

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับฟ้าผ่า

บทนี้ จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฟ้าผ่า การศึกษาเรื่องฟ้าผ่า สาเหตุการเกิดฟ้าผ่า ชนิดของฟ้าผ่า กระบวนการเกิดฟ้าผ่าแบบต่างๆ และผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดฟ้าผ่า และยังรวมถึงการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับฟ้าผ่าในอดีต รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบระบบตรวจจับฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1 การศึกษาเรื่องฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่งที่สร้างความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์ก็ได้สังเกต เรียนรู้ และพยายามอธิบายถึงปรากฏการณ์นี้มานานแล้ว ตั้งแต่ยังเป็นเรื่องราวความเชื่อในรูปแบบของนิทาน หรือตำนานที่เกี่ยวข้องกับเทพเจ้า จนกระทั่งสามารถอธิบายได้ในเชิงวิทยาศาสตร์

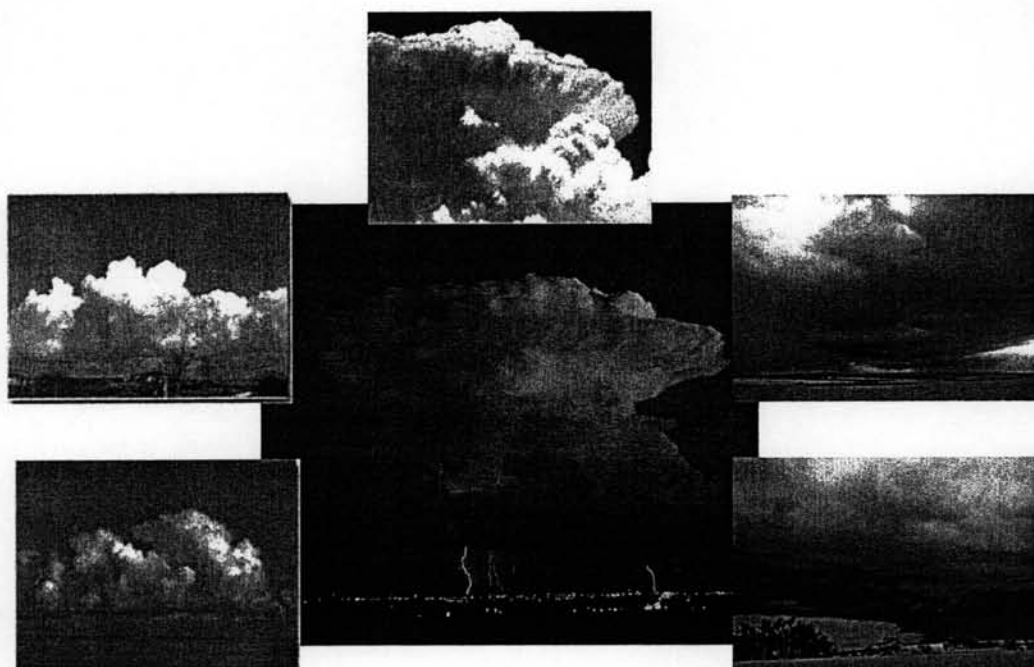
เมื่อประมาณศตวรรษที่ 4 ก่อนคริสตกาล อริสโตเติล นักปราชญ์ชาวกรีกเป็นผู้ที่พยายามให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า แต่การอธิบายนั้นได้มาจากการคาดเดา และประเมินด้วยตนเองเท่านั้น

ในปีค.ศ. 1752 เบนจามิน แฟรงคลิน (Benjamin Franklin) ได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า โดยใช้ว่าวผูกกับกุญแจโลหะแล้วชักขึ้นในขณะที่มีพายุฝน แฟรงคลินได้ให้ข้อสรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่าว่าเกิดจากกระแสไฟฟ้า แต่ในการทดลองนี้ของแฟรงคลินยังมีข้อจำกัดทางเทคโนโลยีอยู่หลายอย่าง จึงต้องให้การสมมติฐานเข้าช่วยในการทดลอง แฟรงคลินนอกจากจะให้ความสนใจศึกษาเรื่องฟ้าผ่าแล้ว แฟรงคลินยังให้ความสำคัญกับวิธีการป้องกันความเสียหายของชีวิตและทรัพย์สินจากฟ้าผ่า ด้วยการริเริ่มติดตั้งสายล่อฟ้าบนหลังคา โดยในยุคนั้นคนส่วนใหญ่จะเรียกว่า Franklin's Rod

ในช่วงปีค.ศ. 1920 ซี.ที.อาร์ วิลสัน (C.T.R. Wilson, 1916, 1920) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้วัดกำลังของสนามไฟฟ้ามาประเมินโครงสร้างของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆและประจุไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทลงดินขณะฟ้าผ่า เป็นการเริ่มต้นการวิจัยฟ้าผ่ามาให้ความรู้เราจนถึงปัจจุบัน และมีการศึกษาวิจัยมากที่สุด มาตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา สาเหตุที่เราทุ่มเทให้ความสนใจเรื่องฟ้าผ่ากันมาก ก็เนื่องจากภัยอันตรายจากฟ้าผ่า ต่อเครื่องบิน และยานอวกาศ รวมทั้งระบบสื่อสารคมนาคม ตลอดจนโรงไฟฟ้าใหญ่ๆทั่วโลก เนื่องด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ จะได้รับผลกระทบมาก โลกของเราที่ต้องพึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มากขึ้นทุกวัน ก็จำเป็นต้องหาทางเข้าใจอันตรายต่างๆอันจะนำไปสู่ผลเสียทางเศรษฐกิจ

2.2 สาเหตุของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเกิดขึ้นเนื่องจากเมฆที่มีประจุไฟฟ้าสูงๆสะสมกันมาก จนสามารถส่งกระแสกระโดดข้ามตัวกลางคืออากาศได้นับเป็นกิโลเมตรก่อให้เกิดฟ้าผ่า เมฆที่ก่อให้เกิดฟ้าผ่ามากที่สุดคือเมฆที่ก่อตัวเป็นเมฆพายุฝน หรือ ที่นักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า Cumulonimbus รูปที่ 2.1 มีลักษณะเป็นเมฆหนาก้อนใหญ่ ก่อตัวสูงมาก บางครั้งยอดเมฆจะแผ่ออกเป็นรูปทั่ง ทำให้เกิดฝนตกหนัก ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง บางครั้งมีลูกเห็บตก จึงมักถูกเรียกว่า เมฆฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm clouds) ฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นได้ในเมฆชนิดอื่นอยู่บ้าง แต่งานวิจัยแทบจะทั้งหมด เน้นศึกษาแต่เมฆเฉพาะกลุ่มนี้ เพราะมันอยู่ใกล้พื้น จึงสังเกตการณ์ได้ง่ายที่สุด และเป็นฟ้าผ่าพวกที่กระทบเรามากที่สุด ด้วย (Uman, 1994)



ภาพจาก Web site [Http://www.google.co.th](http://www.google.co.th)

รูปที่ 2.1 ลักษณะของก้อนเมฆฝนฟ้าคะนอง หรือเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ที่ก่อให้เกิดฟ้าผ่า

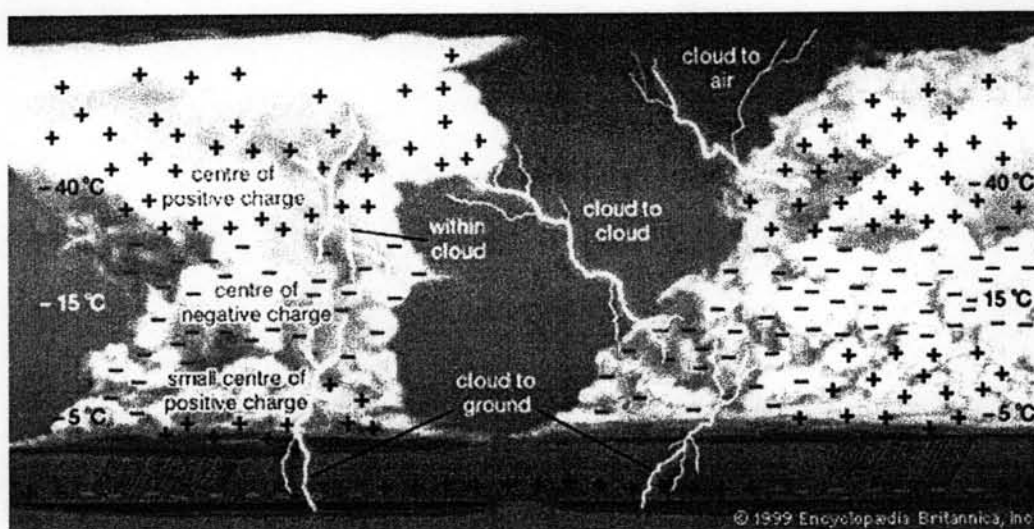
ภายในก้อนเมฆ โดยเฉพาะเมฆฝน จะประกอบไปด้วยละอองน้ำ เกล็ดน้ำแข็ง หยดน้ำ ฯลฯ เป็นจำนวนมาก ซึ่งการเสียดสีกันอยู่ตลอดเวลาของพวกมันทำให้มีประจุไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และประจุเหล่านี้จะเกิดการรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่มก้อนของพลังงาน ที่พร้อมจะวิ่งออกจากก้อนเมฆ เมื่อการสะสมประจุภายในก้อนเมฆฝนเหล่านั้นมีมากขึ้น ประจุไฟฟ้าเหล่านั้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามที่พื้นโลกด้วย จนกระทั่งความเครียดสนามไฟฟ้าที่บริเวณใต้ก้อนเมฆสูงถึงค่าความ

คทอนสนามไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 10 kV/cm ที่สภาวะความดันบรรยากาศต่ำ (สำรวจ สังข์สะอาด , 2538 :355) จะเกิดการดีสชาร์จซึ่งมีลักษณะเป็นช่วงก้าว (Step) ประจุที่อยู่ส่วนหัวของดีสชาร์จที่กำลังกรุยทางอย่างสุ่มๆนี้เรียกว่าหัวนำร่องหรือลีดเดอร์ (Leader) การเคลื่อนที่ของดีสชาร์จจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากอากาศจะเกิดการไอออไนเซชันได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเคลื่อนที่ของหัวนำร่องเป็นการเคลื่อนที่แบบสุ่ม ดังนั้นหัวนำร่องฟ้าผ่าจึงอาจเคลื่อนที่ก้อนเมฆก้อนหนึ่งไปสู่อีกก้อนหนึ่ง (Cloud to cloud) หรือเคลื่อนที่จากก้อนเมฆลงมาสู่พื้นดิน (Cloud to ground) ก็ได้

2.2.1 ลักษณะของฟ้าผ่า (Types of Lightning Discharges)

ลักษณะของฟ้าผ่าจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ

- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในก้อนเมฆ (Intra-cloud discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆ (Cloud-to-cloud discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับอากาศ (Cloud-to-air discharge)
- ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน (Cloud-to-ground discharge)



ภาพจาก Web site [Http://www.google.co.th](http://www.google.co.th)

รูปที่ 2.2 ความแตกต่างของลักษณะของฟ้าผ่าทั้ง 4 ประเภท

แม้ฟ้าผ่าจากก้อนเมฆสู่ก้อนเมฆ จะมีมากกว่าครึ่งของจำนวนฟ้าผ่าทั้งหมด แต่ก็ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์แต่อย่างใด ในขณะที่ฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงดิน ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ความเสียหายให้แก่มนุษย์และทรัพย์สินมากกว่า เพื่อทราบถึงที่มาของผลกระทบและวิธีการ

ป้องกันผลกระทบต่างๆเหล่านั้น เราจึงต้องมีการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับฟ้าผ่าชนิดลงดิน มากกว่าชนิดที่โดดจากก้อนเมฆสู่ก้อนเมฆด้วยกัน

ลักษณะของฟ้าผ่าที่เกิดระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินเราสามารถแยกอธิบายได้ด้วยทิศทางการเคลื่อนที่ของลีดเดอร์และประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ โดยแบ่งออกเป็นสองลักษณะดังนี้

1. ฟ้าผ่าลงกับฟ้าผ่าขึ้น

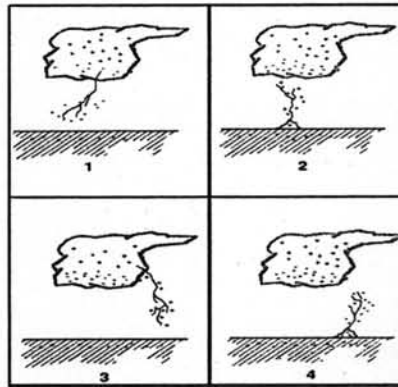
ฟ้าผ่าลง หมายความว่าลีดเดอร์เริ่มขึ้นที่ก้อนเมฆแล้วเคลื่อนที่ลงมาสู่พื้นโลก

ฟ้าผ่าขึ้น หมายความว่าลีดเดอร์เริ่มเคลื่อนที่จากพื้นโลกขึ้นไปสู่ก้อนเมฆ ส่วนใหญ่แล้วจะเกิดจากสิ่งปลูกสร้าง อย่างเช่นเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์ที่สูงกว่า 100 เมตรขึ้นไป มีโอกาสที่จะเริ่มขึ้นจากพื้นโลกขึ้นไปได้เหมือนกัน

2. หัวของกระแสฟ้าผ่า เป็นบวกหรือเป็นลบ โดยฟ้าผ่าลบกับฟ้าผ่าบวกเรียกตามหัวประจุของประจุไฟฟ้าที่หัวนำร่องเคลื่อนที่ลงมาจากก้อนเมฆสู่พื้นโลก ถ้าหัวนำร่องเป็นประจุลบเคลื่อนที่ลงมา เรียกว่าฟ้าผ่าลบ ถ้าหากหัวนำร่องเป็นประจุบวกเคลื่อนที่ลงมา เรียกว่าฟ้าผ่าบวก

จากคุณลักษณะทั้งสองอย่างของการเกิดฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินหรือฟ้าผ่าพื้นโลกจึงสามารถแบ่งลักษณะของการเกิดออกได้เป็น 4 ประเภท (Uman, 1987) คือ

1. ฟ้าผ่าลบจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน
2. ฟ้าผ่าบวกจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ
3. ฟ้าผ่าบวกจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดิน
4. ฟ้าผ่าลบจากพื้นดินขึ้นสู่ก้อนเมฆ

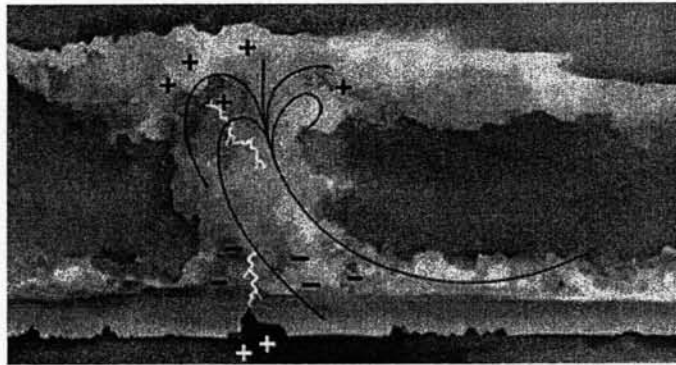


รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน 4ประเภทโดย(Uman, 1987)

1. ประจุลบจากเมฆลงพื้น 2. ประจุบวกจากพื้นไปยังก้อนเมฆ 3. ประจุบวกจากเมฆลงพื้น
- และ 4. ประจุลบจากพื้นขึ้นก้อนเมฆ

2.3 กลไกการเคลื่อนตัวของฟ้าผ่า

แม้จะมีหลายทฤษฎีที่สร้างมาเพื่ออธิบายถึงว่าฟ้าผ่าเกิดขึ้นได้อย่างไร แต่โดยสรุป จากทฤษฎีต่าง ๆ นั้น จะอธิบายถึงประจุอิสระสะสมในก้อนเมฆ ซึ่งเกิดจากการเสียดสีระหว่างกระแสลมของพายุกับละอองไอน้ำ หรือก้อนเมฆที่อยู่ภายในบรรยากาศ ทำให้ละอองน้ำมีประจุเป็นลบและอากาศมีประจุบวก เมื่อกระแสลมพัดขึ้นสู่เบื้องบน อากาศที่ถูกกระแสลมพัดพาขึ้นไปจะทำให้ส่วนบนของก้อนเมฆมีประจุเป็นบวก ส่วนละอองน้ำมีประจุลบนั้นเมื่อถูกพัดพาขึ้นเบื้องบนกระทบกับความเย็นเบื้องสูงจึงกลั่นตัวแล้วจึงเคลื่อนลงสู่ส่วนล่างของก้อนเมฆ ทำให้ส่วนล่างของก้อนเมฆมีประจุเป็นลบ ถ้าเกล็ดน้ำมีน้ำหนักเกินที่อากาศจะพยุงตัวก็ตกลงสู่พื้นโลก การกระจายตัวของประจุบวกและประจุลบในก้อนเมฆ จะมีการเคลื่อนตัวตามกระแสลม(รูปที่ 2.4) ประจุที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ ซึ่งมีทั้งประจุบวกและลบ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างกลุ่มประจุบวกกับประจุลบภายในก้อนเมฆ เมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าสูงชันมากถึงขั้นวิกฤตก็จะทำให้เกิดการดีสชาร์จภายในก้อนเมฆได้ เช่นเดียวกันเมื่อเมฆลอยต่ำฐานเมฆซึ่งมีประจุลบสะสมอยู่หนาแน่นจะผลักริเลคตรอนที่อยู่พื้นผิวโลกบริเวณใต้ก้อนเมฆออกไป ทำให้พื้นผิวโลกใต้ก้อนเมฆนั้นมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก และเมื่อความต่างศักย์ระหว่างพื้นดินและก้อนเมฆสูงชันถึงขั้นวิกฤตก็จะทำให้เกิดการดีสชาร์จระหว่างพื้นดินและก้อนเมฆ กลายเป็นฟ้าผ่าลงดิน

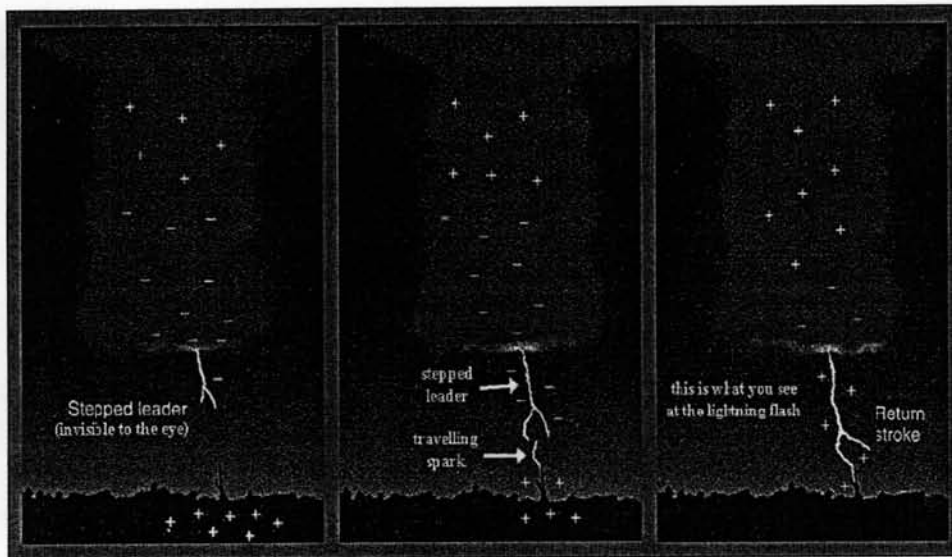


ภาพจาก Web site [Http://www.google.co.th](http://www.google.co.th)

รูปที่ 2.4 การแยกตัวของชั้นประจุบวกและประจุลบบนก้อนเมฆเนื่องจากแรงลม

จากการศึกษาเรื่องฟ้าผ่าด้วยภาพถ่ายและภาพยนตร์ ที่สามารถจับภาพการพัฒนาตัวของฟ้าผ่าได้อย่างละเอียด ช่วยให้เราเข้าใจถึงกลไกการเกิดฟ้าผ่าลงดินได้มากขึ้น เมื่อความต่างศักย์ระหว่างฐานก้อนเมฆและพื้นดินใต้ก้อนเมฆ มีค่าสูงมาก ๆ จนตัวกลางคืออากาศด้านไม่ไหว ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของอากาศที่สภาวะบรรยากาศ มีค่าประมาณ 25 -30 kV /cm

แต่ในก้อนเมฆที่อยู่ระดับสูงเหนือพื้นโลก มีความดันบรรยากาศต่ำ จะมีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตประมาณ 10 kV/cm เมื่ออากาศสูญเสียความเป็นฉนวนก็จะเกิดหัวนำร่องฟ้าผ่าแทรกตัวออกมาจากฐานเมฆ ที่เรียกว่า stepped leader เพราะการเคลื่อนตัวของสายฟ้า จะเป็นช่วงก้าวช่วงละ 50-100 เมตร ด้วยเวลาประมาณ 0.0050 วินาที เท่านั้น และไม่ต่อเนื่องกันแต่มีความเร็วสูงมากจนตาของเราแยกไม่ออก ประจุดีสชาร์จลงสู่พื้นโลกเป็นลำแสงจางนี้เรียกว่า "ลำฟ้าผ่า" (main stroke) และมีกระแสมากมายไหลผ่านตามลำฟ้าผ่านี้ ในช่วงระยะเวลาอันสั้นเรียกว่า "กระแสฟ้าผ่า"

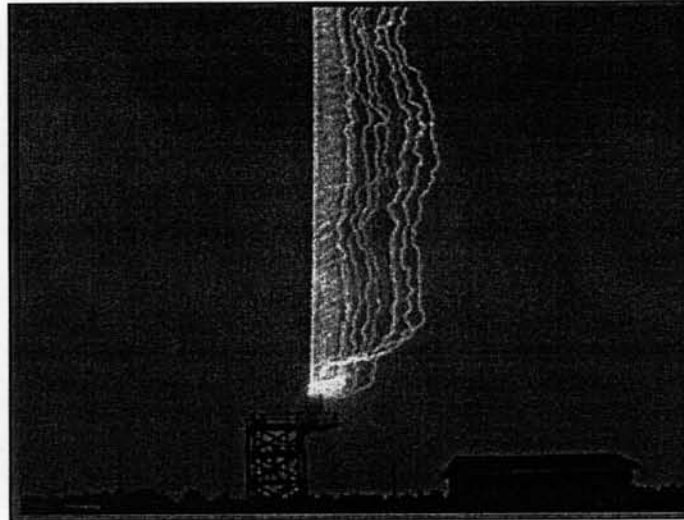


รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเคลื่อนตัวของฟ้าผ่า

สายฟ้านำร่องจะเคลื่อนตัวลงมาทีละขั้น ด้วยการถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้เกิดการแตกตัวอย่างรวดเร็วจนให้อิเล็กตรอนของโมเลกุลอากาศถูกผลักรอกออกไป จึงไม่มีแรงต้านจากอากาศในลำแคบๆรอบๆสายฟ้า เป็นลำกว้างเพียงประมาณสิบล้านเมตร ทำให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนตัวลงมาได้อีกขั้นหนึ่งเป็นอย่างนี้ทีละช่วงๆ ขณะที่สายฟ้าเดินทางลงมาใกล้จะถึงพื้นแล้วนั้น หากมีอาคารสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้สูงๆอยู่ใกล้ๆในบริเวณนั้น โปรตอนที่มีอยู่ภายในสิ่งสูงๆเหล่านั้นบนพื้น ก็จะกระโดดข้ามอากาศเป็นทาง เรียกว่า Streamer เคลื่อนตัวขึ้นไปหาลำกระแสอิเล็กตรอนที่ฐานเมฆที่กำลังพุ่งตัวลงมาเป็นช่วงๆ ในที่สุดลำประจุบวกจากพื้นดิน ก็จะบรรจบกันกับลำประจุลบที่ลงมาจากก้อนเมฆ เมื่อประจุทั้งสองชนิดมาบรรจบกันแล้ว ประจุบวกจำนวนมหาศาลจากพื้นดินก็จะโดดขึ้นไปยังก้อนเมฆ ทำให้เรามองเห็นเป็นลำแสงฟ้าผ่าที่มาจาก

พื้นกลับคืนขึ้นไปยังก้อนเมฆ ที่เรียกว่า return stroke ซึ่งสายฟ้าจะเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 1 ใน 10 ของ ความเร็วแสง คือประมาณ 30,000 กิโลเมตร ต่อวินาที

เมื่อลำฟ้าผ่าครั้งแรกเปิดทางลงมายังพื้นได้แล้ว ทางผ่านคือลำโมเลกุลอากาศที่แตกตัวเป็นไอออน ที่เปิดทางให้สายฟ้าแทรกตัวชั้นอากาศลงมาได้แล้วนั้น ก็ยังคงเปิดตัวอยู่ชั่วขณะหนึ่ง อันวยโอกาสให้ประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ เคลื่อนตัวตามลงมาได้อีก เกิดเป็นฟ้าผ่าซ้อนๆกัน 3-4 ครั้ง ในเวลารวมกันแค่ 0.2 วินาที ที่เรียกว่าฟ้าผ่าซ้ำ (Multi Strokes)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างภาพถ่ายฟ้าผ่าซ้ำ (Multi strokes)

2.4 ผลกระทบของฟ้าผ่า

2.4.1 ผลทางความร้อน (Thermal effects)

หัวนำร่องฟ้าผ่าจะประกอบด้วยแกนกลางที่มีขนาดไม่กว้างมากนัก ล้อมรอบไปด้วยโคโรนากระแสฟ้าผ่าจะมีความหนาแน่นสูงบริเวณแกนกลางนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกลางนี้จะมีความกว้างประมาณ 10 - 20 มิลลิเมตร และมีอุณหภูมิสูงถึง 30000 องศาเซลเซียสหรือมากกว่านั้น อุณหภูมิที่สูงขนาดนี้เกิดขึ้นในช่วง 2-3 ms เท่านั้น (Orville, 1968)

พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W = \int i^2 R dt \quad (2.1)$$

2.4.2 ผลทางกล (Mechanical effects)

ผลทางกลที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าเป็นกลทางไฟฟ้าเนื่องจากกระแสและสนามแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดแรงคงที่ เรียกว่า ไดนามิคฟรอต ผลทางกลที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย คลื่นกระแทก (Shock wave) และแรงบิดที่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า เนื่องจากแกนกลางของหัวนำร่องฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงมาก เป็นผลให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งอยู่ในช่วงซูเปอร์โซนิค (Supersonic range)

ด้วยแรงกลหรือแรงระเบิดนี้ ฟ้าผ่าอาจทำให้เกิดแรงระเบิดได้มหาศาล เป็นผลให้สิ่งที่ถูกผ่าพังทลายได้

2.4.3 ผลทางไฟฟ้า (Electrical effects)

ผลทางไฟฟ้า เป็นเรื่องที่สำคัญในยุคปัจจุบันเวลาเกิดฟ้าผ่ามันจะเกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาบรรจบกับระบบสื่อสารทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์สื่อสาร ระบบคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุม และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ความไวสูงต่างๆ ในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าก็เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ระบบ นอกจากนั้นแล้วยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อาจจะถูกฟ้าผ่าโดยตรงหรืออาจเป็นผลข้างเคียงเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลลงไปในดินทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างเท้าซ้ายเท้าขวา เป็นแรงดันสัมผัสซึ่งเป็นอันตราย

ผลกระทบทางไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่ สภาวะทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสฟ้าผ่า จะทำให้เกิดแรงดันเกินเข้ามาในอาคารหรือในระบบไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้าขัดข้องหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเสียหาย

แรงดันไฟฟ้าเกินที่เข้ามาในอาคารซึ่งเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า ที่เป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการชำรุดนั้น สามารถเข้ามาในอาคารได้ดังนี้

1. ทางสายตัวนำไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่เสิร์จจะใช้เป็นทางผ่านเข้ามาในอาคารมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้นโดยตรง หรือใกล้ในระบบส่งจ่ายหรือจำหน่ายไฟฟ้า ส่งผลทำให้เกิดกระแสเสิร์จขนาดใหญ่วิ่งตามสายตัวนำไฟฟ้าเพื่อหาจุดลงดิน หรือมีเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่ตำแหน่งล่อฟ้าใกล้กับตัวอาคาร ซึ่งผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำระหว่างกระแสฟ้าผ่ากับสายตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดเสิร์จที่สายดังกล่าวขึ้นและผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเนื่องจากได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินได้

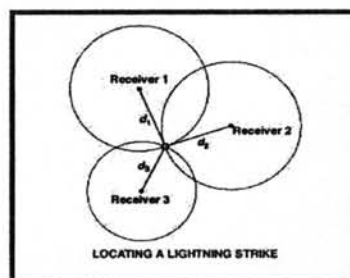
2. ทางสายโทรศัพท์ สายนำสัญญาณและสายสื่อสารข้อมูล เป็นอีกทางหนึ่งที่กระแสเสิร์จเข้ามา โดยเกิดจากการเหนี่ยวนำเข้ามาของกระแสเสิร์จจากเหตุการณ์ฟ้าผ่า เช่นเดียวกับสายตัวนำไฟฟ้า

3. จากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟ้าผ่าเข้าไปเหนี่ยวนำวงรอบ (Loop) ใดๆ ในอาคาร เช่น วงรอบระบบไฟฟ้าหรือระบบสื่อสาร เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในอาคาร

4. จากระบบการต่อลงดิน ในกรณีระบบมีการต่อลงดินหลายจุด เมื่อมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงระบบกราวด์สายดินจุดหนึ่ง อาจก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าของจุดลงดินสูงกว่าอีกจุดหนึ่ง เป็นผลทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นจากระบบดินจุดหนึ่งผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ไปลงดินอีกจุดหนึ่ง เป็นผลทำให้อุปกรณ์ในระบบเกิดการเสียหายได้

2.5 ระบบตรวจจับและบอกตำแหน่งฟ้าผ่าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

ระบบตรวจจับและบอกตำแหน่งการเกิดฟ้าผ่าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่ในระบบการตรวจจับจะใช้วิธีวัดกำลังสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงขณะเกิดฟ้าผ่าเป็นตัวจับสัญญาณ เช่นการวัดค่ากำลังสนามไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีฟ้าผ่าเกิดขึ้น และใช้การวัดคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นตัวเริ่มต้นในการจับเวลา แล้วเปรียบเทียบกับเวลาเมื่อคลื่นเสียงฟ้าผ่าเดินทางมาถึง(หยุดเวลา)นำค่าความแตกต่างของเวลาที่บันทึกได้ มาใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดที่เกิดฟ้าผ่ากับจุดที่ตั้งของเครื่องรับสัญญาณ หลักการนี้ได้มาจากการศึกษาเรื่องการเกิดขึ้นและการเดินทางมาถึงของแสงและเสียงฟ้าผ่า โดยในการบอกตำแหน่งจะต้องใช้เครื่องหรือสถานีอย่างน้อย 3 จุดในการยืนยันตำแหน่ง(Medelius, P.J., 2001) ซึ่งแต่ละสถานีจะตั้งอยู่ห่างกันประมาณ 800 เมตร กระจายอยู่ในพื้นที่ที่เราสนใจในการตรวจจับเก็บข้อมูล แต่ละจุดรับสัญญาณจะประกอบไปด้วยเสารับสัญญาณและไมโครโฟน สำหรับการเกิดฟ้าผ่าแต่ละครั้ง



รูปที่ 2.7 แสดงการหาระยะทางจากแต่ละสถานีเพื่อกำหนดตำแหน่งฟ้าผ่า

โดยระยะทาง d_n หาได้จาก (Ihlefeld, C.M., 2001)

$$d_n = 320(m/s) * t_n \quad (2.2)$$

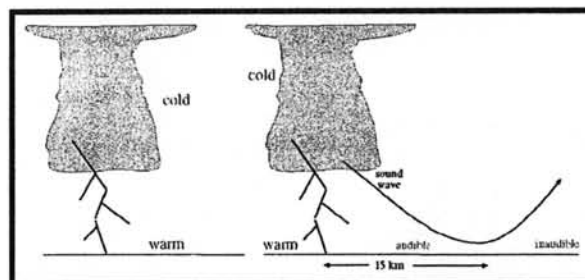
d_n = ระยะทางจากจุดเกิดฟ้าผ่ากับเครื่องรับ

t_n = เวลาที่วัดได้ในแต่ละเครื่องรับ

โดยค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาเนื่องจากความเร็วของเสียงจะอยู่ที่ประมาณ 1 ms ทำให้ค่าการคำนวณระยะทางจะมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.3 เมตร แต่ในการทำงานจริงระบบนี้ยังคงมีปัญหาอยู่นั้นคือเรื่องของคลื่นเสียงฟ้าผ่า

เมื่อเกิดฟ้าผ่า ลมอากาศรอบๆสายฟ้า จะถูกอัดด้วยแรงกดดันมหาศาลจนฉีกตัวออกกลายเป็นพลาสมา การขยายตัวอย่างฉับพลันของพลาสมา ทำให้เกิดช็อกเวฟ ที่เมื่อเดินทางไประยะหนึ่ง จะลดกำลังลงกลายเป็นคลื่นเสียง คลื่นเสียงเดินทางได้ช้ากว่าคลื่นแสงมาก เราจึงเห็นฟ้าผ่าก่อน แล้วจึงจะได้ยินเสียงฟ้าร้อง ความเร็วของคลื่นเสียงของฟ้าร้อง ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางของลมพายุที่เกิดขึ้นในขณะเดียวกัน

โดยทั่วไปแล้ว คลื่นเสียงเดินทางได้เร็วขึ้นในอากาศที่อุ่นกว่า และเดินทางช้าลงเมื่ออากาศหนาวลง และคลื่นเสียง ก็มีการหักเหในดวงกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันเช่นเดียวกับคลื่นเสียง เมื่อเสียงจากฟ้าผ่าเหนือพื้นดินที่มีอากาศหนาวกว่า เดินทางลงมายังพื้นที่อุ่นกว่า ก็จะหักเหเบี่ยงขึ้นไป ทำให้ถ้าเราอยู่ห่างไปไกลๆออกไป ก็กลับจะไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เพราะคลื่นเสียงหักเหย้อนขึ้นไปในอากาศ ระยะทางที่เราจะได้ยินหรือไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้องนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นอย่างมาก ประมาณว่า ถ้าเราอยู่ห่างจากฟ้าผ่าประมาณ 15-25 กิโลเมตร ก็จะได้ยินเสียงฟ้าร้อง แต่อาจจะได้ยินเสียงฟ้าร้องที่สะท้อนกลับจากก้อนเมฆอีกทีหนึ่ง เป็นเสียงดังสะท้อนกลับไปกลับมา ที่ไม่กึกก้องอย่างที่เราได้ยินเสียงที่เดินทางมาหาเราโดยตรง



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการหักเหและการสะท้อนของเสียง

นอกเหนือจากการสะท้อนของเสียงแล้ว ย่านความถี่ของคลื่นเสียงก็เป็นส่วนสำคัญอีกอย่างที่ต้องนำมาพิจารณาในการใช้ในระบบแบบนี้อีกด้วย

การตรวจจับโดยใช้การวัดค่าของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดฟ้าผ่า (ณรงค์ ทองจิม พงศ์ภัทร อะสีติรัตน์ และสำรวย สังข์สะอาด, 2543) ใช้สายอากาศแบบแท่ง และสายอากาศแบบจานกลม วัดค่าเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเริ่มต้น 20 โวลต์/เมตร เป็นค่าเปรียบเทียบในการตรวจจับ ฟ้าผ่ามีค่ารัศมียังผลดังนี้ (Pisler, (nd); Anderson et al., 1979)

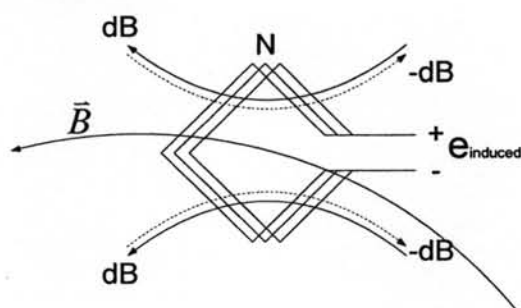
- รัศมียังผลของฟ้าผ่าพื้นโลก (R_g) 20 กิโลเมตร
- รัศมียังผลของฟ้าผ่าก้อนเมฆ (R_c) 3.7 กิโลเมตร

นอกเหนือจากวิธีการตรวจจับที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น ยังมีวิธีการตรวจจับฟ้าผ่าและการหาตำแหน่งฟ้าผ่าด้วยวิธีการอื่นๆอีกหลายวิธี เช่น การใช้โรกอฟสกีคอยล์ คล้องบริเวณเสาสูงๆให้ฟ้าผ่า เพื่อวัดค่ากระแสฟ้าผ่าโดยตรง รวมทั้งการใช้สายอากาศแบบบ่วงตรวจจับสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายเนื่องจากกระแสฟ้าผ่า ร่วมกับระบบบอกพิกัดฟ้าผ่า การใช้วิธีการตรวจจับต่างๆนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของข้อมูล สภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งจะได้นำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานของแต่ละประเทศต่อไป

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อนำขดลวดที่มีขนาดพื้นที่เท่ากับ A ตารางเมตร และจำนวนรอบของขดลวดเท่ากับ N รอบ มาวางในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในขดลวดในทิศทางตามกฎมือขวา และแรงดันที่เกิดขึ้นที่ปลายทั้ง 2 ข้างของขดลวด (Misakian, M., 1993) ก็คือแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากความเข้มสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดตามสมการที่ (2.3)



รูปที่ 2.9 รูปภาพแสดงเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.3)$$

เมื่อ

E คือ แรงดันเหนี่ยวนำ (Induced voltage; Volt: V)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (Number of Turns; Turns: N)

Φ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux; Webers: Wb)

จากสมการที่ 2.3 จะหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง ฟลักซ์แม่เหล็ก สนามแม่เหล็ก และพื้นที่ตั้งฉาก คือ

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density) หรือขนาดของสนามแม่เหล็ก (B) มีค่าเท่ากับ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้ฉาก ฉะนั้น ค่าของขนาดสนามแม่เหล็กเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\vec{B} = \frac{\Phi}{A} \quad (2.4)$$

เมื่อ

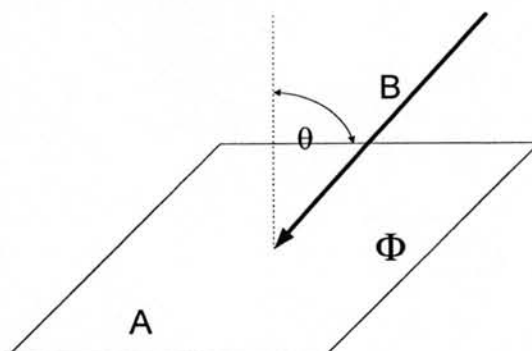
B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density; Tesla: T)

Φ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux; Webers: Wb)

A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (m^2)

จากสมการที่ (2.4) เมื่อ B ตั้งฉากกับ A จะได้

$$\Phi = BA \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.10 รูปแสดงมุมระหว่างความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กกับพื้นที่ตั้งฉาก

แต่ถ้า B ไม่ตั้งฉากกับ A การหาขนาดของฟลักซ์แม่เหล็ก Φ ต้องแตก B ให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับ A ดังรูปที่ 2.10 จะได้

$$\Phi = BA \cos \theta \quad (2.6)$$

เราพบว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก \vec{B} ใน Free space มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity; \vec{H}) ตามสมการ

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (2.7)$$

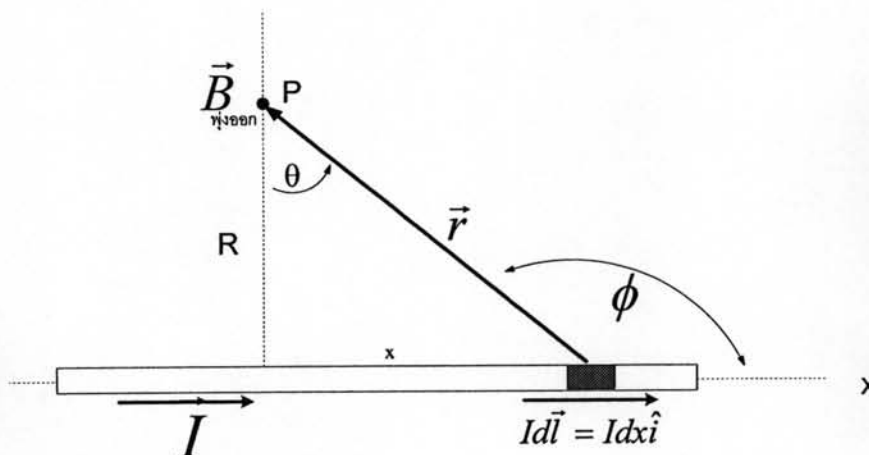
เมื่อ μ_0 คือ ค่าสภาพขั้วซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ (Permeability of free space) มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$

2.6.2 กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต (Biot-Savart's Law)

กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต กล่าวว่า ความเข้มของสนามแม่เหล็กย่อย (Magnetic field intensity; $d\vec{H}$) ซึ่งเกิดจากส่วนย่อยของกระแส ($I d\vec{l}$) หรือส่วนย่อยของแหล่งกำเนิด จะแปรผันตรงกับผลคูณของ $I d\vec{l}$ กับ $\sin \alpha$ และแปรผกผันกับ R^2 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (มงคล ทองสงคราม, พ.ศ.2541)

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{l} \times \hat{a}_R}{4\pi R^2} \quad (2.8)$$

เราจะใช้กฎของบิโอด-ซาวาร์ต ในการหาสนามแม่เหล็ก ณ จุด P เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดยาวตรงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่จุด P เนื่องจากเส้นทางการไหลของกระแส $I d\vec{l}$

เลือกให้ทิศทางที่กระแสไหลตามเส้นลวดชี้ไปในแนวแกน x และให้จุด P เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นลวดในแนวตั้งฉากกับเส้นลวดเป็นระยะทาง R พิจารณาชิ้นกระแส $I d\vec{l}$ ที่ห่างจากจุดกำเนิดไปตามแนวแกน x เป็นระยะทาง x ให้ \vec{r} เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งที่ชี้จากชิ้นกระแสนี้ไปยังจุด P ทิศของสนามแม่เหล็ก ณ จุด P อยู่ในทิศของ $I d\vec{l} \times \vec{r}$ ซึ่งมีทิศพุ่งตั้งฉากออกจากหน้ากระดาษตามกฎมือขวา ดังนั้นสนามแม่เหล็กเนื่องจากชิ้นกระแสในรูปมีขนาดเป็น

$$dB = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2} \sin \phi$$

$$dB = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2} \sin(90^\circ + \theta) \quad (2.9)$$

$$dB = \frac{\mu_0 I dx}{4\pi r^2} \cos \theta$$

โดยที่เราเปลี่ยนไปใช้มุม θ แทนมุม ϕ สังเกตว่าการวัดมุม θ จากแนวแกนตั้งไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาให้เป็นทิศบวก ชิ้นกระแสที่อยู่ทางซ้ายมือของเส้นแนวตั้งที่ผ่านจุด P จะให้มุม θ ที่มีค่าเป็นลบ เพื่อที่จะอินทิเกรตหาสนามแม่เหล็กรวม เราต้องทราบ

ความสัมพันธ์ระหว่าง θ , r และ x เราจะเลือกเปลี่ยนตัวแปรให้เขียนอยู่ในรูปของมุม θ ได้ เป็น

$$x = R \tan \theta, \quad r = R \sec \theta$$

ดังนั้น $dx = R \sec^2 \theta d\theta$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.9)

$$dB = \frac{\mu_0 I R \sec^2 \theta d\theta}{4\pi R^2 \sec^2 \theta} \cos \theta$$

$$dB = \frac{\mu_0 I \cos \theta d\theta}{4\pi R}$$
(2.10)

สนามแม่เหล็กเนื่องจากชิ้นกระแสทั้งหมดหาได้โดยการอินทิเกรตปริมาณข้างบนจาก $\theta = \theta_1$ ไปจนถึง $\theta = \theta_2$

$$B = \int dB$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos \theta d\theta$$
(2.11)

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\sin \theta_2 - \sin \theta_1)$$

กรณีกระแสในเส้นลวดตรงซึ่งมีความยาวกึ่งอนันต์ ค่าของมุม $\theta_1 = -90^\circ$ และมุม $\theta_2 = 0^\circ$ เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.11) จะได้

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$
(2.12)

กรณีกระแสในเส้นลวดตรงยาวอนันต์ ค่าของมุม $\theta_1 = -90^\circ$ และค่าของมุม $\theta_2 = 90^\circ$ เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.11) จะได้

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$
(2.13)