

การตรวจเอกสาร

ปัญหาการจราจรที่หนาแน่นในเขตกรุงเทพมหานคร ทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของคนในกรุงเทพมหานครเป็นอย่างมาก ดังนั้นทาง กรุงเทพมหานครจึงก่อสร้างโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานครขึ้น เพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศให้น้อยลง แต่ทั้งนี้ตัวโครงการของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ ได้มีโครงสร้างที่ปกคลุมบริเวณท้องถนน จึงทำให้เกิดการปิดกั้นการกระจายตัวของมลสารที่เกิดขึ้นจากการจราจร และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็เป็นตัวมลสารที่เกิดจากการใช้รถยนต์ประเภทน้ำมันดีเซล ซึ่งจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามแนวระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพนี้ จะทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสามารถหาวิธีการมาช่วยในการบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้

1. ภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

หมายถึง ภาวะของอากาศซึ่งมีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอ และเป็นระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารที่กล่าวถึงอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ และอาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษทางอากาศหลักที่สำคัญ คือ ฝุ่นละออง ตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ของไนโตรเจน และก๊าซโอโซน (สุพัฒน์, 2540)

2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีไอไฟที่ระดับความเข้มข้นสูง แต่จะมีกลิ่นฉุนแสบจมูก เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศจะเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และจะรวมตัวเป็นกรดกำมะถัน เมื่อมีความชื้นเพียงพอ หากอยู่ร่วมกับอนุภาคมลสารที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แอมโมเนีย เกล็ด และวาทาเนียม จะเกิดมีปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน เกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และกรดกำมะถันเช่นกัน การสันดาปเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานในการดำรงชีพของมวลมนุษย์ ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคมลสาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทั้งสองเช่นกัน ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และละอองของกรดกำมะถัน

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศนี้ส่วนใหญ่ประมาณ 70% มาจากการกระทำของมนุษย์ ขณะที่อีกประมาณ 30% มาจากธรรมชาติ การปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่วนใหญ่จะมาจากการกระทำของมนุษย์ และจะเกิดขึ้นในบริเวณซีกโลกเหนือมากกว่าซีกโลกใต้

3. แหล่งกำเนิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในธรรมชาติ

ทะเลและมหาสมุทรปล่อยซัลเฟอร์ในรูปไดเมทิลซัลเฟอร์ (Dimethyl sulfur: DMS) อยู่ประมาณ 11.9-15.4 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีบางส่วนปล่อยออกมาในรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) คาร์บอนิลซัลไฟด์ (OCS) ซัลเฟต (SO_4) Wet Land คือบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ อาจขังตลอดเวลา เช่น หนองน้ำ บึงที่มีความชื้น หรือบริเวณที่น้ำขึ้นเป็นเวลานานเนื่องจากน้ำขึ้นลงก็ได้ บริเวณเหล่านี้สามารถผลิตซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ในช่วงที่กว้างขึ้นกับปริมาณสิ่งมีชีวิตและขนาดของพื้นที่ดังกล่าว ประมาณว่าอาจปลดปล่อยซัลเฟอร์ 1.76 ล้านตันต่อปี โดยมี (H_2S) ประมาณ 57% DMS ประมาณ 34% (OCS) ประมาณ 6% และ CS_2 ประมาณ 3% ดินและพืชการเกิดรีดิวซ์สารประกอบในดิน พืช และพืชชั้นต่ำก็สามารถปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากบรรยากาศได้ ทั้งนี้จะได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาในปริมาณมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแสง สำหรับบริเวณภูมิอากาศเขตร้อนนั้นค่อนข้างที่จะให้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาได้ง่ายกว่าเนื่องจากมีความชื้นแสงมากกว่าและอุณหภูมิก็ค่อนข้างสูง แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืช ภูเขาไฟ เถ้าไฟ จะมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในรูปคาร์บอนิลซัลไฟด์ (OCS) และคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) เป็นองค์ประกอบประมาณว่ามีซัลเฟอร์ที่ปลดปล่อยออกมาจากภูเขาไฟ 9.3 ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นประมาณ 10% ของซัลเฟอร์ที่ปลดปล่อยออกมา อย่างไรก็ตามปริมาณนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับจำนวนของภูเขาไฟ

4. แหล่งกำเนิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการกระทำของมนุษย์

จะเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่ของปริมาณซัลเฟอร์ในอากาศซึ่งประมาณว่า 90-94 % ของซัลเฟอร์ที่ถูกปล่อยออกมามาก จะอยู่ในบรรยากาศด้านซีกโลกเหนือโดย 87-97% ของการกระทำของมนุษย์มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน น้ำมันที่ใช้ในชีวิตประจำวัน และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

5. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารมลพิษ (Pollutant) ในบรรยากาศ

5.1 อุตุณิยมวิทยา

ปัจจัยทางด้านอุตุณิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารมลพิษ (Pollutant) ในบรรยากาศ คือ อุณหภูมิ ฝน ลม การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เมฆ และความเสถียรของบรรยากาศ ส่วนปัจจัยทางด้านอื่น ๆ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ฯลฯ จะใช้ศึกษาในกรณีพิเศษ (ศิริกัลยา , 2540)

5.1.1 ปฏิกริยาเคมี

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่อสารมลพิษ (Pollutant) กระจายตัวในบรรยากาศนั้น เกิดขึ้นเป็นลำดับ และอาจเปลี่ยนรูป รวมทั้งเพิ่ม หรือลดความเป็นพิษของสารมลพิษที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด โดยในขั้นแรกจะเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ฯลฯ รวมทั้งเขม่าควัน เป็นต้น และเมื่อสารมลพิษทางอากาศกระจายออกสู่บรรยากาศ สารมลพิษเหล่านั้นอาจเกิดปฏิกริยาเคมีระหว่างสารมลพิษขั้นปฐมภูมิด้วยตัวเอง หรือปฏิกริยาเคมีระหว่างสารมลพิษทางอากาศขั้นปฐมภูมิตกับสารประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาเคมี Photochemical Oxidation ระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในบรรยากาศโดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกริยา เป็นต้น (นพภาพร และแสงสันต์, 2544)

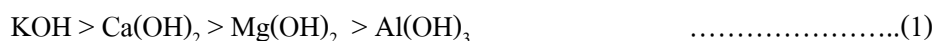
5.1.2 การตกของสารมลพิษ (Sink of Pollutant)

อนุภาคในอากาศมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมากที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีระยะทางเฉลี่ยที่เข้าสู่ความเร็วการตกตัวที่คงที่ (Constant Settling Velocity) อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าความเร็วนี้จะกำหนดโดยสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงต้านทานซึ่งเกิดจากแรงเสียดลากเชิงแอโรไดนามิก (Aerodynamic Drag) สำหรับอนุภาคขนาดเล็กจะเป็นไปในทางตรงกันข้าม ในธรรมชาติแล้วนั้น โมเลกุลของอากาศที่อยู่โดยรอบอนุภาคจะกระหน่ำชนอนุภาคดังกล่าวนี้อย่างไม่มีกฎเกณฑ์ ทำให้ความเร็วในการตกตัว

สุดท้ายของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ อนุภาคจะมีการเคลื่อนไหวยังไม่มีกฎเกณฑ์ (Random Motion) หรือ การเคลื่อนไหวนับแบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซ้อนกับการเคลื่อนตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก กลไกหลักของการกำจัดอนุภาคในอากาศโดยทั่วไป อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการตกตะกอน (Sedimentation) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะแพร่กระจายไปยังพื้นผิว และเกิดการรวมตัว (Coagulation) กับอนุภาคอื่น ๆ จนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ทำให้อนุภาค หรือมลสารเกิดการตกตัวที่เร็วขึ้น (ศิริกัลยา, 2540)

6. ความหมายของฝนกรดและแนวคิดพื้นฐาน

กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (H^+) กรดที่แตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนได้อย่างสมบูรณ์ เรียกว่า กรดแก่ และกรดที่แตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน (OH^-) ได้บางส่วน เรียกว่า กรดอ่อน ค่าง คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้หมู่ไฮดรอกซิลไอออน ได้แก่ สารพวกออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของโลหะ โดย Alkaline Metal และความแรง (strength) ของค่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อ Alkaline Metal ขนาดเพิ่มขึ้น โดยความแรงของค่างแต่ละชนิดเรียงลำดับ ดังนี้



การวัดความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนว่ามีมากน้อยเพียงใด ทำได้โดยวัดจากค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของสารละลายนั้น pH มาจาก Puissance d'Hydrogen ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 14 มีค่าเท่ากับ $-\log[H^+]$ โดย $[H^+]$ คือ ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน

น้ำบริสุทธิ์มีสมบัติเป็นกลางมีความเข้มข้นจำนวนไฮโดรเนียมไอออนเท่ากับจำนวนไฮดรอกซิลไอออน ซึ่งจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 เมื่อมีสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ละลายในน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าไฮดรอกซิลไอออน จึงทำให้สารนี้จะมีคุณสมบัติเป็นกรดซึ่งจะมีค่าความเป็นกรดน้อยกว่า 7 และถ้ามีปริมาณไฮดรอกซิลไอออนมากกว่าปริมาณไฮโดรเนียมไอออน สารนั้นจะมีคุณสมบัติเป็นด่าง ซึ่งจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารละลายที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะเป็นตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนหรือ Proton Donor และสารละลายใดมีคุณสมบัติเป็นด่างจะเป็นตัวให้ไฮดรอกซิลไอออนหรือรับไฮโดรเนียมไอออน คือเป็น Proton Acceptor ปกติน้ำฝนสะอาดตามธรรมชาติจะไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์ เพราะเมื่อไอน้ำระเหยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศจะไปผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดเป็นกรด

คาร์บอนิก (H_2CO_3) แต่กรดคาร์บอนิกนั้นยังเป็นกรดอ่อน ดังนั้น น้ำฝนปกติ แล้วจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.6 ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่าง นอกจากนี้ยังมีก๊าซอื่น ๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) สามารถเกิดตะกอนและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสในบรรยากาศเพื่อเกิดเป็นกรดซัลฟูริก ในไฮโดรเจนไดออกไซด์ยังสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งถ้ากรดเหล่านี้ได้ก่อตัวอย่างเข้มข้นแล้วทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำฝนมีค่าต่ำกว่า 5.6 โดยเป็นผลทำให้เกิดฝนกรด จุดกำเนิดเริ่มแรกที่รับรู้ถึงฝนกรดนี้เกิดจากการที่ปลาในทะเลสาบในประเทศสวีเดนตายลง และนักวิทยาศาสตร์ของสวีเดนได้พบว่า สภาพของน้ำมีความเป็นกรดสูงผิดปกติจึงได้ทำการหาสาเหตุและพบว่า เริ่มแรกเกิดจากฝนที่ตกลงมาและหิมะที่ละลายนำสภาพความเป็นกรดลงสู่แม่น้ำ จึงเป็นเหตุให้ผู้เกี่ยวข้องหลาย ๆ ฝ่ายตื่นตัวในการที่จะทำการศึกษาและหาแนวทางแก้ไข (ชูณรงค์, 2531)

6.1 ประเทศไทยกับการตกสะสมของกรด

สารมลพิษ (Pollutants) คือ ของเสียหรือมลสารใด ๆ ที่ก่อให้เกิด หรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน สารมลพิษบางชนิดที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของซัลเฟอร์อยู่ในบรรยากาศประมาณ 2-3 ชั่วโมง และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อลอยเข้าสู่บรรยากาศจะกลายสภาพเป็นสารกรด ซึ่งจะสามารถอยู่ในบรรยากาศได้ประมาณ 3-6 ชั่วโมง และถูกพัดพาไปได้ไกลอย่างไร้พรมแดน ส่งผลให้หมอก น้ำค้าง ฝน เป็นกรด กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของภูมิภาคและของโลก สารกรดในบรรยากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง ในประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่พัฒนาแล้ว ทำความเสียหายต่อสุขภาพ ทรัพย์สิน แหล่งผลิตอาหารและทรัพยากรธรรมชาติ จึงต้องแสวงหาแนวทางเพื่อลดการปล่อยมลพิษและบรรเทาความเสียหายที่เกิดขึ้น

ประเทศไทยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่เกิดในโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ การที่ประเทศไทยกำลังมีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในอัตราที่สูง ทำให้ชุมชนเมือง อุตสาหกรรม และการคมนาคมขนส่งมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ปัญหาเรื่องสารกรดในบรรยากาศจึงได้เริ่มปรากฏขึ้นแล้ว โดยในบางครั้งตรวจพบว่าน้ำฝนที่ตกลงมาในเขตเมือง และเขตอุตสาหกรรมมีความเป็นกรดสูงกว่าน้ำฝนธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยปัญหานี้อาจทวีความรุนแรงขึ้นได้ในอนาคต

เช่นเดียวกับที่เกิดในประเทศอุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้ว สารกรดสามารถเดินทางไปในบรรยากาศได้ไกลหลายร้อยกิโลเมตรจากแหล่งกำเนิด

6.2 แหล่งที่มาของการเกิดการตกสะสมของกรดในบรรยากาศ

สารมลพิษที่เป็นตัวการทำให้เกิดสารกรดในบรรยากาศ (Acid Precursors) ที่สำคัญ ๆ มีอยู่ 3 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ ซึ่งรวมถึงก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) กลุ่มที่สอง คือ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งรวมถึงก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ชนิดที่สาม คือ ฝุ่นละออง (Particulate Matter) แหล่งที่มาของสารมลพิษเหล่านี้ มีทั้งที่เป็นแหล่งธรรมชาติ (Natural Sources) และแหล่งมนุษย์สร้าง (Man-made Sources) หรือที่เป็นกิจกรรมของมนุษย์ (Donald, 1977)

6.2.1 แหล่งธรรมชาติ

แหล่งธรรมชาติที่ทำให้เกิดสารกรดในบรรยากาศ ได้แก่ การคุและการระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่าตามธรรมชาติ ทะเลและมหาสมุทร การเน่าเปื่อยและการย่อยสลายของซากพืช สัตว์ และสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ เป็นต้น แหล่งธรรมชาติมีบทบาทความสำคัญต่อการตกสะสมของกรดน้อยกว่าแหล่งมนุษย์สร้าง

6.2.2 แหล่งมนุษย์สร้าง

ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทต่าง ๆ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงานมาให้มนุษย์เราใช้อยู่ทุกวันนี้ กิจกรรมดังกล่าวได้แก่ การเผาถ่านหินและน้ำมันเตาในโรงไฟฟ้าและโรงงาน อุตสาหกรรม การเผาขยะ และการเผาน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล ในยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง รถไฟ เรือ และเครื่องบิน เป็นต้น ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการรวมตัวของสารกำมะถันในเชื้อเพลิงฟอสซิลกับก๊าซออกซิเจนในอากาศขณะเผาไหม้ โดยปริมาณก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาและปริมาณสารกำมะถันที่เจือปนอยู่ในเชื้อเพลิงนั้น

นอกจากนี้ก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ยังเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม อุตสาหกรรมผลิตกรดกำมะถัน และอุตสาหกรรมถลุงสินแร่โลหะที่มีสารกำมะถันเจือปนอยู่ เช่น ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว เป็นต้น ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดขึ้นในระหว่างการเผาเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ เช่นเดียวกับก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ โดยเกิดจากการรวมตัวของก๊าซไนโตรเจนในอากาศและสารไนโตรเจนในเชื้อเพลิงกับก๊าซออกซิเจนในอากาศในระหว่างการเผาไหม้ ยิ่งอุณหภูมิการเผาไหม้สูง ๆ และมีปริมาณก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้มาก ๆ จะยิ่งเกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมาก นอกจากนี้ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนยังเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตกรดดินประสิวและสารประกอบ อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ย และอุตสาหกรรมผลิตวัตถุระเบิด เป็นต้น จากการคาดประมาณพบว่าบนโลกของเรามีปริมาณก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่เกิดจากธรรมชาติน้อยกว่าร้อยละสิบของปริมาณก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล และเช่นเดียวกันปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลมีเป็นสองเท่าของปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากธรรมชาติ (นัทธีรา, 2541)

ตารางที่ 1 ประเภทของยานพาหนะและค่า Emission Factor

ประเภท	ประเภทยานพาหนะ	ค่า Emission Factor (g/km/คัน)
เบนซิน	รถยนต์ส่วนบุคคลทั่วไป	0.050
ดีเซล	รถกระบะ รถตู้	0.398
ดีเซลใหญ่	รถบรรทุกขนาดตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป	1.855
	รถโดยสารประจำทาง	
	(ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ)	
	รถทัวร์	
จักรยานยนต์	จักรยานยนต์ทุกชนิด	0.150

ที่มา: Sandeep and Wongpum (1988)

สำหรับกรณีที่ใช้ค่า Emission Factor จากกรมควบคุมมลพิษนั้น จำเป็นต้องคำนวณหาค่า Composite emission Factor โดยที่ใช้สูตรดังสมการที่ Composite emission Factor

$$(\text{g/mile-vehicle}) = 1.609 \times [\text{No. of veh. class1} \times \text{Emission Factor of class1}] + (\text{No. of veh. classN} \times \text{Emission Factor of classN}) / \text{Total No. of vehicles}$$

6.3 องค์ประกอบของน้ำฝน

น้ำฝนทั่วไปจะเป็นกรดอ่อนและมีของแข็งละลายเจือปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย นอกจากในบริเวณที่เกิดมลภาวะทางอากาศ จึงทำให้เกิดฝนกรด สารละลายที่พบในน้ำฝน ประกอบด้วย ก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศและอนุภาคของแข็ง (Aerosol) ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปละลายน้ำได้ ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นแหล่งที่มาขององค์ประกอบทางเคมีที่พบในน้ำฝน ปกตินั้น ส่วนประกอบทางเคมีที่พบในน้ำฝนทั่วโลก และน้ำฝนมาจากเหื่อน้ำทะเล พบปริมาณโซเดียม คลอไรด์สูง ถ้าศึกษาในระดับทวีปจะพบปริมาณไอออน ได้แก่ Ca^{2+} , NH_4^+ , H^+ , SO_4^{2-} และ NO_3^- เป็นปัจจัยหลักด้วยถ้าค่า pH มีค่ามากกว่า 4.5 อาจมี HCO_3^- เป็นส่วนประกอบ และปริมาณของแข็ง ทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) ที่พบในน้ำฝนอยู่ในช่วง 4 – 17 mg/l ถ้าเกิน 10 mg/l แสดงว่าเป็นผลกระทบมาจากมลพิษทางอากาศ (Canter, 1986)

ตารางที่ 2 แหล่งที่มาของปริมาณไอออนที่พบในน้ำฝน

Ion	Origin		
	Marine input	Terrestrial input	Pollutive input
Na^+	Sea salt	Soil Dust	Biomass burning
Mg^{2+}	Sea salt	Soil Dust	Biomass burning
K^+	Sea salt	Biogenic aerosols	Biomass burning
		Soil Dust	Fertilizer
Ca^{2+}	Sea salt	Soil Dust	Cement manufacture
			Fuel burning
			Biomass burning
H^+	Gas reaction	Gas reaction	Fuel burning
Cl^-	Sea salt	-	Industrial HCL
SO_4^{2-}	Sea salt	DMS, H_2S etc, from	Fossil fuel burning
	DMS from biological	biological decay	
	decay	Volcanoes	Biomass burning

ตารางที่ 2 แหล่งที่มาของปริมาณไอออนที่พบในน้ำฝน (ต่อ)

Ion	Origin		
	Marine input	Terrestrial input	Pollutive input
NO_3^-	N_2 Plus lightning	Soil Dust NO_2 from biological decay	Auto emissions fossil fuels Biomass burning Fertilizers
NH_4^+	NH_3 from biological activity	N_2 plus lightning NH_3 from bacterial decay	NH_3 Fertilizers Human, animal waste decomposition
PO_4^{3-}	Biogenic aerosols	Soil Dust	(Combustion)
HCO_3^-	Adsorbed on sea salt CO_2 in air	CO_2 in air Soil Dust	Biomass burning
$\text{SiO}_2, \text{Al}, \text{Fe}$	-	Soil Dust	Fertilizers Land clearing

หมายเหตุ: DMS = Dimethyl sulfur

ที่มา: Canter (1986)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝนจากบรรยากาศ และแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก

Constituent	Global mean	Continental Rain	Marine & Coastal Rain	Northern Europe	Northeastern United States	European USSR
Na^+	86	9-40	40-200	13-85	5	39-96
K^+	8	3-8	5-15	4-7	2	10-20
Mg^{2+}	12	2-20	16-60	5-16	2	8-12
Ca^{2+}	2	3-80	5-40	16-33	4	10-52
NH_4^+	-	6.30	0.6-3	6-48	12	10-52
H^+	2	1-100	1-10	16-38	74	22-61
		(pH = 6-4)	(pH = 6-5)			

ตารางที่ 3 (ต่อ) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝนจากบรรยากาศ และแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก (ต่อ)

Constituent	Global mean	Continental Rain	Marine & Coastal Rain	Northern Europe	Northeastern United States	European USSR
HCO ₃ ⁻	2	0	0	21	0	30.79
Cl ⁻	107	6-60	30-300	11-98	7	23-107
NO ₃ ⁻	-	6-21	2-8	5-36	12	6-16
SO ₄ ²⁻	6	10-30	10-30	10-63	30	38-94
Total mean (mg)	7.2			10.2	4.0	16.6

ที่มา: Forstner (1996)

6.4 กลไกการตกสะสมของความเป็นกรดค้างของมลสารชนิดต่างๆ

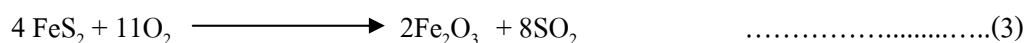
สารมลพิษที่เป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดกรดและการสะสมกรดอาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ คือ สารประกอบออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารประกอบของไฮโดรคาร์บอน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) สารประกอบอัลเคน อัลคีน อะโรมาติก อัลดีไฮด์ และกรดอินทรีย์ สำหรับก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์และออกไซด์ของไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่บรรยากาศจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกด้วยปฏิกิริยากับออกซิเจน เมื่อได้รับความชื้นแล้วจะตกกลับสู่พื้นดิน ในเวลาต่อไปนานเข้าจะเกิดการสะสมของกรดขึ้น ความเป็นกรดของฝนมักเกิดจากกรดซัลฟิวริก 60–70% และกรดไนตริก 30–40% นอกจากกรดซัลฟิวริกและกรดไนตริกที่เกิดขึ้นระหว่างขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทดีเซล ได้แก่ กรดเกลือ (HCl) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) กรดอินทรีย์ (RCOOH) รวมทั้งไอออนของโลหะต่าง ๆ เช่น Al³⁺, Fe³⁺ ซึ่งวัดอยู่ในรูป pH การตกสะสมของสารกรดซึ่งนำไปสู่การเกิดฝนกรดมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

6.4.1 ออกไซด์ของซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์ที่พบในบรรยากาศอยู่ในรูปของสารประกอบ 3 ชนิด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในรูปของละออง (Aerosol) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 3 สารนี้ SO_2 มีความสำคัญที่สุด เพราะนอกจากจะมีผลต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิดของ SO_2 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นกรด มีจุดเดือด -10°C SO_2 ในบรรยากาศมีแหล่งที่มาสองแหล่ง คือ จากการกระทำของมนุษย์และแหล่งธรรมชาติ ถ่านหินจากบางแหล่งมีปริมาณซัลเฟอร์สูงถึงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำมันปิโตรเลียมมีประมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ฉะนั้นเมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ซัลเฟอร์จะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ดังสมการ



การเผาไหม้อาจเกิดซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ขึ้นบ้าง แต่ปริมาณไม่มากนัก ในกรณีของถ่านหินกำมะถันส่วนใหญ่ปะปนอยู่ในรูปของสารไพไรต์ (Iron Pyrite) ซึ่งมีสูตรทั่วไปเป็น FeS_2 เมื่อนำสารนี้มาเผาไหม้กำมะถันใน FeS_2 จะถูกออกซิไดซ์ได้ SO_2 ดังสมการ



นอกจากนี้อุตสาหกรรมบางชนิด เช่น อุตสาหกรรมการถลุงตะกั่วและสังกะสี ซึ่งสินแร่ที่สำคัญของตะกั่ว สังกะสีอยู่ในรูป ZnS การถลุงแร่จึงมีส่วนปล่อย SO_2 เข้าสู่บรรยากาศด้วย ปริมาณของ SO_2 จากแหล่งต่าง ๆ (รวมทั้งแหล่งธรรมชาติ)

ตารางที่ 4 แหล่งกำเนิดของก๊าซกำมะถัน

แหล่งกำเนิด	ปริมาณ (10 ⁶ เมตริกตันต่อปี)
การเผาถ่านหิน	46
การเผา น้ำมันปิโตรเลียมและการกลั่นน้ำมัน	13
การถลุงทองแดง	6
การถลุงตะกั่วและสังกะสี	1.3
รวมแหล่งจากการกระทำของมนุษย์	66
H ₂ S จากดินโดยกระบวนการชีววิทยา	62
H ₂ S จากทะเลโดยกระบวนการชีววิทยา	27
SO ₄ ²⁻ จากขยะที่หมัก	40
รวมแหล่งจากธรรมชาติ	129
ปริมาณสุทธิ	390.3

ที่มา: Radojevic and Harrison (1992)

ก๊าซ SO₂ ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติเกิดจากการออกซิเดชันของ H₂S โดย O, O₂ หรือ O₃ มีดัง
สมการ



P ในสมการ อาจเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่แขวนลอยในอากาศ เช่น ฝุ่นละอองหรือ
ละอองน้ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น ปฏิกิริยาทั้ง 3 ข้างต้น ในบรรยากาศของ Photochemical
Smog เพราะ O, O₃ และ Particulate มีอยู่ในปริมาณที่เข้มข้นกว่าครึ่งชีวิต (Half - Life) ของ
ซัลเฟอร์ในบรรยากาศประมาณได้เพียง 3 วัน กล่าวคือ ครึ่งหนึ่งของซัลเฟอร์จะถูกขจัดออกไปจาก

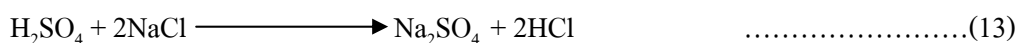
บรรยากาศ ในรูปของตะกอนภายใน 3 วัน โดยทั่วไป SO_2 จะถูกออกซิไดซ์เป็น SO_3 โดย O_2 หรือ O_3 และควบแน่นหรือตกตะกอนในรูปของ H_2SO_4 หรือ SO_4^{2-} ดังนี้



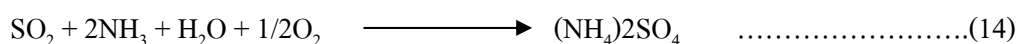
สาร P ในปฏิกิริยา ดังสมการอาจเป็น particulate หรือละอองน้ำ และปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดในการออกซิไดซ์ SO_2 เป็น SO_3 (สมการ 7) ส่วนใน 2 สมการ (8, 9) ถัดมาที่เป็นปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลซึ่งต้องมีแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ถ้าอากาศชื้นมาก SO_2 อาจรวมกับ H_2O เกิดเป็นกรดซัลฟิวรัสซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นกรด H_2SO_4 ได้ ถ้ามีฝุ่นละอองซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวตะกั่วล่ออยู่ด้วย เช่นกัน



กรด H_2SO_4 ที่เกิดขึ้นอาจทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียหรือเกลือของโลหะ เช่น NaCl จากอนุภาคเกลือทะเล (Sea Salt Particles) เกิดเป็นซัลเฟต (SO_4^{2-}) ดังนี้



นอกจากนี้แล้ว SO_2 เองก็สามารถเกิดเป็น SO_4^{2-} อย่างรวดเร็ว โดยทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในอากาศชื้น ดังนี้



และในที่สุดกรดซัลฟิวริก ซัลเฟต และ HCl จะลงมาสู่ผิวดินพร้อมกับน้ำฝน เป็นให้น้ำในฝนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต่ำกว่า 5.6 ซึ่งเรียกน้ำฝนนี้ว่า ฝนกรด (Acid Rain)

6.4.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน

ไนโตรเจนสามารถรวมกับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ได้หลายออกไซด์ ตัวอย่างเช่น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) หรือที่เรียกกันว่า ก๊าซหัวเราะ ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และไดไนโตรเจนไตรออกไซด์ (N_2O_3) คุณสมบัติออกไซด์ของไนโตรเจน

ตารางที่ 5 ออกไซด์ของไนโตรเจนและสมบัติทางกายภาพ

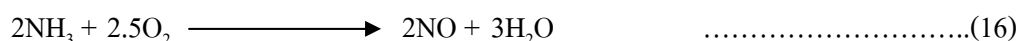
ออกไซด์	เสถียรภาพในบรรยากาศ	สมบัติทางกายภาพ		
		สี	จุดหลอมเหลว (mp, °C)	จุดเดือด (bp, °C)
N_2O	ก๊าซเสถียร	ไม่มีสี	90.8	88.5
NO	ก๊าซเสถียร	ไม่มีสี	163.6	151.7
N_2O_3	ไม่มีเสถียร	แตกสลายตัวเป็น NO และ NO_2 ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง		
NO_2	ก๊าซเสถียร	น้ำตาล	-11.2	21.2
N_2O_4	ไม่มีเสถียร	N_2O_4 , $2NO_2$ สมดุลไปทางขวาที่อุณหภูมิสูง		
N_2O_5	ไม่มีเสถียร	$N_2O_5 \longrightarrow N_2O_3 + O_2$		

ที่มา: Radojevic and Harrison (1992)

ออกไซด์ทั้งหมดของไนโตรเจนมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ NO และ NO_2 ที่ปล่อยเข้าสู่บรรยากาศเป็นปริมาณมากโดยกิจกรรมของมนุษย์ ออกไซด์เหล่านี้ทำให้เกิดมลภาวะอากาศเป็นพิษ ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ หรือเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอากาศมีไนโตรเจนสูงถึงร้อยละ 97 ไนโตรเจนจะรวมกับออกซิเจนเกิดเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้แสดงด้วยสมการดังนี้



เมื่อ NO_x แทนออกไซด์ของไนโตรเจน เนื่องจากเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนหลายชนิดผสมกันอยู่ อย่างไรก็ตาม ก๊าซผสมของไนโตรเจนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงนี้ประกอบด้วย NO เกือบทั้งหมด อุณหภูมิของการเผาไหม้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิด NO_x การเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 550°C จะไม่เกิด NO แต่ก๊าซนี้จะเกิดมากที่อุณหภูมิสูงกว่า $1,100^\circ\text{C}$ ดังนั้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติให้ NO_x ในปริมาณที่ไม่เท่ากันเพราะอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม่เท่ากัน การเรียงลำดับปริมาณ NO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 คือ ถ่านหิน ให้ NO_x มากที่สุด ถัดไปคือน้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ตามลำดับกิจกรรมของมนุษย์ก่อให้เกิด NO_x เพียงส่วนน้อยเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งธรรมชาติ ให้รายละเอียดปริมาณสารประกอบของไนโตรเจนที่ปล่อยสู่บรรยากาศในปี ค.ศ. 1965 จากตารางจะเห็นได้ว่าออกไซด์ของไนโตรเจนส่วนใหญ่มาจากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ กระบวนการสลายตัวของซากสิ่งมีชีวิตตามวงจรไนโตรเจนเกิดเป็นก๊าซ NH_3 และสามารถถูกออกไซด์ไปเป็น NO ดังสมการ



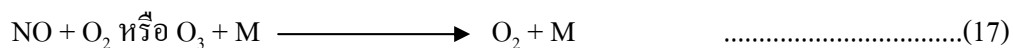
ตารางที่ 6 ปริมาณสารประกอบของไนโตรเจนที่ปล่อยสู่บรรยากาศในปี ค.ศ. 1965

สารประกอบ	แหล่งที่มา	ปริมาณ (100 ตัน/ปี)
NH_3	กระบวนการชีววิทยา	868.0
N_2O	กระบวนการชีววิทยา	343.0
NO^*	กระบวนการชีววิทยา	212.0
NO_2^*	กระบวนการเผาไหม้	14.6

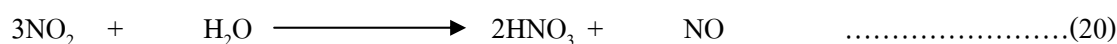
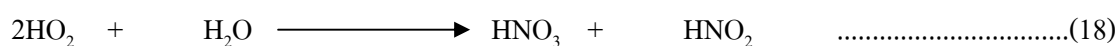
ที่มา: Radojevic and Harrison (1992)

*NO ส่วนใหญ่ถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 ภายในเวลา 4-6 วัน ดังนั้นตัวเลขของ NO และ NO_2 จึงเป็นตัวเลขประมาณเท่านั้น มลพิษทางอากาศซึ่งมี NO_x เป็นสารมลพิษเกิดเฉพาะในเมืองใหญ่ ๆ ที่มีการจราจรคับคั่งและมีโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ก๊าซ NO ที่เกิด

ขึ้นอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 4 - 6 วันเท่านั้นก็จะถูกออกซิไดซ์โดย O_2 หรือ O_3 ในอากาศเกิด NO_2 ดังนี้



ซึ่ง M เป็นสารที่ 3 ทำหน้าที่ดูดความร้อนส่วนที่เกินไว้ เนื่องจาก NO_2 ละลายน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นโดยเฉลี่ย NO_2 อยู่ในบรรยากาศได้เพียง 3 วัน เท่านั้น ก็จะถูกขจัดออกไปโดยรวมกับละอองน้ำในอากาศหรือน้ำฝน ดังสมการ



จะเห็นได้ว่า สมการสุทธิให้ HNO_3 เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นเหตุทำให้น้ำฝนมีสมบัติเป็นกรด (Acid Rain) ทำนองเดียวกับกรณีของ SO_x (Radojevic and Harrison, 1992)

6.5 ประเภทของการตกสะสมของสารกรด

6.5.1 การตกสะสมแห้ง (Dry Deposition)

เป็นการตกของกรดในสภาวะที่ที่ไม่มีฝนลงสู่พื้นโลก ได้แก่ การตกของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุภาค ละอองซัลเฟตและไนเตรท กรดที่แขวนลอยในบรรยากาศจะถูกดูดซับหรือการดูดซึมก๊าซโดย พืช ดิน น้ำ และผิววัสดุต่าง ๆ ที่มนุษย์ผลิตขึ้น การตกตะกอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกของอนุภาคที่ค่อนข้างหยาบ การชนของอนุภาคละเอียดบนผิววัสดุ หรือพืชรวมถึงการเข้าสู่ระบบการหายใจของมนุษย์โดยที่การตกทับถมแห้งของ SO_2 อาจกินเวลาครึ่งวัน จนถึง 2 วันทำให้ถูกหอบไปได้เป็นพันกิโลเมตร Dry Deposition เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งจะใช้ Deposition Velocity (V_d) อธิบายดังสมการ

$$\text{Deposition Velocity } (V_d) \text{ (m/s)} = \frac{\text{อัตราการไหลของมวลสารมลพิษ (g/s)}}{\text{พื้นที่ผิว (m}^2\text{) x ค่าความเข้มข้น (g/m}^3\text{)}}$$

ค่าความเร็วในการตกสะสม (Deposition Velocity) ไม่คงที่ ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

- (1) คุณสมบัติของวัสดุ เช่น ขนาด โครงสร้าง รูปร่าง และความขรุขระของผิวสัมผัส
- (2) ปัจจัยทางสภาพอากาศ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ
- (3) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของสารมลพิษแต่ละชนิด

อัตราการเกิด Dry Deposition เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นในอากาศและมีการเกิดต่อเนื่องโดยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมากในพื้นที่ที่มีการปล่อยมลสารปฐมภูมิ (Primary Pollutants) และเป็นการสะสมโดยตรงของก๊าซ ละอองไอ และอนุภาคบนดิน ผิวน้ำและวัสดุต่าง ๆ

6.5.2 การตกสะสมเปียก (Wet Deposition)

หมายถึง ปริมาณของสารที่เคลื่อนย้ายจากบรรยากาศโดยฝน หิมะหรือน้ำรูปแบบอื่นลงสู่พื้นโลก และหมายถึง กระบวนการเปลี่ยนแปลงของก๊าซ ของเหลว และของแข็งจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลกในระหว่างเกิดฝนตก โดยทั่วไปจะปรากฏในรูปแบบฝนกรดที่มีสาเหตุจากกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดดินประสิวหรือกรดไนตริก (HNO_3) (จากการวิเคราะห์น้ำฝนพบ SO_4^{2-} และ NO_3^- เป็นหลัก) การตกสะสมเปียกของซัลเฟตอาจใช้เวลา 3 ถึง 5 วัน โดยอาจถูกลมพัดพาไปได้ระยะทางนับพันกิโลเมตร (Whelpdale, 1997)

6.6 ผลกระทบของการตกสะสมของกรด

ฝนกรดเมื่อตกลงมาในแหล่งน้ำและผิวดิน ก็จะทำให้ให้น้ำและดินมีความเป็นกรดมากขึ้น เกิดความเสียหายกับพืช สัตว์ มนุษย์ และระบบนิเวศวิทยา รวมทั้งก่อให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.6.1 ผลกระทบของการตกสะสมของกรดต่อวัสดุ

สารประกอบซัลเฟตสามารถกัดกร่อนวัสดุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ได้ เป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ การลดความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศจาก 0.15 ppm ไปที่ 0.05 ppm จะสามารถลดอัตราการกัดกร่อนของสังกะสีลงได้สี่เท่า ส่วนอลูมิเนียมค่อนข้างจะทนต่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า

70% อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้น ละอองกรดซัลฟิวริกยังสามารถกัดกร่อนวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ได้อีกหลากหลายชนิด รวมทั้งหินปูน หินอ่อน หินชนวน กระเบื้องหลังคา และปูนซีเมนต์ โดยเมื่อทำปฏิกิริยาจะกลายเป็นสารละลายแคลเซียมซัลเฟตเกิดการสึกกร่อนขึ้น เมื่อถูกฝนชะล้างออกไป พื้นผิวหน้าวัสดุถูกเปิดการกัดกร่อนก็จะกินลึกลงไปเรื่อย ๆ นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริกจะทำให้เส้นใยล่อนลดความแข็งแรงลงด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

6.6.2 ผลกระทบของการตกสะสมของกรดต่อแหล่งน้ำ

เมื่อฝนกรดตกลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้แหล่งน้ำมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาเป็นอย่างมาก ปลาบางชนิดจะมีความไวต่อค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำ ปลาหลายชนิดจะหยุดขยายพันธุ์เมื่อค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำกว่า 5.5 นอกจากนั้นปริมาณของแพลงตอนจะลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำต่ำลง และจะมีผลต่อเนื่องถึงปลาและสัตว์น้ำต่าง ๆ เพราะแพลงตอนเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของปลาและสัตว์น้ำต่าง ๆ และในที่สุดห่วงโซ่อาหารจะถูกทำลายไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

6.6.3 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในด้านของระบบทางเดินหายใจเป็นหลัก ผลกระทบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ ปฏิกิริยาและความไวในการรับก๊าซนี้ของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน ผู้ที่ไวต่อสิ่งกระตุ้นในสิ่งแวดล้อม เช่น เป็นโรคหอบ หืด จะได้รับผลกระทบจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระดับที่สูงกว่าผู้ที่มิสุขภาพปกติผลกระทบของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อสุขภาพของประชาชนมีทั้งที่เป็นผลกระทบเฉียบพลันและเรื้อรังดังนี้

ก. ผลกระทบเฉียบพลัน

1) อาการระคายเคืองเยื่อต่าง ๆ ได้แก่ เยื่อตา เยื่อบุคอ และเยื่อบุทางเดินหายใจ ทำให้มีอาการแสบ คัน เคือง และอาจตามมาด้วยการติดเชื้อภายหลังจากการระคายเคือง

2) อาการผิดปกติต่อทางเดินหายใจทำให้เกิดการบีบรัดตัวของท่อทางเดินหายใจทั้งส่วนปลายและหลอดลมขนาดเล็ก ทำให้มีอาการหายใจลำบากมีอาการหอบหืด แน่นหน้าอก

3) สมรรถภาพการทำงานของปอดลดลง

4) อาการระคายเคืองต่อผิวหนัง

5) มีอาการใจสั่น หัวใจเต้นเร็วขึ้น หายใจเร็วขึ้น วิงเวียนศีรษะ ระบายประสาทสัมผัส และอาจมีอาการซึมเศร้าได้

ข. ผลกระทบเรื้อรัง

ทำให้ทางเดินหายใจทั้งส่วนบนและส่วนล่างอักเสบเรื้อรัง และมีโอกาสติดเชื้อทางเดินหายใจบ่อยขึ้นและง่ายขึ้นแต่ยังไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับมะเร็งปอด (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมควบคุมมลพิษ (2544) มีโครงการร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ในการศึกษาวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างการจราจรและคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร โดยการสนับสนุนข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศรายชั่วโมงในปี 2543 ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวม และก๊าซโอโซน ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศพบว่าสารมลพิษทางอากาศที่มีปัญหาในเขตกรุงเทพมหานคร คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยค่า PM_{10} CO NO_x และ NO_2 จะค่อนข้างสูงในช่วงต้นและปลายปี และเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงฤดูฝนในเดือนตุลาคม ระดับมลพิษมีค่าสูงในช่วงโมงเร่งด่วน ยกเว้น O_3 และ NO_2

Thkre and Koshi (2000) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำฝนในช่วงปี 1991 ถึงปี 1996 ที่ประเทศอินเดีย เมืองมัมไบ พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนต่อไนเตรทไอออน ในน้ำฝนที่เก็บได้มีค่าอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตเริ่มเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณการตกสะสมแบบเปียกของซัลเฟตและไนโตรเจน ตลอดปี 1991–1996 สรุปได้ว่าการตก

สะสมของซัลเฟอร์จะสูงกว่าการตกสะสมของไนโตรเจนในทุกปี ซึ่งมีอัตราการตกสะสมของซัลเฟอร์อยู่ในช่วง 2 - 55 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตรต่อปี

Parashar et al. (1999) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำฝน และอนุภาคในบรรยากาศของประเทศอินเดีย พบว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคดิน ซึ่งเต็มไปด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งทั้งสองชนิดถือเป็นตัวลดความเป็นกรดให้กับน้ำฝนได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าในช่วงที่มีฝนตกยาวนาน แคลเซียมและแมกนีเซียมจะน้อยลง เพราะค่าความเป็นกรดค้างมีค่าน้อยลง คือ เป็นกรดมาก ซึ่งค่าความเป็นกรดส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการที่ลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือที่ผ่านมหาสมุทรอินเดียพัดผ่านตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง

วินัย (2539) ได้ตรวจวัดความเป็นกรดของน้ำฝนและคุณภาพน้ำฝนในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยการเก็บตัวอย่างน้ำฝนในช่วงฤดูฝนของปี พ.ศ. 2536 ด้วยการวางถังพลาสติกรับน้ำฝนกลางแจ้ง ซึ่งในแต่ละตัวอย่างได้แบ่งน้ำฝน เป็น 3 ตัวอย่าง ทำการเก็บในช่วง 5 นาทีแรก ช่วง 15- 20 นาทีแรก และสุดท้าย 30 – 60 นาทีแรก จนได้ปริมาณ 1 ลิตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่ากรดค้าง ต่ำกว่า 5.6 เมื่อเวลาผ่าน 15 -20 นาที น้ำฝนมีค่ากรดค้างสูงขึ้น เนื่องจากมลพิษต่าง ๆ ถูกชะล้างออกจากบรรยากาศและภาพรวมของคุณภาพน้ำฝน มีลักษณะเป็นฝนกรด มีระดับของตะกั่วและแคลเซียมสูง ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก พบว่า ไม่เหมาะที่จะนำไปดื่มหรือนำไปประกอบอาหาร

ตารางที่ 7 คุณภาพน้ำฝนเฉลี่ยในกรุงเทพมหานคร และปริมาณที่ตรวจวัดในปี 2536

จุดเก็บ ตัวอย่าง	จำนวนครั้ง ที่ฝนตก	pH		ซัลเฟต (ppm)	คลอไรด์ (ppm)	แคลเซียม (ppm)	ตะกั่ว (ppm)	สังกะสี (ppm)
		0-5 (นาทีก)	15-20 (นาทีก)					
1	5	4.6	5.1	83.2	1.8	11.7	160.5	51.5
2	2	4.6	4.7	128.7	4.2	21.6	193.8	83.1
3	1	4.6	5.0	107.6	4.6	40.1	173.4	77.4
4	1	4.7	5.0	179.6	0.5	23.1	193.8	115.6
5	1	5.0	6.1	18.0	3.4	73.4	571.2	105.4
6	1	5.8	5.0	86.0	1.6	42.2	350.2	59.4
7	1	4.7	5.5	138.3	3.2	23.8	183.6	40.1
8	1	5.5	5.5	249.8	2.8	27.9	370.6	115.6
9	1	5.3	5.8	107.6	4.6	6.9	122.4	66.0

ที่มา: วินัย (2539)

8. โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร

โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร เป็นโครงการที่รัฐให้สัมปทานแก่เอกชน เพื่อสร้างและประกอบการระบบขนส่งมวลชน วิ่งบนทางระดับ 2 สายในกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานคร และเพื่อให้ประชาชนเกิดทางเลือกในการเดินทางที่มีประสิทธิภาพ โครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร นับว่าเป็นโครงการพัฒนาระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ในรูปของรถไฟฟ้ายกระดับ โดยวิ่งอยู่บนทางยกระดับ 2 สายในกรุงเทพมหานคร คือ สายสุขุมวิท และสายสีลม ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผ่านนี้เป็นพื้นที่สำคัญทางเศรษฐกิจและยังคงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพื้นที่ธุรกิจ และอยู่อาศัยหนาแน่นขึ้นเรื่อย ๆ แต่ด้วยความจำกัดของพื้นที่ถนนที่เป็นที่อยู่อาศัยอยู่ในปัจจุบัน มีแนวโน้มว่าหากไม่มีการเสริมประสิทธิภาพการขนส่งในบริเวณนี้ อาจจะมีผลกระทบต่อการจราจรได้

8.1 โครงสร้างของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร

8.1.1 โครงสร้างยกระดับและราง (viaduct and track)

โครงสร้างยกระดับและราง (viaduct and track) ที่ใช้ในการก่อสร้างโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานครออกแบบโครงสร้างให้เกิดความกลมกลืนกับทัศนียภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เพื่อป้องกันผลกระทบด้านมลพิษทางทัศนียภาพ นอกจากนี้ยังคำนึงถึงการป้องกันผลกระทบด้านเสียงที่จะเกิดขึ้นจากรถไฟฟ้าเป็นหลัก

โดยปกติโครงสร้างยกระดับจะออกแบบให้มีราง 2 ข้าง เพื่อให้รถไฟฟ้าวิ่งคู่ขนานกันได้ โดยตัวรางจะสูงจากระดับพื้นดินโดยทั่วไปประมาณ 12 เมตร ด้านข้างของรางจะมีกำแพงสูงประมาณ 1 เมตร ตลอดแนวรางเปรียบเสมือนกำแพงกันเสียงวิ่ง จะช่วยลดผลกระทบด้านเสียงอันอาจเกิดขึ้นสำหรับโครงสร้างของเสา จะออกแบบให้มีการหลบมุม ซึ่งจะช่วยให้เกิดผลดีต่อทัศนียภาพ อย่างไรก็ตามโครงสร้างของเสาที่ใช้ในการก่อสร้างมีอยู่หลายรูปแบบ โครงสร้างเสาเดี่ยวยื่นส่วนบน เป็นลักษณะโครงสร้างบนเกาะกลางถนนช่วงเส้นทางเดินรถทั่วไป โครงสร้างเสาคู่ลักษณะยกกว่า เป็นลักษณะโครงสร้างส่วนที่มีขนาดตามจุดขึ้นลงต่าง ๆ และโครงสร้างเสาเดี่ยวแบบซ้อน เป็นโครงสร้างยื่นต่างระดับในส่วนที่เปลี่ยนทิศทางเดินรถ (สี่แยกราชดำริ) ที่จะต้องประหยัดพื้นที่แนวรัศมีเปลี่ยนทิศทางแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้โครงสร้างชนิดเสาเดี่ยวยื่นส่วนบน ขนาด 2 x 2 เมตร แต่ละช่วงเสามีระยะห่างประมาณ 30–35 เมตร สำหรับโครงสร้างของเสาคู่นั้นขนาดของเสาจะเล็กลงเหลือประมาณ 1.75 x 1.75 เมตร

8.2 สถานีรับ – ส่งผู้โดยสาร

สำหรับบริเวณสถานี จะเน้นการออกแบบให้มีลักษณะโปร่งเบาตั้งอยู่บนโครงสร้างเสาเดี่ยวบนเกาะกลางถนนเช่นเดียวกับทางวิ่งบนเสาคอนกรีตมีคานยื่นออกมา ทั้งสองด้านกว้างประมาณ 19 เมตร หรือน้อยกว่า จึงไม่ปกคลุมพื้นที่ส่วนล่างทั้งหมด (ถนนรวมทางเดินเท้ากว้างประมาณ 30 – 35 เมตร) บางบริเวณจะใช้โครงสร้างแบบเสาคู่ขึ้นอยู่กับลักษณะของสถานี

8.2.1 โรงจอดและซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า (depot)

โรงจอดและซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าตั้งอยู่ที่สถานีขนส่งสายเหนือ (ตลาดหมอซิด) ในพื้นที่ 45 ไร่ ของการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ในบริเวณโรงจอดและซ่อมบำรุงยังประกอบด้วย ส่วนสำหรับจอดรถไฟฟ้า ส่วนสำหรับซ่อมบำรุงเขา ส่วนบริการความสะดวก โรงทำความสะอาดรถไฟฟ้า ส่วนซ่อมบำรุง ศูนย์ควบคุม/อำนวยการเดินรถ ห้องเครื่องมืออะไหล่ ที่จอดรถ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

8.2.2 ระบบรถไฟฟ้า

ระบบรถไฟฟ้าที่ใช้ในโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า รถไฟฟ้า BTS ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันเป็นผู้ผลิต โดยบริษัทซีเมนต์ เอจี จำกัด และบริษัทปอร์เวดีไซน์เป็นผู้ออกแบบตัวรถ เป็นรถไฟฟ้าชนิดปรับอากาศ ระบบยกกระดาน (ลอยฟ้า) ตัวถังรถเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์หรือเหล็กปลอดสนิม มีประสิทธิภาพสูงในการรับ – ส่งผู้โดยสารประมาณ 50,000 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ระบบรถจึงเป็นรถไฟฟ้าแบบมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลายในเมืองใหญ่ ๆ ทั่วไป โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนชนิดกระแสสลับ 16 เครื่อง ขนาด 2,720 กิโลวัตต์ ทำให้มีสมรรถนะในการขับเคลื่อนสูงและไม่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศวิ่งบนรางคู่ยกกระดานแยกทิศทางไปและกลับ มีรางป้อนกระแสไฟฟ้าอยู่ด้านข้าง ซึ่งมีความปลอดภัยสูงและมีผลกระทบต่อทัศนียภาพน้อยกว่าแบบที่มีสายไฟฟ้าด้านบน ระบบที่ใช้มีความคล่องตัวสูงและขยายระบบได้ ควบคุมการขับเคลื่อนด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ และไม่โครคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะในเรื่องความปลอดภัย เช่น ระบบป้องกันการชน ระบบควบคุมความเร็ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมเสียงภายนอกให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้โดยมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 67 เดซิเบล รวมทั้งบริเวณใต้สถานีรับ-ส่งผู้โดยสารได้กำหนดให้ติดตั้งระบบถ่ายเทอากาศและติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงเพื่อป้องกันเสียงสะท้อนด้วย

8.2.3 ขบวนรถไฟฟ้า

ขบวนรถไฟฟ้าประกอบด้วยรถจำนวน 3 – 6 คู่วางต่อกัน สามารถวิ่งกลับทิศทางได้ รถที่ใช้จะมีอยู่สองประเภทหลัก ๆ คือ รถชนิดที่มีห้องคนขับซึ่งมีมอเตอร์สามารถขับเคลื่อนได้ และรถชนิดที่ไม่มีห้องคนขับหรือรถพ่วงที่มีทั้งชนิดที่มีและไม่มีมอเตอร์ขับเคลื่อน ตัวรถและคันมี

ความกว้างประมาณ 3.20 เมตร ยาวประมาณ 20 เมตร สามารถรองรับผู้โดยสารได้ประมาณ 278 คน เป็นผู้โดยสารนั่ง 70 คน และผู้โดยสารยืน 208 คน (คำนวณจากผู้โดยสารยืน 6 คน ต่อตารางเมตร) แต่ละตู้มีประตูบานกว้างคู่ 1.30 เมตร จำนวน 4 บาน ทั้งสองด้านตัวถังรถทำด้วยอลูมิเนียมอัลลอยด์ หรือเหล็กปลอดสนิม ภายในตัวรถติดตั้งระบบปรับอากาศพร้อมหน้าต่างกัน