจากแหล่งกำเนิดโดยให้การผลิตไฟฟ้าผลิตจากเครื่องผลิตไฟฟ้าที่ต้องใช้ถ่านหินเป็นพลังงาน และมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 30 จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้ามีสูงถึง 11.07 MJ (ค่าการแปลงหน่วยตารางที่ 2 อ้างอิงตามรายงาน Energy use in The Steel Industry : An Historical perspective and Future Opportunities September 2000)

การจัดทำข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานซึ่งต่อไปจะเรียกว่าบัญชีพลังงาน (Energy Account) เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการ ตามตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3 ข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามกระบวนการ

**ตารางที่ 2 : การแปลงหน่วยการใช้พลังงานเป็นจูลล์ (Joule)<sup>[2]</sup>**

เชื้อเพลิง	มูลค่า	หน่วย
ถ่านหิน (Coal)	28.99	MJ/Kg
ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)	37.24	MJ/m <sup>3</sup>
ไฟฟ้า (Electricity)	11.07	MJ/kwh
ออกซิเจน (Oxygen)	6.52	MJ/Nm <sup>3</sup>

ตารางที่ 3 : ข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามกระบวนการ<sup>[3]</sup>

กระบวนการ	เชื้อเพลิง (Unit per ton)			
	ไฟฟ้า	ถ่านหิน	ออกซิเจน	ก๊าซธรรมชาติ
	Kwh	Kg	Nm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup>
EAF	392	16	38	9
LHF	40	0	0	0
Continuous casting	34	0	0	0
Auxiliary	100	0	0	0
Reheating Furnace	0.28	0	0	56.5
Rolling Mill	5.5	0	0	0
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>572</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>66</b>

ทำการแปลงพลังงานที่ใช้ให้อยู่ในรูปเดียวกันโดยการคูณกับค่าตาม ตารางที่ 2 บวกรวมเข้าเป็นพลังงานรวมที่ต้องใช้ในแต่ละกระบวนการและต่อการผลิตเหล็กหนึ่งตันตาม จะได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : พลังงานที่ใช้แยกตามกระบวนการและพลังงานในการผลิตเหล็กหนึ่งตัน (Energy Intensive By Process and Total)

Process	เชื้อเพลิง (Unit per ton)								Total (MJ)
	ไฟฟ้า		ถ่านหิน		ออกซิเจน		ก๊าซธรรมชาติ		
	Kwh	MJ	Kg	MJ	Nm <sup>3</sup>	MJ	Nm <sup>3</sup>	MJ	
EAF	392	4,338	16	464	38	248	9	335	5,385
LHF	40	443	0	0	0	0	0	0	443
Concast	34	376	0	0	0	0	0	0	376
Auxiliary	100	1,107	0	0	0	0	0	0	1,107
Reheating Furnace	0	3	0	0	0	0	57	2,104	2,107
Rolling Mill	6	61	0	0	0	0	0	0	61
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>572</b>	<b>6,328</b>	<b>16</b>	<b>464</b>	<b>38</b>	<b>248</b>	<b>66</b>	<b>2,439</b>	<b>9,479</b>

การจัดทำบัญชีพลังงานเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานที่จำเป็น เพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำหรับขั้นตอนต่อไปในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะประกอบด้วยขั้นตอน ได้แก่

1. **การหาค่าอ้างอิง (Bench Mark)** จากโรงงานที่มีความเหมือนกันทั้งด้านเครื่องจักร วัตถุดิบ และพลังงาน แยกตามกระบวนการ เพื่อทำการเปรียบเทียบหาตำแหน่งที่ควรทำการปรับปรุง (Identified Development Projects)
2. **การรวบรวมข้อมูลงานพัฒนาในอดีต (Literature Survey)** เพื่อพิจารณาหากรณีตัวอย่าง และความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการปรับปรุงการใช้พลังงานให้ประสิทธิภาพมากขึ้น
3. **จัดทำงบประมาณโครงการ (Projects Budgets)** รวบรวมข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลทางวิศวกรรม แบบเครื่องจักร ราคาเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายอื่นๆ เพื่อหางบประมาณในการลงทุน
4. **การเปรียบเทียบโครงการ (Projects Evaluate)** ที่ได้จากข้อมูลต่างๆ ที่ได้คำนวณ และรวบรวมขึ้นมา ได้แก่ พลังงานที่ลดลงต่องบประมาณ มูลค่าผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (Cash Flow Net Present Value) หรือร้อยละผลตอบแทนการลงทุนรายปี (Internal Rate of Return) หรือระยะเวลาในการคืนทุน (Payback Period)
5. **จัดทำรายงานความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility Study Report)** จัดทำรายงานความเป็นไปได้ จากข้อมูลข้างต้นเพื่อนำเสนอเพื่อการตัดสินใจ

สำหรับโรงงานที่มีความต้องการในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ให้คำปรึกษา โดยบางหน่วยงานได้รับการสนับสนุนจากทางภาครัฐหรือหน่วยงานระดับโลกทำให้ค่าจ้างในการให้คำปรึกษาไม่สูงนัก รวมทั้งจะมีที่ปรึกษาในระดับโลกที่มีประสบการณ์ในการดำเนินโครงการเข้าร่วมในการประเมิน (Assessment) และให้คำปรึกษาด้วย ทำให้โครงการดังกล่าวมีความเป็นไปได้มากขึ้น ระยะเวลาโครงการลดลง และมีต้นทุนต่ำลง นับว่าเป็นโอกาสที่ดีสำหรับโรงงานที่มีความตื่นตัวในการพัฒนาที่เกิดผลดีทั้งในแง่ต้นทุน ผลผลิต และรักษาสภาวะแวดล้อมไปพร้อมกัน

**หมายเหตุ :** ค่าพลังงานต่างๆ ในบทความนี้อ้างอิง จากค่าเฉลี่ยของการปฏิบัติที่เป็นเลิศ (Best practice) ของผู้ผลิตเหล็กกล้าในสหรัฐอเมริกา ตามการศึกษาของ Office of Industrial Technologies, US Department of Energy

**เรียบเรียงโดย :** นายกิตติพงษ์ อัครดรวิเศษ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

