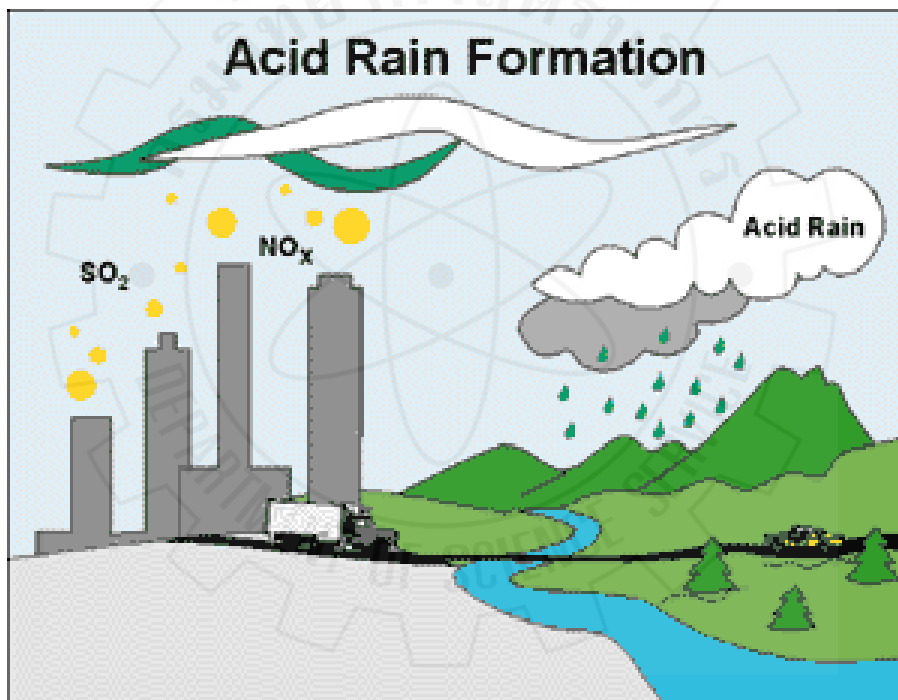


ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

ฝนกรด (Acid rain)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

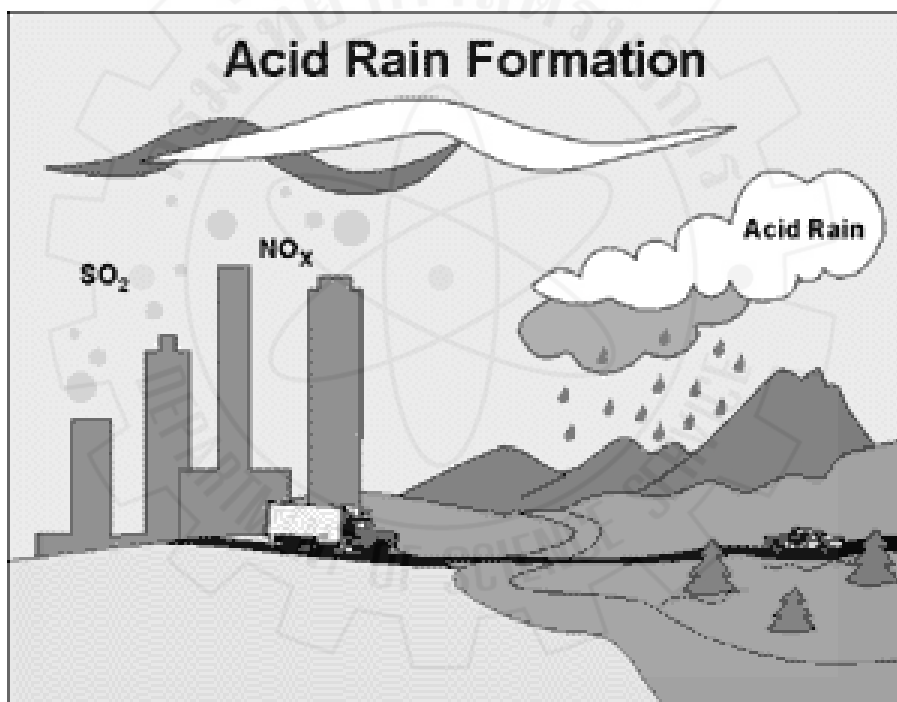
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2553

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

ฝนกรด (Acid rain)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2553

คำนำ

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง “ ฝนกรด (Acid rain) ” ฉบับนี้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดทำขึ้นภายใต้โครงการเครือข่ายห้องสมุด อิเล็กทรอนิกส์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ โครงการย่อยที่ 2 โครงการเพิ่มศักยภาพการเข้าถึง สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบ Digital Library กิจกรรมย่อย 2.5 ประมวลสารสนเทศพร้อม ใช้ (Information Repackaging) ในส่วนของสารความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้นี้ให้ผู้ใช้ได้เข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายและสะดวกพร้อมใช้ เอกสารประมวลพร้อมใช้ฉบับนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับฝนกรดคือ อะไร การเกิดฝนกรด ปัจจัยที่เอื้ออำนวยให้เกิดสภาวะฝนกรด และผลกระทบที่เกิดจากฝนกรด

คณะผู้จัดทำหวังว่า ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ที่สนใจศึกษาค้นคว้า เกี่ยวกับฝนกรด โดยเอกสารฉบับเต็มที่ใช้ในการเรียบเรียงประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ได้รวบรวม จัดเก็บ และให้บริการ ณ บริเวณห้องอ่านชั้น 2

ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2553

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	1
คำสำคัญ	1
บทนำ	2
ฝนกรดคืออะไร	2
การเกิดฝนกรด	4
ปัจจัยที่เอื้ออำนวยให้เกิดสภาวะฝนกรด	6
ผลกระทบที่เกิดจากฝนกรด	6
บทสรุป	10
เอกสารอ้างอิง	12



ฝนกรด (Acid rain)

บทคัดย่อ

ฝนกรด คือ น้ำฝนที่มีความเป็นกรดโดยมีค่าพีเอชต่ำกว่า 5.6 ปรากฏการณ์ฝนกรดถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสแกนดิเนเวียได้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในแหล่งน้ำ คือ ทะเลสาบและสระน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำนั้น สาเหตุการเกิดฝนกรดมาจากธรรมชาติ และกิจกรรมที่มนุษย์ทำขึ้นเอง โดยธรรมชาตินั้นเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำฝนเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกและออกไซด์ของไนโตรเจนทำให้มีอนุภาคของไนเตรตในธรรมชาติ มนุษย์ทำให้เกิดฝนกรดโดยก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น รถยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ปล่อยสารพิษที่มีองค์ประกอบของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซลในอุตสาหกรรมต่างๆ สารมลพิษเหล่านี้จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของไอน้ำในก้อนเมฆและก่อให้เกิดเป็นฝนกรดและเมื่อฝนกรดตกลงมาสู่ดิน ทะเลสาบ แม่น้ำ และมหาสมุทร ฤทธิ์ของกรดที่มีในน้ำฝนนั้นจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ พืช และสัตว์ สิ่งก่อสร้าง และที่สำคัญที่สุดคือ สุขภาพของมนุษย์ ฝนที่เป็นกรดจะทำให้ธาตุโลหะหนักในดิน เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท และธาตุโลหะหนักอื่นๆ ละลายออกมา ทำให้ดินมีแนวโน้มเกิดมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้น และยังทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ รวมทั้งการปรับสภาพน้ำฝนที่ขังหรือซึมลงดินให้เป็นกลางทำได้น้อยลงและก่อให้เกิดการขาดธาตุอาหาร เช่น แคดเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในบริเวณนั้น นอกจากนี้ ฝนกรดยังส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตของสัตว์น้ำและสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ และจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศบนบก โดยเฉพาะบทบาทในการเพิ่มสารอาหารและความอุดมสมบูรณ์ของดิน เมื่อค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไป การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลง ทำให้การย่อยสลายอินทรีย์สารน้อยลง สารอินทรีย์จึงสะสมในระบบนิเวศทำให้ขาดวัฏจักรการนำเอาธาตุอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ สัตว์น้ำขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ตามท้องน้ำมีจำนวนลดลงและพบว่า โลหะหนัก เช่น นิกเกิล ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ปรอท อะลูมิเนียม ฯลฯ จะสะสมในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากฝนกรดทำลายการจับยึดไอออนของโลหะหนักไว้ โดยเฉพาะถ้าระดับอะลูมิเนียมไอออนในน้ำเพิ่มขึ้นจะก่อความระคายเคืองแก่เหงือกของปลา ซึ่งจะทำให้ปลาพยายามสร้างเมือกห่อหุ้มส่วนที่เกิดการระคายเคืองทำให้สภาพของเหงือกทรุดลงและตายไปในที่สุด เมื่อความเป็นพิษของโลหะหนักจากดินและน้ำหลุดออกมาจะไปสะสมในสัตว์น้ำ ในพืช เมื่อประชาชนนำปลาและพืชมาบริโภคก็จะเป็นสาเหตุของโรคและปัญหาทางสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากมีการสะสมของอะลูมิเนียมในอวัยวะภายใน เช่น สมอง เนื้อเยื่อกระดูก และกล้ามเนื้อ จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพคือ ทำให้คนไข้มีอาการหรือภาวะสมองเสื่อมได้

คำสำคัญ : ฝนกรด; ความเป็นกรด; โลหะหนัก; ระบบนิเวศ; ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Keywords : Acid rain; Acidity; Heavy metals; Ecosystem; Sulfur oxides

1. บทนำ

ในปี ค.ศ.1985 นิตยสาร Time Magazine ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับการตายของต้นไม้จำนวนมากในป่าของประเทศเยอรมนีในชื่อบทความ “ The dying Forests –What Is Killing All the Trees? ” บทความนี้เป็นบทความที่สร้างความสนใจให้ชาวโลกและทำให้ตระหนักถึงภัยคุกคามใหม่ที่เกิดขึ้นปรากฏการณ์ต้นไม้ตายในประเทศเยอรมนี เรียกว่า Waldsterben หรือ dying-forest syndrome โดยสาเหตุของปัญหาดังกล่าวเกิดจากผลกระทบของฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรด หรือ ฝนกรด นั่นเอง ซึ่งปรากฏการณ์ฝนกรดถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสแกนดิเนเวียสองประเทศคือ สวีเดนและนอร์เวย์ ได้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในแหล่งน้ำคือ ทะเลสาบและสระน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อปลาที่อาศัยในแหล่งน้ำและพบต้นตอของที่มาของปัญหาว่าเกิดจากมลพิษทางอากาศที่มาจากยุโรปกลางเป็นเวลานานทำให้เกิดการทำลายต้นไม้และแหล่งน้ำทั่วยุโรปและปัญหาของฝนกรดได้ลุกลามไปยังทวีปอเมริกาเหนือและทวีปเอเชีย โดยเฉพาะประเทศ ญี่ปุ่นและจีนในช่วงปี ค.ศ.1980 เป็นต้นมา

2. ฝนกรดคืออะไร

ฝนกรดคืออะไรและมีค่าความเป็นกรดเท่าใดจึงจะจัดว่าเป็นฝนกรด ตามปกติน้ำฝนจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (ค่าพีเอช) ประมาณ 5.6-5.7 เพราะในอากาศมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ ฝนที่ตกลงมาจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซดังกล่าวเป็นกรดคาร์บอนิก ทำให้น้ำฝนมีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย ถ้าน้ำฝนที่ตกลงมามีค่าพีเอชต่ำกว่า 5.6 ก็จะถือว่าเป็นฝนกรด อย่างไรก็ตาม จากรายงานการวิจัยความเป็นกรดของน้ำฝนในบางพื้นที่ พบว่ามีค่าความเป็นกรดต่ำประมาณ 4-5 เท่านั้น ดังนั้นการวินิจฉัยเรื่องฝนกรดจึงมุ่งประเด็นไปที่สิ่งเจือปนในน้ำฝนที่เป็นสาเหตุของความเป็นกรดว่าเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ ภูมิศึกษาดังกล่าว ได้แก่การศึกษาปริมาณสารที่เป็นสาเหตุของความเป็นกรด เช่น ซัลเฟตและไนเตรตในน้ำฝน

ฝนกรด คือ น้ำฝนที่มีความเป็นกรด สาเหตุการเพิ่มความเป็นกรดมาจากธรรมชาติและกิจกรรมที่มนุษย์ทำขึ้น โดยสาเหตุจากธรรมชาตินั้นเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำฝนดังที่กล่าวแล้วข้างต้น เมื่อฝนตกจะเกิดฟ้าแลบ ฟ้าร้อง และฟ้าผ่า ปรากฏการณ์นี้ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน ทำให้มีอนุมูลของไนเตรตในธรรมชาติ นอกจากนี้ กระบวนการสลายตัวของสิ่งมีชีวิตตามวงจรของไนโตรเจน (N-Cycle) ก็มีส่วนทำให้เกิดอนุมูลของไนเตรตได้เช่นกัน เมื่อซากสิ่งมีชีวิตเน่าเปื่อยโดยจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนและไร้ออกซิเจนในบรรยากาศ ทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย จากนั้นก๊าซแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนตริกออกไซด์ ทั้งนี้ Seinfeld (1986) ได้รวบรวมผลงานวิจัยด้านฝนกรดในช่วงปี ค.ศ.1973-1979 และแสดงองค์ประกอบทางเคมีของฝนกรดในทวีปอเมริกาและประเทศสวีเดน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยปริมาณของความเป็นกรดจะแปรตามความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรต (NO_3^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นหลัก

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฝนกรด

Species	Concentration $\mu\text{eq l}^{-1}$		
	Sjoangen, Sweden 1973-1975	Hubbard Brook, New Hampshire, 1973-1974	Pasadena, California, 1978-1979
SO_4^{2-}	69	110	39
NO_3^-	31	50	31
Cl^-	18	12	28
NH_4^+	31	22	21
Na^+	15	6	24
K^+	3	2	2
Ca^{2+}	13	10	7
Mg^{2+}	7	32	7
H^+	52	114	39
pH	4.3	3.94	4.41

ที่มา : Seinfeld (1986)

มนุษย์ทำให้เกิดฝนกรดโดยก่อให้เกิดมลพิษในอากาศ อาทิ รถยนต์ และ โรงงานต่าง ๆ จะปล่อยสารพิษที่มีองค์ประกอบของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสู่อากาศ โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงคือ 1,100 องศาเซลเซียส การเผาไหม้ต่างๆ โดยเฉพาะเชื้อเพลิงจะก่อให้เกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนไม่เท่ากัน เช่น การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมากที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งแหล่งปล่อยก๊าซนี้เป็นแหล่งปล่อยอยู่กับที่ (stationary sources) เช่น โรงงานผลิตไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานถลุงโลหะ สำหรับแหล่งปล่อยเคลื่อนที่ (mobile sources) ได้แก่ ยานพาหนะต่างๆ เช่น รถยนต์ เรือ เครื่องบิน สารพิษทั้งหลายเหล่านี้จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของไอน้ำในก้อนเมฆและก่อให้เกิดเป็นกรด และเมื่อฝนกรดตกลงมา กรดทั้งหมดจะลงสู่ดิน ทะเลสาบ แม่น้ำ และมหาสมุทร นอกจากนั้น ยังทำให้รูปปั้น สะพาน และอาคารมากมายในเมืองใหญ่ๆ ที่ทำด้วยหินปูนและหินปูนทั้งหลายจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีในฝนกรด เกิดการสึกกร่อนและหากถูกฝนกรดเป็นเวลานานหลายปี สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะสึกกร่อนและถูกทำลายลง

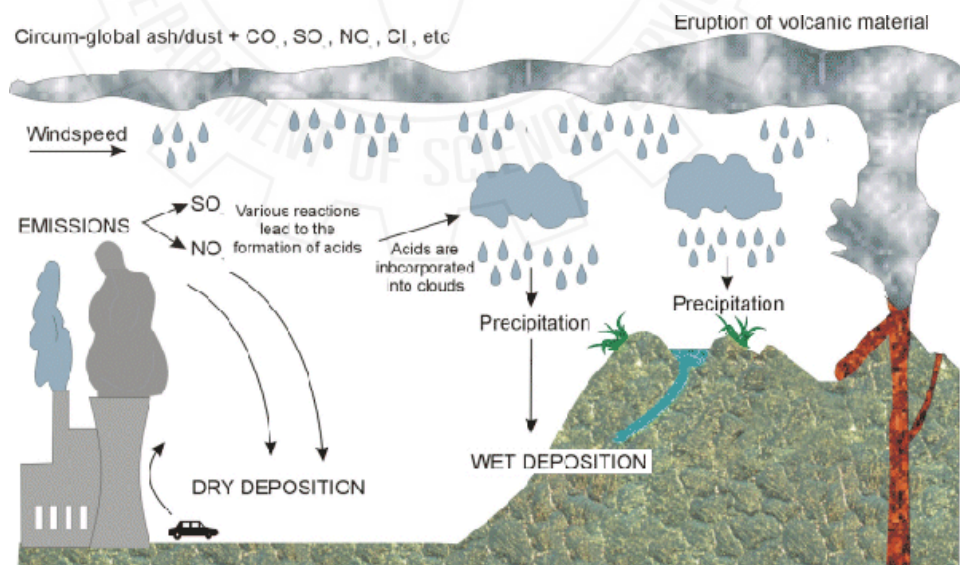
สำหรับแหล่งปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในธรรมชาติเกิดจากกระบวนการทางชีววิทยาเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจนหรือโอโซนในบรรยากาศที่มีฝุ่นละอองเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังมาจาก กระบวนการทางชีววิทยาทั้งในดินและทะเลและแหล่งระเบิดของ

ภูเขาไฟที่ปล่อยผงฝุ่นที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบขึ้นสู่บรรยากาศ แหล่งปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกิจกรรมของมนุษย์มีทั้งแหล่งปล่อยอยู่กับที่และแหล่งปล่อยเคลื่อนที่ โดยแหล่งปล่อยเคลื่อนที่มาจากที่เดียวกับก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน แหล่งปล่อยอยู่กับที่ที่เกิดจากเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล จากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงของหม้อน้ำ อุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเกิดจากประเภทของอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตให้ก๊าซดังกล่าว เช่น โรงงานผลิตกรดซัลฟิวริกและเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานถลุงแร่ตะกั่วหรือทองแดง เนื่องจากในน้ำมันดิบและสินแร่เหล่านี้มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทำให้มีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นส่วนแหล่งปล่อยเคลื่อนที่นั้นเกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในยานพาหนะทั้งรถยนต์ รถบรรทุก เรือยนต์ โดยน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของกำมะถันที่มีอยู่

3. การเกิดฝนกรด

การเกิดฝนกรดโดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ (รูปที่ 1) คือ

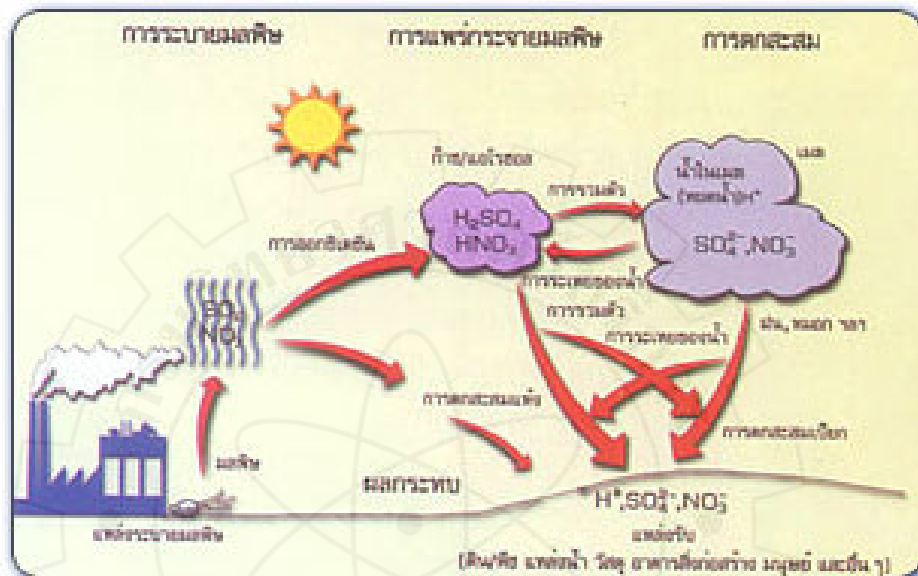
1. Wet precipitation โดย SO_2 / SO_3 หรือ NO_2 ทำปฏิกิริยาและละลายอยู่ในเมฆและน้ำฝนในรูปกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริก
2. Dry deposition ที่สภาพของ SO_2 / SO_3 หรือ NO_3^- / HNO_3^- ตกลงมาจากบรรยากาศอยู่ในสภาพก๊าซหรือเกาะตัวกันเป็นอนุภาคหรือฝุ่นตกลงมา



รูปที่ 1 แหล่งที่มาและการเกิดฝนกรด

(ที่มา: http://resources.schoolscience.co.uk/CEH/acidrain/acidrain1_fig1.html)

กระบวนการเกิดฝนกรด (รูปที่ 2) เป็นการเปลี่ยนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ให้เป็นซัลเฟตไอออนในบรรยากาศขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับตัวเติมออกซิเจนที่ดี (strong oxidizing radical) เมื่อเกิดการปะทะกันในสภาวะก๊าซ (gas-phase collision) ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลของไฮโดรคาร์บอน-ไนโตรเจนในส่วนของปฏิกิริยาไนโตรเจนออกไซด์เป็นกรดไนตริกนั้น ตามปกติต้องผ่านขั้นตอนที่สลับซับซ้อน เมื่อมีการสันดาปที่อุณหภูมิสูงจะเกิดไนตริกออกไซด์ระดับความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมา จากนั้นจึงจะเปลี่ยนเป็นกรดไนตริกหรือสารประกอบไนเตรต



รูปที่ 2 กระบวนการการเกิดฝนกรด

(ที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/air_aciddeposition.html)

การส่งผ่านของสารที่ก่อให้เกิดเป็นฝนกรดมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกันดังนี้

1. Emission → dispersion → dry deposition
2. Emission → chemical trans - formation/dispersion → dry deposition
3. Emission → chemical trans - formation/dispersion → wet deposition

สารเหล่านี้เมื่อถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะสามารถกระจายและตกลงในสภาพแห้ง เมื่อฝนตกลงมาจึงจะทำปฏิกิริยาทำให้น้ำฝนเพิ่มสภาพความเป็นกรด นอกจากนั้นสารเหล่านี้ยังทำปฏิกิริยาในขณะที่อยู่ในบรรยากาศ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างเคมีเมื่ออยู่ในสภาพแห้ง และสภาพเปียกจากนั้นจะตกลงมาสู่สิ่งแวดล้อมในทั้งสองสภาพ

4. ปัจจัยที่เอื้ออำนวยให้เกิดสถานะฝนกรด

4.1 ภูมิอากาศ (climate) เป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยเฉพาะปริมาณและความถี่ในการตกของฝน บริเวณที่มีลักษณะอากาศแห้งจะมีการพัดพาฝุ่นละอองที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง ทำให้มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในบรรยากาศ ส่วนบริเวณที่มีบรรยากาศชื้นเช่นแถบชายทะเล จะมีปริมาณฝุ่นละอองค่อนข้างน้อยในบรรยากาศ แนวโน้มของฝนที่ตกลงมาจะมีฤทธิ์เป็นกรด นอกจากนี้ทิศทางกระแสลมและความเร็วเป็นปัจจัยที่ช่วยในการพัดพาและกระจายมลพิษในบรรยากาศ โดยความชื้นในอากาศและค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ (solar radiation) เป็นปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่จะเปลี่ยนสภาพก๊าซเป็นกรดได้เร็วขึ้น

4.2 ภูมิประเทศ พบว่าบริเวณที่ไวต่อฝนกรดนั้น ได้แก่ บริเวณที่มีชั้นหินที่หนาแข็งและมีระดับผิวดิน (buffering) ที่บาง ทำให้ขาดการปรับสภาพของดิน ความหนาของผิวดินจะช่วยลดปัญหาความเป็นกรดในดินได้ ตำแหน่งของแหล่งน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เช่น ความลึกของแหล่งน้ำ พื้นที่ชายฝั่งของแหล่งน้ำและเวลาในการกักขังน้ำ สิ่งเหล่านี้จะช่วยเพิ่มหรือลดความเป็นกรดของฝนที่มีต่อแหล่งน้ำ

4.3 สิ่งมีชีวิต (biota) โดยเฉพาะพืชบริเวณที่มีฝนตกนั้นมีความสูง ความหนาแน่นของใบต่อดันและการผลัดใบ เนื่องจากเหล่านี้จะช่วยป้องกันและลดปริมาณของน้ำฝนลงสู่พื้นดินได้ส่วนหนึ่งและพืชยังเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความชื้นในบรรยากาศ โดยแสดงออกมาในรูปของการคายน้ำและการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศ ถ้าการระเหยของน้ำมีมากจะทำให้ใบของพืชได้รับผลกระทบจากความเป็นกรดของฝนมากขึ้น

4.4 กิจกรรมของมนุษย์ (human activity) เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดสถานะความเป็นกรดในน้ำฝนมากที่สุดไม่ว่าจะเป็นการใช้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตกระแสไฟฟ้า การพัฒนาทางอุตสาหกรรมทำให้มีปริมาณของก๊าซที่เป็นสาเหตุของฝนกรดและถูกปล่อยสู่บรรยากาศมากขึ้นทุกปี

5. ผลกระทบที่เกิดจากฝนกรด

ฝนกรดสามารถทำลายองค์ประกอบต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมโดยส่งผลกระทบต่อดิน พืช สัตว์ แหล่งน้ำ สิ่งปลูกสร้าง และสุขภาพของมนุษย์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ผลกระทบต่อดิน สภาพของดินในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันจึงทำให้ความสามารถในการปรับสภาพให้เป็นกลางของดินนั้นต่างกันด้วย จึงเป็นการยากที่จะทราบถึงผลกระทบของฝนกรดต่อระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำ การวิเคราะห์ผลกระทบของฝนกรดในดินจึงนิยามวิเคราะห์ลักษณะของดินและความไวต่อการเกิดสภาพกรด (acidification) ความไวของดินในการปรับสภาพเป็นกรดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านที่สำคัญ คือ โครงสร้างของดิน (texture) ค่าการอิ่มตัวของด่าง (base saturation) ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) องค์ประกอบของสารอินทรีย์ (organic matter content) ค่า

ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน ความหนา (thickness) ลักษณะผิวหน้าของดินและปริมาณอัตราของฝนตกในพื้นที่นั้นๆ โดยทั่วไปความไวต่อสภาพกรดของดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ชั้นหินใต้ดินเป็นหินแกรนิตแข็ง (hard granite) หรือชั้นของหินไนส์ (gneiss) ที่จะทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก มีค่าความอิ่มตัวของค่างและค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC)
2. บริเวณนั้นมีปริมาณน้ำฝนตกชุกมากน้อยเพียงใด
3. มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูง และ/หรือ มีความสามารถดูดซับซัลเฟตต่ำ
4. เป็นบริเวณที่มีอัตราการทำลายป่าไม้สูงหรือมีการทำเกษตรมาก

เมื่อดินได้รับน้ำฝนที่มีฤทธิ์เป็นกรดเป็นเวลานานจะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพในการปรับสภาพน้ำฝนที่ซังหรือซึมลงดินให้เป็นกลางได้น้อยลงและก่อให้เกิดการขาดธาตุอาหาร เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าบริเวณนั้น นอกจากนี้ อะลูมิเนียมและโลหะหนักต่างๆ ในดินจะหลุดออกมาสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวจะถูกทำลายโดยฝนที่มีสถานะเป็นกรด

การสะสมของกรดมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินและสภาพแวดล้อมในดินโดยมีผลทำให้ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น ทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิด เช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโพแทสเซียม (K) สูญเสียไป เนื่องจากถูกทำให้เคลื่อนที่ลงไปในดินชั้นล่างที่อยู่รอบนอกของบริเวณรากพืชโดยกระบวนการทางเคมี ซึ่งมีผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง นอกจากนี้ ทำให้ธาตุโลหะหนักในดิน เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และธาตุโลหะหนักอื่นๆ ละลายออกมา ทำให้ดินมีแนวโน้มที่จะเกิดมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้นและมีผลต่อเนื้อที่พืชที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวดูดซับโลหะหนักขึ้นไปสะสมไว้ในต้นและผลผลิต ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ในภายหลัง นอกจากนี้ การสะสมของกรดมีผลกระทบต่อจำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินบางชนิดทำให้การย่อยสลายวัสดุอินทรีย์และวัฏจักรของธาตุอาหารบางชนิดเปลี่ยนแปลงไป การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ในดินจะมีผลต่อวัฏจักรคาร์บอนและวัฏจักรไนโตรเจนทำให้การตรึงไนโตรเจนของสาหร่าย และดินลดลง

การลดลงของค่า pH ในดินที่ได้รับฝนกรดมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและการแลกเปลี่ยนของแคตไอออน (Cation Exchange Capacity, CEC) ดินที่มีความไวต่อฝนกรดจะมีค่า pH ลดลงตามค่า CEC กล่าวคือ ถ้าค่า CEC ต่ำ จะมีความไวต่อฝนกรดมาก ธาตุอาหารในดินจะถูกชะล้างไปทำให้อะลูมิเนียม (Al) ถูกปล่อยออกมาได้อย่างอิสระและเป็นธาตุที่มีความเป็นพิษ เมื่อรากพืชดูดซึมอะลูมิเนียมขึ้นไปแทนที่แคลเซียมและแมกนีเซียมจะมีผลทำให้พืชขาดธาตุอาหารเหล่านี้แล้วตายไปในที่สุด

5.2 ผลกระทบต่อพืช จากงานวิจัยของอเมริกาเหนือและยุโรปเกี่ยวกับพืชในเขตอบอุ่น พบว่าผลกระทบของฝนกรดที่มีต่อพืชป่าไม้ มี 2 อย่างคือ

1. ผลกระทบโดยตรงต่อใบและส่วนผิวต่างๆ ของพืช เช่น การชะล้างสารอาหารออกจากใบ การกัดชะชั้นเคลือบผิวใบ นอกจากนี้ ต้นไม้จะได้รับผลกระทบจากการที่สารอาหารในดินถูกชะล้างไปแล้ว ฝนกรดเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อใบของพืชด้วย โดยการกัดกร่อนใบ ทำให้เกิดรูโหว่ ทำให้พืชขาดความสามารถในการผลิต

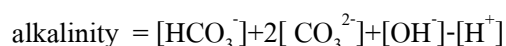
อาหารจากการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) นอกจากนี้ เชื้อโรคต่าง ๆ อาจทำอันตรายกับพืชได้โดยผ่านเข้าทางแผลที่ใบ ทำให้ต้นไม้อ่อนแอต่อสภาวะแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นความร้อน ความเย็น หรือ ความแห้งแล้ง ทำให้ต้นไม้ยืนต้นตายจากรากขึ้นไปถึงใบ เพราะแร่ธาตุในดิน เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และธาตุอื่นๆ โคนชะล้างจากฝนกรดทำให้ต้นไม้ไม่สามารถดูดซึมมีแร่ธาตุไปใช้ได้

2. ผลกระทบทางอ้อมโดยผ่านดิน ถึงแม้ว่าในเขตอบอุ่นจะได้รับผลกระทบของฝนกรดสูง แต่ผลกระทบโดยตรงกับพืชก็ยังมีน้อย ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าอายุของใบไม้ในเขตอบอุ่นจะมีช่วงยาวและทนกว่าเขตร้อน โดยความเป็นกรดในฝนจะต้องมีความเข้มข้นมากพอที่จะทำลายได้ ซึ่งจะต้องมีการศึกษาต่อไป

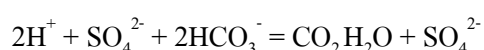
ค่าพีเอชของฝนที่ตกในทวีปเอเชียจะมีค่าสูง แต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณของซัลเฟตและไนเตรตต่ำ แต่กลับเพิ่มค่าฝุ่นแอลคาไลน์ (alkaline dust) เนื่องจากทวีปเอเชียอยู่ในเขตระบบนิเวศเขตร้อนและมีเส้นศูนย์สูตรจึงมีสารอาหารอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะไนโตรเจนและกำมะถัน การปนเปื้อนของสารเหล่านี้ในบรรยากาศที่มากับฝนมีผลต่อสารอาหารในดินบริเวณนั้น กล่าวคือ อัตราการนำธาตุอาหารกลับมาใช้ตลอดจนอัตราการหมุนเวียนของธาตุอาหารสู่น้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงไป เมื่อค่าพีเอชลดต่ำลงใบของพืชจะแสดงอาการขาดอาหารหลักให้เห็น ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม

5.3 ผลกระทบต่อสัตว์ ฝนกรดจะส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิต โดยเฉพาะสัตว์น้ำ เช่น กบและ Salamanders ขุน แมลงวัน และจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสำคัญมากต่อระบบนิเวศบนบก โดยเฉพาะบทบาทในการเพิ่มสารอาหารและความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยเป็นวงจรและ aeration ซึ่งสำคัญมากในเขตร้อนและเขตศูนย์สูตร เนื่องจากสัตว์จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดสารอาหาร

5.4 ผลกระทบต่อแหล่งน้ำ ทะเลสาบหรือแม่น้ำจะได้รับผลกระทบของฝนกรด ถึงแม้ว่าแหล่งน้ำนั้นจะมีด่างหรือสภาพเป็นกลาง หรือแหล่งน้ำนั้นมีความเป็น alkalinity หรือ acid neutralizing capacity (ANC) แต่ต้องขึ้นกับระยะเวลาสัมผัสบริเวณผิวน้ำกับฝนที่ตกลงมา ทะเลสาบหรือแหล่งน้ำที่มีค่า ANC ต่ำจะสามารถปรับสภาพความเป็นกรดจากฝนกรดได้ง่าย ผลกระทบของฝนกรดต่อแหล่งน้ำธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นทะเลสาบหรือแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ มีข้อมูลค่อนข้างจำกัด เนื่องจากขาดความเข้าใจกับกลไกที่เกิดขึ้นของฝนกรดในระบบนิเวศนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบต่อปลาในน้ำค่อนข้างจะมีผลการศึกษามาก ซึ่งตรงข้ามกับสิ่งมีชีวิตอื่นในแหล่งน้ำนั้นไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายหรือสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ทั้งนี้ความเป็นกรดในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้นจากการลดลงของค่าอัลคาไลน์ดี (alkalinity) ทั้งนี้การปรับสภาพความเป็นกรด ต่าง ขึ้นกับสถานะเคมีของน้ำในแหล่งน้ำนั้น ซึ่งขึ้นกับปริมาณไบคาร์บอเนตไอออน (bicarbonate ion, HCO_3^-) ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางเคมีดังนี้



ทั้งนี้หากมีความเข้มข้นของกรดแก่ เช่น กรดกำมะถันทำให้เกิดการความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนต ทำให้ความเป็นด่างหรือ ค่า alkalinity ลดลง ดังนี้



เมื่อค่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบที่ตามมาคือ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary production) การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง ทำให้การย่อยสลายอินทรีย์สารน้อยลง สารอินทรีย์จะสะสมในระบบนิเวศ ทำให้ขาดวัฏจักรการนำเอาธาตุอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ สัตว์น้ำขนาดเล็กซึ่งอาศัยอยู่ตามท้องน้ำ (benthic invertebrates) จะลดลงและพบว่าสารโลหะหนัก เช่น นิกเกิล ทองแดง เหล็ก แมงกานีส ปรอตอะลูมิเนียม ฯลฯ ตกสะสมในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากฝนกรดทำลายการจับยึดไอออนของโลหะหนักไว้ โดยเฉพาะถ้าระดับอะลูมิเนียมไอออนในน้ำเพิ่มขึ้นจะก่อความระคายเคืองแก่เหงือกของปลา และปลาจะพยายามสร้างเมือกห่อหุ้มส่วนที่เกิดการระคายเคืองทำให้สภาพของเหงือกทรุดลงและตายไปในที่สุด เมื่อฝนกรดตกลงมาบริเวณริมขอบน้ำที่มีหินคาร์บอเนตและเมื่อรวมกับสภาพดินที่เป็นกรดอยู่แล้วจะทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับปริมาณฝนกรดที่ได้รับ การปรับสภาพเป็นกลางน้อยส่งผลให้ผลผลิตจากแหล่งน้ำลดลง โดยเฉพาะในเอเชีย ทำให้เพิ่มการขาดสารอาหารในระบบนิเวศแหล่งน้ำนั้น

5.5 ผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้าง ฝนกรดจะทำลายสิ่งก่อสร้างไม่ว่าจะเป็นรูปปั้น อนุสาวรีย์ตึก หรือ ยานพาหนะ โครงสร้างที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทหินปูน (limestone) หินอ่อน(marble) หินทราย (sandstone) โดยน้ำฝนจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งก่อสร้าง นอกจากนี้ ตึก สะพาน โครงสร้างอุตสาหกรรม เครื่องมือ และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า รวมทั้งสิ่งทอ สีที่ทาภายนอก และเชือกก็ได้รับผลกระทบจากฝนกรดเช่นกัน

5.6 ผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากสภาพของฝนที่มีความเป็นกรดแล้วยังมีละอองลอยเชิงกรด (acidic aerosols) โดยเฉพาะซัลเฟตและไนเตรต ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรงเมื่อได้รับสัมผัสทางผิวหนังตา และการหายใจ ทำให้ปอดทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้เป็นไข้และมีอาการภูมิแพ้ปัญหาระบบทางเดินหายใจและรวมถึงโรคปอดได้ ในบรรยากาศ กรดเหล่านี้อาจรวมตัวกับสารเคมีอื่นๆ ก่อให้เกิดหมอกควันที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและทำให้หายใจได้ลำบาก โดยเฉพาะกับคนที่มีโรคหอบหืด หรือโรคทางเดินหายใจอื่น ๆ อยู่แล้ว อาการอาจกำเริบรุนแรงจนถึงแก่ชีวิตได้ นอกจากนี้ ยังสร้างผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์อีกอย่างหนึ่งคือการมองเห็นหรือทัศนวิสัย (visibility) เนื่องจากหมอกควันนั่นเอง แหล่งน้ำที่เป็นกรดไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับมนุษย์เท่าไรนัก ไม่มีปัญหาอะไรถ้าเราจะว่ายน้ำในทะเลสาบที่เป็นกรด แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญไม่ได้อยู่ที่ความเป็นกรดของน้ำ หากแต่เป็นเพราะสารพิษที่ละลายมาจากดินลงสู่แหล่งน้ำต่างหากในสวีเดนมีทะเลสาบมากกว่าหนึ่งหมื่นแห่งที่ได้รับผลกระทบจากฝนกรด ทำให้มีสารปรอทละลายอยู่เป็นจำนวนมาก ประชาชนบริเวณแถบนั้นได้รับการเตือนโดยทางการไม่ให้รับประทานปลาที่จับมาจากแหล่งน้ำเหล่านั้น เป็นต้น

ผลกระทบอีกอย่างคือ การปนเปื้อนในน้ำอุปโภคบริโภค โดยความเป็นกรดจะทำให้ความเป็นพิษของโลหะหนักจากดินและน้ำหุดออกมาและจะไปสะสมในสัตว์น้ำ เช่น ปลา หรือสะสมในพืชผลที่ปลูกเนื่องจากสภาพของดินเป็นกรด เมื่อนำมาบริโภคจะเป็นสาเหตุของโรคและปัญหาทางสุขภาพต่อไป โดยเฉพาะโลหะ

หนัก ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท อะลูมิเนียม มีความสามารถในการละลายมากขึ้นเมื่อค่าความกรดมากขึ้น โดยเฉพาะอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นผิวโลก นักวิทยาศาสตร์วิตกว่าหากความเป็นกรดในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น การละลายของอะลูมิเนียมจะมากขึ้น โดยเฉพาะในทะเลสาบของประเทศแคนาดาที่พบปริมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมสูงถึง 372 ส่วนในแสนล้านส่วน(part per billion) แต่ระดับความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่ทำอันตรายต่อปลาในแหล่งน้ำคือ 100 ส่วนในแสนล้านส่วนเท่านั้น มีงานวิจัยพบว่า อะลูมิเนียมยังส่งผลกระทบต่อนกที่อาศัยอยู่รอบๆทะเลสาบนั้น ซึ่งนักวิทยาศาสตร์สังเกตว่าเปลือกไข่นกจะเปราะบางและแตกง่ายกว่าปกติ หากมนุษย์นำน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีธาตุอะลูมิเนียมปริมาณมากอยู่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพคือ จะมีการสะสมของอะลูมิเนียมในอวัยวะภายใน เช่น สมอง เนื้อเยื่อกระดูก และกล้ามเนื้อ ส่งผลให้คนไข้มีอาการหรือภาวะสมองเสื่อมได้ เช่น โรคสมองเสื่อม (dementia) โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) ฝนกรดยังส่งผลกระทบต่อปริมาณธาตุโลหะหนักอื่นๆ ได้แก่ แคดเมียม สารหนู และสังกะสี โดยสามารถละลายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด สำหรับซีลีเนียม (selenium) จะมีปริมาณลดลง ซึ่งจะนำไปสู่การขาดธาตุสารอาหารซีลีเนียม (selenium deficiencies) ได้

6. บทสรุป

ฝนกรดไม่ได้สร้างปัญหาในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง โดยเฉพาะแต่เป็นปัญหาระดับประเทศและระดับภูมิภาคทีเดียวและผลกระทบที่เกิดขึ้นสร้างความเสียหายทั้งแก่มนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผลกระทบของฝนกรดมีทั้งต่อระบบนิเวศ ผลกระทบโดยตรงต่อพืช สัตว์ และสิ่งก่อสร้างและที่สำคัญที่สุดคือ สุขภาพของมนุษย์ ฝนที่เป็นกรดจะทำให้ธาตุโลหะหนักในดินละลายออกมา ทำให้ดินมีแนวโน้มที่ก่อกมลพิษเนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักมากขึ้น และยังทำให้ดินเสื่อมคุณภาพในการปรับสภาพน้ำฝนที่ขังหรือซึมลงดินให้เป็นกลางได้น้อยลงและก่อให้เกิดการขาดธาตุอาหาร เช่น แคดเมียม แมกนีเซียม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ในบริเวณนั้น ฝนกรดยังส่งผลกระทบต่อวงจรชีวิตโดยเฉพาะสัตว์น้ำ เช่น กบ ยุง แมลงวัน และจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสำคัญมากต่อระบบนิเวศนั้นๆ การร่วมมือเพื่อหาทางป้องกัน การแก้ปัญหา ตลอดจนการหามาตรการที่จะลดระดับความรุนแรงของปัญหาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ โดยเฉพาะการควบคุมการปล่อยสารมลพิษที่ก่อให้เกิดฝนกรดคือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือการแสวงหาวัสดุทดแทนที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์น้อย และการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจต่อประชาชนให้เห็นความสำคัญของปัญหาและมีส่วนร่วมในการจัดการและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น สำหรับการควบคุมการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถทำได้ดังนี้คือ การกำจัดหรือลดปริมาณองค์ประกอบของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ก่อนจะนำไปใช้ โดยใช้เทคนิค coal cleaning หรือเทคนิค desulfurization สำหรับการกำจัดหรือลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้แบบ fluidized-bed ซึ่งอาจผสมหินปูนหรือปูนขาวกับถ่านหินในอัตราที่เหมาะสม

และนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกดูดซับไว้ด้วยปูนขาวหรือหินปูนดังกล่าว และการกำจัดหรือลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หลังการเผาไหม้สามารถใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพ เช่น wet scrubber หรือ flue gas desulfurization ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เท่ากัน สำหรับการควบคุมปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากแหล่งกำเนิดสามารถทำได้ โดยการปรับปรุง ออกแบบเตาเผา หัวฉีดเชื้อเพลิง เพื่อควบคุมอุณหภูมิในการเผาไหม้ เนื่องจากก๊าซดังกล่าวไม่เกิดขึ้นหากอุณหภูมิต่ำ โดยอาจใช้เทคโนโลยี stage combustion ที่มีการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ การพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิในเตาเผา ซึ่งเป็นการลดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนได้ในระดับหนึ่ง การลดปัญหาเมื่อเกิดฝนกรดขึ้นแล้วก็นับว่าได้ผลเช่นกัน เช่น ประเทศนอร์เวย์และสวีเดน ปัญหาเหล่านี้ได้ถูกแก้ไขโดยการเติมปูนขาวลงในแหล่งน้ำต่าง ๆ และยังมีการเติมปูนขาวลงในถังเก็บน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้กรดทำความเสียหายกับท่อประปา การใช้สีหรือสารอื่น ๆ ที่สามารถป้องกันฝนกรดได้เคลือบทาไว้บนสิ่งปลูกสร้างก็สามารถลดปัญหาได้อย่างดี แม้เทคโนโลยีสมัยใหม่จะช่วยลดปริมาณก๊าซที่เป็นต้นเหตุปัญหาของฝนกรด แต่ปัญหาดังกล่าวยังมีต่อเนื่อง นั่นหมายความว่าฝนกรดจะยังคงสร้างปัญหาแก่มวลมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป หากไม่ได้รับความสนใจจากทุกประเทศที่เร่งพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของประเทศตนจนถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโลก ดังนั้นความหวังในการแก้ปัญหาดังกล่าวอยู่ที่ความร่วมมือร่วมใจของมนุษย์ในการรักษาและแน่วแน่ในการแก้ปัญหาด้วยกันนั่นเอง

เอกสารอ้างอิง

เทพวิฑูรย์ ทองศรี. ฝนกรด. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, กันยายน, 2537, ปีที่ 42, ฉบับที่ 136, หน้า 3-8.

Acid rain. [Online] [cited 9 April 2008] Available from Internet:

<http://www.fxbrowne.com/html/EnviroEd/Lwwmd/chapter7.pdf>

Bernard, SM., et al. The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. **Environmental Health Perspective**, May, 2001, vol. 109, no. 2, p. 199-209.

Bravo, HA., et al. Effects of acid rain on building material of the El Tajin archeological zone in Veracruz, Mexico. **Environmental Pollution**, 2006, vol. 144, p. 655-660.

Helander, ML., and Rantio-Lehtimaki, A. Effects of water and simulated acid rain on quantity of phyllosphere fungi of Birch leaves. **Microbial Ecology**, 1990, vol. 19, p. 119-125.

Kikuchi, K. Acid rain problem. **TECHNO JAPAN**, December, 1985, vol. 18, no. 12, p. 18-23.

Ling, DJ., et al., Role of simulated acid rain on cations, phosphorus, and organic matter dynamics in Latosol. **Archives of Environmental Contaminated and Toxicology**, 2007, vol. 52, p. 16-21.

Lipfert, FW., Morris, SC., and Wyzga, RE. Acid aerosols : the next criteria air pollutant?. **Environmental Science and Technology**, 1989, vol. 23, no. 11, p. 1316-1322.

Maugh, TH. Acid rain's effects on people assessed. **Science**, December, 1984, vol. 226, no. 4681, p. 1408-1410.

McLaughlin, SB., et al. Effect of acid rain and gaseous pollutants on forest productivity : a regional scale approach. **Journal of the Air Pollution Control Association**, November, 1983, vol. 33, no. 11, p. 1042-1054.

Munzuroglu, O., et al. Effects on simulated acid rain on vitamin A, E, and C in strawberry (*Fragaria vesca*). **Pakistan Journal of Nutrition**, 2006, vol. 4, no. 6, p. 402-406.

Nevers, ND. **Air Pollution Control Engineering**. New York : McGraw-Hill, 1995, p. 456-461.

Sant'Anna-Santos, BF., et al. Effects of simulated acid rain on leaf anatomy and micromorphology of *Genipa Americana* L.(Rubiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, March, 2006, vol. 49, no. 2, p. 313-321.

Schindler, DW. Effects of acid rain on freshwater ecosystems. **Science**, 1988, vol. 39, no. 4836, p. 149-157.

Seinfeld, JH. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. John Willey & Sons. Inc., 1986, p. 695-723.

Spengler, JD., Brauer, M., and Koutrakis, P. Acid air and health. **Environmental Science and Technology**, 1990, vol. 24, no.7, p. 946-956.

Wang, TJ., et al. Trend in air pollution during 1996-2003 and cross-border transport in city clusters over the Yangtze river delta region of China. **Terr. Atmos. Ocean. Sci.**, December, 2007, vol. 18, no. 5, p. 995-1009.

