

บทที่ 4

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมที่พบในตัวอย่างอากาศที่เก็บจากบริเวณตลาดหางดง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นเขตควบคุมมีปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมมากกว่าอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บจากอากาศบริเวณตลาดวโรรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ซึ่งเป็นเขตศึกษา ทั้งที่บริเวณตลาดวโรรสเป็นบริเวณที่มีรถจักรยานยนต์และรถยนต์แล่นผ่านและติดขัดเป็นจำนวนมากกว่า ผลการศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Buckley และคณะ (1997) ที่ได้ศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมในเขตเมือง Lower Gio Grande Valley มลรัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1993 พบว่าในเขตเมืองมีปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมสูงกว่าเขตนอกเมือง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าถึงแม้บริเวณตลาดวโรรสที่เป็นเขตในเมือง มีจำนวนรถที่มากกว่าบริเวณตลาดหางดง ที่เป็นเขตนอกเมือง แต่ส่วนใหญ่รถที่แล่นผ่านเป็นรถจักรยานยนต์ และรถยนต์ 3 และ 4 ล้อ การเคลื่อนตัวของรถช้ามากเพราะการจราจรติดขัด แต่บริเวณตลาดหางดงส่วนใหญ่มีรถยนต์ 4 ล้อขึ้นไปแล่นผ่านเร็วมาก การจราจรไม่ติดขัด จึงทำให้มีการฟุ้งกระจายของอนุภาคฝุ่นรวมบริเวณถนนรอบ ๆ ทำให้อนุภาคฝุ่นรวมเข้าสู่เครื่องเก็บอากาศมากกว่า

ปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 1 และ 2 ของทั้งเขตศึกษาและเขตควบคุม มีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 1 บริเวณตลาดหางดง ปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมได้มากกว่าเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากว่าบริเวณที่ตั้งของเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 1 ตั้งอยู่บนทางเท้า และรอบ ๆ บริเวณพื้นดินที่ตั้งเครื่องสามารถเกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจากเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 2 ที่ตั้งอยู่บนทางเท้าเช่นกัน แต่รอบ ๆ บริเวณเป็นพื้นซีเมนต์ ส่วนที่บริเวณตลาดวโรรสพบว่าเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 1 มีปริมาณอนุภาคฝุ่นรวมน้อยกว่าเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากจุดตั้งเครื่องเก็บอากาศเครื่องที่ 2 เป็นย่านการค้า มีผู้คนสัญจรเดินผ่านไปมา และอยู่ใกล้ท่ารถสำหรับเดินทางไปยังอำเภอด้วย เป็นเหตุให้มีการฟุ้งกระจายของอนุภาคฝุ่นรวมเข้าสู่เครื่องเก็บอากาศมากกว่าเครื่องที่ 1 ที่ตั้งอยู่บริเวณทางเท้าริมแม่น้ำปิงซึ่งเป็นที่โล่ง และมีผู้คนสัญจรไปมาน้อยกว่า

หลังจากการเก็บอากาศในแต่ละเขตแล้ว ได้มีการนำแผ่นกรองที่เก็บอากาศมาสกัดโดยวิธี hot acid extraction ซึ่งประยุกต์จากวิธีของ อรุบลและคณะ (2541) และวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณตะกั่วและแคดเมียม โดยได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการสกัดได้ % recovery อยู่ระหว่าง 60-80% แสดงว่ามีการสูญเสียตัวอย่างในกระบวนการสกัด ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้กรดไนตริกเข้มข้น

ขึ้นกับสารสกัด และต้องอยู่ในระบบปิดด้วย แต่การศึกษานี้ไม่ได้ใช้การสกัดแบบระบบปิดสนิทจึงทำให้มีการสูญเสียตัวอย่างในระหว่างการสกัดตะกั่วและแคดเมียมไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุในการไม่ได้ใช้วิธีของ U.S.EPA (1999a : 1999b) โดยตรงเนื่องจากในการสกัดแต่ละครั้งไม่สามารถควบคุมการสกัดเพื่อให้ได้ค่า %recovery ที่ดีที่สุดได้จึงต้องทำการประยุกต์วิธีการสกัด จากทั้งวิธีของ U.S.EPA (1999a : 1999b) และ อรุบล และคณะ (2541)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมพบว่าระดับตะกั่วและแคดเมียมในอากาศบริเวณตลาดวโรรส สูงกว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในอากาศที่เก็บจากบริเวณตลาดหางดง สอดคล้องกับการศึกษาของ Gerdol และคณะ (2002) ที่ศึกษาปริมาณ PAHs, Cd, Pb, Cr, Fe, Ni และ Zn ที่พบในอากาศบริเวณย่านชุมชนเมืองพบว่าปริมาณสูงกว่าในอากาศเขตชนบท และการศึกษาของ Ieradi และคณะ (1996) ที่ทำการศึกษารายปริมาณโลหะหนัก ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี ในอวัยวะของกบที่อาศัยในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นพบว่ามีความสูงกว่าในกบที่อาศัยบริเวณนอกเมืองที่มีการจราจรเบาบางกว่า

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าระดับของตะกั่วสูงในเดือนมกราคม และกุมภาพันธ์ ทั้งบริเวณตลาดวโรรสและบริเวณตลาดหางดง และแคดเมียมมีปริมาณสูงในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน ทั้งบริเวณตลาดวโรรสและบริเวณตลาดหางดง แต่ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในเดือนธันวาคมเพียงเดือนเดียวที่เก็บได้จากตัวอย่างอากาศบริเวณตลาดหางดงสูงกว่าบริเวณตลาดวโรรส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าช่วงเดือนแรก ๆ ที่มีการเก็บอากาศมีการก่อสร้างที่บริเวณตลาดหางดง ซึ่งใกล้กับจุดที่ตั้งเครื่องเก็บอากาศอาจจะส่งผลให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นที่มีการปนเปื้อนตะกั่วและแคดเมียมจากการก่อสร้างเข้าสู่เครื่องเก็บอากาศ ปริมาณตะกั่วในอากาศมีระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ตามที่คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดไว้ในปี 2538 ซึ่งระบุว่าค่าเฉลี่ยของตะกั่วในบรรยากาศในเวลา 1 เดือนไม่ควรเกิน 1.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ามีการงดใช้น้ำมันที่มีส่วนประกอบของสารตะกั่ว จึงทำให้ปริมาณตะกั่วที่พบในอากาศเมืองเชียงใหม่มีน้อยลงไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมถึงปริมาณของแคดเมียมซึ่งมักรวมอยู่ในแร่ตะกั่วด้วย

ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในอากาศแตกต่างจากตะกั่ว คือปริมาณของแคดเมียมในอากาศที่บริเวณตลาดวโรรส มีค่าสูงกว่าบริเวณตลาดหางดงเกือบทุกเดือนที่มีการเก็บตัวอย่างอากาศมาวิเคราะห์ ทั้งนี้นอกเหนือจากการที่บริเวณตลาดวโรรสมีการจราจรคับคั่ง มีไอเสียรถยนต์ถูกปล่อยออกมามากและอาจเนื่องมาจากบริเวณตลาดวโรรสอยู่ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ที่มีร้านค้าที่เป็นร้านเกษตร ขายปุ๋ย เครื่องปั้นดินเผา พลาสติก อะลูมิเนียมอัลลอยด์ และการเชื่อมโลหะ รวมถึงร้านซ่อมรถมอเตอร์ไซด์ ถึงแม้ว่าร้านเหล่านี้จะไม่ได้อยู่ใกล้กับบริเวณจุดตั้งเครื่องเก็บอากาศ แต่

อาจเป็นไปได้ว่า ฝุ่น คาร์บอน และไอระเหยจากการประกอบอาชีพจากร้านเหล่านี้มีส่วนประกอบของ แคลเดียมอยู่และส่งผลทำให้ปริมาณของแคลเดียมที่พบบริเวณตลาดควโรรสสูงกว่าบริเวณตลาดหางดง ที่มีจำนวนร้านค้าน้อยกว่า แม้ว่าเป็นร้านค้าในลักษณะเดียวกัน

ปัญหาและอุปสรรคในการเก็บตัวอย่างอากาศที่เกิดขึ้น เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณตะกั่วและแคลเดียมในช่วงฤดูหนาวตั้งแต่เดือนธันวาคม 2545 ถึงเดือนเมษายน 2546 ซึ่งเป็นช่วงปีที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศมีการแปรปรวนของสภาวะอากาศโดยเกิดฝนตกเป็นช่วง ๆ ทำให้ขาดความต่อเนื่องในการเก็บตัวอย่างอากาศ รวมถึงความแตกต่างของปริมาณฝนที่ตกบริเวณตลาดควโรรสและตลาดหางดง ถึงแม้ว่าการเก็บอนุภาคฝุ่นได้กระทำหลังวันที่มีฝนตกแล้ว 3 วันก็ตาม นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บอนุภาคฝุ่นรวมหากมีฝนตกเกิดขึ้นต้องมีการปิดเครื่องเก็บอากาศเพื่อความปลอดภัย ซึ่งเกิด 2 ครั้งในระหว่างการทำวิจัยครั้งนี้ จึงอาจมีผลทำให้ได้ปริมาณโลหะที่ตลาดเคลื่อนเล็กน้อย การเก็บตัวอย่างอากาศมีปัญหาพอสมควร เนื่องจากบริเวณที่ทำการศึกษามีผู้คนพลุกพล่าน ยากต่อการดูแลควบคุมเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่อาจมีการเคลื่อนที่ได้เล็กน้อยจากการชน หรือล้มด้วยแรงลมได้ รวมถึงการขอใช้ไฟฟ้าที่มีปัญหาในบางครั้งเนื่องจากถูกถอดปลั๊กไฟที่อาจเกิดจากเครื่องเก็บอากาศมีเสียงดังทำให้เกิดความรำคาญ และข้อจำกัดของเครื่องเก็บอากาศที่มีจำนวน 2 เครื่องแต่ต้องตั้งเครื่องในแต่ละเขต 2 จุดเพื่อที่จะให้เพียงพอต่อการนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วและแคลเดียม รวมถึงการศึกษาการเกิดไมโครนิวเคลียสโดยการเหนี่ยวนำของอนุภาคฝุ่นรวม ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างอากาศได้พร้อมกันทั้ง 2 เขตไม่ว่าจะเป็นเขตควบคุม (ตลาดหางดง) หรือเขตศึกษา (ตลาดควโรรส)

สรุปได้ว่าปัจจัยที่ทำให้มีปริมาณตะกั่วและแคลเดียมมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ สภาพพื้นที่ บริเวณที่เก็บอากาศ ปริมาณรถ การถ่ายเทอากาศ และอุณหภูมิ แม้ว่าปริมาณตะกั่วและแคลเดียมที่เก็บได้จากตัวอย่างอากาศทั้งบริเวณตลาดควโรรสและตลาดหางดง จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณน้อยมาก แต่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ หากมีการได้รับอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมโดยวิธีไมโครนิวเคลียสในหลอดทดลองโดยใช้เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซตพบว่า สารละลายมาตรฐานตะกั่วอะซีเตตและแคลเดียมอะซีเตตสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสเพิ่มสูงขึ้นได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Fatur และคณะ (2002) ซึ่งทำการศึกษาค่าผิดปกติของยีนส์ในเซลล์ตับคน (HepG2) โดยวิธี comet assay และ micronucleus พบว่าแคลเดียมคลอไรด์สามารถทำให้เกิดการทำลายดีเอ็นเอใน HepG2 เซลล์ได้ และยังสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสในเซลล์เพิ่มสูงขึ้นด้วย

จากผลการวิจัยพบว่าสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศทั้งบริเวณตลาดควโรรสและตลาดหางดง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสเพิ่มสูงขึ้นได้ โดยเพิ่มสูงตาม

ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการศึกษาของ Humfrey และคณะ (1996) ที่ศึกษาการเหนี่ยวนำการเกิดไมโครนิวเคลียสโดยสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมตั้งแต่ความเข้มข้น 1-10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เซลล์ MCL-5 และการศึกษาของ Ieradi และคณะ (1996) ที่ได้ศึกษาถึงความผิดปกติของยีน โดยใช้วิธีเดียวกัน พบว่าหนูที่อาศัยในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งมีความถี่ของการเกิดไมโครนิวเคลียสในเม็ดเลือดแดงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหนูที่อาศัยในบริเวณที่มีการจราจรเบาบาง นอกจากนี้การศึกษาของอุษณีย์ และคณะ (2002) ที่ศึกษาการก่อกลายพันธุ์ของสารสกัดอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 และ 2.5 ไมครอน โดยวิธีทดสอบเอมส์ พบว่ามีผลต่อการกลายพันธุ์ของแบคทีเรีย *Salmonella typhimurium* สายพันธุ์ TA100 ทั้งแบบโดยตรงและโดยผ่านการเปลี่ยนแปลงด้วยเอนไซม์ รวมถึงการศึกษาของ Hsiao และคณะ (2000) ที่ทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดอนุภาคฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน โดยวิธี Methyl Thiazole Tetrazolium assay (MTT) และ comet assay พบว่าอนุภาคฝุ่นสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความเสียหายของดีเอ็นเอได้ โดยความเข้มข้นของสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่ทำการศึกษาคือ 1, 2 และ 4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเขตควบคุมคือบริเวณตลาดหางดง และเขตศึกษาคือบริเวณตลาดวโรรส พบว่าสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่บริเวณตลาดวโรรสสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสสูงขึ้นได้มากกว่าบริเวณตลาดหางดงทุกความเข้มข้น แต่จะมีเพียงความเข้มข้นเดียวคือ 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรที่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสสูงขึ้นต่างจากเขตควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเกิดจากสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่ความเข้มข้นต่ำมีผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์เม็ดเลือดขาวได้ดีกว่าสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่ความเข้มข้นสูงซึ่งอาจจะมีการตายของเซลล์มากกว่า และเซลล์ที่ตายอาจเป็นเซลล์ที่มีไมโครนิวเคลียสและหลุดหายไปทำให้ไม่สามารถนับได้ มีผลให้สารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่ความเข้มข้นสูงพบไมโครนิวเคลียสได้ไม่มากเท่าที่ควรจะเป็น

จากการศึกษาการเหนี่ยวนำไมโครนิวเคลียสของสารละลายมาตรฐานตะกั่วอะซีเตต แคลเมียมอะซีเตต หรือ สารสกัดอนุภาคฝุ่นรวม ความเข้มข้นที่เลือกใช้ของสารละลายมาตรฐานตะกั่วอะซีเตตคือ 75, 150 และ 300 ไมโครกรัมต่อลิตร หรือสารละลายมาตรฐานแคลเมียมอะซีเตต ความเข้มข้น 2, 4 และ 6 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์หาจากตัวอย่างอากาศที่เก็บจากบริเวณตลาดหางดง และตลาดวโรรส หรือสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมความเข้มข้น 1, 2 และ 4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยไม่ครอบคลุมถึงความเข้มข้นสูงสุดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้น 3 ความเข้มข้นที่เลือกเพียงพอสำหรับเป็นตัวแทนในการศึกษาการเหนี่ยวนำการเกิดไมโครนิวเคลียสในเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ และไม่จำเป็นต้องศึกษาในความเข้มข้นสูงสุดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างอากาศ เพราะหากในความเข้มข้นต่ำสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสสูงขึ้นได้ ไมโครนิวเคลียสที่เกิดขึ้นควรที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่

สูงขึ้น และการศึกษาการเหนี่ยวนำการเกิดไมโครนิวเคลียสความเข้มข้นที่นำมาศึกษาจะต้องเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เพราะหากสารที่นำมาศึกษามีความเข้มข้นสูงมากเกินไปจะทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวตาย หรือมีเซลล์ร่อนน้อย ทำให้ไม่มีปริมาณเซลล์เพียงพอในการวิเคราะห์ไมโครนิวเคลียส

สารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่ส่งผลให้เกิดไมโครนิวเคลียสเพิ่มสูงขึ้นนั้นไม่อาจจะระบุได้ชัดเจนว่าเป็นผลมาจากตะกั่วและแคดเมียมได้ เนื่องจากในสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมมีโลหะหนักอื่น ๆ นอกเหนือจากตะกั่วและแคดเมียม เช่น สังกะสี แมงกานีส และทองแดง เป็นต้น (อรุบล และคณะ, 2541) รวมถึงสารจำพวกโพลีโอรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่สามารถทำให้ดีเอ็นเอผิดปกติได้ การวิจัยนี้พบว่าสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดไมโครนิวเคลียสที่เพิ่มสูงขึ้นได้ทั้งสารสกัดอนุภาคฝุ่นรวมที่เก็บได้จากอากาศบริเวณตลาดวโรรสและบริเวณตลาดหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งพบปริมาณสารตะกั่วและแคดเมียมที่เก็บได้จากตัวอย่างอากาศทั้ง 2 เขตในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจากระดับของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ต่ำกว่ามาตรฐานนั้นสามารถที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่ในบริเวณตลาดหางดง และบริเวณตลาดวโรรสได้ หากมีการได้รับสารมลพิษเป็นระยะเวลานาน เพราะนอกจากอนุภาคฝุ่นรวม ตะกั่ว และแคดเมียมแล้ว ยังมีสารมลพิษอื่น ๆ ที่อยู่ในอากาศที่สามารถส่งเสริมให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ จากรายการการค้นคว้าของนักวิจัยบางท่านระบุว่า ตะกั่วในอากาศ 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะส่งเสริมทำให้ตะกั่วในเลือดเพิ่มขึ้น 1-2 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากผลการค้นพบเช่นนี้ได้นำมาเป็นข้อกำหนดพื้นฐานที่ว่า บุคคลทั่วไปไม่ควรจะมีปริมาณสารตะกั่วเกินกว่า 40 ไมโครกรัม ต่อเลือด 100 มิลลิลิตร เพราะสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ได้รับสารมลพิษเป็นระยะเวลานานได้ (สุธีรา และคณะ 2544)

ผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคฝุ่นรวมในอากาศทั้งบริเวณตลาดวโรรสและตลาดหางดง จังหวัดเชียงใหม่ มีผลต่อสารพันธุกรรมของมนุษย์ในหลอดทดลอง