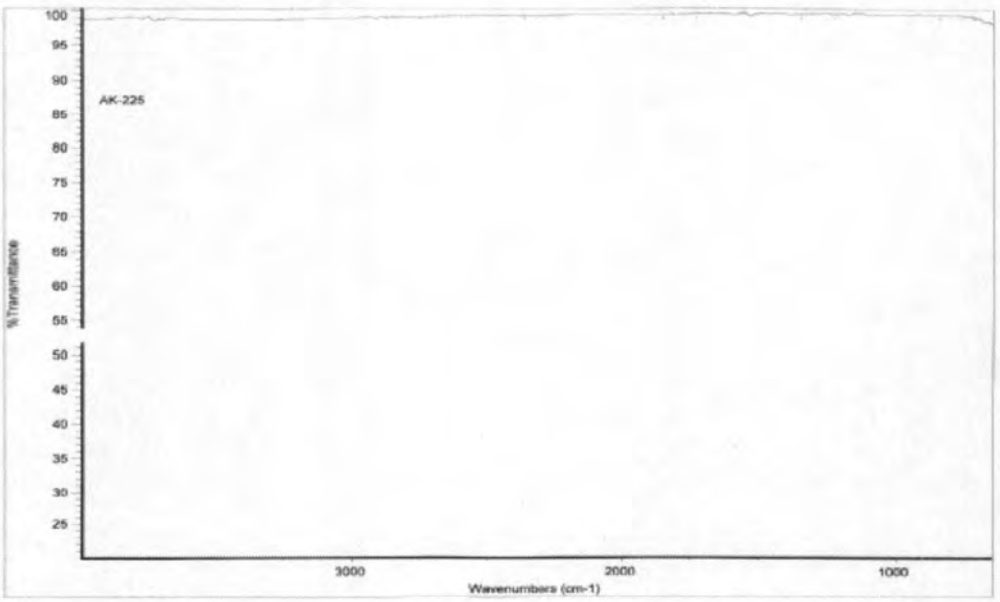
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาคุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้แทนตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีอยู่เดิมคือ AK-225 โดยเป็นการศึกษาเพื่อดูถึงประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานในที่นี้คือตลับลูกปืน (Ball Bearing) โดยในการทดลองจะทำที่สภาวะที่มีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบทั้งก่อนและหลังการทดลอง ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณของสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานให้มีการแปรปรวนหรือแกว่งน้อยที่สุด และมีการควบคุมตัวแปรตามในที่นี้คือการล้างด้วยเครื่องล้างเครื่องเดียวที่มีระบบของอุณหภูมิและคลื่นเหนือเสียงอยู่ในตัว

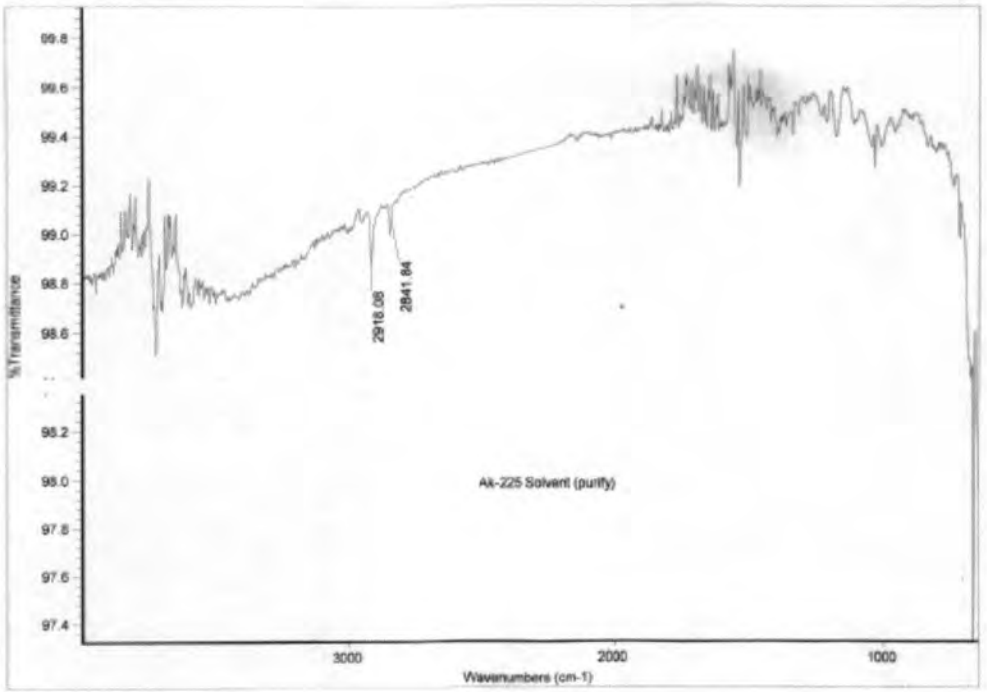
ผลการวิเคราะห์

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ ด้วยการตรวจสอบถึงส่วนประกอบทางเคมีของสารและตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารก่อนการใช้งาน

4.1.1 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy :FT-IR ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาธรรมชาติทางเคมีของสาร (21,22,23,24,25)



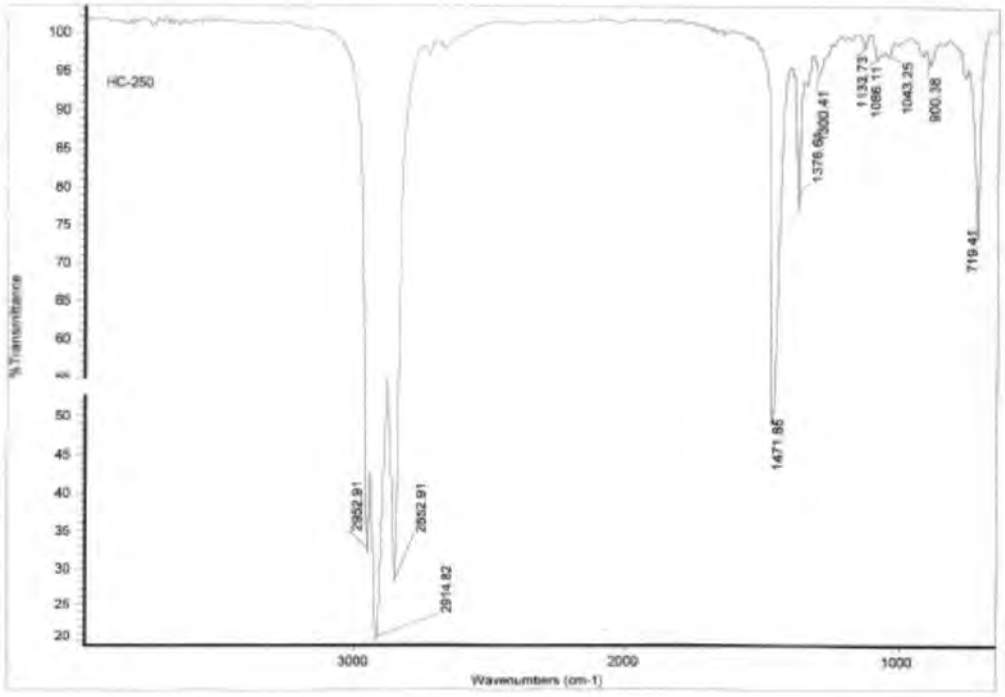
รูปที่ 4.1 (a) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ AK-225



รูปที่ 4.1 (b) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ AK-225
(โดยการขยายสเกลของแกน % transmittance)

จากรูปที่ 4.1 (a) แสดงถึงลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ในสเกลของช่วง % transmittance ตั้งแต่ช่วง ~ 20-100 ซึ่งใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy : IR) ในการทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร เพื่อดูการดูดกลืนรังสี IR ของสารเคมี เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารประกอบได้โดยใช้ตรวจหาหมู่ที่มีสมบัติเฉพาะตัวที่เรียกว่าหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบนั้นๆ เนื่องจาก AK-225 เป็นสารจำพวกไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFC) ซึ่งประกอบด้วย 3,3,-Dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane (HCFC-225ca) และ -1,3,-Dichloro-1,1,1,2,3-pentafluoropropane (HCFC-225cb) โดยที่มีพันธะ C-H ,C-C , C-Cl และ C-F ซึ่งจะให้ช่วงการดูดกลืนที่เลขคลื่น(wave number, cm^{-1}) เท่ากับ 2,800 -3,000 cm^{-1} ซึ่งเป็นแบนด์สำหรับการยืดของพันธะ C-H , 2 ช่วงเลขคลื่นที่ ~ 1,400 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น ~ 1,300 cm^{-1} ซึ่งเป็นแบนด์สำหรับการงอของพันธะ C-H ส่วนการสั่นของพันธะ C-C ให้แบนด์ที่มีความเข้มน้อยมาก ดังนั้นแบนด์ที่ได้จากการสั่นของพันธะ C-H จึงมีประโยชน์มากกว่า ส่วนกรณีของพันธะ C-Cl และ C-F พบว่าการสั่นแบบยืดจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ โดยให้แบนด์การดูดกลืนรังสีที่ประมาณ 600-800 cm^{-1} สำหรับพันธะ C-Cl และที่ประมาณ 1,000-1,400 cm^{-1} สำหรับพันธะ C-F แต่จากรูปที่ 4.1 (a) พบว่าช่วงสเกลของ % transmittance

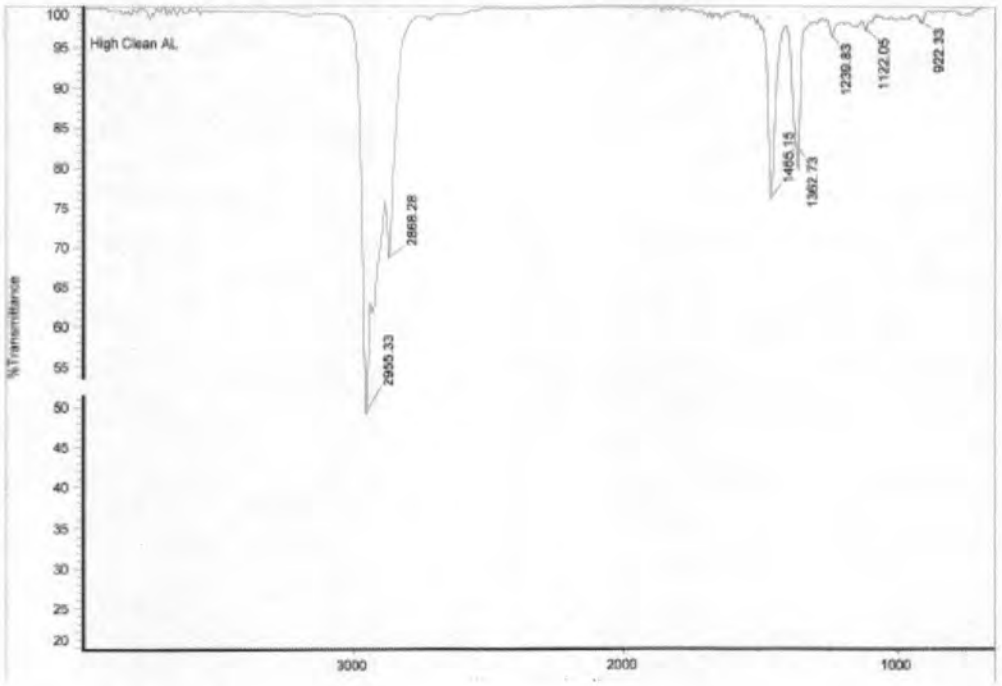
กว้างเกินไปจนมองไม่เห็นแบนด์การดูดกลืนรังสี ดังนั้นจึงทำการปรับช่วงสเกลของ % transmittance ให้แคบลงเป็น 97.4-99.8 ดังรูปที่4.1(b)ที่มีแบนด์การดูดกลืนรังสีช่วงแรกที่เลขคลื่น 2,918 cm^{-1} และ 2,814 cm^{-1} สำหรับพันธะ C-Cl ที่เป็น polychlorinated compound และ C-F ที่เป็น polyfluorinated compound เป็นช่วงที่แบนด์การดูดกลืนมีความเข้มน้อยมากและไม่เด่นชัด ดังนั้นแบนด์ช่วงนี้จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์น้อยต่อการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล จากสเปกตรัมที่ได้ของตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 พบว่า แบนด์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่เด่นชัดเนื่องจาก AK-225 เป็นสารที่ระเหยได้เร็ว จึงทำให้ไม่มีการทิ้งคราบไว้บนหน้าต่างเซลล์ รวมทั้งไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีอื่นจึงไม่ปรากฏแบนด์อื่นใดทำให้เป็นการยืนยันถึงความบริสุทธิ์ของสาร



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ HC-250

จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยจากสเปกตรัมที่ได้พบว่า HC-250 เป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบด้วยพันธะ C-H,C-C ที่มีแบนด์การดูดกลืนรังสี IR ของสารที่มีเลขคลื่น(wave number,cm^{-1}) ช่วงแรกซึ่งเป็นการยืดของพันธะ C-H เท่ากับ 2,952 , 2,914 และ 2,852 cm^{-1} , ช่วงที่สองซึ่งเป็นการงอของพันธะ C-H เท่ากับ 1,471 และ 1,376 cm^{-1} โดยค่าดังกล่าวเป็น

ลักษณะเด่นที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร ส่วนแบนด์อื่นๆที่ปรากฏในสเปกตรัม (spectrum) ในช่วงที่เลขคลื่นต่ำในที่นี้เป็นแบนด์ที่เกิดจากสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250แต่เป็นสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ยอมรับได้เนื่องจากเป็นแบนด์ที่ไม่นิยมนำมาใช้ในการบอกเอกลักษณ์ของสารและเป็นสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของสาร เพราะตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 ที่มีการนำมาใช้ในขบวนการเป็นเกรดทางอุตสาหกรรมที่เปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์ของสารมีค่าน้อยกว่า 90% และสารปนเปื้อนดังกล่าวไม่อยู่ในกลุ่มสารต้องห้าม(ซึ่งรายละเอียดชื่อของสารต้องห้ามดังแสดงในภาคผนวกค.)

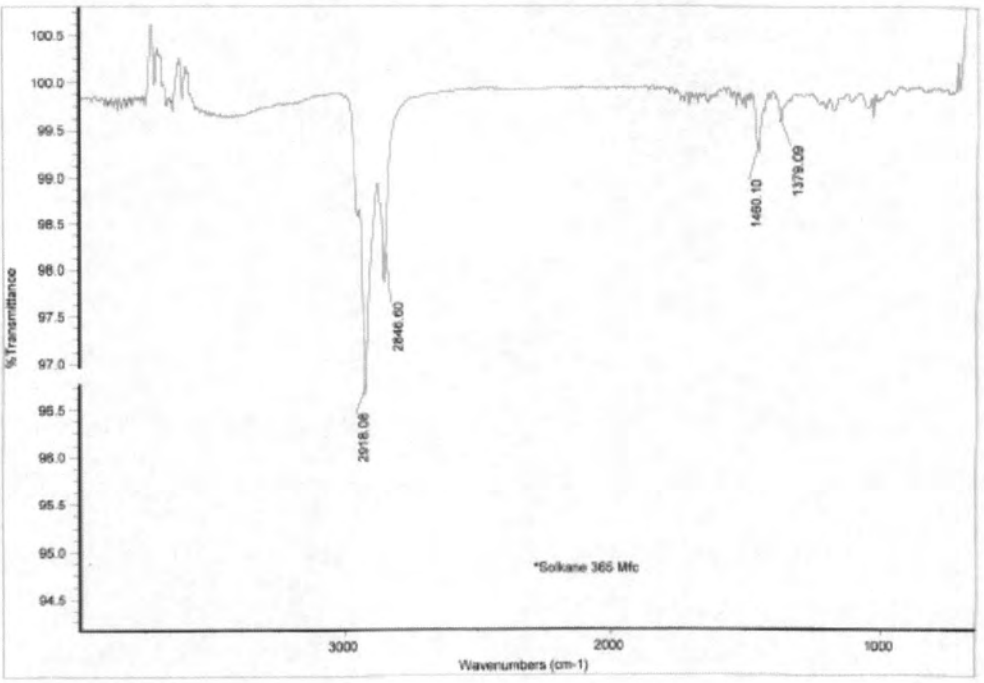


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ High Clean Al

จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของตัวทำละลายอินทรีย์ High Clean Al โดยจากสเปกตรัมที่ได้พบว่า High Clean Al เป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยพันธะ C-H ,C-C ที่มีแบนด์การดูดกลืนรังสี IR ของสารที่มีเลขคลื่น (wave number , cm^{-1})ช่วงแรกซึ่งเป็นการยืดของพันธะC-H เท่ากับ 2,955 และ 2,868 cm^{-1} , ช่วงที่สองซึ่งเป็นการงอของพันธะ C-H เท่ากับ 1,465 และ 1,362 cm^{-1} โดยค่าดังกล่าวเป็นลักษณะเด่นที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร ส่วนแบนด์อื่นๆที่ปรากฏในสเปกตรัม (spectrum) ในช่วงที่เลขคลื่นต่ำเป็นแบนด์ที่ไม่นิยมนำมาใช้ในการบอกเอกลักษณ์ของสาร ในที่นี้เป็น

แบนด์ที่เกิดจากสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์เนื่องจาก High Clean Alเป็นเกรดทางอุตสาหกรรมที่เปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์ของสารมีค่าน้อยกว่า 90 %

รูปที่ 4.4 (a) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ Solkane 365



รูปที่ 4.4 (b) กราฟแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของ Solkane 365
(โดยการขยายสเกลของแกน % transmittance)

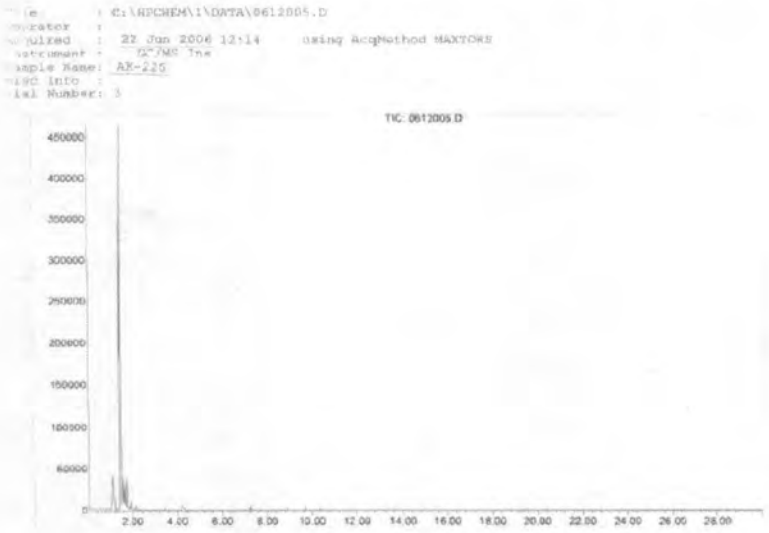
จากรูปที่ 4.4 (a) แสดงถึงลักษณะสเปกตรัม (Spectrum) ของตัวทำละลายอินทรีย์ Solkane 365 ในสเกลของช่วง % transmittance ตั้งแต่ ~ 20-100 ซึ่งใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy : IR) ในการทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร เพื่อดูการดูดกลืนรังสี IR ของสารเคมี เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารประกอบได้โดยใช้ตรวจหาหมู่ที่มีสมบัติเฉพาะตัวที่เรียกว่าหมู่ฟังค์ชันของสารประกอบนั้นๆ เนื่องจาก Solkane 365 เป็นสารจำพวกไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ซึ่งประกอบด้วยพันธะ C-H ,C-C และ C-F ซึ่งจะให้ช่วงการดูดกลืนที่เลขคลื่น(wave number, cm^{-1})เท่ากับ 2,800 -3,000 cm^{-1} สำหรับการยืดของพันธะ C-H , 2 ช่วงเลขคลื่นที่ ~ 1,400 cm^{-1} และช่วงเลขคลื่น ~ 1,300 cm^{-1} สำหรับการงอของพันธะ C-H ส่วนการสั่นของพันธะ C-C ให้แบนด์ที่มีความเข้มน้อยมาก ดังนั้นแบนด์ที่ได้จากการสั่นของพันธะ C-H จึงมีประโยชน์มากกว่า ในกรณีของพันธะ C-F พบว่าการสั่นแบบยืดจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ โดยให้แบนด์การดูดกลืนรังสีที่ประมาณ 1,000-1,400 cm^{-1} แต่จากรูปที่ 4.4 (a)พบว่าช่วงสเกลของ % transmittance กว้างเกินไปจนไม่มองเห็นแบนด์การดูดกลืนรังสีบางช่วง ดังนั้นจึงทำการปรับช่วงสเกลของ %transmittance ให้แคบลงเป็นช่วง 94.5-100.5 ดังรูปที่ 4.4(b) ที่มีแบนด์การดูดกลืนรังสีช่วงแรกที่เลขคลื่น 2,918 cm^{-1} และ 2,846 cm^{-1} , ช่วงสองที่เลขคลื่น 1,460 cm^{-1} และ 1,379 cm^{-1} และช่วงที่สามที่เลขคลื่น ~1,000-1,400 cm^{-1} ซึ่งแบนด์ทั้ง 3 ช่วงมีลักษณะไม่เด่นชัดเนื่องจาก Solkane 365 เป็นสารที่ระเหยได้เร็ว จึงไม่มีการทิ้งคราบไว้บนหน้าต่างเซลล์ รวมทั้งไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีอื่นจึงไม่ปรากฏแบนด์อื่นใดทำให้เป็นการยืนยันถึงความบริสุทธิ์ของสาร

ตารางที่ 4.1 แสดงย่านการดูดกลืนรังสี IR ที่เป็นลักษณะพิเศษของหมู่ฟังก์ชันในสารประกอบอินทรีย์ (1)

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น (cm^{-1})	ความเข้ม (Intensity)
การยืดคาร์บอน-คาร์บอน (C-C Stretching)	800 -1,300 สำหรับ tetrahedral (sp^3) C (ได้แก่ แอลเคน)	น้อยมากๆ
การยืดคาร์บอน-ไฮโดรเจน (C-H Stretching)	2,800 -3,000 สำหรับ tetrahedral (sp^3) C (ได้แก่ แอลเคน)	ปานกลาง (นำมาใช้ประโยชน์มาก)
การงอคาร์บอน-ไฮโดรเจน (C-H Bending)	1,374 และ 1,460	ปานกลาง (นำมาใช้ประโยชน์มาก)
การยืดคาร์บอน-ฟลูออไรด์ (C-F Stretching)	1,000-1,100 สำหรับ monofluorinated compounds	ปานกลาง
	1,000-1,400 สำหรับ polyfluorinated compounds	น้อยมากๆ
การยืดคาร์บอน-คลอไรด์ (C-Cl Stretching)	700-750 สำหรับ monochlorinated compounds	ปานกลาง
	600-800 สำหรับ polychlorinated compounds	น้อย

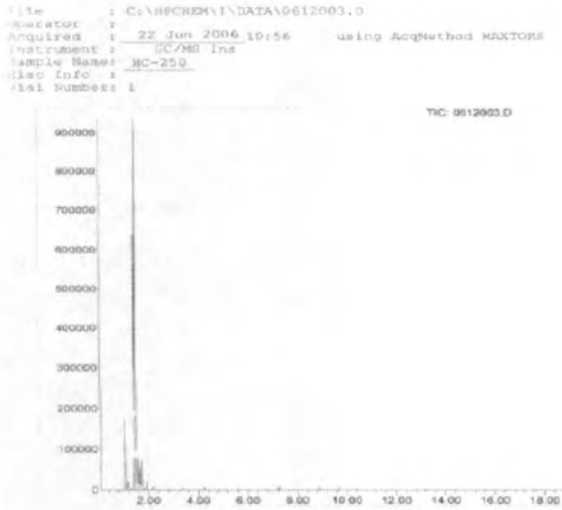
จากตารางที่ 4.1 เป็นการแสดงย่านการดูดกลืนรังสี IR ของพันธะต่างๆในสารประกอบอินทรีย์ตามเลขคลื่นซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะหมู่ฟังก์ชัน

4.1.2 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS) **ซึ่งเป็นการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ ในรูปของการวิเคราะห์ที่เรียกว่า** Outgassing Test



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนปื้อนที่ตกค้างในตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS)

จากรูปที่4.5แสดงถึงโครมาโตแกรมของตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ที่ทำการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ตกค้างโดยใช้เทคนิคการระเหยเป็นไอของสารในการตรวจสอบซึ่งรายละเอียดของมาตรฐานการปฏิบัติงานขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ดังแสดงในภาคผนวก ค. จากโครมาโตแกรมที่ได้พบว่ามีพีคปรากฏที่ช่วงเวลาเดียวที่ค่าประมาณ 2 นาทีซึ่งเป็นพีคของตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ส่วนที่ช่วงเวลาอื่นไม่มีพีคอื่นใดปรากฏ นั่นคือ AK-225 ไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นที่ตรวจสอบออกมาในรูปแก๊สที่ระเหยได้



รูปที่ 4.6 **กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนปื้อนที่ตกค้างบนตัวทำละลายอินทรีย์** HC-250 **โดยใช้เทคนิค** Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS)

จากรูปที่4.6 **แสดงถึงโครมาโตแกรมของตัวทำละลายอินทรีย์** HC-250 **จากโครมาโตแกรมที่ได้พบว่ามีลักษณะเดียวกันกับรูปที่**4.5**กล่าวคือมีพีคปรากฏที่ช่วงเวลาเดียวคือที่ค่าประมาณ** 2 **นาทีซึ่งเป็นพีคของตัวทำละลายอินทรีย์** HC-250 **ส่วนที่ช่วงเวลาอื่นไม่มีพีคอื่นใดปรากฏนั่นคือ** HC-250 **ไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นที่ตรวจสอบออกมาในรูปแก๊สที่ระเหยได้**

รูปที่ 4.7 **กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนปื้อนที่ตกค้างบนตัวทำละลายอินทรีย์** High Clean Al **โดยใช้เทคนิค** Gas Chromatography –Mass Spectrometer(GC-MS)

จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงโครมาโตแกรมของตัวทำละลายอินทรีย์ High Clean Al จากโครมาโตแกรมที่ได้พบว่ามีลักษณะเดียวกันกับรูปที่4.5และ4.6กล่าวคือมีพีคปรากฏที่ช่วงเวลาเดียวที่ค่าประมาณ 2 นาทีซึ่งเป็นพีคของตัวทำละลาย อินทรีย์ High Clean Al ส่วนที่ช่วงเวลาอื่นไม่มีพีคอื่นใดปรากฏนั่นคือ High Clean Al ไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นที่ตรวจสอบออกมาในรูปแก๊สที่ระเหยได้

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารปนปื้อนที่ตกค้างบนตัวทำละลายอินทรีย์ Solkane 365 โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography –Mass Spectrometer (GC-MS)

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงโครมาโตแกรมของตัวทำละลายอินทรีย์ Solkane 365 จากโครมาโตแกรมที่ได้พบว่ามีลักษณะเดียวกันกับรูปที่4.5, 4.6 และ 4.7 กล่าวคือมีพีคปรากฏที่ช่วงเวลาเดียวที่ค่าประมาณ 2 นาทีซึ่งเป็นพีคของตัวทำละลาย อินทรีย์ Solkane 365 ส่วนที่ช่วงเวลาอื่นไม่มีพีคอื่นใดปรากฏนั่นคือ Solkane 365 ไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นที่ตรวจสอบออกมาในรูปแก๊สที่ระเหยได้

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดด้วยเทคนิค FT-IR มีวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบเพื่อเป็นการยืนยันคุณสมบัติทางเคมีของสารเทียบกับเอกสารจากทางผู้ผลิตที่ให้มาคือ Material Safety Data Sheet (MSDS) พบว่าตรงกันคือ AK-225 เป็นสารพวก Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) ที่ไม่ปรากฏแบนด์การดูดกลืนของพันธะ

การดูดกลืนของสารประกอบหมู่อื่น โดยปรากฏเฉพาะพันธะของสาร HCFC คือ C-H ,C-C , C-Cl และ C-F เช่นเดียวกันกับ HC-250 ซึ่งเป็นสารพวก Hydrocarbon , High Clean Al ซึ่งเป็นสารพวก Mixed Hydrocarbon ที่มีแบนด์การดูดกลืนของพันธะ C-H และ Solkane365 ซึ่งเป็นสารพวก Hydrofluorocarbon(HFC) ที่มีแบนด์การดูดกลืนของพันธะ C-H และ C-F

ส่วนการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารก่อนการใช้งานด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR ควบคู่ไปกับเทคนิค Gas Chromatography – Mass Spectrometer (GC-MS) พบว่าตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นซึ่งยังสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีตรวจสอบทางด้านคุณภาพของสารตกค้างบนตัวชิ้นงานทั้ง 2 เทคนิค ส่วนการตรวจสอบปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานจะทำการทดลองกับชิ้นงานที่ผ่านการล้างเพื่อเป็นการตรวจยืนยันอย่างละเอียดว่าสารปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งรายละเอียดของมาตรฐานการปฏิบัติงานขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างบนชิ้นงานซึ่งไม่สามารถระเหยเป็นไอได้ (Non-Volatile Residue) ดังแสดงในภาคผนวก ค.นอกจากนี้ยังสามารถทราบถึงชนิดของสารที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานด้วยการใช้ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR

4.2 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิด , ความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้งานของชิ้นส่วนงาน

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิด และ ความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้งานของชิ้นส่วนประกอบย่อยสำหรับตลับลูกปืน

ชิ้นส่วนงาน / ปัจจัยที่ศึกษา	ส่วนประกอบแต่ละชนิดของตลับลูกปืน (Ball Bearing) รุ่น 6140				
	Inner Ring (IR)	Outer Ring (OR)	Shield	Ball	Retainer
1) Chemical Resistance (size change and weight change)					
- AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
-HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
-High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
-Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
2) Temperature Resistance (size change and weight change brittleness /strength by tensile)					
- 25°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 25°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 25°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 25°C Washing with Solkane 265	☆	☆	☆	☆	☆
- 30°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 30°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 30°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 30°C Washing with Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
- 40°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 40°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 40°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 40°C Washing with Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
- 50°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 50°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 50°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 50°C Washing with Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
- 60°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 60°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 60°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 60°C Washing with Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
- 70°C Washing with AK-225	☆	☆	☆	☆	☆
- 70°C Washing with HC-250	☆	☆	☆	☆	☆
- 70°C Washing with High Clean Al	☆	☆	☆	☆	☆
- 70°C Washing with Solkane 365	☆	☆	☆	☆	☆
- 80°C Washing with AK-225	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
- 80°C Washing with HC-250	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
- 80°C Washing with High Clean Al	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
- 80°C Washing with Solkane 365	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆

หมายเหตุ :

☆ หมายถึง No effect คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านขนาด , น้ำหนัก , การถูกกัดกร่อน และความเปราะ/ความเหนียวของวัสดุ

☆☆ หมายถึง Slightly effect คือ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาด , น้ำหนัก , การถูกกัดกร่อนและความเปราะ/ความเหนียวของวัสดุเล็กน้อย แต่ไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไป

☆☆☆ หมายถึง Effect คือ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาด , น้ำหนัก , การถูกกัดกร่อนและความเปราะ/ความเหนียวของวัสดุอย่างเห็นได้ชัด แต่ไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไป

4.3 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อการเกิดสนิมของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อดูสารปนเปื้อนอินทรีย์ที่เหลืออยู่ เป็นการดูถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่พร้อมระเหยกลายเป็นไอ (Outgassing) ที่เหลืออยู่ในตัวชิ้นงาน (ตลับลูกปืน)

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงความทนทานต่อการเกิดสนิมและปริมาณสารอินทรีย์ที่พร้อมระเหยกลายเป็นไอ(Outgassing)ที่เหลืออยู่ในตัวชิ้นงาน (ตลับลูกปืน) เมื่อมีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิด

ชิ้นส่วนงาน / ปัจจัยที่ศึกษา	ตลับลูกปืน (Ball Bearing) รุ่น 6140
1) Rust Preservation	
Humidity test(80°C/90% RH for 1 day)	
- AK-225	☆
- HC-250	☆
- High Clean Al	☆☆
- Solkane 365	☆
2) Outgassing Test	
- AK-225	☆
- HC-250	☆
- High Clean Al	☆☆
- Solkane 365	☆☆☆

หมายเหตุ :

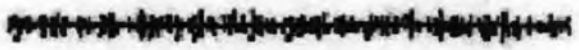
☆ หมายถึง Good Condition คือ ชิ้นงานหลังการทดลองอยู่ในสภาพที่ดีไม่เป็นสนิมและค่าปริมาณสารปนเปื้อนที่ออกมาในรูปก๊าซที่ระเหย (Outgassing Quantity : Total Volatile Compound) อยู่ในระดับที่ต่ำ

☆☆ หมายถึง Fair Condition คือ ชิ้นงานหลังการทดลองอยู่ในสภาพที่พอใช้ มีคราบปนเปื้อนเกิดขึ้นและค่าปริมาณสารปนเปื้อนที่ออกมาในรูปก๊าซที่ระเหย (Outgassing Quantity : Total Volatile) อยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

☆☆☆ หมายถึง Un-accept Condition คือ ชิ้นงานหลังการทดลองอยู่ใน สภาพที่ไม่สามารถไม่สามารถยอมรับได้

4.4 การทำการวิเคราะห์ด้วย Anderon Test เพื่อเป็นการตรวจสอบเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุน(26)

การทำการวิเคราะห์ด้วย Anderon Test เป็นการตรวจสอบเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุนโดยการฟัง รายละเอียดของมาตรฐานการปฏิบัติงานการตรวจสอบเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุนดังแสดงในภาคผนวก ง.เนื่องจากขณะที่ตลับลูกปืนหมุนถ้าตลับลูกปืนมีความผิดปกติเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกรณีของการเกิดรอยหรือรูปร่างของส่วนประกอบย่อยมีความผิดปกติอันเนื่องจากการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง หรือกรณีที่มีปริมาณของฝุ่นหรือสิ่งสกปรกในตัวชิ้นงาน (Dusty) มากเกินค่ามาตรฐาน ทำให้การหมุนและความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนจะสั่นมาก เสียงที่เกิดจากการหมุนจะมีระดับเสียงดังกว่ามาตรฐาน โดยปกติตลับลูกปืนจะมีการสั่นสะเทือนน้อยมาก และเป็นการสั่นแบบแรนดอม แต่ถ้าหากตลับลูกปืนเสียจะทำให้การสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนเปลี่ยนไปทุกๆครั้งที่ส่วนของการหมุนพบกับส่วนที่ผิดปกติ จะทำให้ได้สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง โดยลักษณะความถี่ของตลับลูกปืนที่มีรอยตำหนิหรือมีรอยแผลแสดงดังรูปที่4.9



ก) เสียงปกติ

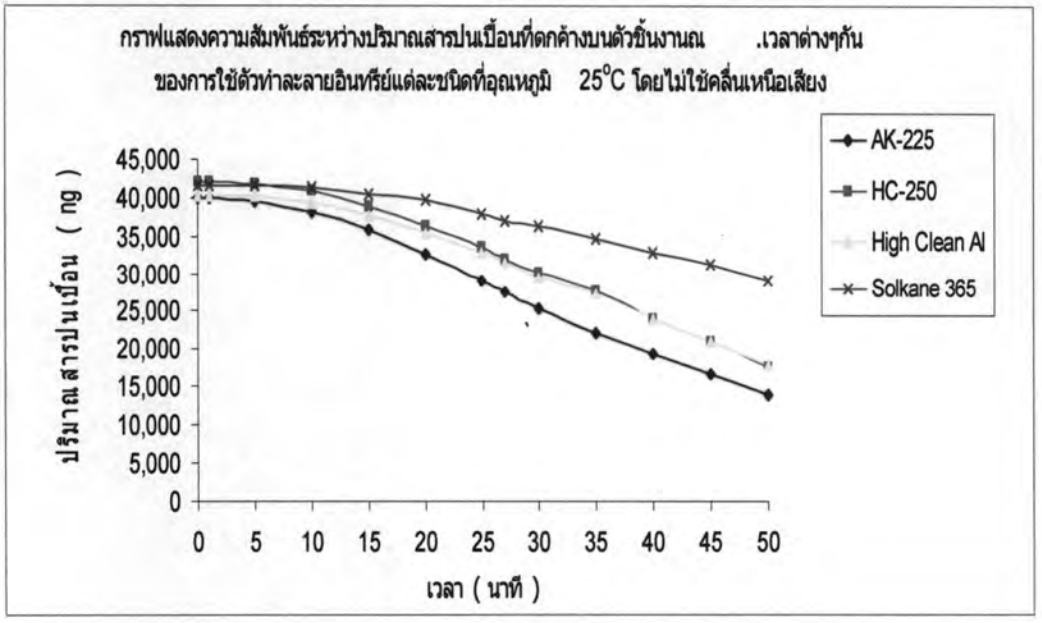
ข) เสียงจากรอยตำหนิ

รูปที่ 4.9 คลื่นเสียงขณะที่ตลับลูกปืนหมุนเมื่อวัดด้วยเครื่อง Anderon

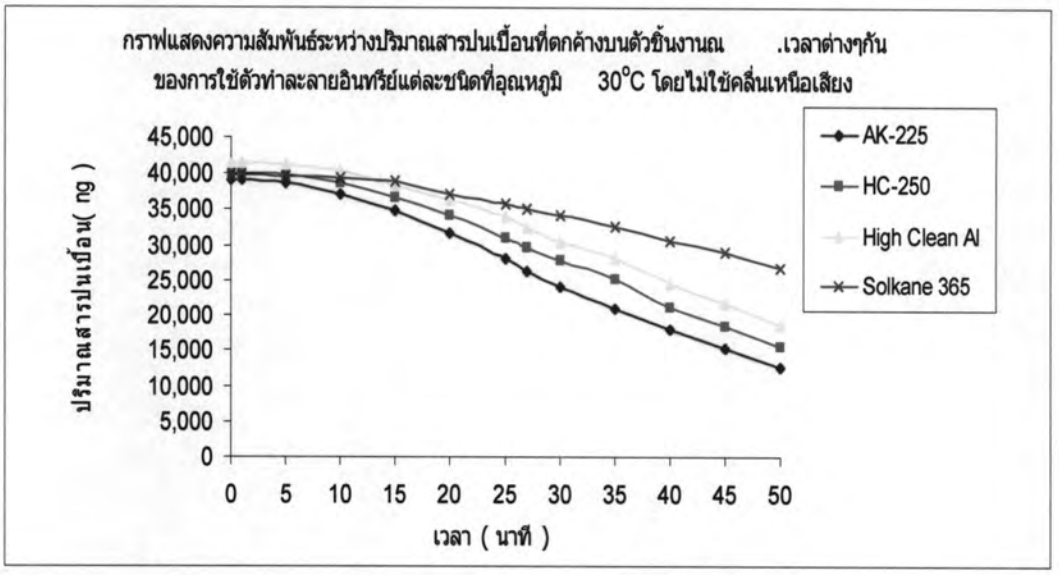
4.5 สรุปข้อมูลปัจจัยต่างๆของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานและผลการเปรียบเทียบ

โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Non Volatile Residue (NVR) ซึ่งเป็นวิธีการหาปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานโดยใช้หลักการระเหยตัวทำละลายที่ใช้ในการชะล้างชิ้นงาน ออกไปแล้วคงเหลือเฉพาะสารหรืออนุภาคที่ไม่ระเหยออกไปกับพร้อมกับตัวทำละลายซึ่งรายละเอียดของมาตรฐานการปฏิบัติงานขั้นตอนการวิเคราะห์ สารตกค้างบนชิ้นงานซึ่งไม่สามารถระเหยเป็นไอได้ (Non-Volatile Residue) ดังแสดงในภาคผนวก ค.

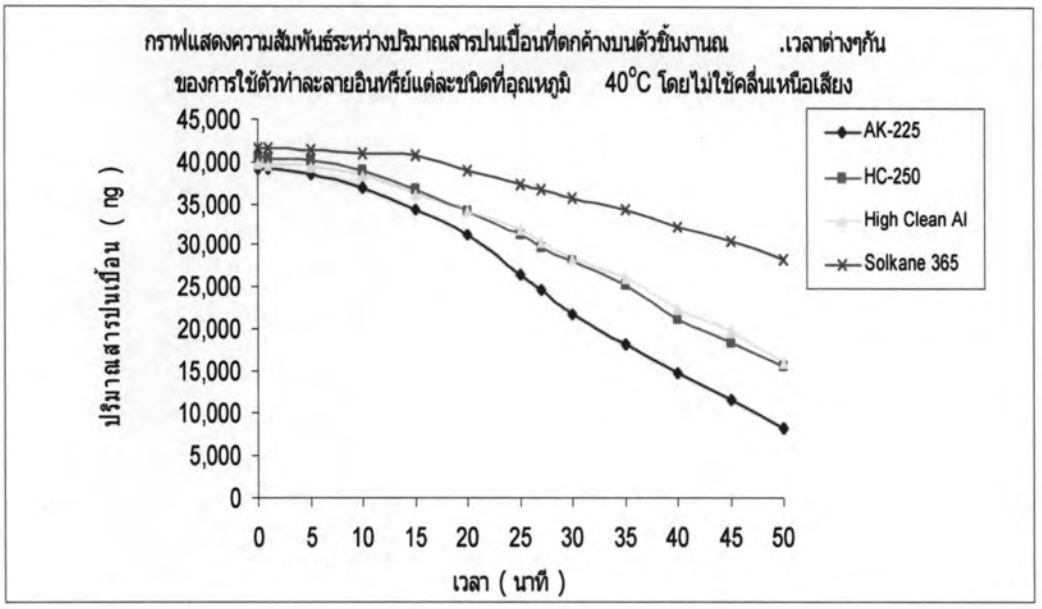
4.5.1 จากข้อมูลผลการทดลองนำมาแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.สภาวะการสกัดสารปนเปื้อนเพื่อชะล้างออกจากตัวชิ้นงานโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ 4 ชนิด ที่มีการเลือกใช้ปัจจัยด้านอุณหภูมิและคลื่นเหนือเสียงโดยสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังนี้



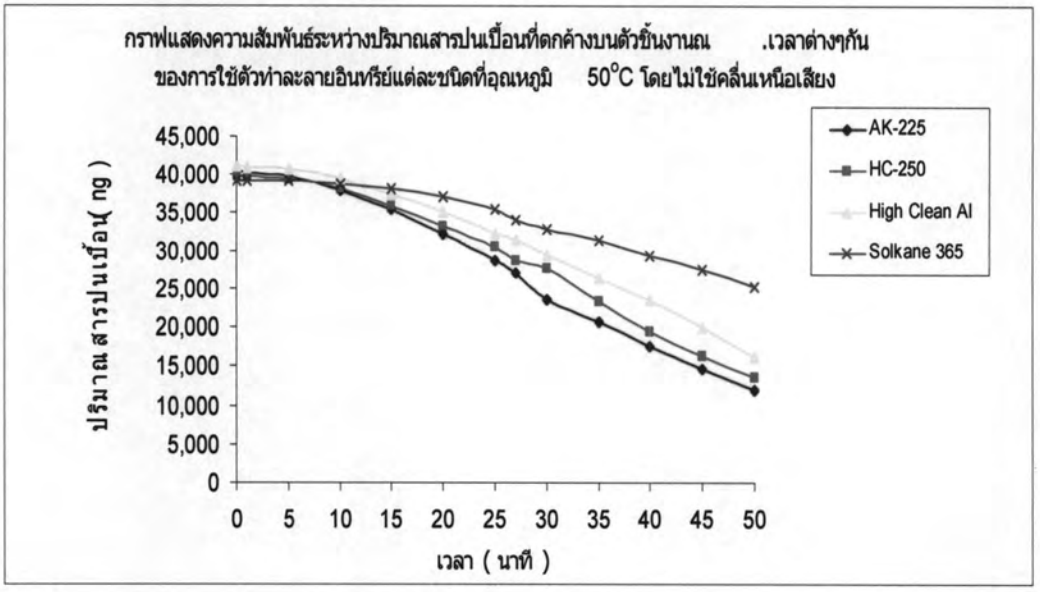
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 30°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน(ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

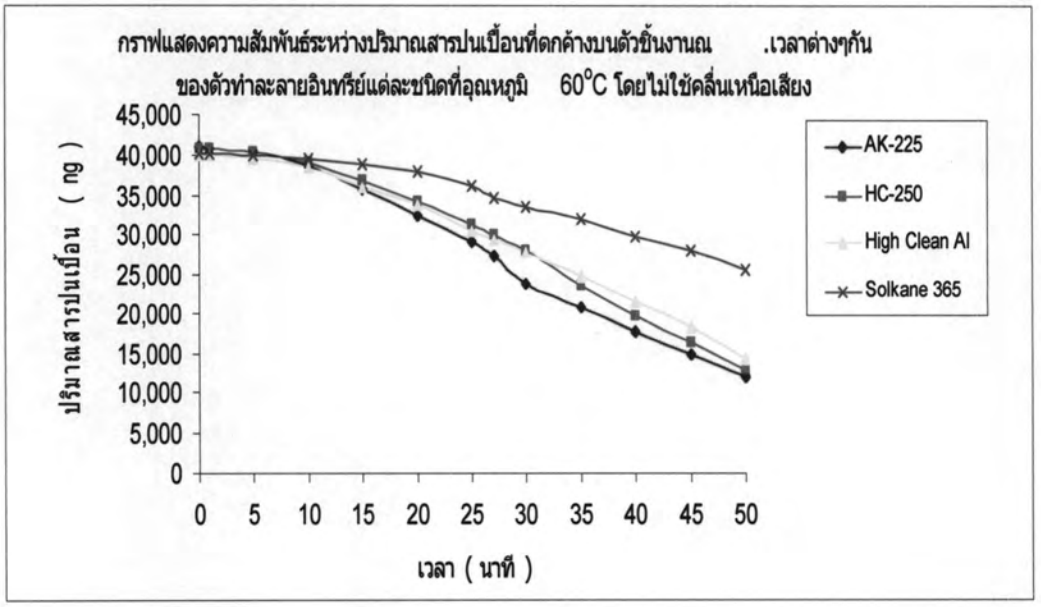
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 40°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

(c)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 50°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน(ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

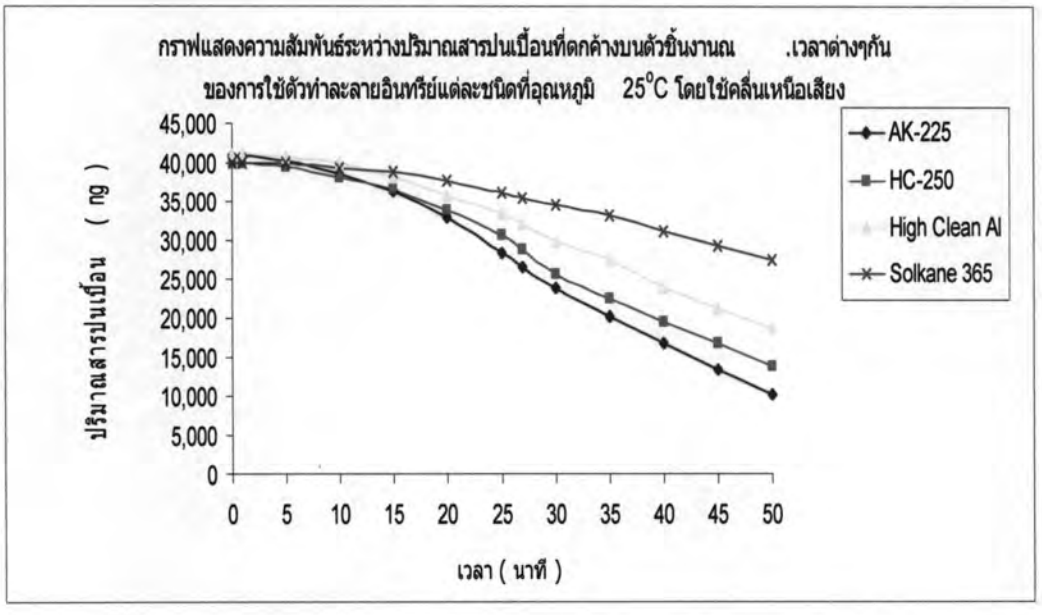
(d)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 60°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

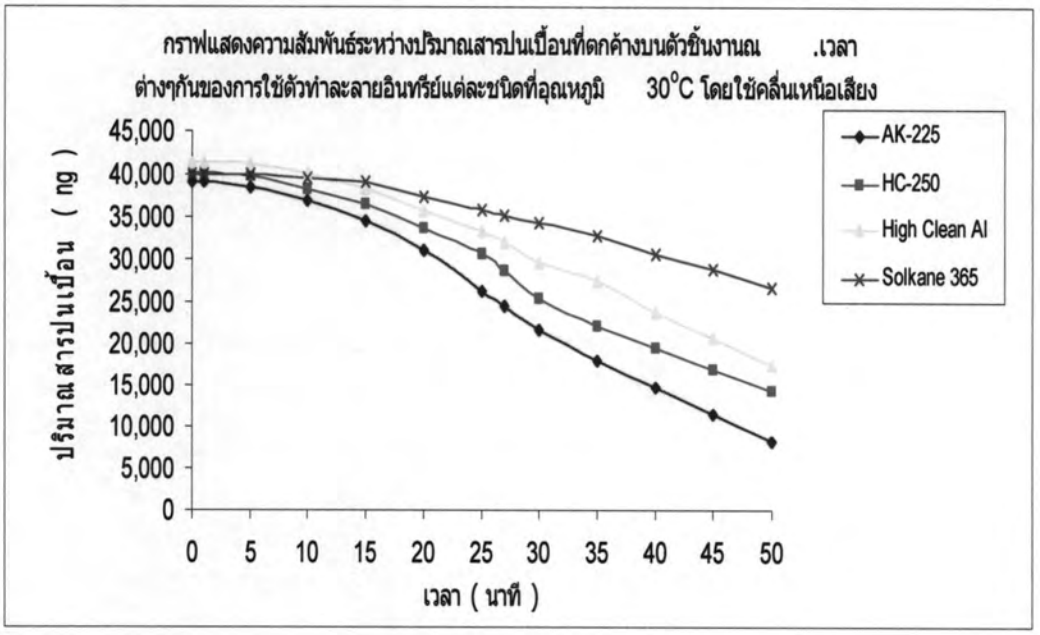
(e)

รูปที่ 4.10 (a) , (b) , (c) , (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)

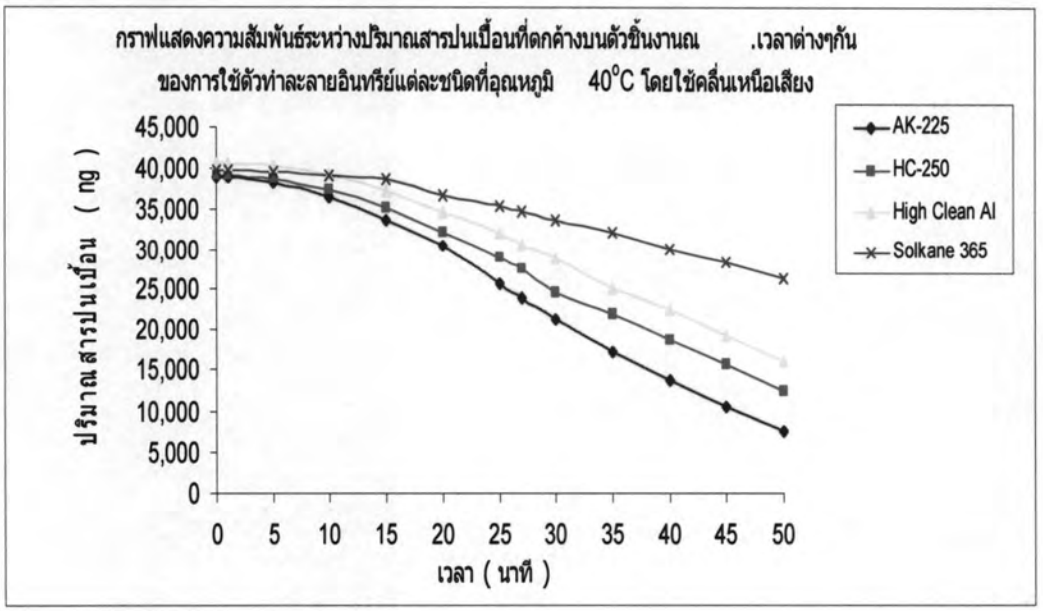
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าการทดลองใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดในสภาวะที่ไม่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic) โดยมีการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันไปณ.เวลาเริ่มต้นที่ 1 นาทีดูแนวโน้มการลดลงของสารปนเปื้อน จากนั้นทำการทดลองทุกๆ 5 นาทีจนถึงเวลาที่ 50 นาที และได้ทำการทดลองณ.เวลาที่ 27 นาทีซึ่งเป็นเวลาที่ทำการใช้งานณ.ปัจจุบันเป็นการยืนยันถึงสภาวะของการใช้งานที่เหมาะสม พบว่าการทดลองให้ผลที่เหมือนกันสำหรับทุกสภาวะที่มีการใช้อุณหภูมิค่าต่างๆกันไปคือที่ จากกราฟรูปที่ 4.10 (a) , (b) , (c) , (d) และ (e) คือที่ 25° C , 30° C , 40° C ,50° C และ 60° C ตามลำดับ นั่นคือ ผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ให้ประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานดีที่สุดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือให้ประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานได้ดีที่สุดโดยดูจากค่าปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือตกค้างบนตัวชิ้นงานที่น้อยที่สุด รองลงมาคือ HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365 ตามลำดับ



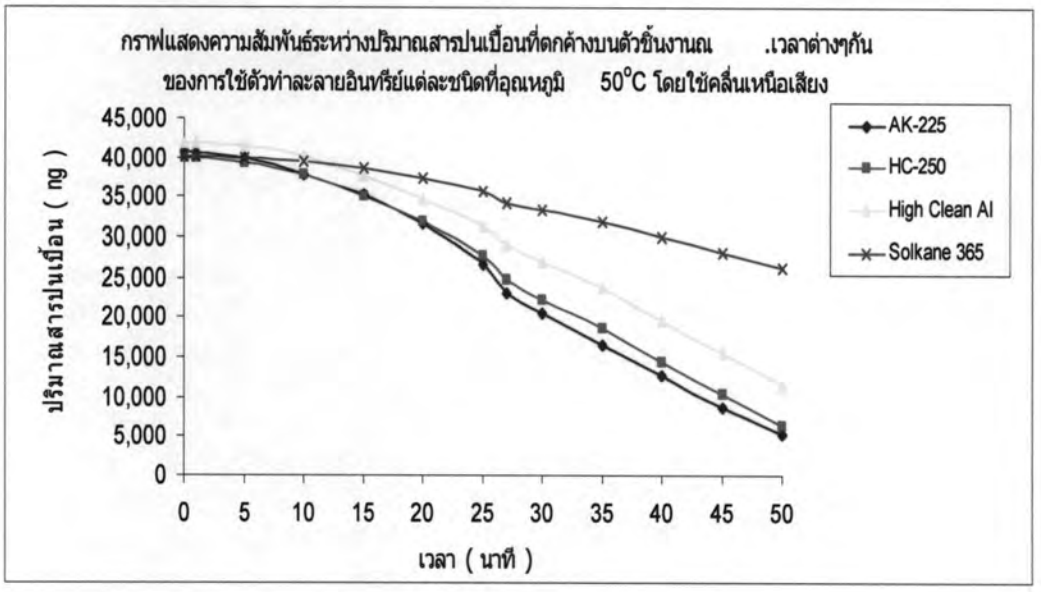
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลา
ต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 30°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

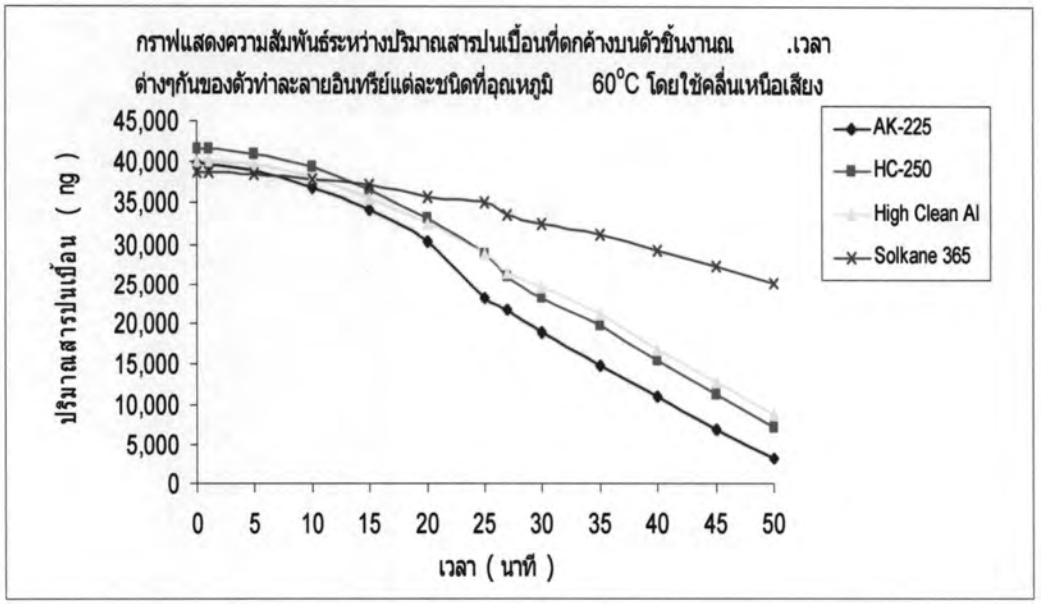
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 40°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

(c)



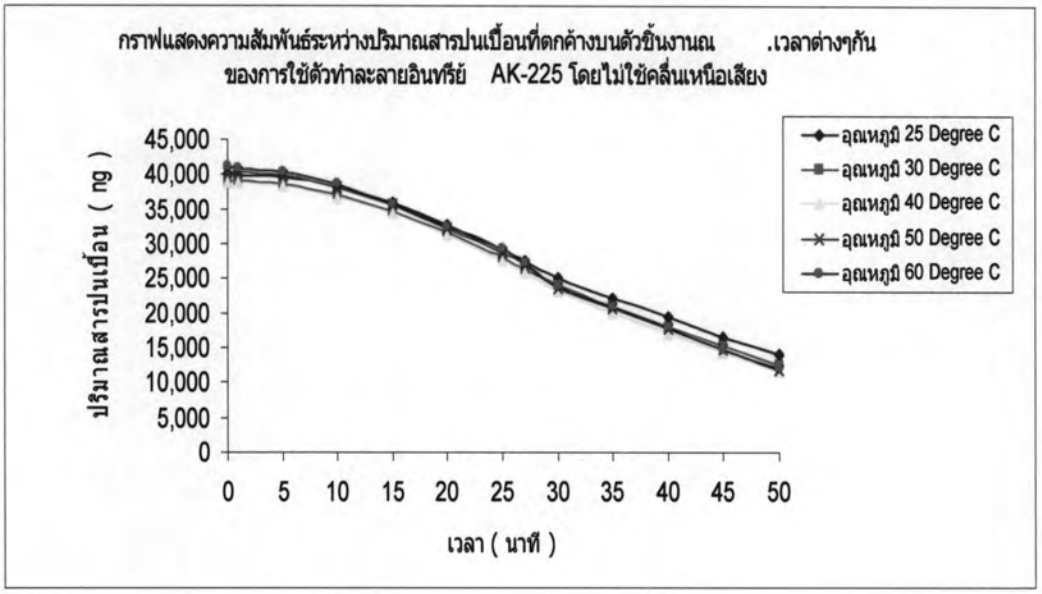
(d)



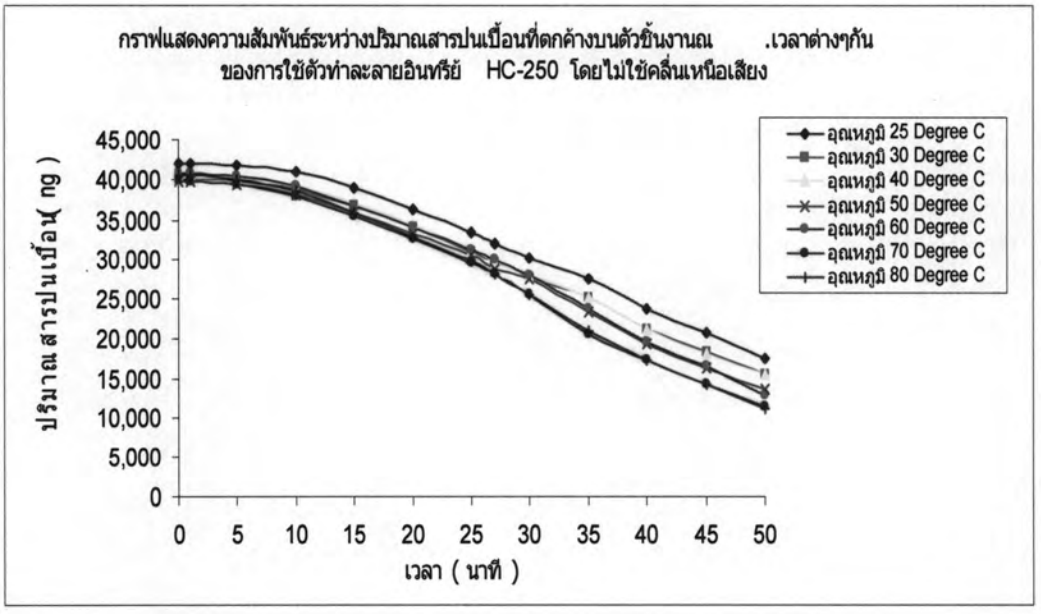
(e)

รูปที่ 4.11 (a) , (b) , (c) , (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) ที่ความถี่ที่ 38KHz

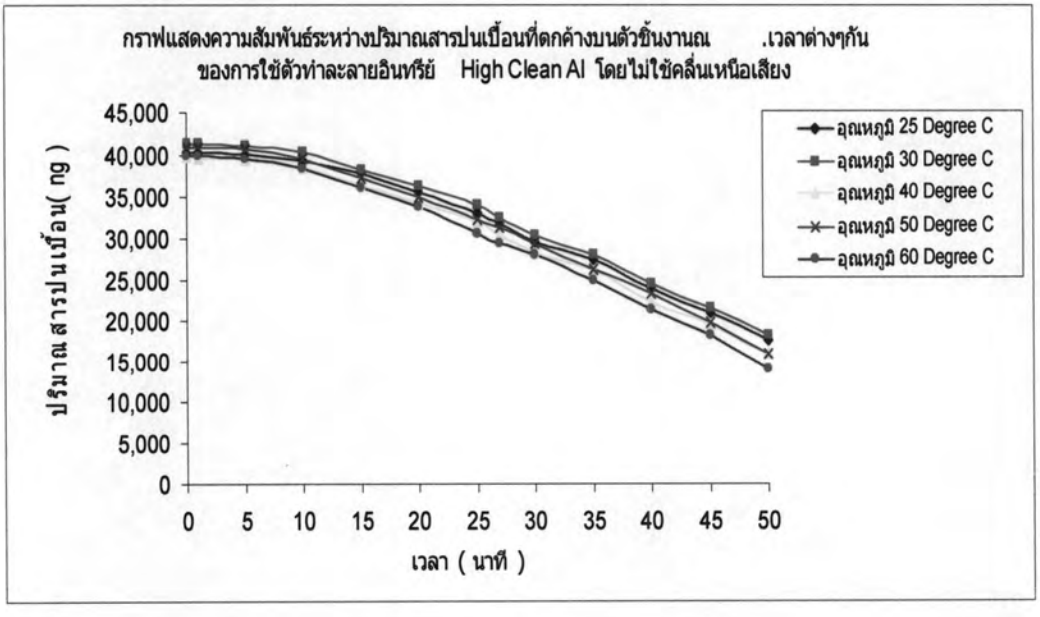
เช่นเดียวกันกับกราฟรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการทดลองใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดกับสภาวะที่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic) ที่ความถี่ที่ 38KHz โดยมีการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันไป พบว่าการทดลองให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง นั่นคือ ผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ให้ประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานดีที่สุดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือให้ประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานได้ดีที่สุด โดยดูจากค่าปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลือตกค้างบนตัวชิ้นงานที่น้อยที่สุด รองลงมาคือ HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365 ตามลำดับ



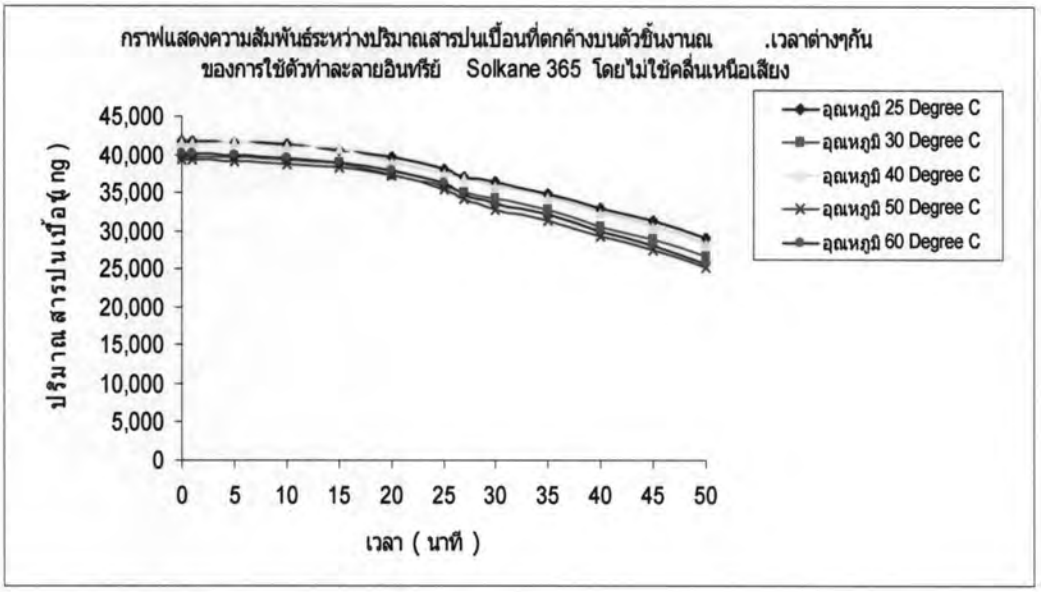
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน(ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
อุณหภูมิ 25 Degree C
อุณหภูมิ 30 Degree C
อุณหภูมิ 40 Degree C
อุณหภูมิ 50 Degree C
อุณหภูมิ 60 Degree C
อุณหภูมิ 70 Degree C
อุณหภูมิ 80 Degree C

(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ High Clean Al โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน(ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
อุณหภูมิ 25 Degree C
อุณหภูมิ 30 Degree C
อุณหภูมิ 40 Degree C
อุณหภูมิ 50 Degree C
อุณหภูมิ 60 Degree C

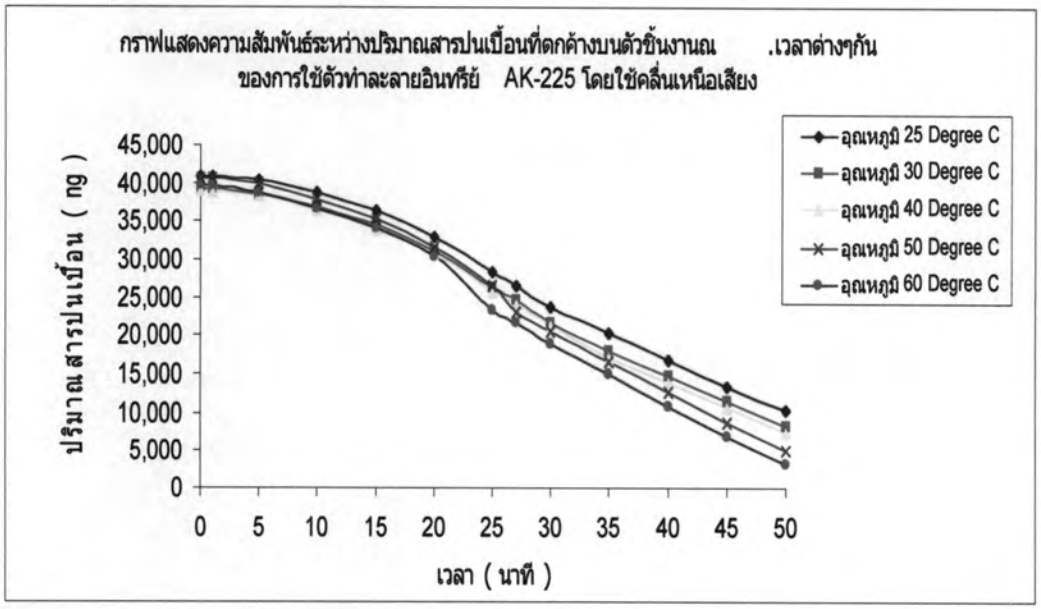
(c)



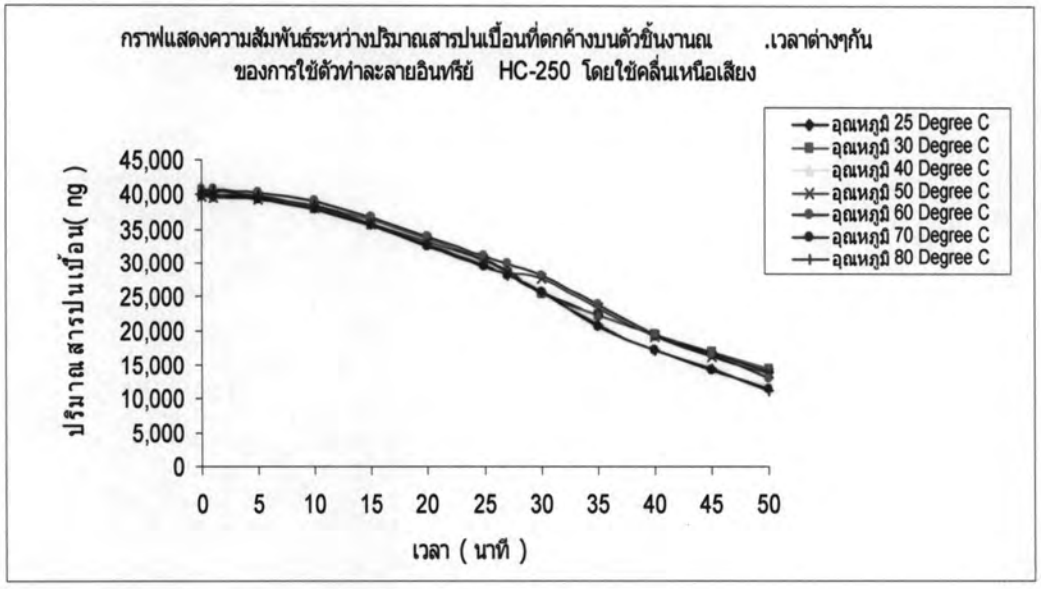
(d)

รูปที่ 4.12 (a) , (b) ,(c) และ (d) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)

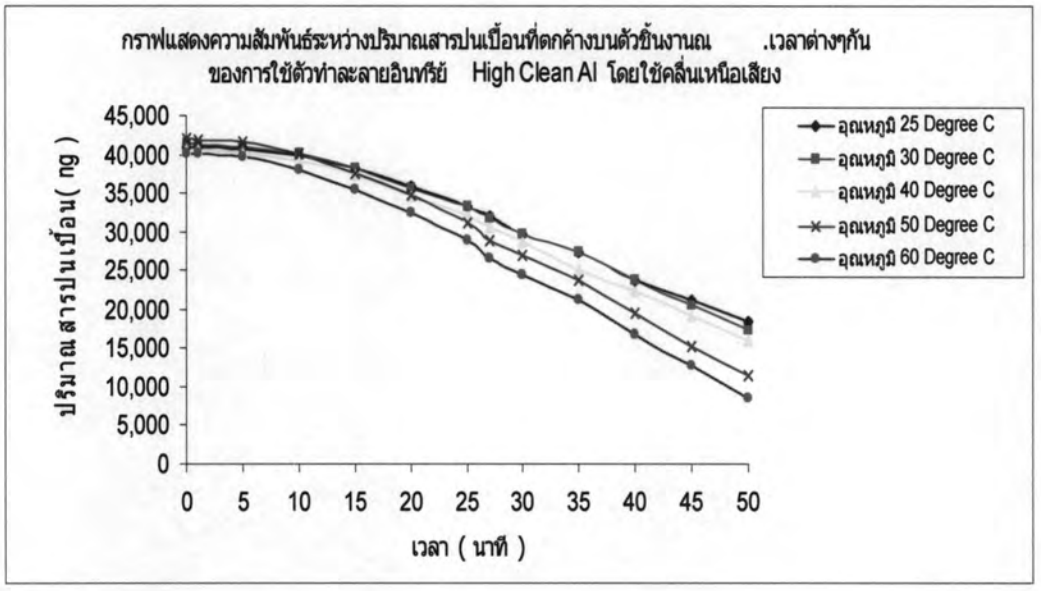
จากกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่ออัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่ละชนิด โดยพบว่าณ.อุณหภูมิต่างๆกันโดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานได้ดีตามไปด้วย โดยพบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารปนเปื้อนที่เป็นพวกสารประกอบอินทรีย์เกิดการสลายตัวหรือละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีขึ้นทำให้เกิดการชะล้างออกไปจากพื้นผิวได้ดีขึ้นเห็นได้จากปริมาณสารปนเปื้อนบนตัวชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่อทำการสกัดที่สภาวะต่างๆกัน นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปเรื่อยๆมีแนวโน้มที่ทำให้อัตราการสกัดค่อนข้างคงที่จึงจะมีการทดลองเพิ่มอุณหภูมิ 2 ค่าเพื่อดูแนวโน้มของอัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องจุดเดือดของสารและปริมาณของวัตถุดิบบางตัว(เนื่องจากยังไม่ได้มีการสั่งเป็นmass Production) จึงได้มีการนำมาใช้ทดลองกับ HC-250 เนื่องจากมีแนวโน้มที่ดีในการนำมาทดแทนสารตัวเดิมคือ AK-225


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
อุณหภูมิ 25 Degree C
อุณหภูมิ 30 Degree C
อุณหภูมิ 40 Degree C
อุณหภูมิ 50 Degree C
อุณหภูมิ 60 Degree C

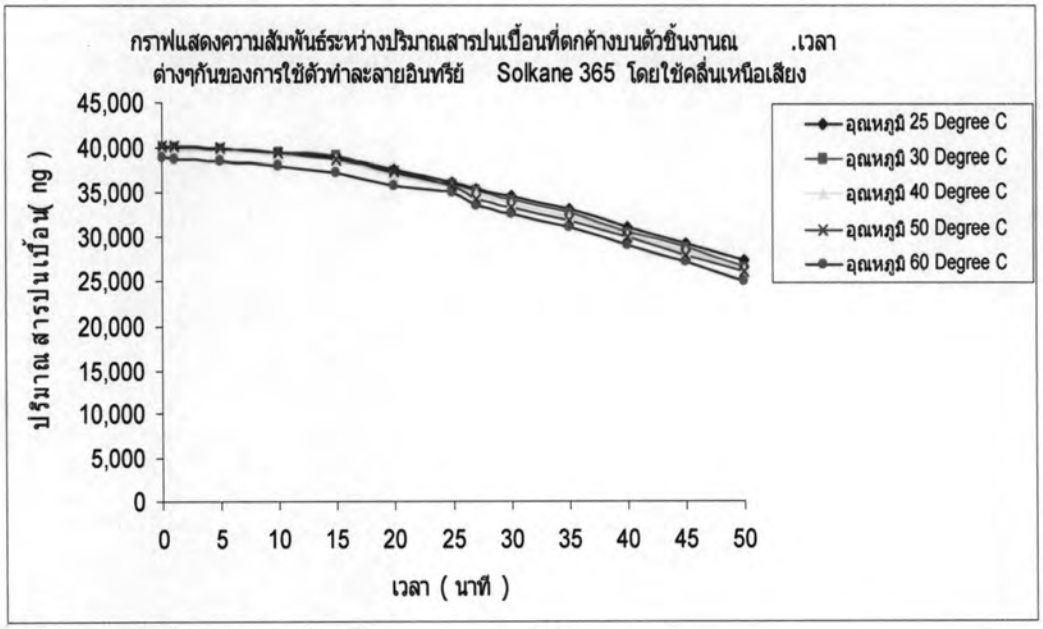
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ดกค้างบนตัวชิ้นงานณ .เวลาต่างๆกัน
ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ปริมาณสารปนเปื้อน(ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
อุณหภูมิ 25 Degree C
อุณหภูมิ 30 Degree C
อุณหภูมิ 40 Degree C
อุณหภูมิ 50 Degree C
อุณหภูมิ 60 Degree C
อุณหภูมิ 70 Degree C
อุณหภูมิ 80 Degree C

(b)



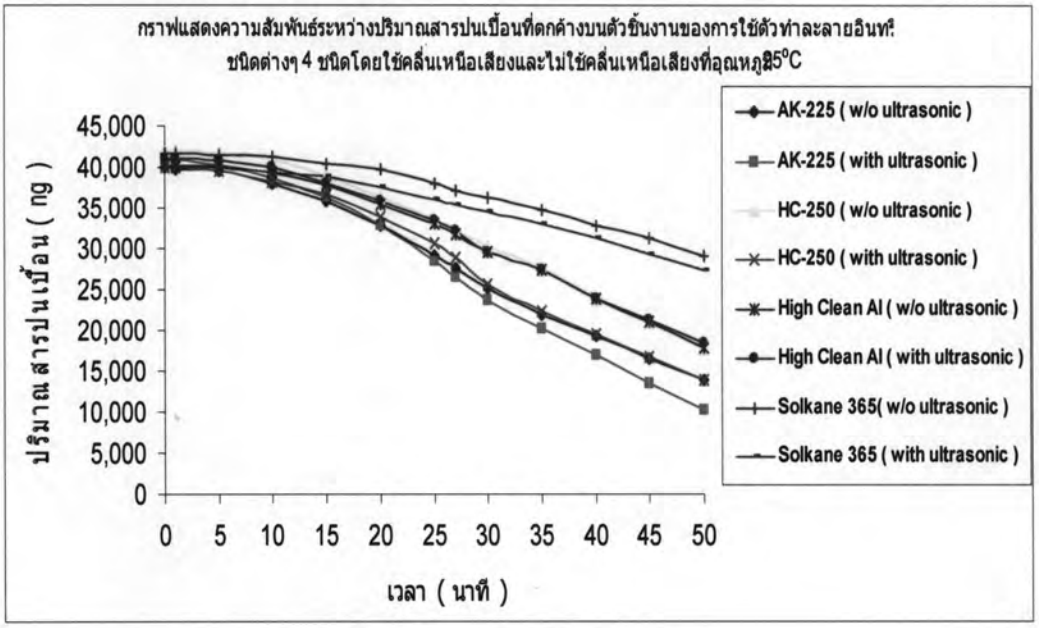
(c)



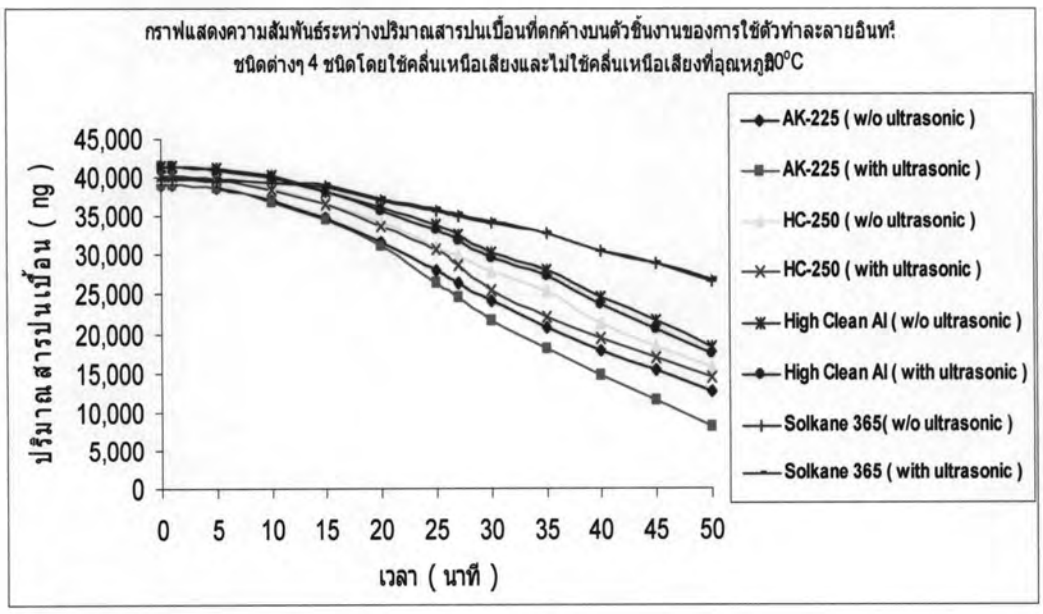
(d)

รูปที่ 4.13 (a) , (b) , (c) และ (d) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) ที่ ความถี่ 38KHz

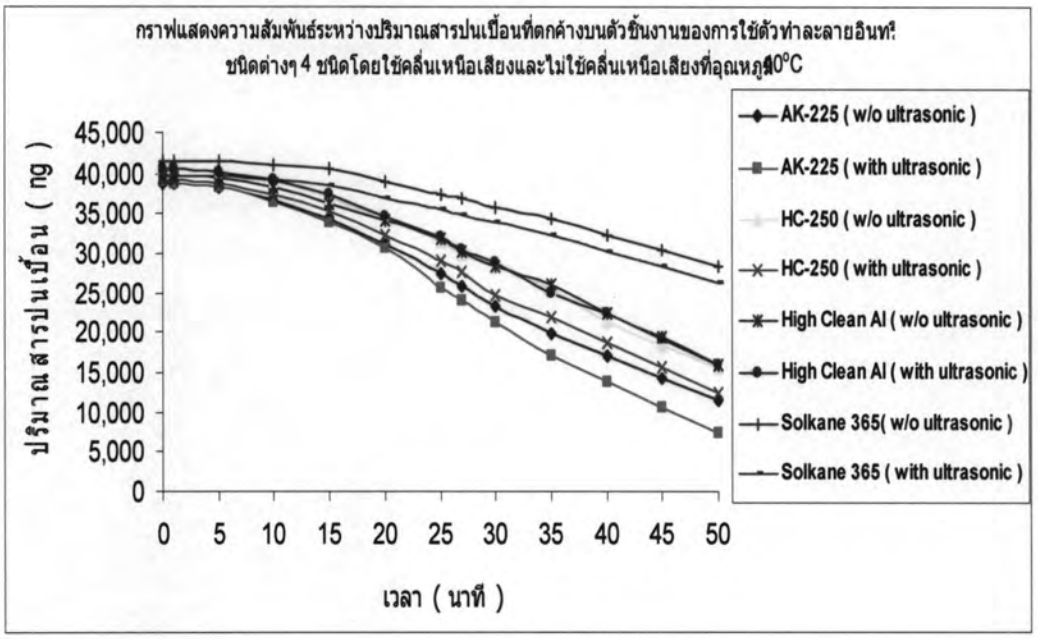
เช่นเดียวกันกับกราฟรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่ออัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่ละชนิดโดยพบว่าณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงต่ออัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงาน



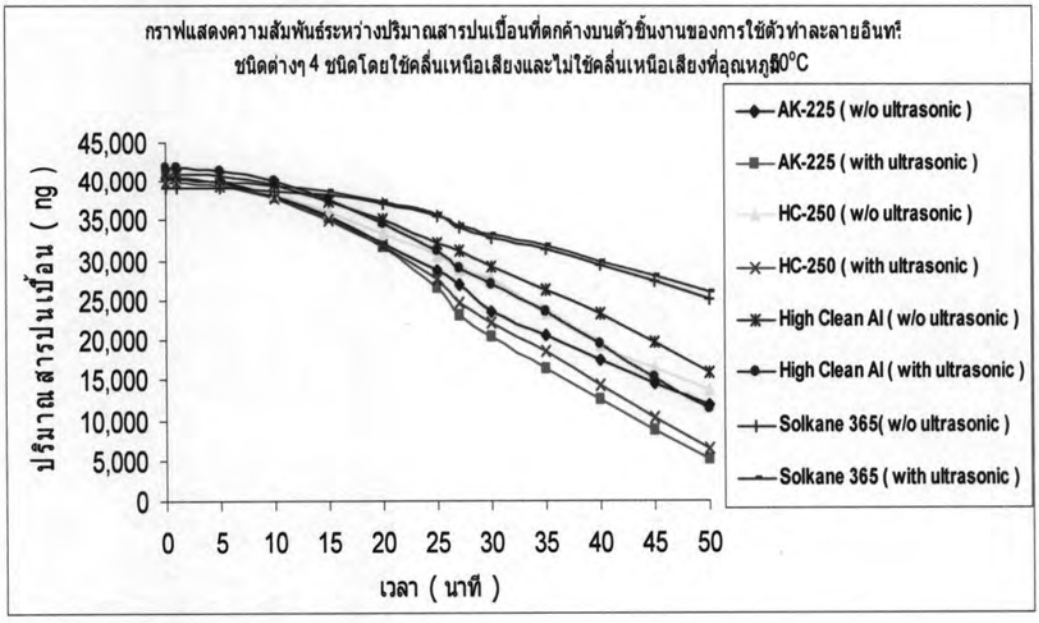
(a)



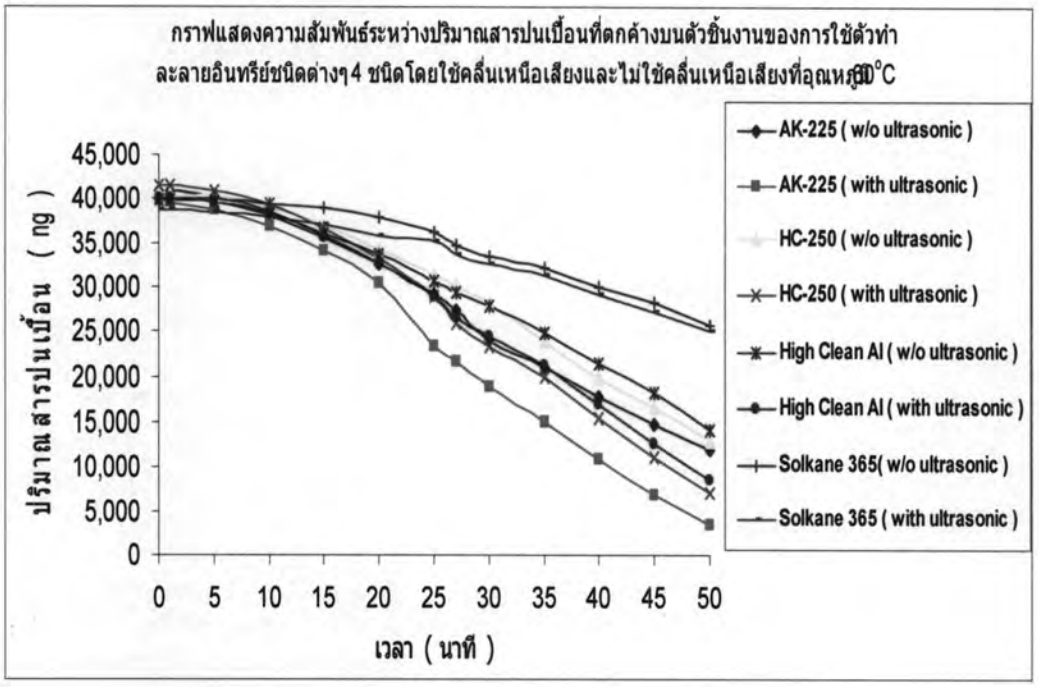
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานของการใช้ตัวทำละลายอินทรี
ชนิดต่างๆ 4 ชนิดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่อุณหภูมิ 40°C
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225 (w/o ultrasonic)
AK-225 (with ultrasonic)
HC-250 (w/o ultrasonic)
HC-250 (with ultrasonic)
High Clean AI (w/o ultrasonic)
High Clean AI (with ultrasonic)
Solkane 365(w/o ultrasonic)
Solkane 365 (with ultrasonic)

(c)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานของการใช้ตัวทำละลายอินทรี
ชนิดต่างๆ 4 ชนิดโดยใช้คลื่นเหนือเสียงและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงที่อุณหภูมิ 50°C
ปริมาณสารปนเปื้อน (ng)
45,000
40,000
35,000
30,000
25,000
20,000
15,000
10,000
5,000
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225 (w/o ultrasonic)
AK-225 (with ultrasonic)
HC-250 (w/o ultrasonic)
HC-250 (with ultrasonic)
High Clean AI (w/o ultrasonic)
High Clean AI (with ultrasonic)
Solkane 365(w/o ultrasonic)
Solkane 365 (with ultrasonic)

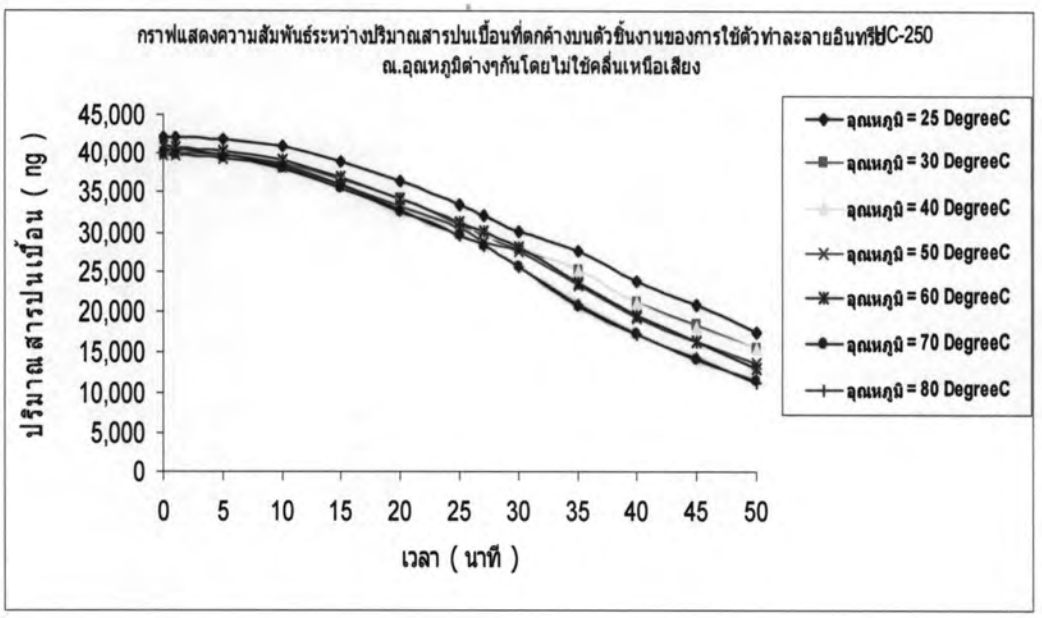
(d)



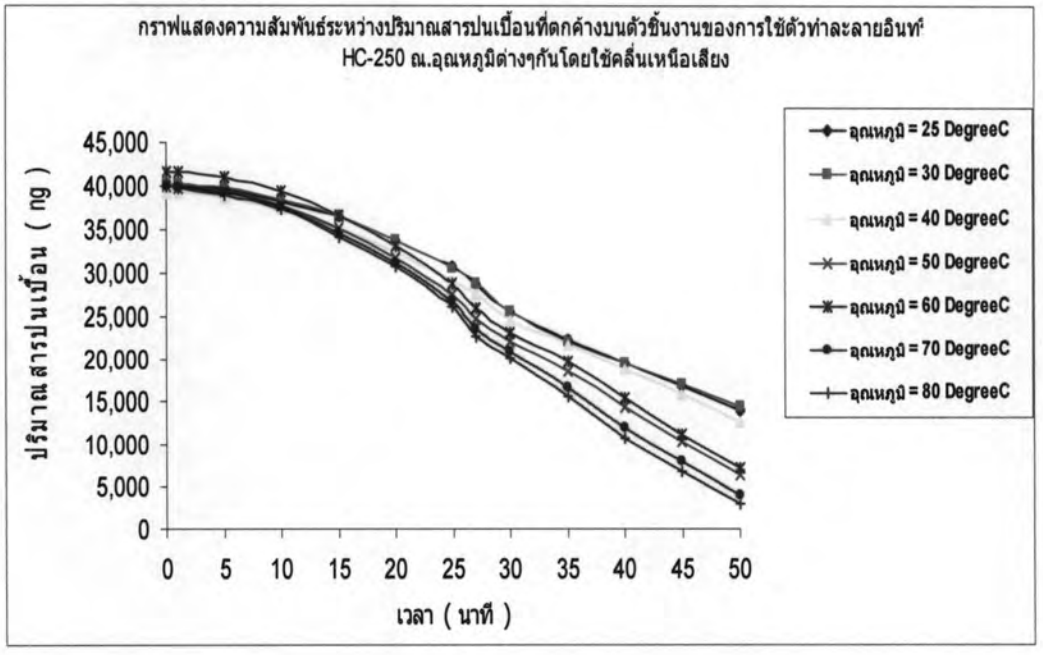
(e)

รูปที่ 4.14 (a) ,(b) , (c) , (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.อุณหภูมิต่างๆกันเปรียบเทียบระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic) ที่ความถี่ 38KHzและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลโดยตรงต่ออัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่ละชนิด โดยพบว่าอัตราการสกัดสารปนเปื้อนณ.อุณหภูมิต่างๆกันในกรณีการใช้คลื่นเหนือเสียงให้ผลที่ดีกว่ากรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)เนื่องจากการใช้คลื่นเหนือเสียงจะช่วยทำความสะอาดผิวของแข็งเพื่อเพิ่มผิวสัมผัส เป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น สำหรับผงฝุ่นหรืออนุภาค คลื่นเหนือเสียงจะสามารถลดขนาดและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของแข็งและของเหลวได้โอกาสการสัมผัสกันจึงมีสูงขึ้น



(a)

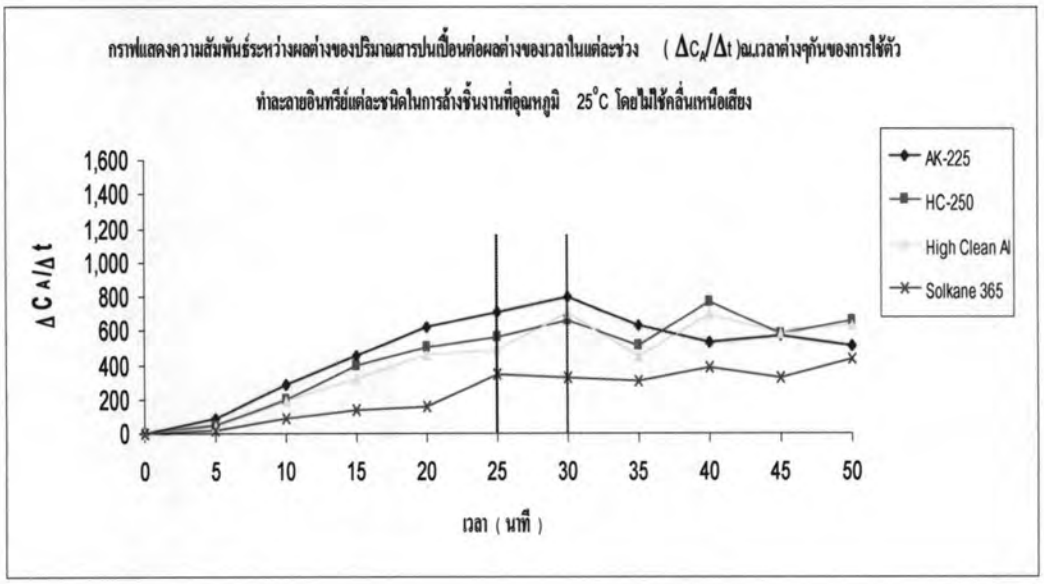


(b)

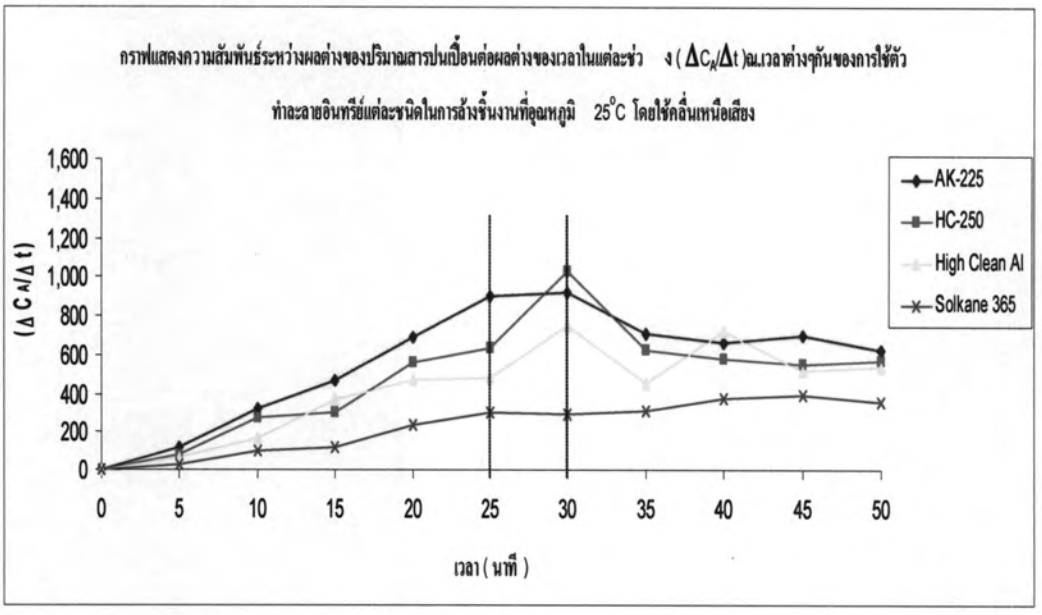
รูปที่ 4.15 (a) และ (b) เป็นกราฟแสดงปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานณ.ช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)ที่ความถี่ 38 KHzและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250

จากกราฟรูปที่4.15 มีการทดลองเพิ่มที่อุณหภูมิ 2 ค่าเพื่อดูแนวโน้มของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากพบว่าช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปเรื่อยๆมีแนวโน้มที่ทำให้อัตราการสกัดค่อนข้างคงที่จึงมีการทดลองเพิ่มโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ70°Cและ80°C ตามลำดับ โดยได้มีการนำมาใช้ทดลองกับ HC-250 เนื่องจากมีแนวโน้มที่ดีในการนำมาทดแทนสารตัวเดิมคือ AK-225 จากการทดลองพบว่าทั้ง 2 กรณีที่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)ที่ความถี่ 38 KHzและไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ให้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือแนวโน้มของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการสกัดสารปนเปื้อนมีแนวโน้มคงที่

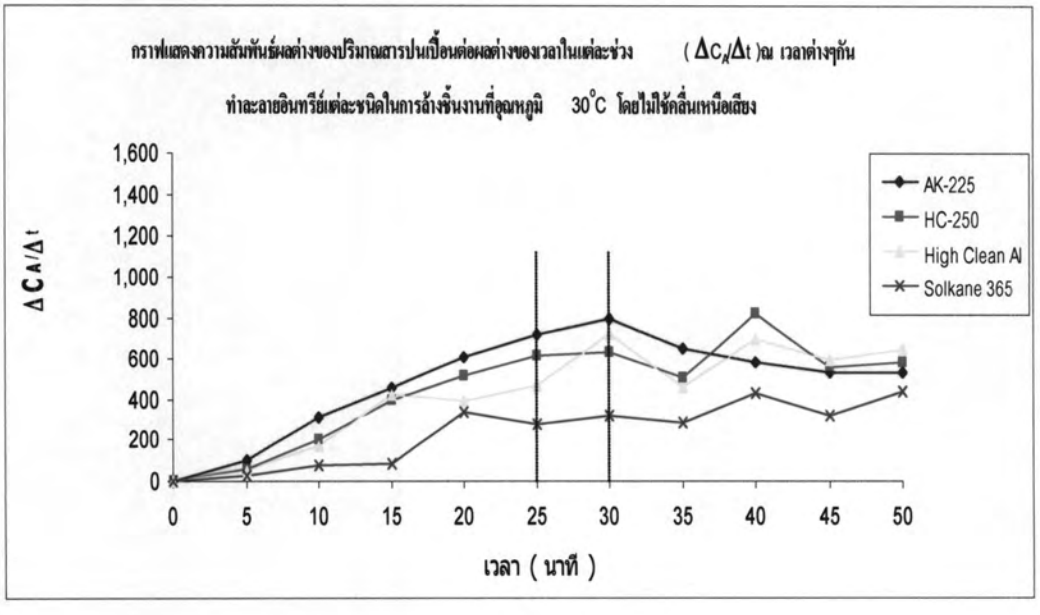
4.5.2 จากข้อมูลผลการทดลองนำมาแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง ($\Delta C_A/\Delta t$) ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ 4 ชนิด ที่มีการเลือกใช้ปัจจัยด้านอุณหภูมิและคลื่นเหนือเสียงโดยสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังนี้



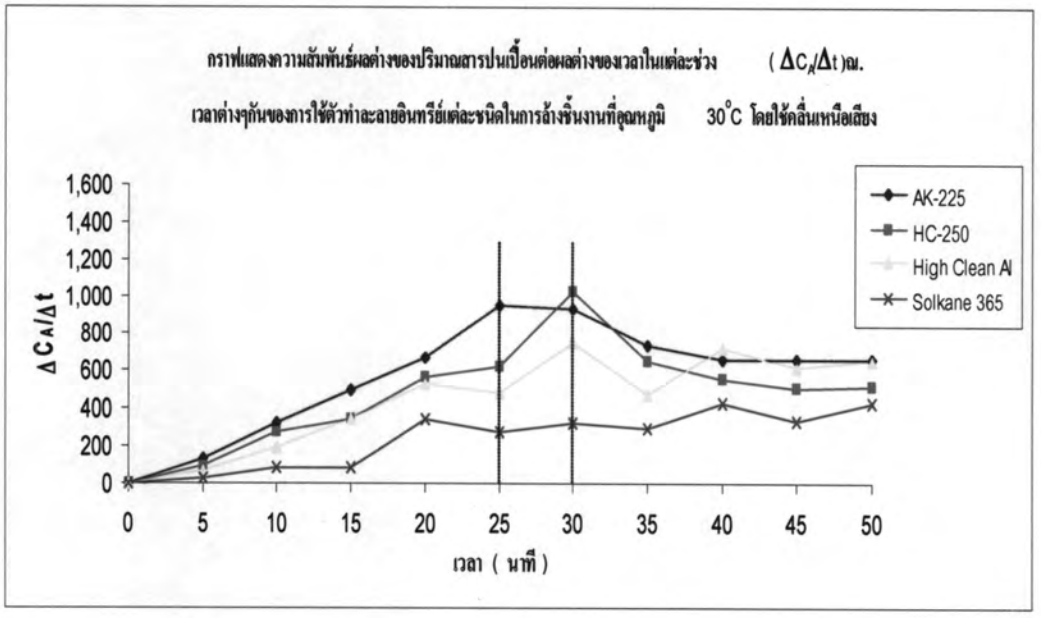
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่ว ง (ΔCA/Δt)ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัว
ทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
(ΔCA/Δt)
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

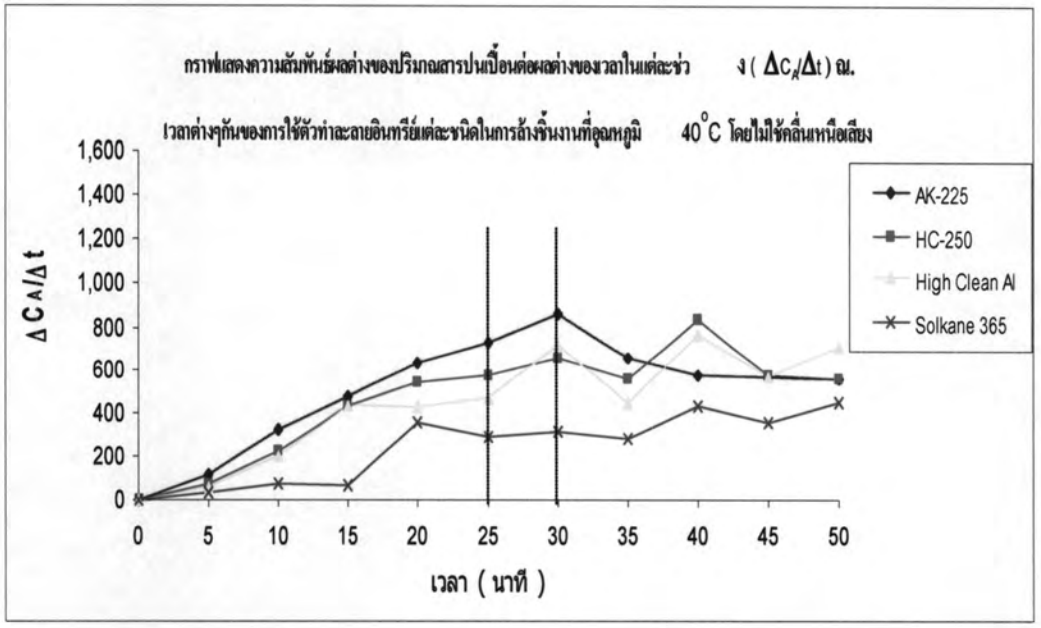
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง (ΔCA/Δt)ณ เวลาต่างๆกัน
ทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 30°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

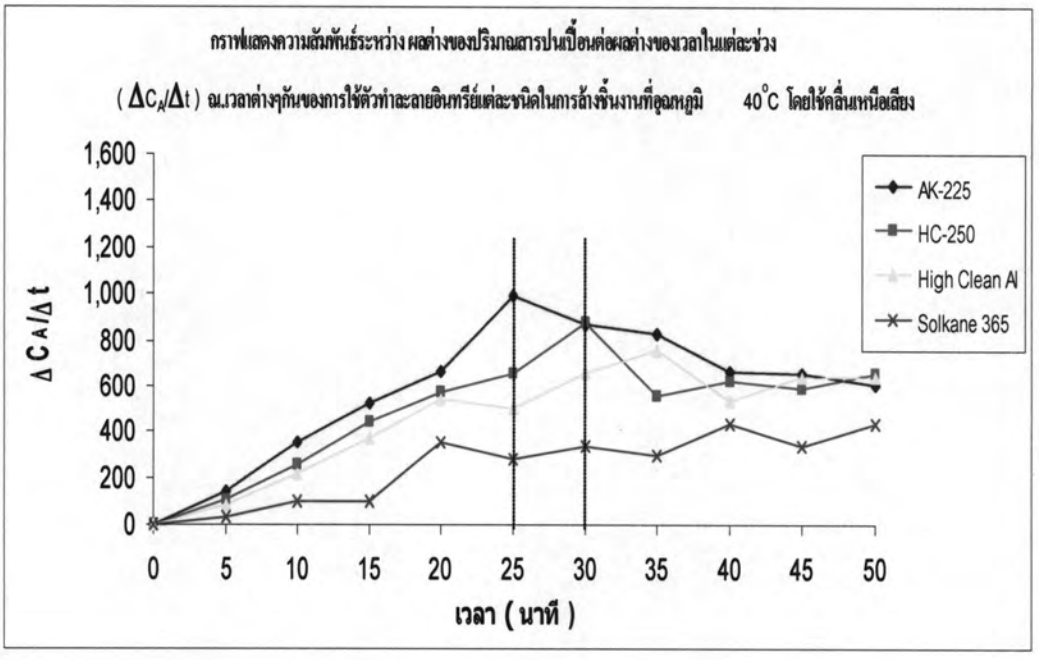
(c)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง (ΔCA/Δt)ณ.
เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 30°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

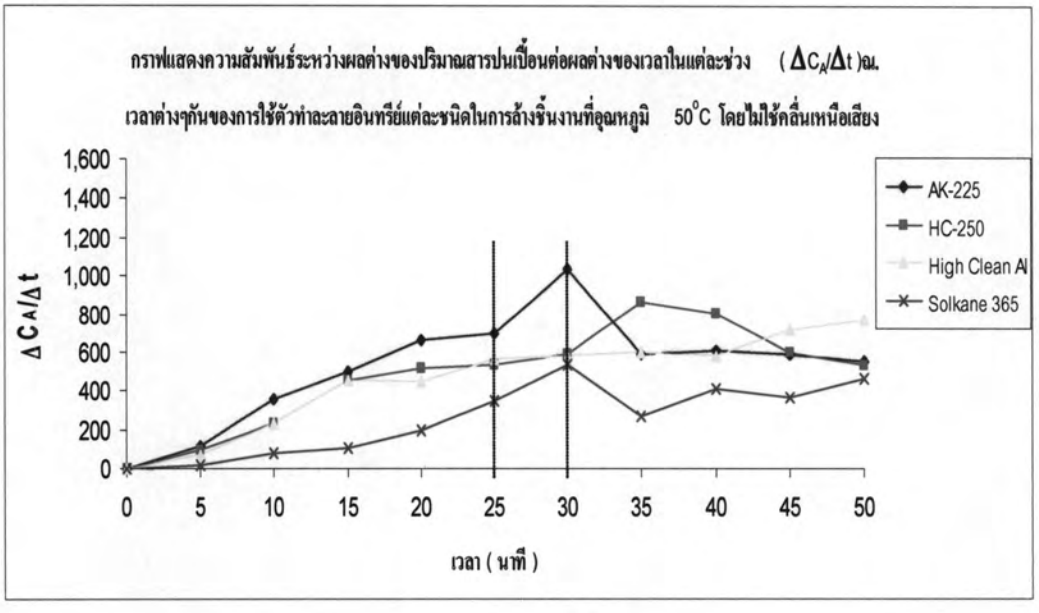
(d)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่ว ง (ΔCA/Δt) ณ.
เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 40°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

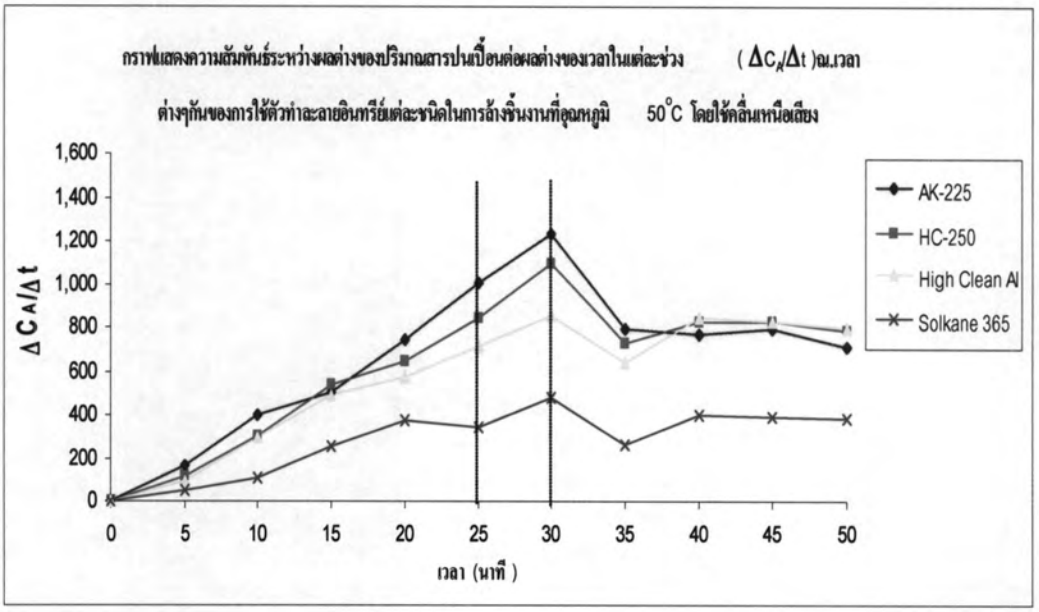
(e)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง
(ΔCA/Δt) ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 40°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

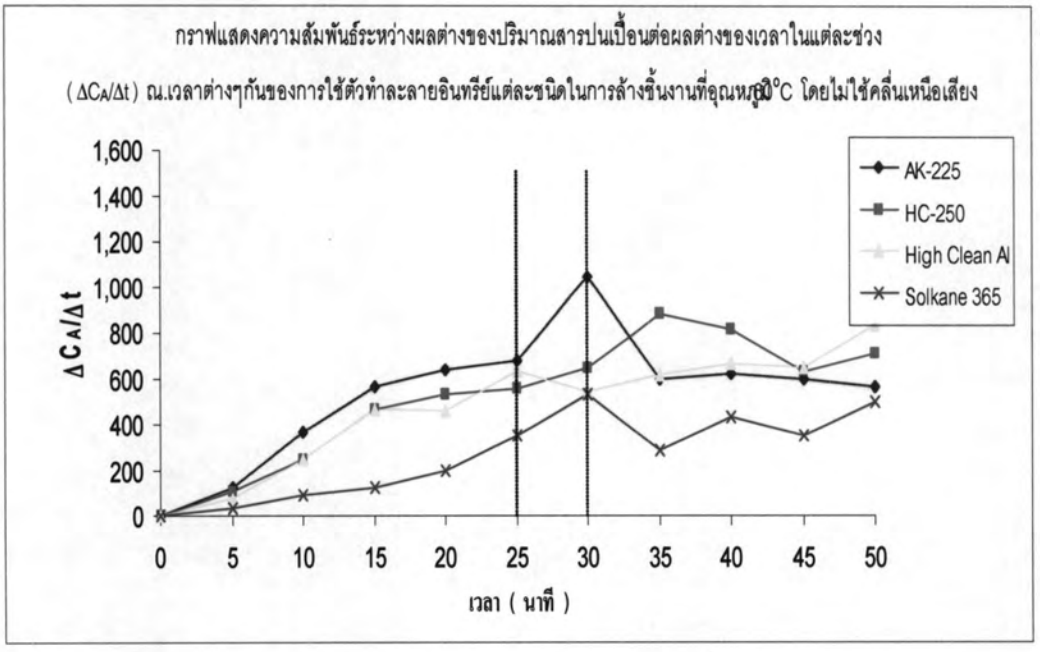
(f)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง (ΔCA/Δt)ณ.
เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 50°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

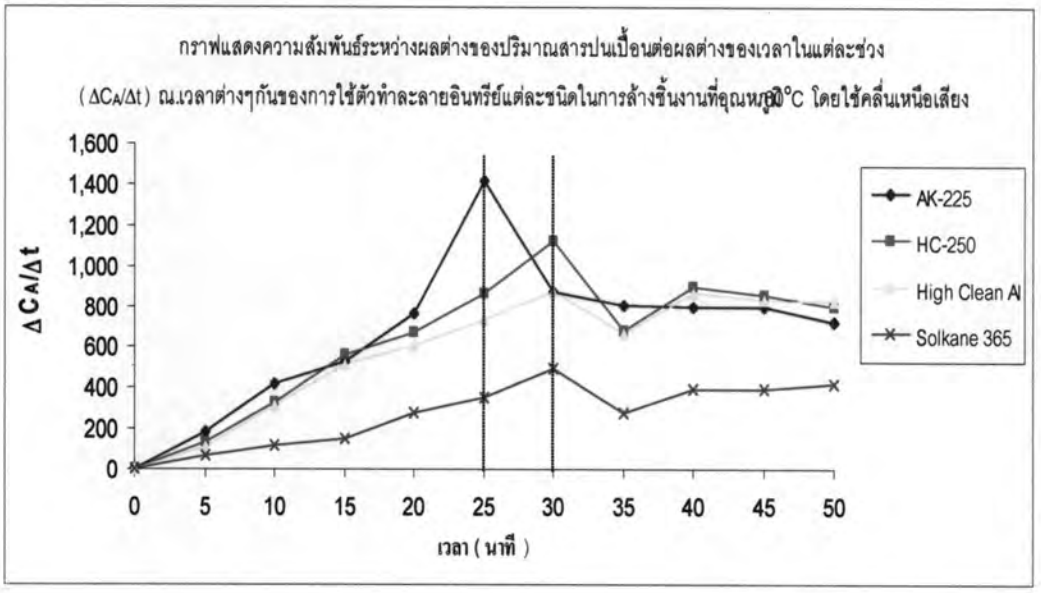
(g)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง (ΔCA/Δt)ณ.เวลา
ต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 50°C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

(h)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง
(ΔCA/Δt) ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดในการล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 50°C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
ΔCA/Δt
1,600
1,400
1,200
1,000
800
600
400
200
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
เวลา (นาที)
AK-225
HC-250
High Clean Al
Solkane 365

(i)



(j)

รูปที่ 4.16 (a) , (b) ,(c) , (d) , (e) , (f) ,(g) ,(h) , (i) และ (j) เป็นกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานต่อผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง ($\Delta C_A/\Delta t$) ณ.เวลาต่างๆกันของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ 4 ชนิด ที่มีการเลือกใช้ปัจจัยด้านอุณหภูมิและคลื่นเหนือเสียง

จากกราฟรูปที่ 4.16 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง($\Delta C_A/\Delta t$) และเวลาของการทำการสกัดเพื่อทำการชะล้างสิ่งสกปรกออกจากตัวชิ้นงาน โดยพบว่าช่วงเวลาระหว่างนาทีที่ 25-30 เป็นช่วงเวลาที่ให้ค่าของประสิทธิภาพการสกัดหรือให้อัตราการล้างสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานได้ดีที่สุดภายใต้สภาวะของการใช้คลื่นเหนือเสียง

4.5.3 จากข้อมูลผลการทดลองนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลได้จากอัตราการถ่ายเทมวลสารซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลสารคือผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทมวลและแรงขับ ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$N_A = AK(-\Delta\theta)$$

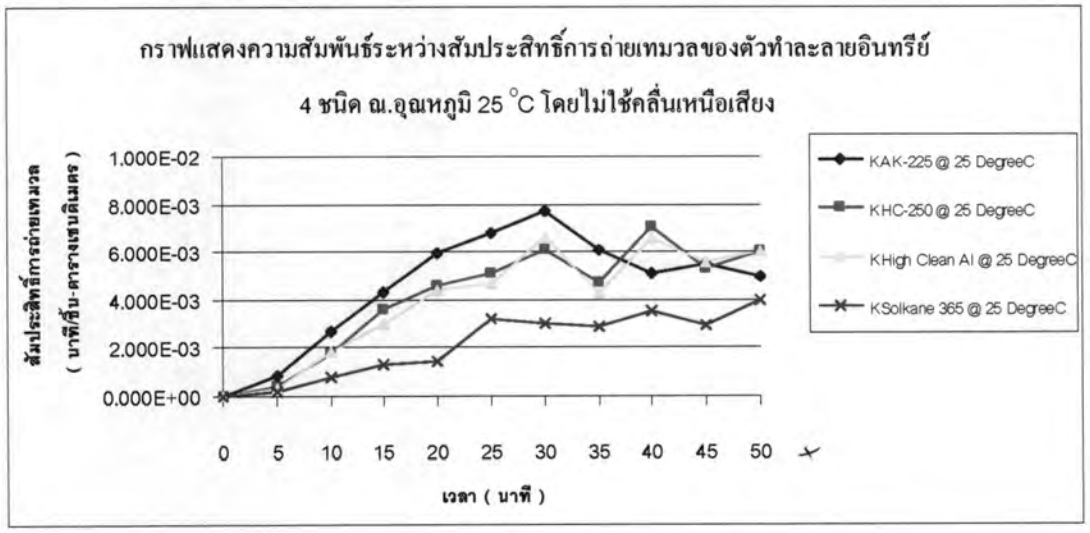
โดยที่ N_A คือ อัตราการถ่ายเทมวลสารของสาร A

A คือ พื้นที่ที่อยู่ระหว่างการถ่ายเทมวล

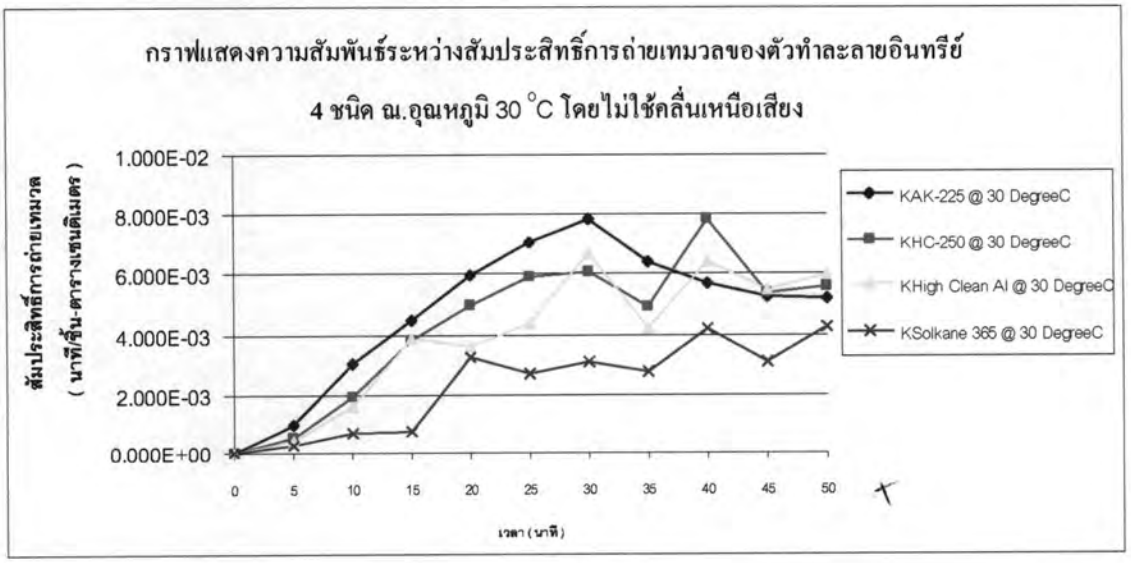
K คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

$(-\Delta\theta)$ คือ แรงขับหรือผลต่างของความเข้มข้น

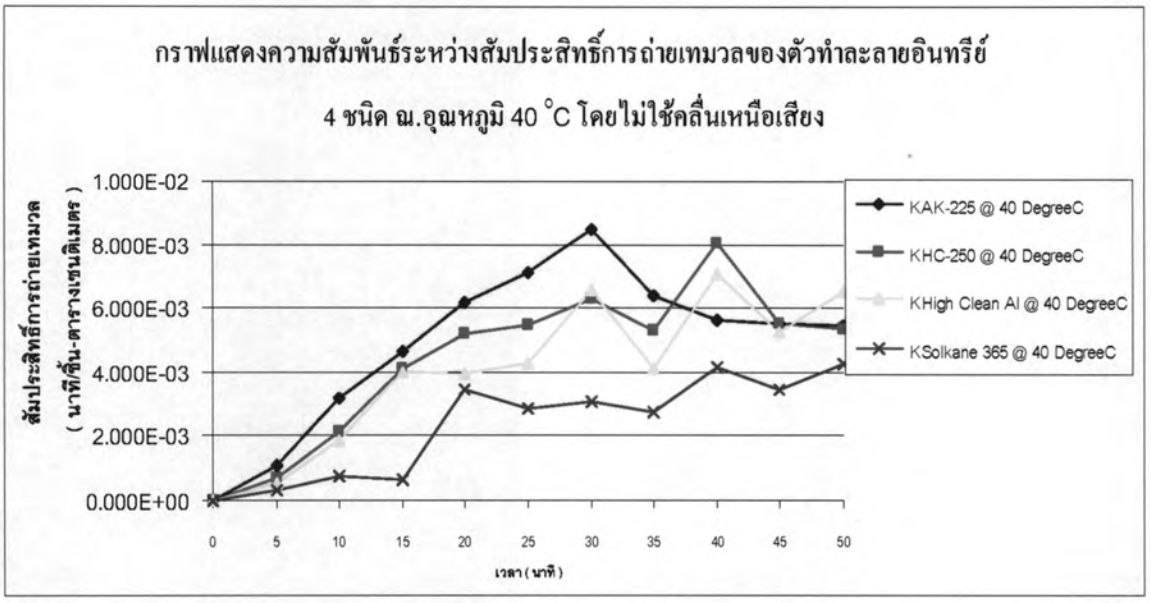
โดยดูค่าจากภาคผนวก ข.และจากข้อมูลผลการทดลองในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1-ตารางที่ ข.12 นำมาแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแสดงด้วยกราฟต่อไปนี้



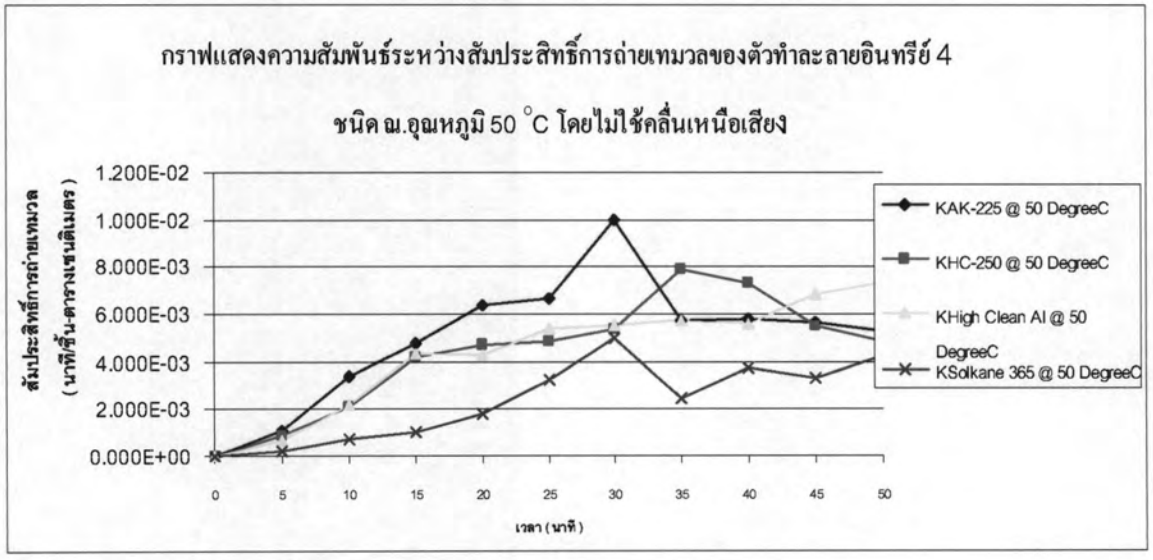
(a)



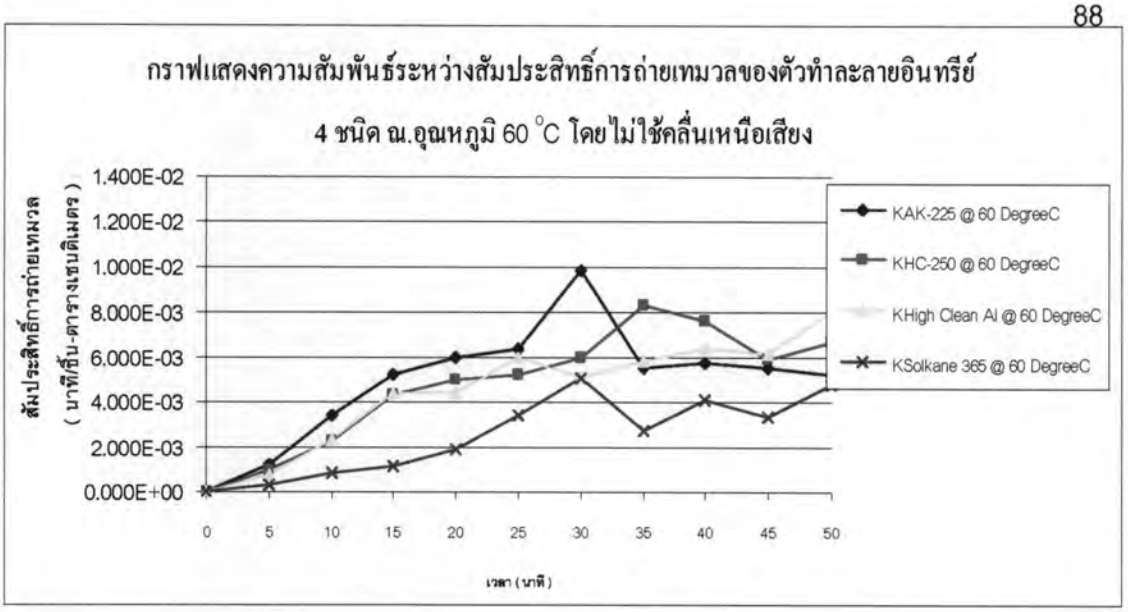
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์
4 ชนิด ณ.อุณหภูมิ 40 °C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
(นาที/ชิ้น-ตารางเซนติเมตร)
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 40 DegreeC
KHC-250 @ 40 DegreeC
KHigh Clean Al @ 40 DegreeC
KSolkane 365 @ 40 DegreeC

(c)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์ 4
ชนิด ณ.อุณหภูมิ 50 °C โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล
(นาที/ชิ้น-ตารางเซนติเมตร)
1.200E-02
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 50 DegreeC
KHC-250 @ 50 DegreeC
KHigh Clean Al @ 50 DegreeC
KSolkane 365 @ 50 DegreeC

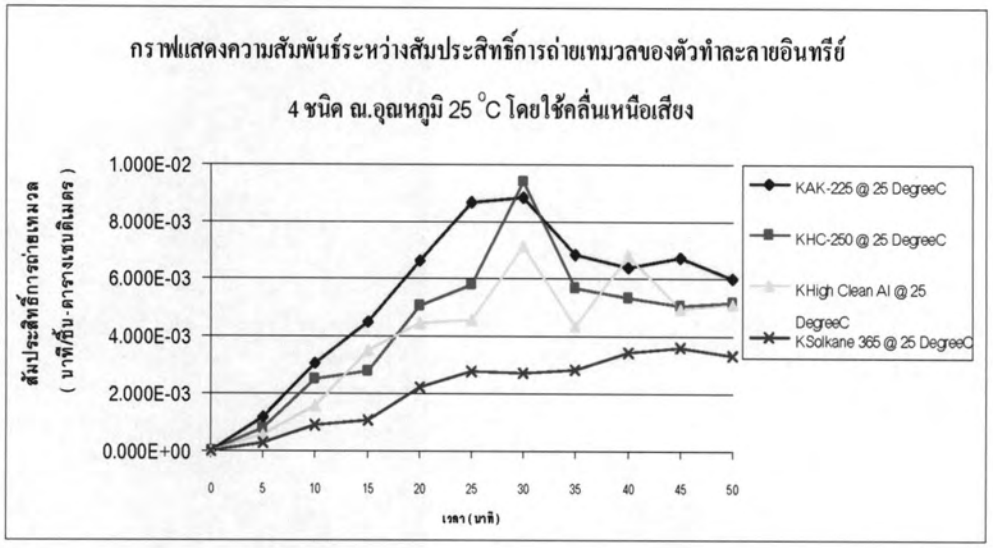
(d)



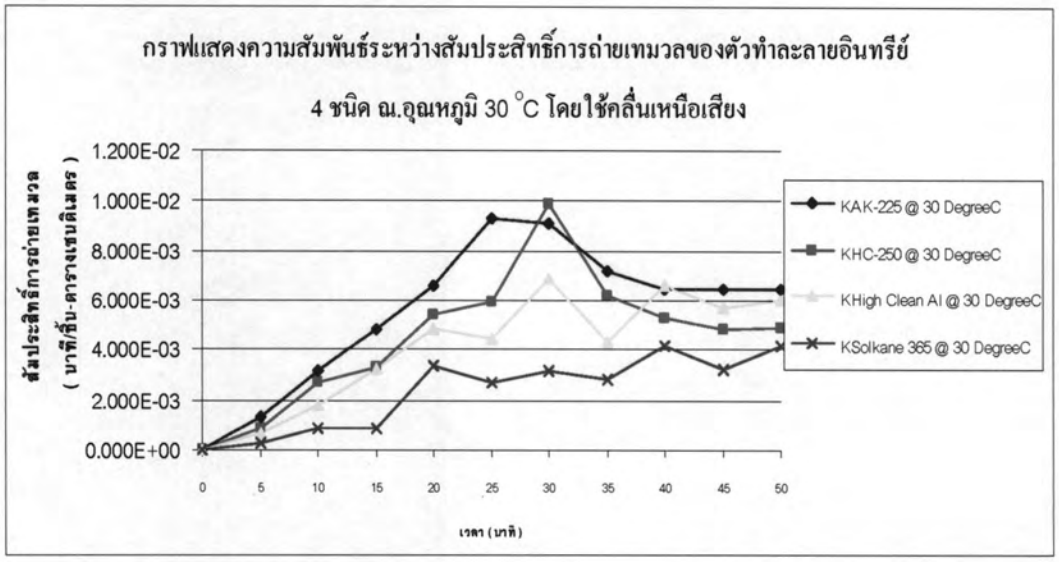
(e)

รูปที่4.17 (a) , (b) , (c) , (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ณ. อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)

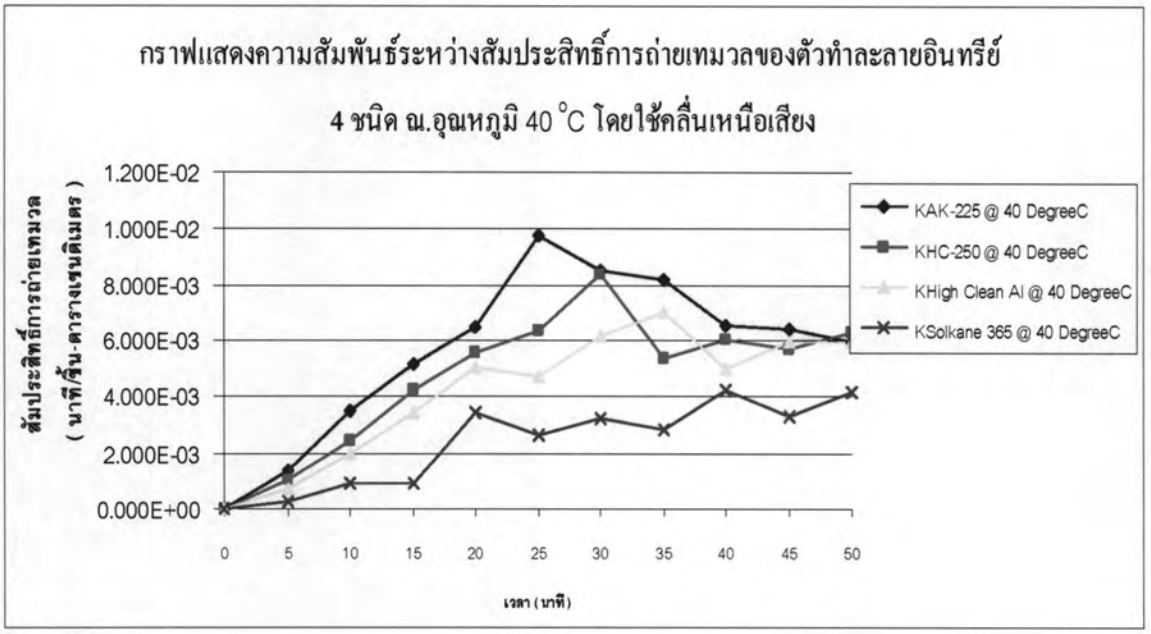
จากกราฟรูปที่ 4.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานโดยการล้างที่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินงานที่ 25°C , 30°C , 40°C , 50°C , 60°C ตามลำดับ และที่แต่ละอุณหภูมิกำหนดให้มีการดำเนินงานในสภาวะที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง จากผลการทดลองของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสูงกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิดที่เหลือนั่นคือ AK-225 ให้ประสิทธิภาพในการชะล้างสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานได้ดีที่สุด รองลงมาคือ HC-250 โดยที่การสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานสามารถถูกอธิบายได้เป็น 2 ช่วงเวลาของการสกัดคือช่วงแรกที่เวลา 0-35 นาที พบว่าการสกัดโดยการล้างจะเกิดได้เร็วเนื่องจากเกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากระบบได้มาก ส่วนช่วงที่ 2 การสกัดจะเกิดได้ช้ากว่าและค่อนข้างคงที่ เนื่องจากได้เกิดการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานไปบางส่วนในขั้นตอนแรก โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายมวลณ.เวลาต่างๆค่อยๆช้าลง


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์
4 ชนิด ณ.อุณหภูมิ 25 °C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (นาที/ชั่น-ตารางเซนติเมตร)
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 25 DegreeC
KHC-250 @ 25 DegreeC
KHigh Clean Al @ 25 DegreeC
KSolkane 365 @ 25 DegreeC

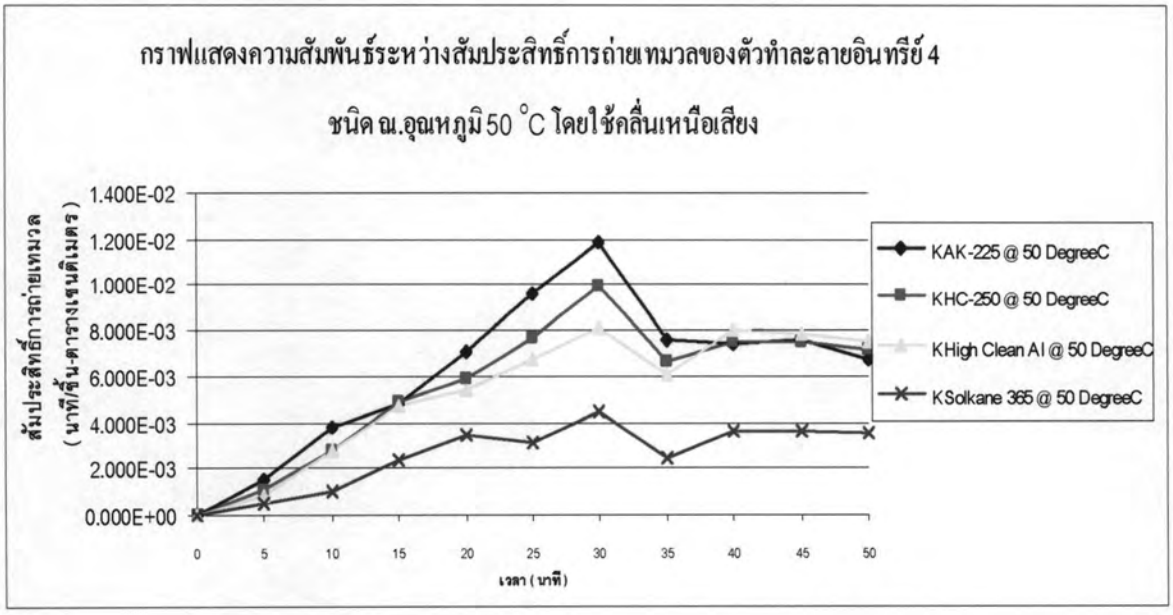
(a)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์
4 ชนิด ณ.อุณหภูมิ 30 °C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (นาที/ชั่น-ตารางเซนติเมตร)
1.200E-02
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 30 DegreeC
KHC-250 @ 30 DegreeC
KHigh Clean Al @ 30 DegreeC
KSolkane 365 @ 30 DegreeC

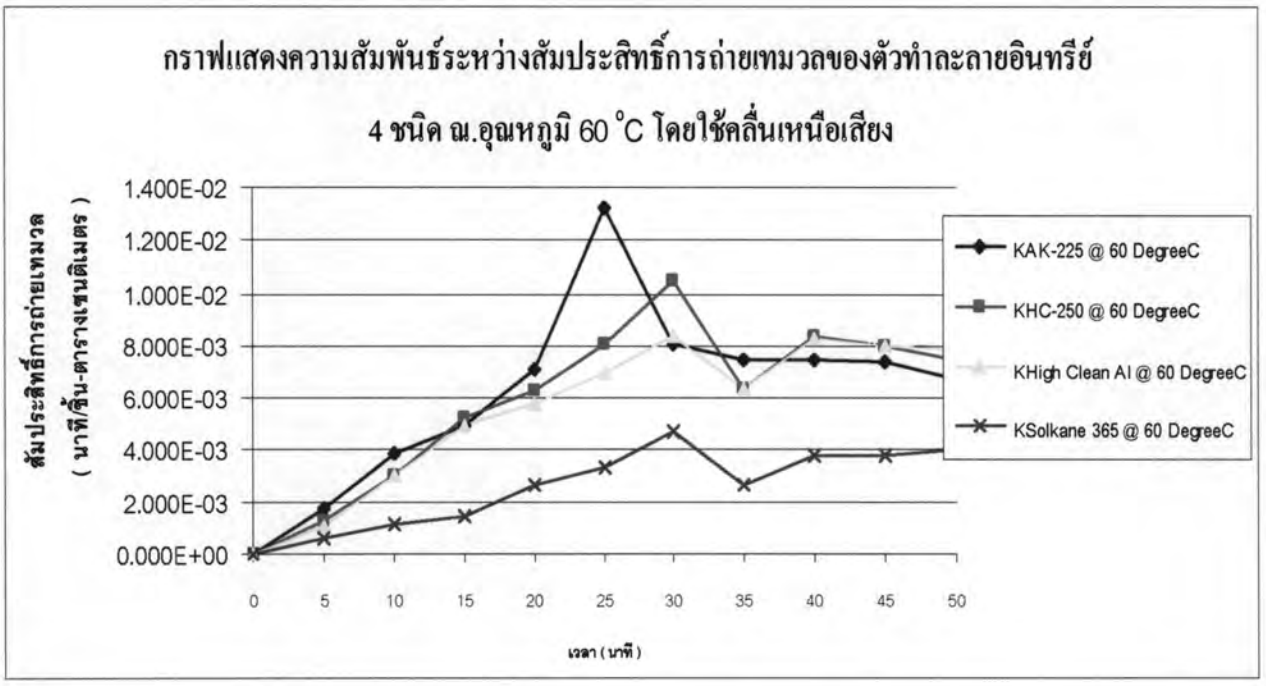
(b)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์
4 ชนิด ณ.อุณหภูมิ 40 °C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (นาที/ชั่น-ตารางเซนติเมตร)
1.200E-02
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 40 DegreeC
KHC-250 @ 40 DegreeC
KHigh Clean Al @ 40 DegreeC
KSolkane 365 @ 40 DegreeC

(c)


กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์ 4
ชนิด ณ.อุณหภูมิ 50 °C โดยใช้คลื่นเหนือเสียง
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (นาที/ชั่น-ตารางเซนติเมตร)
1.400E-02
1.200E-02
1.000E-02
8.000E-03
6.000E-03
4.000E-03
2.000E-03
0.000E+00
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
เวลา (นาที)
KAK-225 @ 50 DegreeC
KHC-250 @ 50 DegreeC
KHigh Clean Al @ 50 DegreeC
KSolkane 365 @ 50 DegreeC

(d)

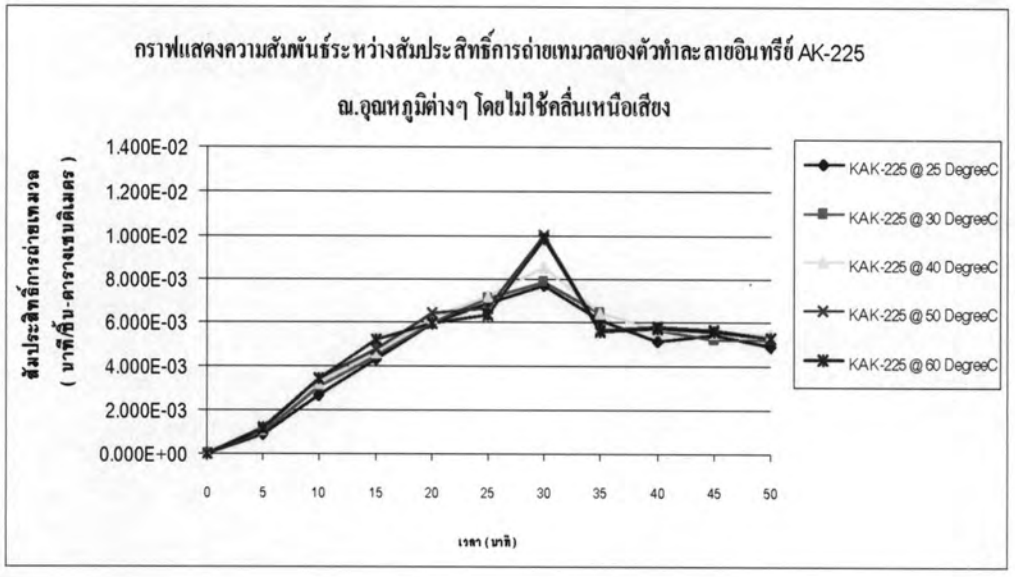


(e)

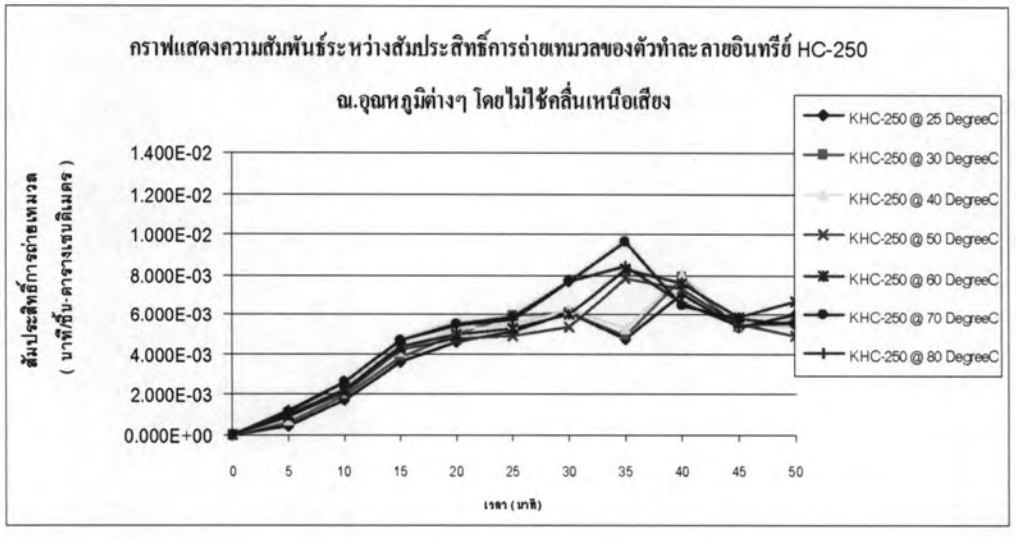
รูปที่4.18 (a) , (b) , (c) , (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ณ. อุณหภูมิต่างๆของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 โดยใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic) ที่ความถี่ที่ 38KHz

จากกราฟรูปที่4.18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในการสกัดสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานโดยการล้างที่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการดำเนินงานที่ 25°C , 30°C , 40°C , 50°C , 60°C ตามลำดับ และที่แต่ละอุณหภูมิกำหนดให้มีการดำเนินงานในสภาวะที่ใช้คลื่นเหนือเสียง จากผลการทดลองให้ผลเช่นเดียวกันกับกราฟรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการทดลองใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดกับสภาวะที่มีการใช้คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic)ที่ความถี่ที่ 38KHz โดยมีการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันไป พบว่าการทดลองให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง นั่นคือ ผลการทดลองพบว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ AK-225 ให้ประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานดีที่สุดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือให้ประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานได้ดีที่สุดโดย

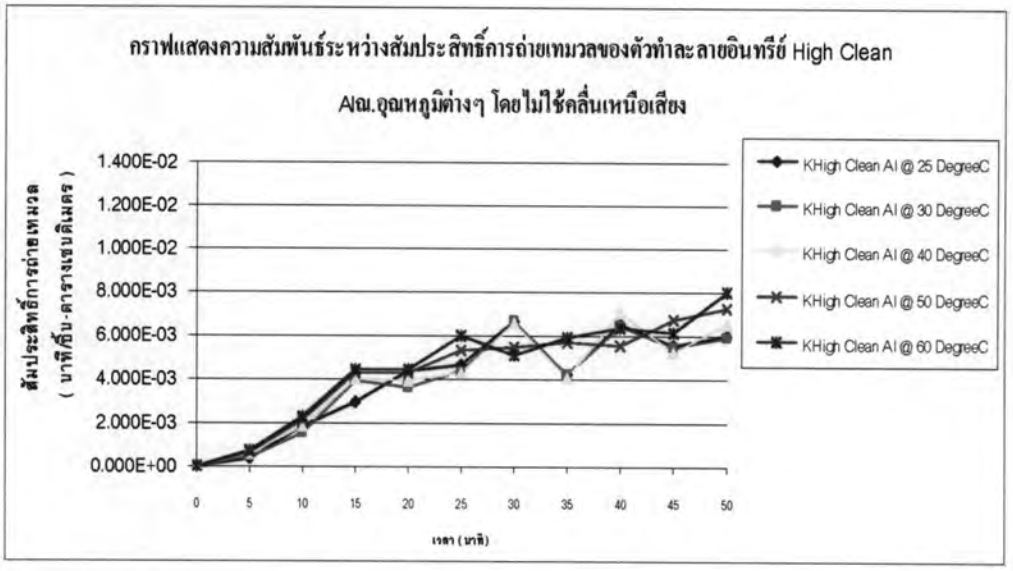
ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล รองลงมาคือ HC-250 , High Clean Al และ Solkane 365 ตามลำดับ



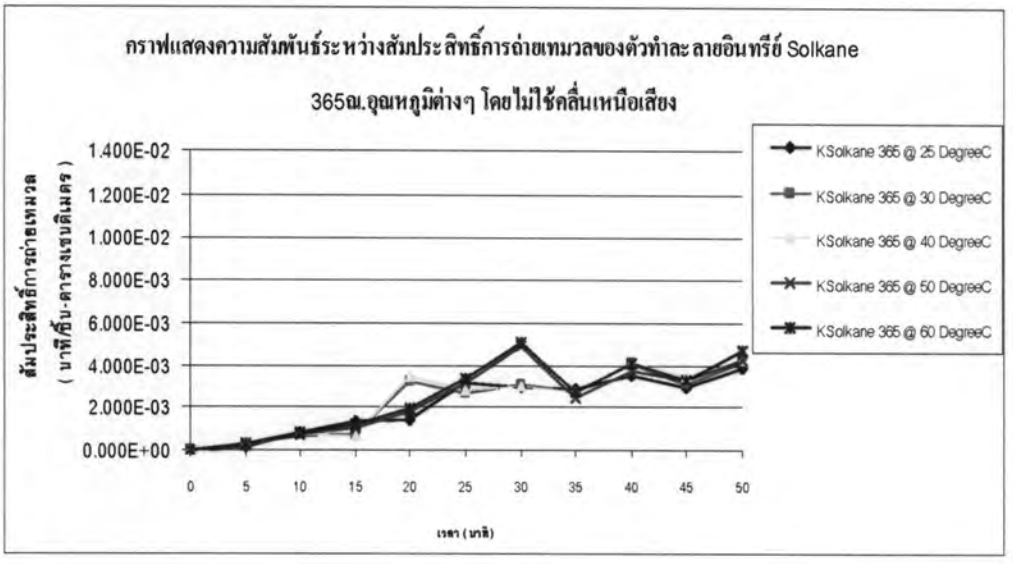
(a)



(b)



(c)

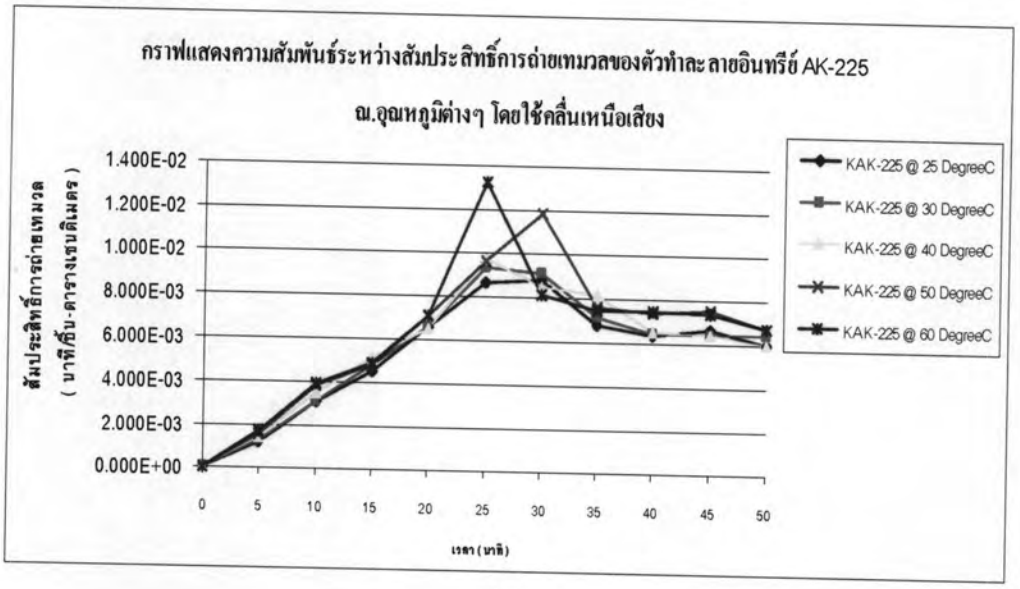


(d)

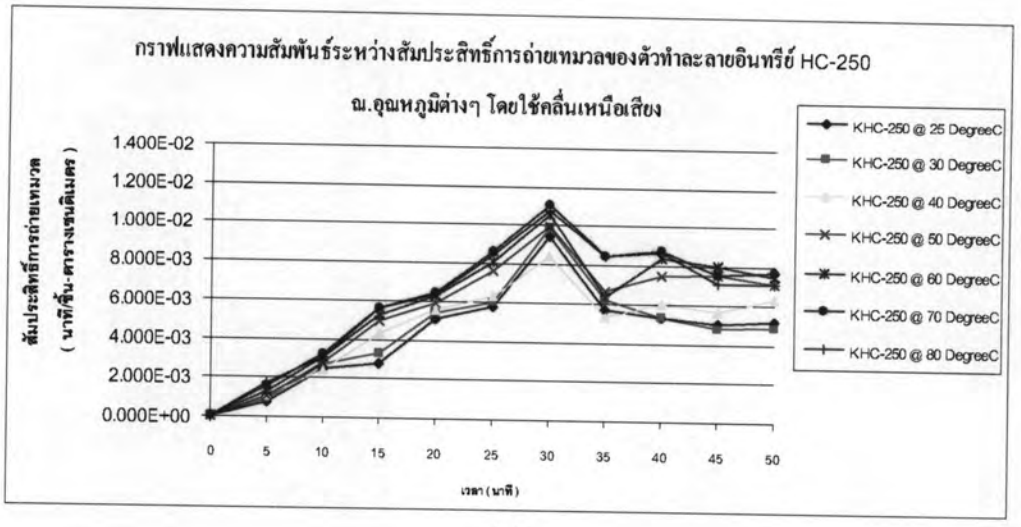
รูปที่ 4.19 (a) , (b) ,(c) **และ** (d) **เป็นกราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ** AK-225 , HC-250 ,High Clean Al **และ** Solkane 365 **ณ. อุณหภูมิต่างๆกัน โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง**(ultrasonic)

จากกราฟรูปที่ 4.19 **จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่ละชนิด ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การ**

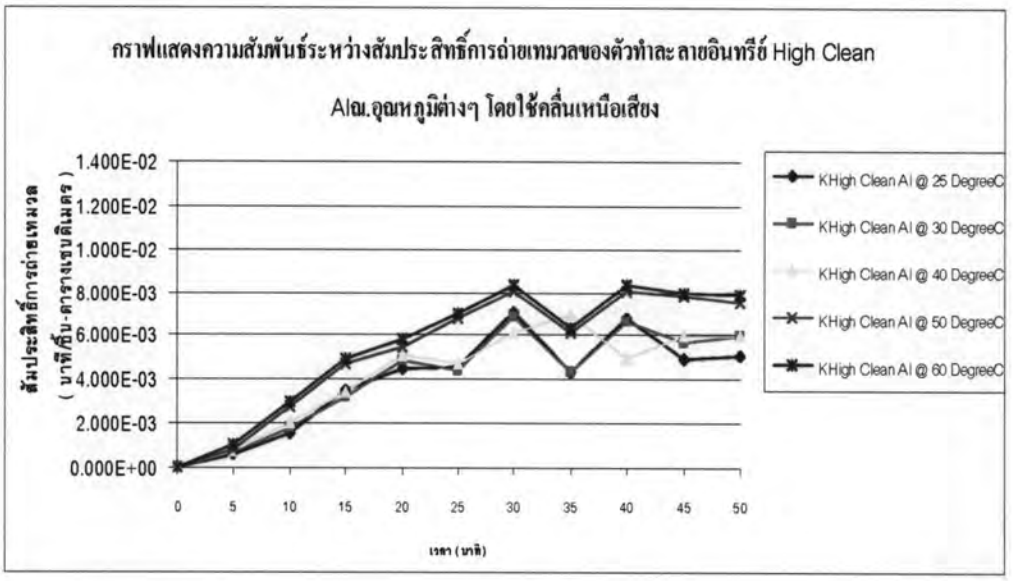
ถ่ายเทมวลโดยพบว่าณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทมวลสารออกจากชิ้นงานได้ดีตามไปด้วย โดยพบว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารปนเปื้อนที่เป็นพวกสารประกอบอินทรีย์เกิดการสลายตัวหรือละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีขึ้นทำให้เกิดการชะล้างออกไปจากพื้นผิวได้ดีขึ้นเห็นได้จากปริมาณสารปนเปื้อนบนตัวชิ้นงานมีค่าลดลงเมื่อทำการสกัดที่สภาวะต่างๆกัน



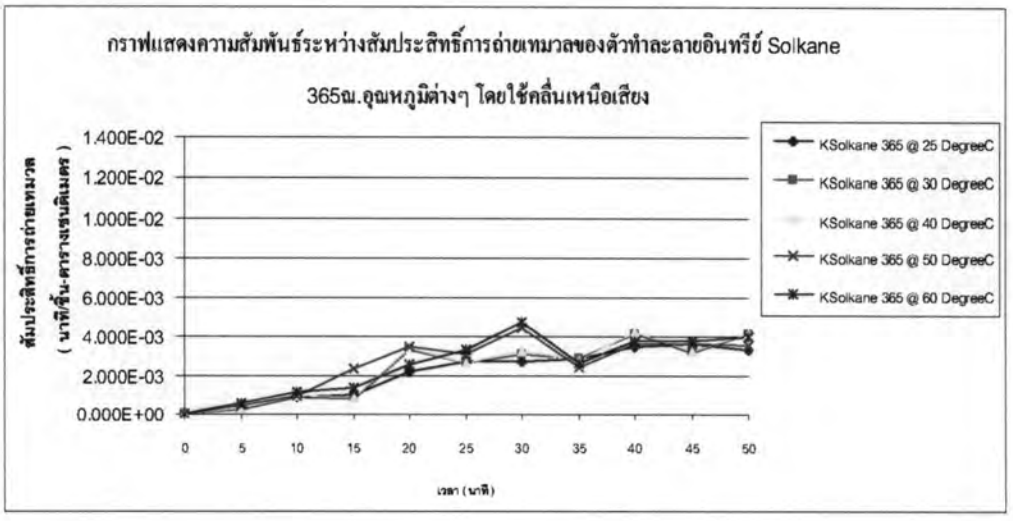
(a)



(b)



(c)

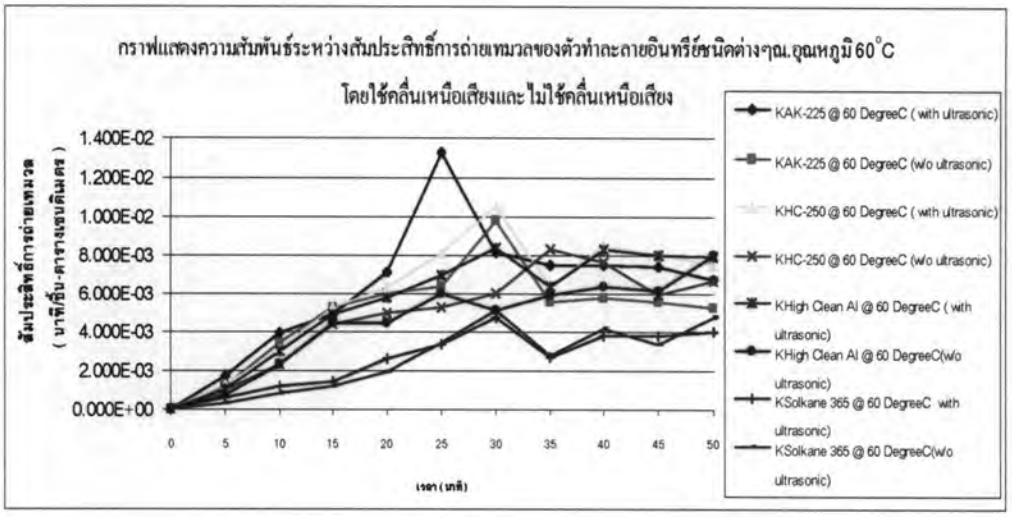


(d)

รูปที่ 4.20 (a) , (b) , (c) และ (d) **เป็นกราฟที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ** AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365 **ณ.อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้คลื่นเหนือเสียง**(ultrasonic)**ที่ ความถี่** 38KHz

เช่นเดียวกันกับกราฟรูปที่4.19 **จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่

ละชนิดโดยพบว่าณ.อุณหภูมิต่างๆกัน ของการใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงต่อการถ่ายเทมวลสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงาน



รูปที่ 4.21 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารปนเปื้อน ณ.อุณหภูมิ 60°C ระหว่างการใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)ที่ ความถี่ 38KHz และไม่ใช้คลื่นเหนือเสียงของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดคือ AK-225 , HC-250 ,High Clean Al และ Solkane 365

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้คลื่นเหนือเสียงมีผลโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของสารปนเปื้อนออกจากชิ้นงานหรือประสิทธิภาพของการชะล้างของสารแต่ละชนิด โดยพบว่าการสกัดสารปนเปื้อนณ.อุณหภูมิในที่นี้ที่นำมาพิจารณาคือ 60°C ในกรณีการใช้คลื่นเหนือเสียงให้ผลที่ดีกว่ากรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง(ultrasonic)เนื่องจากการใช้คลื่นเหนือเสียงจะช่วยทำความสะอาดผิวของแข็งเพื่อเพิ่มผิวสัมผัส เป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น สำหรับผงฝุ่นหรืออนุภาค คลื่นเหนือเสียงจะสามารถลดขนาดและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของแข็งและของเหลวได้ โอกาสการสัมผัสกันจึงมีสูงขึ้น