บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ที่แขวนลอยในบรรยากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องครอบคลุมหัวข้อดังต่อไปนี้

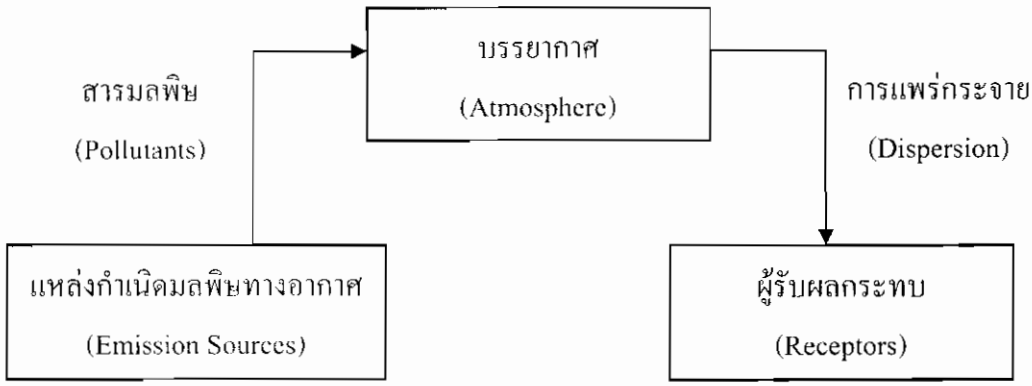
- มลพิษทางอากาศ
- ฝุ่นละออง
- การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ใช้ในงานวิจัย
- วิธีความควรจะเป็นสูงสุด
- การทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นชนิดต่าง ๆ กับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10}
- ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
- รอบการเกิดซ้ำ
- การลดการปล่อย PM_{10} จากแหล่งกำเนิด
- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสิ่งเจือปนอยู่ในปริมาณมากพอและระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุ โดยสิ่งเจือปนนี้อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษทางอากาศหลักที่สำคัญ คือ ฝุ่นละออง ตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซโอโซน

ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Air Pollution System) จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ที่มีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ (Emission Sources) บรรยากาศ (Atmosphere) และผู้รับผลกระทบ (Receptors) ดังแสดงในภาพที่ 1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 1 ระบบภาวะมลพิษอากาศ (นพภาพร พานิช, 2550)

จากส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษทางอากาศ จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ใด ๆ สภาวะทางอุตุนิยมวิทยา และสภาพภูมิประเทศ เป็นตัวกำหนดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในบรรยากาศที่อยู่ห่างไกลออกไป ซึ่งคุณภาพอากาศจะเป็นตัวกำหนดถึงลักษณะและความรุนแรงของผลกระทบหรือผลเสียหายที่เกิดขึ้นอีกทอดหนึ่ง (นพภาพร พานิช, 2550)

ฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) หมายถึง อนุภาคที่เป็นของแข็งหรือหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยในบรรยากาศหรือก๊าซที่แขวนลอยกระจายในบรรยากาศ อนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมโครเมตร ลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย และทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น (นพภาพร พานิช, 2550) สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา US.EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) แต่เนื่องจากมีการศึกษา วิจัย พบว่าฝุ่นขนาดเล็กจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนในและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA จึงได้ยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดย PM_{10} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มี

เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 10 ไมโครเมตร มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางตาม การขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบดย่อยหิน

ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหอบ และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนในวัยอื่น

ในประเทศไทยมีการให้ความหมายของคำว่าฝุ่นละอองไว้ดังนี้ ฝุ่นละอองหมายถึง ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 100 ไมโครเมตรลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมโครเมตรลงมา ซึ่งฝุ่นละอองนี้เป็นปัญหามลพิษสำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพฯ จากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพฯ มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในกรุงเทพฯ มีอัตราการเสียชีวิตก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000 - 5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนผู้เข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าหากลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ คิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 - 88,000 ล้านบาทต่อปี (นพภาพร พานิช, 2550)

ผลกระทบของอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ

1. ผลกระทบต่อบรรยากาศทั่วไป

เนื่องจากอนุภาคของฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศมีทั้งอนุภาคที่เป็นของแข็งและหยดละอองของเหลวซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับและหักเหแสงได้ จึงทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง (Visibility) และบดบังทัศนวิสัยในการมองเห็น ซึ่งถ้ามีปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศมากจนกลายเป็นหมอกอาจรบกวนการมองเห็นมากจนทำให้เกิดอันตรายในการสัญจรได้

นอกจากนี้ ฝุ่นละอองยังเข้าไปมีส่วนทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาและทำให้เกิดมลภาวะในอากาศรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะเกิดการรวมตัวกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ จะได้กรดซัลฟูริก ซึ่งมีอันตรายรุนแรงต่อระบบทางเดินหายใจและสิ่งแวดล้อม ดังกรณีตัวอย่างการเกิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ คือ โฟโตเคมีคัลสม็อก (Photochemical Smog) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก็

สามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซนให้ก๊าซซัลเฟอร์ออกมาได้อีก ถ้ามีอนุภาคในบรรยากาศช่วยและปฏิกิริยาจะยิ่งเกิดเร็วขึ้นถ้ามีอนุภาคในบรรยากาศมาก

2. ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่ตกกลับตามแรงดึงดูดของโลกและเกาะติดวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ทำให้เกิดเป็นความสกปรก นอกจากนี้อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยยังมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไว้ที่พื้นผิวของอนุภาค หรือจากชนิดของอนุภาคฝุ่นละอองเองที่เป็นชนิดที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตราย เมื่อเกาะติดวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างจึงสามารถทำอันตรายต่อสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ได้ เช่น ทำให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุที่ทำจากโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง เช่น การเสื่อมสภาพของผลงานทางศิลปะ เป็นต้น

3. ผลกระทบต่อพืช

อนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถตกลงมาสู่พืชแล้วจับเกรอะกรังบนส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยเฉพาะใบซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นผิวมาก และรับการตกลงมาเกาะของอนุภาคฝุ่นละอองได้ดี ดังนั้น จึงไปขัดขวางการหายใจของพืช ทำให้พืชหายใจได้อย่างจำกัด เป็นผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง อนุภาคฝุ่นละอองที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากขึ้นจึงมีส่วนเร่งรัดหรือขัดขวางการเจริญเติบโตของพืชได้ และถ้าฝุ่นละอองนั้นมีสารพิษปะปนอยู่ เช่น โลหะหนัก หรือปูนซีเมนต์ ทำให้พืชได้รับพิษเพิ่มจากสารต่าง ๆ นั้นอีกด้วย

4. ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

นอกจากฝุ่นละอองทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ โรคในระบบหัวใจ และหลอดเลือด ระดับความรุนแรงของอาการป่วยจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของฝุ่นละออง จากการศึกษาพบว่าอัตราการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และหลอดเลือดสูงขึ้น เมื่อมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในปริมาณมาก และมีโอกาสป่วยมากขึ้นในสถานที่ที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ผู้ใหญ่ที่อาศัยอยู่ในที่ที่มีฝุ่นมากมีโอกาสป่วยเป็นโรคในระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันได้สูงเป็นสองเท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองน้อยกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน และอาจถูกกำจัดออกมาด้วยการไอ จาม หรือกลืนเข้าไป ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าอาจเข้าไปติดอยู่ในส่วนเล็ก ๆ ของปอด โดยเมื่อฝุ่นขนาดเล็กถูกสูดเข้าร่างกายด้วยความเร็วลมจากการหายใจเข้า สัมผัสกับส่วนต่าง ๆ ของหลอดลมจะถูกแรงโน้มถ่วงพาให้ตกลงสู่ถุงลมปอด จากนั้นฝุ่นละอองอาจถูกขับออกโดยกลไกของร่างกาย เช่น เมื่อมีอัตราการหายใจสูงหรือหายใจแรง ๆ ฝุ่นจะออกมากับลมหายใจได้ (นพภาพร พานิช, 2550)

วิธีการที่ฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกาย มี 3 วิธี คือ

1. ทางจมูก โดยการหายใจเข้าไป ซึ่งฝุ่นละอองจะเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีนี้มากที่สุด

2. ทางปาก ได้รับโดยการที่ฝุ่นละอองในอากาศตกลงสู่อาหารแล้วมนุษย์กินเข้าไปซึ่งโดยวิธีการนี้จะมีฝุ่นละอองติดเข้าไปไม่มากนัก

3. ทางผิวหนัง ฝุ่นละอองจะปลิวมาติดอยู่ตามผิวหนัง จะดูดซับน้ำและน้ำมันออกทำให้ผิวแห้งเกิดการระคายเคือง ทำให้เป็นผื่นคัน

ดังนั้น อันตรายของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศทั่วไป วัตถุก่อสร้าง พืช และมนุษย์ จะก่อให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายมากน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่ได้รับและการเกิดปฏิกิริยาซึ่งแตกต่างกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลกระทบของความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่อสิ่งแวดล้อม (นัทธีรา สรรมณี, 2541)

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	สถานการณ์และเวลาที่ได้รับ	ผลกระทบ
50	ค่าเฉลี่ยรายปี	ค่ามาตรฐานของ PM_{10}
60-180	ตลอดปี ร่วมกับไอน้ำและ SO_2	เร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนของเหล็กและสังกะสี
150	สัมพันธ์กับความชื้นที่มีค่าน้อยกว่า 70%	ลดความสามารถในการมองเห็น
100-130	ร่วมกับ $SO_2 > 120$ mg/m^3	เกิดโรคทางเดินหายใจกับเด็กมากขึ้น
200	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ $SO_2 > 250$ mg/m^3	เพิ่มอัตราการเจ็บป่วยของคนงานและการหยุดงานที่เพิ่มขึ้น
300	ได้รับติดต่อกัน 24 ชั่วโมง และ $SO_2 > 630$ mg/m^3	ผู้ป่วยโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังจะอาการแย่ลง
750	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ $SO_2 > 715$ mg/m^3	เพิ่มปริมาณการตายและความเจ็บป่วยอย่างชัดเจน

แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

อนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศทั่วไป อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดนั้น หรือเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอล ทำให้เกิดเป็นอนุภาคขึ้นและแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารที่อยู่ในบริเวณแหล่งกำเนิดนั้นด้วยการแบ่งตามแหล่งกำเนิดอนุภาคฝุ่นละอองแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. อนุภาคฝุ่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle)

เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล ภูเขาไฟ ฯลฯ และเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอลของก๊าซ ซึ่งเกิดระหว่างก๊าซโอโซนในธรรมชาติ และสารไฮโดรคาร์บอน เป็นผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็กซึ่งมีรัศมีน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร

2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Particle) ยังแบ่งได้หลายประเภทดังต่อไปนี้

การคมนาคมขนส่ง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะหรือรถประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยควันดำ ซึ่งเป็นอนุภาคของคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล หรือการปล่อยควันขาวซึ่งเป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น นอกจากนี้ การขนส่งหิน ดินทราย ซีเมนต์ หรือวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ได้คลุมด้วยผ้าใบ หรือถนนสกปรกทำให้เกิดฝุ่นละอองติดอยู่ที่ล้อ หรือถนน ซึ่งขณะรถแล่นจะทำให้เกิดการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในอากาศ

การก่อสร้าง การก่อสร้างหลายชนิดมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นได้ง่าย เช่น อาคารสิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างถนน การก่อสร้างอาคารสูงทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกไปจากอาคารหรือการรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น ขี้เถ้าบิน (Coal Fly Ash) จากโรงงานไฟฟ้า กระบวนการผลิตที่มีฝุ่นออกมา เช่น การโม่หิน การผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมที่มีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ ยังสามารถทำให้เกิดอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีแสงระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเรียกว่า สม๊อกรีแอคชั่น ได้อนุภาคที่มีรัศมีขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร

การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง การเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุต่าง ๆ จะเกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชนิดต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ แล้วอาจจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

หรือถูกพัดพาไปโดยการพัดพาของอากาศและกระแสลม ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะแขวนลอยในบรรยากาศได้ไม่นานก็ตกกลับด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่า การตกกลับแบบแห้ง (Dry Deposition) ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร จะแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถตกกลับแบบเปียก (Wet Deposition) ได้ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคฝุ่นจะเข้าไปเป็นแกนกลางให้ไอน้ำเกาะแล้วรวมตัวอยู่ในเมฆ เรียกว่า Rain Out และการตกกลับโดยฝนตกชะเอาอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศลงมาเรียกว่า Wash Out (นพภาพร พานิช, 2550)

มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นการกำหนดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศสูงสุดซึ่งยินยอมให้มีได้ตามกฎหมาย โดยพิจารณาจากความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน ในประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2518 ต่อมาได้มีการประกาศปรับปรุงเพิ่มเติมค่ามาตรฐานในครั้งที่สองใน พ.ศ. 2538 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2535 โดยกรมควบคุมมลพิษ สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้มีการกำหนดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย

สารมลพิษ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมโครเมตร	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	1 ปี	ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	1 ปี	ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	1 ปี	ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ที่มา : 1. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 52ง. วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2538

2. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 104 ง. วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2547

3. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร ในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127 ตอนพิเศษ 37ง วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2553

การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เลือกใช้ในงานวิจัย

การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลมลพิษอากาศ โดยความเข้มข้นของ PM_{10} เป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระดับการปล่อยอนุภาคจากแหล่งกำเนิด สภาพอุตุนิยมวิทยา และสภาพภูมิศาสตร์ ซึ่งการเลือกการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสม จะช่วยให้เราสามารถพยากรณ์รอบการเกิดซ้ำ และการลดการปล่อย PM_{10} จากแหล่งกำเนิด ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนากลยุทธ์ในการควบคุมระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} นอกจากนี้ ยังมีประโยชน์ในการตรวจสอบความเหมือนและความแตกต่างของมลพิษทางอากาศในพื้นที่อื่น ๆ อีกด้วย (Kan & Chen, 2004)

จากการศึกษาที่ผ่านมา ได้มีผู้ศึกษาลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ในเมืองต่าง ๆ ได้ผลการศึกษาแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่ และได้การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} โดยสรุปคือ การแจกแจงล็อกนอร์มอล (Lognormal Distribution) (I u, 2002; Kan & Chen, 2004; Papanastasiou & Melas, 2010; Noor, Tan, Abdullah, Ramli, & Yahaya, 2011) การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution) (Yusof et al., 2010) การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution) (Lu, 2004; Noor et al., 2011) และการแจกแจงเพียร์สัน (Pearson distribution) (Gavriil, Grivas, Kassomenos, Chaloulakou, & Spyrellis, 2006; Mijic, Tasic, Rajsic, & Novakovic, 2009) เป็นต้น

การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ทั้งหมด (มานพ วราภักดิ์, 2548)

การแจกแจงล็อกนอร์มอล (Lognormal Distribution)

เมื่อตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงล็อกนอร์มอล เขียนแทนด้วย $X \sim LN(\mu,\sigma)$ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x)=\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), x>0$$

โดยที่ σ คือ พารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง $, \sigma>0$

μ คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด $, -\infty<\mu<\infty$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

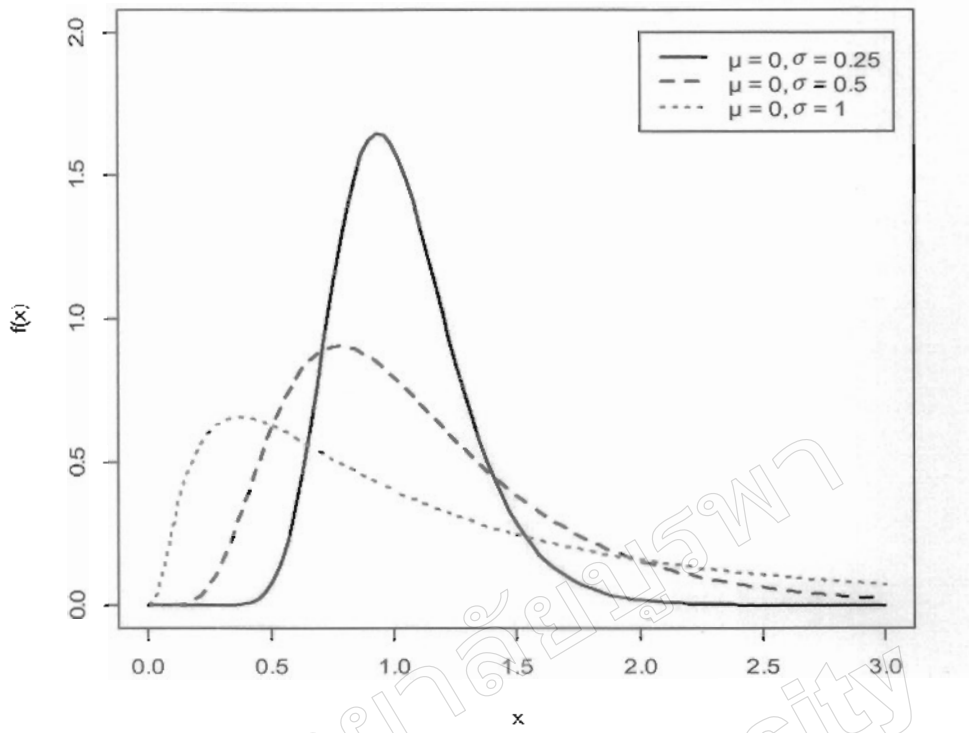
$$F(x)=\frac{1}{2}\left[1+erf\left(\frac{\ln x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right]$$

ฟังก์ชันค่าความคลาดเคลื่อน (Error function)

$$erf(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x \exp(-t^2)dt \quad , t \text{ คือ ค่าสังเกต}$$

กราฟการแจกแจงล็อกนอร์มอล เมื่อพารามิเตอร์มีค่าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการแจกแจงล็อกนอร์มอล

การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution)

เมื่อตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงไวบูลล์ เขียนแทนด้วย $X \sim W(\lambda, \beta)$ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x) = \frac{\beta}{\lambda}\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\beta-1} \exp\left[-(x/\lambda)^{\beta}\right], x \geq 0$$

โดยที่ β คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด $, \beta > 0$

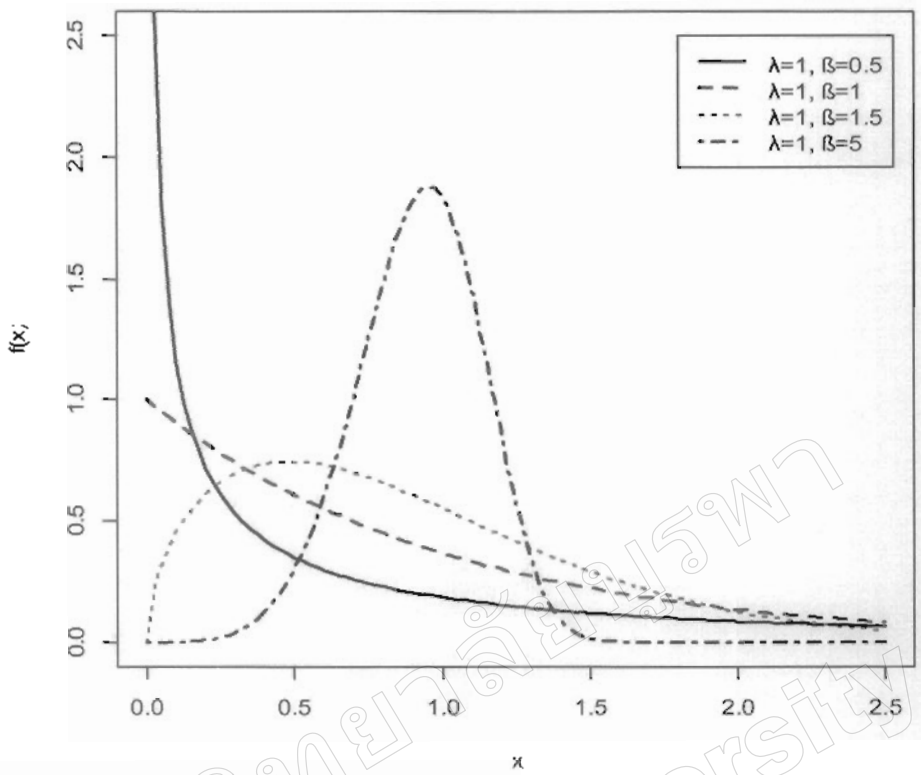
λ คือ พารามิเตอร์บ่งรูปร่าง $, \lambda > 0$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$F(x) = 1 - \exp\left[-(x/\lambda)^{\beta}\right]$$

กราฟการแจกแจงไวบูลล์ เมื่อพารามิเตอร์มีค่าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 3

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการแจกแจงไวบูลล์

การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution)

เมื่อตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแกมมา เขียนแทนด้วย $X \sim \Gamma(k,\theta)$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x)=\frac{1}{\Gamma(k)\theta^{k}}x^{k-1}\exp(-x/\theta),x\geq 0$$

โดยที่ θ คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด

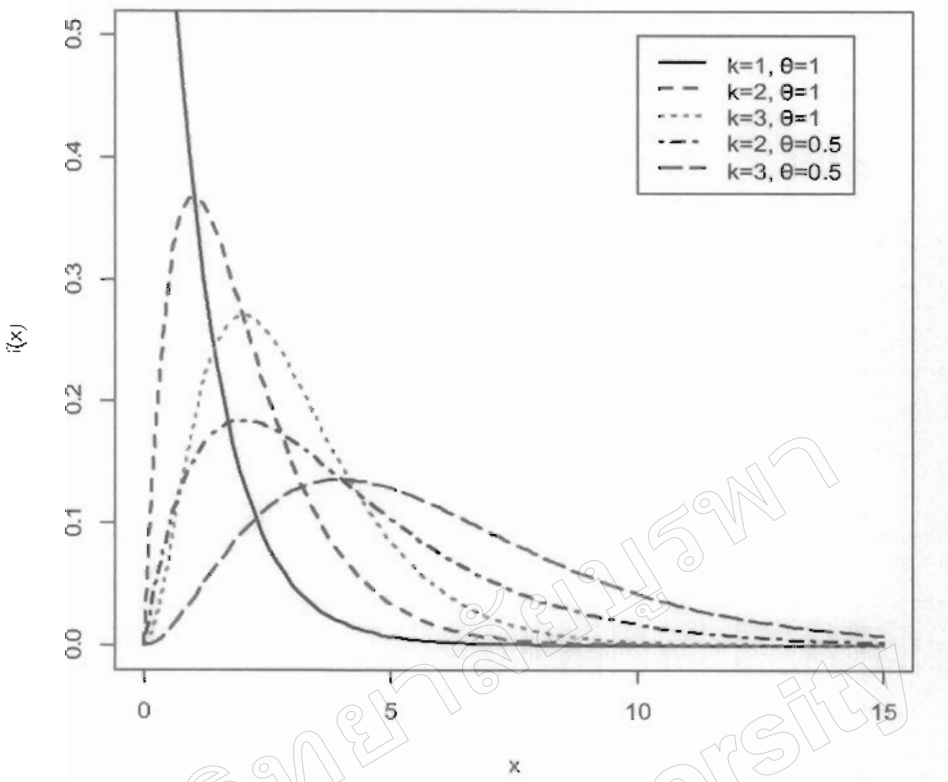
k คือ พารามิเตอร์บ่งรูปร่าง

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$F(x)=\sum_{i=k}^{\infty}\frac{(x/\theta)^{i}}{i!}\exp(-x/\theta)$$

กราฟการแจกแจงแกมมา เมื่อพารามิเตอร์มีค่าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการแจกแจงแกมมา

การแจกแจงเพียร์สัน (Pearson Distribution)

การแจกแจงเพียร์สัน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ การแจกแจงเพียร์สันชนิดที่ 1, 3, 4, 5 และการแจกแจงเพียร์สันชนิดที่ 6 ซึ่งการจำแนกชนิดของการแจกแจงเพียร์สันสามารถจำแนกได้ตามพารามิเตอร์ β_1 (ค่ากำลังสองของความเบ้) และ β_2 (ความโด่ง) ดังแสดงในภาพที่ 5

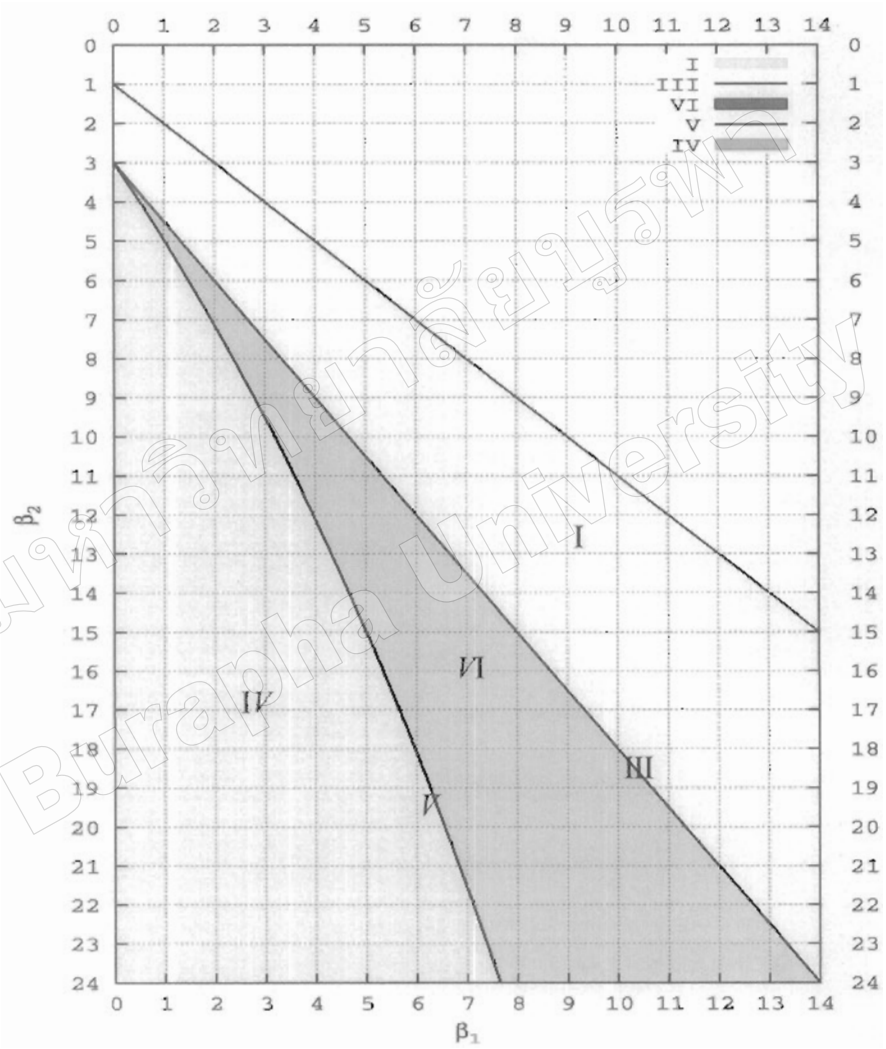
การแจกแจงเพียร์สันแต่ละชนิดมีรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับการแจกแจงความน่าจะเป็นอื่น ๆ ดังนี้

- การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 1 ได้แก่ การแจกแจงปรกติ (Normal Distribution) และการแจกแจงเบต้า (Beta Distribution)
- การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 3 ได้แก่ การแจกแจงปรกติ การแจกแจงไคกำลังสอง (Chi-Squared Distribution) การแจกแจงเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution) และการแจกแจงแกมมา
- การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 4 ได้แก่ การแจกแจงปรกติ และการแจกแจงโคชี (Cauchy Distribution)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 5 ได้แก่ การแจกแจงปรกติ การแจกแจงอินเวอร์สไคกำลังสอง (Inverse-Chi-Squared Distribution) และการแจกแจงอินเวอร์สแกมมา (Inverse-Gamma Distribution)

- การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 6 ได้แก่ การแจกแจงปรกติ การแจกแจงเบต้าไพม์ (Beta prime distribution) และการแจกแจงเอฟ (F-Distribution)



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงการจำแนกชนิดของการแจกแจงเพียร์สัน ตามค่าพารามิเตอร์ β_1 และ β_2 (http://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_distribution)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การแจกแจงเพียร์สันชนิดที่สอดคล้องกับการแจกแจงความน่าเป็นของข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ได้แก่ การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 5 และชนิดที่ 6 (Mijic et al., 2009; Gavriil et al., 2006)

การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 5 (Pearson Type V Distribution) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงอินเวิร์สแกมมา (Inverse-Gamma Distribution)

เมื่อตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงแบบอินเวิร์สแกมมา เขียนแทนด้วย

$X \sim Inv-Gamma(\alpha,\beta)$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x)=\frac{\exp(-\beta/x)}{\beta\Gamma(\alpha)(x/\beta)^{\alpha+1}},x>0$$

โดยที่ β คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด $,\beta>0$

α คือ พารามิเตอร์บ่งรูปร่าง $,\alpha>0$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$F(x)=\frac{\Gamma_{\beta' x}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

การแจกแจงเพียร์สัน ชนิดที่ 6 (Pearson Type VI Distribution) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงเบต้า ไพม์ (Beta Prime Distribution) หรือการแจกแจงเอฟ (F Distribution)

เมื่อตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงเอฟ เขียนแทนด้วย $X \sim F(\alpha_1,\alpha_2)$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x)=\frac{(x/\beta)^{\alpha_1-1}}{\beta B(\alpha_1,\alpha_2)(1+x/\beta)^{\alpha_1+\alpha_2}}$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$F(x)=1_{x/(x+\beta)}(\alpha_1,\alpha_2)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โดยที่ α_1, α_2 คือ พารามิเตอร์บ่งรูปร่าง $, \alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0$

β คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด $, \beta > 0$

γ คือ พารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง $, \gamma > 0$

B คือ ฟังก์ชันเบต้า

$$B(\alpha_1, \alpha_2) = \int_0^1 t^{\alpha_1 - 1}(1-t)^{\alpha_2 - 1} dt \qquad , \alpha_1, \alpha_2 > 0$$

I_x คือ Regularized Incomplete Beta Function

$$I_x(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{B_x(\alpha_1, \alpha_2)}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \qquad , \alpha_1, \alpha_2 > 0$$

B_x คือ Incomplete Beta Function

$$B_x(\alpha_1, \alpha_2) = \int_0^x t^{\alpha_1 - 1}(1-t)^{\alpha_2 - 1} dt \qquad , \alpha_1, \alpha_2 > 0 \text{ และ } 0 \le x \le 1$$

$, t$ คือ ค่าสังเกต

การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ระดับสูง

การแจกแจงแบบค่าสุดขีด (Extreme Value Distribution)

การแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ที่ระดับสูง มักมีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่แตกต่างออกไปจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ทั้งหมด ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นพื้นฐานอาจไม่เหมาะสมกับความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ที่ระดับสูง และอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการพยากรณ์ได้ การแจกแจงแบบค่าสุดขีด จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้เป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นของความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ที่ระดับสูง (Lu & Fang, 2003; Lu, 2004; Ercelebi & Toros, 2009; Mijic et al., 2009) ในการวิจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมมีการใช้การแจกแจงแบบค่าสุดขีดเป็นตัวแทนของการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลต่าง ๆ เช่น การศึกษาอัตราความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ได้แก่ PM_{10} ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน เป็นต้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การแจกแจงกัมเบลหรือการแจกแจงแบบค่าสุดขีด ชนิดที่ 1

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x)=\beta^{-1}\exp\left[-\left(\frac{x-\theta}{\beta}\right)\right]\exp\left[-\exp\left(-\left(\frac{x-\theta}{\beta}\right)\right)\right],\ -\infty<x<\infty$$

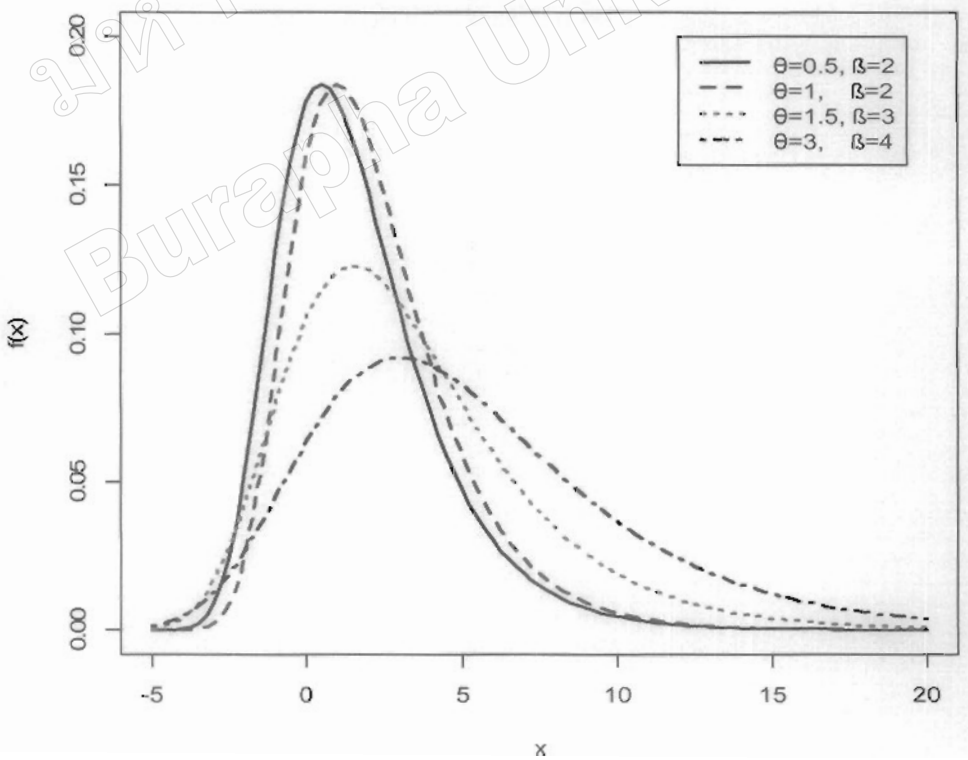
โดยที่ θ คือ พารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง ; $\theta>0$

β คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด ; $\beta>0$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$G(x)=\exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{x-\theta}{\beta}\right)\right]\right\},\ -\infty<x<\infty$$

โดยกราฟการแจกแจงกัมเบล เมื่อพารามิเตอร์มีค่าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงการแจกแจงกัมเบล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การแจกแจงเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลที่มีลักษณะแบบค่าสุดขีดส่วนมากมีการแจกแจงเลขชี้กำลัง (Lu & Fang, 2003; Lu, 2004)

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

$$f(x) = b_m \exp\left[-b_m(x_n - \phi)\right] \quad , \phi \le x_n < \infty$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$$F_L = 1 - \exp\left[-y_n\right]$$

เมื่อ $y_n = b_m\left(x_n - \phi\right)$

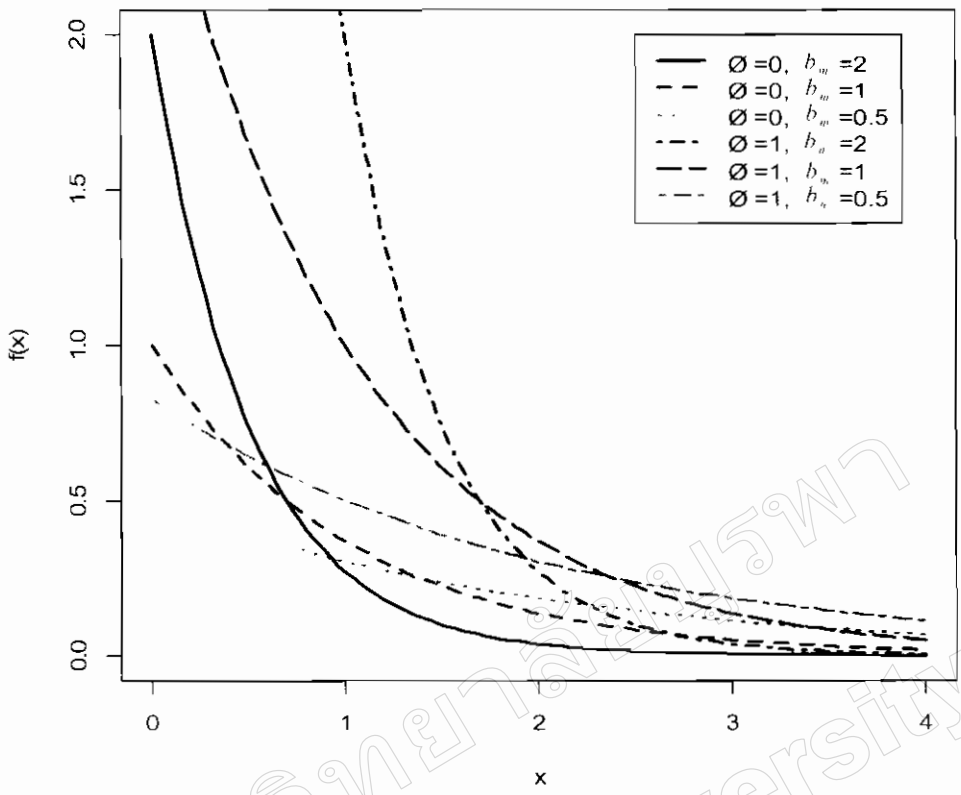
โดย b_m คือ พารามิเตอร์บ่งขนาด , $b_m > 0$

ϕ คือ พารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง , $\phi > 0$

x_n คือ ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่มีค่าเกินกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่กำหนด (สูงกว่า 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

โดยกราฟการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง เมื่อพารามิเตอร์มีค่าต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 7

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีความควรจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Method)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีความควรจะเป็นสูงสุด เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากตัวประมาณค่าชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ

1. ตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์ θ เป็นฟังก์ชันของสถิติพอเพียงของ θ

2. ในกรณีที่มีตัวประมาณซึ่งมีความแปรปรวนต่ำสุดเท่ากับขอบเขตล่างของพารามิเตอร์ θ ตัวประมาณนั้นอาจหาได้โดยวิธีความควรจะเป็นสูงสุด

3. ตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดอาจมีได้มากกว่า 1 ตัว

หลักการโดยทั่วไปในการหาตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด มีดังนี้

1. ให้ $X_1, X_2, \ldots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มจากประชากรที่มีฟังก์ชันความหนาแน่น $f(x;\theta)$, $\theta \in \Omega$

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

2. หาฟังก์ชันความหนาแน่นร่วมของตัวอย่างสุ่มนั้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์ θ นั่นคือ

$$L(x;\theta) = L(x_1, x_2, ..., x_n;\theta) \ , \ \theta \in \Omega$$

$$= f(x_1;\theta) \cdot f(x_2;\theta) \cdot ... \cdot f(x_n;\theta) \ = \prod_{i=1}^{n} f(x_i;\theta)$$

3. ถ้าฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น $L(\theta)$ เป็นฟังก์ชันที่หาอนุพันธ์ได้ (Differentiable function) เมื่อเทียบกับ θ อาจใช้อนุพันธ์หาตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดของ θ ได้ เมื่อเรนจ์ของ $f(x;\theta)$ ไม่ขึ้นอยู่กับ θ และ θ อยู่ในช่วงจำนวนจริงช่วงหนึ่ง ในกรณีดังกล่าว $\hat{\theta}$ คือรากของสมการ

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$$

เงื่อนไขพอเพียง (Sufficient condition) ที่ $\hat{\theta}$ ทำให้ $L(\hat{\theta}) \geq L(\theta), \ \theta \in \Omega$ คือ

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \theta^2} < 0$$

เมื่อ $\theta = \hat{\theta}$

4. การใช้อนุพันธ์หาตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุด ในหลายกรณีใช้ $\ln L$ จะสะดวกกว่าที่จะใช้ L ควรสังเกตว่า

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial \theta}$$

และ $L > 0$ ดังนั้นเมื่อให้

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta} = 0$$

337473

เราจะได้ $\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0$ ด้วย นอกจากนี้เมื่อ

$$\frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta^2} < 0$$

ก็จะทำให้ $\frac{\partial^2 L}{\partial \theta^2} < 0$ ด้วย

5. ที่จุด θ - $\hat{\theta}$ จะทำให้ $\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \ln L(x;\theta) < 0$ ดังนั้น $\hat{\theta}$ จะเป็นตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดของ θ

ตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์หลายตัว ในกรณีที่พารามิเตอร์ θ เป็นเวกเตอร์ $\underline{\theta} = (\theta_1,....,\theta_k)$ อาจหาตัวประมาณค่าความควรจะเป็นสูงสุดของ $\theta_1,...,\theta_k$ ที่ปรากฏอยู่ในฟังก์ชันความหนาแน่น $f(x;\theta_1,....\theta_k)$ ได้ โดยใช้หลักเกณฑ์เดิม นอกจากนั้น ตัวแปรสุ่มแต่ละตัวของตัวอย่างสุ่ม $X_1, X_2,..., X_n$ ยังอาจเป็นเวกเตอร์ได้ด้วย

การทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นชนิดต่าง ๆ กับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10}

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการตรวจสอบความเหมาะสมของการแจกแจงความน่าจะเป็นชนิดต่างกับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} 2 วิธี คือ

การทดสอบโคลโมโกรอฟ สเมอร์นอฟ (Kolmogorov Smirnov test)

สมมติฐาน H_0 : ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

H_1 : ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ไม่มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

สถิติที่ใช้ทดสอบ

$$D = Max\left|F(x) - \hat{F}(x)\right|$$

เมื่อ

D คือ ค่าสูงสุดของผลต่างระหว่าง $F(x)$ กับ $\hat{F}(x)$ โดยไม่คิดเครื่องหมาย

$F(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10}

$\hat{F}(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ต้องการทดสอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าวิกฤต

หาค่า D_α จากตารางค่าวิกฤตของโคลโมโกรอฟ สเมอร์นอฟ ที่ระดับนัยสำคัญ α ขนาดตัวอย่าง N

การสรุปผล

ถ้าค่าสถิติทดสอบ $D > D_\alpha$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ไม่มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย แต่ถ้าค่าสถิติทดสอบ $D \le D_\alpha$ จะไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

การทดสอบแอนเดอร์สัน ดาร์ริง (Anderson Darling test)

สมมติฐาน H_0 : ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

H_1 : ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ไม่มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

สถิติที่ใช้ทดสอบ

$$A_N^2 = N\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\left[F(x)-\hat{F}(x)\right]^2}{\hat{F}(x)\left[1-\hat{F}(x)\right]}\hat{f}(x)dx$$

$$= -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(2i-1)\left\{\ln\hat{F}\left(X_{(i)}\right)+\ln\left[1-\hat{F}\left(X_{(n-i+1)}\right)\right]\right\}-N$$

เมื่อ

A_N^2 คือ ค่าสถิติทดสอบ

$F(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10}

$\hat{F}(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ต้องการทดสอบ

ค่าวิกฤต

หาค่า $a_{N,1-\alpha}$ จากตารางค่าวิกฤตของแอนเดอร์สัน ดาร์ริง ที่ระดับนัยสำคัญ $1-\alpha$ ขนาดตัวอย่าง N

การสรุปผล

ถ้าค่าสถิติทดสอบ $A_N^2 > a_{N,1-\alpha}$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ไม่มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย แต่ถ้าค่าสถิติทดสอบ $A_N^2 \le a_{N,1-\alpha}$ จะไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงตามที่คาดหมาย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รอบการเกิดซ้ำ (Return Period)

รอบการเกิดซ้ำ (Return Period , $R(x_t)$) หรือช่วงของการเกิดซ้ำ (Recurrence Interval) คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่เหตุการณ์สุ่มที่พิจารณาจะเกิดซ้ำอีก โดยหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

กรณีการแจกแจงเลขชี้กำลัง

$$R(x_t) = \frac{1}{(1-f)(1-F_L(x_t))}$$

เมื่อ $F_L(x_t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม

$R(x_t)$ คือ ระยะเวลาที่เหตุการณ์นั้นจะกลับมาเกิดซ้ำอีก

x_t คือ ค่าวิกฤติ (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

f คือ ค่าเปอร์เซนต์ไทล์ที่กำหนด

กรณีการแจกแจงกัมเบล

$$R(x_t) = \frac{1}{1-G_{mn}(x_t)}$$

เมื่อ $R(x_t)$ คือ ระยะเวลาที่เหตุการณ์นั้นจะกลับมาเกิดซ้ำอีก

$G_{mn}(x_t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงกัมเบล

x_t คือ ค่าวิกฤติ (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ตัวอย่างเช่น การเกิดน้ำหลากที่มีรอบการเกิดซ้ำเป็น 100 ปี หมายถึง ในรอบ 100 ปี จะมีน้ำหลากเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยหนึ่งครั้ง ซึ่งอาจจะเกิดปีใดก็ได้ (สมาน ปราการรัตน์, 2551)

การลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด (Emission Sources Reduction)

การลดมลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิด (*ESR*) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การแจกแจงเลขชี้กำลัง

$$ESR = \frac{x_t - \bar{x}}{x_t} \times 100 \pm S_{x_t}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่มีค่าเกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

x_c คือ ค่าวิกฤต (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยค่าสังเกต

$S_{y_{est}}$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยการแจกแจงเลขชี้กำลัง

โดยค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สามารถหาได้ดังนี้

$$S_{y_{est}} = S_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_c - \bar{x})^2}{(n-1)S_x^2}}$$

เมื่อ x_c คือ ค่าวิกฤต (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

S_y คือ ค่าคลาดเคลื่อนของ y

S_x คือ ค่าคลาดเคลื่อนของ x

กรณีที่ 2 การแจกแจงกัมเบล

$$ESR = \frac{x_c - \bar{x}}{x_c} \times 100 \pm S_c$$

เมื่อ x คือ ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่มีค่าสูงสุดในแต่ละเดือน

x_c คือ ค่าวิกฤต (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต

S_c คือ ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยการแจกแจงกัมเบล

โดยค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สามารถหาได้ดังนี้

$$S_c = \left[\frac{1}{N}\left(1 + 1.1396K + 1.1K^2\right)\right]^{1/2} s$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของ PM_{10} ที่มีค่าสูงสุดในแต่ละเดือน

$R(x_i)$ คือ รอบการเกิดซ้ำ

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left\{0.5772 + \ln\left(\ln\left(\frac{R(x_i)}{R(x_i)-1}\right)\right)\right\}$$

ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE)

เกณฑ์การเลือกการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ทั้งหมด จะพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าที่แท้จริงกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากการแจกแจงความน่าจะเป็นที่คาดหมาย โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยการแจกแจงความน่าจะเป็นใดให้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดแสดงว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นนั้นเหมาะสมสำหรับข้อมูลกลุ่มนั้น

การคำนวณค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย แสดงดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x}_i)^2\right)}$$

เมื่อ x_i คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน

$\hat{x}_i$ คือ ค่าพยากรณ์

n คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ในการสร้างสมการสำหรับพยากรณ์ มีค่าสถิติที่อธิบายความเชื่อมั่นของสมการที่สร้างขึ้น คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงหรือผันแปรของตัวแปรตาม โดย R^2 เป็นค่าสถิติที่ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม มีค่ามาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ร้อยละที่ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามมีค่าน้อย โดย R^2 คำนวนได้ดังนี้

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

$$= 1 - \frac{\sum \left(Y_i - \hat{Y}\right)^2}{\sum \left(Y_i - \bar{Y}_i\right)^2}$$

เมื่อ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

Y_i คือ ค่าสังเกตุ

$\hat{Y}$ คือ ค่าพยากรณ์

$\bar{Y}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตุ

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแจกแจงความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10}

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของมลพิษทางอากาศไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมลพิษทางอากาศเหล่านั้น ได้แก่ PM_{10} SO_2 และ NO_2 มลพิษทางอากาศเหล่านี้มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และจากผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ส่วนใหญ่มีการแจกแจงล็อกนอร์มอล (Lu, 2002; Kan & Chen, 2004; Papanastasiou & Melas, 2010; Noor et al., 2011) สำหรับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ SO_2 และ NO_2 พบว่ามีการแจกแจงเพียร์สันชนิดที่ 5 และการแจกแจงแบบค่าสุดขีด ตามลำดับ (Kan & Chen, 2004)

อย่างไรก็ตาม ในเขตพื้นที่ที่แตกต่างกันก็อาจมีผลทำให้ข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่แตกต่างออกไป ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น จากการศึกษาของ Yosof et al. (2010) พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ใน Seberang Perai ประเทศมาเลเซีย ในปี 2000 – 2002 มีการแจกแจงล็อกนอร์มอลและในปี 2003-2004 มีการแจกแจงไวบูลล์

Lu (2004) ได้ศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในไต้หวัน พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงแกมมา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Noor et al. (2011) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ใน Nilai Negeri Sambilan ประเทศมาเลเซีย ในปี 2006-2007

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในปี 2003-2005 ประเทศเซอร์เบีย พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงเพียร์สันชนิดที่ 5 (Mijic

et al., 2009) สำหรับประเทศกรีซ พบว่า ความเข้มข้นของ PM_{10} มีการแจกแจงเพียร์สันชนิดที่ 6 (Gavriil et al., 2006)

การแจกแจงแบบค่าสุดขีด (Extreme Value Distribution)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งการแจกแจงความน่าจะเป็นพื้นฐานที่ใช้เป็นตัวแทนของความเข้มข้นของมลพิษอากาศนั้น มักไม่เหมาะสมกับข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ที่ระดับสูงและอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการพยากรณ์ค่าที่ระดับความเข้มข้นสูงได้

การแจกแจงของค่าสุดขีดเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้เป็นตัวแทนการแจกแจงความน่าจะเป็นของมลพิษอากาศที่ระดับความเข้มข้นสูง ทฤษฎีนี้ประสบความสำเร็จในการนำมาประยุกต์ใช้กับปรากฏการณ์ทางสิ่งแวดล้อม เช่น ความเร็วลม ฝน และคุณภาพอากาศ เป็นต้น ดังนั้น วิธีนี้จะเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์ความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ที่ระดับสูง โดยในปี 2009 Ercelebi and Toros ได้ศึกษาข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ SO_2 และ NO_2 ที่ระดับสูง พบว่า มีการแจกแจงแบบค่าสุดขีดชนิดที่สอง (Type II Exterme Value Distribution) สำหรับข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ที่ระดับสูง พบว่า มีการแจกแจงเลขชี้กำลัง (Exponential Distribution) (Lu & Fang, 2003; Lu, 2004) และการแจกแจงกัมเบล (Mijic et al., 2009)

รอบการเกิดซ้ำและการลดการการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด

การพยากรณ์รอบการเกิดซ้ำและปริมาณการลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด สามารถนำมาใช้ในจัดการปัญหาการลดมลพิษจากแหล่งกำเนิด และใช้ในการพัฒนากลยุทธ์ในการจัดการปัญหามลพิษอากาศได้ ซึ่งถ้าเราทราบการแจกแจงความน่าจะเป็นที่เหมาะสมกับข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศแล้ว ก็จะสามารถใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อพยากรณ์รอบการเกิดซ้ำ และปริมาณการลดการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีผู้ประสบความสำเร็จในการนำการแจกแจงแบบค่าสุดขีดมาใช้ เช่น การแจงแจงเลขชี้กำลัง (Lu & Fang, 2003; Lu, 2004) การแจกแจงเชิงเส้นกำกับชนิดที่ 1 (Type I Asymptotic Distribution) หรือการแจกแจงกัมเบล (Gumbel Distribution) (Lu & Fang, 2003; Mijic et al., 2009) และการแจกแจงแบบค่าสุดขีดชนิดที่ 2 (Type II Exterme Value Distribution) (Ercelebi & Toros, 2009) มาใช้ในการพยากรณ์รอบการเกิดซ้ำและความน่าจะเป็นที่ PM_{10} จะมีความเข้มข้นเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ (Exceedance Probability) นอกจากนี้ยังมีการแจกแจงความน่าจะเป็นอื่นที่ใช้ในการพยากรณ์รอบการเกิดซ้ำและความน่าจะเป็นที่ PM_{10} จะมีความเข้มข้นเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศอีกด้วย เช่น การแจกแจงล็อกนอร์มอล การแจกแจงไวบูลล์ และการแจกแจงแกมมา (Noor et al., 2011; Yusof et al.,2010)

Papanastasiou and Melas (2010) ได้ศึกษาข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในประเทศกรีซพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} มีการแจกแจงล็อกนอร์มอล และยังประสบความสำเร็จในการพยากรณ์ค่าความน่าจะเป็นที่ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศและปริมาณการลดการปล่อย PM_{10} จากแหล่งกำเนิดด้วยการแจกแจงล็อกนอร์มอล

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University