

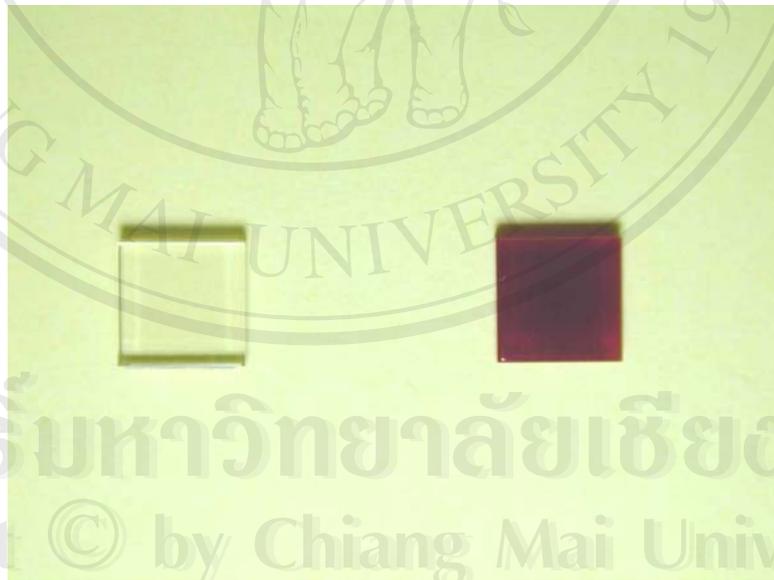
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองในการหาความสัมพันธ์ต่างๆ ได้แบ่งออกเป็นหัวข้อตามจุดประสงค์ของการทดลองแต่ละส่วนและมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

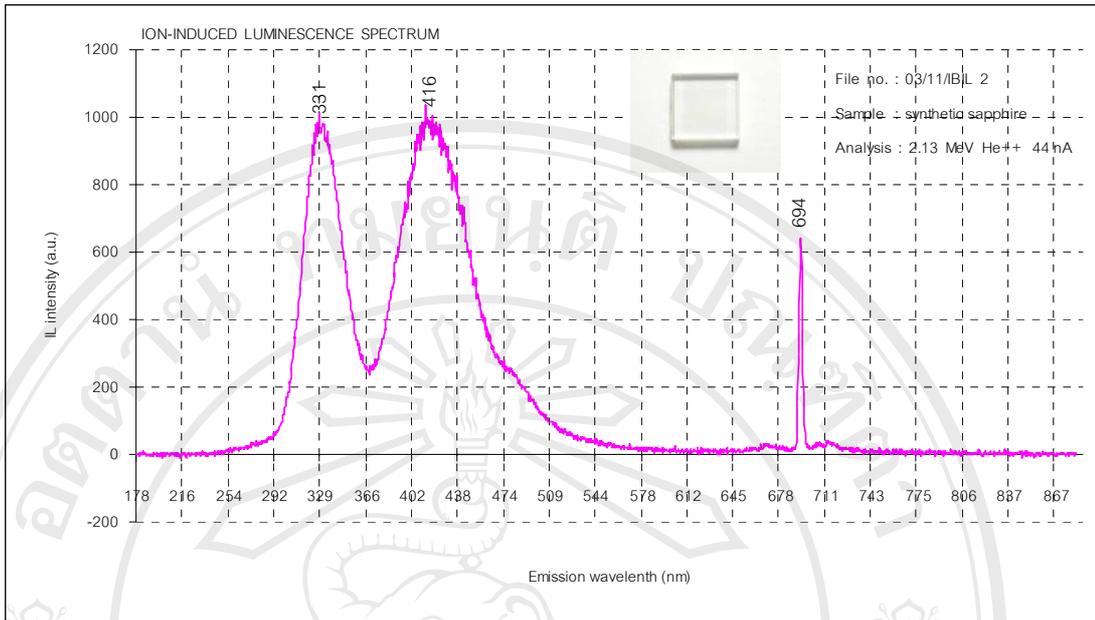
5.1 การหาความสัมพันธ์ของอิทธิพลของ intrinsic และ extrinsic ของเซฟไฟร์สังเคราะห์ และทับทิมสังเคราะห์ กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ เซฟไฟร์สังเคราะห์ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ลักษณะใสไม่มีสีและทับทิมสังเคราะห์ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่มีการเจือด้วย Cr^{3+} ลักษณะสีแดงเข้ม แสดงในรูป 5.1 ใช้ไอออน He^{++} ที่มีพลังงาน 2.13 MeV และกระแสไอออน 44 nA ผลที่ได้แสดงในรูป 5.2 และ 5.3

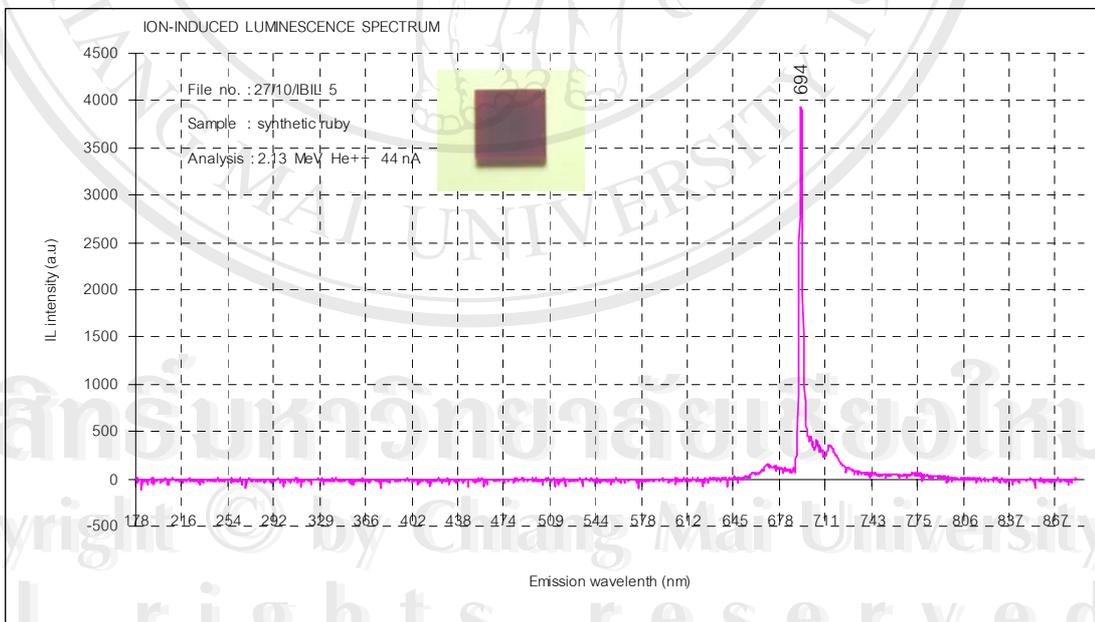


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 5.1 เซฟไฟร์สังเคราะห์และทับทิมสังเคราะห์



รูป 5.2 สเปกตรัมของแซฟไฟร์สังเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค IL ที่กระตุ้นโดย He^{++}
พลังงาน 2.13 MeV กระแส 44 nA และใช้เวลา 1000 ms



รูป 5.3 สเปกตรัมของทับทิมสังเคราะห์ที่ได้จากเทคนิค IL ที่กระตุ้นโดย He^{++}
พลังงาน 2.13 MeV กระแส 44 nA และใช้เวลา 10 ms

ผลของการเปล่งแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ พบว่ามียอดของสเปกตรัม (พีค) อยู่ที่ความยาวคลื่น 331, 416 และ 694 nm มีความเข้มของสเปกตรัมไม่สูง พีคที่ 331 และ 416 nm เป็นพีคที่เกิดจากปัจจัยภายใน (intrinsic) ของผลึกแซฟไฟร์สังเคราะห์มีรูปผลึกเป็น rhombohedral ซึ่งเป็นรูปผลึกที่แตกตัวมาจากผลึกในระบบ hexagonal ของ corundum โดยธรรมชาติของ Al_2O_3 พันธะที่เกิดจากอคูมิเนียมกับออกซิเจนจะเป็นพันธะไอออนิก 60 เปอร์เซ็นต์ และพันธะโควาเลนต์ 40 เปอร์เซ็นต์ การทำพันธะไอออนิกอคูมิเนียมจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนการทำพันธะโควาเลนต์เป็นแบบ $\text{O}=\text{Al}-\text{O}-\text{Al}=\text{O}$ คือแกนของพันธะของอคูมิเนียมที่ไปจับกับออกซิเจนจะมีพันธะคู่ 1 แกน และพันธะเดี่ยว 1 แกน จากอิทธิพลของพันธะเหล่านี้เมื่อมีโมเลกุลของ Al_2O_3 รวมกันหลายๆ โมเลกุลทำให้เกิดเป็นผลึกขึ้นมา ในการ form ของรูปผลึกจะเกิดตำหนิของผลึกขึ้นซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของผลึกนั้นๆ ในการเปล่งแสงของแซฟไฟร์สังเคราะห์เกิดเนื่องจากไอออนที่มีพลังงานไปกระตุ้นการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานย่อยของอิเล็กตรอนภายในโครงสร้างผลึก ระหว่าง conduction band และ valance band เป็นที่รู้จักแล้วว่า พีคที่ 331 และ 416 nm เป็นผลของตำหนิของผลึก ที่เรียกว่า F^+ centre และ F centre (Nassau, 2001) ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาจากการจับอิเล็กตรอนของออกซิเจน โดยถ้าออกซิเจนในโครงสร้างผลึกสามารถจับอิเล็กตรอนได้เพียงตัวเดียวจะเรียกว่า F^+ centre แต่ถ้าออกซิเจนในโครงสร้างผลึกสามารถจับอิเล็กตรอนได้เพียง 2 ตัวจะเรียกว่า F centre มาจากการทำพันธะไอออนิกนั่นเอง เมื่อพิจารณาถึงระดับพลังงานที่มีการเปล่งแสงออกมาของ F centre อยู่ที่ประมาณ 3 eV และ F^+ centre อยู่ที่ประมาณ 3.8 eV เป็นระดับชั้นพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงใน band gap (Evan, *et al.*, 1994) สามารถคำนวณเป็นความยาวคลื่นได้ 413 นาโนเมตรและ 326 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยทั้งสองพีคนี้เป็นผลของ intrinsic มีความเข้มของการเปล่งแสงน้อย ส่วนพีคที่ 694 เป็นที่รู้จักว่าเกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนของ Cr^{3+} จากชั้น ${}^2\text{E}$ ไปยัง ${}^4\text{A}^2$ ซึ่งในที่นี้มีความเข้มที่ต่ำมาก ดังนั้นการสังเคราะห์แซฟไฟร์ขึ้นที่นำมาทดสอบน่าจะมีโครเมียมผสมอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ๆ จนไม่ส่งผลถึงสีที่เกิดขึ้นแต่สามารถแสดงผลได้โดยเทคนิค IL

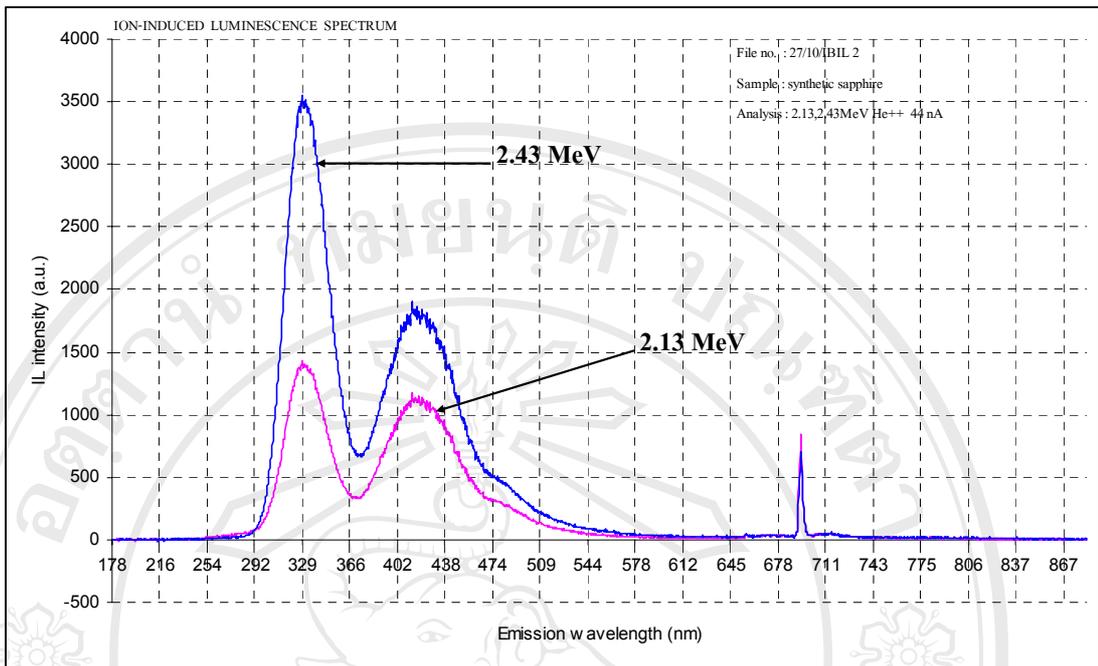
ผลของการเปล่งแสงของทับทิมสังเคราะห์ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ และมี Cr^{3+} เป็นสารเจืออยู่ พบว่ามีพีคที่มีความเข้มสูงอยู่ที่ 694 nm เป็นพีคที่เกิดจากปัจจัยภายนอก (extrinsic) ของโครงสร้างผลึก พิจารณาการเกิดพันธะของโครเมียมในผลึกของอคูมิเนียมออกไซด์ การเกิดพันธะของโครเมียมจะเกิดเป็น Cr_2O_3 โดย Cr^{3+} จะไปแทนที่ Al^{3+} ในโครงสร้างของอคูมิเนียมออกไซด์ในอัตราส่วน $\text{Cr} : \text{Al}$ เป็น 1 : 100 ส่งผลให้สีของทับทิมมีสีแดง สามารถเขียน electronic configurations ของ Cr และ Cr^{3+} ได้เป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^5 4s^1$ และ

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^3$ ตามลำดับ อิเล็กตรอนในชั้น d orbital นี้เองที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเปล่งแสงขึ้น จะมีการดูดกลืนพลังงานจากไอออนที่เข้ามาชนและมีการคายพลังงานออกมาในรูปของแสงในช่วงของการลดระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนจาก ligand field (เป็นสนามของพลังงานที่มาจากโครงสร้างของผลึก) สามารถเขียนเป็น spectroscopic term ได้เป็น 4A_2 2E 4T_2 4T_1 เรียงลำดับตั้งแต่ระดับชั้นพลังงานที่ต่ำที่สุดจนสูงสุด จะมีการดูดกลืนพลังงานทำให้มีการเปลี่ยนระดับของอิเล็กตรอนจาก 4A_2 ไป 4T_2 และ 4A_2 ไป 4T_1 จะมีการคายพลังงานจากชั้น 4T_2 4T_1 ไปยัง 2E โดยออกมาในรูปความร้อน และจาก 2E ไปยัง 4A_2 ออกมาในรูปของการเปล่งแสง ให้พลังงานออกมา 1.79 eV (Nassau, 2001) สามารถคำนวณเป็นค่าความยาวคลื่นได้ 693 นาโนเมตร การเปล่งแสงที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก Cr^{3+} เพียงชนิดเดียวซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว activator โดยไม่มี ตัว co-activator

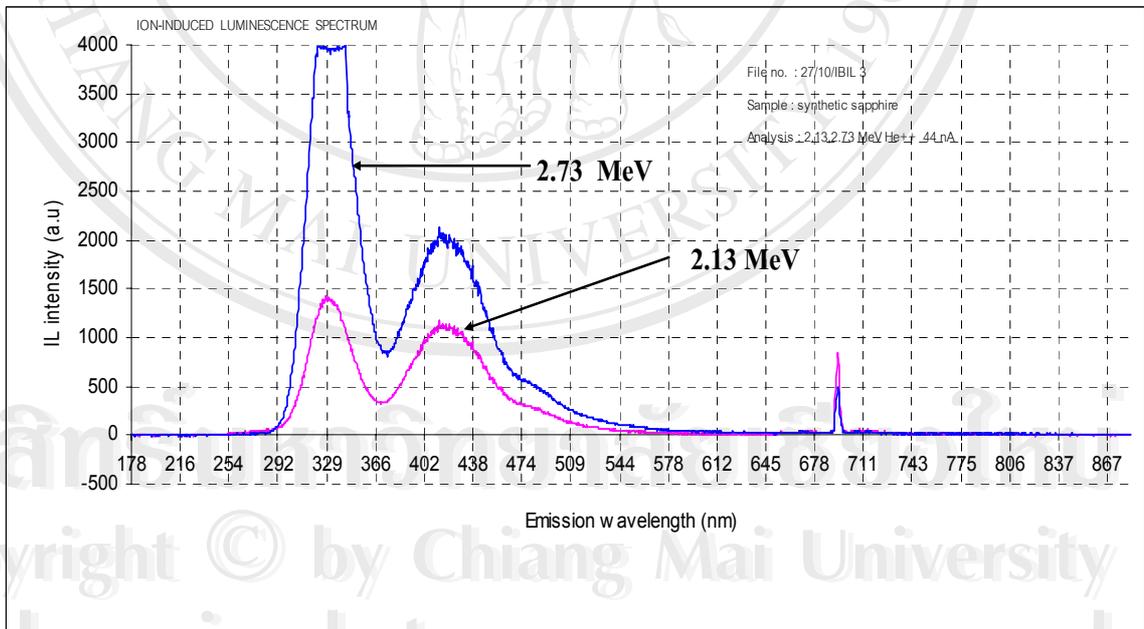
ดังนั้นจากผลการทดลองในข้อ 5.1 ได้ข้อสรุปที่ว่า การเปล่งแสงที่มีสาเหตุมาจาก intrinsic จะมีความเข้มของสเปกตรัมที่ต่ำและมีลักษณะเป็นรูป Gaussian ส่วนการเปล่งแสงที่มีสาเหตุมาจาก extrinsic จะได้ความเข้มของสเปกตรัมที่สูงและมีฟลักที่มีลักษณะเป็นเส้น คล้ายกับฟลักที่เกิดการกระตุ้นให้มีการเรืองแสงจากความร้อน (incandescence)

5.2 การหาความสัมพันธ์ของพลังงานของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

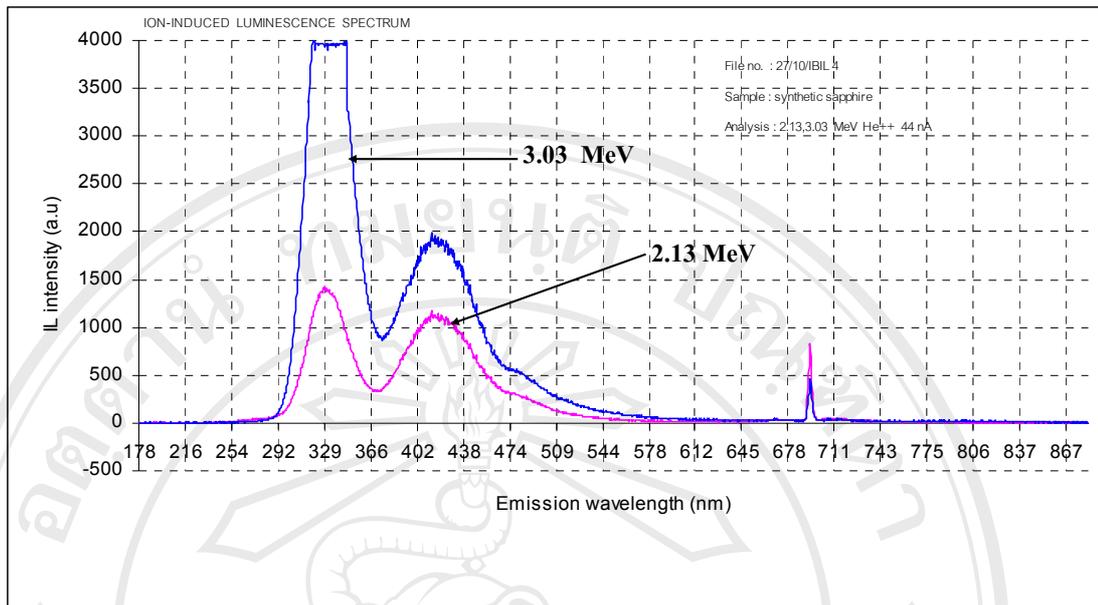
ชิ้นงานที่นำทดลองคือแซฟไฟร์สังเคราะห์ ไอออนที่ใช้คือ He^{++} มีค่ากระแสของไอออน 44 nA พลังงานที่ใช้เริ่ม ตั้งแต่ 2.13 MeV แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 300 keV เป็น 2.43 MeV 2.73 MeV และ 3.03 MeV ตามลำดับ ใช้เวลา 1000 ms ได้ผลการทดลองตามรูป 5.4



รูป 5.4 ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน 2.13 และ 2.43 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง



รูป 5.5 ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน 2.13 และ 2.73 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง



รูป 5.6 ความสัมพันธ์ของพลังงานของ He^{++} ที่พลังงาน 2.13 และ 3.03 MeV กับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

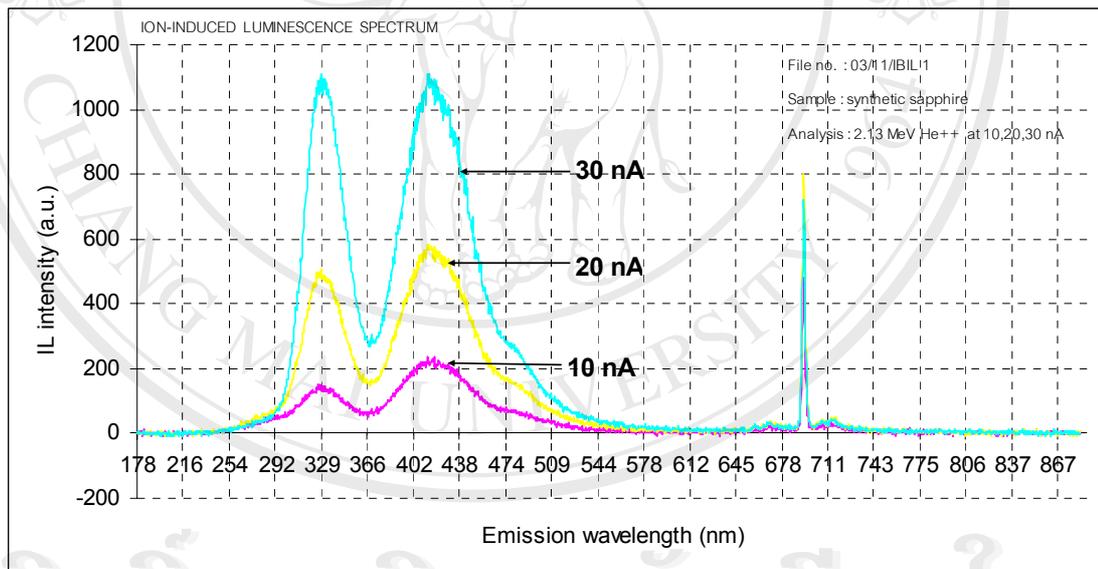
ผลการทดลองพบว่าพีคของการเปล่งแสงอยู่ที่เดิมคือ ที่ 331, 416 และ 694 nm ตามลำดับ แต่ความเข้มของการเปล่งมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าของพลังงานของไอออนที่เพิ่มขึ้น พิจารณาพีคที่ 1 คือพีคที่ 331 nm เกิดจากตำหนิของ F^+ centre มีการเพิ่มขึ้นของความเข้มของการเปล่งที่มากเมื่อเทียบกับพีคอื่นๆ คาดว่าเนื่องจากไอออนที่มีพลังงานสูงขึ้นไปจะมีอิทธิพลต่อการทำลายพันธะภายใน โครงสร้างของโมเลกุลมากขึ้นและเข้าไปลึกขึ้น สามารถคำนวณค่า projected range โดยโปรแกรม SRIM 2003 ที่ระดับพลังงานของไอออน 2.13 2.43 2.73 และ 3.03 MeV ได้ค่า projected range เป็น 4.32 5.03 5.79 และ 6.60 μm ตามลำดับ นอกจากนั้นประจุของไอออนที่ไปชนคือมีประจุเป็น 2 บวก เมื่อเข้าไปในผลึกทำให้เกิดการแย่งอิเล็กตรอนที่หลุดออกมา เนื่องจากการชนทำให้มีตำหนิ F^+ centre เพิ่มขึ้นอย่างมากในผลึก พิจารณาพีคที่ 2 คือ พีค 416 nm ซึ่งเกิดจากตำหนิ F centre มีความเข้มเพิ่มขึ้นเช่นกันเมื่อเพิ่มพลังงานของประจุ เนื่องมาจากการที่ไอออนสามารถเข้าไปในผลึกลึกขึ้น ทำให้มีการชนแลกเปลี่ยนพลังงานที่มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งแล้วความเข้มก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่ไอออนที่เข้าไปชนไม่มีผลต่อตำหนิชนิดนี้เพราะอิเล็กตรอนของออกซิเจนครบวาเลนซ์แล้ว นอกจากนั้นยังเกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า transition between F และ F^+ centre (จาก F centre เปลี่ยนไปเป็น อิเล็กตรอนกับ F^+ centre) (Skuratov, *et al.*, 1996) ส่วนพีคสุดท้าย พีค 694 nm มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่มี

ความสัมพันธ์กับพลังงานของไอออนที่เข้าไปชนยิ่งพลังงานสูงก็ทำให้มีความเข้มสูงขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับการไปทำลายหรือเปลี่ยนแปลงพันธะในโครงสร้างของผลึก

ดังนั้นจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.2 หาความสัมพันธ์ของพลังงานของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง ได้ข้อสรุปที่ว่าเทคนิค IL นี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกโดยตรง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าหนีภายในผลึกความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยที่ความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

5.3 การหาความสัมพันธ์ของกระแสของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบคือแซฟไฟร์สังเคราะห์ ไอออนที่ใช้คือ He^{++} ที่มีพลังงาน 2.13 MeV และทำการกำหนดค่ากระแสของไอออน ตั้งแต่ 10, 20, 30 nA ใช้เวลา 1000 ms ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูป 5.7



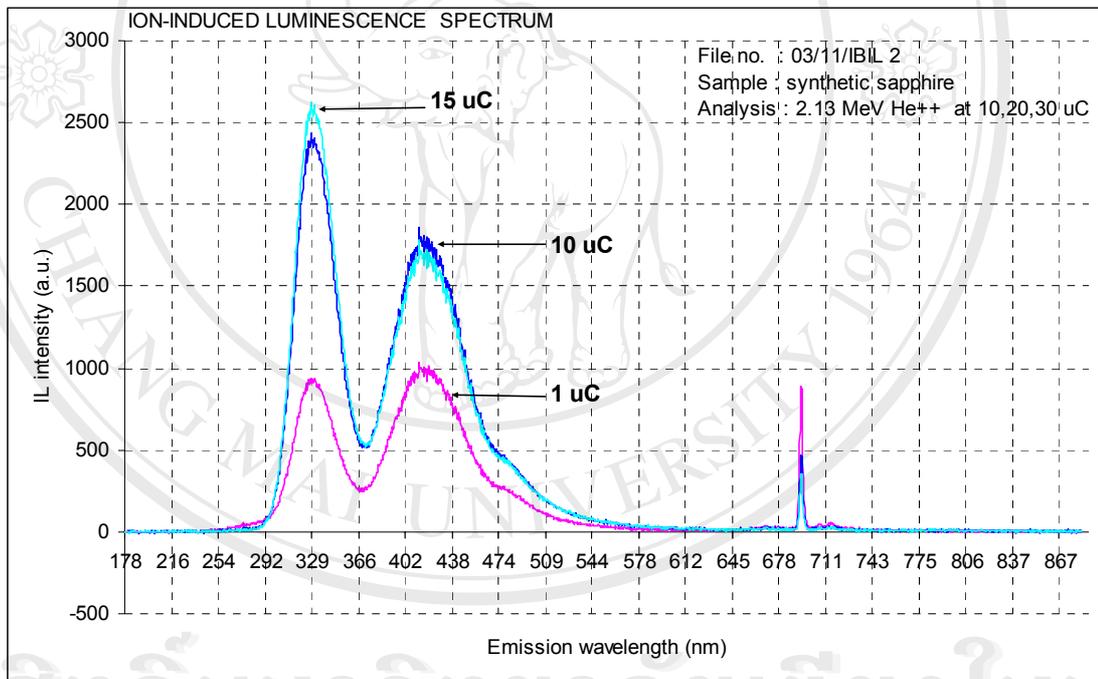
รูป 5.7 ความสัมพันธ์ของกระแสของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ผลการทดลองพบว่ามีพีคของสเปกตรัมอยู่ที่ 331, 416 และ 694 nm เช่นเดิมแต่กระแสของไอออนมีผลต่อความเข้มโดยตรงยิ่งกระแสของไอออนน้อยก็ทำให้ความเข้มของการเปล่งแสงน้อยไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกระแสของไอออนเป็นปริมาณที่บอกถึงจำนวนของไอออนที่เข้าไปชนกับผลึก ดังนั้นยังมีปริมาณของไอออนที่เข้าไปชนกับผลึกมากก็จะมีผลต่อความของการเปล่งแสงให้มากขึ้นไปด้วย แต่จะไม่มีอิทธิพลไปเปลี่ยนแปลงค่าหนีภายในโครงสร้างของผลึกมาก เช่นเดียวกับพลังงานของไอออนที่เข้าไปชน

ดังนั้นจากผลการทดลองในข้อ 5.3 ความสัมพันธ์ของกระแสของไอออนที่มาชนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง จะได้ข้อสรุปที่ว่าถ้าต้องการให้มีความเข้มของสเปกตรัมสูงต้องใช้อิออนที่สูงตาม โดยกระแสที่ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับเทคนิค IL ควรไม่น้อยกว่า 30 nA

5.4 การหาความสัมพันธ์ของปริมาณจำนวนประจุกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบคือเซฟไฟร์สังเคราะห์ ไอออนที่ใช้คือ He^{++} ที่มีพลังงาน 2.13 MeV และมีการกำหนดจำนวนประจุ ตั้งแต่ 10, 20, 30 μC ตามลำดับ กระแสของไอออน 30 nA ใช้เวลา 1000 ms ผลการทดลองแสดงดังรูป 5.8



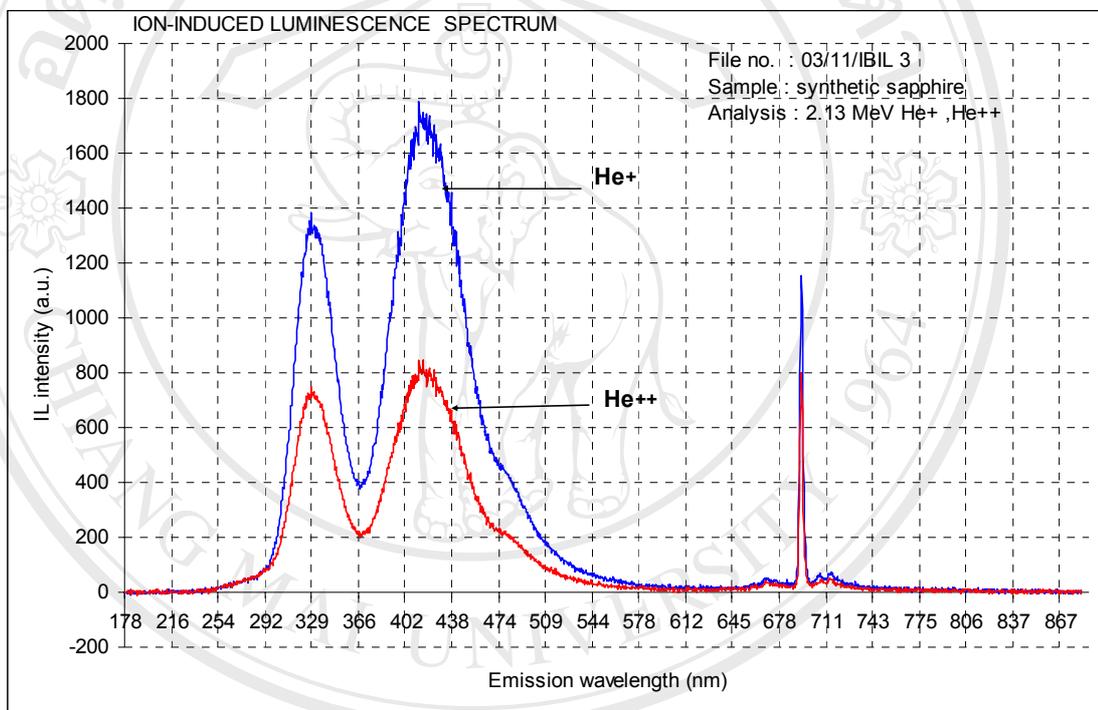
รูป 5.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณจำนวนประจุกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาปริมาณโดสของไอออนว่ามีความสัมพันธ์กับสเปกตรัมที่เกิดขึ้นอย่างไร แต่เนื่องจากในการคำนวณค่าโดสจะต้องมีพื้นที่ที่ไอออนชนกับผิวของเป้าแต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถหาขนาดพื้นที่ได้อย่างแม่นยำจึง ศึกษาปริมาณของประจุของไอออนที่ชนกับผิวของชิ้นงานตัวอย่างแทนซึ่งสามารถแปลความหมายได้เช่นเดียวกับการหาปริมาณโดส พบว่า พิกที่เกิดขึ้นมีทั้งหมด 3 พิก คือที่ 331, 416 และ 694 nm และมีปริมาณความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของประจุที่มากกระทบกับผิวของชิ้นงานมากขึ้น และเกิดผลเช่นเดียวกับการ

เพิ่มพลังงานไอออน กล่าวคือ F^+ centre จะเพิ่มความเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องมาจากโครงสร้างของผลึกมีการเปลี่ยนแปลง

5.5 การหาความสัมพันธ์ของประจุของไอออนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบคือ แซฟไฟร์สังเคราะห์ ใช้ไอออนที่มีพลังงาน 2.13 MeV กระแสของไอออน 30 nA ชนิดของไอออนคือ He^+ และ He^{++} ใช้เวลา 1000 ms ผลการทดลองแสดงดังรูป 5.9



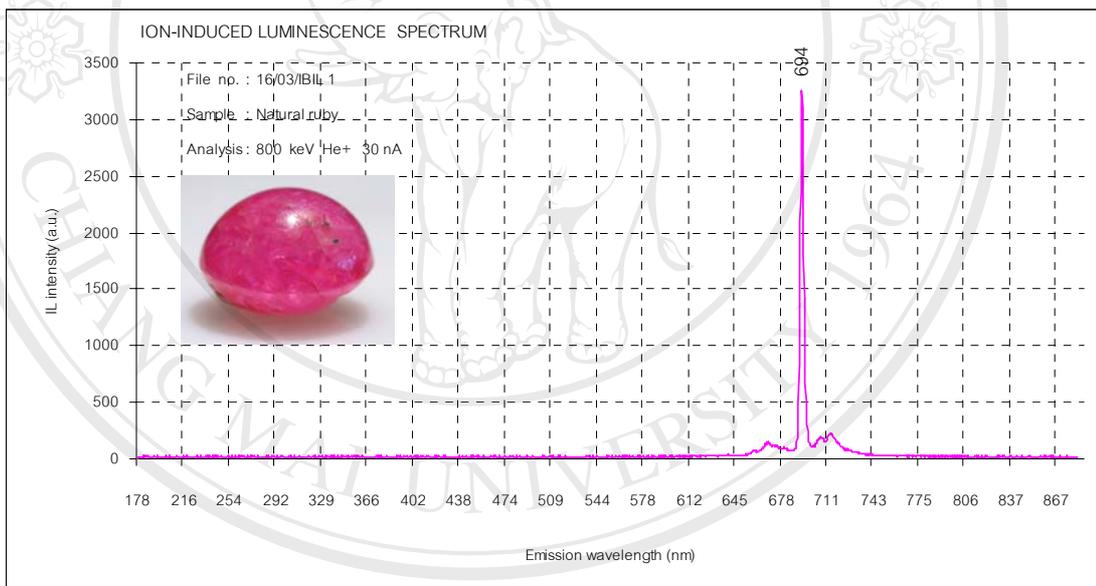
รูป 5.9 ความสัมพันธ์ของประจุของไอออนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

จากการผลการทดลองข้อที่ 5.5 หาความสัมพันธ์ของประจุของไอออนกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง โดยไอออนชนิดเดียวกันแต่มีประจุไม่เท่ากันได้แก่ He^+ และ He^{++} พบว่ามีฟลักอยู่ที่ 331, 416 และ 694 nm และสเปกตรัมที่เกิดจากการกระตุ้นด้วย He^+ จะมีความเข้มมากกว่า He^{++} คาดว่าเนื่องมาจากการที่ He^+ เมื่อเข้าชนกับชิ้นงานตัวอย่างสามารถเข้าไปในผิวของผลึกได้มากกว่า He^{++} เพราะมีค่า electronic stopping ไม่เท่ากัน มีผลโดยตรงต่อค่า Stopping cross section นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มของ F centre เพิ่มขึ้นมากกว่า F^+ centre และความเข้มของฟลัก 694 nm มีการเพิ่มขึ้น แสดงว่าประจุมีผลต่อทั้ง intrinsic และ extrinsic

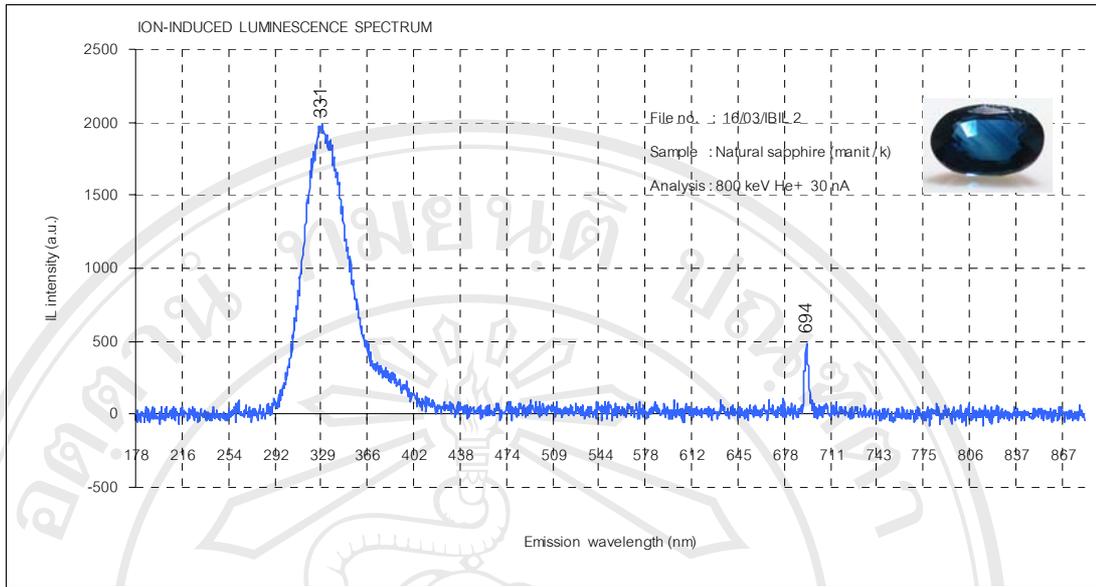
5.6 การหาความสัมพันธ์ของชนิดของชิ้นงานกับสเปกตรัมที่ได้จากการเปล่งแสง

ในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้เทคนิค IL ในการบอกถึงคุณสมบัติเฉพาะของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ พลอยจริง (Al_2O_3) จำนวน 6 เม็ด ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แก้ว (SiO_2) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) และพินซึ่งตัวอย่างของสารอินทรีย์ที่นำมาวิเคราะห์โดยเทคนิค IL ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

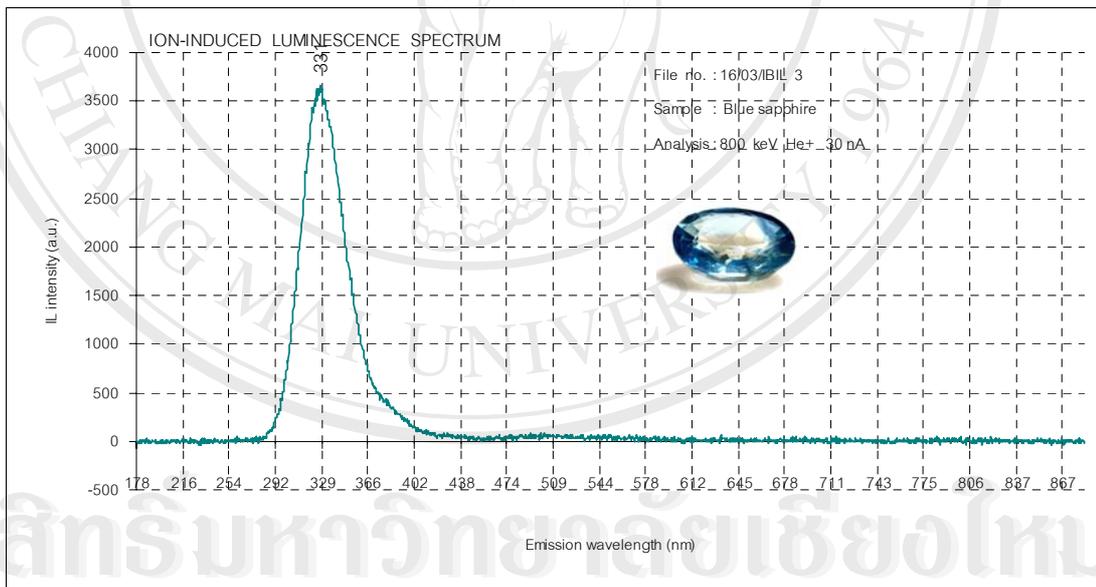
5.6.1 พลอยจริง (Al_2O_3) จำนวน 6 เม็ด ซึ่งประกอบไปด้วยพลอยโทนสีแดง 3 เม็ดและโทนสีน้ำเงิน 3 เม็ดโดยใช้ไอออน He^+ ที่มีพลังงาน 800 keV มีกระแสไอออน 30 nA ใช้เวลา 10 ms สำหรับพลอยสีแดงและใช้เวลา 1000 ms สำหรับพลอยสีน้ำเงินได้ผลดังต่อไปนี้



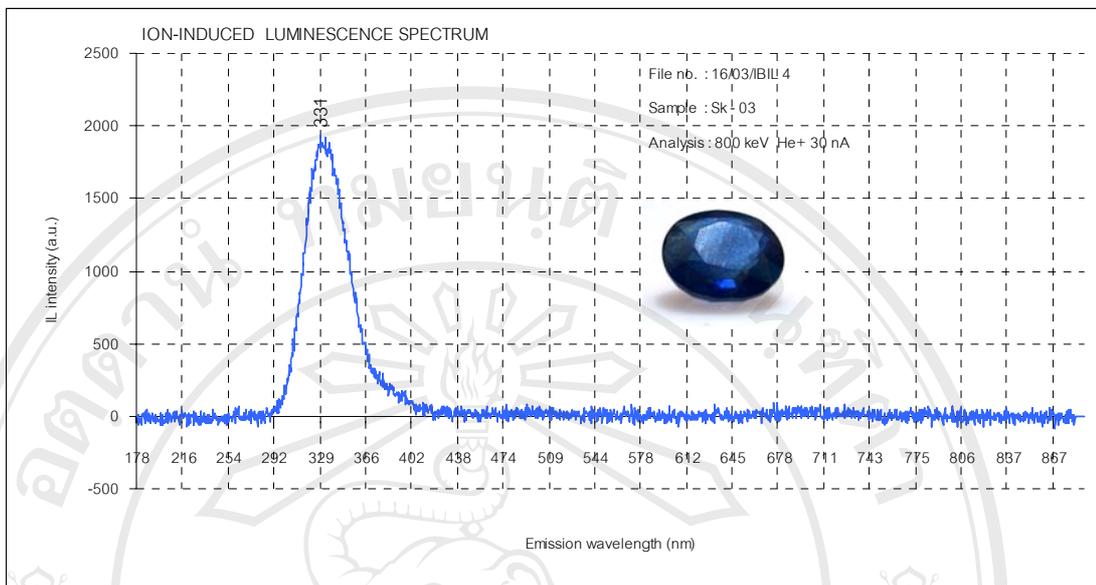
รูป 5.10 สเปกตรัมการเปล่งแสงของทับทิมหลังเบี่ยโดยเทคนิค IL



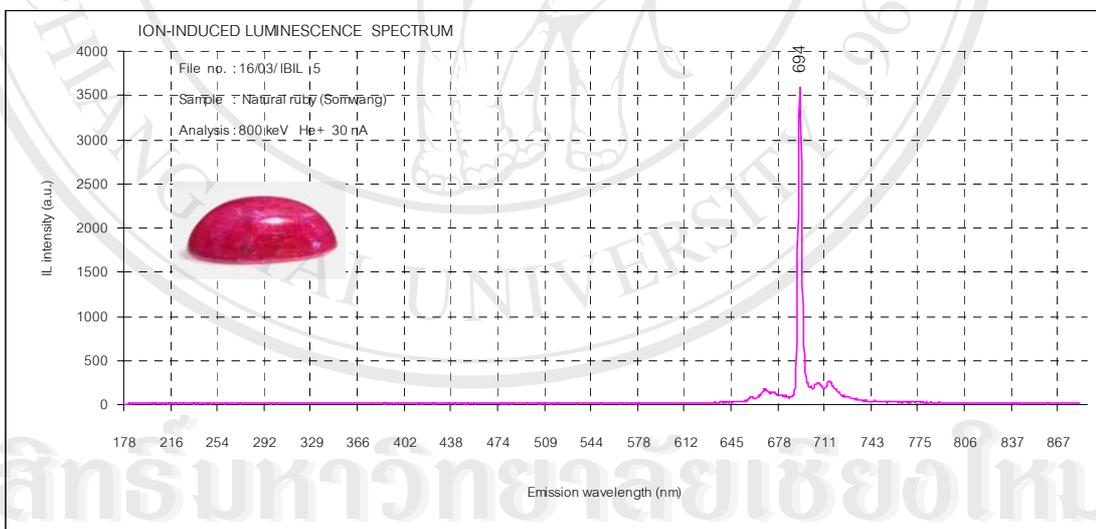
รูป 5.11 สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (manit/k) โดยเทคนิค IL



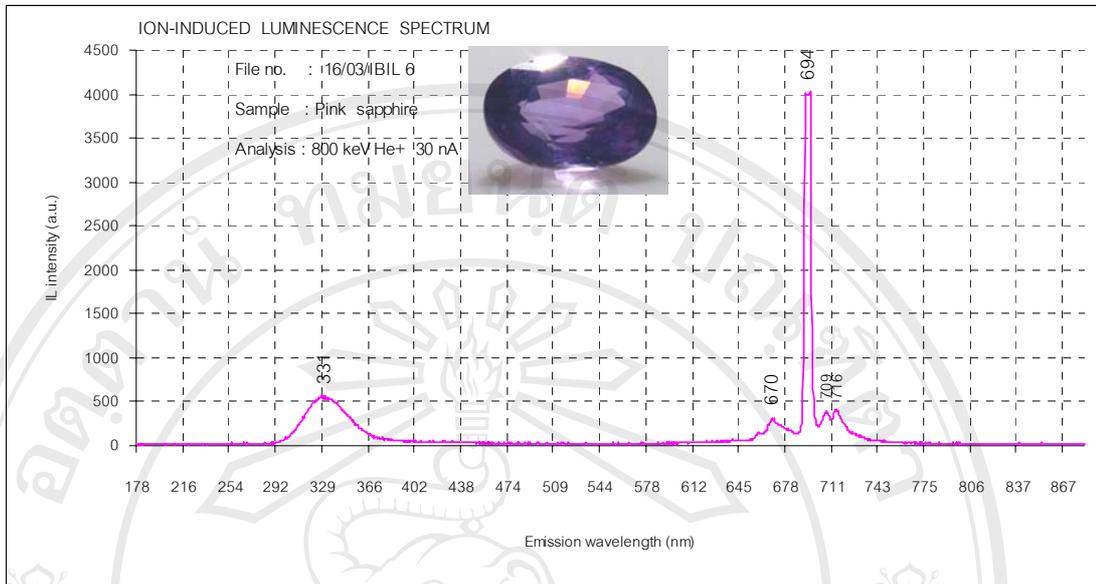
รูป 5.12 สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (blue sapphire) โดยเทคนิค IL



รูป 5.13 สเปกตรัมการเปล่งแสงของไพลิน (sk-03) โดยเทคนิค IL



รูป 5.14 สเปกตรัมการเปล่งแสงของทับทิม (somwang) โดยเทคนิค IL

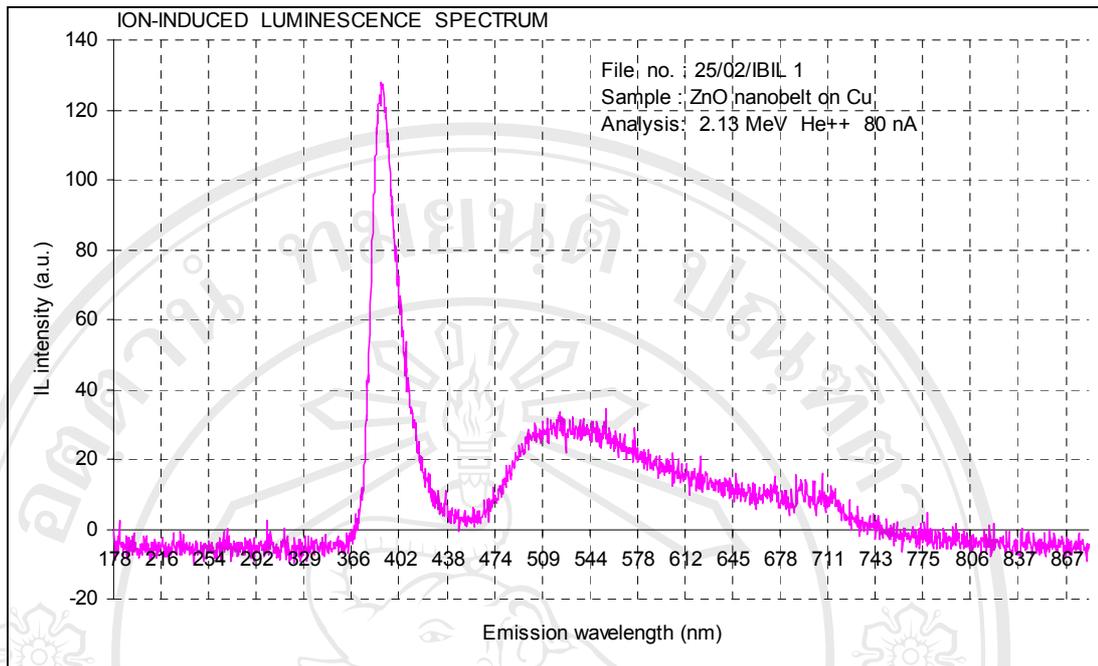


รูป 5.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงของพลอย (pink sapphire) โดยเทคนิค IL

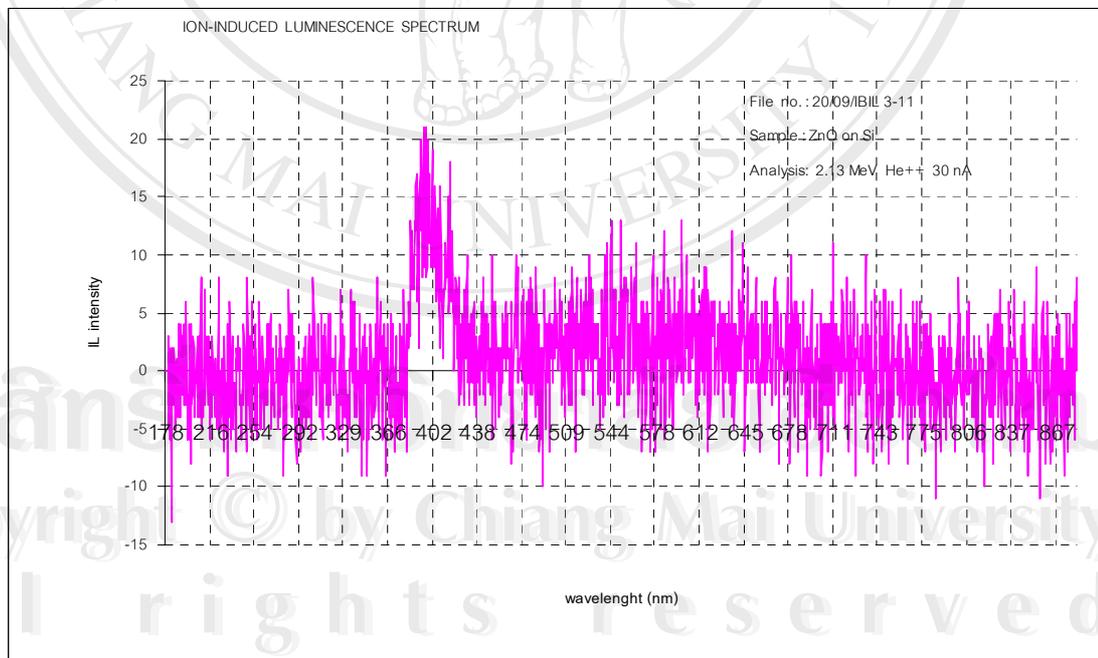
จากผลการทดลองทั้งหมดของข้อ 5.6.1 ในการใช้เทคนิค IL ในการศึกษาพลอยจริงที่พบในธรรมชาติซึ่งมีสีโทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน คาดว่าพลอยที่เป็นพลอยตระกูล corundum จะมีฟลักที่บ่งบอกถึงเอกลักษณ์ของพลอยตระกูลนี้คือ ฟลักของ F^+ centre ที่ 331 nm จะเห็นได้ชัดเจนสำหรับพลอยโทนสีน้ำเงิน และฟลักของ Cr^{3+} ที่ 694 nm จะเห็นได้ชัดเจนสำหรับพลอยโทนสีแดง แต่ไม่พบฟลักของ F centre สำหรับพลอยที่มีโทนสีน้ำเงินและสีแดง

ดังนั้นจากผลการทดลองในข้อ 5.1 และ 5.6.1 จะได้ข้อสรุปที่ว่า เทคนิค IL สามารถจำแนกพลอยตระกูล corundum ซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น Al_2O_3 ได้จากพลอยตระกูลอื่นๆ แต่ไม่สามารถจำแนกได้ว่า พลอยนั้นได้มาจากการสังเคราะห์หรือได้มาจากธรรมชาติ ถ้ามีการเจียรไนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะต้องมามีวิธีการอื่นๆ ร่วมด้วยในการจำแนกพลอยแต่ละเม็ด แต่สามารถบอกความเข้มของการเปล่งแสงของแต่ละเม็ดได้ซึ่งสามารถนำมาจำแนกพลอยที่มีสีใกล้เคียงกันได้ เมื่อใช้เงื่อนไขในการทดลองเหมือนกันทุกประการกับการทดสอบพลอยแต่ละเม็ด

5.6.2 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) มีชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์อยู่ 2 ชิ้นงาน ได้แก่ ZnO nanobelt บน Cu วิเคราะห์ด้วย ไอออน He^{++} พลังงาน 2.13 MeV กระแสไอออน 80 nA ได้ผลดังรูป 5.14 และ ZnO บน Si วิเคราะห์ด้วย ไอออน He^{++} พลังงาน 2.13 MeV กระแสไอออน 30 nA ใช้เวลา 1000 ms ได้ผลดังรูป 5.16



รูป 5.16 สเปกตรัมการเปล่งแสงของ ZnO nanobelt บน Cu โดยเทคนิค IL

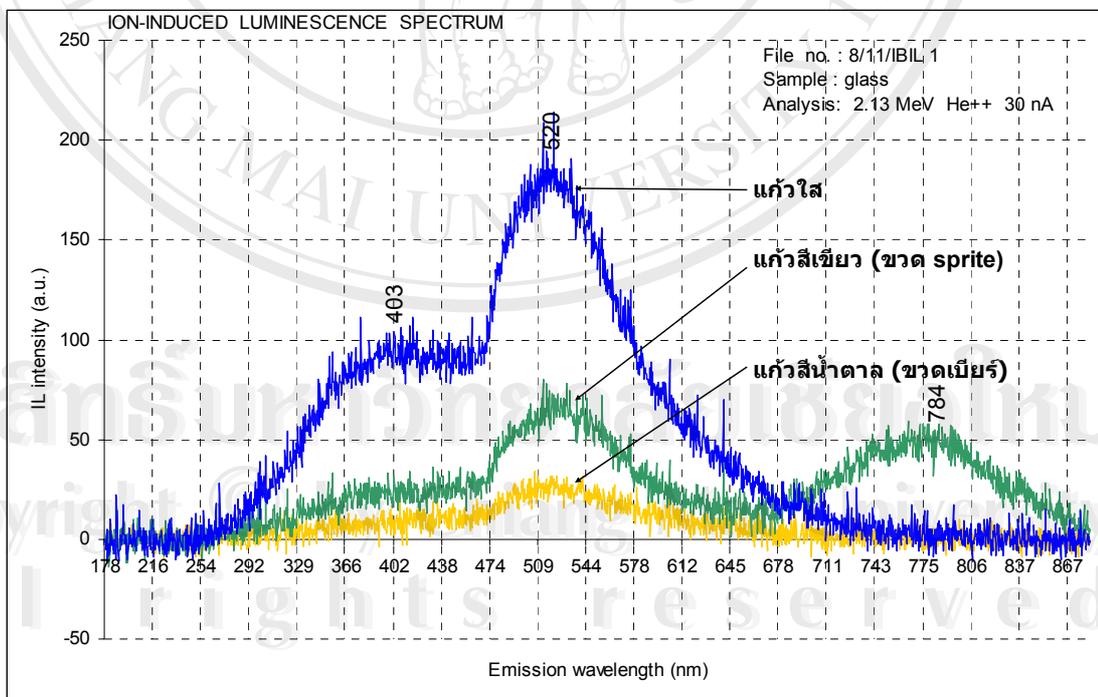


รูป 5.17 สเปกตรัมการเปล่งแสงของ ZnO บน Si โดยเทคนิค IL

ข้อ 5.6.2 ได้ผลการทดลองคือ สำหรับการเปล่งแสงของ ZnO nanobelt บน Cu พบพีคที่สำคัญอยู่ที่ 389 nm มีพีคที่กว้างรอบความยาวคลื่น 520 nm และมีความเข้มที่ชัดเจน ส่วนการเปล่งแสงของ ZnO บน Si พบว่ามีพีคอยู่ที่ 395 nm มีความเข้มของการเปล่งแสงที่ต่ำ อาจมีความคาดเคลื่อนเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ ส่วนการเปล่งแสงของ ZnO ที่พีค 389 นั้นเกิดจาก exciton-exciton emission (P-line) เป็นเอกลักษณ์ของ ZnO (Choopun, *et al.*, 2005) ที่จะให้พีคที่ความยาวคลื่นในช่วงนี้ ส่วนพีคที่กว้างรอบความยาวคลื่น 520 nm น่าจะเกิดจากการไอออนไนซ์ของวาเลนซ์ของออกซิเจนภายใต้ผลึกของ ZnO

ดังนั้นจากการทดลองในข้อ 5.6.2 ทำการวิเคราะห์ ZnO ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่กำลังเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบัน สามารถใช้เทคนิค IL ในการศึกษาได้ว่าการสร้าง ZnO บนผลึกของสารต่างๆ เป็นผลสำเร็จหรือไม่ และสามารถนำไปศึกษาสารกึ่งตัวนำอื่นได้เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของการเปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำชนิดนั้นๆ ได้

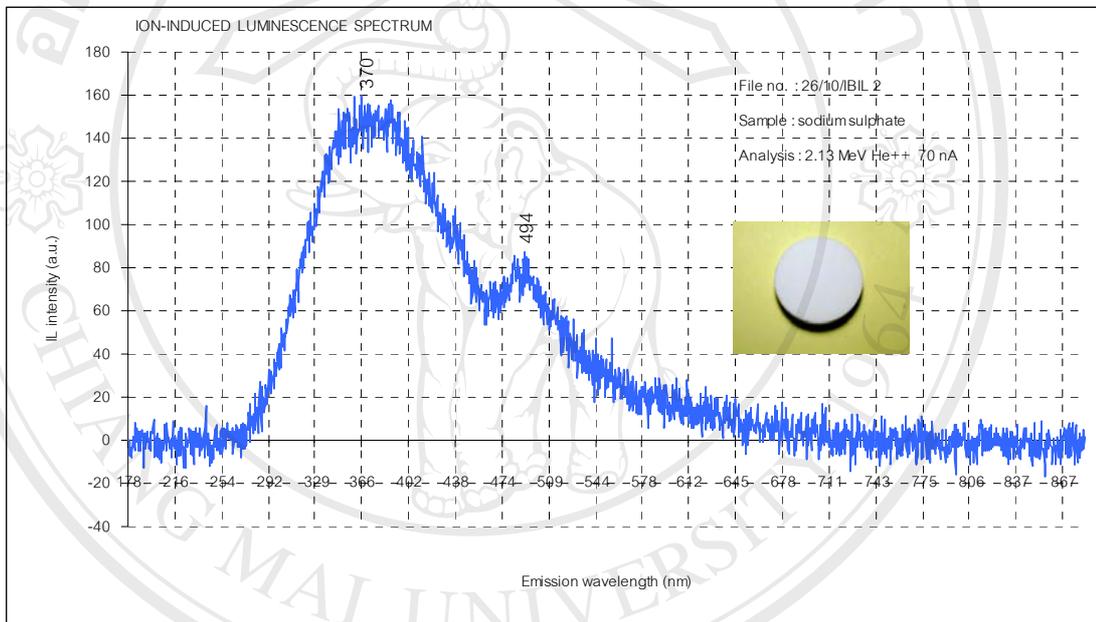
5.6.3 แก้ว (SiO₂) ในการทดลองนี้ได้นำแก้วสีต่างๆ ได้แก่ แก้วใส แก้วสีน้ำตาล (ขวดเบียร์) และแก้วสีเขียว (ขวด sprite) ในการวิเคราะห์โดยเทคนิค IL ได้ใช้ ไอออน He⁺⁺ พลังงาน 2.13 MeV กระแสไอออน 50 nA ใช้เวลา 1000 ms ได้ผลดังรูป 5.18



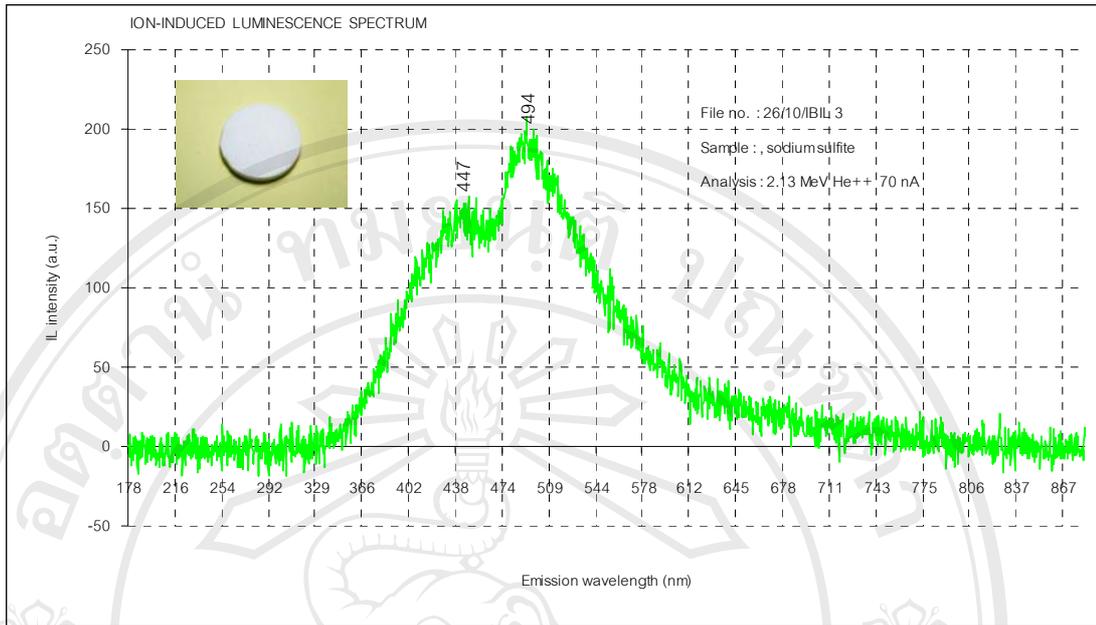
รูป 5.18 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วโดยเทคนิค IL

จากผลการทดลองข้อ 5.6.3 การวิเคราะห์แก้วสีต่างๆ โดยเทคนิค IL ได้ผลดังนี้พบว่าแก้วใสไม่มีสีจะให้ความเข้มของการเปล่งแสงมากที่สุด คาดว่าฟลักที่เกิดจากโครงสร้างของ SiO_2 คือ ฟลักที่มีความยาวคลื่น 483 และ 520 nm ซึ่งเป็นฟลักที่พบได้จากแก้วทั้ง 3 สี แสดงว่าทั้ง 2 ฟลักนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก intrinsic ส่วนฟลักที่ 784 nm พบเฉพาะสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วสีเขียวเท่านั้น แสดงว่าเป็นฟลักที่เกิดจาก extrinsic ที่ใส่ลงไปแก้วเพื่อให้คุณลักษณะบางอย่างเปลี่ยนไป

5.6.4 โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ทำการวิเคราะห์โดยไอออน He^{++} ที่พลังงาน 2.13 MeV กระแสไอออน 70 nA ดังแสดงผลในรูปที่ 5.19 และ 5.20



รูป 5.19 สเปกตรัมการเปล่งแสงของโซเดียมซัลเฟต โดยเทคนิค IL

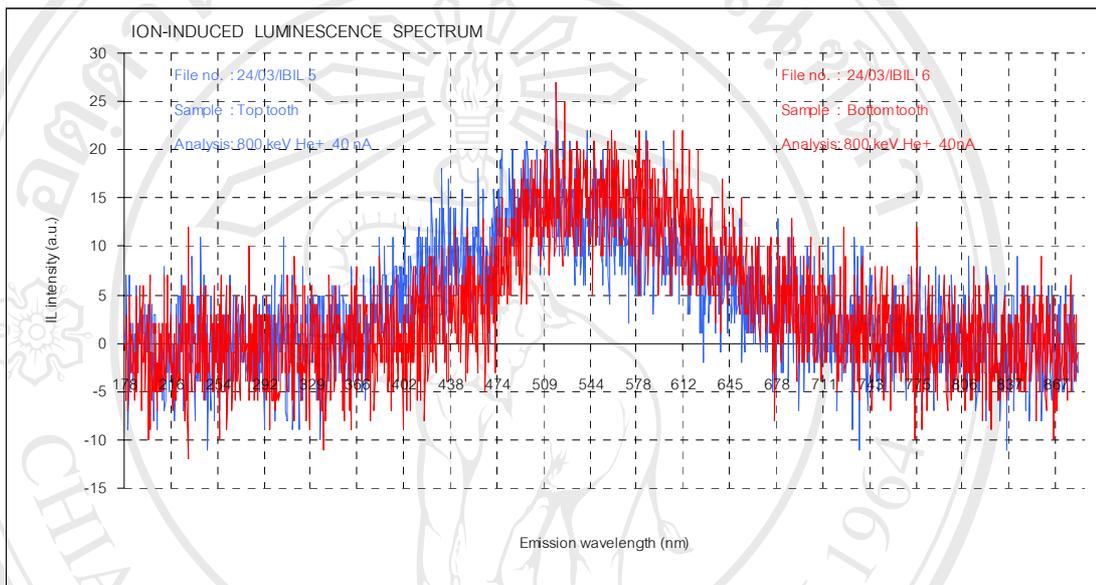


รูป 5.20 สเปกตรัมการเปล่งแสงของโซเดียมซัลไฟต์ โดยเทคนิค IL

ลักษณะทางกายภาพของโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) และ โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) มีลักษณะเป็นผงสีขาว anhydrous คุณภาพของสารที่นำมาวัดเป็นแบบ analytical grade จากนั้นได้นำมาทำการอัดเม็ด แล้วจึงนำไปวัดการเปล่งแสง

จากการทดลองที่ 5.6.4 ได้สเปกตรัมการเปล่งแสงของโซเดียมซัลเฟตมีพีคอยู่ที่ 370 และ 494 nm มีความเข้มของการเปล่งแสงต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อทำการยิงด้วยไอออนเป็นเวลานานกว่า 3 ms ส่วนสเปกตรัมการเปล่งของโซเดียมซัลไฟต์มีพีคอยู่ที่ 447 และ 494 nm มีความเข้มของการเปล่งแสงต่ำกว่าของโซเดียมซัลเฟต และมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อทำการยิงด้วยไอออนเป็นเวลานานกว่า 3 ms เช่นกัน สังเกตได้จากความเข้มของสเปกตรัมจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการระดมยิงไอออน นอกจากนั้นการที่สารทั้งสองชนิดมีจำนวนออกซิเจนที่ต่างกันแล้วซึ่งน่าจะจะมีโครงสร้างทางพันธะที่ต่างกันออกไป แต่การทดลองพบว่ามีบางส่วนที่เกิดเป็นพันธะที่มีโครงสร้างชนิดเดียวกัน คือพีคที่ให้สเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 494 nm และจำนวนที่เกิดพันธะที่ให้โครงสร้างนี้ก็ไม่มีเท่ากัน อยู่ในรูปอัตราส่วนคงตัวค่าหนึ่งแต่ไม่สามารถบอกได้จากเทคนิค IL เพียงวิธีเดียวต้องใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย

5.6.5 ฟัน เป็นตัวอย่างหนึ่งของสารจำพวกอินทรีย์วัสดุที่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IL ได้ แต่ผลของสเปกตรัมที่ได้มีความเข้มค่อนข้างต่ำมาก โดยในการทำการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ใช้ไอออน He^+ ที่พลังงาน 800 keV กระแสไอออน 40 nA ได้ผลตามรูปที่ 5.21 จะเห็นได้ว่าสารจำพวกอินทรีย์วัสดุนั้นสามารถมีความเข้มของการเปล่งแสงค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสารอนินทรีย์วัสดุอื่น ที่ทำการทดลองมาแล้วข้างต้น



รูป 5.21 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟัน โดยเทคนิค IL