ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กม
อว 14

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 1

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสีเทียน
โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

โดย

นางวรรณภา ตันยืนยงค์
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1
กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 1

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสีเทียน

โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

โดย

นางวรรณภา ตันยืนยงค์

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

เลขหมู่ วฝ
ทม
ต014
เลขทะเบียน 9962
วันที่ 14 พ.ย. 49

ด้วยอนุเคราะห์
จาก
วฝ

กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1

กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณโลหะหนักต่างๆ คือ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ที่อาจเจือปนอยู่ในสีเทียนจำนวน 8 ยี่ห้อ คือ Sakura Horse Care Bear Brilliant Tiger Panda Lion และ Staedtler รวมสีที่วิเคราะห์จำนวน 80 ตัวอย่าง โดยการสุ่มซื้อผลิตภัณฑ์สีเทียนที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด ระหว่างเดือนมกราคม - เมษายน พ.ศ. 2540 ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ต้องแยกไขออกก่อน ส่วนที่เหลือสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ด้วยการเขย่าในเครื่องเขย่า และนำสารละลายที่ได้จากการสกัดมาวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมและแบเรียมโดย Flame Atomic Absorption Spectrophotometer ส่วนพลวง สารหนูและปรอทวิเคราะห์โดย Vapor Generator Atomic Absorption Spectrometer

การใช้เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536) พบว่า :

สี 7 ตัวอย่าง ใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณตะกั่วสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบในสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อนและสีดำ

สี 4 ตัวอย่าง ใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณโครเมียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบใน สีแดง สีส้ม สีเหลืองและสีน้ำตาลอ่อน

สี 15 ตัวอย่าง ใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณแบเรียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบใน สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีม่วง สีฟ้า สีน้ำเงิน สีม่วงน้ำเงิน สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีม่วงแดงและสีดำ

ทุกตัวอย่างไม่พบปรอท แต่พบแคดเมียม พลวงและสารหนูในปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์กำหนด

การสุ่มตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสีเทียนแต่ละยี่ห้อตามวิธีที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน อาจให้ผลที่ไม่ถูกต้อง เพราะไม่ได้ตรวจวิเคราะห์ทุกสี จึงใช้วิธีสุ่มตรวจทุกสีในตัวอย่างเป็นเกณฑ์สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบ

สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1-10
1.3 วัตถุประสงค์	11
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	11
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	11
2. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	12
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	13
2.2 สารเคมี	14-15
2.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง	16
2.4 วิธีวิเคราะห์	16-20
3. ผลการวิเคราะห์	21-35
4. การวิจารณ์ผล	36-39
5. สรุป	40
6. กิตติกรรมประกาศ	41
7. เอกสารอ้างอิง	42
8. ภาคผนวก	43
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแบบแยกสี	43-50
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแบบรวมสี	51
ตารางแสดงพารามิเตอร์ของแต่ละธาตุในการวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	52
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของแต่ละธาตุ	53-56

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสีเทียน
โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

1. บทนำ

1.1 คำนำ

ของเล่นมีความสำคัญต่อพัฒนาการของเด็กค่อนข้างสูง โดยปัจจุบันมีการออกแบบของเล่นให้มีรูปทรงสีสันที่ดึงดูดใจ ใช้เทคนิควิธีการเล่นที่เหมาะสมกับวัย และพัฒนาการทางด้านต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัสดุขีดเขียน เช่น ไส้ดินสอ ไส้ดินสอสี หมึกปากกาลูกลื่น สีเทียน ชอล์ก จัดเป็นของเล่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเล่น มอก. 685-2530 ซึ่งสีเทียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่เด็กๆใช้และสัมผัสมากกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ สีเทียนที่จำหน่ายทั่วไปมีราคาไม่สูง ผู้ปกครองและครูนิยมให้เด็กใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กเล็กในวัยขีดเขียน และระดับอนุบาล ใช้ในการระบายสี ขีดเขียนมากกว่าสีประเภทอื่นๆ เช่น ดินสอสี หรือสีน้ำ

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากสีเทียนเป็นวัสดุที่ใช้ขีดเขียน ที่ต้องสัมผัสด้วยมือโดยตรงและเด็กๆมักชอบใช้เพราะเขียนง่ายและมีสีสวยงาม ซึ่งในการใช้สีเทียนอาจติดมือ หรือเด็กอาจนำไปอมเล่นจึงอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าสีเทียนเหล่านั้นมีคุณภาพต่ำ หรือมีโลหะหนักที่เป็นพิษเจือปนอยู่ในปริมาณที่เป็นอันตราย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณโลหะหนักไว้ใน มอก. 1149-2536 การศึกษาปริมาณโลหะหนักในสีเทียนที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภค และการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์

สีเทียนหมายถึงวัสดุที่มีลักษณะเป็นแท่ง ผลิตขึ้นโดยมีผงสีและไขเป็นส่วนผสมหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีส่วนผสมอื่นอีก เช่น ดิน (clay) ชอล์ก (chalk) สเทียริคแอซิด (stearic acid) พาราฟิน (paraffin) ผงสีมีทั้งผงสีอินทรีย์ (organic pigment) และผงสีอนินทรีย์ (inorganic pigment) สีเทียนที่มีคุณภาพดีต้องมีเนื้อละเอียด มีความแข็งและความเข้มของสีสม่ำเสมอ เมื่อใช้ขีดหรือระบายบนกระดาษต้องใช้ได้ดี ไม่เปรอะเปื้อนหรือแตกเป็นเศษเล็กเศษน้อย ไม่อ่อนตัวง่ายและไม่แตกหักง่ายจนเกินไป ปริมาณสารที่เป็นพิษถ้ามี ต้องมีในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อทดสอบปริมาณโลหะหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสี

เทียน มอก. 1149-2536 (อ้างถึงมอก.685-2530 เล่ม 3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเล่น) ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดตามตาราง ก.

<u>ตาราง ก.</u> : เกณฑ์กำหนดโลหะหนักในสีเทียนตามมอก. 1149-2536 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน

โลหะหนัก	**เกณฑ์กำหนด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)**
พลวง (Sb)	250
สารหนู (As)	50
แบเรียม (Ba)	250
แคดเมียม (Cd)	50
โครเมียม (Cr)	25
ตะกั่ว (Pb)	100
ปรอท (Hg)	25

ปริมาณสารที่เป็นพิษดังกล่าวมีผลต่อสุขภาพของร่างกายจึงต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด ความเป็นพิษอาจแยกกล่าวได้ย่อๆตามชนิดของโลหะหนักดังนี้

<u>ตะกั่ว</u>

โลหะตะกั่วเมื่อรวมตัวหรือมีพันธะเคมีกับสารประกอบอินทรีย์ในร่างกาย จะเพิ่มความเป็นพิษมากกว่าเมื่ออยู่ในรูปของโลหะตะกั่ว เนื่องจากความมีขั้วลดลงทำให้สามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อของเซลต่างๆดีขึ้น ตะกั่วนับเป็นโลหะหนักที่มีพิษต่อร่างกายสูง เนื่องจากความเป็นพิษที่มีลักษณะสะสมในร่างกายได้ ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่จะยึดจับกับเม็ดเลือดแดง เนื่องจากสามารถแทนที่เหล็กในฮีโมโกลบินได้ จากนั้นก็จะหมุนเวียนไปกับกระแสเลือดกระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ไต รองลงมาคือ ตับ หลังจากนั้นชั่วระยะเวลาหนึ่งจะแพร่กระจายอีกครั้งหนึ่ง โดยไปยึดเกาะกับกระดูกเป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือจะกระจายไปสู่ผมและฟัน โดยปกติแล้วการรับตะกั่วเข้าไปเพียงครั้งเดียวมักไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน เนื่อง

จากมีการดูดซึมได้น้อย ยกเว้นการดื่มหรือกินโลหะตะกั่วเข้าไป อาจโดยอุบัติเหตุ หรือจงใจ จะก่อให้เกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้เบื่ออาหาร รู้สึกมีรสโลหะในปาก ท้องผูก ระบบประสาทของกล้ามเนื้อจะมีอาการอ่อนล้า อ่อนแรง หรือเป็นอัมพาตควบคู่กับอาการเจ็บปวดตามข้อต่อ ระบบสมองจะเกิดอาการเสื่อมของสมอง พบมากในเด็กๆ เนื่องจากมีความไวสูงต่อพิษตะกั่ว อัตราการดูดซึมโลหะตะกั่วผ่านลำไส้สูง และอัตราเมตาโบลิซึมสูงเช่นกัน การมีตะกั่วสะสมอยู่ในร่างกายมาก ทำให้ไอคิวของเด็กต่ำและคลื่นสมองของเด็กที่มีระดับตะกั่วสูงก็จะแตกต่างจากเด็กที่มีระดับตะกั่วในร่างกายต่ำ องค์การอนามัยโลก(WHO) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา(FDA) ได้ชี้ถึงอัตราปริมาณตะกั่วที่คนธรรมดาทนได้ คือ 429 ไมโครกรัม/วัน แต่ระบุว่าค่าเฉลี่ยของสารตะกั่วที่ทนได้โดยไม่เป็นอันตราย คือ 60 ไมโครกรัม/วัน หรือ ร้อยละ 14 ของค่าดังกล่าว สำหรับเด็กค่าจำกัดของตะกั่วที่รับได้ประมาณ 15 ไมโครกรัม/วัน

<u>แคดเมียม</u>

แคดเมียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ จะปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายของคนเราได้ทั้ง 3 ทาง คือ อากาศ น้ำ และอาหาร ทางอากาศส่วนใหญ่จะมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ทางน้ำส่วนใหญ่มาจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนทางอาหารปกติอาหารทั่วไปจะมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่น้อย ส่วนใหญ่จะมาจากภาชนะที่บรรจุหรือหุ้มห่ออาหาร เช่น มาจากหมึกพิมพ์ที่มีอยู่ในกระดาษห่ออาหาร การรับประทานผักผลไม้ที่ปลูกในดิน หรือใช้น้ำที่มีแคดเมียมเจือปนสูง เนื้อสัตว์ต่างๆ โดยเฉพาะส่วนของเครื่องในจะสะสมแคดเมียมได้มาก อาหารทะเล เช่น หอย อวัยวะของคนเราที่เป็นที่สะสมแคดเมียมก็คือ ไต ตับ ปอด ตับอ่อนและกระดูก ทำให้เกิดอาการระคายเคืองของระบบหายใจ ไอ สูญเสียความรู้สึกทางการสัมผัสกลิ่น ฟันจะเป็นแถบสีเหลือง การสูบบุหรี่หนึ่งซองทำให้ร่างกายรับสารแคดเมียมได้สูงถึง 2 ไมโครกรัม แคดเมียมทำให้เกิดโรค itai-itai พบครั้งแรกที่ญี่ปุ่น ตับและไตจะเสื่อมสภาพ เกิดอาการปวดที่บริเวณกล้ามเนื้อ กระดูก

โครเมียม

โครเมียม (III) เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อมนุษย์ ส่วนโครเมียม (VI) เป็นพิษต่อร่างกายมีผลต่อสุขภาพคือ โครเมียมมีบทบาทสำคัญต่อเมตาโบลิซึมของกลูโคสและไขมัน และมีบทบาทในการนำอะมิโนแอซิดไปใช้ในหลายๆระบบในร่างกาย อวัยวะที่เป็นส่วนสะสมโครเมียม คือ ตับ ไตและปอด โครเมียม (VI) ในปริมาณมากก่อให้เกิดโรคผิวหนังอักเสบ มะเร็งที่ปอด มะเร็งของระบบย่อยอาหารในมนุษย์

แบเรียม

เกลือของแบเรียมมีฤทธิ์เป็นพิษมาก เมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย แต่โดยปกติแล้วจะไม่พบแบเรียมในเนื้อเยื่อมนุษย์ แบเรียมพบในอาหารน้อยมาก ส่วนใหญ่จะนำแบเรียมซัลเฟตมาใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากมีการดูดซึมได้น้อยมาก ความเป็นพิษของแบเรียมคือ ทำให้การสูบฉีดของเลือดต่ำ ทำให้เกิดโรคความดัน แขนขาเป็นอัมพาต ท้องร่วงอย่างแรง ปวดท้อง อาเจียนอย่างแรง

ปรอท

ปรอทเป็นโลหะสีเงิน เป็นของเหลวระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ปรอทเป็นสารพิษ โอกาสที่จะพบทั่วไปได้จากเทอร์โมมิเตอร์แตก บารอมิเตอร์แตก กระจกเงาสมัยก่อน หรือของเล่นเด็กที่มีเม็ดปรอท ในอาหารมักพบมากในอาหารทะเลซึ่งมีปรอทสะสมอยู่ และสารปนเปื้อนของปรอท ส่วนทั่วๆไปได้จากวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบปรอทเป็นหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น preservative ในสีทา การได้รับไอปรอทในปริมาณที่มาก (เกิน 2.0 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ทำให้เกิดอาการแน่นในปอด หายใจลำบากและไอเป็นช่วงๆ สามารถเกิดภายใน 1 - 2 ชั่วโมง แต่ถ้าร่างกายได้รับในปริมาณน้อยๆ คือ สะสมประมาณ 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรทุกวัน จะทำให้น้ำหนักตัวลด เบื่ออาหาร ถ้าสะสมมากจะทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขน ขา การพูด การกินอาหาร

<u>สารหนู</u>

เนื่องจากสารหนูมีอยู่ทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ หิน แร่ ดังนั้นสารหนูที่พบในร่างกายคนจึงมักมาจากน้ำและอาหาร ในอาหารทะเล เช่น กุ้ง ปลา จะมีสารหนูอยู่ในปริมาณมากที่สุด ส่วนของร่างกายที่สะสมสารหนูมากได้แก่ ผมและเล็บ การบริโภคสารหนูในปริมาณที่มากพอจะทำให้เกิดอาการอัมพาต สมองจะเกิดการเสื่อมก่อนวัยอันควรและถึงแก่ชีวิต แต่ถ้าร่างกายได้รับสารหนูในปริมาณที่สะสม จะเกิดโรคมะเร็งที่ผิวหนัง ทำลายระบบทางเดินอาหาร เป็นโรคกระเพาะ ลำไส้ อาเจียน ท้องร่วงอย่างแรง กล้ามเนื้อเกร็ง เป็นอัมพาต หรือสูญเสียการบังคับของกล้ามเนื้อ

<u>พลวง</u>

พลวงสามารถทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจและผิวหนังมีสภาวะผิดไปจากปกติได้ ถึงกระนั้นก็ตามพลวงก็ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอางมาเป็นเวลานานถึง 6000 ปีแล้ว ในคนปกติมีพลวงอยู่ในเนื้อเยื่อไม่เกิน 6 มิลลิกรัม ในกระดูก 2 มิลลิกรัม มนุษย์สามารถได้รับพลวงเนื่องมาจากการรับประทานอาหารประมาณ 800 ไมโครกรัม/กรัม ต่อวัน

เมื่อดูจากส่วนผสมหลักของผลิตภัณฑ์สีเทียนแล้ว โลหะหนักที่พบอาจมาจากผงสีที่ใช้ผสมเป็นส่วนใหญ่ เพราะผงสีบางตัวที่ใช้มีโลหะหนักบางชนิดเป็นส่วนประกอบหลักของผงสีนั้นๆ

<u>การจำแนกประเภทของผงสีที่ใช้ผสมในผลิตภัณฑ์สีเทียน</u>

1. <u>ผงสีอนินทรีย์</u> (Inorganic pigments)

ผงสีในกลุ่มนี้ เป็นผงสีที่มีการใช้งานมานานที่สุด ผลิตได้จากทั้งธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ มีราคาถูก คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของผงสีกลุ่มนี้คือการมีความคงทนต่อความร้อนและแสงดีมาก มีความทึบแสง (opacity) ดี แต่ผงสีกลุ่มนี้ก็มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ มีเฉดสีให้เลือกน้อย และบางตัวเป็นพิษ ทำให้ขอบข่ายการใช้งานลดลง ผงสีอนินทรีย์แบ่งออกตามเฉดสีดูได้จากตาราง ข.

<u>ตาราง ข.</u> : คุณสมบัติของผงสีอนินทรีย์ที่แบ่งออกตามเฉดสี

เฉดสี	ผงสี	สูตรเคมี	คุณสมบัติ
สีขาว	ติตาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide)	TiO_2	เป็นสีพิกเม้นต์ขาวที่มีปริมาณการใช้มากที่สุด เนื่องจากมีสมบัติเป็นเลิศในทุกทาง ทั้งในด้านความทึบแสง ความขาว ความคงทน ทั้งต่อความร้อน ต่อแสงและต่อสารเคมีชนิดต่างๆ
สีเหลืองและสีแสด	เหล็กออกไซด์ (Iron oxides)	$Fe_2O_3xH_2O$	มีความคงทนต่อแสง ต่อสารเคมี และต่อภาวะอากาศภายนอกดี ทนต่อความร้อนไม่เกิน 175°ซ
	แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium sulphide)	CdS	ให้สีเหลืองถึงแสดมีความคงทนต่อสารเคมี สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 325°ซ
	ตะกั่วโครเมท (Lead chromates)	$PbCrO_4$	สีของตะกั่วโครเมทโดยตัวของมันเองเป็นสีเหลือง แต่สามารถนำมาตกตะกอนร่วมกับตะกั่วซัลเฟตและตะกั่วโมลิบเดท ทำให้ได้ผงสีมีเฉดสีตั้งแต่สีเหลือง แสด จนถึงแดง ผงสีกลุ่มนี้มีความสำคัญพอสมควร มีความคงทนต่อแสงดี มีความทึบแสงดี แต่ไม่ทนต่อด่าง ความเป็นพิษของสารตะกั่วทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ต้องถูกจำกัดลง

เฉดสี	ผงสี	สูตรเคมี	คุณสมบัติ
สีแดง	เหล็กออกไซด์ (Iron oxides)	Fe_2O_3	มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติซึ่งมีราคาถูกแต่คุณภาพต่ำ กับที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งมีความบริสุทธิ์กว่า มีความคงทนต่อความร้อน สารเคมี ต่อแสงและภาวะอากาศดี
	แคดเมียมเซเลนายด์ (Cadmium selenides)	CdSe	เมื่อตกตะกอนร่วมกับแคดเมียมซัลไฟด์ ให้สีแดงถึงแดงม่วง
สีน้ำเงิน	ปรัสเซียนบลู (Prussian blue)	$FeNH_4Fe(CN)_6$ $FeK_4Fe(CN)_6$	มีสีเข้ม มีความคงทนต่อกรด แต่ไม่ทนด่าง ทนความร้อนได้ถึง 175°ซ มีความทึบแสงต่ำ
สีเขียว	โครมิคออกไซ์ (Chromic oxide)	Cr_2O_3	สีไม่เข้มนัก แต่มีความคงทนต่อสารเคมีและต่ออากาศดีมาก ทนความร้อนได้สูงถึง 1000°ซ
สีน้ำตาล	เหล็กออกไซด์ (Iron oxides)	$(FeO)_X$ $(Fe_2O_3)_Y$	มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเหล็กออก-ไซด์ที่ให้สีเหลืองและสีแดงข้างต้น

2. <u>ผงสีอินทรีย์</u> (Organic pigments)

ผงสีกลุ่มนี้ เป็นผงสีสังเคราะห์ทั้งหมด มีวิวัฒนาการมาจากสีย้อม ทำให้ได้สีที่มีความเข้มสูง แต่ความคงทนโดยทั่วไปสู้ผงสีอนินทรีย์ไม่ได้ ต่อมาได้มีการพัฒนาโครงสร้างใหม่ๆที่มีคุณภาพในด้านความคงทนดีขึ้น ทำให้มีการใช้มากขึ้น ผงสีพิกเม้นต์อินทรีย์ที่สำคัญได้แก่

1. ผงสีอะโซ (Azo pigments) ส่วนมากพัฒนามาจากสีย้อม เป็นผงสีกลุ่มใหญ่ที่สุดโดยเฉพาะในหมู่สีเหลือง แสด แดงและน้ำตาล ส่วนมากเป็น “monoazo pigment”
2. ผงสีแอนธราควินโนน (Anthraquinone pigments) โดยปกติจะละลายน้ำไม่ได้
3. ผงสีฟาธาลโลไซยานิน (Phthalocyanine pigments) ผงสีกลุ่มนี้ค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1528 การค้นพบครั้งนี้ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่อผงสีอินทรีย์

เพราะแต่เดิมภาพพจน์ของผงสีอินทรีย์คือ ความคงทนต่อแสงและต่อความร้อนสู้ผงสีอนินทรีย์ไม่ได้ แต่ผงสีฟาธาลโลไซยานินนับเป็นผงสีอินทรีย์กลุ่มแรกที่มีสมบัติเป็นเลิศในทุกทาง ไม่ว่าจะเป็นด้านความสว่างสดใสของสี ความคงทนต่อความร้อนต่อแสงและสารเคมีชนิดต่างๆ การค้นพบผงสีกลุ่มนี้ในเวลาต่อมาได้นำไปสู่การค้นพบผงสีอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงอื่นๆเพิ่มขึ้นอีกมาก

ผงสีฟาธาลโลไซยานินมี "tetrabenzoporphyra zine" เป็นโครงสร้างหลักอยู่ในโมเลกุล โดยสีสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอนุมูลโลหะที่เหมาะสม อนุมูลโลหะที่ใช้มากที่สุดคือโลหะทองแดงให้ผงสีสีฟ้า การเปลี่ยนชนิดของอนุมูลโลหะที่ใช้ และการเติมกลุ่มคลอไรด์เข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวนเบนซิน จะทำให้ได้ผงสีที่มีเฉดสีเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่สีฟ้าไปจนถึงสีเขียว ปัจจุบันผงสีฟาธาลโลไซยานินเป็นผงสีสีฟ้าและสีเขียวที่มีความสำคัญและมีปริมาณใช้มากที่สุด

4. ผงสีอินทรีย์รุ่นใหม่ที่มีคุณภาพสูง หลังจากการค้นพบผงสีฟาธาลโลไซยานินทำให้เกิดการตื่นตัวในการค้นหาผงสีอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงตัวอื่นๆ เพื่อครอบคลุมให้ครบทุกเฉดสี ที่สำคัญได้แก่

   Isoindolinone pigments ครอบคลุมสีเหลือง ส้ม แดง

   Quinacridone pigments ครอบคลุมสีแดง ถึงสีม่วงเข้ม

   Dioxazine pigments ครอบคลุมสีม่วง

5. คาร์บอนแบลค (Carbon black) ผงสีสีดำที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเพียงอย่างเดียว มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในบรรดาผงสีทั้งหมด และมีประโยชน์การใช้งานอย่างกว้างขวาง คาร์บอนแบลคผลิตได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันปิโตรเลียม

การวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยๆของตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ นิยมวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(Atomic Absorption Spectrophotometer) สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดถึงส่วนในล้านส่วน (part per million) และเครื่องเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์ แอสเซสซอรี (Vapor Generator Accessories) สามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดถึงส่วนในพันล้านส่วน (part per billion)

<u>หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน</u> (Principle of Atomic Absorbtion)

อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่อะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสง ที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน ความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น Spectroscopic line ของอะตอมมิกสเปกตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ เป็นต้น ความร้อนทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

เทคนิคต่างๆที่ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโครปี ทำได้หลายวิธีคือ

เฟลมอะตอมไมเซชันเทคนิค (Flame Atomization Technique) เทคนิคนี้เป็นกระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (Flame) ที่เหมาะสม หลักการทำงานของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ คือสารละลายของตัวอย่างถูกดูดผ่านเนบูไลเซอร์ (nebulizer) เข้าไปใน Burner ที่มีเปลวไฟของก๊าซอะเซทิลีน (acetylene) กับออกซิเจน (oxygen) ทำให้เกิดเป็นอะตอมอิสระ ผ่านลำแสงจากหลอดกำเนิดแสง (hollow cathode lamp) ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งให้พลังงานที่มีความยาวคลื่นเหมาะสม (Resonance wavelength) ลำแสงจะผ่านเข้าไปในกลุ่มอะตอมอิสระเหล่านั้น บางส่วนของพลังงานแสงจากหลอดกำเนิดแสง ถูกดูดกลืนไว้ด้วยอะตอมอิสระ ส่วนที่เหลือผ่านออกมาเข้าเครื่องดีเทคเตอร์ (detector) ปริมาณที่อ่านได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานแสงตอนเริ่มต้น ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอะตอมอิสระของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ดังนั้นการหาปริมาณของธาตุคำนวณได้จาก Lambert-Beer Law

$$A = \log I / I_o$$

$$A = abc$$

A = แอบซอร์พชันของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

I_o = ความเข้มของพลังแสงก่อนผ่านอะตอมอิสระของธาตุ

I = ความเข้มของพลังแสงหลังผ่านอะตอมอิสระของธาตุ

a = ค่าคงที่ของแต่ละธาตุ

b = ความยาวของเซลที่แสงตัดผ่าน

c = ความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของธาตุได้

ไฮไดรด์เจนเนอเรชันเทคนิค (Hydride Generation Technique) เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเฟลมเทคนิคไม่ได้ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุดังกล่าวนี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องโดยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟ ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้ธาตุเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ สารหนู พลวง เป็นต้น

โคลเวเปอร์ เจนเนอเรชันเทคนิค (Cold Vapor Generation Technique) สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ ได้แก่การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยๆ

องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มี 5 ส่วนด้วยกันดังนี้ :

1. แหล่งกำเนิดแสง (light sourse)
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (atomizer)
3. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ
4. ดีเทคเตอร์ (detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (data system and read out unit)

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของโลหะหนักจำนวน 7 ธาตุในสีเทียนที่จำหน่ายในท้องตลาด เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและปลอดภัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์แก่การปรับปรุงเกณฑ์กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ และการปรับปรุงวิธีวิเคราะห์ทดสอบเพื่อการควบคุมคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องความปลอดภัยต่อผู้บริโภค
2. เป็นประโยชน์แก่ผู้ผลิตในการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพผลผลิตให้ได้ถึงระดับมาตรฐานที่ปลอดภัย
3. เป็นแนวทางแก่การพิจารณาคุณภาพในการคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภค
4. เป็นแนวทางแก่ผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและปลอดภัย

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

มกราคม - ตุลาคม พ.ศ. 2540

2. <u>วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี</u>

ที่มาของตัวอย่าง ได้จากการสุ่มซื้อจากสถานที่วางจำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 8 ยี่ห้อ คือ Sakura, Horse, Care Bear, Brilliant, Tiger, Panda, Lion และ Staedtler จำแนกเป็น 80 ตัวอย่าง รายละเอียดตามตาราง ค.

<u>ตาราง ค.</u> : ตัวอย่างสีเทียนที่สุ่มจากท้องตลาด

ยี่ห้อ	วัน เดือน ปี ที่ผลิต	จำนวนแท่ง	จำนวนสี	แหล่งผลิต (ประเทศ)
Sakura	27 ก.พ. 2539	8	8	ญี่ปุ่น
Horse	1 ก.พ. 2539	8	8	ไทย
Care Bear	2538	12	12	ไทย
Brilliant	2538	8	8	ไทย
Tiger	ก.ย. 2538	12	12	ไทย
Panda	ไม่ระบุ	12	12	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	ไม่ระบุ	12	12	ไต้หวัน
Staedtler	ก.พ. 2539	8	8	ไทย

Sakura ประกอบด้วย สีฟ้า สีเหลือง สีแดง สีดำ สีน้ำตาล สีเขียวแก่ สีส้มและสีน้ำเงิน

Horse ประกอบด้วย สีม่วง สีแดง สีน้ำตาล สีดำ สีเขียวแก่ สีส้ม สีน้ำเงินและสีเหลือง

Care Bear ประกอบด้วย สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีเหลือง สีแดง สีชมพู สีม่วง สีดำ สีน้ำเงิน สีขาวและสีส้ม

Brilliant ประกอบด้วย สีเหลือง สีดำ สีแดง สีน้ำเงิน สีม่วง สีน้ำตาล สีส้มและสีเขียว

Tiger ประกอบด้วย สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีแดง สีส้ม สีดำ สีฟ้า สีน้ำเงิน สีเหลือง สีบานเย็น สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่และสีส้มอ่อน

Panda ประกอบด้วย สีเหลือง สีแดง สีฟ้า สีน้ำเงิน สีม่วงน้ำเงิน สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีม่วงแดง สีส้มและสีดำ

Lion ประกอบด้วย สีเหลือง สีแดง สีเทา สีฟ้า สีน้ำตาล สีชมพู สีดำ สีส้ม-แดง สีน้ำเงิน สีน้ำตาลอ่อน สีขาวและสีเขียว

Staedtler ประกอบด้วย สีเหลือง สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีแดง สีน้ำตาล สีส้มและสีเขียว

2.1 <u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

2.1.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) รุ่น 880 ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.1.2 เวเพอร์เจนเนอเรเตอร์ แอสเซสซอรี (Vapor Generator Accessories) รุ่น VGA 77 ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.1.3 หลอดกำเนิดแสง (Hollow Cathode Lamp) ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย คือ หลอดตะกั่ว (Lead) แคดเมียม (Cadmium) โครเมียม (Chromium) แบเรียม (Barium) พลวง (Antimony) สารหนู (Arsenic) และปรอท (Mercury)

2.1.4 เครื่องเขย่า (Shaking bath) รุ่น SBD 50 ยี่ห้อ HETO ประเทศเดนมาร์ก

2.1.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) พร้อมอุปกรณ์

2.1.6 เครื่องชั่ง (Analytical balance) รุ่น AC 210S ยี่ห้อ Sartorias ประเทศเยอรมนี

2.1.7 เครื่องดีไอออนไนเซอร์ (Deionizer) รุ่น D4632 ยี่ห้อ Branstead E-pure ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.8 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการชนิดต่างๆ

2.1.9 นาฬิกาจับเวลา

2.1.10 ก๊าซอะเซทิลีน

2.1.11 ก๊าซไนโตรเจน

2.1.12 ก๊าซไนตรัสออกไซด์

2.2 <u>สารเคมี</u>

2.2.1 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric acid, HCl) ชนิด AR grade

2.2.2 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2.2.3 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก

2.2.4 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 7.3 โดยน้ำหนัก

2.2.5 กรดไนตริกเข้มข้น (Nitric acid, HNO_3) ชนิด AR grade

2.2.6 กรดไนตริก ความเข้มข้น 1:1 โดยปริมาตร

2.2.7 เฮกเซน (Hexane) ชนิด AR grade

2.2.8 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide, KI) ชนิด AR grade เตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 10

2.2.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ชนิด AR grade เตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.5

2.2.10 โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride, $NaBH_4$) ชนิด AR grade เตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

2.2.11 สแตนนัสคลอไรด์ (Stanous chloride dihydrate, $SnCl_2.2H_2O$) ชนิด AR grade เตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 25 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 20

2.2.12 โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) ชนิด AR grade เตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 20 ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1:1

2.2.13 สารละลายมาตรฐานสารหนู (Arsenic standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.14 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cadmium standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.15 สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Chromium standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.16 สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Barium standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.17 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Lead standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.18 สารละลายมาตรฐานพลวง (Antimony standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.19 สารละลายมาตรฐานปรอท (Mercury standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

<u>หมายเหตุ</u>

1. น้ำกลั่น หมายถึง น้ำดีไอออนไนเซอร์ (Deionizer water) ที่เตรียมโดยนำน้ำประปาที่ผ่านการกลั่น 1 ครั้ง ไปผ่านเครื่องดีไอออนไนเซอร์
2. สารละลายมาตรฐาน

เตรียม working standard solution ของสารหนู แคดเมียม ปรอท พลวง แบเรียมโครเมียม และตะกั่ว โดยเจือจางจากสารละลายมาตรฐาน (Stock Standard solution 1000 มิลลิกรัม/ลิตร) ของแต่ละธาตุด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการดังนี้

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ความเข้มข้น 0.2 0.5 0.7 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Ba) ความเข้มข้น 5 10 20 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานพลวง (Sb) ความเข้มข้น 2 4 8 10 และ 20 ไมโครกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานสารหนู (As) ความเข้มข้น 2 4 8 10 และ 20 ไมโครกรัม/ลิตร

สารละลายมาตรฐานปรอท (Hg) ความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 ไมโครกรัม/ลิตร

- ทุก working standard solution ของตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมและแบเรียม ต้อง stabilize ด้วยกรดตามความเหมาะสมของแต่ละธาตุ ให้มีความเข้มข้นของกรดในปริมาตรสุดท้ายของ working standard solution ร้อยละ 1 โดยตะกั่ว stabilize ด้วยกรดไนตริก ส่วนแคดเมียม โครเมียมและแบเรียม stabilize ด้วยกรดไฮโดรคลอริก
- สำหรับ working standard solution ของแบเรียม นอกจากต้อง stabilize ด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้ว ยังต้องเติมสารละลาย KNO_3 หรือ KCl ลงในสารละลายมาตรฐาน สารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์ในปริมาตรสุดท้าย 2000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อกันการเกิด ionization

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.3 <u>วิธีเตรียมตัวอย่าง</u>

นำตัวอย่างสีเดียวกันจำนวน 8 แท่งมาย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยการแยกสีแต่ละยี่ห้อ ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร แยกไข(wax) ออกโดยเติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างที่อยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง เป็นเวลา 5 นาที ล้างปลายแท่งแก้วด้วยเฮกเซน นำหลอดหมุนเหวี่ยงใส่ในเครื่องหมุนเหวี่ยง ใช้ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วดูดส่วนของเฮกเซนออก สกัดด้วยเฮกเซน 20 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง สารที่ไม่ละลายในเฮกเซนนำมาอบที่ 60 องศาเซลเซียส จนเฮกเซนระเหยออกหมด

ใช้แท่งแก้วบดตัวอย่างที่ไม่ละลายในเฮกเซนให้เป็นผงละเอียด แล้วถ่ายลงในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก 100 มิลลิลิตร แบ่งสารละลายกรดบางส่วน ล้างหลอดหมุนเหวี่ยงครั้งละประมาณ 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครั้ง แล้วเทรวมลงในขวดแก้วรูปชมพู่ เทสารละลายกรดส่วนที่เหลือรวมลงในขวด เขย่า 1 นาที แล้วตรวจสอบดูว่าความเป็นกรด-ด่างต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ถ้ามากกว่าต้องปรับให้ได้ค่าดังกล่าวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 7.3 โดยน้ำหนัก

นำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1ชั่วโมง แล้วตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 6 นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์ธาตุต่างๆที่กำหนดไว้ สารละลายแบลงค์เตรียมโดยใช้สารละลายกรด ไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักแทนตัวอย่างในขั้นตอนการสกัด

2.4 <u>วิธีวิเคราะห์</u>

2.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมและแบเรียม โดยเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.4.1.1 วัดค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วทั้ง 4 ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

2.4.1.2 นำสารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์จากข้อ 2.3 มาวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะประมวลผลข้อมูลออกมาในรูปความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่สร้างไว้แล้วในข้อ 2.4.1.1

2.4.1.3 ใช้สารละลายมาตรฐานแคดเมียม คือ 0.2 0.5 0.7 และ 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมโดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1.1 และ 2.4.1.2

2.4.1.4 ใช้สารละลายมาตรฐานโครเมียม คือ 1 2 5 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร ในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1.1 และ 2.4.1.2

2.4.1.5 ใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม คือ 5 10 20 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร ในการวิเคราะห์หาปริมาณแบเรียม โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1.1 และ 2.4.1.2

2.4.1.6 การคำนวณ

ตะกั่ว (Pb) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D \times A}{S}$

แคดเมียม (Cd) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D \times A}{S}$

โครเมียม (Cr) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D \times A}{S}$

แบเรียม (Ba) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D \times A}{S}$

D = อัตราการเจือจาง

A = ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร) ที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่างลบด้วยความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์

S = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

2.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพลวง และสารหนู โดยเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรีประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.4.2.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์จากข้อ 2.3 จำนวน 20 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 2.5 มิลลิลิตร (สารละลายในขวดปริมาตรจะมีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมากกว่า 1 โมลาร์ และความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอไดด์อยู่ ร้อยละ 1)

2.4.2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานของพลวงและสารหนู ให้มีความเข้มข้นเป็น 2 4 6 10 และ 20 ไมโครกรัม/ลิตร โดยให้สารละลายในขวดปริมาตร มีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอไดด์อยู่เท่ากับ ข้อ 2.4.2.1

2.4.2.3 ตั้งขวดปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง สารละลายแบลงค์และสารละลายมาตรฐานของพลวงและสารหนู ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.4.2.4 วัดค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานพลวง ทั้ง 5 ความเข้มข้นด้วยเครื่อง เวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรี ประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสาร

2.4.2.5 นำสารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์จากข้อ 2.4.2.1 มาวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรีประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะประมวลผลข้อมูลออกมาในรูปความเข้มข้น(ไมโครกรัม/ลิตร) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่สร้างขึ้นไว้แล้วในข้อ.2.4.2.4

2.4.2.6 ใช้สารละลายมาตรฐานของสารหนูในการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนู โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 2.4.2.4 และ 2.4.2.5

2.4.2.7 การคำนวณ

พลวง (Sb) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D X C}{S X 1000}$

สารหนู (As) มิลลิกรัม/กิโลกรัม $= \frac{D X C}{S X 1000}$

D = อัตราการเจือจาง

C = ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร) ที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง ลบด้วยค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์

S = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณปรอท โดยเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรีประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.4.3.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์จาก ข้อ 2.3 จำนวน 20 มิลลิลิตร ถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20จำนวน0.05 มิลลิลิตร (สารละลายในขวดปริมาตรมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมตอยู่ร้อยละ 0.01)

2.4.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานปรอทให้มีความเข้มข้น 10 20 30 40 และ 50 ไมโครกรัม/ลิตร โดยให้สารละลายในขวดปริมาตรมีความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.8 M และให้มีความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตร้อยละ 0.01

2.4.3.3 วัดค่าความดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานปรอท ทั้ง 5 ความเข้มข้นด้วยเครื่องเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรีประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสาร

2.4.3.4 นำสารละลายตัวอย่างและสารละลายแบลงค์จากข้อ 2.4.3.1 มาวัดค่าความดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเวเพอร์เจนเนอเรเตอร์แอสเซสซอรีประกอบกับเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องจะประมวลผลข้อมูลออกมาในรูปของความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุปรอทที่สร้างขึ้นไว้แล้ว ในข้อ 2.4.3.3

2.4.3.5 การคำนวณ

$$\text{ปรอท (Hg) มิลลิกรัม/กิโลกรัม} = \frac{D \times C}{S \times 1000}$$

D = อัตราการเจือจาง

C = ค่าความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร) ของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้ลบด้วยค่าความเข้มข้นของสารละลายแบลงค์

S = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

3. <u>ผลการวิเคราะห์</u>

จากการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักทั้ง 7 ธาตุในสีเทียนจำนวน 8 ยี่ห้อ 80 ตัวอย่าง พบว่า

สี 7 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณตะกั่วสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบในสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อนและสีดำ

สี 4 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณโครเมียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบในสีแดง สีส้ม สีเหลืองและสีน้ำตาลอ่อน

สี 15 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อ มีปริมาณแบเรียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด โดยพบในสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีม่วง สีฟ้า สีน้ำเงิน สีม่วงน้ำเงิน สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีม่วงแดง สีดำ สีน้ำตาลแก่และสีน้ำตาล-อ่อน

รายละเอียดตามตารางที่ 1 ถึง 7

<u>ตารางที่ 1</u> ผลการตรวจวิเคราะห์ตะกั่วในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	
Sakura	8	ไม่พบ	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	13.5 - 4301.8	2	แดง ส้ม	3157.6 4301.8	ไทย
Care Bear	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Tiger	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Panda	12	14.5 - 786.7	5	เหลือง น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ เขียวอ่อน ดำ	359.0 786.7 326.7 190.2 112.9	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	ไม่พบ	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.098 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณตะกั่วในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 2</u> ผลการตรวจวิเคราะห์แคดเมียมในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณแคดเมียม (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณแคดเมียม (มก./กก.)	
Sakura	8	ไม่พบ	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Care Bear	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Tiger	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Panda	12	0.82 - 1.1	_	_	_	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	ไม่พบ	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 0.018 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณแคดเมียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 3</u> ผลการตรวจวิเคราะห์โครเมียมในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของ**ปริมาณ**โครเมียม (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณโครเมียม (มก./กก.)	
Sakura	8	ไม่พบ	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	454.7 - 775.3	2	แดง ส้ม	454.7 775.3	ไทย
Care Bear	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Tiger	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Panda	12	3.7 - 121.4	2	เหลือง น้ำตาลอ่อน	40.1 181.4	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	ไม่พบ	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของโครเมียมมีค่าเท่ากับ 0.073 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณโครเมียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 4</u> ผลการตรวจวิเคราะห์แบเรียมในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณแบเรียม (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณแบเรียม (มก./กก.)	
Sakura	8	ไม่พบ - 92.3	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	43.5 - 600.6	3	ม่วง แดง ส้ม	469.0 600.6 267.2	ไทย
Care Bear	12	25.0 - 100.3	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	29.4 - 117.7	_	_	_	ไทย
Tiger	12	24.8 - 188.7	_	_	_	ไทย
Panda	12	259.4 - 373.5	12	เหลือง แดง ฟ้า น้ำเงิน น้ำตาล-อ่อน น้ำตาลแก่ เขียวอ่อน เขียวแก่ ม่วงแดง ม่วงน้ำเงิน ส้ม ดำ	368.4 373.5 285.6 349.9 315.3 367.3 303.0 259.4 296.1 368.9 336.5 265.4	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	ไม่พบ	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของแบเรียมมีค่าเท่ากับ 0.278 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณแบเรียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 5</u> ผลการตรวจวิเคราะห์พลวงในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณพลวง (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณพลวง (มก./กก.)	
Sakura	8	0.051 - 0.056	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	0.062 - 100.6	_	_	_	ไทย
Care Bear	12	0.014 - 0.097	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	0.005 - 0.041	_	_	_	ไทย
Tiger	12	ไม่พบ - 0.003	_	_	_	ไทย
Panda	12	0.004 - 0.13	_	_	_	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	0.014 - 0.11	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	0.021 - 0.031	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของพลวงมีค่าเท่ากับ 0.00014 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณพลวงในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 6</u> ผลการตรวจวิเคราะห์สารหนูในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณสารหนู (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณสารหนู (มก./กก.)	
Sakura	8	0.032 - 0.85	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	0.016 - 0.13	_	_	_	ไทย
Care Bear	12	0.020 - 0.075	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	0.019 - 0.064	_	_	_	ไทย
Tiger	12	0.011 - 0.039	_	_	_	ไทย
Panda	12	0.036 - 0.14	_	_	_	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	0.016 - 0.16	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	0.027 - 0.047	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของสารหนูมีค่าเท่ากับ 0.00013 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณสารหนูในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

ตารางที่ 7 ผลการตรวจวิเคราะห์ปรอทในสีเทียน

ยี่ห้อ	ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์		ตัวอย่างที่เกินเกณฑ์กำหนด			แหล่งผลิต (ประเทศ)
	จำนวน	พิสัยของปริมาณปรอท (มก./กก.)	จำนวน	สี	ปริมาณปรอท (มก./กก.)	
Sakura	8	ไม่พบ	_	_	_	ญี่ปุ่น
Horse	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Care Bear	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Brilliant	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Tiger	12	ไม่พบ	_	_	_	ไทย
Panda	12	ไม่พบ	_	_	_	สาธารณรัฐประชาชนจีน
Lion	12	ไม่พบ	_	_	_	ไต้หวัน
Staedtler	8	ไม่พบ	_	_	_	ไทย

หมายเหตุ: Detection limit ของปรอทมีค่าเท่ากับ 0.00028 มิลลิกรัม/ลิตร

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณปรอทในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

แต่การตรวจวิเคราะห์สีเทียนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียนนั้น การสุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบปริมาณสารเป็นพิษ ใช้หลักการสุ่มตัวอย่างแบบรวมสี โดยใช้แผนการสุ่มจำนวนสีแบบคละสีโดยพยายามให้ได้สีต่างกันตามขนาดตัวอย่าง ดังตาราง ฆ.

ตาราง ฆ. : แผนการสุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารเป็นพิษ

ขนาดบรรจุ แท่ง	ขนาดตัวอย่าง แท่ง
ไม่เกิน 12	5
13 ถึง 36	8
เกิน 36	13

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในสีเทียนโดยการวิเคราะห์แบบแยกสี กับการวิเคราะห์แบบรวมสีพบว่าผลที่ได้จะต่างกันตามตารางที่ 8 ถึง 14

<u>ตารางที่ 8</u> การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Horse	5	2589.0	1	8	13.5 -4301.8	1	2
Care Bear	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Brilliant	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Tiger	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Panda	5	ไม่พบ	_	12	14.5 - 786.7	1	5
Lion	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Staedtler	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
8	40	-	1	80	-	2	7

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณตะกั่วในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณแคดเมียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณแคดเมียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Horse	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Care Bear	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Brilliant	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Tiger	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Panda	5	0.92	_	12	0.82 - 1.1	_	_
Lion	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Staedtler	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
8	40	-	_	80	-	_	_

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณแคดเมียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 10</u> การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณโครเมียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณโครเมียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Horse	5	455.1	1	8	454.7- 775.3	1	2
Care Bear	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Brilliant	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Tiger	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Panda	5	7.0	_	12	3.7 - 121.4	1	2
Lion	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Staedtler	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
8	40	-	1	80	-	2	4

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณโครเมียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 11</u> การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณแบเรียมในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณแบเรียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณแบเรียม (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ - 92.3	_	_
Horse	5	330.3	1	8	43.5 - 600.6	1	3
Care Bear	5	43.5	_	12	25.0 - 100.3	_	_
Brilliant	5	44.3	_	8	29.4 - 117.7	_	_
Tiger	5	81.8	_	12	24.8 - 188.7	_	_
Panda	5	339.5	1	12	259.4 -373.5	1	12
Lion	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Staedtler	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
8	40	-	2	80	-	2	15

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณแบเรียมในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 12</u> การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณพลวงในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณพลวง (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณพลวง (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	0.034	_	8	0.051 - 0.056	_	_
Horse	5	28.9	_	8	0.062 - 100.6	_	_
Care Bear	5	0.063	_	12	0.014 - 0.097	_	_
Brilliant	5	0.011	_	8	0.005 - 0.041	_	_
Tiger	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ - 0.003	_	_
Panda	5	0.046	_	12	0.004 - 0.13	_	_
Lion	5	0.027	_	12	0.014 - 0.11	_	_
Staedtler	5	0.027	_	8	0.021 - 0.031	_	_
8	40	-	_	80	-	_	_

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณพลวงในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณสารหนู (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณสารหนู (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	0.077	_	8	0.032 - 0.85	_	_
Horse	5	0.041	_	8	0.016 - 0.13	_	_
Care Bear	5	0.020	_	12	0.020 -0.075	_	_
Brilliant	5	0.044	_	8	0.019 - 0.064	_	_
Tiger	5	0.026	_	12	0.011 - 0.039	_	_
Panda	5	0.039	_	12	0.036 - 0.14	_	_
Lion	5	0.042	_	12	0.016 - 0.16	_	_
Staedtler	5	0.029	_	8	0.027 - 0.047	_	_
8	40	-	_	80	-	_	_

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณสารหนูในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

<u>ตารางที่ 14</u> การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทในสีเทียนแบบรวมสี และแบบแยกสี

ยี่ห้อ	วิเคราะห์รวมสี			วิเคราะห์แยกสี			
	จำนวนสีที่สุ่ม	ปริมาณปรอท (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	จำนวนสีตัวอย่าง	ปริมาณปรอท (มก./กก.)	ไม่เข้าเกณฑ์ ยี่ห้อ	ไม่เข้าเกณฑ์ จำนวนสี
Sakura	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Horse	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Care Bear	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Brilliant	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
Tiger	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Panda	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Lion	5	ไม่พบ	_	12	ไม่พบ	_	_
Staedtler	5	ไม่พบ	_	8	ไม่พบ	_	_
8	40	-	_	80	-	_	_

จำนวนสีที่สุ่มเป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบสารพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน (มอก. 1149-2536)

เกณฑ์กำหนดค่าสูงสุดของปริมาณปรอทในสีเทียน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน มอก. 1149 - 2536 คือ 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (มก./กก.)

4. <u>การวิจารณ์ผล</u>

จากการดำเนินการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สีเทียน เพื่อหาปริมาณโลหะหนักที่อาจเจือปนหรือปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์สีเทียน อันอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ ปริมาณที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 8 ยี่ห้อ ตั้งแต่เดือนมกราคม-ตุลาคม พ.ศ. 2540 จำแนกเป็น 80 ตัวอย่างดังแสดงไว้ตามตารางB ซึ่งขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์แยกเป็น 2 แบบ แบบที่1 การสุ่มตัวอย่างแบบแยกสีโดยการตรวจวิเคราะห์แยกกันทุกสีที่บรรจุในกล่องนั้นๆ ส่วนแบบที่2 การสุ่มตัวอย่างแบบรวมสีโดยใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบคละสีตามขนาดตัวอย่าง เช่นสีเทียนขนาดบรรจุกล่องละไม่เกิน 12 สี ให้สุ่มตัวอย่างแบบคละสีจำนวน 5 สี แล้วขูดสีที่สุ่มไว้รวมกันกะให้แต่ละสีมีปริมาณเท่าๆกัน

ผลการวิเคราะห์แบบแยกสีปรากฏว่า สี 7 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อมีปริมาณตะกั่วสูงกว่าเกณฑ์กำหนด (100 มก./กก.) สี 4 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อมีปริมาณโครเมียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด (50 มก./กก.) สี 15 ตัวอย่างใน 2 ยี่ห้อมีปริมาณแบเรียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด (250 มก./กก.) และผลการวิเคราะห์แบบรวมสีปรากฏว่าปริมาณตะกั่วสูงกว่าเกณฑ์กำหนด 1 ยี่ห้อ ปริมาณโครเมียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด 1 ยี่ห้อ ปริมาณแบเรียมสูงกว่าเกณฑ์กำหนด 2 ยี่ห้อ

ซึ่งผลการวิเคราะห์แบบแยกสีเมื่อเปรียบเทียบกับ ผลการวิเคราะห์แบบรวมสีในยี่ห้อเดียวกัน ได้ค่าผลวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 8 - 14 และสรุปได้ดังนี้

ยี่ห้อ Horse วิเคราะห์แบบรวมสี: ปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 25 เท่า
ปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 9 เท่า
ปริมาณแบเรียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดเล็กน้อย

ยี่ห้อ Horse วิเคราะห์แบบแยกสี: พบสีที่มีปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 43 เท่า
พบสีที่มีปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 15 เท่า
พบสีที่มีปริมาณแบเรียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 2.5 เท่า

ยี่ห้อ Panda วิเคราะห์แบบรวมสี: ปริมาณตะกั่วไม่เกินเกณฑ์กำหนดสูงสุด
ปริมาณโครเมียมไม่เกินเกณฑ์กำหนดสูงสุด
ปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 1.4 เท่า

ยี่ห้อ Panda วิเคราะห์แบบแยกสี: พบสีที่มีปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 8 เท่า
พบสีที่มีปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 3.6 เท่า
พบสีที่มีปริมาณแบเรียมเกินเกณฑ์กำหนดสูงสุดประมาณ 2.5 เท่า

จากผลของการวิเคราะห์ที่ต่างกัน เนื่องมาจากวิธีสุ่มตัวอย่างที่ต่างกัน การตรวจวิเคราะห์แบบรวมสีโดยการสุ่มสีเทียนแบบคละสีตามขนาดบรรจุ เพื่อใช้เป็นตัวแทนแต่ละยี่ห้อตามที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1149-2536 ให้ผลไม่ถูกต้องนัก เพราะในการสุ่มตัวอย่างถ้าสีที่มีปริมาณโลหะหนักไม่ถูกสุ่ม หรือถูกสุ่มแต่ไปรวมกับสีที่มีปริมาณโลหะหนักต่ำหรือไม่มี ก็จะได้ค่าการเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ผลการตรวจวิเคราะห์สีเทียนจำนวน 80 ตัวอย่าง สีที่มีตะกั่วเกินเกณฑ์กำหนดโดยพบใน สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อนและสีดำ สีที่มีโครเมียมเกินเกณฑ์กำหนดโดยพบใน สีแดง สีส้ม สีเหลืองและสีน้ำตาลอ่อน สีที่มีแบเรียมเกินเกณฑ์กำหนดโดยพบ สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีม่วง สีฟ้า สีน้ำเงิน สีม่วงน้ำเงิน สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ สีเขียวอ่อน สีเขียวแก่ สีม่วงแดงและสีดำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเม็ดสี (colored pigment) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการผลิตสีประเภทต่างๆมีองค์ประกอบของโลหะ เช่น สีเหลือง สีส้มที่เป็น lead chromate แต่เม็ดสีหรือสีต่างๆมีคุณภาพหลายระดับที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ สีเทียนบางยี่ห้อมีโลหะพวกนี้ไม่สูงแม้จะอยู่ในกลุ่มที่มีปัญหาข้างต้น ดังนั้นในการผลิตสามารถเลือกวัตถุดิบ วิธีการผลิต ที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีได้ สีที่มีปัญหาส่วนใหญ่น่าจะเป็นผงสีอนินทรีย์บางสีซึ่งมีโลหะเหล่านั้นเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนผงสีอินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่มีโลหะเหล่านี้เกินเกณฑ์กำหนด นอกจากบางสีเท่านั้น ดังแสดงตามตารางผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผงสีอินทรีย์ ที่หน่วยงานเอกชนส่งให้กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 ทำการวิเคราะห์

ตารางแสดงผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ที่เจือปนในตัวอย่างผงสีอินทรีย์

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อ	สี	Pb มก./กก.	Cd มก./กก.	Cr มก./กก.	Ba มก./กก.	Sb มก./กก.	As มก./กก.	Hg มก./กก.
RJ 440	Benzidine yellow G1201	เหลือง	1.1	ไม่พบ	2.8	141.1	ไม่พบ	0.06	0.24
RJ 441	Permanent orange G22076	ส้ม	1.3	ไม่พบ	1.3	3.6	ไม่พบ	0.08	1.1
RM 53	Phthalocyanine blue BGR4441	น้ำเงิน	ไม่พบ	0.33	10.1	2,036.7	ไม่พบ	ไม่พบ	0.13
RM 54	Phthalocyanine green F5406	เขียว	ไม่พบ	0.21	3.3	14,413.7	ไม่พบ	0.008	0.03
RM 55	Carmine 6BN3117	แดง	2.3	1.1	7.0	ไม่พบ	ไม่พบ	0.19	0.10
RM 56	Lithol red B 3146	แดง	1.5	0.16	2.2	175.9	ไม่พบ	0.19	0.009
RT 267	Carbon black MA-100	ดำ	0.66	0.10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.43	ไม่พบ
RT 692	Organic pigments fast bronze violet 2B	ม่วง	4.7	0.41	1.4	12.7	0.30	0.14	ไม่พบ

และในการสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์น่าจะใช้หลักการสุ่มแบบแยกสี เพราะตามหลักความจริงแล้วผู้ใช้จะใช้สีทีละแท่ง ดังนั้นทุกๆแท่งถ้ามีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ต้องมีปริมาณธาตุไม่เกินเกณฑ์กำหนด เพื่อความปลอดภัยผู้บริโภค ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่คือเด็กๆที่จะเป็นกำลังของชาติในอนาคต

5. สรุป

สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์สีเทียนนี้ ขั้นแรกต้องแยกไขออกก่อน โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้ว (nonpolar solvent) เหมาะสำหรับใช้แยกสารประกอบประเภทไม่มีขั้ว (nonpolar) เช่น ไข สเทียริคแอซิด ฯลฯ ส่วนที่เหลือจากการสกัดไขออก จึงเหลือผงสีที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสีเทียน และวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ดิน (clay) ชอล์ก (chalk) ขึ้นอยู่กับว่าสีเทียนนั้นๆผลิตด้วยส่วนผสมชนิดใด แล้วจึงนำไปสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนักโดยเขย่าด้วยเครื่องเขย่า แล้ววิเคราะห์แต่ละธาตุด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และแบเรียม วิเคราะห์ด้วย เฟลมอะตอมไมเซชันเทคนิค ส่วนพลวง สารหนู และปรอท วิเคราะห์ด้วยเวเพอร์เจนเนอเรชันเทคนิค

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในสีเทียนจำนวน 80 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณตะกั่วเกินเกณฑ์มาตรฐาน 7 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 8.8 โครเมียมเกินเกณฑ์มาตรฐาน 4 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 5 และแบเรียมเกินเกณฑ์มาตรฐาน 15 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 18.8 และจากการสุ่มตัวอย่างในการวิเคราะห์ 8 ยี่ห้อ พบว่าจำนวน 2 ยี่ห้อที่มีปริมาณโลหะหนักเกินเกณฑ์มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 25

จากผลข้อมูลของการวิเคราะห์ที่ต่างกัน ระหว่างการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีที่ต่างกัน คือวิธีสุ่มแบบแยกสีและวิธีสุ่มแบบรวมสี ทางผู้วิเคราะห์มีความเห็นว่าวิธีสุ่มตัวอย่างแบบแยกสี น่าจะเป็นวิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมกว่าดังได้กล่าวไว้แล้ว จึงได้เสนอข้อคิดเห็นแก่คณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค ซึ่งทางคณะกรรมการฯได้พิจารณาและเห็นด้วยกับข้อสรุปนี้ ที่ให้ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบแยกสีเป็นหลักในการวิเคราะห์ ซึ่งทางผู้วิเคราะห์จะได้เสนอแนวความคิดเห็นดังกล่าว โดยอาศัยข้อมูลของผลการวิเคราะห์เป็นแนวทางในการเสนอแก่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เพื่อปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียนในโอกาสต่อไป

6. <u>กิตติกรรมประกาศ</u>

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณส่องแสง เลี่ยวชวลิต ผู้อำนวยการกองเคมี และคุณเรณู ตามไท หัวหน้ากลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 ที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมทั้งขอขอบคุณทุกๆท่านในกลุ่มงานฯ โดยเฉพาะคุณวาสนา คงสุข ที่มีส่วนร่วมในการช่วยให้ผลงานนี้สำเร็จสมบรูณ์ได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. นันทนา ยานุเมศ. สีสำหรับวัสดุ วารสาร สสท. ธันวาคม, 2532.
2. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 2534.
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเล่น. มอก. 685. 2530. เล่ม 3.
4. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเทียน. มอก. 1149. 2536.
5. อำนาจ สิทธัตตระกูล. มลพิษอันเกิดจากโลหะบางชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์. ตุลาคม 2520.
6. International Organization for Standardization (ISO), 1983. Paints and Varnishes, Determination of "soluble" metal content - Part 1:Determination of lead content, Flame atomic absorption spectroscopic method and dithizone spectrometric method, ISO 3856/1. Switzerland.
7. International Organization for Standardization(ISO), 1980. Paints and Varnishes, Determination of "soluble" metal content - Part 4:Determination of cadmium content - Flame atomic absorption spectroscopic method and polarographic method, ISO 3856/4. Switzerland.
8. International Organization for Standardization(ISO), 1980. Paints and Varnishes, Determination of "soluble" metal content - Part 6:Determination of total chromium content of the liquid portion of the paint - Flame atomic absorption spectroscopic method ISO 3856/6. Switzerland.
9. Seiler, H.G., Siegel, H., Seigel, A., Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds, Marcel Dekker, Inc. 1990.

8. ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Sakura

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีฟ้า	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.031	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.032	ไม่พบ
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	92.3	ไม่พบ	013	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	92.3	ไม่พบ	012	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.071	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.082	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.051	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.042	ไม่พบ
สีน้ำตาล	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
สีเขียวแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.053	0.059	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.055	0.044	ไม่พบ
สีส้ม	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.055	0.054	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.056	0.070	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.049	0.81	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.052	0.90	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Horse

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีม่วง	A	14.0	ไม่พบ	ไม่พบ	462.9	0.061	0.059	ไม่พบ
	B	13.0	ไม่พบ	ไม่พบ	475.0	0.063	0.056	ไม่พบ
สีแดง	A	3115.6	ไม่พบ	454.4	601.2	41.9	0.036	ไม่พบ
	B	3199.5	ไม่พบ	454.9	599.9	44.5	0.054	ไม่พบ
สีน้ำตาล	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.14	0.14	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.15	0.12	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.092	0.069	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.092	0.056	ไม่พบ
สีเขียวแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	44.0	0.10	0.089	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	43.0	0.10	0.10	ไม่พบ
สีส้ม	A	4329.1	ไม่พบ	780.7	263.3	102.1	0.015	ไม่พบ
	B	4274.4	ไม่พบ	769.9	271.0	99.0	0.016	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.13	0.051	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.12	0.050	ไม่พบ
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	181.7	0.17	0.037	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	173.4	0.18	0.029	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Care Bear

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีน้ำตาลอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	57.4	ไม่พบ	0.036	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	58.7	ไม่พบ	0.043	ไม่พบ
สีน้ำตาลแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	55.0	ไม่พบ	0.083	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	63.1	ไม่พบ	0.067	ไม่พบ
สีเขียวอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.031	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.023	ไม่พบ
สีเขียวแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	24.9	0.047	0.019	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	25.0	0.030	0.028	ไม่พบ
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	25.6	0.093	0.020	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	24.9	0.10	0.019	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	93.1	0.017	0.029	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	89.8	0.014	0.022	ไม่พบ
สีชมพู	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.024	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	ไม่พบ
สีม่วง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	82.9	0.017	0.048	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	83.0	0.014	0.039	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.012	0.047	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.015	0.038	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.072	0.043	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.058	0.042	ไม่พบ
สีขาว	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.066	0.038	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.073	0.042	ไม่พบ
สีส้ม	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	96.8	0.024	0.036	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	103.7	0.025	0.030	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Brilliant

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	55.6	0.046	0.018	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	61.7	0.036	0.019	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.019	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.022	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	54.9	0.006	0.067	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	50.6	0.005	0.060	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.007	0.048	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.010	0.040	ไม่พบ
สีม่วง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	122.9	0.016	0.026	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	112.5	0.011	0.026	ไม่พบ
สีน้ำตาล	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	48.1	0.004	0.022	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	50.6	0.005	0.028	ไม่พบ
สีส้ม	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	88.5	0.009	0.022	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	86.7	0.01	0.030	ไม่พบ
สีเขียว	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	30.6	0.005	0.029	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	28.1	0.007	0.039	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Tiger

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีเขียวอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.020	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.022	ไม่พบ
สีเขียวแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.004	0.031	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.002	0.020	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	170.0	ไม่พบ	0.018	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	171.9	ไม่พบ	0.027	ไม่พบ
สีส้ม	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	62.2	ไม่พบ	0.026	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	58.6	ไม่พบ	0.020	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.019	ไม่พบ
สีฟ้า	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	28.1	ไม่พบ	0.021	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	25.6	ไม่พบ	0.022	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	22.7	ไม่พบ	0.020	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	26.9	ไม่พบ	0.029	ไม่พบ
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	186.9	ไม่พบ	0.022	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	190.4	ไม่พบ	0.018	ไม่พบ
สีบานเย็น	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.012	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.011	ไม่พบ
สีน้ำตาลอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.033	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.041	ไม่พบ
สีน้ำตาลแก่	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.034	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.044	ไม่พบ
สีส้มอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.009	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.012	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Panda

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีเหลือง	A	368.6	0.85	41.3	367.3	0.052	0.039	ไม่พบ
	B	349.4	0.80	38.9	369.4	0.048	0.032	ไม่พบ
สีแดง	A	18.4	1.0	ไม่พบ	379.1	0.014	0.044	ไม่พบ
	B	17.8	1.1	ไม่พบ	367.8	0.015	0.053	ไม่พบ
สีฟ้า	A	24.3	0.99	ไม่พบ	283.6	0.005	0.14	ไม่พบ
	B	22.8	0.99	ไม่พบ	287.5	0.003	0.14	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	17.7	1.0	ไม่พบ	346.5	0.029	0.071	ไม่พบ
	B	17.9	0.95	ไม่พบ	353.3	0.031	0.056	ไม่พบ
สีม่วงน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	366.7	0.079	0.12	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	371.1	0.068	0.13	ไม่พบ
สีน้ำตาลอ่อน	A	783.6	ไม่พบ	121.2	316.6	0.046	0.035	ไม่พบ
	B	789.7	ไม่พบ	121.6	313.9	0.053	0.038	ไม่พบ
สีน้ำตาลแก่	A	324.0	ไม่พบ	21.4	370.7	0.13	0.090	ไม่พบ
	B	329.3	ไม่พบ	21.8	363.9	0.11	0.097	ไม่พบ
สีเขียวอ่อน	A	186.9	1.0	19.9	305.9	0.045	0.078	ไม่พบ
	B	193.4	1.0	21.0	300.1	0.049	0.082	ไม่พบ
สีเขียวแก่	A	44.0	1.1	4.0	257.8	0.047	0.061	ไม่พบ
	B	45.8	1.1	3.5	260.9	0.064	0.060	ไม่พบ
สีม่วงแดง	A	14.5	1.0	4.0	298.8	0.12	0.11	ไม่พบ
	B	14.4	0.95	4.0	293.2	0.14	0.11	ไม่พบ
สีส้ม	A	33.4	1.0	ไม่พบ	336.9	0.094	0.056	ไม่พบ
	B	33.5	0.95	ไม่พบ	336.0	0.093	0.042	ไม่พบ
สีดำ	A	112.9	0.84	8.4	267.3	0.054	0.048	ไม่พบ
	B	112.8	0.85	8.5	263.4	0.054	0.049	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Lion

สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.032	0.024	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.038	0.020	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.061	0.020	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.045	0.022	ไม่พบ
สีเทา	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.022	0.10	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.024	0.10	ไม่พบ
สีฟ้า	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.11	0.16	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.10	0.15	ไม่พบ
สีน้ำตาล	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.015	0.052	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.013	0.043	ไม่พบ
สีชมพู	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.022	0.13	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.018	0.14	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.023	0.024	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.019	0.020	ไม่พบ
สีส้มแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.043	0.018	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.039	0.015	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.079	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.077	ไม่พบ
สีน้ำตาลอ่อน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.019	0.024	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.025	0.027	ไม่พบ
สีขาว	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.13	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.11	ไม่พบ
สีเขียว	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.033	0.086	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.027	0.080	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนยี่ห้อ Staedtler

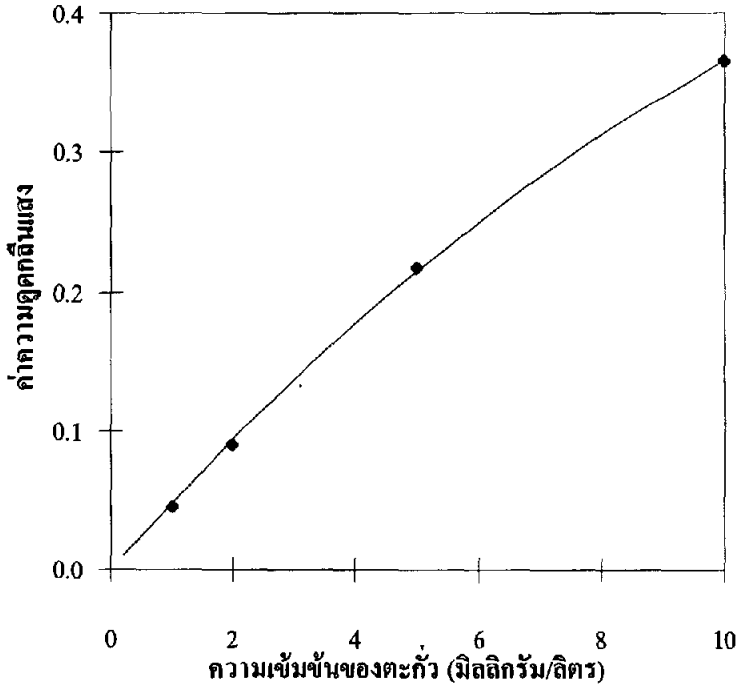
สี		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
สีเหลือง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	0.042	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	0.052	ไม่พบ
สีดำ	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.026	0.040	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.034	0.050	ไม่พบ
สีน้ำเงิน	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	0.029	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.029	0.025	ไม่พบ
สีม่วง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.021	0.051	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.026	0.039	ไม่พบ
สีแดง	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.032	0.041	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.024	0.047	ไม่พบ
สีน้ำตาล	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.025	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.030	ไม่พบ
สีส้ม	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.028	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.026	0.027	ไม่พบ
สีเขียว	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.031	0.032	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.037	ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม แบเรียม พลวง สารหนูและปรอท ในสีเทียนแต่ละยี่ห้อแบบรวมสี

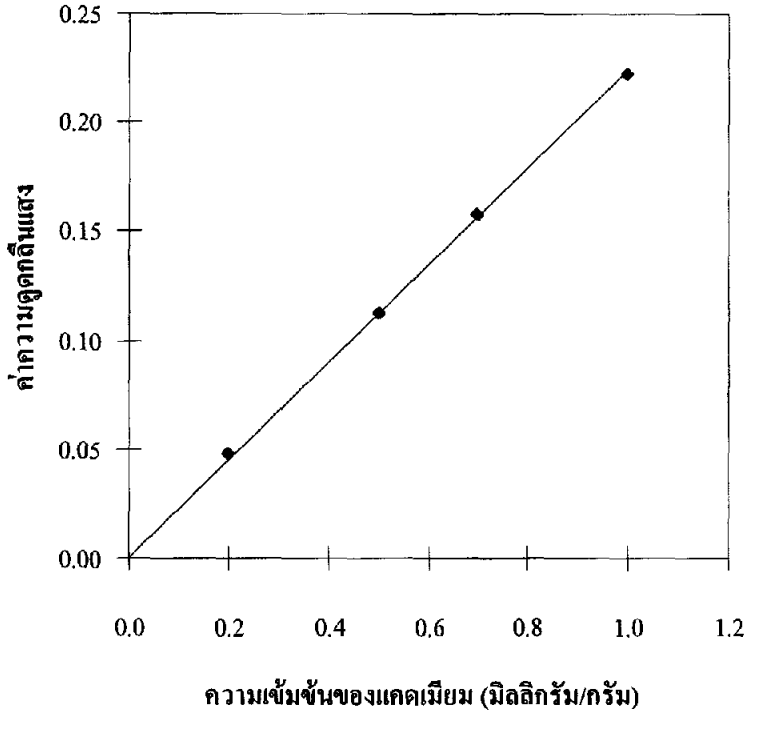
ยี่ห้อ		Pb	Cd	Cr	Ba	Sb	As	Hg
		มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.	มก./กก.
Sakura	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.038	0.071	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.080	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.034	0.081	ไม่พบ
Horse	A	2623.4	ไม่พบ	473.0	322.4	1.1	0.046	ไม่พบ
	B	2443.0	ไม่พบ	423.4	318.8	0.98	0.035	ไม่พบ
	C	2700.7	ไม่พบ	468.9	349.8	1.0	0.043	ไม่พบ
Care Bear	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	48.6	0.062	0.018	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	38.1	0.056	0.021	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	43.7	0.070	0.020	ไม่พบ
Brilliant	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	48.5	0.009	0.052	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	43.1	0.010	0.039	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	41.2	0.014	0.041	ไม่พบ
Tiger	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	86.1	ไม่พบ	0.030	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	77.4	ไม่พบ	0.026	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	81.8	ไม่พบ	0.022	ไม่พบ
Panda	A	72.6	0.85	7.0	367.2	0.042	0.042	ไม่พบ
	B	78.7	1.0	7.0	380.9	0.049	0.038	ไม่พบ
	C	73.9	0.90	7.0	397.0	0.046	0.038	ไม่พบ
Lion	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.029	0.047	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.027	0.036	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.025	0.044	ไม่พบ
Staedtler	A	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.026	0.031	ไม่พบ
	B	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.030	0.022	ไม่พบ
	C	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	0.024	0.035	ไม่พบ

ตารางแสดงข้อมูลของแต่ละธาตุ

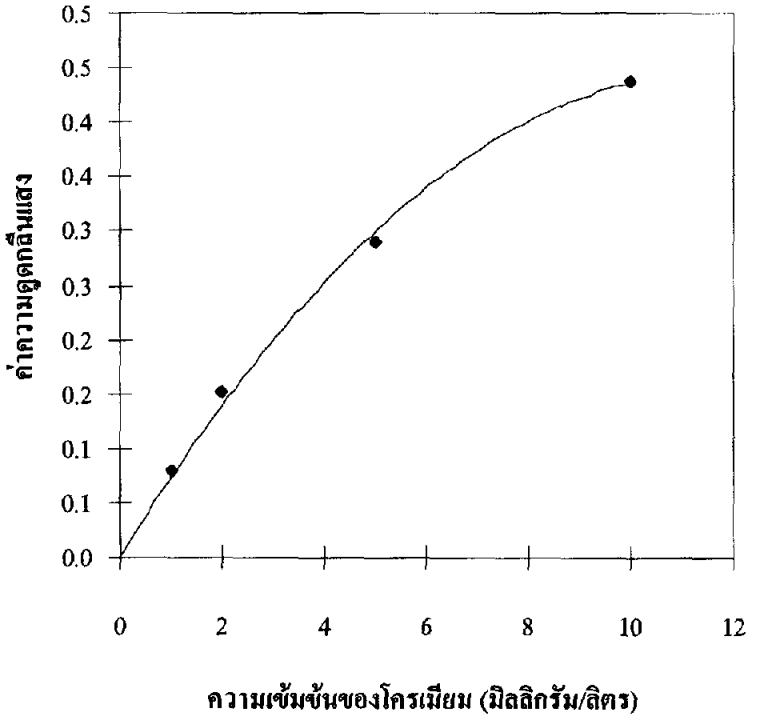
Parameter	Element						
	Pb	**Cd**	**Cr**	**Ba**	**Sb**	**As**	**Hg**
Wavelength (nm)	217.0	228.8	357.9	553.6	217.6	193.7	253.7
Lamp current (mA)	10.0	4.0	7.0	20.0	10.0	10.0	4.0
Slit width (nm)	1.0	0.2	0.2	0.5	0.2	0.5	0.5
Instrument type	Flame	Flame	Flame	Flame	Vapor	Vapor	Vapor
Flame type	Air-Acetylene	Air-Acetylene	Air-Acetylene	N_2O-Acetylene	-	-	-
Atomizer type	-	-	-	-	Air-Acetylene	Air-Acetylene	Cold vapor
Flow rate (ml/min)	6-8	6-8	6-8	6-8	7	7	7
Background correction	On	On	Off	Off	On	On	On
Detection limit (mg/l)	0.098	0.018	0.073	0.278	0.00014	0.00013	0.00028



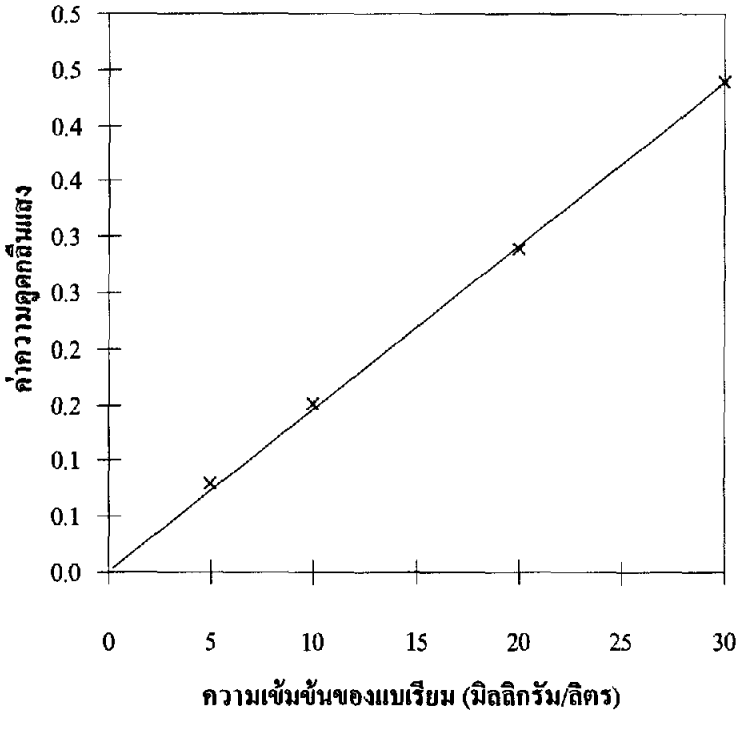
รูปที่1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของตะกั่ว



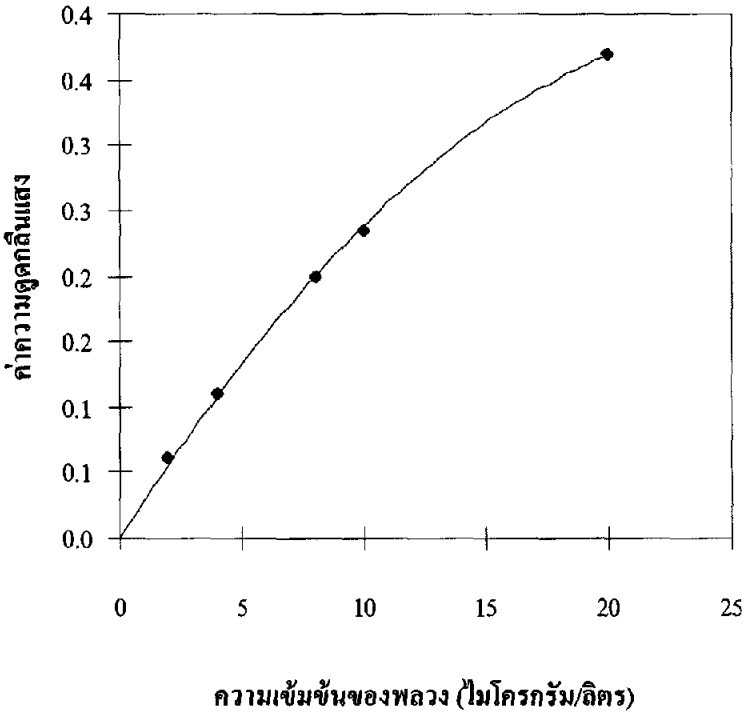
รูปที่2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของแคดเมียม



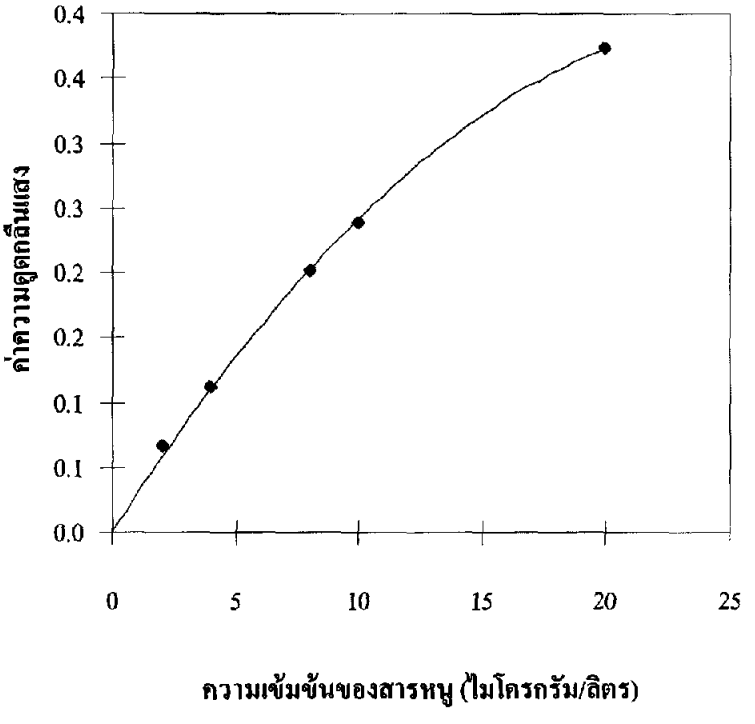
รูปที่3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของโครเมียม



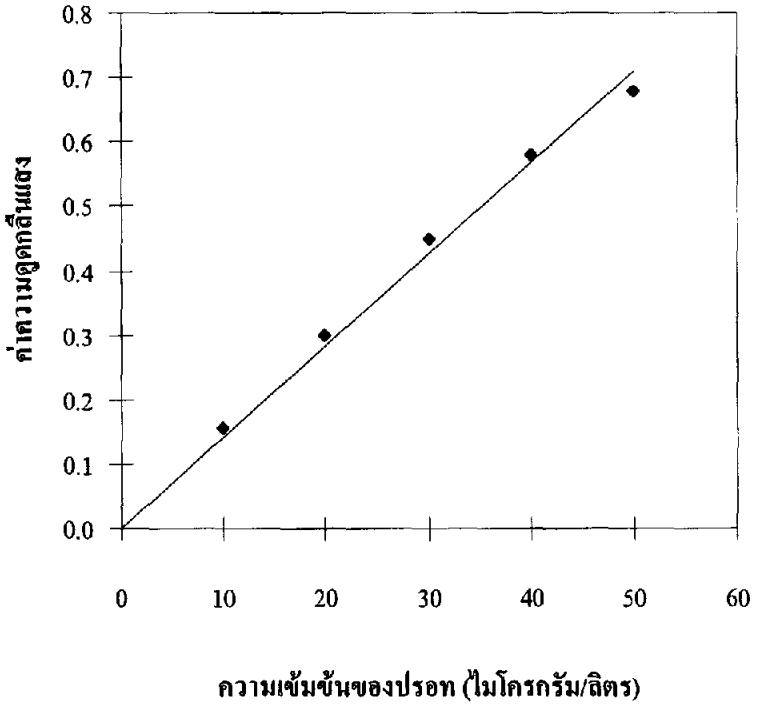
รูปที่4. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของแบเรียม



รูปที่5. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของพลวง



รูปที่6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของสารหนู



รูปที่7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดูดกลืนและความเข้มข้นของปรอท