



ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุคืบ

4.1.1 ขนาดอนุภาคจากการวัดค่า Particle Size Distribution

ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ ประมาณ 1.9 ไมครอน การกระจายของอนุภาคค่อนข้างน้อย อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน มีประมาณร้อยละ 82.7 ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 9

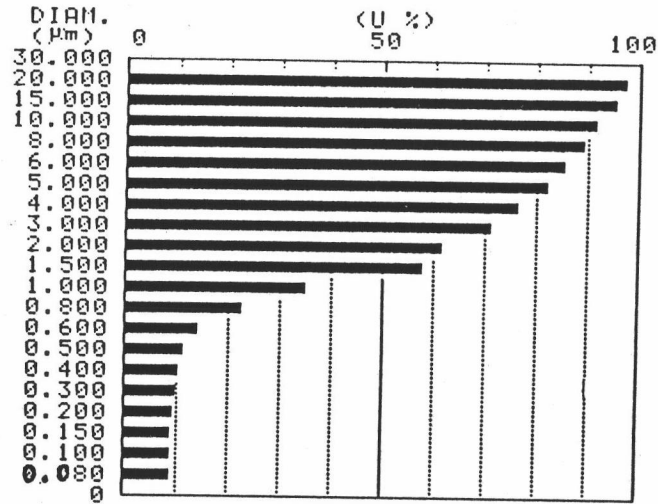
ส่วนขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของตัวเติมอะลูมินา ที่วัดโดยเครื่อง Centrifugal Particle Size Analyzer ประมาณ 11.53 ไมครอน อนุภาคมีการกระจายตัวมาก อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน เพียงร้อยละ 18.5 ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 10 แต่เมื่อศึกษาขนาดอนุภาคจาก SEM ดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่าความจริงแล้วขนาดอนุภาคมีขนาดละเอียดมากทำให้เกิดการจับรวมตัวกัน จึงมีผลทำให้การวัดขนาดโดยเครื่อง Centrifugal Particle Size Analyzer แสดงขนาดอนุภาคขนาดใหญ่

ส่วนอนุภาคโดยเฉลี่ยของตัวเติมคาร์บอน ประมาณ 30.9 ไมครอน มีการกระจายตัวมากเช่นเดียวกัน ซึ่งแบ่งได้ 2 ช่วง ช่วงขนาดน้อยกว่า 30 มีร้อยละ 48.6 ส่วนขนาดที่เล็กกว่า 5 ไมครอน มีประมาณร้อยละ 37.4 ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 11 แต่เมื่อศึกษาจุลโครงสร้างจากเครื่อง SEM ดังแสดงในรูปที่ 13 (b) พบว่าอนุภาคเป็นแผ่นบางจับตัวกันเป็นชั้นๆ ซึ่งเห็นสาเหตุให้ค่าที่วัดได้โดยเครื่อง Centrifugal Particle Size Analyzer แสดงขนาดอนุภาคขนาดใหญ่

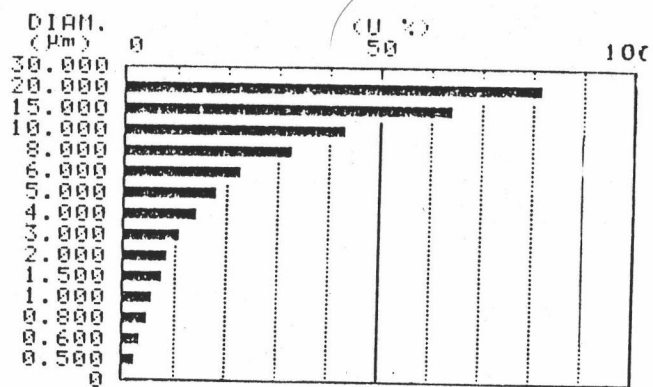
ส่วนขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของตัวเติมโบรอน ประมาณ 0.15 ไมครอน มีการกระจายของอนุภาคน้อย อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 ไมครอน อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน มีถึงร้อยละ 94.6 ดังแสดงในตาราง 5 และรูปที่ 12

ตารางที่ 5 ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ

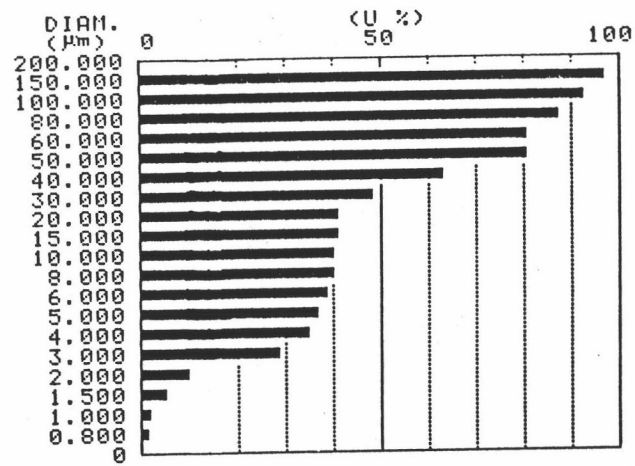
ชนิด	ขนาด μm	<40 μm	<30 μm	<20 μm	<10 μm	<5 μm	<1 μm	<0.5 μm
เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์		-	100	97.9	92.1	82.7	35.4	11.6
อะลูมิน่า		-	100	82.2	43.5	18.5	6.2	2.5
โบรอน		100	100	100	100	100	98.8	98.8
คาร์บอน		63.5	48.6	41.7	40.8	37.4	2.3	1.7



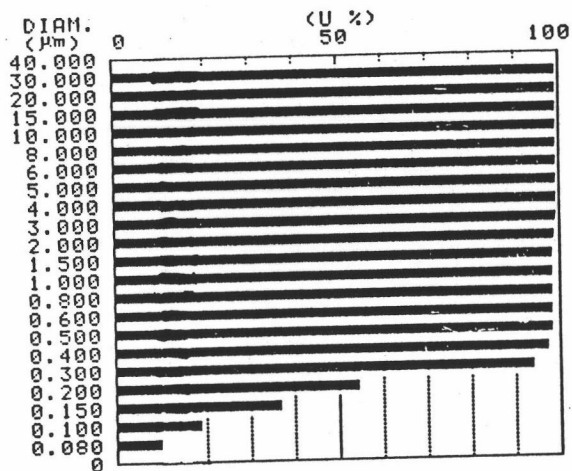
รูปที่ 9 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์



รูปที่ 10 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของอะลูมิน่า



รูปที่ 11 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอน

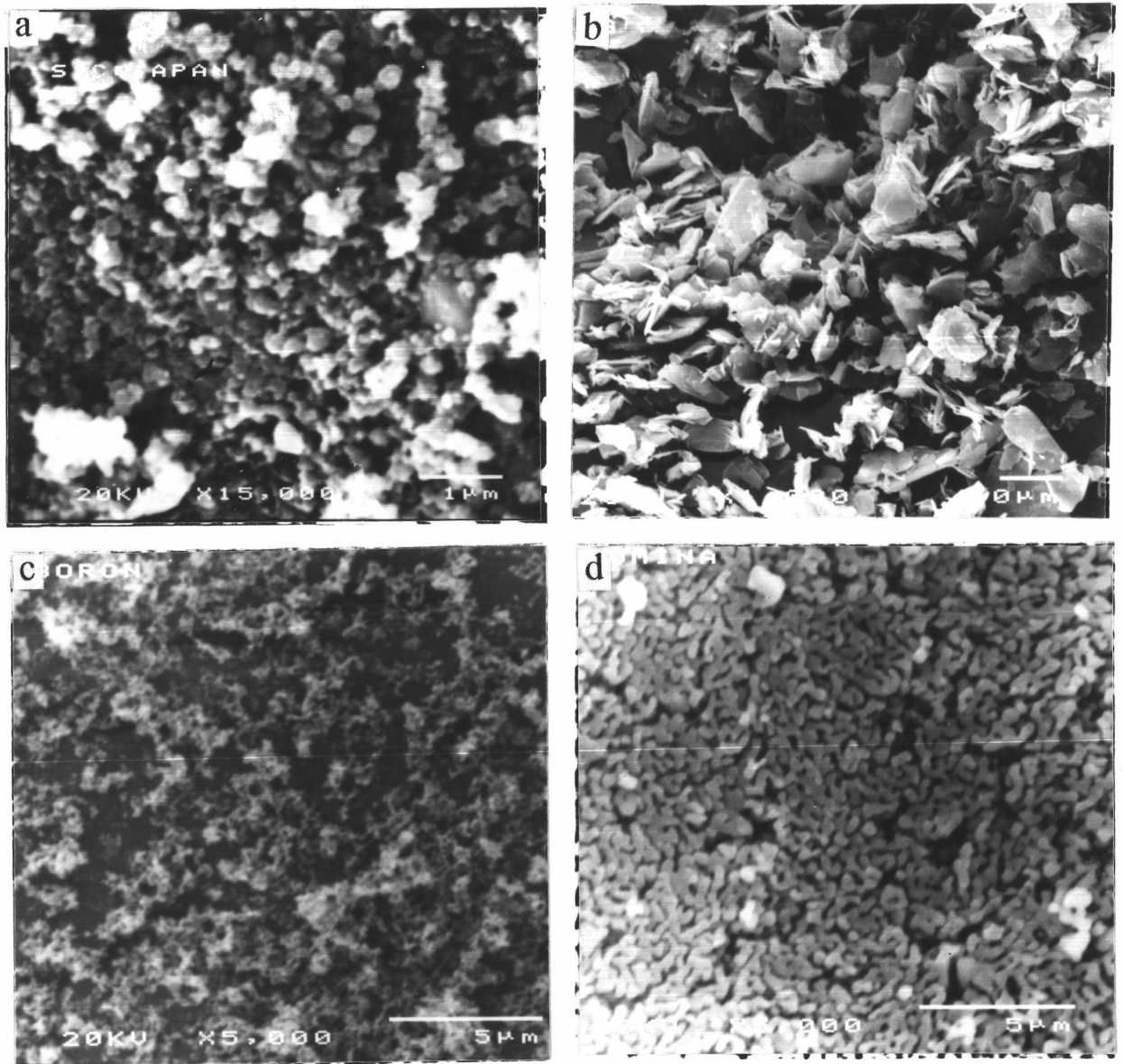


รูปที่ 12 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคโบรอน

4.1.2 ศึกษาจุลโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron - Microscope, SEM)

จุลโครงสร้างของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ศึกษาโดยเครื่อง SEM แสดงระบบผลึกแบบคิวบิก ดังแสดงในรูปที่ 13 (a) และแสดงขนาดอนุภาคที่สอดคล้องกับที่วัดได้ โดยวิธี Centrifugal Particle Size Analyzer คือขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน และอนุภาคละเอียดมาเกาะรวมตัวกัน

ส่วนจุลโครงสร้างของตัวเติมอะลูมินา แสดงลักษณะผลึกเป็นแบบเฮกซะกอนอลดังแสดงในรูปที่ 13 (d) และมีขนาดเป็นซึบไมครอน ซึ่งผลการศึกษาอนุภาคโดยวิธีนี้ขัดแย้งกับการหา Particle Size Distribution เนื่องจาก Particle Size วัดออกมาเป็นการวัดอนุภาคโดยละเอียดเกาะรวมตัวเป็นก้อน ส่วนจุลโครงสร้างของคาร์บอน ดังรูปที่ 13 (b) คาร์บอนเป็นผลึกเฮกซะกอนอลแผ่นบางๆ ซ้อนกัน และอนุภาคมีการจับตัวกันเช่นเดียวกับอะลูมินาทำให้ขนาดอนุภาคที่วัดได้ไม่ตรงกับวิธีวัด Particle Size Distribution ส่วนจุลโครงสร้างของโบรอนมีลักษณะอสัณฐาน และมีขนาดละเอียดเป็นซึบไมครอนเช่นเดียวกับผลที่ได้จาก Particle Size ดังรูปที่ 13 (c)



รูปที่ 13 จุดโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

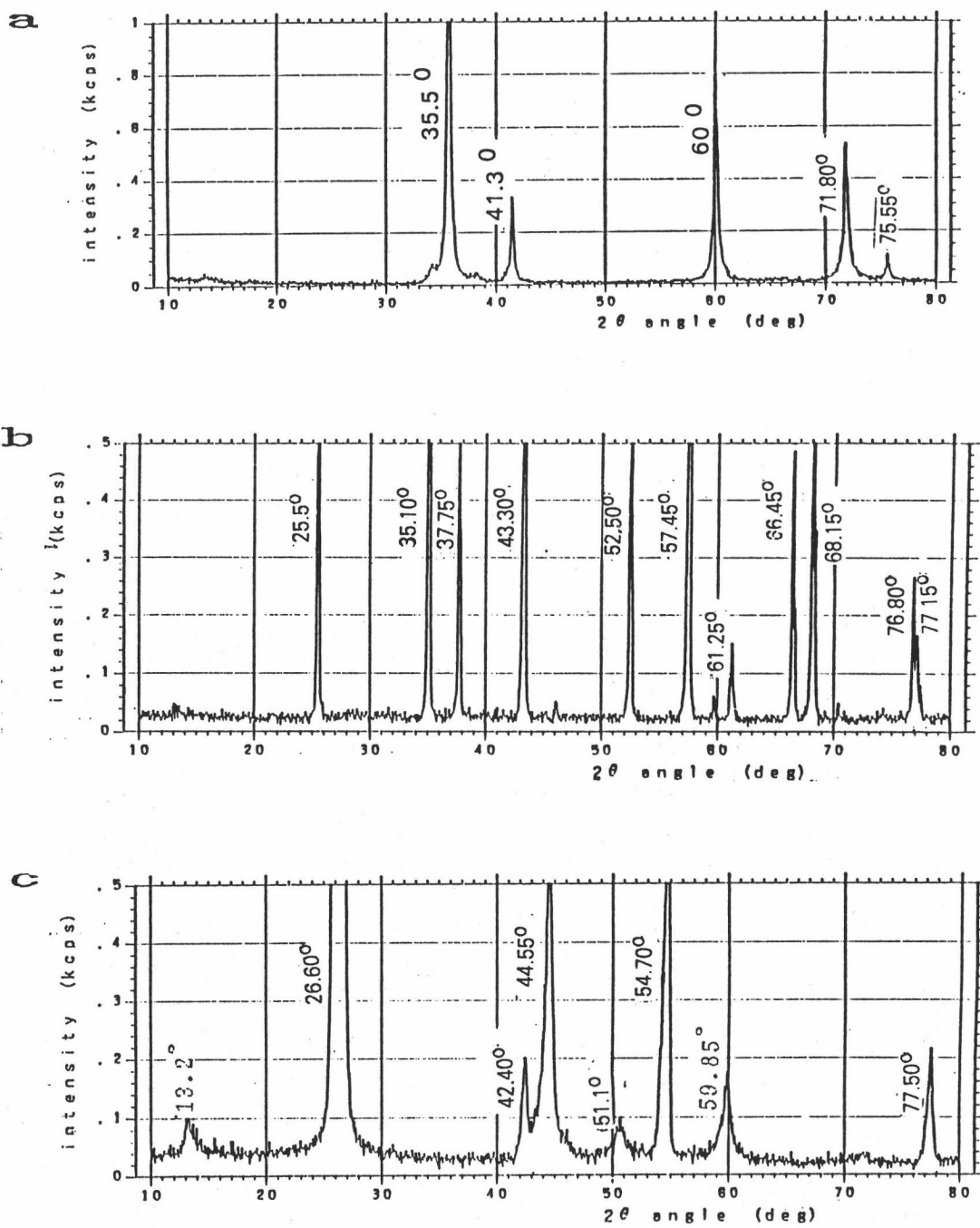
- a) เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์
- b) คาร์บอน
- c) โบรอน
- d) อะลูมิน่า

4.1.4 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกโดย X-Ray Diffractometry (XRD)

จาก X-Ray Diffraction Pattern ของวัตถุดิบ ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่า เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์มีโครงสร้างผลึกเป็นคิวบิก ดังแสดงในรูปที่ 14 (a) ดังพีคที่ 2 θ ประมาณ 75.55°, 71.8°, 60.4°, 60°, 59.9°, 41.3° และ 35.5° ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM ในตารางที่ 6 โดยที่พีค 59.9°, 60° และ 60.4° อยู่ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันจนเกือบจะเป็นพีคเดียวกัน ส่วน Pattern ของอะลูมินาพบว่ามีอยู่ในรูป Corundum มีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะกอนอลตามค่า 2 θ เท่ากับ 77.15°, 76.8°, 68.15°, 66.45°, 61.25°, 57.45°, 52.5°, 43.3°, 37.75°, 35.1° และ 25.5° ดังแสดงในรูปที่ 14 (b) ซึ่งสอดคล้องกับ JCPDS CARD NO. = 31 - 206 ของระบบ Alphabetical Index (Chemical and Mineral Name) ส่วน X-Ray Diffraction Pattern ของคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 14 (c) พบว่ามีอยู่ในรูปกราฟไฟต์ผลึกเป็นรูปเฮกซะกอนอล ตามค่า 2 θ เท่ากับ 77.5°, 59.85°, 54.70°, 51.1°, 44.55°, 42.40°, 26.6° และ 13.2° ซึ่งสอดคล้องกับ JCPDS CARD NO. = 23 - 64 และ Pattern ของโบรอน ดังแสดงในรูปที่ 14(d) มีพีคกว้างแสดงว่ามีผลึกเป็นอสัณฐาน ตามค่า 2 θ เป็น 35.6°, 27.6°, 22.3°, 20.9°, 19.8° และ 17.6° ซึ่งสอดคล้องกับ JCPDS CARD NO. = 31 - 206 X-Ray Diffraction Pattern ของสารทั้งหมดที่ศึกษานี้ ไม่แสดงพีคของสิ่งเจือปนปรากฏอยู่

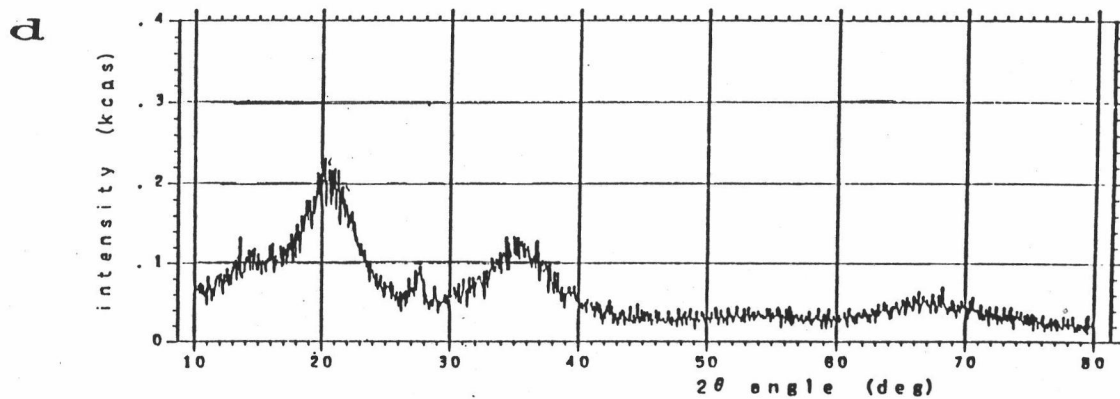
ตารางที่ 6 ASTM X- RAY DIFFRACTIONS ของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์

Peak	2θ	d	I/I ₁
No.	(deg)	(Å)	
1	61.150	1.5143	1
2	60.650	1.5256	2
3	60.400	1.5313	5
4	59.900	1.5428	35
5	41.300	2.1841	12
6	38.100	2.3599	1
7	37.400	2.4025	1
8	35.550	2.5231	100
9	13.150	6.7269	1



รูปที่ 14 X-RAY DIFFRACTION PATTERN ของวัสดุคืบ

- a) เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์
b) อะลูมิน่า
c) คาร์บอน



รูปที่ 14 (ต่อ) X-RAY DIFFRACTION PATTERN ของวัตถุคิบ
d) โบรอน

จากผลการวิเคราะห์วัตถุคิบ พบว่าวัตถุคิบที่นำมาใช้มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม และ ปริมาณสิ่งเจือปนไม่ปรากฏในผลวิเคราะห์ ซึ่งอาจจะมีปริมาณอยู่น้อยมาก จึงเหมาะสมในการนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้

4.2 ผลการศึกษากระบวนการเตรียมชิ้นงาน

4.2.1 ศึกษาวิธีบดผสมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

4.2.1.1 ศึกษาการกระจายตัวของอะลูมินาในซิลิกอนคาร์ไบด์

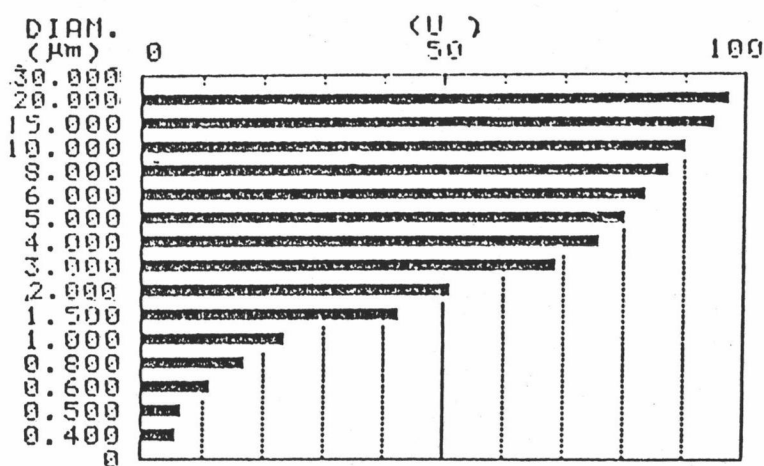
สารที่ผสมแล้วมีการกระจายตัวสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันตลอดนั้น จะต้องมึปริมาณอะลูมินาในยวมในแต่ละตัวอย่างที่สุ่มมามีค่าใกล้เคียงกัน ผลที่วัดได้ดังตารางที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีตัวเติมร้อยละ 1 ใช้เวลาบดผสม 45 นาที ให้ค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดและจากการนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณทางสถิติ นั้นพบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยอยู่ในขีดจำกัดของความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังนั้นเวลา 45 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการทำให้สารกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่วนสารที่ใช้เวลาในการบดผสม 30 นาที ก็มีการกระจายตัว ซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนถึงร้อยละ 3 นั้น มีค่าใกล้เคียงแต่ยังสูงกว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ส่วนเวลาในการบดผสม 60 นาที นั้น มีการกระจายตัว ซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนของการกระจายตัวสูงกว่าขีดจำกัดเล็กน้อย อาจเนื่องจากขนาดอนุภาคถูกบดให้ละเอียดมากขึ้น จึงมีการจับตัวกันบ้าง แต่อย่างไรก็ตามการบดผสม 60 นาที สูญเสียพลังงาน และเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นการบดผสมอะลูมินาจึงควรใช้เวลาในการบดผสมเพียง 45 นาที ส่วนตัวอย่างที่เติมปริมาณตัวเติมร้อยละ 0.1 ผลการวิเคราะห์ทั้งหมดให้การกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการเติมตัวเติมปริมาณน้อยเกินไป อาจจะได้ตัวแทนในการสุ่มตัวอย่างที่ไม่เหมาะสม เพราะปริมาณสารที่นำไปวัดการกระจายตัวใช้ปริมาณน้อย

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ห่อละอุมิน้ำในซิลิกอนคาร์ไบด์โดยวิธี NAA

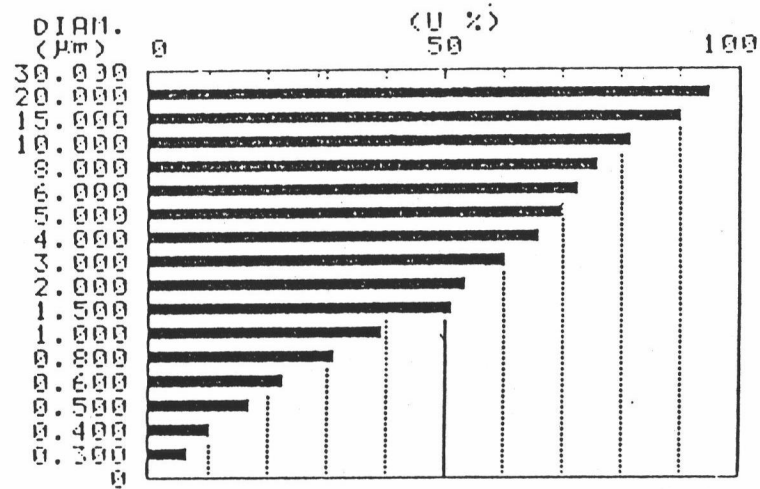
ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเต็ม (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	เวลาบด (นาที)	ปริมาณ อะลูมิเนียม โดย NAA (% Al)	ค่าเฉลี่ย ปริมาณร้อยละ ของ อะลูมิเนียม	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	ความเป็อง เบนความผิด พลาดร้อยละ (%Error)
SA 0.1 A B C	0.1	30	0.05 0.07 0.25	0.12	0.11	91
SA 0.1 A B C	0.1	45	0.06 0.03 0.08	0.06	0.02	33
SA 0.1 A B C	0.1	60	0.12 0.07 0.17	0.12	0.05	42
SA 1 A B C	1	30	0.97 1.04 0.98	1.00	0.03	3
SA 1 A B C	1	45	1.01 1.00 0.96	0.99	0.02	2
SA 1 A B C	1	60	1.01 0.92 1.06	1.00	0.06	6



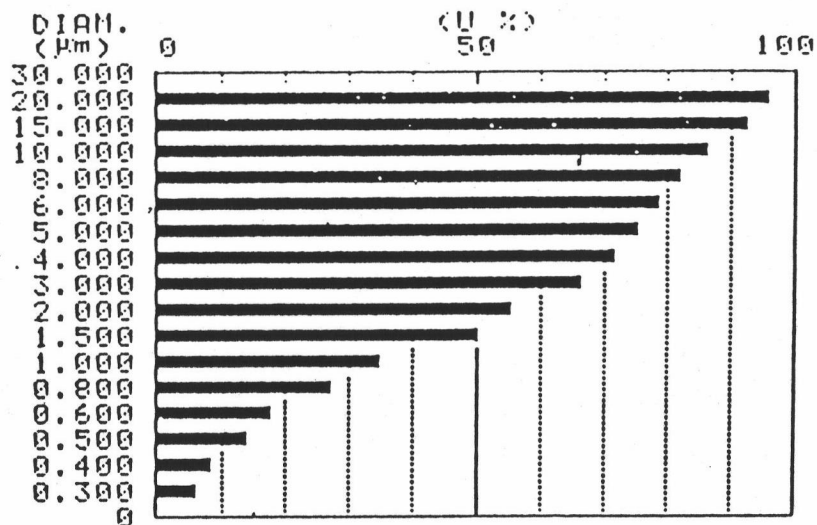
ผลการศึกษานำขนาดของอนุภาคโดยการวัดค่า Particle Size Distribution ก่อนและหลังการบดผสมสารที่เวลาต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 15 ถึง 18 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาค ก่อนบดผสมของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ประมาณ 1.9 ไมครอน และขนาดอนุภาคหลังบดผสม โดยใช้เวลาบดผสม 30, 45 และ 60 นาที มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.4, 1.4 และ 1.5 ไมครอน ตามลำดับ ดังจะเห็นว่าการใช้เวลาการบดผสมสารต่างๆ กัน จะได้ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากสารเริ่มต้นที่ใช้มีขนาดละเอียดอยู่แล้ว



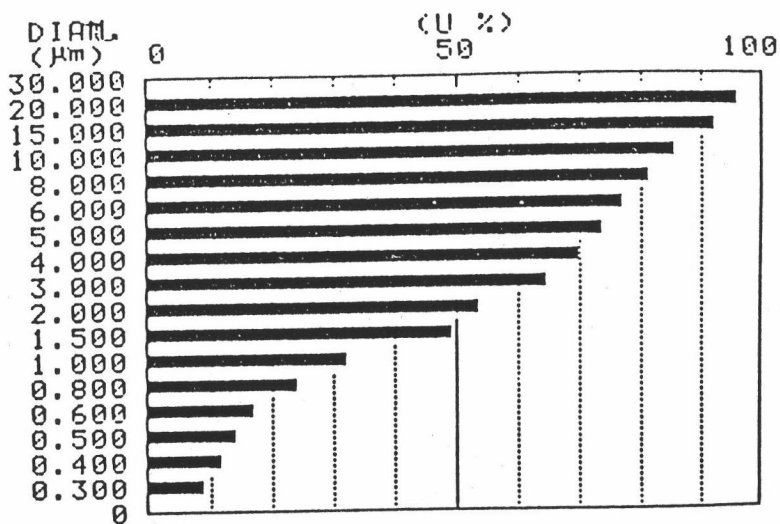
รูปที่ 15 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ก่อนบดผสม



รูปที่ 16 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า หลังบดผสม 30 นาที



รูปที่ 17 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า หลังบดผสม 45 นาที



รูปที่ 18 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิเนียม หลังบดผสม 60 นาที

4.2.1.2 การศึกษาการกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์

ในการผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ได้ทำการศึกษากการกระจายตัวของตัวเติมโดยวัดการกระจายตัวของโบรอนวัดได้โดยวิธี PGNAA การวัดกระจายตัวของคาร์บอนนี้ไม่สามารถวัดการกระจายตัวของคาร์บอนอิสระได้ ต้องวัดเป็นปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกวัดปริมาณคาร์บอนอิสระกับปริมาณคาร์บอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ได้ จึงจำเป็นต้องวัดการกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ สารที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะมีการกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดนั้น จะต้องมีจำนวนนับรังสีที่มีค่าใกล้เคียงกัน ผลดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่าจำนวนนับรังสีที่ได้จากกลุ่มที่ใช้เวลาบดผสม 60 นาที มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น แสดงว่าในการใช้เวลาบดผสม 60 นาที มีการกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์อย่างสม่ำเสมอมากกว่าการใช้เวลาบดผสมช่วงอื่น และความเบี่ยงเบนอยู่ในขีดที่ยอมรับได้ ส่วนการใช้ช่วงเวลาอื่นๆ ได้ค่าเบี่ยงเบนที่สูงเกินไป จึงนับว่าเวลา 60 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการบดผสมเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์
เมื่อแปรค่าเวลาในการบดผสม

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลาในการบดผสม (นาที)	จำนวนนับรังสี/น้ำหนัก (count/gm)
A	2	30	72.0
SBC 2 B			54.5
C			55.3
A	2	45	34.9
SBC 2 B			44.5
C			46.5
A	2	60	39.9
SBC 2 B			37.9
C			38.7

หมายเหตุ อาบรังสีตัวอย่างโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ ขนาด 300 mc.

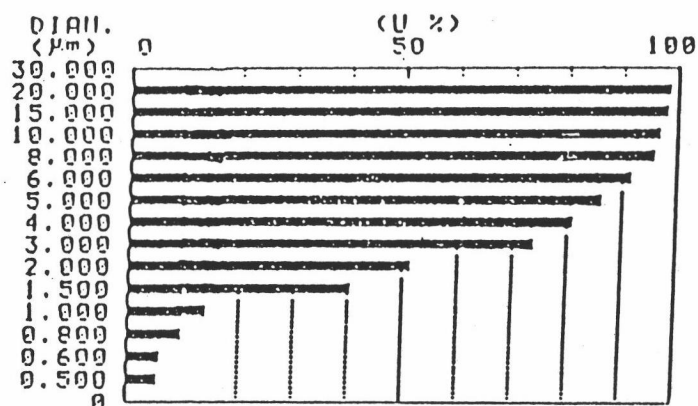
ผลการศึกษาการแปรค่าปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน โดยใช้เวลา 60 นาที
ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์การกระจายของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์
เมื่อแปรค่าปริมาณตัวเติม ใช้เวลาบดผสม 60 นาที

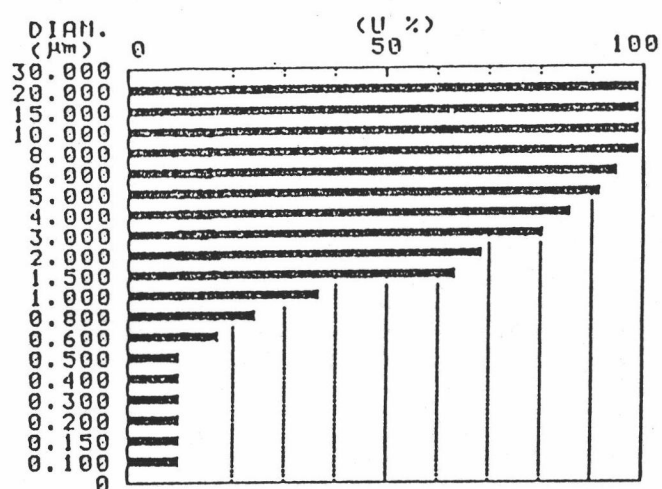
ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลาในการบดผสม (นาที)	จำนวนนับรังสี/น้ำหนัก (count/gm)
SBC 2 A	2	60	11,105
B			9,815
C			9,814
SBC 3 A	2.5	60	11,380
B			12,614
C			10,954
SBC 4 A	3	60	13,120
B			12,883
C			12,918

หมายเหตุ อาบรังสีตัวอย่างโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนเป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

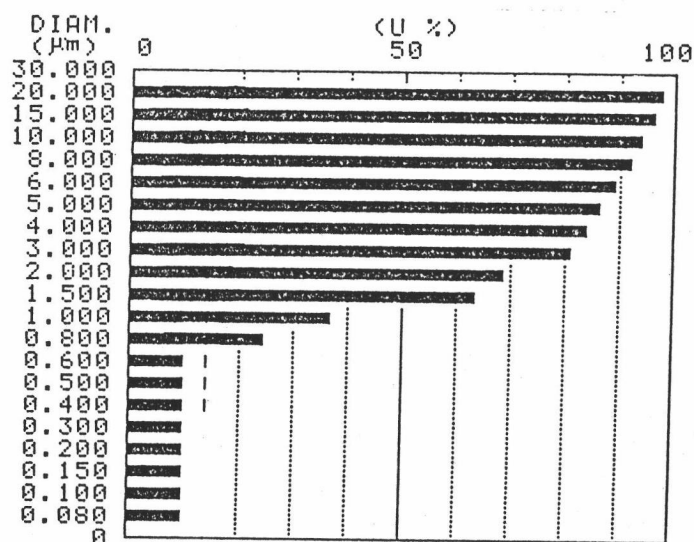
ขนาดของอนุภาคของสารตัวอย่างที่ใช้ตัวเติมโบรอนและคาร์บอน หลังการบดผสมจากการวัดค่า Particle Size Distribution ดังแสดงในรูปที่ 19 ถึง 20 พบว่าขนาดอนุภาคหลังบดผสมใช้เวลาบดผสม 30, 45 และ 60 นาที ได้อนุภาคโดยเฉลี่ยเป็น 1.9, 1.24 และ 1.24 ไมครอน ตามลำดับ จะเห็นว่าการบดผสมเพียง 30 นาที เท่านั้นที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วน 45 นาที และ 60 นาที ให้ขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน และเป็นขนาดอนุภาคละเอียดพอที่จะใช้งานได้ ดังนั้นการใช้เวลาบดผสม 60 นาที ยังเหมาะสมในการบดผสมสาร



รูปที่ 19 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน
หลังบดผสม 30 นาที



รูปที่ 20 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน
หลังบดผสม 45 นาที



รูปที่ 21 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอนหลังบดผสม 60 นาที

4.2.2 ศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานโดย Hot Press

4.2.2.1 ศึกษาผลของปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน และเลือก Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทอร์ริง

ผลการแปรค่าปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน ในการ Hot Press ด้วย Profile a และ b แสดงในตารางที่ 10 และ 11 ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Hot Press แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ คือวัดค่าความหนาแน่น ความแข็ง ความเค้นแรงตัดโค้ง และศึกษาจุลโครงสร้าง เพื่อเลือกปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นเทอร์ริง สารซิลิกอนคาร์ไบด์

ตารางที่ 10 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่น ร้อยละของความ หนาแน่นตาม ทฤษฎี (%TD ⁺)	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kgf/mm ²)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SBC 1	1.5	3.0695	95.33	52.50	2381.43
SBC 2	2.0	3.1514	97.87	50.23	2383.94
SBC 3	2.5	3.2092	99.66	49.80	2726.95
SBC 4	3.0	3.1791	98.73	51.48	2785.11
SBC 5	4.0	3.1782	98.69	49.81	3061.24

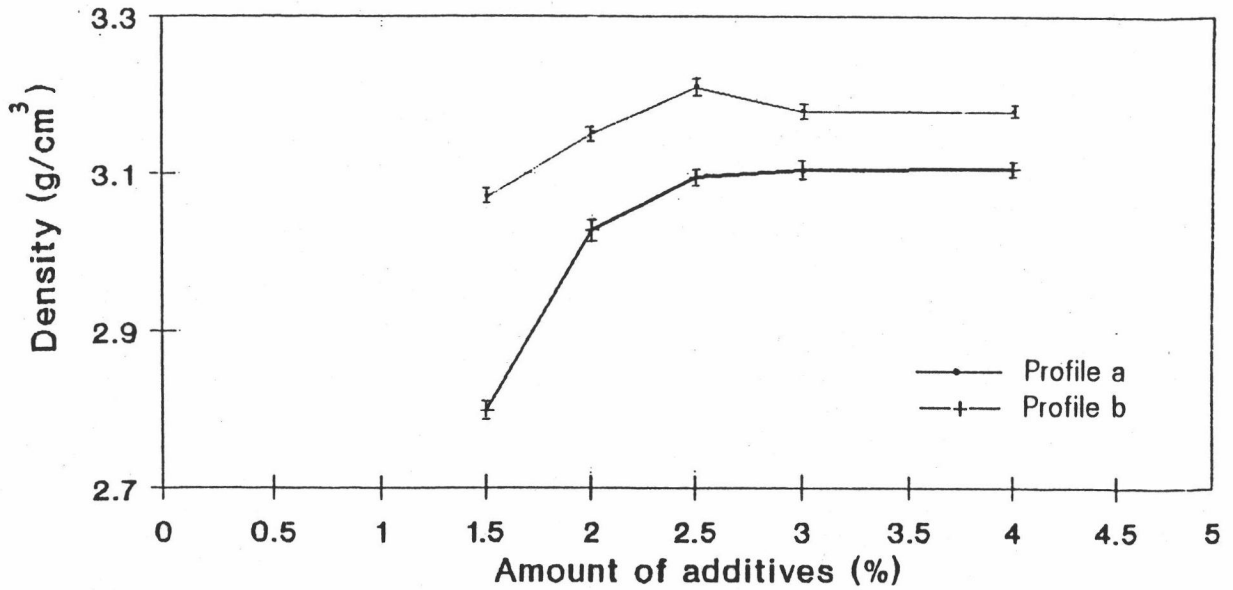
TD⁺ = Theoretical Density

ตารางที่ 11 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile b.

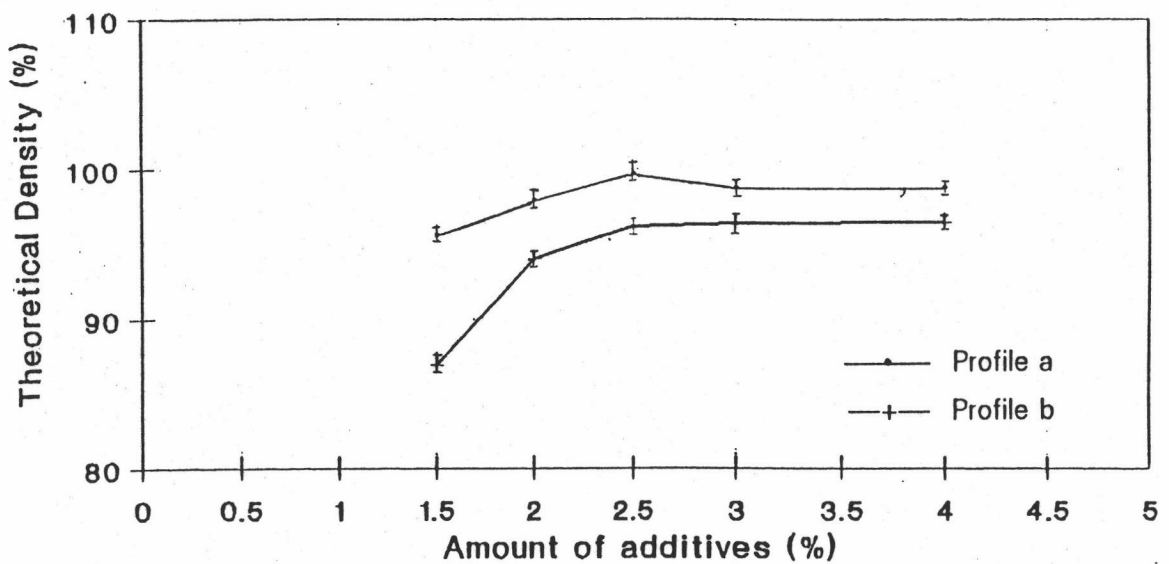
ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม.3)	ความหนาแน่น ร้อยละของความ หนาแน่นตาม ทฤษฎี (%TD ⁺)	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kgf/mm ²)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SBC 1	1.5	2.7988	86.92	43.28	1694.30
SBC 2	2.0	3.0281	94.04	53.31	2769.66
SBC 3	2.5	3.0964	96.16	55.80	2785.31
SBC 4	3.0	3.1048	96.42	50.68	2875.26
SBC 5	4.0	3.1060	96.46	50.93	2956.12

TD⁺ = Theoretical Density

ความหนาแน่น จากผลการทดลอง ในตารางที่ 11 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนกับความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 22 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเติมและความหนาแน่นตามทฤษฎี ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile b

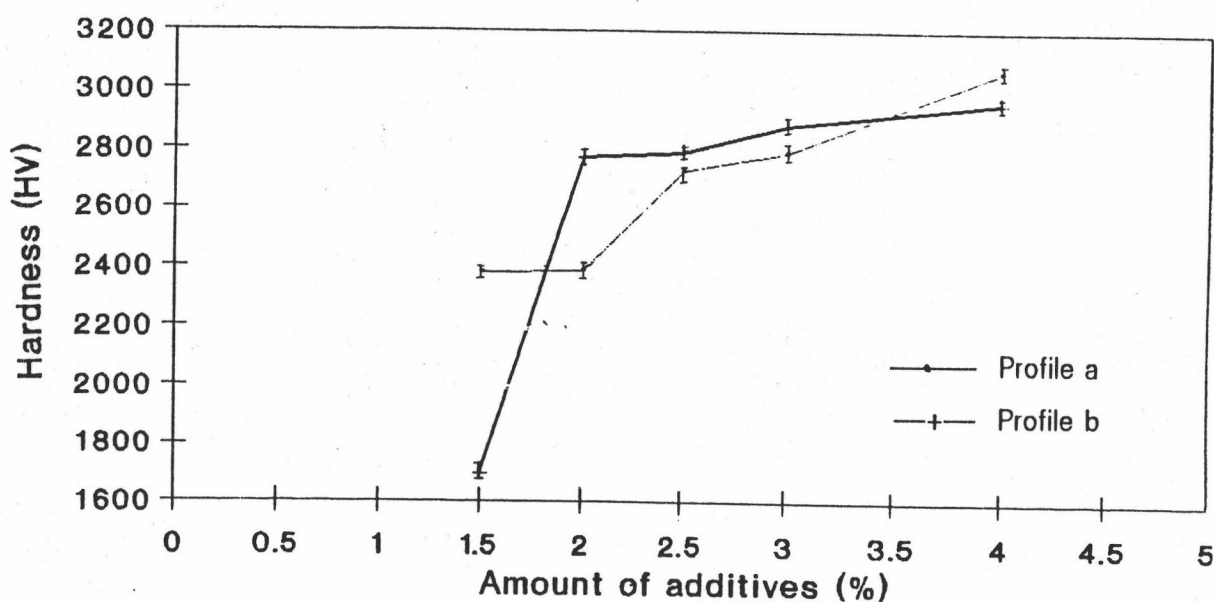


รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile b

จากกราฟ จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการ Hot Press โดยใช้ Profile a ซึ่งใช้อุณหภูมิสูง ตัวอย่าง SBC-1 ให้ค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 3.0695 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 95.33 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และตัวอย่าง SBC-3 ซึ่งมีปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 3.2092 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 99.66 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี ส่วนสูตรอื่น ๆ นั้นค่าความหนาแน่นที่ได้แตกต่างกันไปเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเติมจนถึงจุดหนึ่ง คือปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเติมต่อไป จะไม่พบความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของความหนาแน่น ซึ่งแสดงว่าปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 ซึ่งเป็นปริมาณตัวเติมของชิ้นงาน SBC-3 ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณตัวเติมที่มากกว่านี้

ส่วนค่าความหนาแน่นตามตารางที่ 11 ได้จากชิ้นงานซึ่งผ่านการ Hot Press โดยใช้ Profile b ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำ พบว่าตัวอย่าง SBC-5 ที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 3.1060 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 96.46 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่าง SBC-3 และ SBC-4 ที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ คือมีค่าความหนาแน่นร้อยละ 96.42 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และมีค่าความหนาแน่นร้อยละ 96.16 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ได้จาก Profile b ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าที่ได้จาก Profile a แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นเทอรัริงของ Profile b นั้นต่ำไป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 1995°C ใน Profile b ไปเป็น 2150°C ใน Profile a ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้น และยังใช้ปริมาณตัวเติมน้อยลงอีกด้วย คือใช้ตัวเติมเพียงร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก จะได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด ไม่จำเป็นต้องใช้ตัวเติมถึงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก สำหรับตัวอย่าง SBC-1 ที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 2.7988 กรัม/ซม.³ หรือมีค่าความหนาแน่นร้อยละ 86.92 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Profile a แสดงว่าปริมาณตัวเติมเพียงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักนั้นเป็นปริมาณที่ไม่เพียงพอในการขึ้นเทอรัริงซิลิโคนคาร์ไบด์ ให้ได้ความหนาแน่นสูง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของชิ้นงานกับปริมาณตัวเติมตามรูปที่ 22 และ 23 จะเห็นว่าให้ความสัมพันธ์ลักษณะเดียวกันกับการ Hot Press ด้วย Profile a คือ ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเติม แต่จากค่าความหนาแน่นที่ได้จาก profile a แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิสูงสุดของ Profile b นั้นยังต่ำไปสำหรับขึ้นเทอรัริงเบต้าซิลิโคนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน

ความแข็ง ผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 10 และ 11 เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 24 จะเห็นว่าค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่าง SBC-5 ซึ่งมีปริมาณตัวเติมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าสูงที่สุด และชิ้นตัวอย่าง SBC-1 ซึ่งมีปริมาณตัวเติมเพียงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งน้อยที่สุด และให้ผลเหมือนกันทั้ง 2 Profile แสดงให้เห็นว่าปริมาณตัวเติมเพียงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ไม่เพียงพอต่อการขึ้นเทอร์ริงสารซิลิกอนคาร์ไบด์ให้มีความแข็งเพียงพอและผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ความแข็งและปริมาณตัวเติม จากการ Hot Press ด้วย Profile ทั้งสอง พบว่าค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความหนาแน่น ค่าความแข็งของชิ้นงาน Profile a อยู่ในช่วง 2380 - 3000 HV และค่าความแข็งของชิ้นงาน Profile b อยู่ในช่วง 2750 - 3000 HV ยกเว้นตัวอย่าง SBC-1 ซึ่งมีค่าเพียง 1694.30 HV เนื่องจากมีปริมาณตัวเติมน้อยเกินไปและอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงต่ำ



รูปที่ 24 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile b

ค่าความเค้นแรงตัดโค้ง ผลการวัดความเค้นแรงตัดโค้งของชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 11 เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงตัดโค้งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile b ดังในรูปที่ 25 พบว่าค่าความเค้นแรงตัดโค้งของสารตัวอย่างที่ผ่านการ Hot Press ด้วย Profile a และ b อยู่ในช่วง $43-56 \text{ kgf/mm}^2$ (422 - 549 MPa)

จากค่าที่ได้จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่าง SBC-3 ที่ Hot Press ด้วย Profile b มีค่าความเค้นแรงตัดโค้งสูงสุดและมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นสูงสุดของตัวอย่างที่ Hot Press ด้วย Profile a นอกจากนี้ยังให้ค่าความเค้นแรงตัดโค้งเท่ากับ SBC-1 ที่ Hot Press ด้วย Profile a ซึ่งมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันและเป็นชิ้นงาน ซึ่งมีค่าความเค้นแรงตัดโค้งสูงสุดในกลุ่มที่ Hot Press ด้วย Profile a ชิ้นตัวอย่าง SBC-3 ที่ Hot Press ด้วย Profile a มีค่าความหนาแน่นสูงสุดให้ค่าความเค้นแรงตัดโค้งต่ำสุด

จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นแรงตัดโค้งกับความหนาแน่น เป็นไปตามทฤษฎีของ Ryskewitch ดังสมการที่ 7

$$\sigma = \sigma_0 e^{-cp} \dots\dots\dots (7)$$

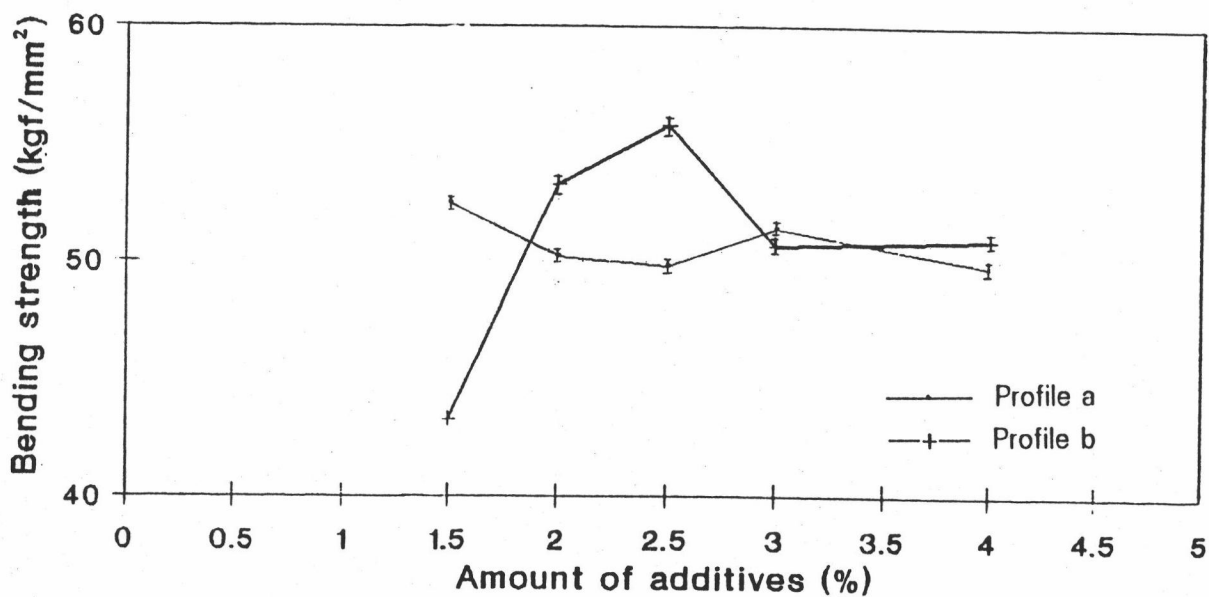
σ = ความเค้นแรงตัดโค้ง

σ_0 = ความเค้นแรงตัดโค้งของชิ้นงานที่ไม่มีรูพรุน

c = ค่าคงที่

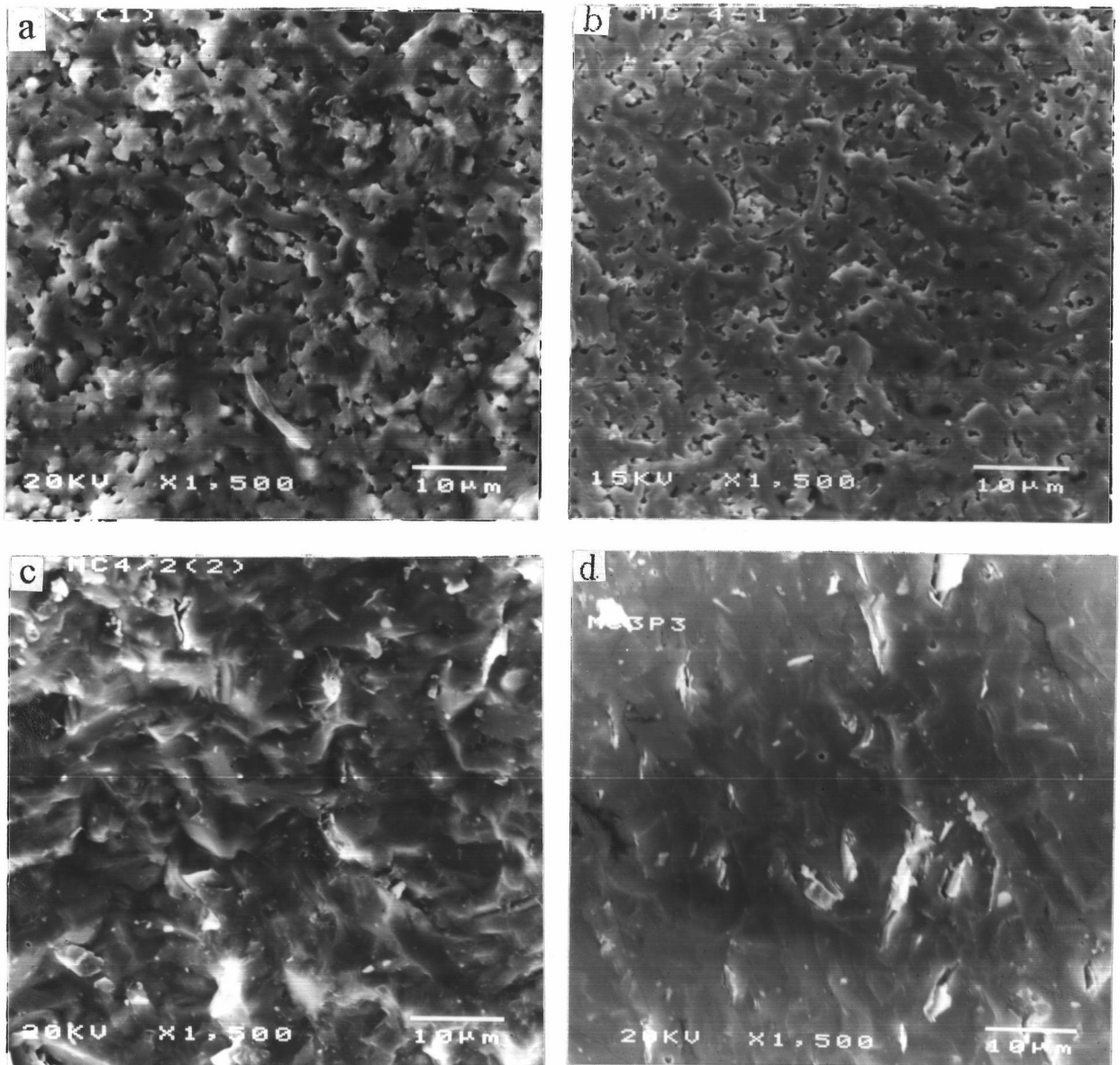
p = ปริมาตรรูพรุน

สำหรับชิ้นงานที่มีปริมาตรรูพรุนที่ต่างกันอย่างชัดเจน จะพบว่ามีค่าความเค้นแรงตัดโค้งสูงเมื่อความหนาแน่นสูง เช่น ชิ้นงาน SBC 1, SBC 2 และ SBC 3 ในตารางที่ 11 แต่เมื่อชิ้นงานมีการเชื่อมตัวจับกันแน่น และปริมาตรรูพรุนใกล้เคียงกัน จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของค่าความเค้นแรงตัดโค้งไม่เป็นไปตามสมการที่ 7 แสดงว่าเมื่อปริมาตรรูพรุนในเนื้อสารไม่แตกต่างกันหรือสารมีการเชื่อมตัวจับกันแล้ว ขนาดอนุภาคและลักษณะโครงสร้างจะมีอิทธิพลต่อค่าความเค้นแรงตัดโค้ง ดังนั้นการควบคุมสภาวะให้ได้ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมและลักษณะโครงสร้างที่เสริมค่าแรงตัดโค้งจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น



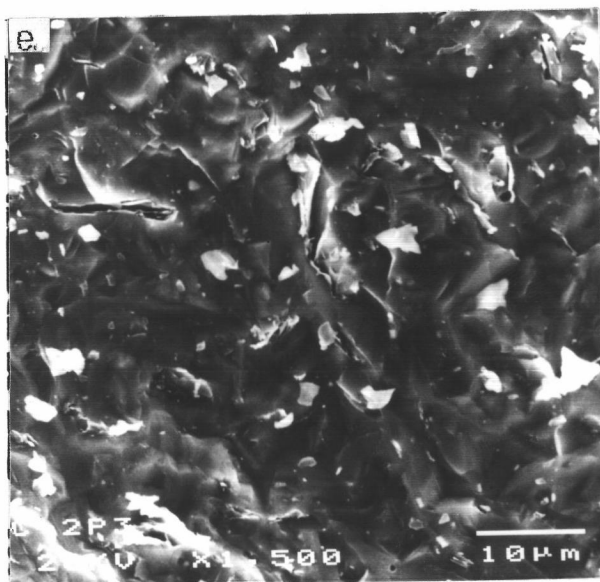
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงตัดโค้งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile b

จุลโครงสร้าง จุลโครงสร้างของชิ้นตัวอย่างแสดงในรูปที่ 26 และ 27 ภาพที่ได้เป็นภาพถ่ายจากผิวที่เป็นลักษณะ Fracture Surface รูปที่ 26 (a) ถึง 26 (e) เป็นภาพจุลโครงสร้างของชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile a ชิ้นงานที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักมีสภาพการขึ้นเทอริงที่ตีความพรุนตัวน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการที่มีค่าความหนาแน่นสูง ลักษณะผลึกเชื่อมติดกันเป็นแผ่นและมีการขยายของเกรนบ้าง ส่วนชิ้นงานที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าความพรุนตัวของชิ้นงานมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นซึ่งเกิดเนื่องจากการขึ้นเทอริงที่ไม่สมบูรณ์ และพบว่าค่าความหนาแน่นลดลงเมื่อชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้น สำหรับชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile b ผลดังแสดงในรูปที่ 27 (a) ถึง 27 (e) พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก มีความพรุนตัวน้อยที่สุดซึ่งจะให้ผลและลักษณะผลึก เช่นเดียวกับที่ Hot Press ด้วย Profile a คือ ความพรุนตัวจะมากขึ้นเมื่อชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นลดลง

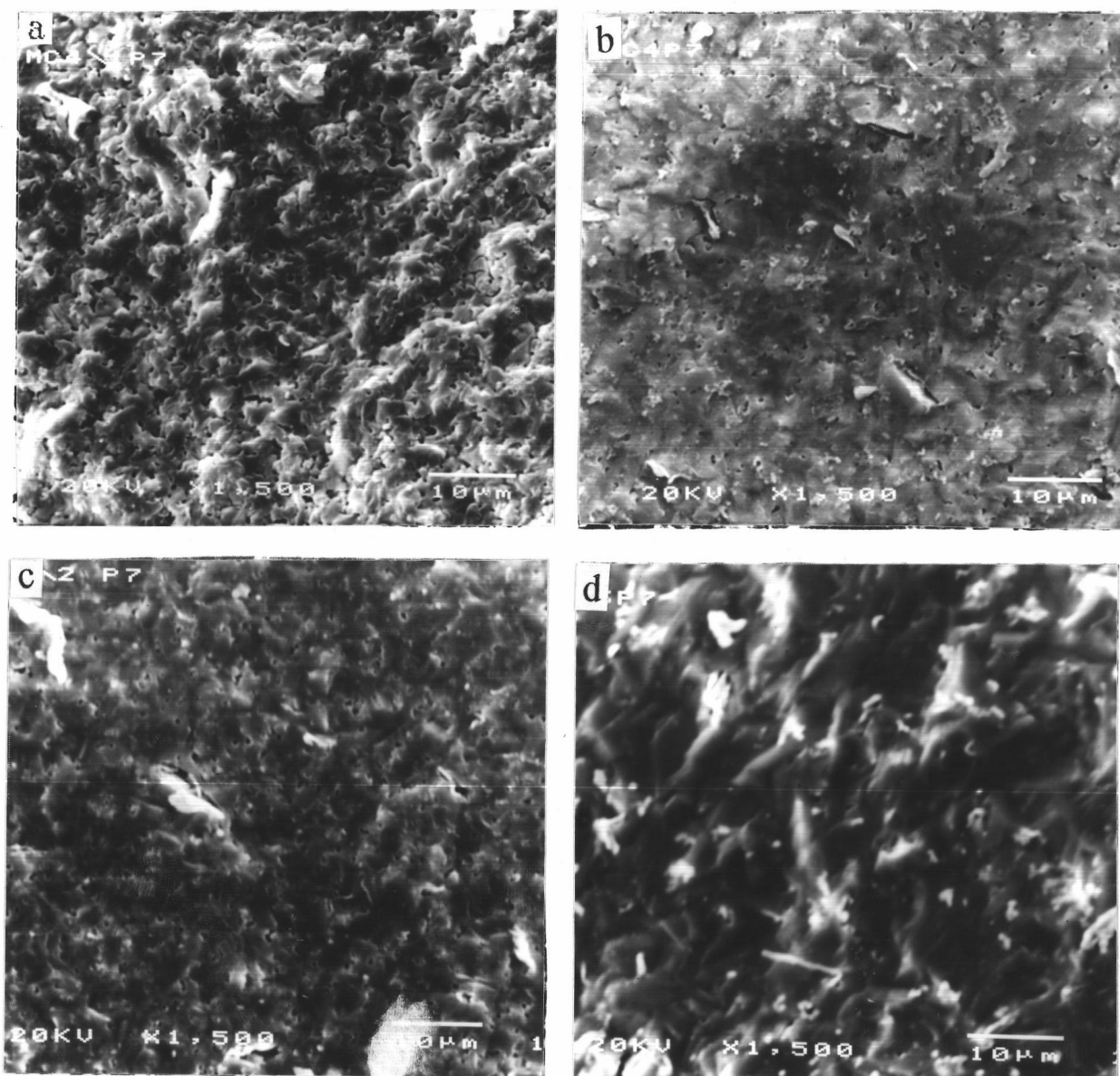


รูปที่ 26 จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนกับคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a

- a) SBC 1 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก
- b) SBC 2 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
- c) SBC 3 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก
- d) SBC 4 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

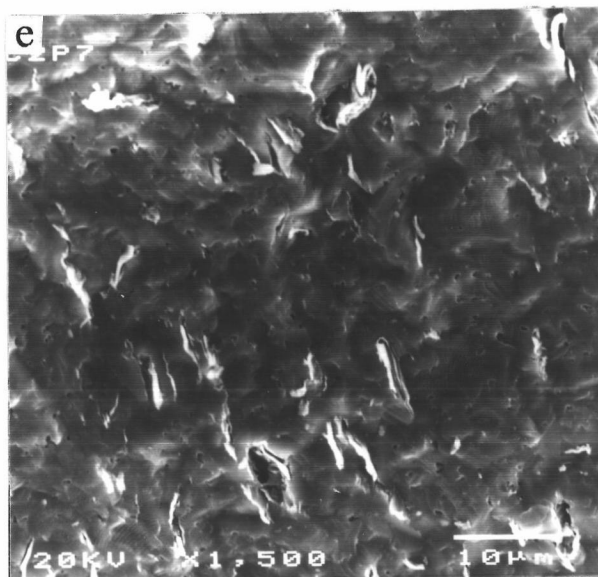


รูปที่ 26 (ต่อ) จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนกับคาร์บอน
Hot Press ด้วย Profile a
e) SBC 5 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 27 จุดโครงสร้างของชิ้นงานอีพ็อกซีคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนกับคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile b

- a) SBC 1 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก
- b) SBC 2 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก
- c) SBC 3 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก
- d) SBC 4 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก



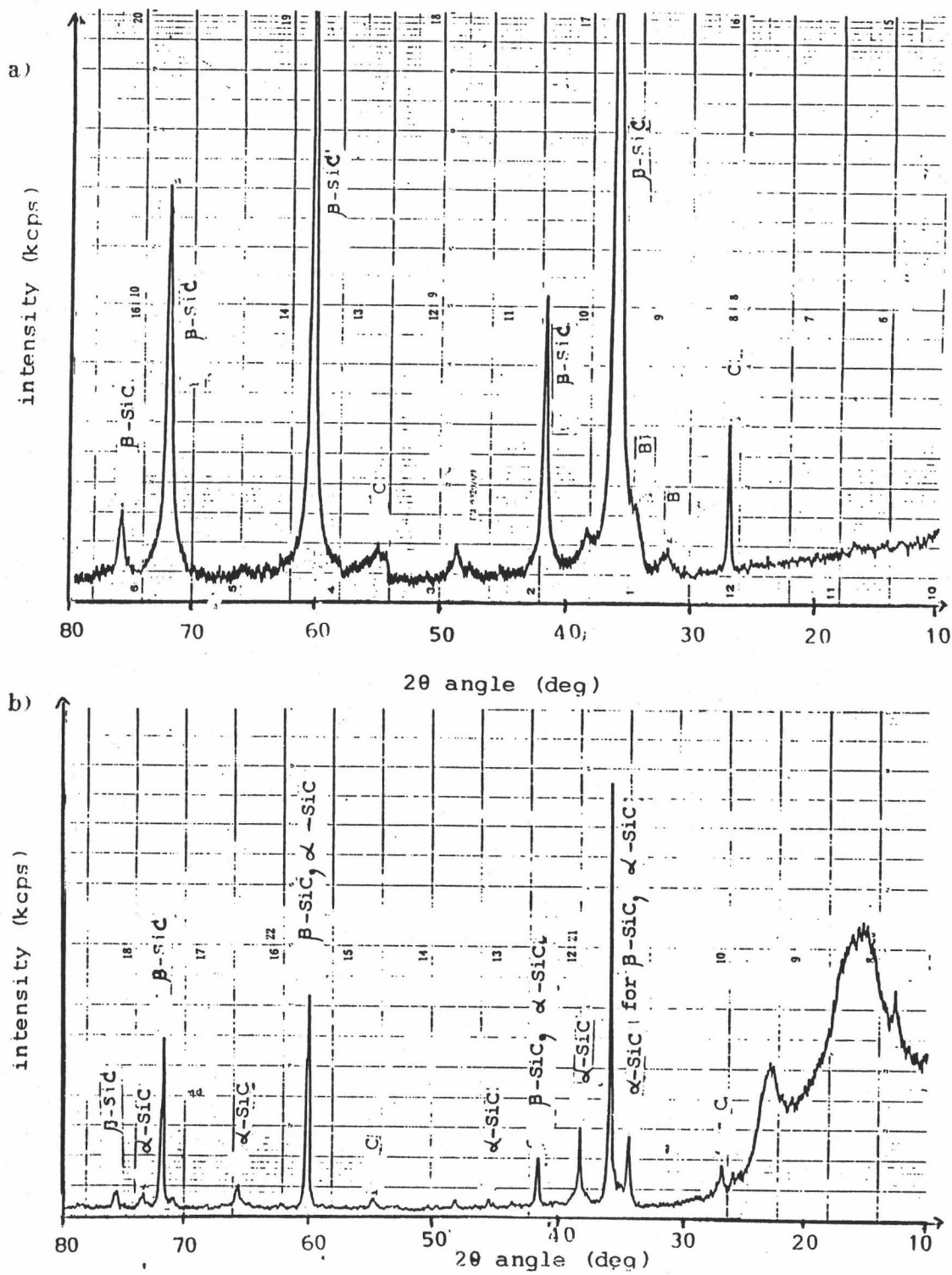
รูปที่ 27 (ต่อ) จุลโครงสร้างของชั้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนกับคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile b.
e) SBC 5 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ผลการศึกษาโครงสร้าง โดยใช้เครื่อง XRD พบว่าชั้นงานเมื่อผ่านการ Hot Press ด้วย Profile ทั้งสอง จะมีการเปลี่ยนระบบผลึกจากเบต้าเป็นแอลฟาบางส่วน เฟสต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 12 และรูปที่ 28 และ 29 คือมีพีคของแอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ 2θ เท่ากับ 34.1° , 35.6° , 38° , 41.3° , 65.5° , 70.8° และ 73.3° ตามลำดับ และพีคของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ 2θ เท่ากับ 35.6° , 41.3° , 60° , 71.7° และ 75.5° ตามลำดับ ส่วนชั้นงานที่มีปริมาณตัวเติมสูง จะมีพีคของโบรอนและคาร์บอนปรากฏอยู่ พีคของโบรอนที่ปรากฏคือ 2θ เท่ากับ 25.6° และ 34.7° ส่วนพีค 2θ ของคาร์บอนคือ 26.6° และ 54.6° ดังนั้นการที่มีตัวเติมเหลือแยกอยู่เป็น second phase อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สมบัติของชั้นงานมีคุณภาพต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในส่วนข้างต้นคือชั้นงานมีความหนาแน่นลดลง

ตารางที่ 12 เฟสต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน
หลัง Hot Press

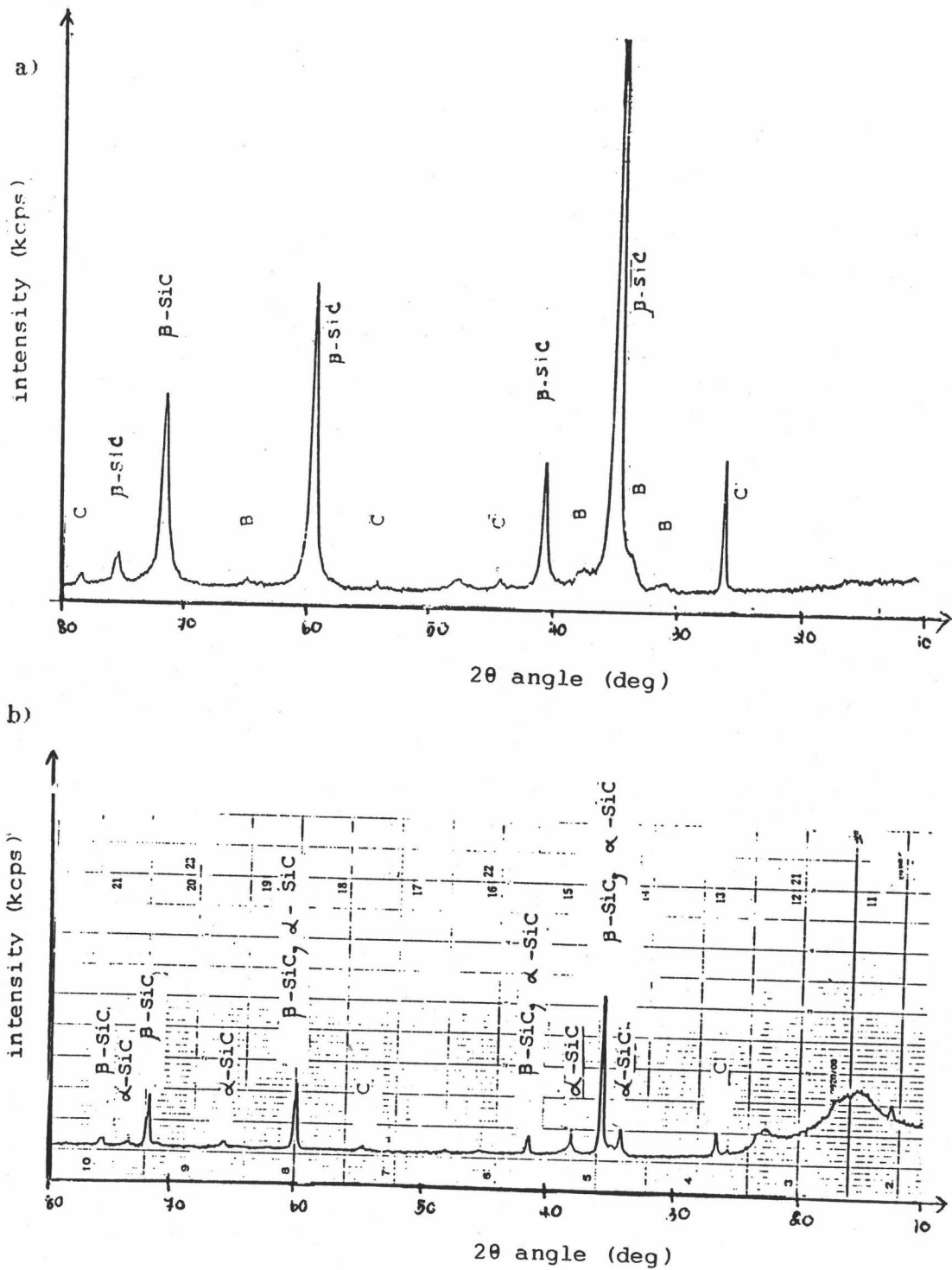
ตัวอย่างชิ้นงาน	เฟส	
	เมเจอร์เฟส (Major phase)	ไมเนอร์เฟส (Minor phase)
SBC 3 Profile a	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	
SBC 5 Profile a	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	คาร์บอน
SBC 5 Profile b	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	คาร์บอน โบรอน





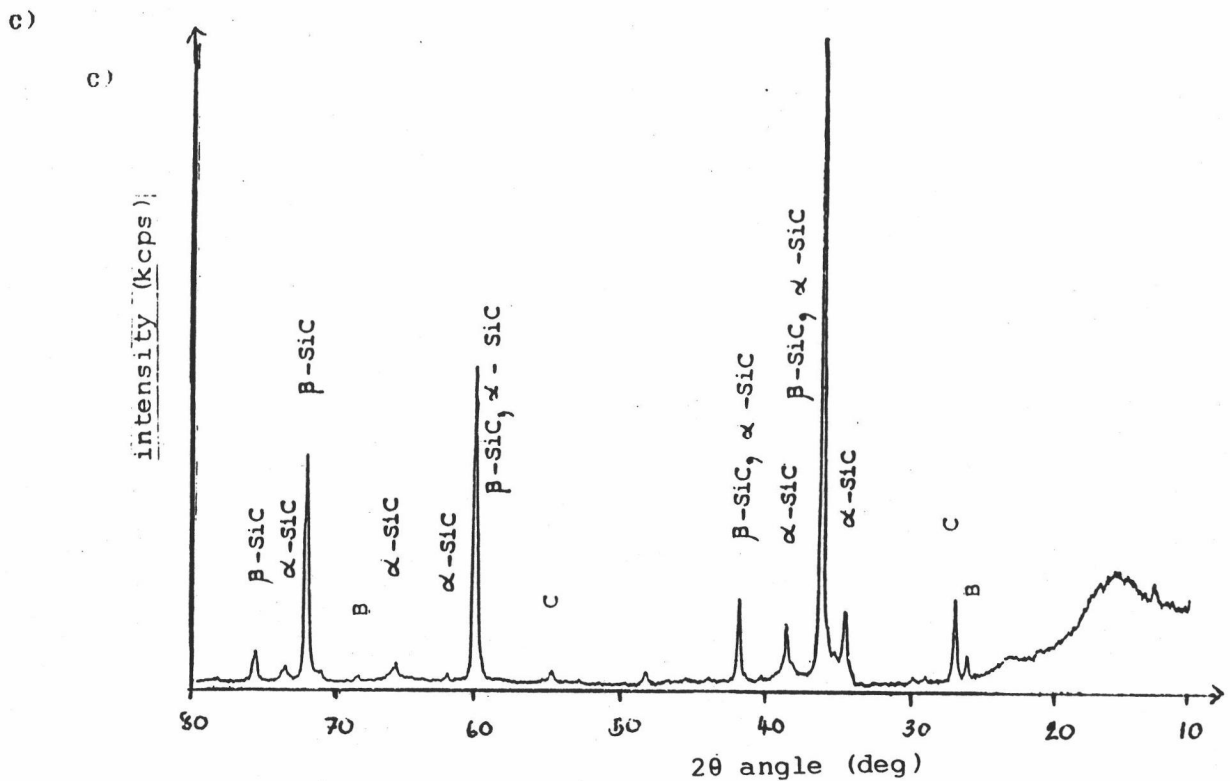
รูปที่ 28 X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5

- a) พงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน ร้อยละ 2.5 Hot Press
- b) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile a



รูปที่ 29 X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม
โบรอนและคาร์บอนร้อยละ 4

- a) ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 4 ก่อน Hot Press
b) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile a



รูปที่ 29 (ต่อ) X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม
โบรอนและคาร์บอนร้อยละ 4
c) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile b

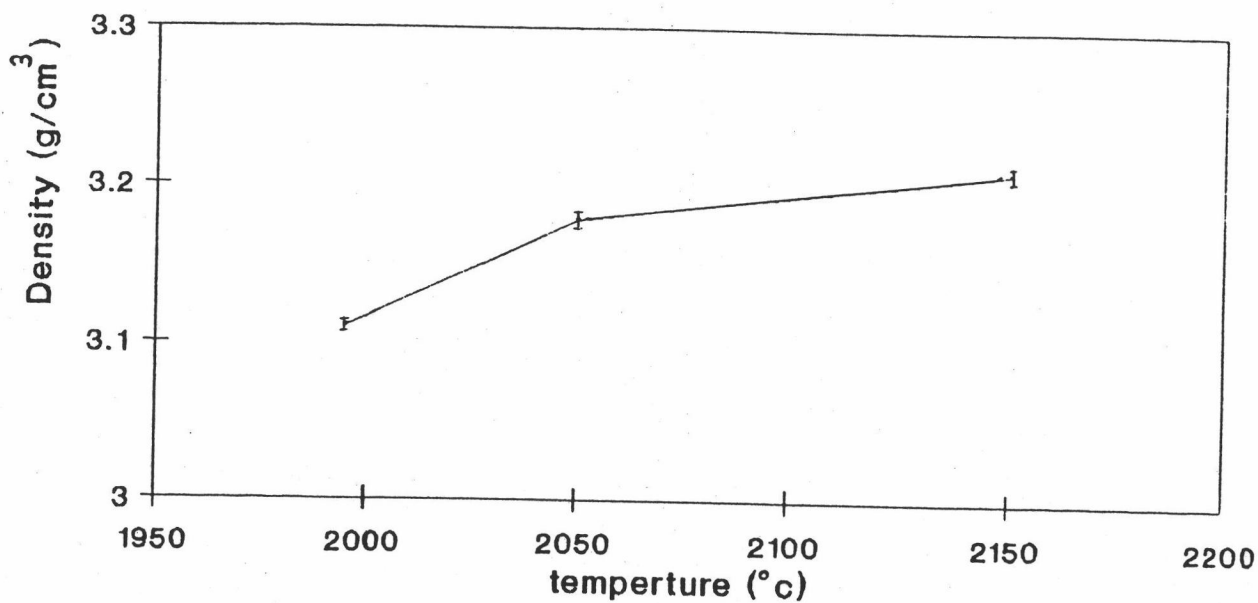
จากการศึกษาสมบัติของชิ้นงานผ่านการ Hot Press ด้วย Profile a และ b พบว่า Profile a มีความเหมาะสมที่จะใช้ขึ้นเทอร์ริงสารซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยใช้ตัวเติมโบรอนและคาร์บอนมากกว่า Profile b และปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนที่เหมาะสม ในการขึ้นเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์ในงานวิจัยนี้คือปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกปริมาณตัวเติมนี้ และ Profile a เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยแปรค่าอุณหภูมิสูงสุดของ Profile a เป็น 3 ช่วง คือ 1995°C , $2,050^{\circ}\text{C}$ และ $2,150^{\circ}\text{C}$ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม
โบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อแปรค่าอุณหภูมิ

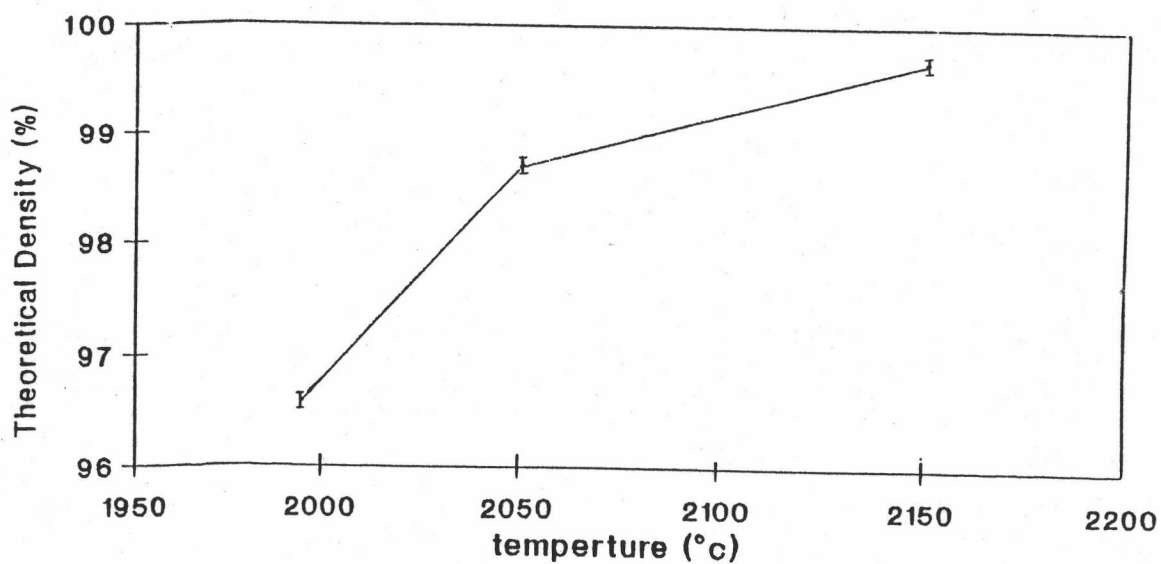
ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	อุณหภูมิสูงสุด ในการ ขึ้นเทอร์ริง (°C)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่น ร้อยละตาม ทฤษฎีของ ความหนาแน่น (%TD) ⁺	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kg/mm ²)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SBC 3	2.5	1995	3.1101	96.58	47.23	2558.49
		2050	3.1780	98.69	43.44	2577.34
		2150	3.2092	99.66	49.80	2726.95

⁺TD = Theoretical Density

ความหนาแน่นแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 30 และ 31 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่อุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริง 2150°C ให้ความหนาแน่นสูงสุดเช่นเดิม คือ 3.2092 กรัม/ซม.² หรือมีค่าความหนาแน่นร้อยละ 99.66 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และที่อุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 1995°C ให้ความหนาแน่นต่ำสุด คือ 3.1101 กรัม/ซม.² หรือมีค่าความหนาแน่นร้อยละ 96.58 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี แต่ระหว่างอุณหภูมิ 2,150°C และ 2,050°C การเพิ่มของความหนาแน่นต่อการเพิ่มอุณหภูมิเป็นไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นในช่วงอุณหภูมิ 2,050°C นี้สามารถใช้ในการขึ้นเทอร์ริงได้

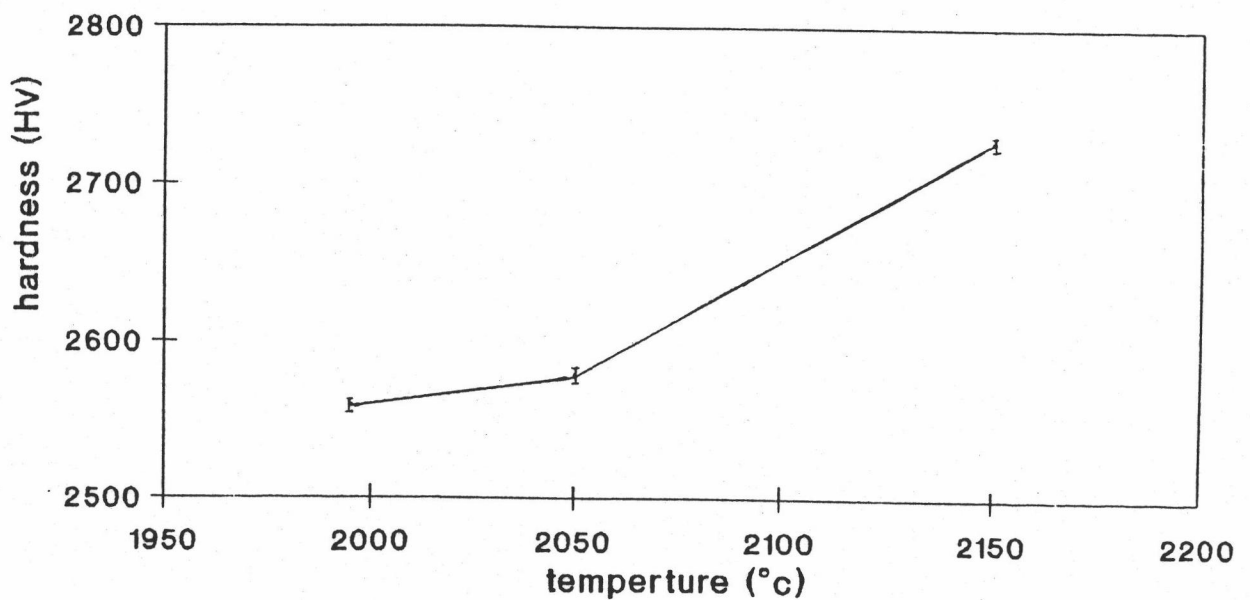


รูปที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอุณหภูมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์



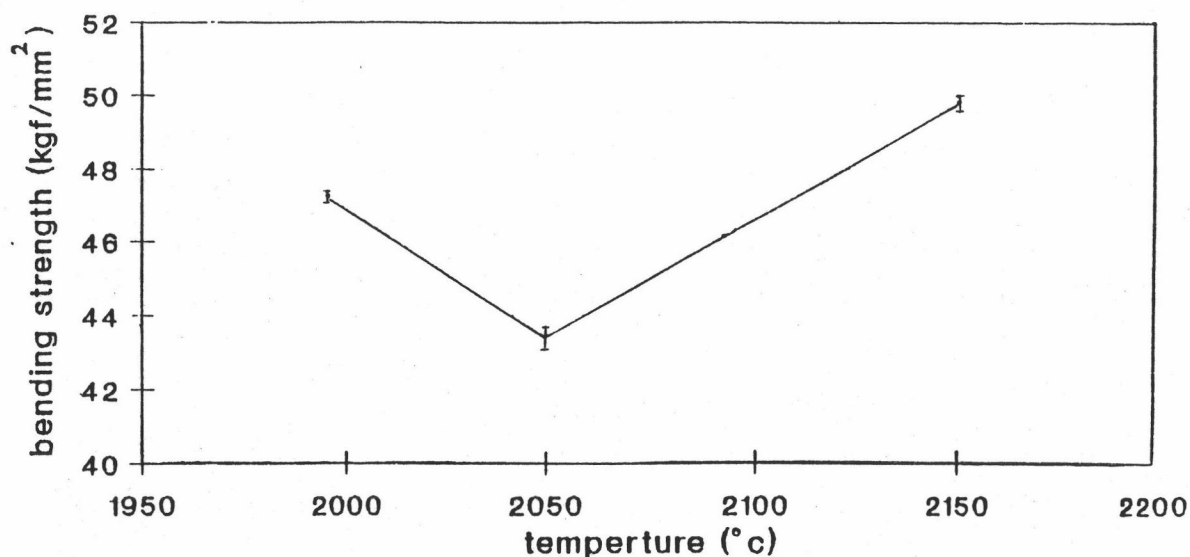
รูปที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับอุณหภูมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์

ความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างที่วัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 13 นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 32 จะเห็นว่าค่าความแข็งอยู่ในช่วง 2,250-2,730 HV และให้ผลเช่นเดียวกับความหนาแน่น คือชิ้นงานที่ขึ้นเทอร์ริงที่อุณหภูมิ 2,150° C จะให้ค่าความแข็งสูงสุด และค่าความแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงลดลง



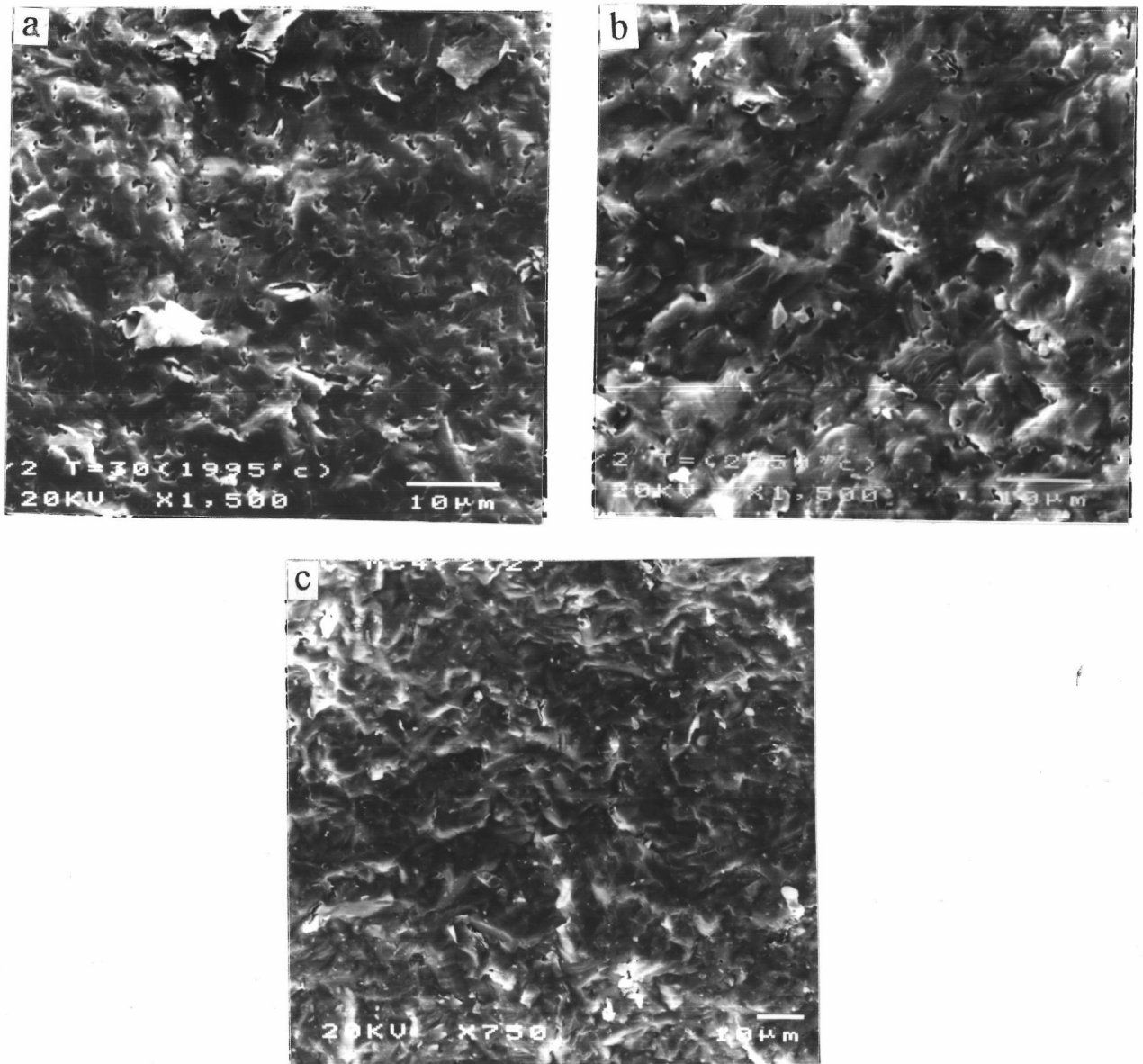
รูปที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับอุณหภูมิขึ้นเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์

ความเค้นแรงคดโค้ง ผลดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นแรงคดโค้งกับอุณหภูมิสูงสุดรูปที่ 33 จะเห็นว่าค่าความเค้นแรงคดโค้งอยู่ในช่วง 43-50 kgf/mm² หรือ 422-490 MPa ชิ้นงานที่ขึ้นเทอร์ริงที่อุณหภูมิ 2,150° C จะให้ค่าความเค้นแรงคดโค้งสูงสุด ส่วนที่อุณหภูมิอื่นค่าลดลงแต่ไม่มากนัก ดังนั้นจะเห็นว่าจากสมบัติทั้งสาม ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญในการใช้งานของชิ้นส่วนวิศวกรรม พบว่าอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง 2,150° C เป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด



รูปที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงคดโค้งกับอุณหภูมิขึ้นเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์

จุลโครงสร้าง ผลดังแสดงในรูปที่ 34 (a) ถึง 34 (c) พบว่าให้ผลสอดคล้องกับสมบัติอื่น ๆ เช่นเดียวกันคือ ชิ้นงานที่อุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 2,150° C มีความพรุนตัวน้อยที่สุด ดังการศึกษาจุลโครงสร้างและสอดคล้องกับผลความหนาแน่นที่ได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ส่วนชิ้นงานที่ขึ้นเทอร์ริงที่อุณหภูมิ 1,995° C มีความพรุนตัวมาก ตามรูปที่ 34(a) เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย



- รูปที่ 34 จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก Hot Press ด้วย Profile a แปรค่าอุณหภูมิสูงสุด
- a) อุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 1,995° C
 - b) อุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 2,050° C
 - c) อุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 2,150° C

การแปรค่าเวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดในการ Hot Press ได้ถูกนำมาศึกษาด้วย เนื่องจากการลดเวลาจะเป็นการประหยัดพลังงาน และเพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อคุณภาพของชิ้นงาน ให้ละเอียดขึ้น ศึกษาโดยแปรค่าเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 4 ช่วง คือ 10, 15, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 14 และรูปที่ 35, 36, 37, 38 และ 40

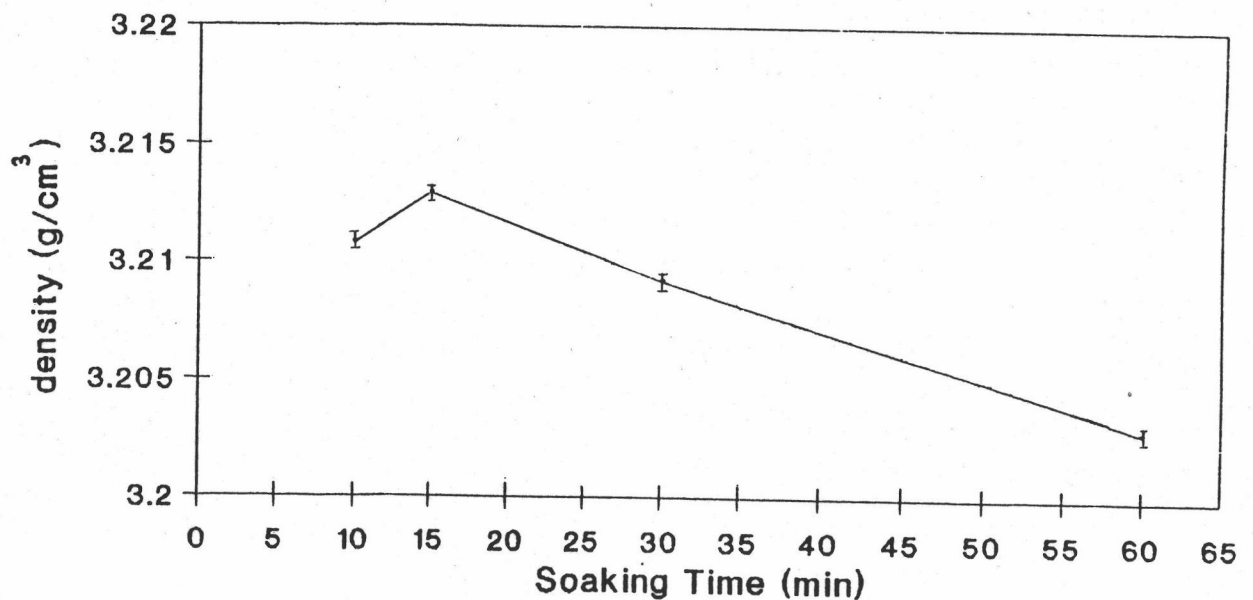
ตารางที่ 14 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อแปรค่าเวลาที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด ใช้ Profile a

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด (นาที)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่นร้อยละตามทฤษฎีของความหนาแน่น (%TD) ⁺	ความเค้นแรงตัดโค้ง (kgf/mm ²)	ความแข็งแบบ Vicker (HV)
SBC 3	2.5	10	3.2108	99.71	46.34	3397.42
		15	3.2129	99.77	45.66	3479.66
		30	3.2092	99.66	49.80	2726.95
		60	3.2029	99.46	52.85	2977.26

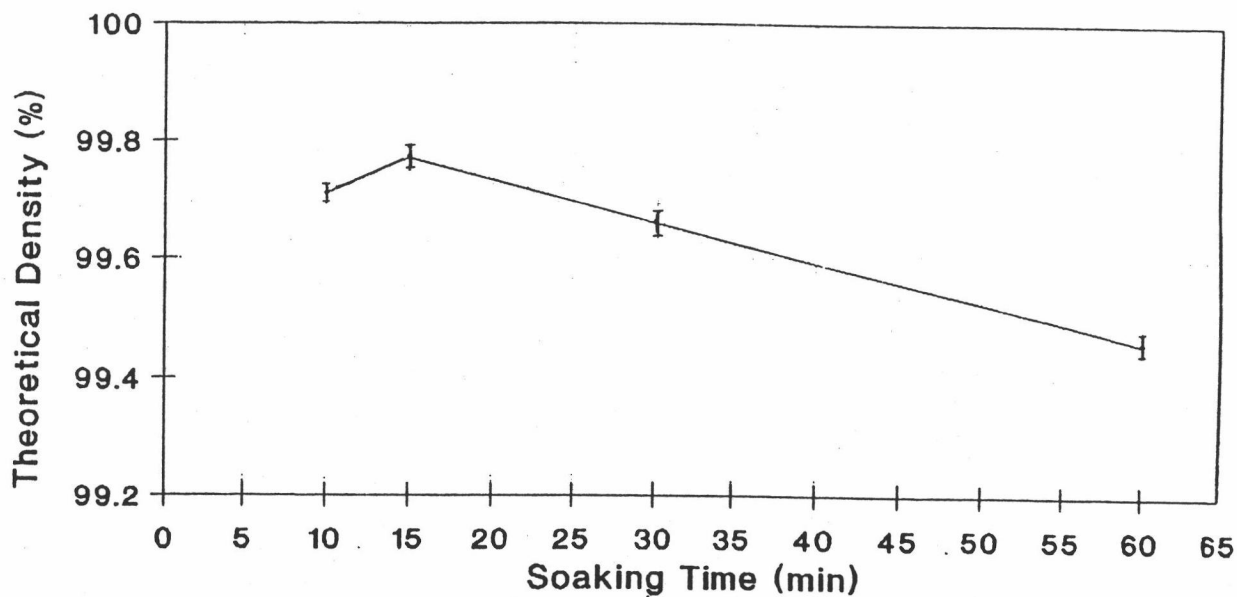
⁺TD = Theoretical Density

จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่มีช่วงเวลาในการรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาทีนั้น ให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งสูงสุด แต่ได้ค่าความเค้นแรงดัดโค้งต่ำกว่าการใช้ช่วงเวลาอื่น ส่วนในช่วงการใช้เวลา 60 นาที ให้ค่าความเค้นแรงดัดโค้งสูงสุด ส่วนจุลโครงสร้างพบว่าความพรุนตัวไม่ต่างกันมากนัก มีสภาพการขึ้นเทอร์ริงที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น

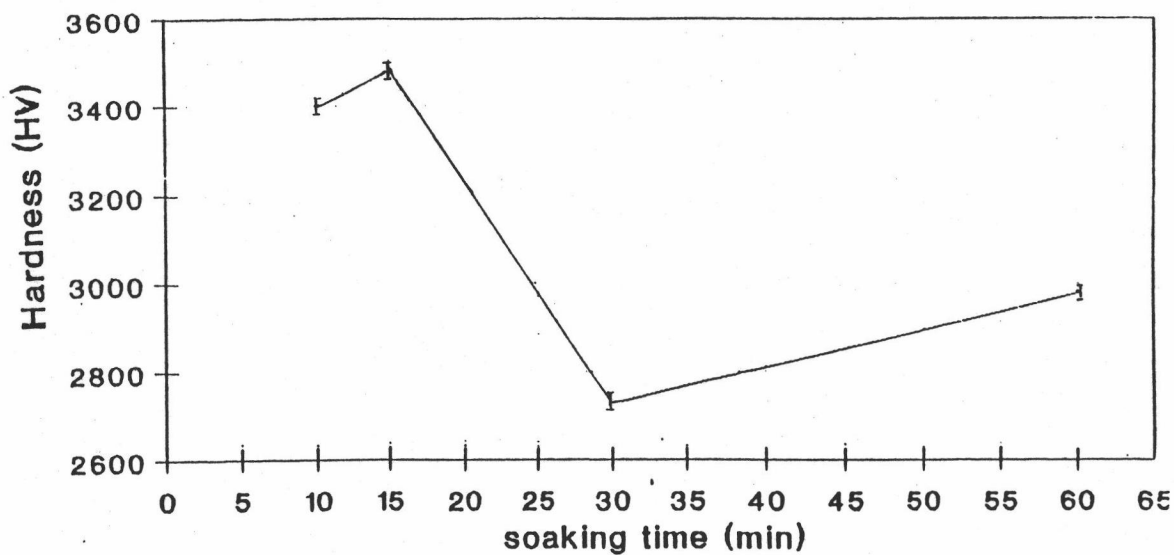
ดังนั้นจะเห็นว่าสามารถใช้ช่วงอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงสูงสุด คือช่วง $2,050^{\circ}\text{C}$ ถึง $2,150^{\circ}\text{C}$ ส่วนเวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดนั้น ควรจะเลือกตามสมบัติที่ต้องการในการใช้งาน เช่นถ้าต้องการใช้งานที่มีความทนทานสูง มีความแข็งสูง ใช้เวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดเพียง 15 นาที ถ้าใช้งานที่มีการรับน้ำหนัก ควรใช้เวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุด 60 นาที เพื่อให้ค่าความเค้นแรงดัดโค้งสูงสุด



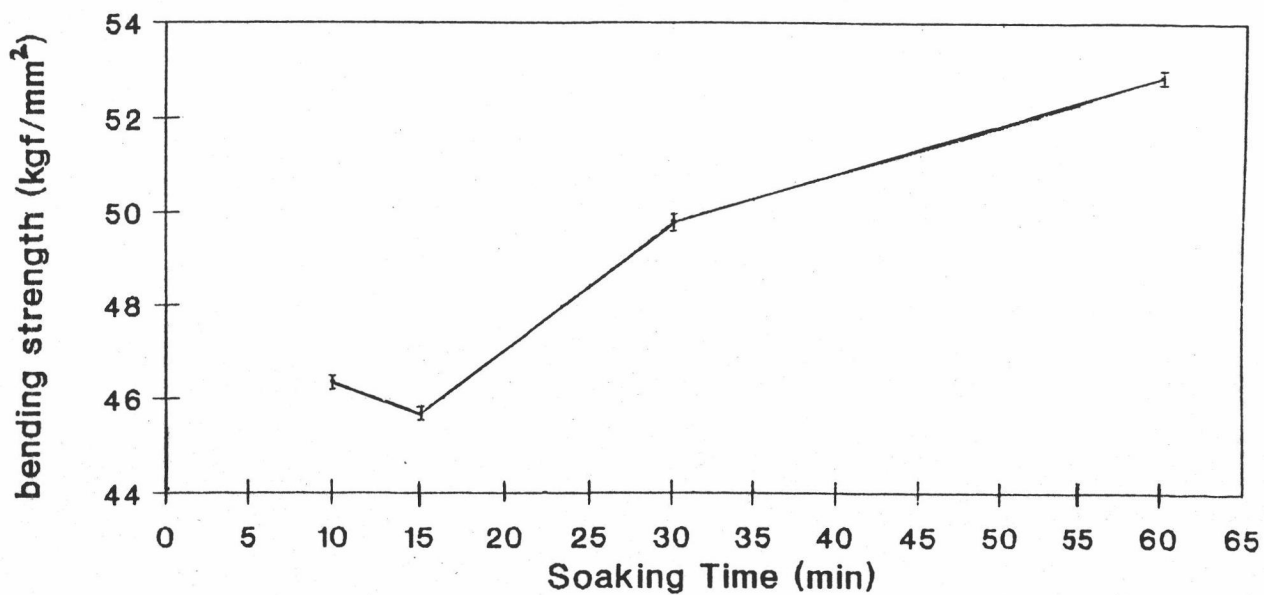
รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง



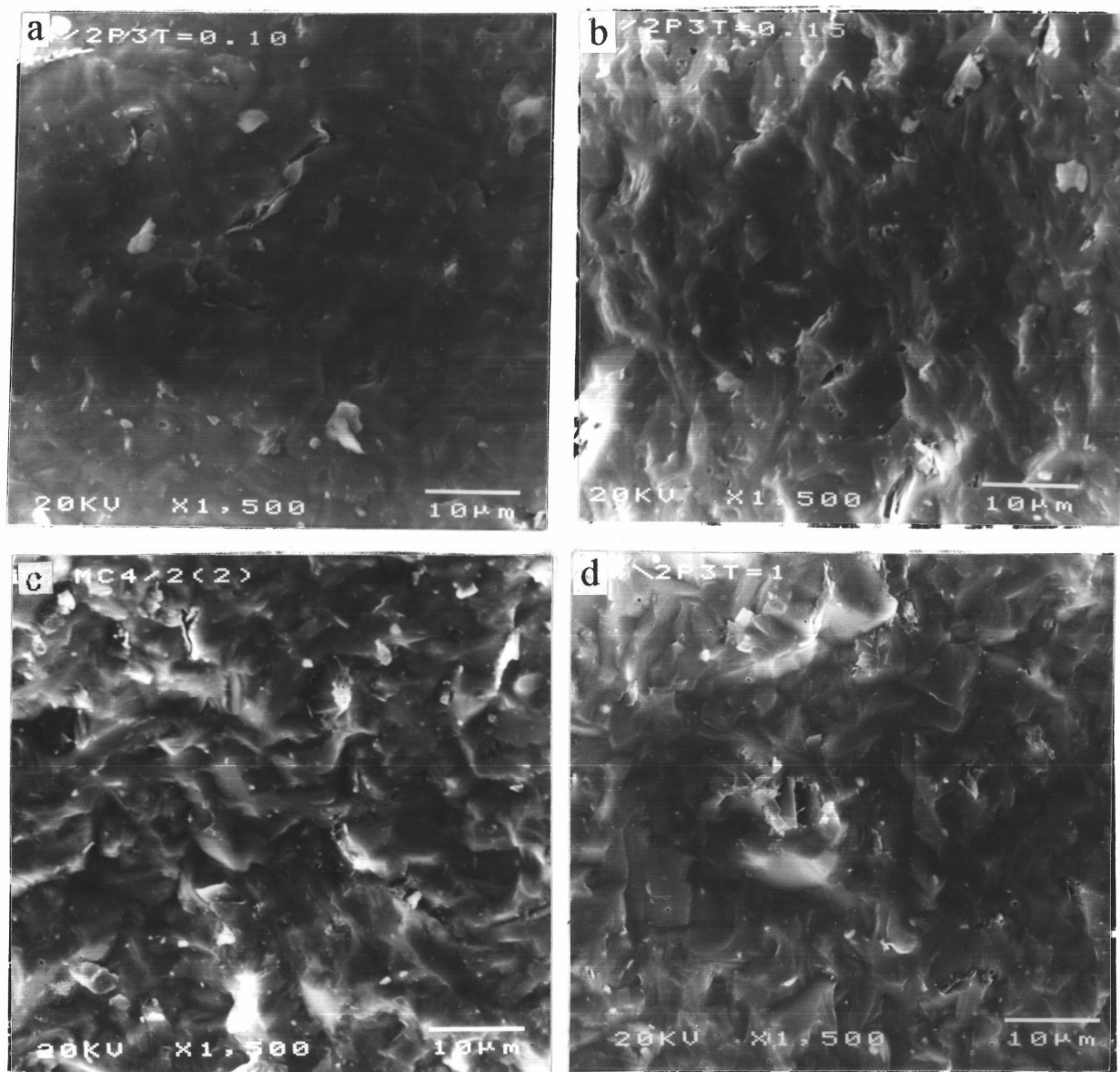
รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎี กับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง



รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง



รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด
ในการขึ้นเทอร์ริง



รูปที่ 39 จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แปรค่าเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการ Hot Press

- a) เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 10 นาที
- b) เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที
- c) เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 30 นาที
- d) เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 60 นาที

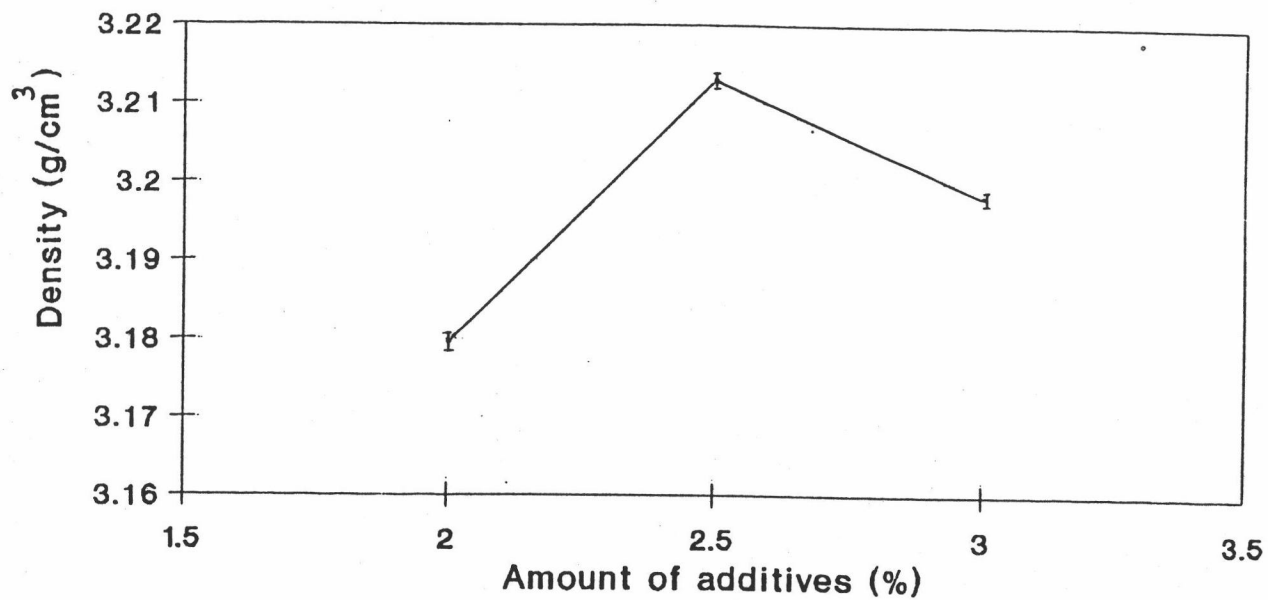
จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่า Profile a เป็น Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทอร์ริงสารซิลิกอนคาร์ไบด์ คือมีอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริงเป็น 2150°C และเลือกช่วงเวลาการรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที ศึกษาโดยแปรค่าปริมาณตัวเติมร้อยละ 2, 2.5 และ 3 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Profile a เมื่อเริ่มต้น ผลดังแสดงในตารางที่ 15 และรูปที่ 40, 41, 42, 43 และ 44

ตารางที่ 15 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน เมื่อแปรค่าปริมาณตัวเติม Hot Press ด้วย Profile a ใช้เวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที

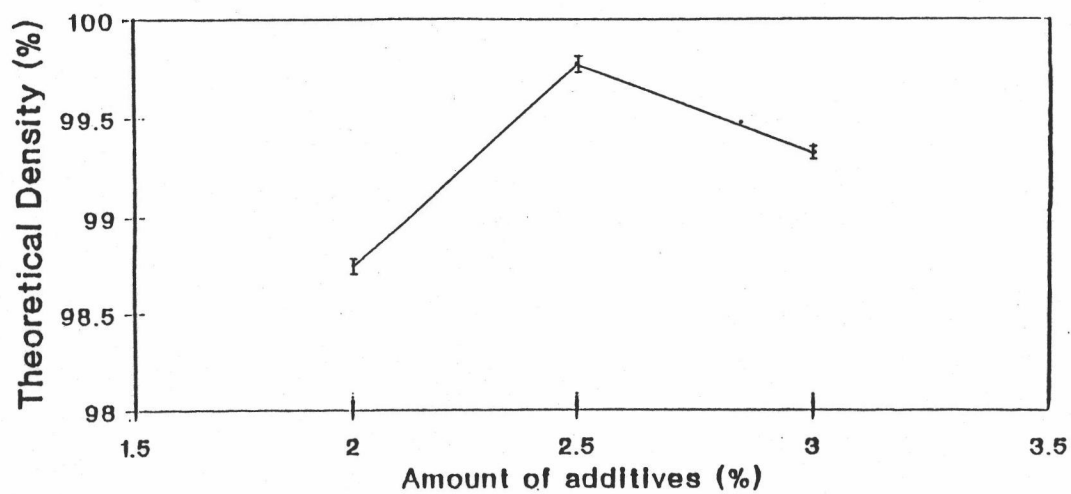
ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่น ร้อยละของความหนาแน่นตาม ทฤษฎี (TD) ⁺	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kgf/mm^2)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SBC - 2	2	3.1795	98.74	53.53	2792.06
SBC - 3	2.5	3.2129	99.77	45.66	3479.66
SBC - 4	3	3.1982	99.32	47.19	2846.49

⁺TD = Theoretical Density

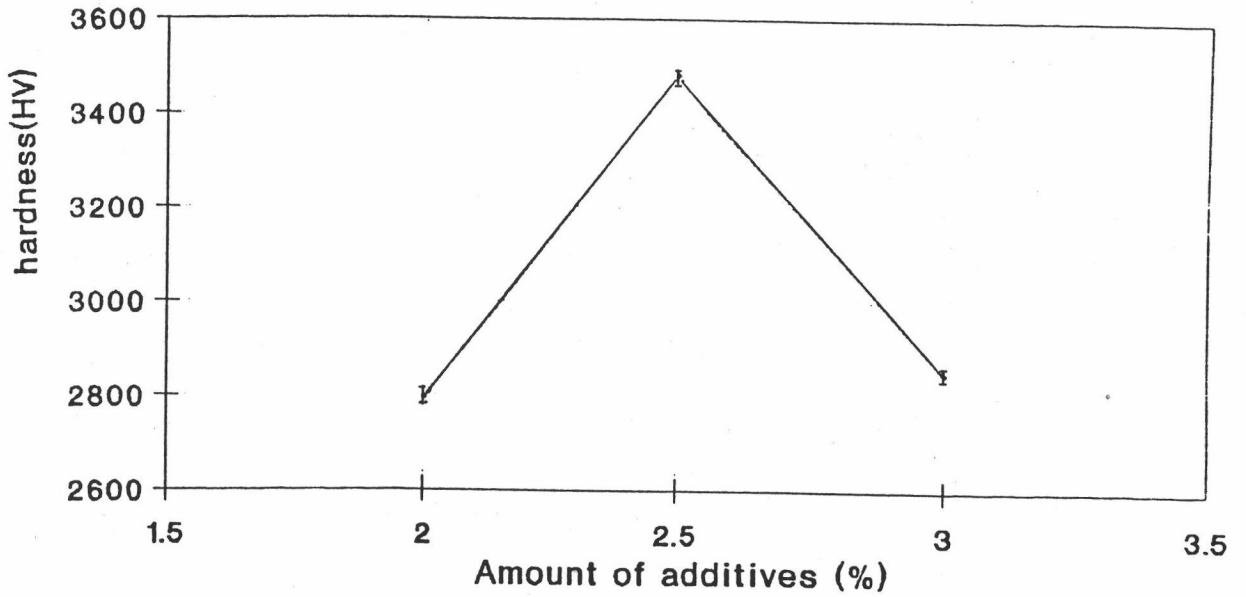
พบว่าค่าความหนาแน่นและความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่ Hot Press ด้วยเวลาช่วงรักษาอุณหภูมิเป็น 30 นาที ผลในตารางที่ 10 ซึ่งใช้ปริมาณตัวเติมและอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริงเท่ากัน และได้ค่าความเค้นแรงตัดโค้งที่ต่ำกว่า ส่วนจุลโครงสร้างของชิ้นงานมีความพรุนตัวน้อยกว่าเนื่องจากความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสนับสนุนการทดลองในช่วงแปรค่าเวลาที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดด้วย คือใช้ช่วงเวลารักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที เมื่อต้องการให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นและความแข็งสูงและเลือกใช้ช่วงเวลาที่มากขึ้นเพื่อต้องการให้ความเค้นแรงตัดโค้งสูงขึ้น



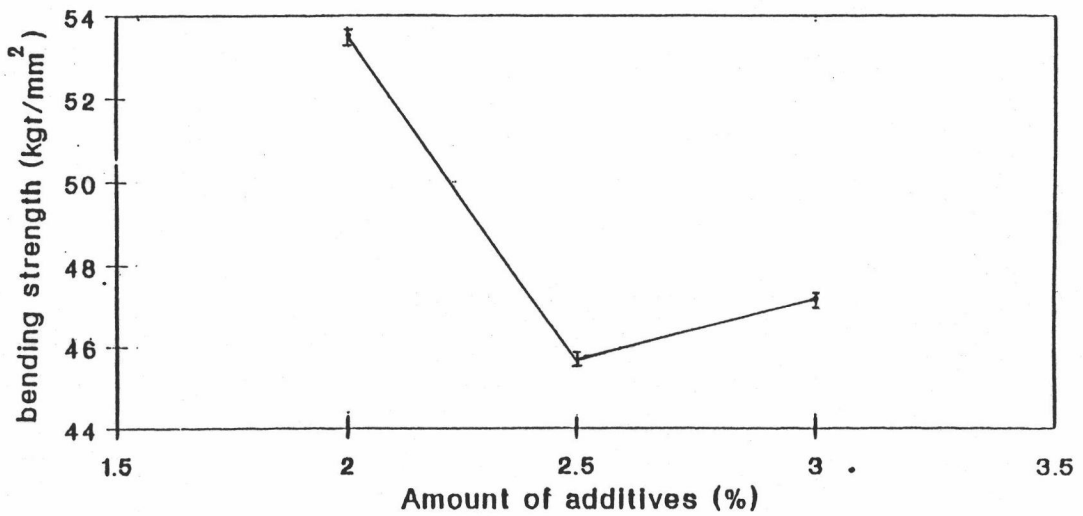
รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ช่วงเวลาที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด เป็น 15 นาที



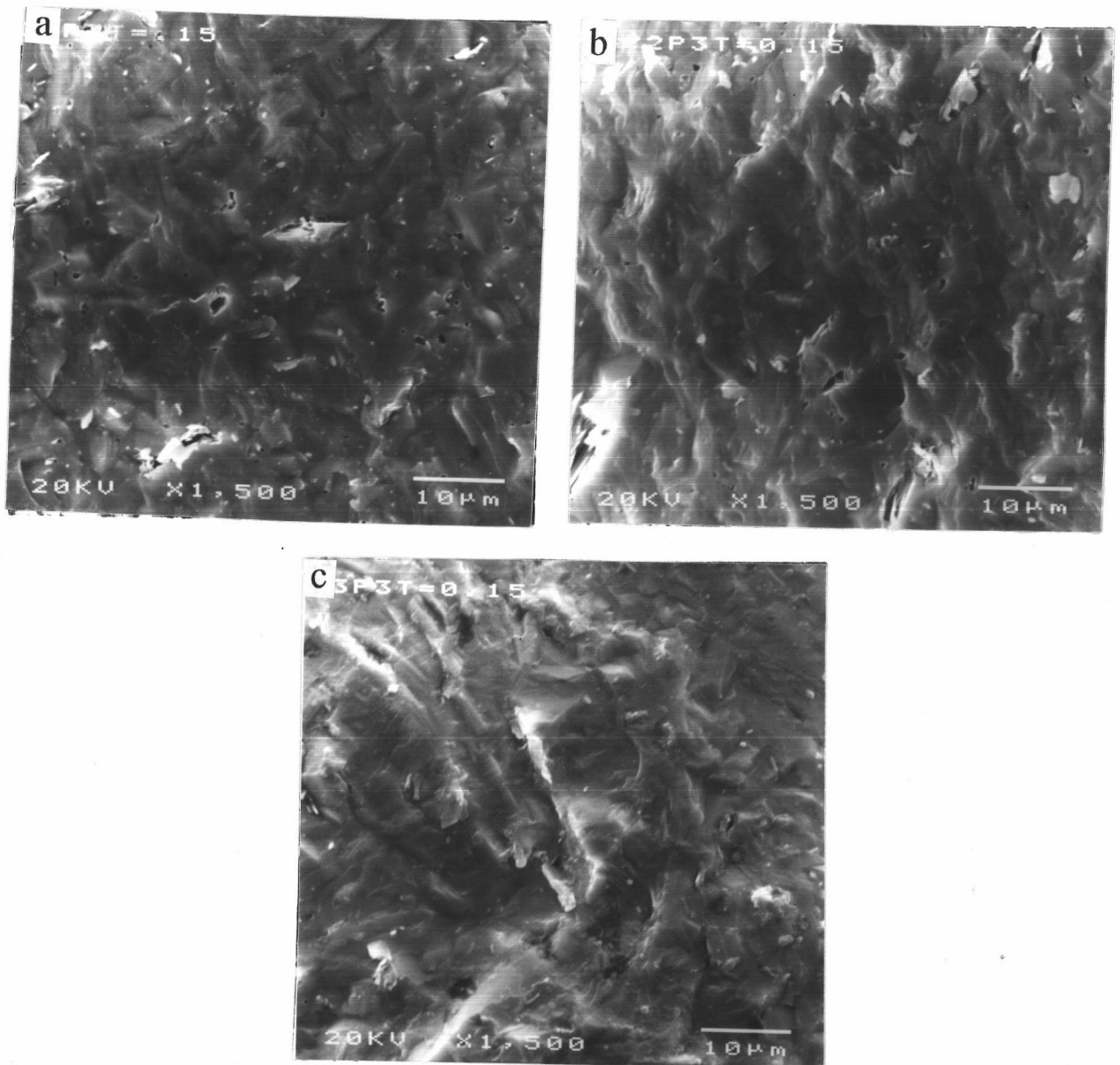
รูปที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที



รูปที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ช่วงเวลาที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที



รูปที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที



รูปที่ 44 จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ Hot Press ด้วย Profile a ใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที

- a) SBC 2 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2
- b) SBC 3 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5
- c) SBC 4 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 3

จากผลการศึกษาการขึ้นเทออร์ริงเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี Hot Press ผสม
ตัวเติมโบรอนและคาร์บอนพบว่า

1. เวลาที่เหมาะสมในการบดผสมเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์กับตัวเติมโบรอน และ
คาร์บอนคือ 60 นาที ความเร็วรอบ 180 รอบ/นาที จะได้การกระจายตัวของตัวเติมสม่ำเสมอ
2. ตัวอย่าง SBC 3 ที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณ
โบรอนร้อยละ 0.38 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 2.12 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความ
หนาแน่นสูงสุดจากการทดลองคือ 3.2129 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 99.77 ของ
ความหนาแน่นตามทฤษฎี และค่าความแข็งสูงสุดคือ 3,479.66 HV
3. ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูงจะมีค่าความแข็งสูงด้วย แต่ค่าความเค้นแรงตัดโค้ง
อาจจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นขึ้นกับการเลือกตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นเทออร์ริง จึงขึ้นกับการ
ใช้งานด้วยว่าต้องการเน้นสมบัติด้านใด
4. Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทออร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและ
คาร์บอน คือมีอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทออร์ริงเป็น 2,050°-2,150° C และช่วงเวลารักษา
อุณหภูมิสูงสุด เลือกตามการใช้งานของชิ้นงานว่าต้องการสมบัติด้านใด

4.2.2.2 ศึกษาการขึ้นเทออร์ริงเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า โดย
แปรค่าตัวเติมและเลือก Profile ที่เหมาะสมในการ Hot Press

ทำการศึกษาผลของปริมาณตัวเติมอะลูมิน่าในช่วงร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
นำไป Hot Press ด้วย Profile a และ c ศึกษาสมบัติของชิ้นงานที่ Hot Press เพื่อเลือก
ปริมาณตัวเติมและ Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทออร์ริงเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม
อะลูมิน่า ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17

ตารางที่ 16 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press
ด้วย Profile a

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่น ร้อยละของความ หนาแน่นตาม ทฤษฎี (TD) ⁺	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kgf/mm ²)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SA 1	1	3.0922	96.04	56.51	2595.95
SA 2	2	3.2050	99.53	63.77	2587.46
SA 3	3	3.2300	100.33	48.57	2641.02
SA 4	4	3.2281	100.24	52.48	2692.04

⁺TD = Theoretical Density

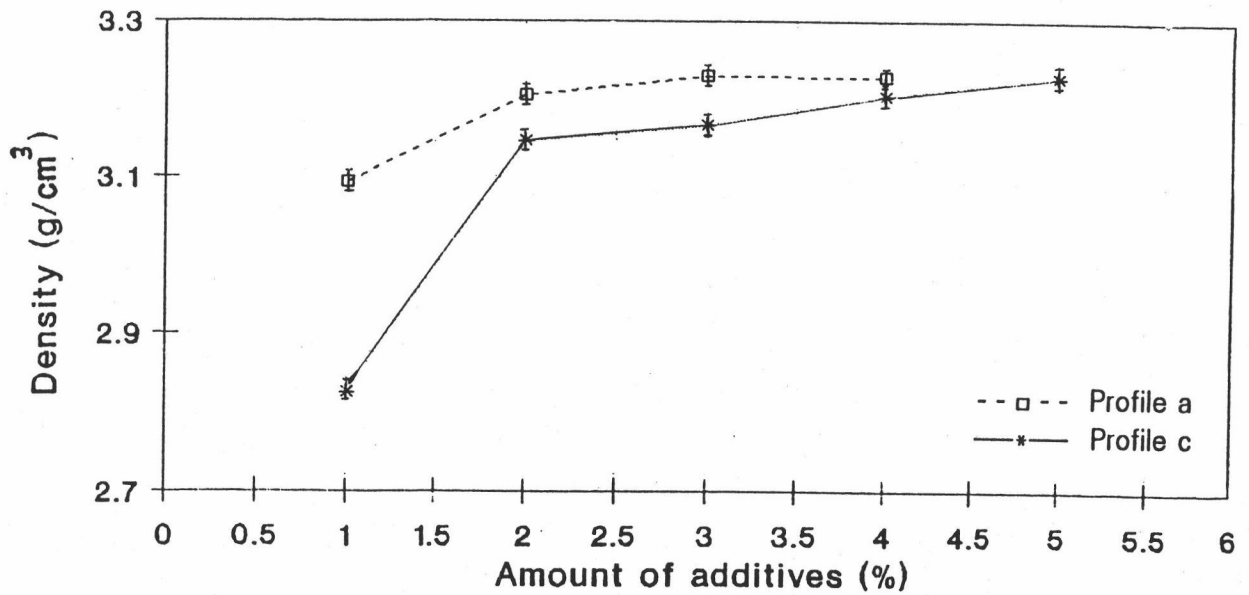
ตารางที่ 17 สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press
ด้วย Profile c

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวเติม (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความหนาแน่น (กรัม/ซม. ³)	ความหนาแน่น ร้อยละของความ หนาแน่นตาม ทฤษฎี (TD) ⁺	ความเค้น แรงตัดโค้ง (kgf/mm ²)	ความแข็ง แบบ Vicker (HV)
SA 1	1	2.8246	87.72	58.43	2601.84
SA 2	2	3.1470	97.53	59.16	2625.45
SA 3	3	3.1669	98.35	67.27	2782.61
SA 4	4	3.2029	99.46	59.31	2864.69
SA 5	5	3.2284	100.25	58.06	2845.09

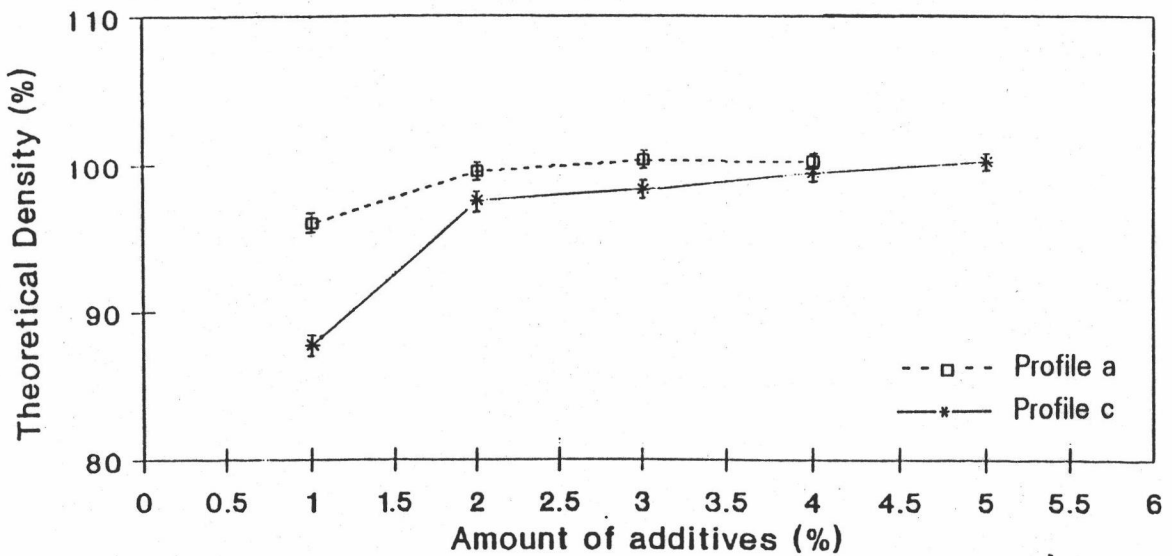
⁺TD = Theoretical Density

ความหนาแน่นผลดังแสดงในตารางที่ 16 และ 17 เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟดังแสดง
 ในรูปที่ 45 และ 46 พบว่าขึ้นตัวอย่างที่ Hot Press ด้วย Profile a และ c ความหนาแน่น
 จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเติมสูงขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile a
 อยู่ในช่วง 3.0922 ถึง 3.2281 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 96.04 ถึง 100.33
 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี ส่วนที่ Hot Press ด้วย Profile c อยู่ในช่วง 2.8241 ถึง
 3.2284 กรัม/ซม.³ หรือความหนาแน่นร้อยละ 87.73 ถึง 100.25 ของความหนาแน่นตาม
 ทฤษฎี และพบว่าขึ้นตัวอย่างที่ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 3 และร้อยละ 4 โดยน้ำหนักที่ Hot
 Press ด้วย Profile a มีความหนาแน่นตามทฤษฎีสูงกว่าความหนาแน่นตามทฤษฎีของซิลิกอน
 คาร์ไบด์คือ 3.22 กรัม/ซม.³ อาจเนื่องจากอะลูมินาที่ใช้เป็นตัวเติมมีความถ่วงจำเพาะสูงคือ
 3.99 กรัม/ซม.³ เมื่อเติมในปริมาณที่มากอาจมีปริมาณตัวเติมเหลืออยู่ ซึ่งต้องศึกษาโดย XRD
 ต่อไป จึงแสดงให้เห็นว่าในการ Hot Press ที่อุณหภูมิสูงคือ 2,150° C ปริมาณตัวเติมอะลูมินา
 ที่เหมาะสมควรใช้ไม่เกินร้อยละ 2 ส่วนชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile c ซึ่งอุณหภูมิต่ำ
 ลงคือ 2,050° C ก็ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ Profile แรก และพบว่าไม่ควรใช้ปริมาณตัวเติม
 อะลูมินาเกินร้อยละ 3 เนื่องจากปริมาณตัวเติมที่มากเกินไปจะทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพต่ำลงค่าความ
 หนาแน่นของทั้ง 2 Profile สอดคล้องกับผลของจุลโครงสร้างในรูปที่ 49 และ 50 ซึ่งชิ้นงานที่
 มีความหนาแน่นสูงก็จะมีพรุนตัวน้อย ผลของความหนาแน่นของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม
 อะลูมินา ให้ผลสอดคล้องกับที่ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน คือเมื่อใช้อุณหภูมิในการซินเทอร์ริง
 สูงขึ้นก็จะใช้ปริมาณตัวเติมน้อยลง



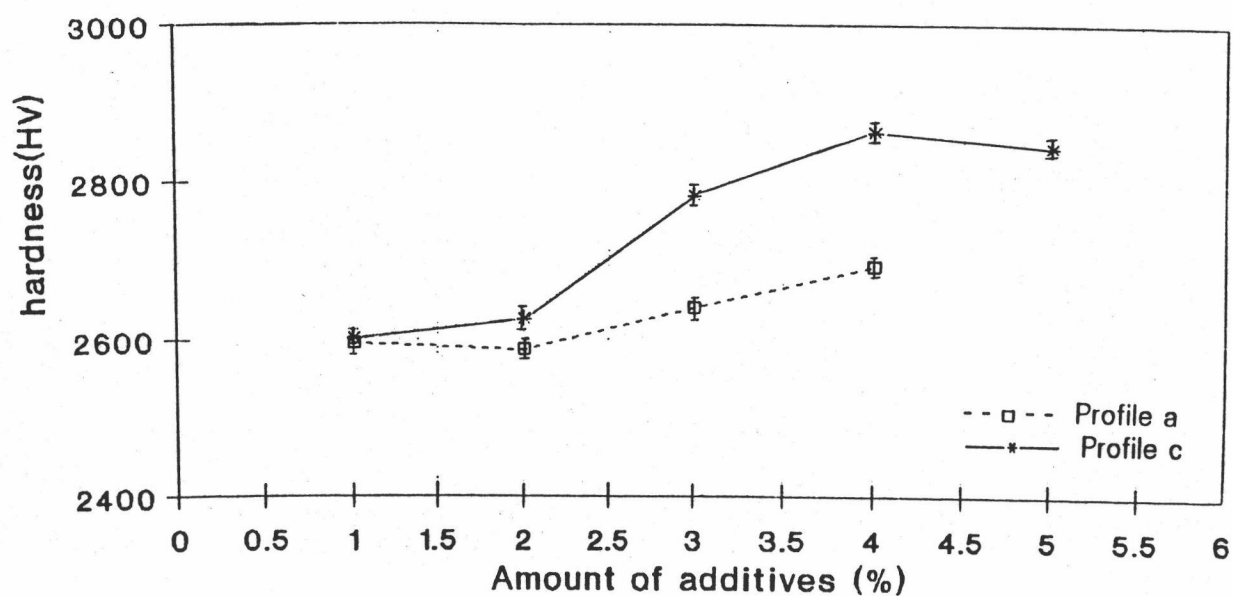


รูปที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile c



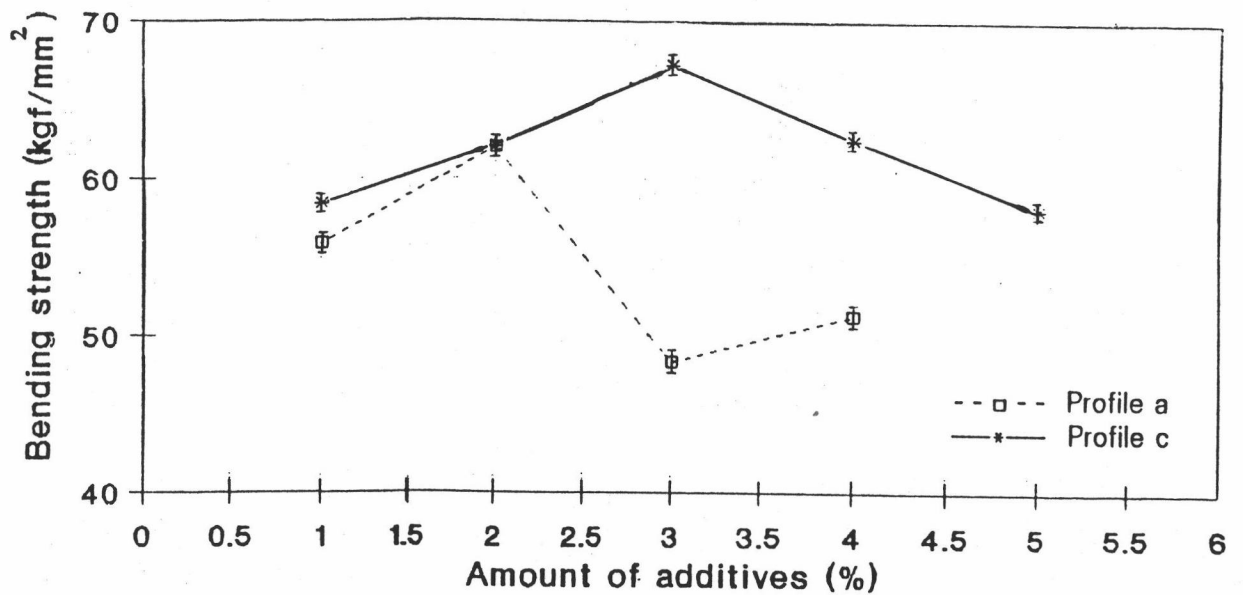
รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile c

ความแข็งผลการวัดค่าความแข็งในตารางที่ 16 และ 17 เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟ ดังรูปที่ 47 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่าง จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้นทั้ง 2 Profile ชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นเทอร์ริงด้วย Profile a ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 2,600 - 2,700 HV ส่วนตัวอย่างที่ขึ้นเทอร์ริงด้วย Profile c ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 2,600 - 2,850 HV และชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากค่าความแข็งจะมากด้วย ซึ่งผลสอดคล้องกับการทดลองอื่นๆ ความแข็งของ Profile ทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผสมตัวเติม โบรอนและคาร์บอนกับที่ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile a เหมือนกันและ ปริมาณตัวเติมเท่ากัน พบว่าชิ้นงานที่ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนให้ค่าความแข็งมากกว่าชิ้นงาน ที่เติมอะลูมินา



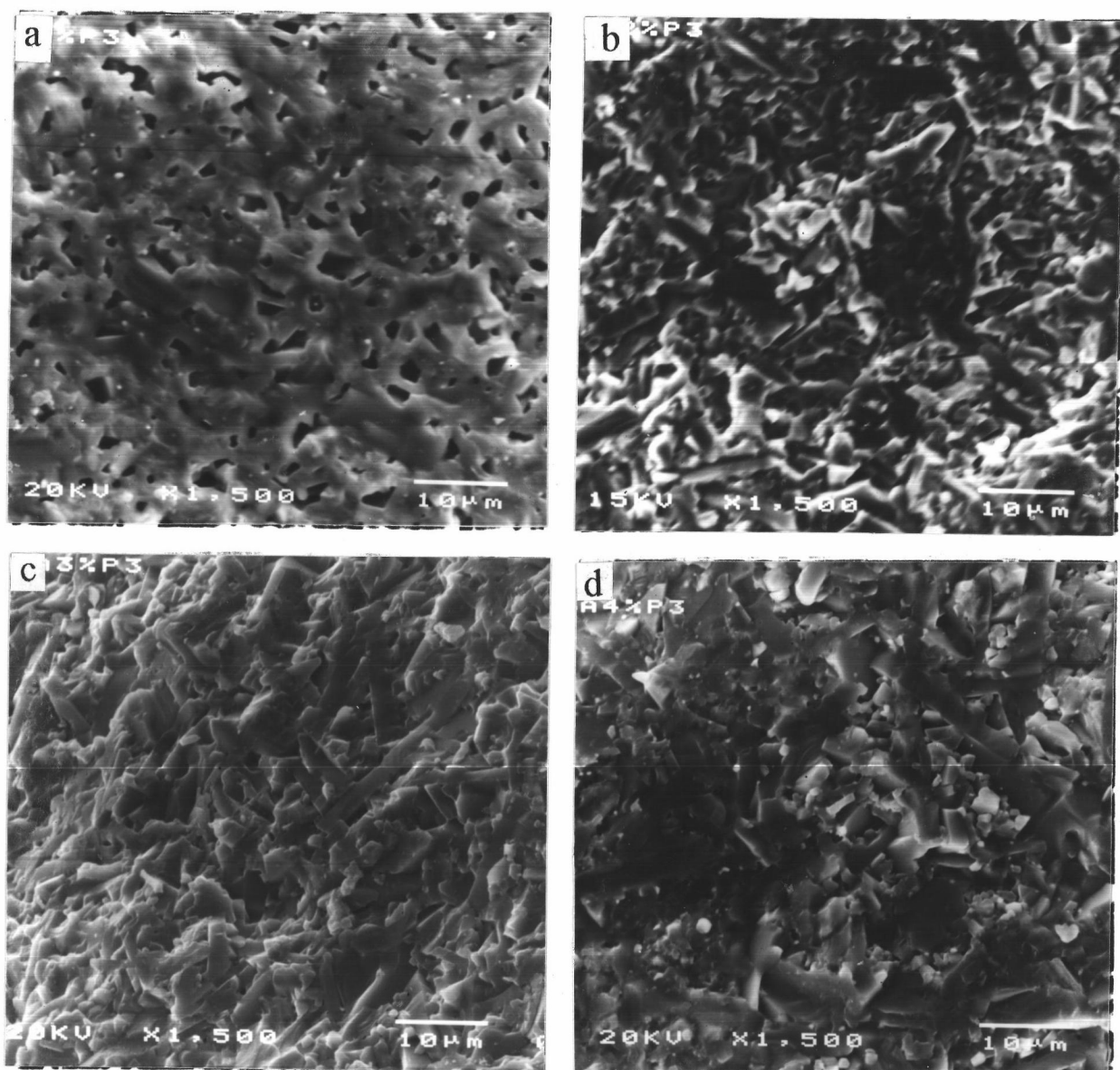
รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile c

ความเค้นแรงตัดโค้งผลัดแสดงในตารางที่ 16 และ 17 เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงในรูปที่ 48 พบว่าค่าความเค้นแรงตัดโค้งของชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile a อยู่ในช่วง 52-64 kgf/mm² หรือ 510-628 MPa และที่ Hot Press ด้วย Profile c อยู่ในช่วง 58-67 kgf/mm² หรือ 569-657 MPa และพบว่าค่าความเค้นแรงตัดโค้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวเติมเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งคือปริมาณตัวเติมร้อยละ 2 ถึง 3 เมื่อเติมปริมาณตัวเติมมากกว่านี้ค่าจะลดลง นอกจากนี้จะเห็นว่าสมบัติทั้ง 3 คือ ความเค้นแรงตัดโค้ง ความหนาแน่น ความแข็ง เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเติมตามตัวอย่าง SA 1, SA 2 และ SA 3 ตารางที่ 17 ส่วน SA 4 และ SA 5 ได้ผลที่แตกต่างกันเนื่องจากปริมาณตัวเติมที่เติมนั้นสูงเกินไปจนเกิดการแยกตัวเป็น second phase แล้ว และชิ้นงานที่ Hot Press ด้วย Profile a ตัวอย่าง SA 2 จะให้ค่าความเค้นแรงตัดโค้งสูงสุดคือ 63.77 kgf/mm² หรือ 628 MPa ส่วนที่ Hot Press ด้วย Profile c ตัวอย่าง SA 3 จะให้ค่าสูงสุดคือ 67.27 kgf/mm² หรือ 657 MPa ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน พบว่าชิ้นงานที่ผสมตัวเติมอะลูมิน่า จะให้ค่าความเค้นแรงตัดโค้งที่สูงกว่าจะเห็นว่าการใช้ตัวเติมอะลูมิน่าจะมีอิทธิพลต่อการพัฒนาสมบัติด้านความเค้นแรงตัดโค้งของสารซิลิกอนคาร์ไบด์ได้มากกว่าตัวเติมโบรอนและคาร์บอน ขณะที่ตัวเติมโบรอนและคาร์บอนมีอิทธิพลต่อสมบัติด้านความหนาแน่นและความแข็ง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุมาจากชิ้นงานมีตัวเติมอะลูมิน่ามีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าการใช้โบรอนและคาร์บอนเป็นตัวเติม ดังผลจากการศึกษาจุลโครงสร้าง



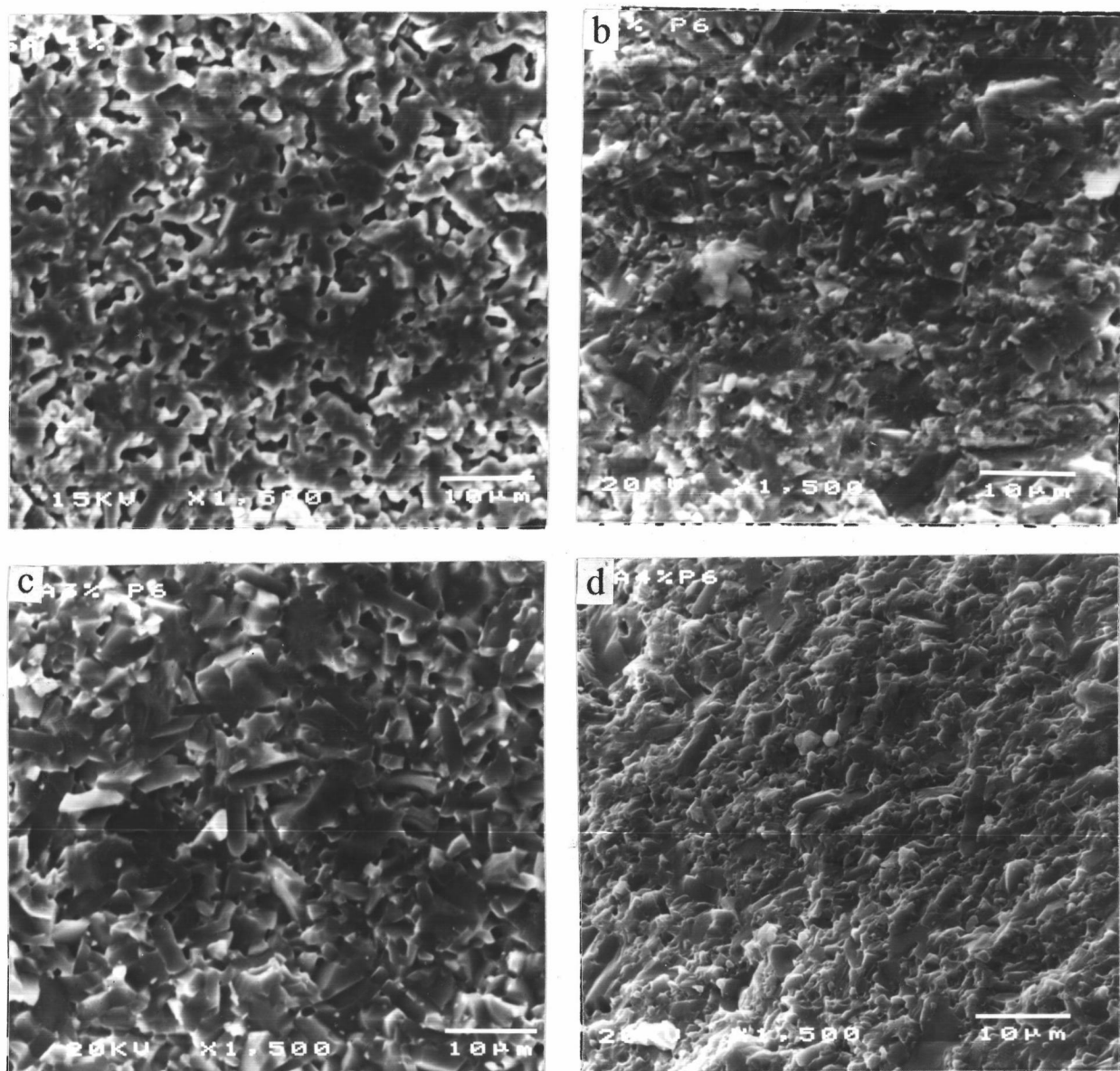
รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ Profile c

จุดโครงสร้างผลดังแสดงในรูปที่ 49 และ 50 พบว่าจุดโครงสร้างของชิ้นงานให้ผลสอดคล้องกับความหนาแน่นคือชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง จะมีความพรุนตัวน้อย และชิ้นงานที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความพรุนตัวมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เติมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน พบว่าชิ้นงานที่เติมอะลูมินาจะมีผลของชิ้นงานที่เล็กกว่าที่เติมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน ดังนั้นอะลูมินายังเป็นตัวยับยั้งการเกิดการขยายตัวของเกรนอีกด้วย



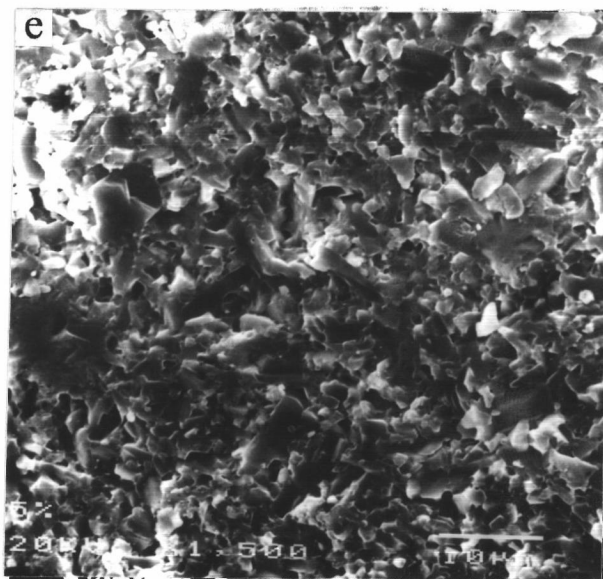
รูปที่ 49 จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile a

- a) SA 1 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 1
- b) SA 2 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2
- c) SA 3 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 3
- d) SA 4 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 4



รูปที่ 50 จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile c

- a) SA 1 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 1
- b) SA 2 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 2
- c) SA 3 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 3
- d) SA 4 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 4



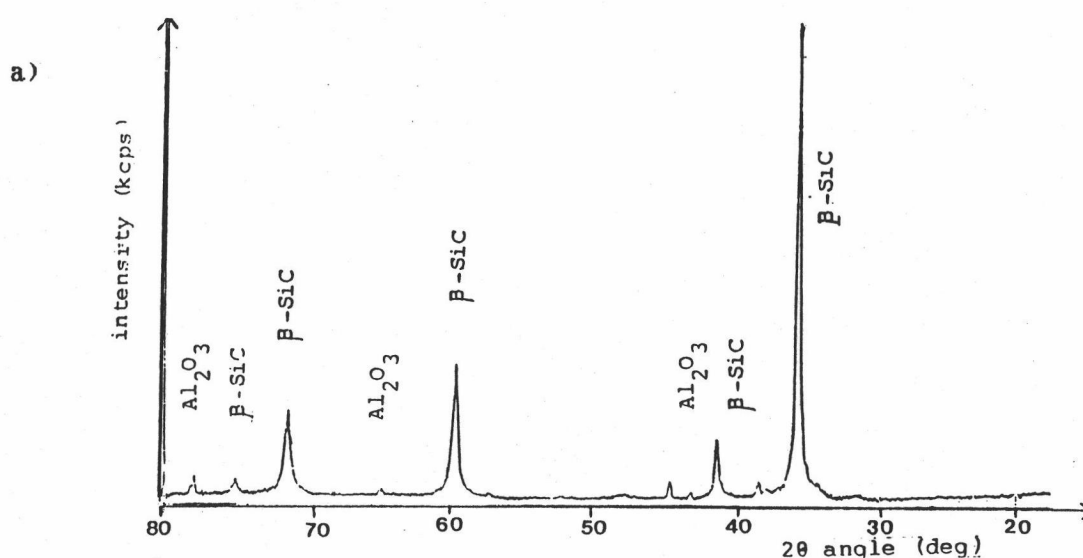
รูปที่ 50 (ต่อ) จุลโครงสร้างของชั้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile c

e) SA 5 ปริมาณตัวเติมร้อยละ 5

ผลการศึกษาโครงสร้างโดยใช้เครื่อง XRD พบว่าชั้นงานเมื่อผ่านการ Hot Press ด้วย Profile ทั้ง 2 จะมีการเปลี่ยนระบบผลึกจากเบต้าเป็นแอลฟาบางส่วน เฟสต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 18 และรูปที่ 51 และ 52 คือมีพีคของแอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ 20 เท่ากับ 35.6° , 41.3° , 46.3° , 60° , 65.9° และ 73.7° ตามลำดับ และมีพีคของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ 20 เท่ากับ 35.6° , 41.3° , 60° , 71.7° และ 75.5° ตามลำดับ และชั้นงานที่เติมตัวเติมร้อยละ 4 พบว่ามีอะลูมินาเหลืออยู่ตั้งในพีค 20 เท่ากับ 35° , 37.3° และ 65.6° เนื่องจากมีปริมาณอะลูมินาที่เหลืออยู่ ทำให้ค่าความหนาแน่นของชั้นงานเกินค่าความหนาแน่นตามทฤษฎีของซิลิกอนคาร์ไบด์ และทำให้สมบัติของชั้นงานมีคุณภาพต่ำลง

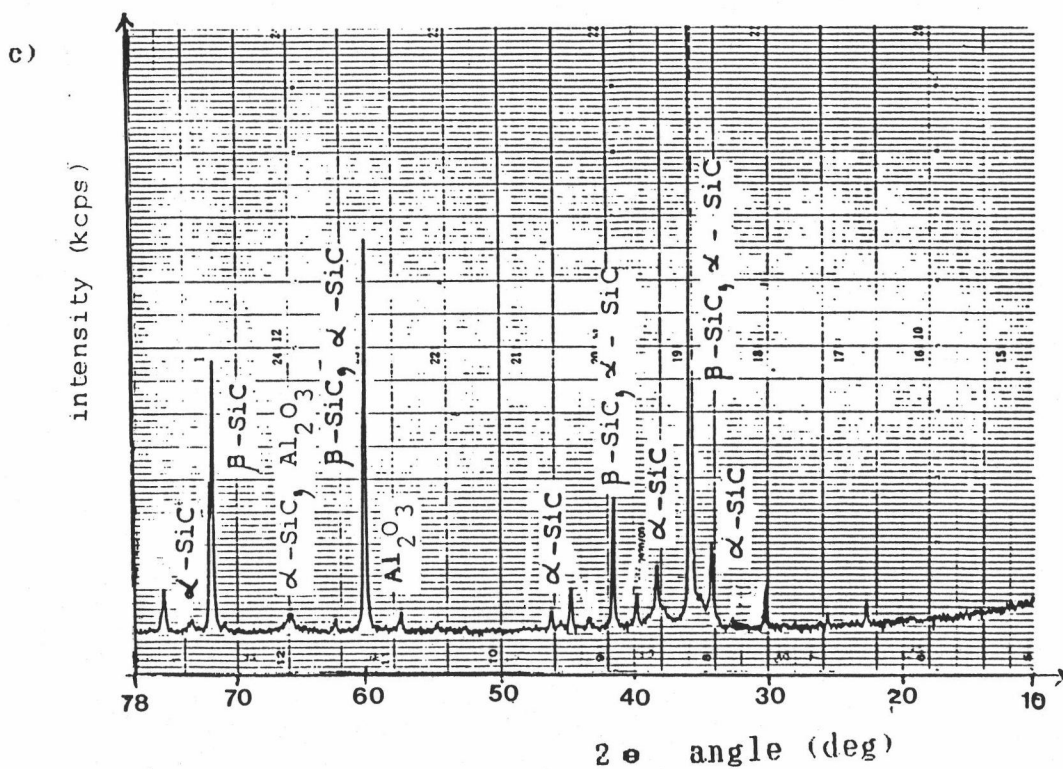
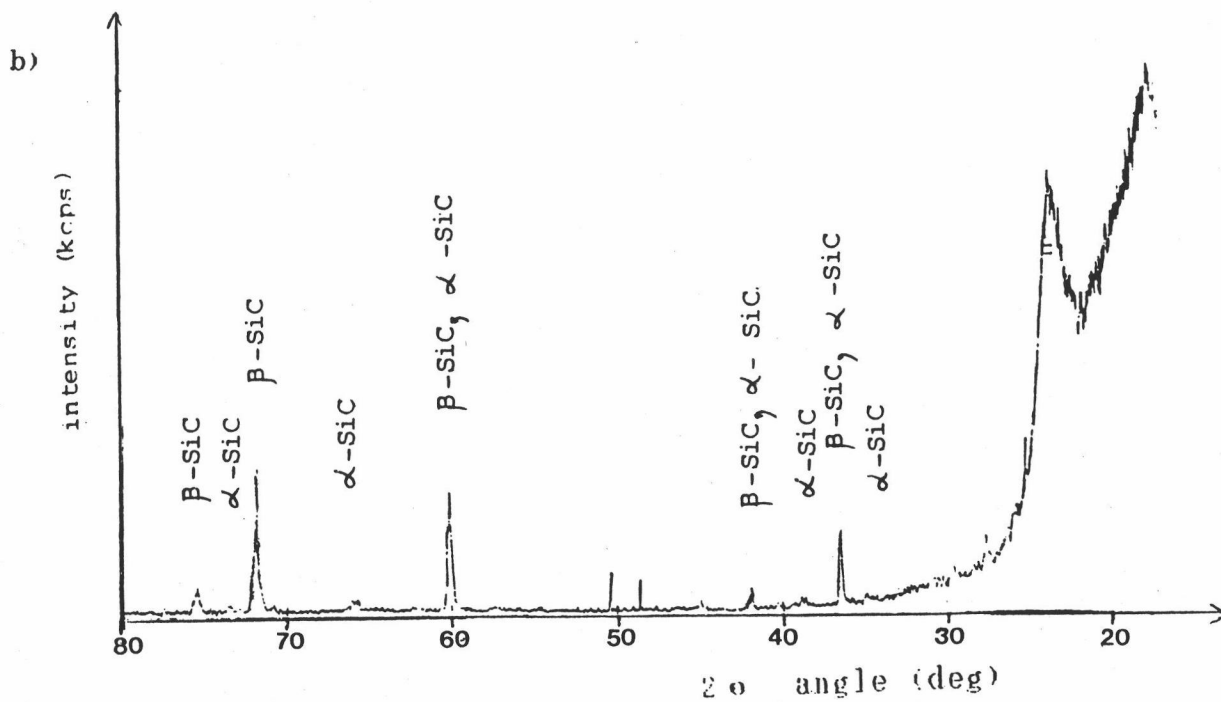
ตารางที่ 18 เฟสต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา หลัง Hot Press

ตัวอย่างชิ้นงาน	เฟส	
	เมเจอร์เฟส (Major phase)	ไมเนอร์เฟส (Minor phase)
SBC 3 Profile a	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	
SBC 5 Profile a	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	อะลูมินา
SBC 5 Profile b	เบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ แอลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	อะลูมินา



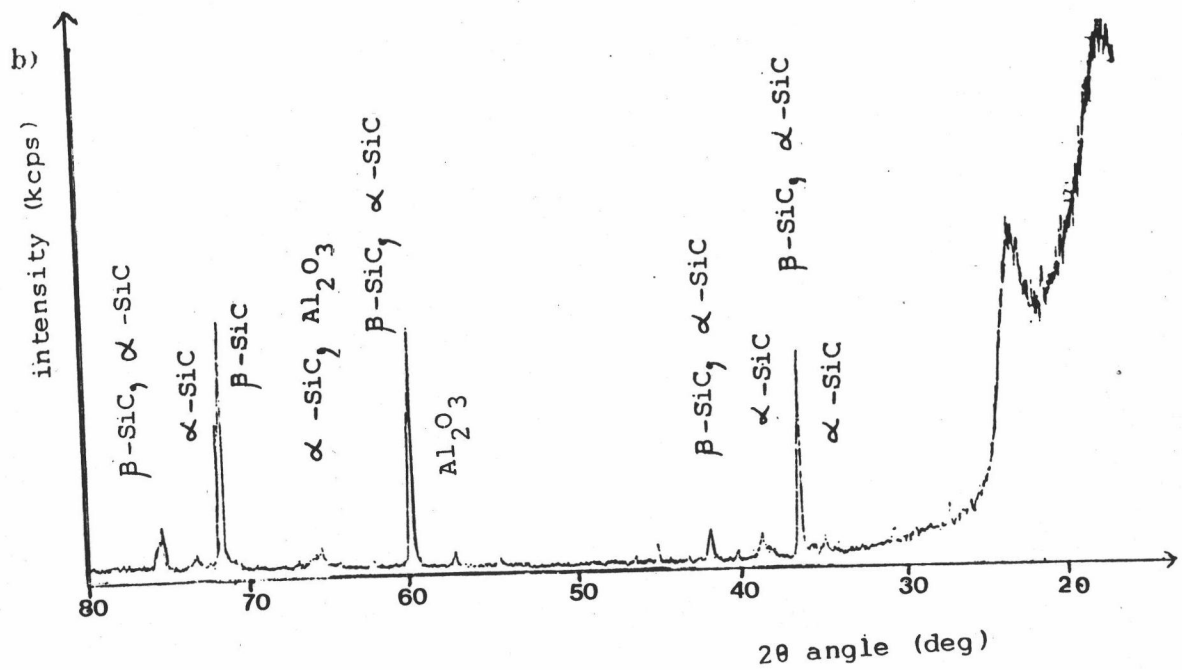
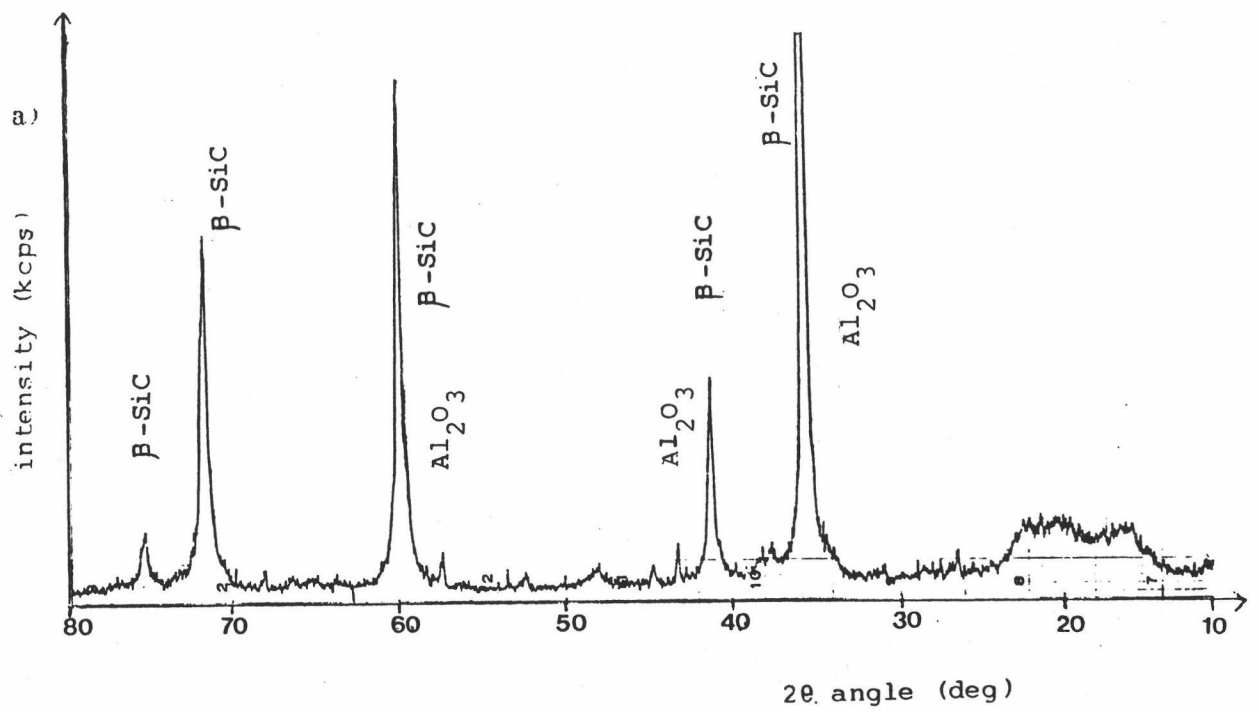
รูปที่ 51 X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

a) พงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 2 ก่อน Hot Press



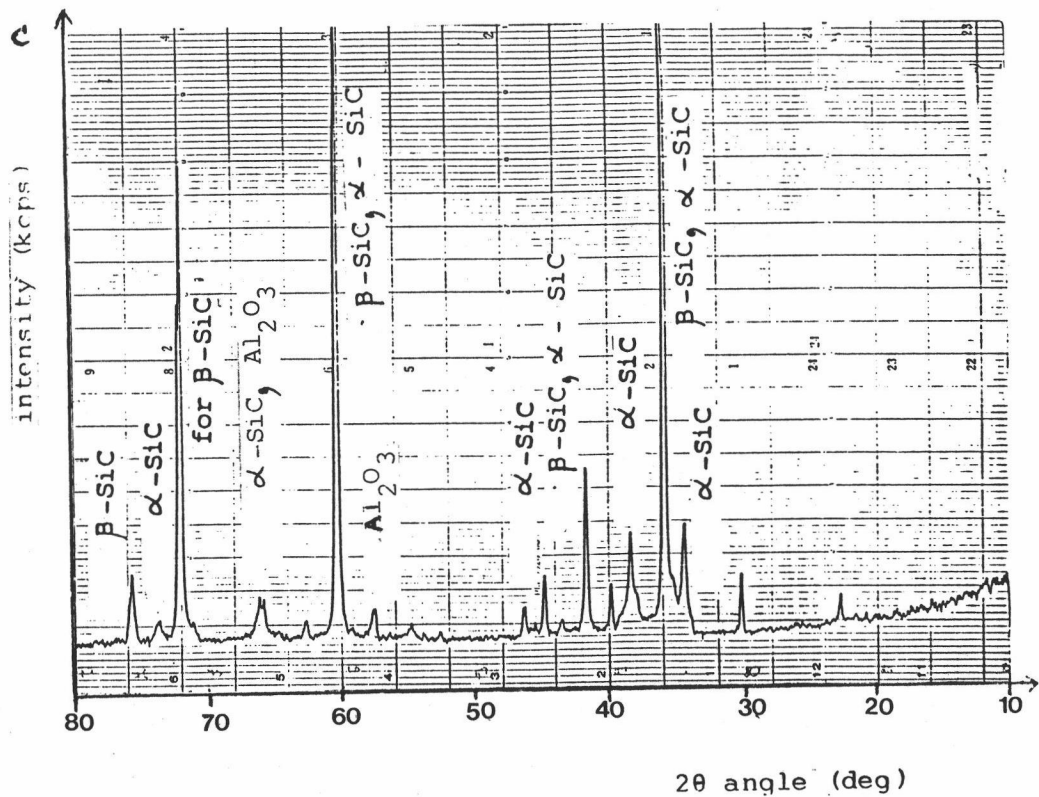
รูปที่ 51 (ต่อ) X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม อะลูมินาที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

- b) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile a
- c) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile c



รูปที่ 52 X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม อะลูมินาร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

- a) พงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 4 ก่อน Hot Press
- b) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile a



รูปที่ 52 (ต่อ) X-Ray Diffraction Pattern ของซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติม อะลูมินา ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก
c) ชิ้นงานหลัง Hot Press ด้วย Profile c

จากผลการศึกษาการขึ้นเทอร์ริงเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี Hot Press ผสม ตัวเติมอะลูมินา พบว่า

1. เวลาที่เหมาะสมในการบดผสมเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์กับตัวเติมอะลูมินา คือ 45 นาที ความเร็วรอบ 180 รอบ/นาที จะได้การกระจายตัวของตัวเติมสม่ำเสมอ
2. ตัวอย่าง SA-3 และ SA-2 ที่มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 2 ถึง 3 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความเค้นแรงดัดโค้งสูงสุดคือ 63.77 และ 67.27 kgf/mm^2 หรือ 628 และ 657 MPa ดังนั้นการ Hot Press โดยใช้ตัวเติมอะลูมินาคาร์ใช้ปริมาณตัวเติมอยู่ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 3

3. ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความแข็งสูง แต่เมื่อเติมปริมาณตัวเติมมากเกินไปร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ค่าความเค้นแรงตัดโค้งจะลดลงและค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมากเกินไป ค่าความหนาแน่นตามทฤษฎี เนื่องจากยังมีอะลูมินาเหลืออยู่แยกต่อเป็นเฟสที่ 2
4. Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา คือใช้อุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริงอยู่ในช่วง $2,050^{\circ}\text{C}$ ถึง $2,150^{\circ}\text{C}$ และช่วงเวลารักษาอุณหภูมิสูงสุดคือ 30 นาที