

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การรายงานผลการวิเคราะห์ทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC จะบันทึกค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_{cr}) และ เอนทัลปีของการหลอมเหลว (ΔH_m) เมื่อเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภทต่างๆ ด้วยอัตราผสมต่างๆในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ทั้งประเภทแรนดัมและ บล็อก ดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.6 พร้อมกันนี้ ในตารางจะแสดงค่าการคำนวณองศาของความเป็นผลึก (X_{cr}) และผลต่างของ T_m กับ T_{cr} (ΔT) ด้วย

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนแรนดัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Mineral base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T_m ($^{\circ}C$)	T_{cr} ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)	ΔH_m (J/g)	X_{cr} (%)
Pure Random Copolymer	148.70	102.70	46.00	76.86	37.91
0.13%	149.70	106.60	43.10	80.99	39.95
0.15%	149.70	106.80	42.90	81.67	40.29
0.17%	149.80	107.00	42.80	82.05	40.47
0.21%	150.10	107.00	43.10	82.11	40.50
0.25%	150.00	107.00	43.00	83.00	40.94
0.29%	149.80	107.30	42.50	83.06	40.97
0.30%	146.80	107.50	39.30	83.05	40.97
0.31%	146.80	107.60	39.20	71.42	35.23

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนแรนดัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T _m	T _{cr}	ΔT	ΔH _m	X _{cr}
	(°C)	(°C)	(°C)	(J/g)	(%)
Pure Random Copolymer	148.70	102.70	46.00	76.86	37.91
0.13%	150.30	116.50	33.80	87.48	43.15
0.15%	150.30	117.00	33.30	87.89	43.35
0.17%	149.50	117.50	32.00	88.16	43.49
0.21%	148.80	117.50	31.30	88.20	43.51
0.25%	150.30	117.90	32.40	88.25	43.53
0.29%	150.20	118.00	32.20	89.10	43.95
0.30%	147.50	119.50	28.00	85.57	42.21
0.31%	147.40	119.60	27.80	82.13	40.51

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนแรนดัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic Metallic ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T _m	T _{cr}	ΔT	ΔH _m	X _{cr}
	(°C)	(°C)	(°C)	(J/g)	(%)
Pure Random Copolymer	148.70	102.70	46.00	76.86	37.91
0.13%	150.30	115.70	34.60	80.78	39.85
0.15%	150.30	115.70	34.60	82.13	40.51
0.17%	148.90	115.80	33.10	82.20	40.55
0.21%	148.30	117.20	31.10	84.27	41.57
0.25%	148.90	117.30	31.60	84.76	41.81
0.29%	150.00	117.50	32.50	84.57	41.72
0.30%	149.60	117.60	32.00	84.58	41.72
0.31%	149.50	117.70	31.80	77.35	38.15

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์
ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Mineral base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T _m	T _{cr}	ΔT	ΔH _m	X _{cr}
	(°C)	(°C)	(°C)	(J/g)	(%)
Pure Block Copolymer	163.70	121.30	42.40	70.26	37.77
0.13%	164.10	122.90	41.20	72.68	38.71
0.15%	164.70	123.00	41.70	74.06	39.82
0.17%	166.00	123.20	42.80	78.51	42.21
0.21%	167.10	123.40	43.70	88.64	47.65
0.25%	167.20	127.60	39.60	89.10	47.90
0.29%	168.70	129.10	39.60	87.57	47.08
0.30%	168.80	127.60	41.20	84.35	45.35
0.31%	168.80	121.60	47.20	82.69	44.45

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนบล็อคโคโพลิเมอร์
ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T _m	T _{cr}	ΔT	ΔH _m	X _{cr}
	(°C)	(°C)	(°C)	(J/g)	(%)
Pure Block Copolymer	163.70	121.30	42.40	70.26	37.77
0.13%	167.30	128.70	38.60	81.13	43.62
0.15%	168.20	129.10	39.10	83.48	44.88
0.17%	168.90	129.70	39.20	85.07	45.73
0.21%	168.90	130.50	38.40	94.53	50.82
0.25%	167.70	139.30	28.40	92.77	49.87
0.29%	166.50	139.40	27.10	90.71	48.77
0.30%	166.60	132.30	34.30	83.71	45.00
0.31%	166.60	128.80	37.80	75.73	40.71

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ของโพรพิลีนบล็อกโคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic Metallic ที่อัตราผสมต่าง ๆ

อัตราผสมของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	T_m	T_{cr}	ΔT	ΔH_m	X_{cr}
	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	(J/g)	(%)
Pure Block Copolymer	163.70	121.30	42.40	70.26	37.77
0.13%	166.80	128.20	38.60	90.01	48.39
0.15%	168.30	128.70	39.60	91.11	48.98
0.17%	168.00	129.00	39.00	90.79	48.81
0.21%	168.00	129.90	38.10	82.59	44.40
0.25%	168.00	134.20	33.80	80.51	43.28
0.29%	168.10	134.10	34.00	78.92	42.43
0.30%	168.10	130.50	37.60	76.22	40.98
0.31%	168.10	128.20	39.90	71.51	38.44

ผลของค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (T_{cr})

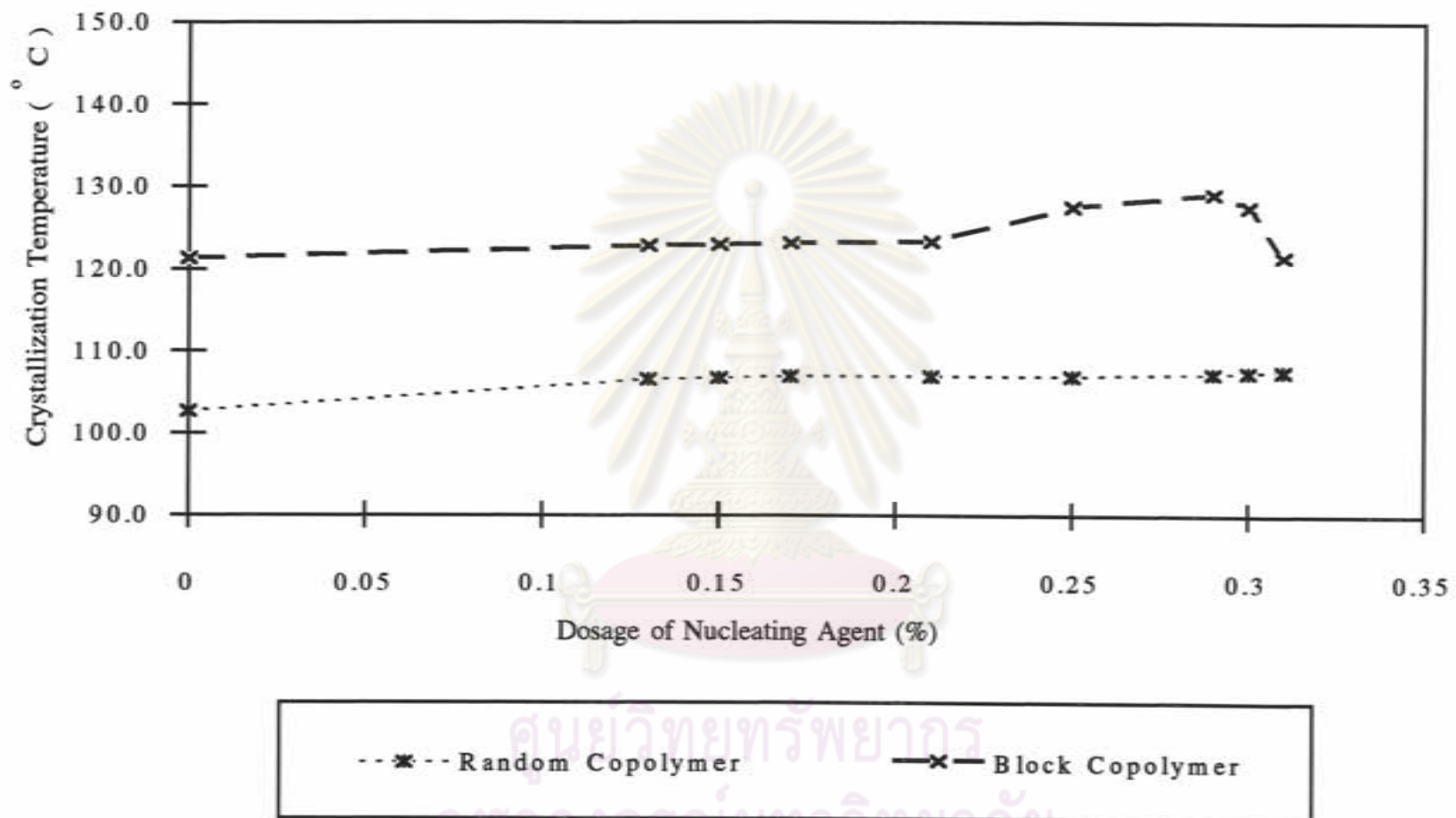
การเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท ทำให้ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้นทั้งโพรพิลีนแรนดัมโคโพลิเมอร์ และบล็อกโคโพลิเมอร์ สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าน้อยมากไม่เกิน 3.5% เมื่อเปรียบเทียบกับ สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก ดังแสดงในตารางที่ 4.7

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเกิดผลึกในแรนดัมโคโพลิเมอร์จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่าในบล็อกโคโพลิเมอร์ ในการใช้สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Mineral จากรูปที่ 4.1 อุณหภูมิการเกิดผลึกของแรนดัมโคโพลิเมอร์ จะค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละน้อยๆ ก่อนข้างคงที่ในทุกอัตราผสม ในขณะที่ อุณหภูมิการเกิดผลึกของบล็อกโคโพลิเมอร์ ค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละน้อยๆในช่วงอัตราผสม แรกๆ จนกระทั่งที่อัตราผสมที่ 0.25% เริ่มเพิ่มขึ้นมากจนขึ้นสูงสุดที่อัตราผสม 0.29% แล้วค่อยๆมีค่าลดลง

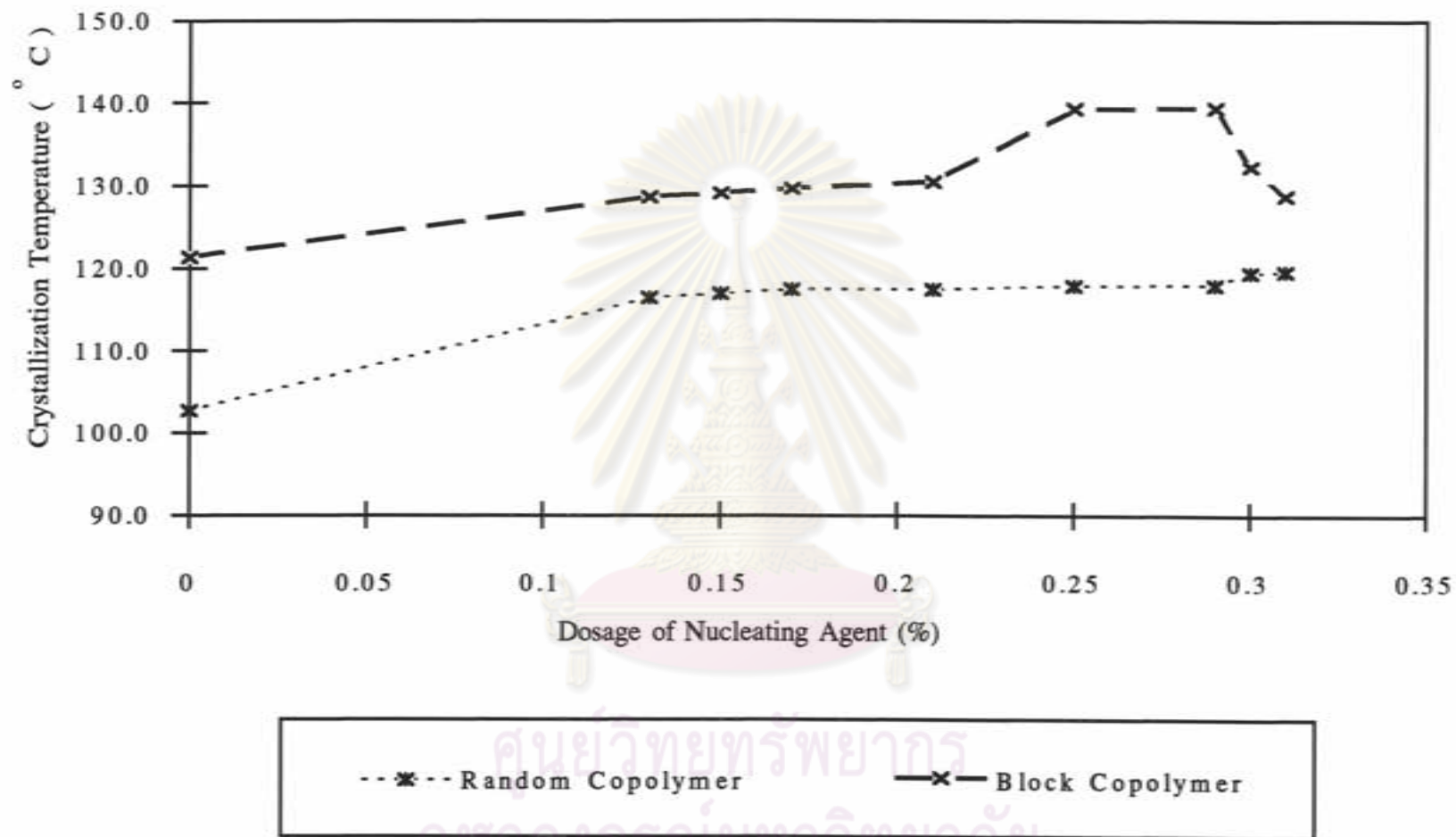
และเมื่อใช้สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base จากรูปที่ 4.2 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเกิดผลึกของแรนดัมโคโพลิเมอร์ จะสูงกว่าของบล็อกโคโพลิเมอร์ อุณหภูมิการเกิดผลึกขึ้นสูงสุดในช่วงอัตราผสม 0.30% - 0.31% ซึ่งของบล็อกโคโพลิเมอร์ อุณหภูมิการเกิดผลึก

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ทั้ง 3 ประเภท ในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ทั้ง 2 ประเภท ต่อค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (Tcr) ที่เพิ่มขึ้น

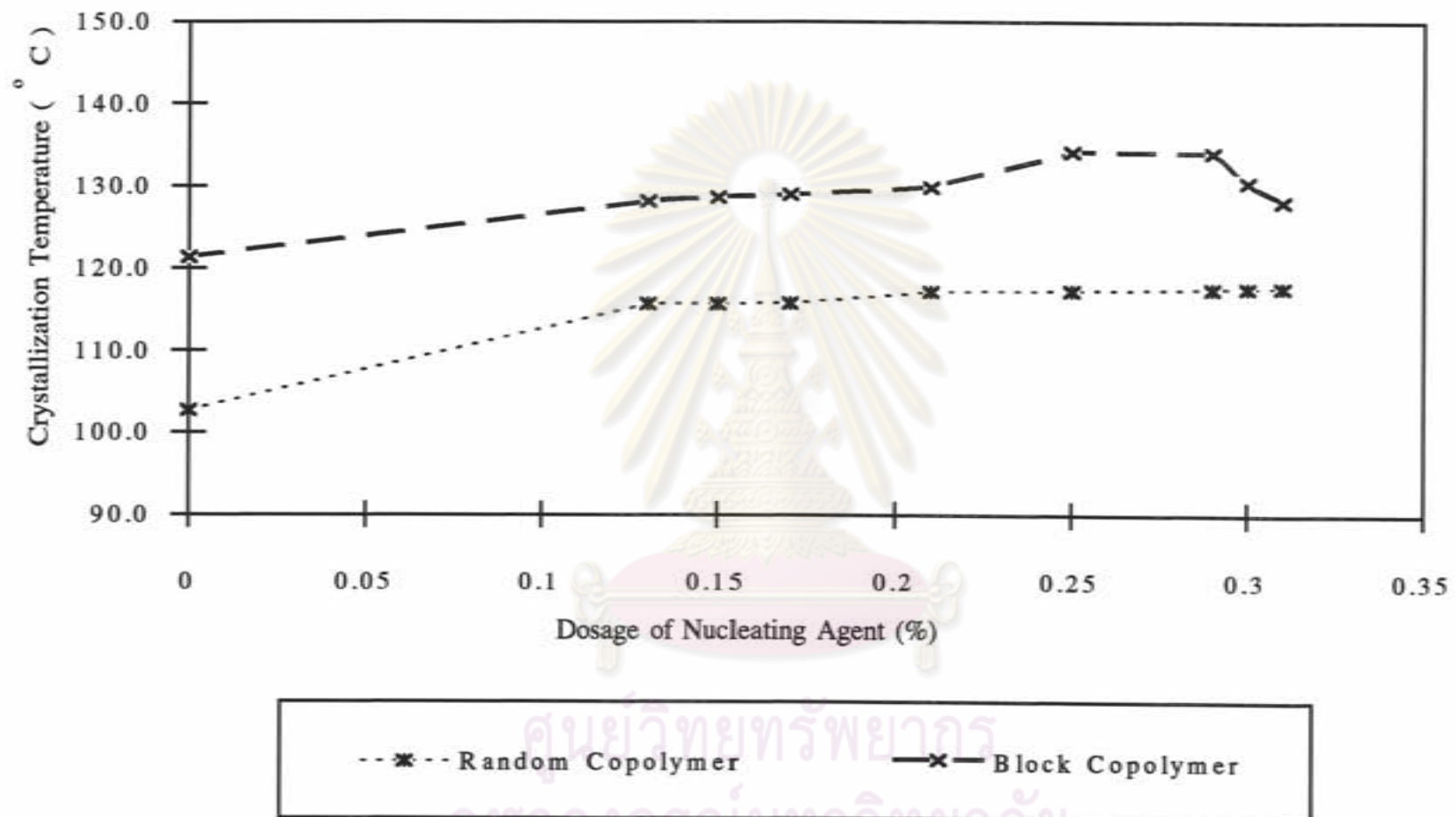
อัตราผสม ของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	แรนดัมโคโพลิเมอร์												บล็อกโคโพลิเมอร์											
	Mineral				Organic				Organic Metallic				Mineral				Organic				Organic Metallic			
	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑	Tm (°C)	% ↑	Tcr (°C)	% ↑
0.00%	148.7	-	102.7	-	148.7	-	102.7	-	148.7	-	102.7	-	163.7	-	121.3	-	163.7	-	121.3	-	163.7	-	121.3	-
0.13%	149.7	+0.67	106.6	+3.8	150.3	+1.1	116.5	+13.4	150.3	+1.1	115.7	+12.7	164.1	+0.24	122.9	+1.3	167.3	+2.2	128.7	+6.1	166.8	+1.9	128.2	+5.7
0.15%	149.7	+0.67	106.8	+4.0	150.3	+1.1	117.0	+13.9	150.3	+1.1	115.7	+12.7	164.7	+0.61	123.0	+1.4	168.2	+2.7	129.1	+6.4	168.3	+2.8	128.7	+6.1
0.17%	149.8	+0.74	107.0	+4.2	149.5	+0.54	117.5	+14.4	148.9	+0.13	115.8	+12.8	166.0	+1.4	123.2	+1.6	168.9	+3.2	129.7	+6.9	168.0	+2.6	129.0	+6.3
0.21%	150.1	+0.94	107.0	+4.2	148.8	+0.07	117.5	+14.4	148.3	-0.27	117.2	+14.1	167.1	+2.1	123.4	+1.7	168.9	+3.2	130.5	+7.6	168.0	+2.6	129.9	+7.1
0.25%	150.0	+0.87	107.0	+4.2	150.3	+1.1	117.9	+14.8	148.9	+0.13	117.3	+14.2	167.2	+2.1	127.6	+5.2	167.7	+2.4	139.3	+14.8	168.0	+2.6	134.2	+10.6
0.29%	149.8	+0.74	107.3	+4.5	150.2	+1.0	118.0	+14.9	150.0	+0.87	117.5	+14.4	168.7	+3.1	129.1	+6.4	166.5	+1.7	139.4	+14.9	168.1	+2.7	134.1	+10.6
0.30%	146.8	-1.3	107.5	+4.7	147.5	-0.81	119.5	+16.4	149.6	+0.61	117.6	+14.5	168.8	+3.1	127.6	+5.2	166.6	+1.8	132.3	+9.1	168.1	+2.7	130.5	+7.6
0.31%	146.8	-1.3	107.6	+4.8	147.4	-0.87	119.6	+16.5	149.5	+0.54	117.7	+14.6	168.8	+3.1	121.6	+0.25	166.6	+1.8	128.8	+6.2	168.1	+2.7	128.2	+5.7



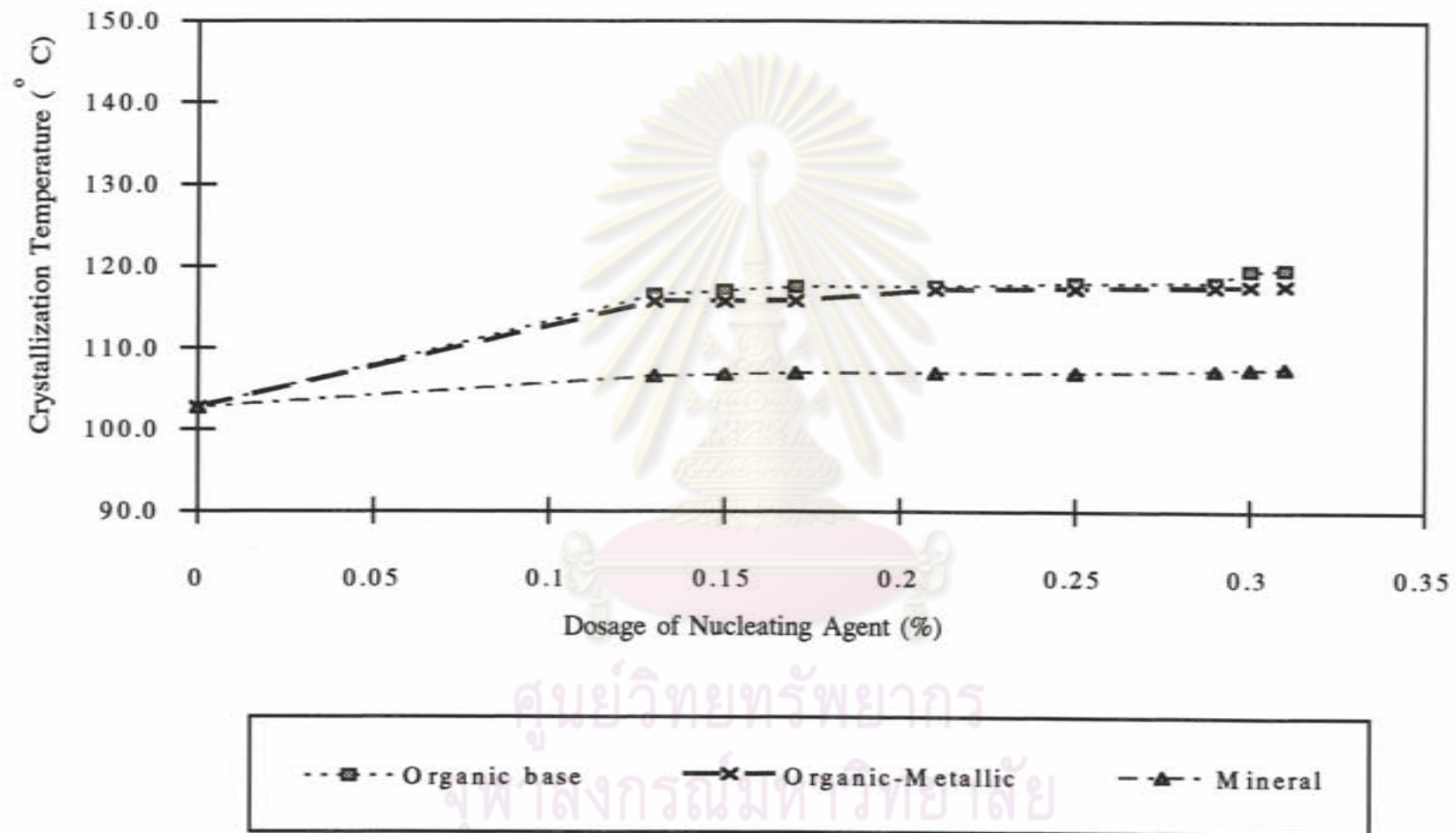
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบ Crystallization Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



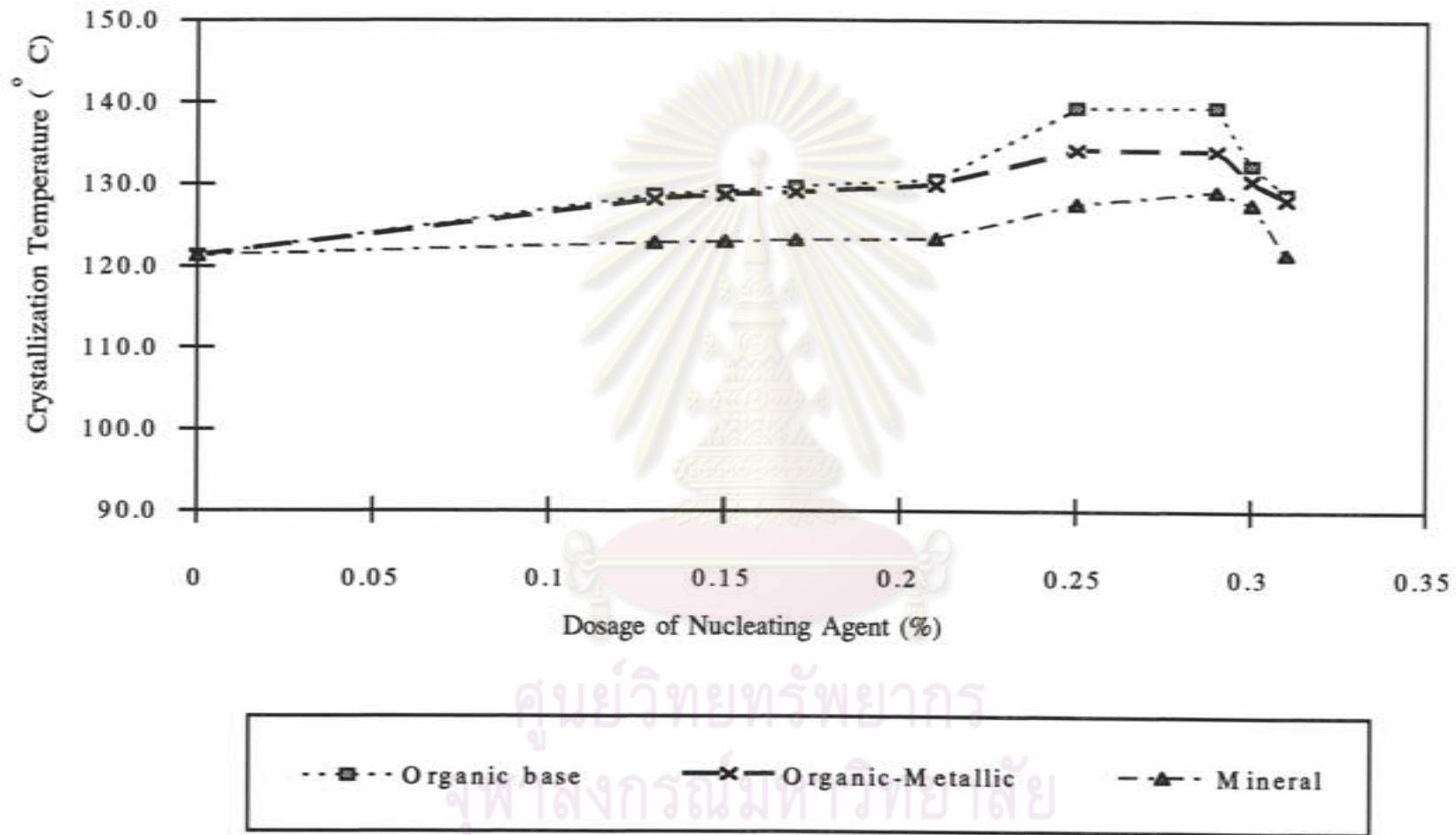
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบ Crystallization Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบ Crystallization Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบ Crystallization Temperature โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบ Crystallization Temperature โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer

จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราผสม 0.21% จะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นมากจนถึงอัตราผสม 0.25% แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับการใส่สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic Metallic เช่นกัน สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการเกิดผลึกของแรนดัมโคโพลิเมอร์ ยังคงสูงกว่า บล็อกโคโพลิเมอร์ และค่อยๆ กงทีในช่วงอัตราผสม 0.25% แต่ในบล็อกโคโพลิเมอร์ค่าอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นน้อยๆ แล้วจึงขึ้นสูงสุดที่อัตราผสม 0.29% และค่อยๆ ลดลงมาดังแสดงในรูปที่ 4.3

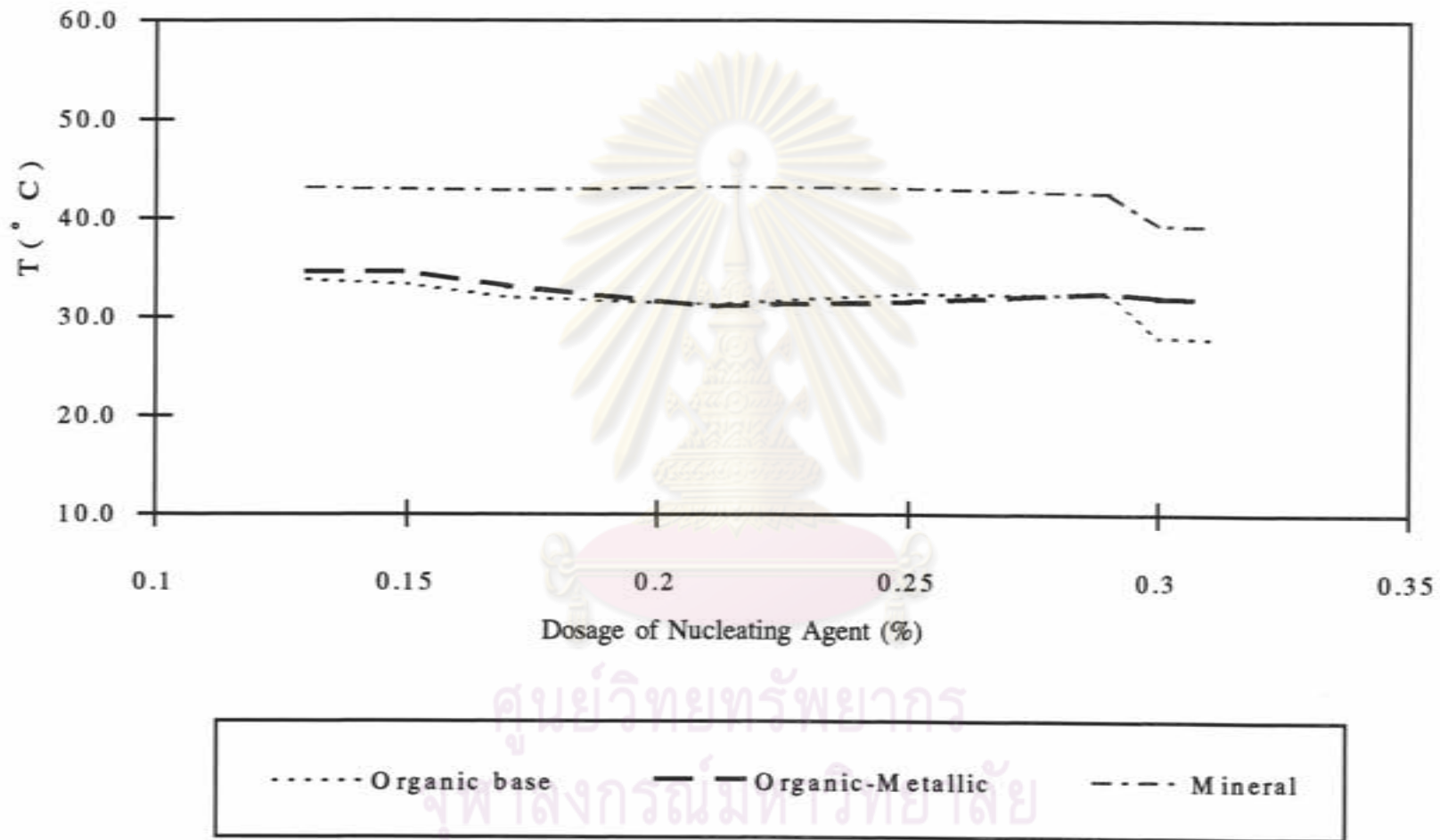
การเปรียบเทียบอุณหภูมิการเกิดผลึกของโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ประเภทแรนดัม และประเภทบล็อกโคโพลิเมอร์ที่ใช้สารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท จะเห็นว่า ทั้งรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่าสารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base ทำให้ค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกเพิ่มขึ้นสูงสุด รองลงมาคือประเภท Organic Metallic และประเภท Mineral ตามลำดับ

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิลอมเหลวกับอุณหภูมิการเกิดผลึก, $\Delta T = T_m - T_{cr}$ จะเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ กล่าวคือเวลาในการ Cooling จะลดลงค่าของ ΔT ที่ต่ำแสดงถึงควมมีประสิทธิภาพที่ดีของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่า สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base มีค่า ΔT ต่ำสุด รองลงมาได้แก่ Organic Metallic และ Mineral ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ลำดับของประสิทธิภาพของสารก่อตัว คริสตัลไลน์เป็นดังนี้ Organic base > Organic Metallic > Mineral

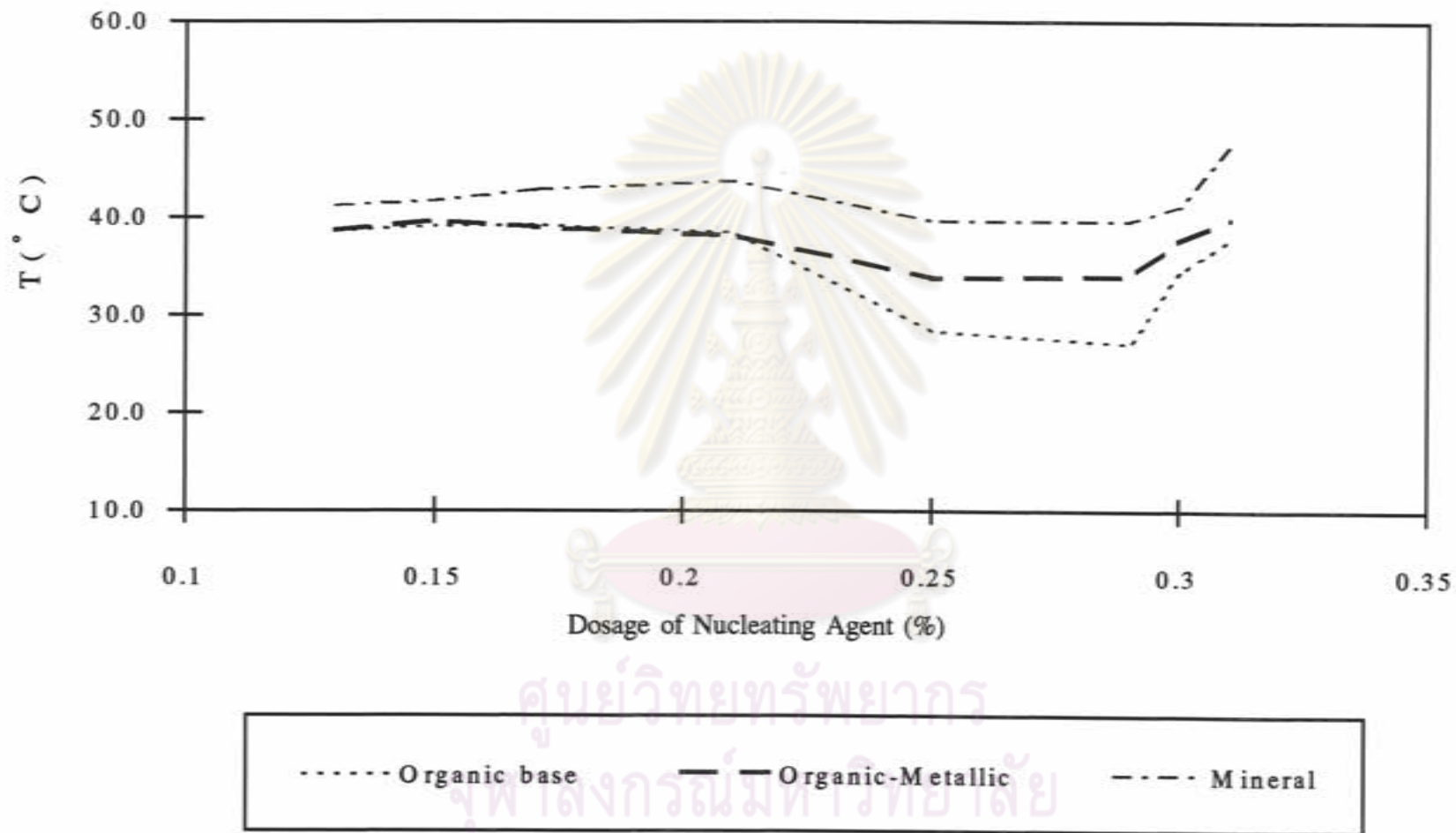
ผลต่อค่าองศาของความเป็นผลึก

ผลจากการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้งสามประเภทในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ทำให้ค่าองศาของความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นประมาณ 5-30% ดังตารางที่ 4.8 สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base ทำให้ค่าองศาของความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นมากที่สุด

จากรูปที่ 4.8 แรนดัมโคโพลิเมอร์ ค่าองศาของความเป็นผลึกค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเติมสารก่อตัว คริสตัลไลน์ในอัตราผสมต่างๆ โดยมีการเพิ่มอยู่ระหว่าง 5-16% แต่สำหรับบล็อกโคโพลิเมอร์ นั้น ในช่วงอัตราผสมช่วงแรกถึง 0.21% สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic Metallic จะทำให้ค่า องศาของความเป็นผลึกสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ Organic base และ Mineral ตามลำดับ เมื่อเติม สารก่อตัวคริสตัลไลน์ หลังจากนั้น ค่าองศาของความเป็นผลึกจากการเติมสารก่อตัว คริสตัลไลน์ ประเภท Organic base จะเพิ่มสูงสุด รองลงมาได้แก่ Mineral และ Organic Metallic ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



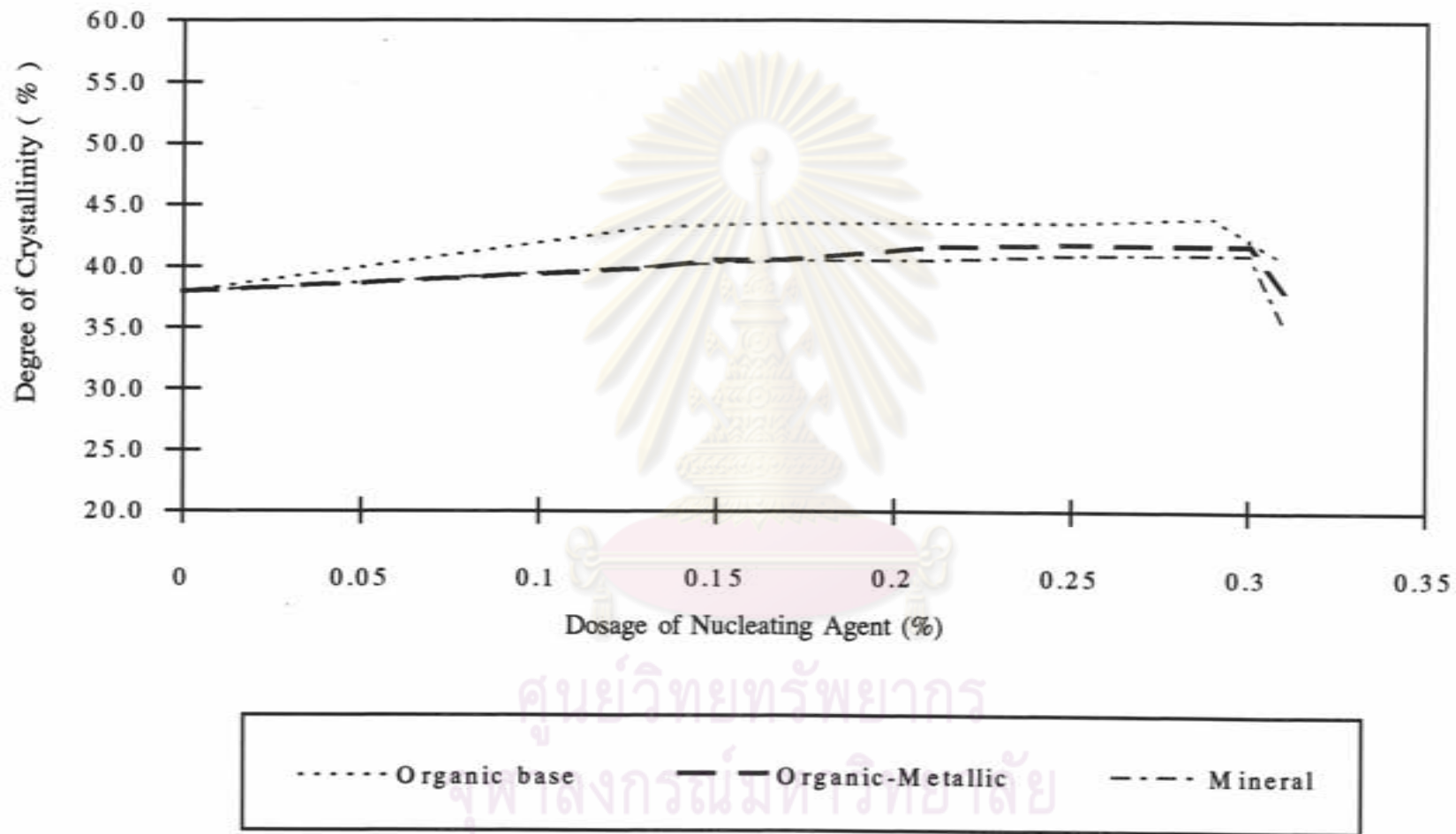
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ T โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



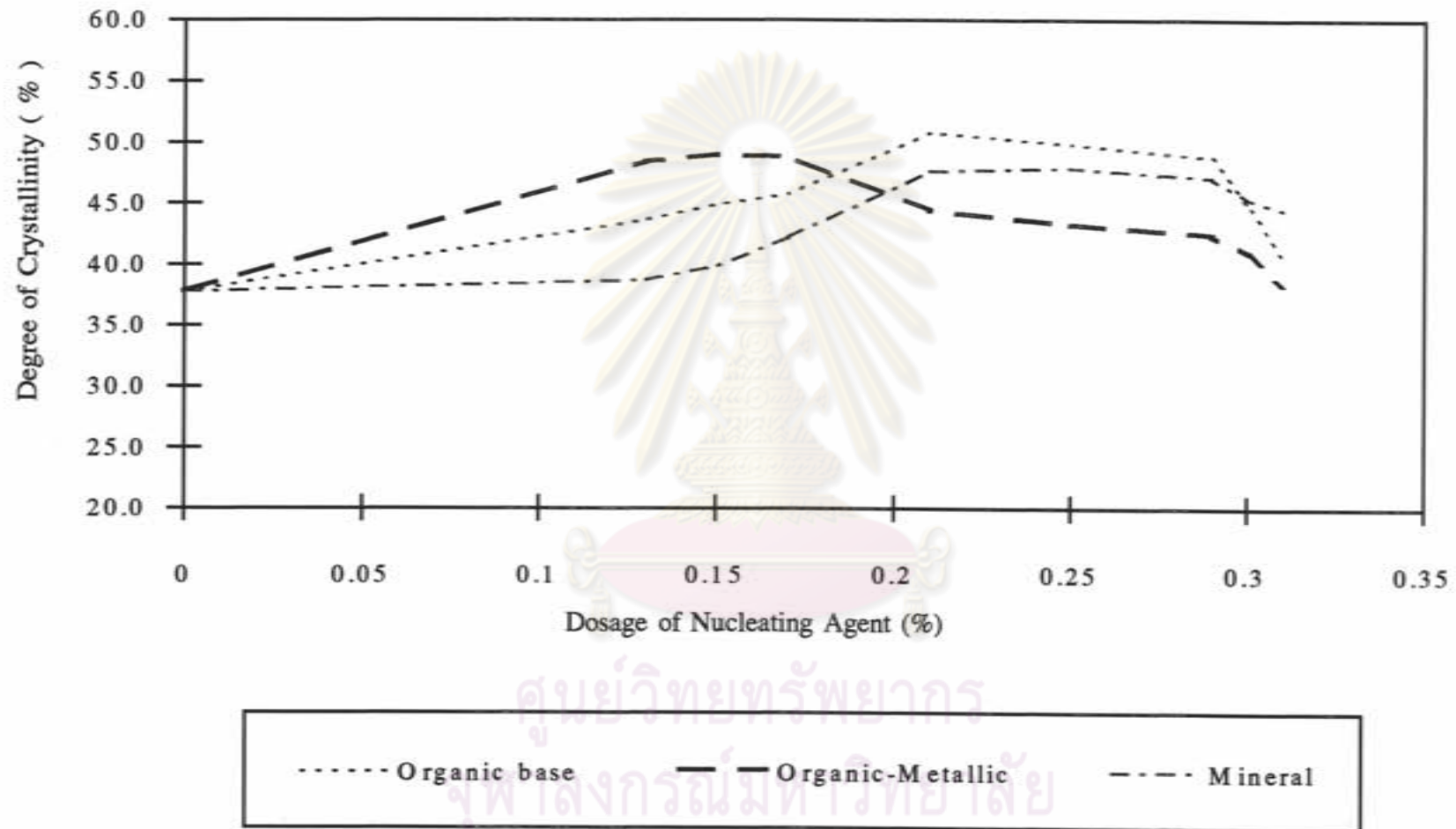
รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบ T โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer

ตารางที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าองศาของความเป็นผลึก เมื่อเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ทั้ง 3 ประเภท ในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ประเภทแรนดัม และประเภทบล็อก

อัตราผสม ของสารก่อตัว คริสตัลไลน์	แรนดัม โคโพลิเมอร์						บล็อกโคโพลิเมอร์					
	Mineral		Organic		Organic Metallic		Mineral		Organic		Organic Metallic	
	Xcr (%)	% change	Xcr (%)	% change	Xcr (%)	% change	Xcr (%)	% change	Xcr (%)	% change	Xcr (%)	% change
0.00%	37.91	-	37.91	-	37.91	-	37.77	-	37.77	-	37.77	-
0.13%	39.95	+5.4	43.15	+13.8	39.85	+5.1	38.71	+2.5	43.62	+15.5	48.39	+28.1
0.15%	40.29	+6.3	43.35	+14.3	40.51	+6.9	39.82	+5.4	44.88	+18.8	48.98	+29.7
0.17%	40.47	+6.8	43.49	+14.7	40.55	+7.0	42.21	+11.8	45.73	+21.1	48.81	+29.2
0.21%	40.5	+6.8	43.51	+14.8	41.57	+9.7	47.65	+26.2	50.82	+34.6	44.4	+17.6
0.25%	40.94	+8.0	43.53	+14.8	41.81	+10.3	47.9	+26.8	49.87	+32.0	43.28	+14.6
0.29%	40.97	+8.1	43.95	+15.9	41.72	+10.1	47.08	+24.6	48.77	+29.1	42.43	+12.3
0.30%	40.97	+8.1	42.21	+11.3	41.72	+10.1	45.35	+20.1	45	+19.1	40.98	+8.5
0.31%	35.23	-7.1	40.51	+6.9	38.15	+0.6	44.45	+17.7	40.71	+7.8	38.44	+1.8



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบ Degree of Crystallinity โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบ Degree of Crystallinity โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer

ผลต่อสมบัติเชิงกลของโพรพิลีนโคโพลิเมอร์

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ประเภทแรนดัม รายงานดังตารางที่ 4.9 - 4.11 และประเภทบล็อก รายงานดังตารางที่ 4.12 - 4.13

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของแรนดัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วยสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Mineral base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Mineral	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Random Copolymer	10.10	3.65	85.00	268.00	237.00	0.70	76.00
0.13%	10.20	4.00	100.00	321.40	342.20	1.06	80.00
0.15%	10.30	4.30	101.00	321.70	343.10	1.05	81.00
0.17%	10.20	4.30	101.00	322.00	342.70	1.07	84.00
0.21%	10.10	4.30	102.00	322.10	341.80	1.07	85.00
0.25%	10.20	4.60	102.00	323.50	349.00	1.06	87.00
0.29%	10.30	4.40	104.00	322.00	360.10	1.07	88.00
0.30%	10.20	4.10	102.00	325.10	361.10	1.06	88.00
0.31%	10.20	4.00	101.00	324.70	362.10	1.06	88.00

- REMARK
- MFI = คำนีการไหล (Melt Flow Index)
 - NI = ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)
 - HR = ความแข็ง (Hardness)
 - TSY = ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)
 - FS = ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)
 - FM = โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)
 - HDT = อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของแรนคัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Organic base	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Random Copolymer	10.10	3.65	85.00	268.00	237.00	0.70	76.00
0.13%	10.30	4.10	89.00	332.90	365.20	1.15	97.00
0.15%	10.20	4.10	90.00	334.40	360.10	1.16	98.00
0.17%	10.20	4.10	88.00	340.10	360.60	1.17	99.00
0.21%	10.20	4.50	89.00	344.70	363.20	1.19	98.00
0.25%	10.10	4.80	90.00	354.40	375.10	1.22	99.00
0.29%	10.20	4.40	89.00	359.10	380.00	1.20	99.00
0.30%	10.30	4.40	89.00	359.40	381.20	1.20	99.00
0.31%	10.20	4.20	89.00	360.80	381.50	1.20	99.00

REMARK

MFI = คำนีการไหล (Melt Flow Index)

NI = ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)

HR = ความแข็ง (Hardness)

TSY = ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)

FS = ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)

FM = โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)

HDT = อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของเรณดัม โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic - Metallic ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Organic - Metallic	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Random Copolymer	10.10	3.65	85.00	269.00	237.00	0.60	76.00
0.13%	10.10	4.20	99.00	334.30	360.80	1.16	85.00
0.15%	10.20	4.40	99.00	330.70	361.70	1.16	87.00
0.17%	10.30	4.50	99.00	332.50	365.40	1.19	89.00
0.21%	10.20	4.30	99.00	332.80	366.10	1.20	90.00
0.25%	10.30	4.30	98.00	334.60	368.10	1.21	88.00
0.29%	10.30	4.40	100.00	332.90	367.70	1.22	89.00
0.30%	10.20	4.30	99.00	334.70	367.40	1.20	90.00
0.31%	10.10	4.20	99.00	330.90	366.90	1.20	90.00

REMARK	MFI	=	ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)
	NI	=	ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)
	HR	=	ความแข็ง (Hardness)
	TSY	=	ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)
	FS	=	ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)
	FM	=	โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)
	HDT	=	อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของบล็อก โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Mineral base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Mineral base	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Block Copolymer	8.30	10.00	88.00	165.00	296.00	0.80	81.00
0.13%	8.20	10.10	100.00	182.10	350.80	1.04	110.00
0.15%	8.20	10.10	100.00	181.00	351.00	1.05	112.00
0.17%	8.30	10.10	99.00	182.00	350.90	1.04	115.00
0.21%	8.40	10.10	99.00	189.10	355.10	1.02	115.00
0.25%	8.40	11.10	100.00	189.10	355.10	1.01	117.00
0.29%	8.40	11.00	100.00	186.30	360.50	1.04	117.00
0.30%	8.30	11.00	100.00	186.00	360.50	1.04	117.00
0.31%	8.20	11.00	100.00	186.00	360.50	1.02	117.00

REMARK

MFI = ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

NI = ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)

HR = ความแข็ง (Hardness)

TSY = ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)

FS = ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)

FM = โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)

HDT = อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของบล็อก โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Organic base	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Block Copolymer	8.30	10.00	88.00	165.00	296.00	0.80	81.00
0.13%	8.40	10.20	99.00	263.30	375.90	1.30	100.00
0.15%	8.30	10.20	100.00	269.80	377.10	1.36	107.00
0.17%	8.20	10.70	100.00	270.70	401.00	1.50	112.00
0.21%	8.30	10.70	100.00	267.50	399.50	1.47	111.00
0.25%	8.40	10.70	100.00	266.90	399.50	1.47	110.00
0.29%	8.30	10.70	100.00	266.00	398.90	1.47	111.00
0.30%	8.30	10.70	100.00	266.00	398.90	1.45	110.00
0.31%	8.30	10.70	100.00	266.00	398.90	1.45	110.00

REMARK

MFI = ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

NI = ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)

HR = ความแข็ง (Hardness)

TSY = ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)

FS = ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)

FM = โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)

HDT = อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองวัดค่าสมบัติเชิงกล ของบล็อก โคโพลิเมอร์ ที่ถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic Metallic ที่อัตราผสมต่าง ๆ

Dosage of Nucleating Agent	MFI	NI	HR	TSY	FS	FM*104	HDT
Organic-metallic	g / 10 min.	kg.cm/cm	R-scale	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	deg.c
Pure Block Copolymer	8.30	10.00	88.00	165.00	296.00	0.80	81.00
0.13%	8.30	10.10	89.00	249.50	350.10	1.22	110.10
0.15%	8.20	10.40	90.00	252.40	361.00	1.27	117.00
0.17%	8.10	10.40	97.00	252.10	363.90	1.27	115.30
0.21%	8.30	10.20	97.00	252.10	361.10	1.26	115.30
0.25%	8.30	10.20	97.00	252.10	361.10	1.24	115.00
0.29%	8.30	10.30	96.00	251.90	361.10	1.24	115.00
0.30%	8.40	10.20	96.00	251.90	361.10	1.24	115.00
0.31%	8.30	10.20	96.00	251.90	359.20	1.24	115.00

REMARK

MFI = ดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

NI = ความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notched Impact)

HR = ความแข็ง (Hardness)

TSY = ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength at yield)

FS = ความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength)

FM = โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)

HDT = อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

1. ผลต่อค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index)

ในการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ทั้ง 3 ประเภท ในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ทั้ง 2 ประเภท ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการไหล ค่าดัชนีการไหล มีค่าอยู่ระหว่าง 10.1 - 10.3 g/10 min สำหรับแรนดัมโคโพลิเมอร์ และ 8.1 - 8.4 g/10 min สำหรับบล็อกโคโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11

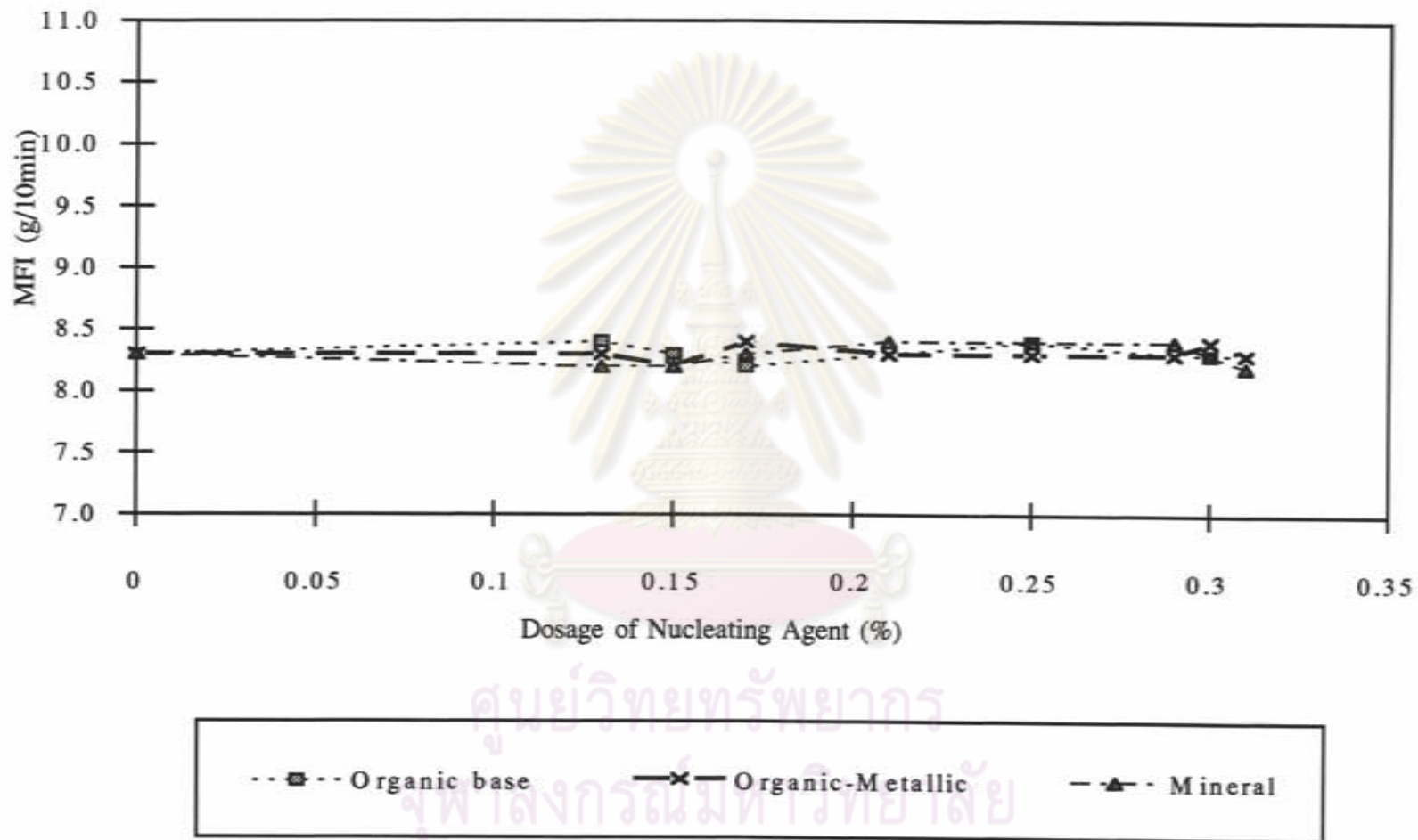
2. ผลต่อความต้านทานแรงกระแทก (Izod Notch Impact)

พิจารณารูปที่ 4.12 เมื่อเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Mineral ค่าต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่ในช่วงอัตราผสมต้นๆ อัตราผสมที่ให้ค่าต้านทานแรงกระแทกสูงสุด ทั้งแรนดัมโคโพลิเมอร์ และบล็อกโคโพลิเมอร์ คือ 0.25% สำหรับสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base และ Organic Metallic ก็เช่นกัน ค่าต้านทานแรงกระแทกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อัตราผสมที่ให้ค่าต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นสูงสุด สำหรับสารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base ได้แก่ 0.21% สำหรับแรนดัมโคโพลิเมอร์ และ 0.17% สำหรับบล็อกโคโพลิเมอร์ ตามลำดับ และ อัตราผสมที่ให้ค่าต้านทานแรงกระแทกสูงสุดสำหรับสารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic Metallic ได้แก่ 0.17% สำหรับแรนดัมโคโพลิเมอร์ และ 0.15% สำหรับ บล็อกโคโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูป 4.13 และ 4.14

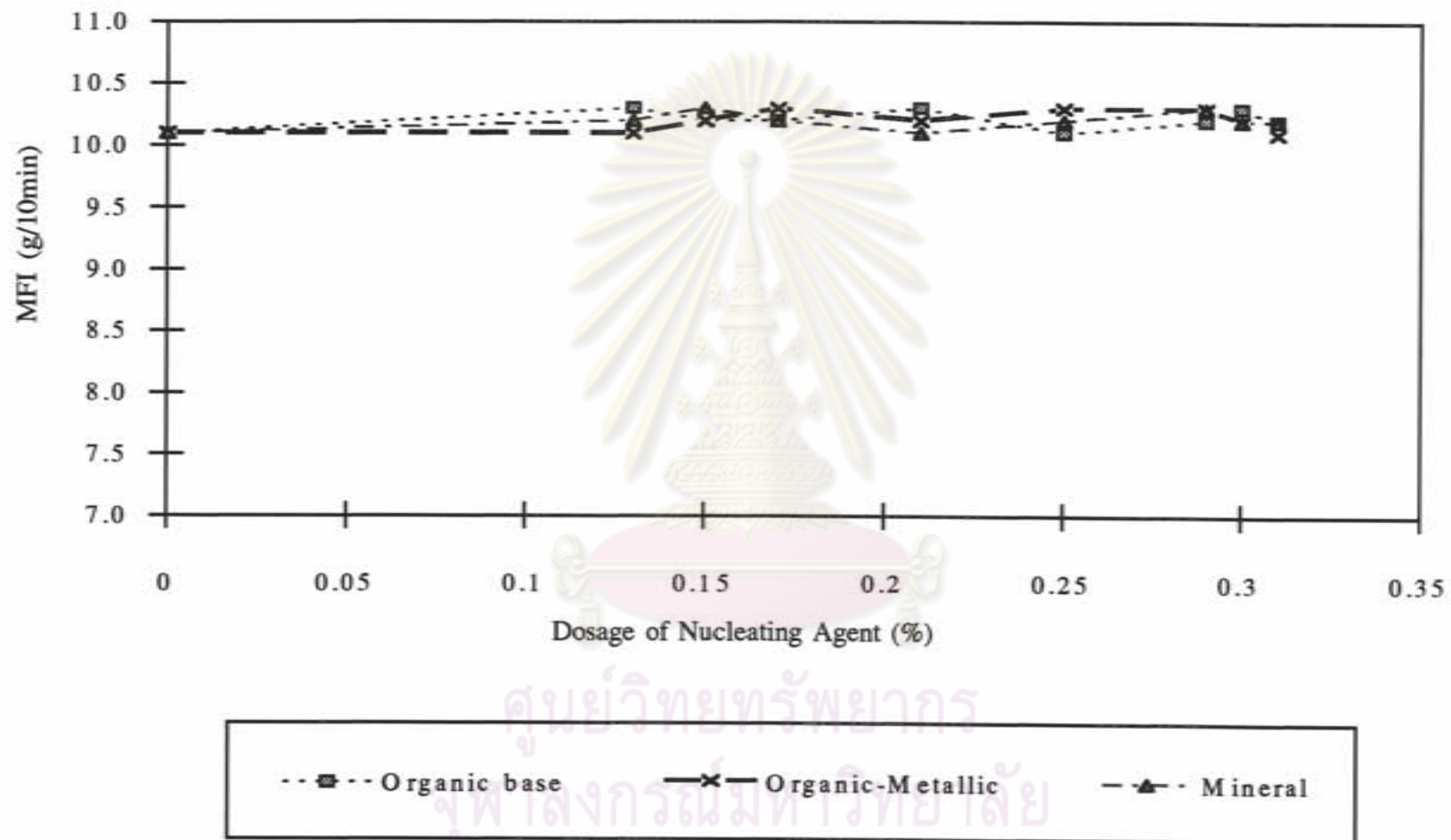
เมื่อพิจารณาผลของประเภทของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ต่อค่าต้านทานแรงกระแทกในแรนดัมโคโพลิเมอร์ จากรูปที่ 4.15 พบว่า ทั้ง 3 ประเภท ให้ค่าต้านทานแรงกระแทกที่ระดับพอ ๆ กันโดยถ้าพิจารณาอัตราผสม จะลำดับอัตราผสมของประเภทสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ได้ดังนี้ Mineral > Organic base > Organic Metallic สำหรับบล็อกโคโพลิเมอร์ จะเห็นว่า ประเภท Mineral ให้ค่าแรงกระแทกสูงสุด แต่ใช้ในอัตราผสมที่สูงสุดด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16

3. ผลต่อความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

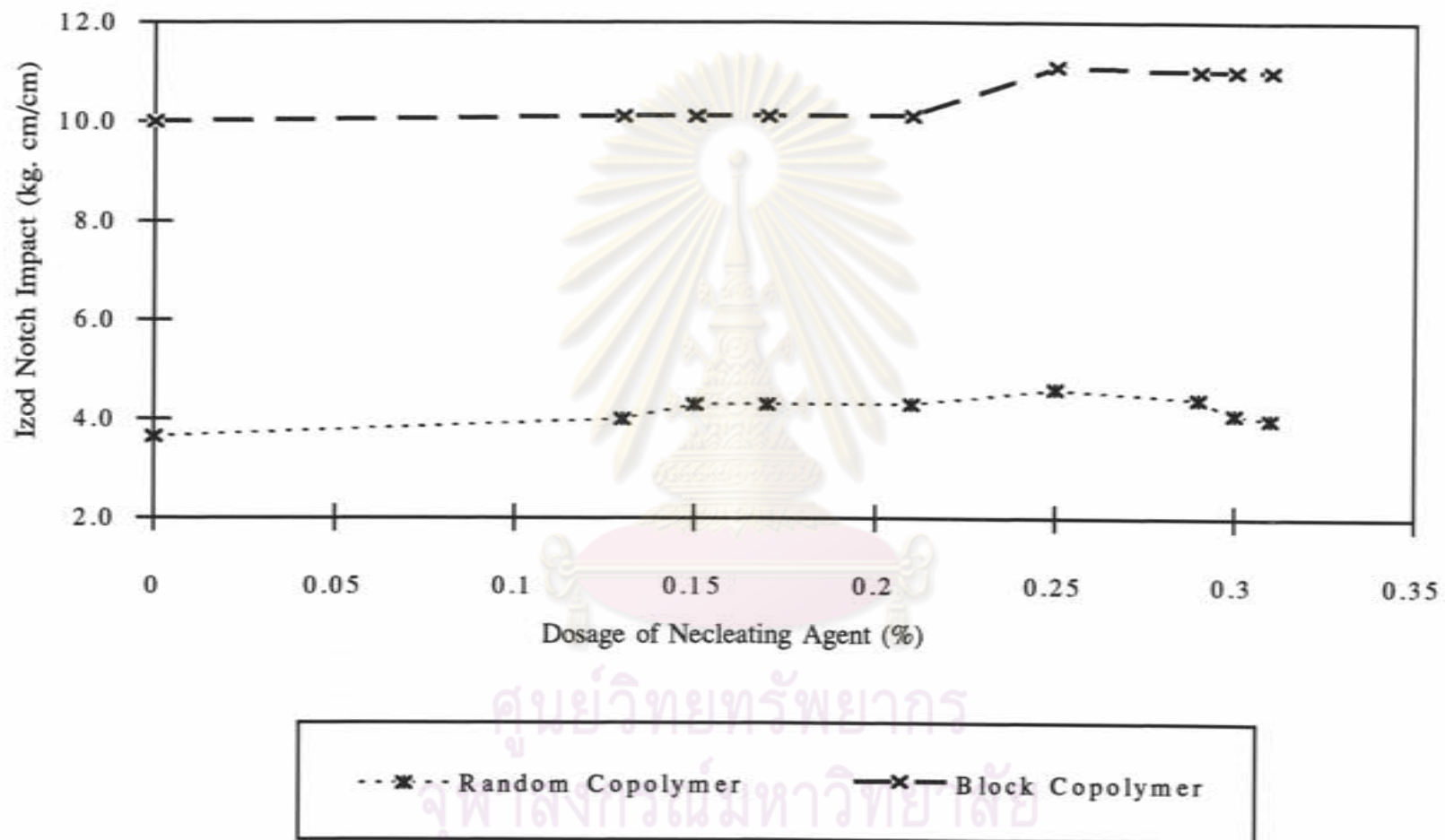
ผลของการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท ทั้งในแรนดัมโคโพลิเมอร์ และบล็อกโคโพลิเมอร์ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้นทั้งหมด แสดงได้ในรูปที่ 4.17 - 4.21 การใช้สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base และ Organic Metallic จะเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงได้สูง กว่าประเภท Mineral ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 เส้นกราฟชันขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง อัตราผสมแรกๆ และเริ่มคงที่ได้ในช่วงอัตราผสมที่ 0.15-0.17% ในขณะที่ประเภท Mineral เส้นกราฟค่อยๆชันขึ้นไม่มาก และคงที่ในที่สุด ลำดับของประเภทของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ที่เพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ ทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ Organic base > Organic Metallic > Mineral ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



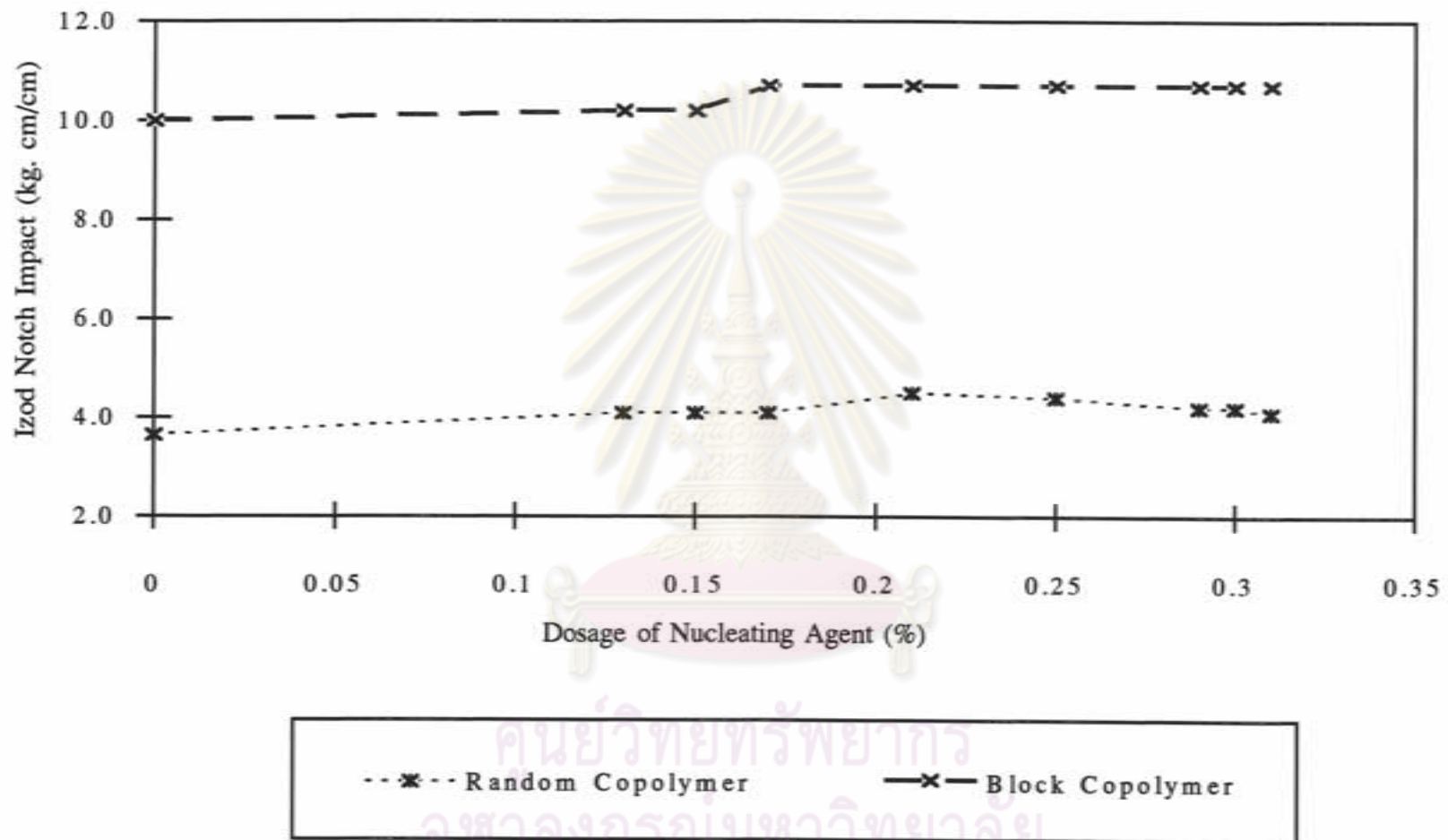
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบ Melt flow index โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



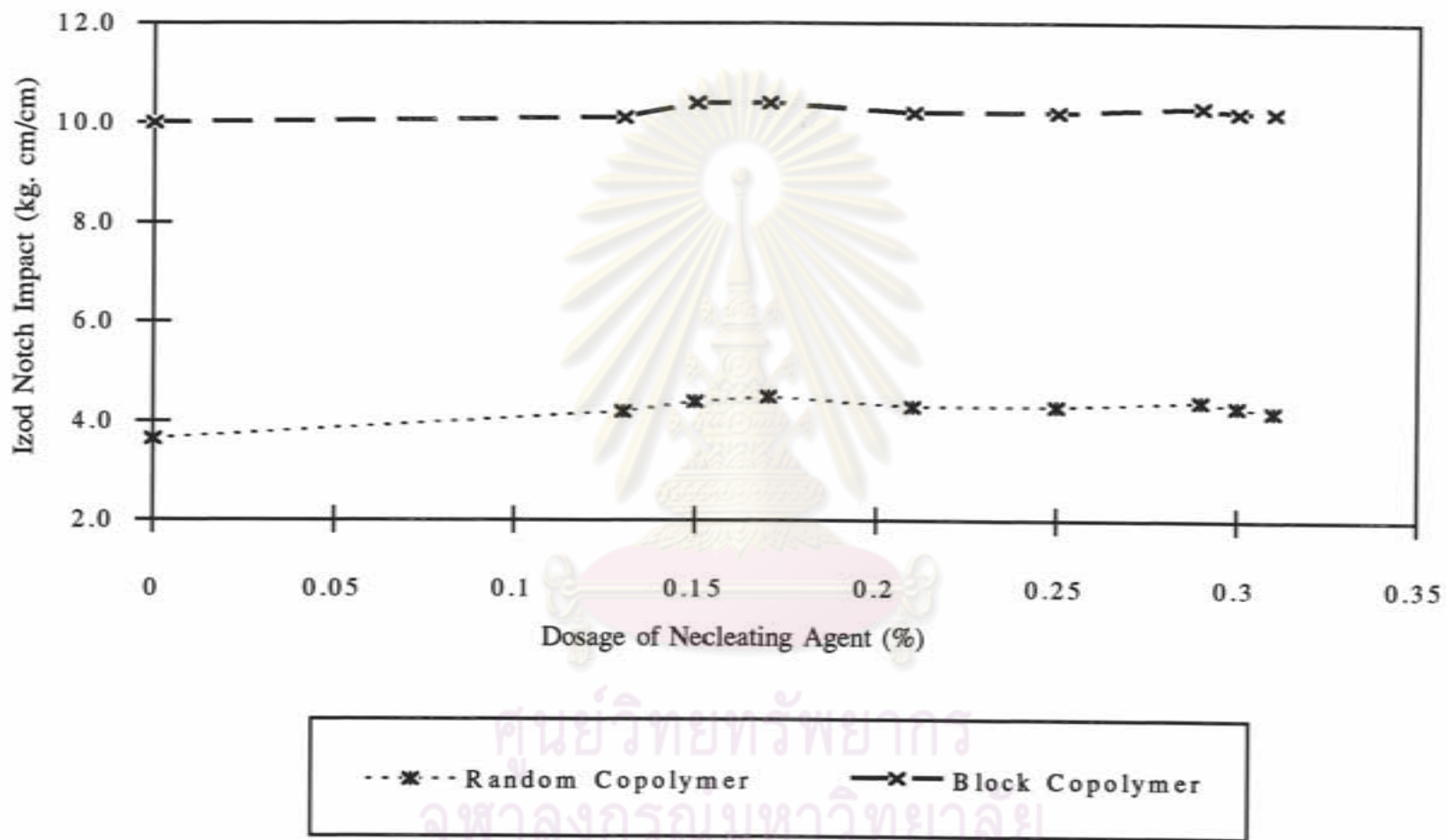
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบ Melt flow index โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer



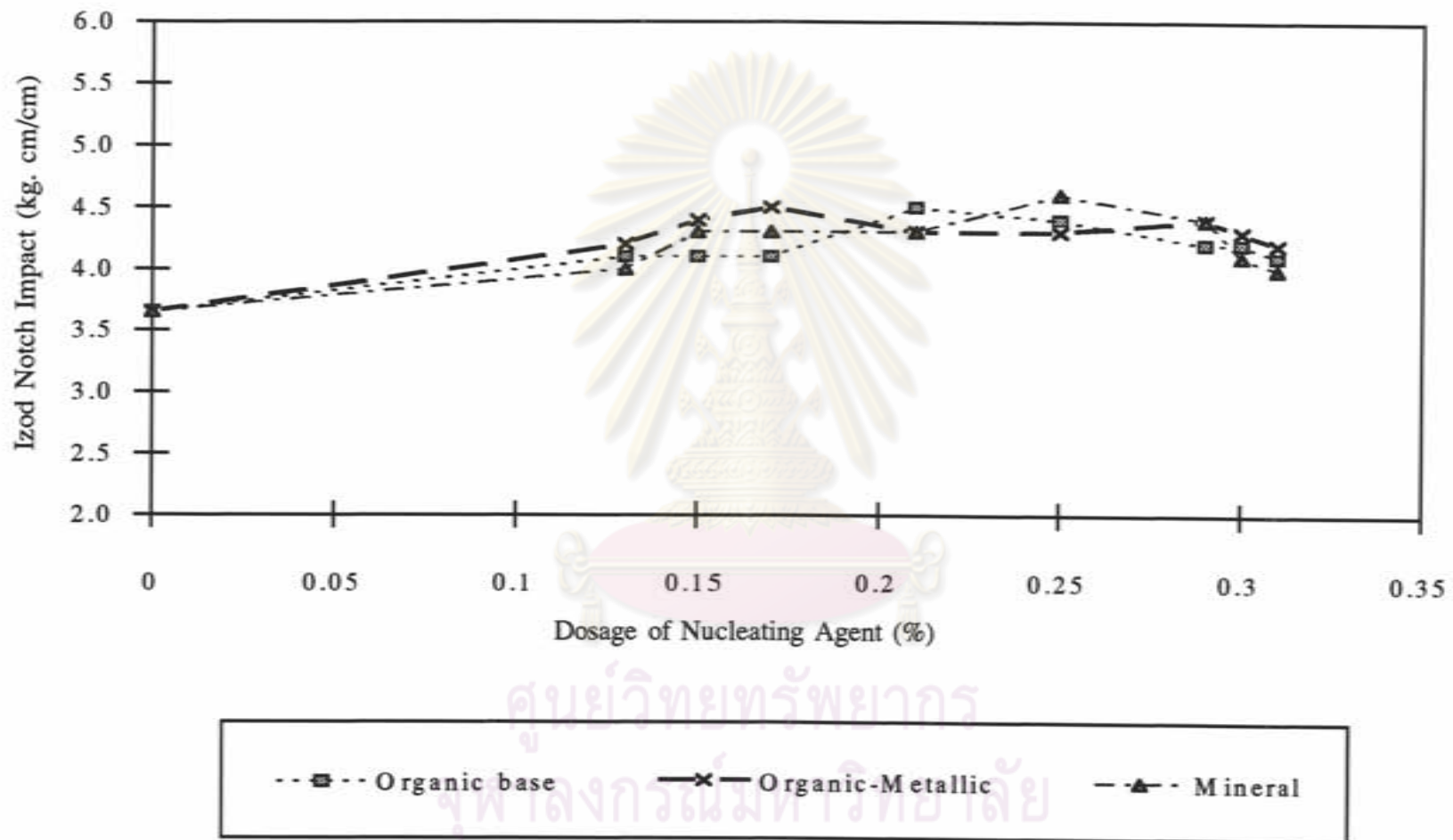
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบ Izod Notch Impact ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



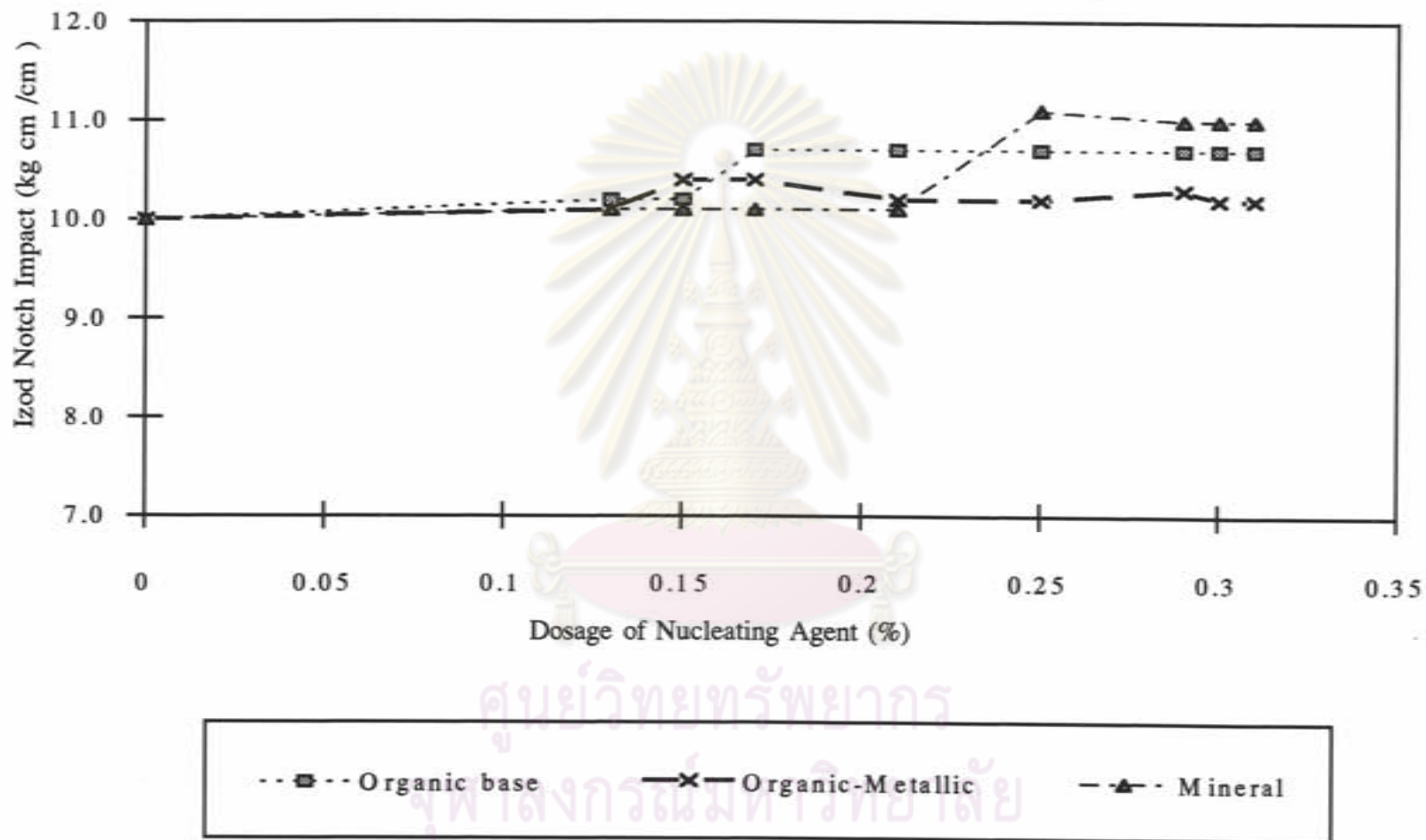
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบ Izod Notch Impact ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



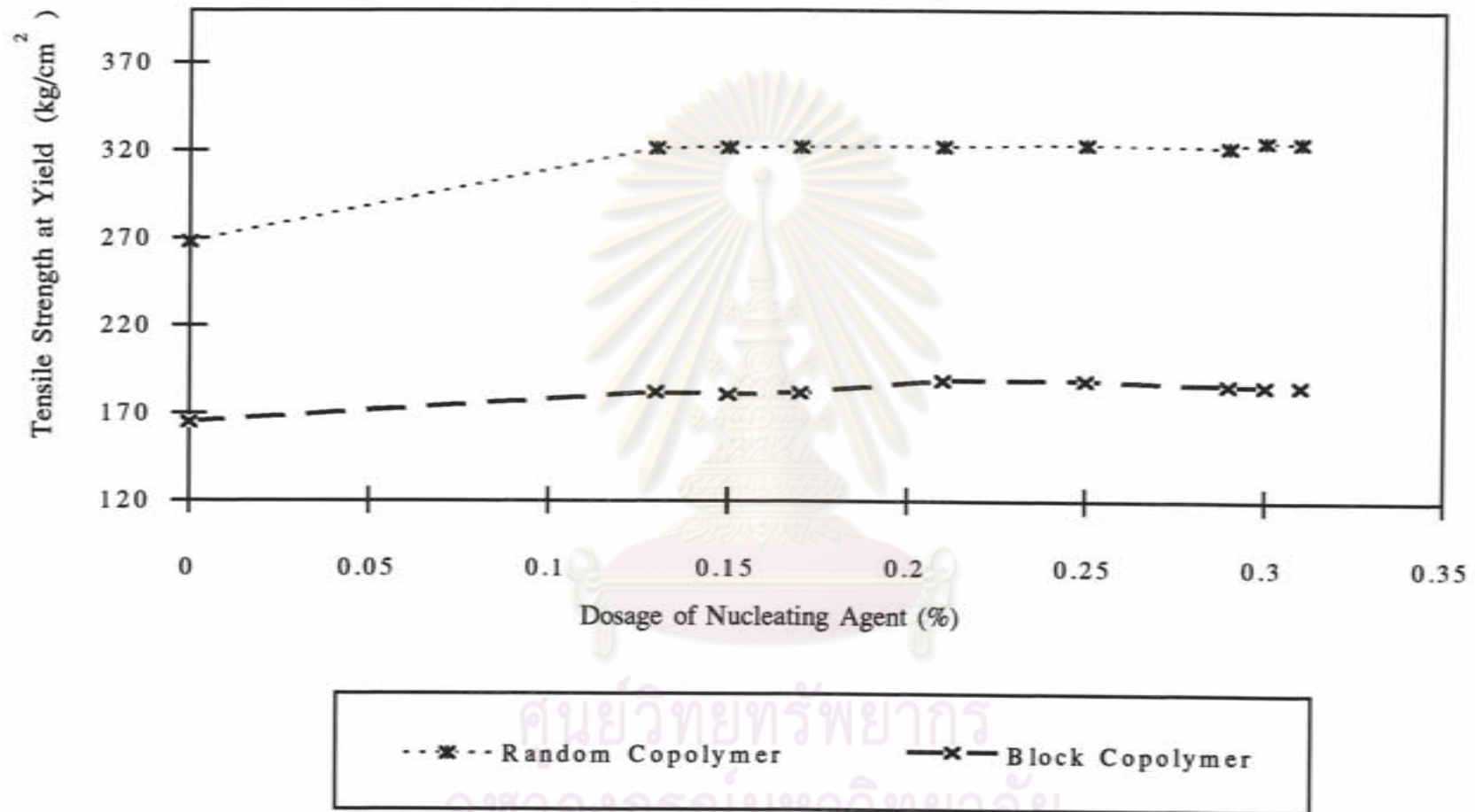
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบ Izod Notch Impact ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



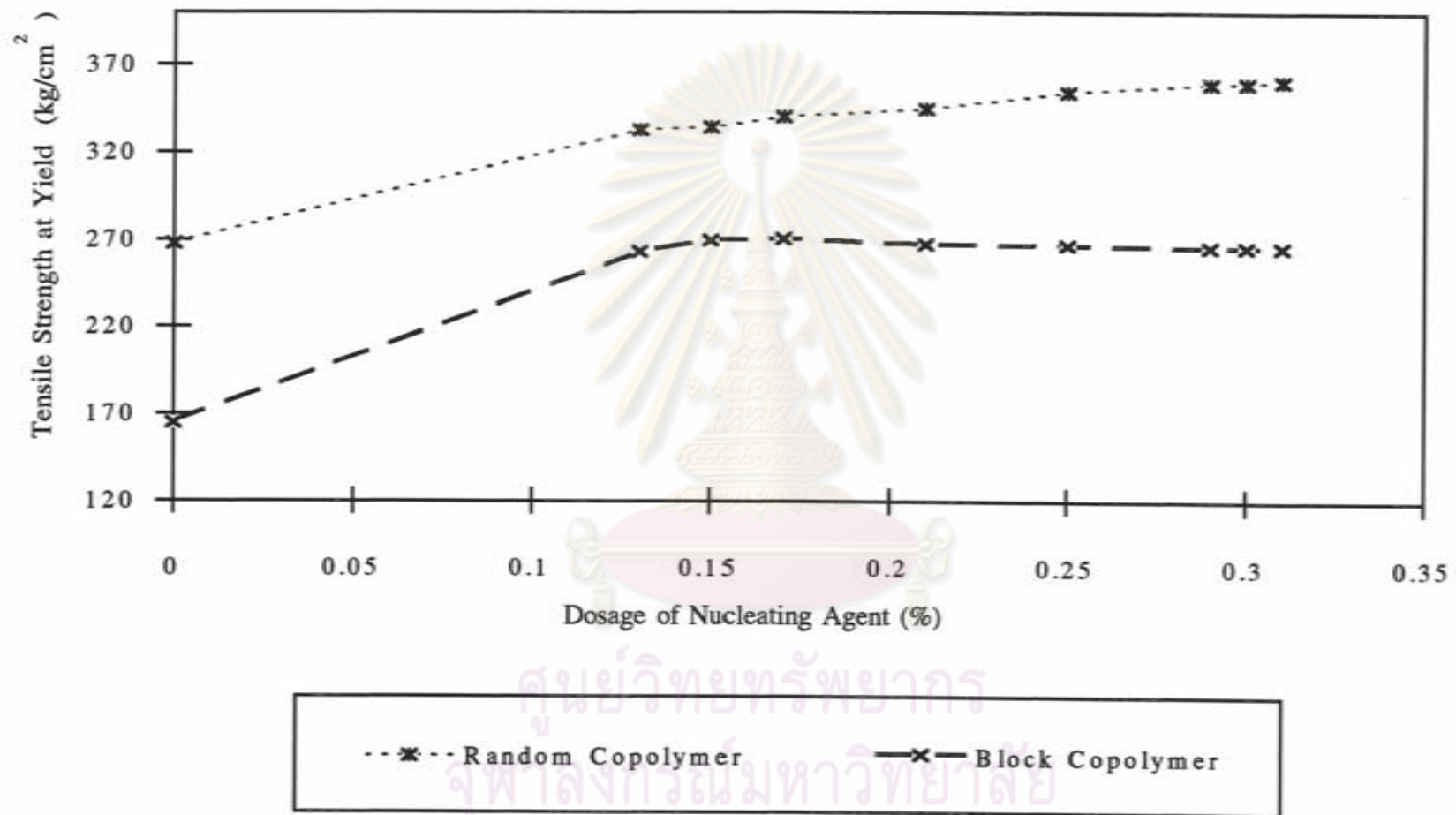
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบ Izod Notch Impact โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



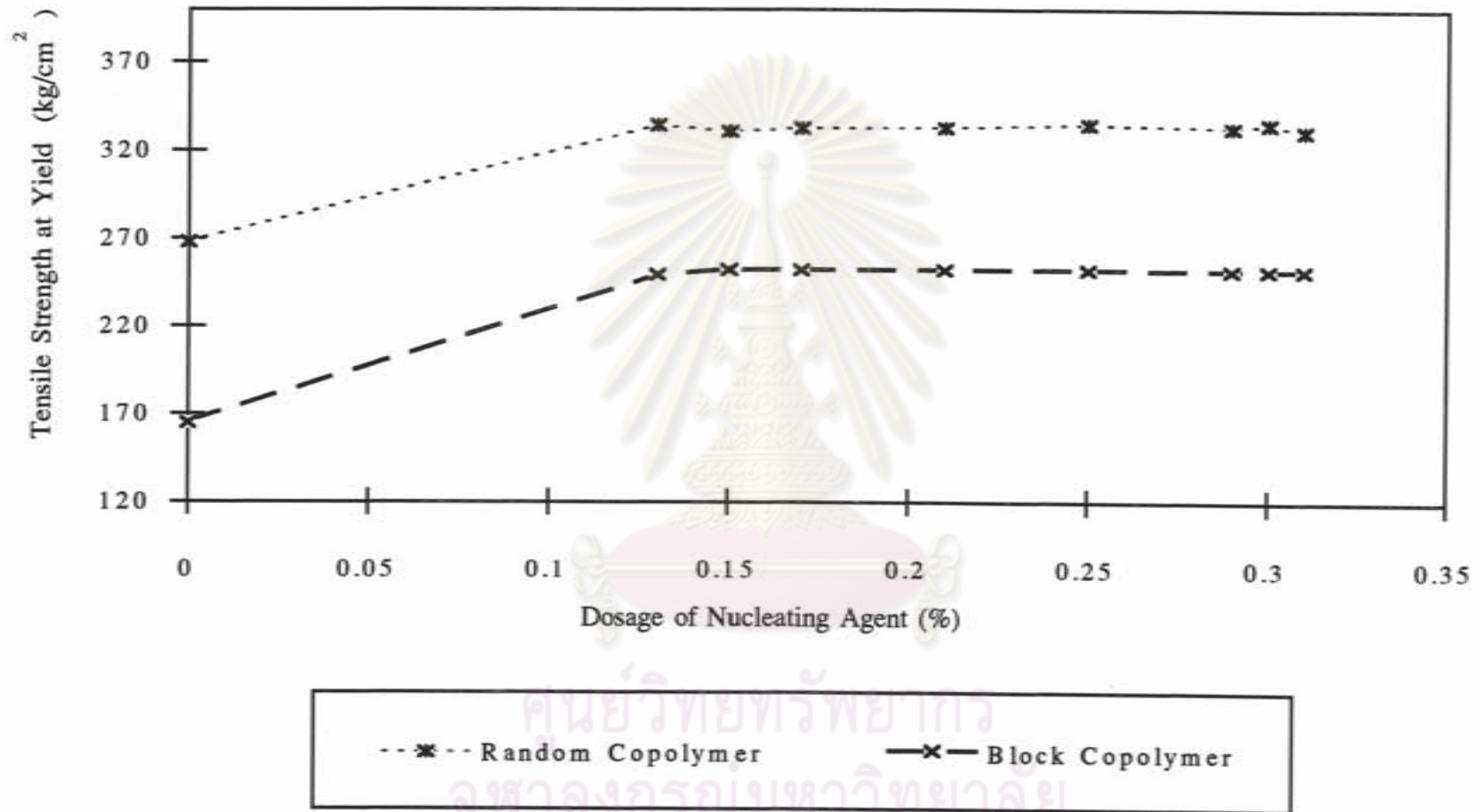
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบ Izod Notch Impact โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer ๕



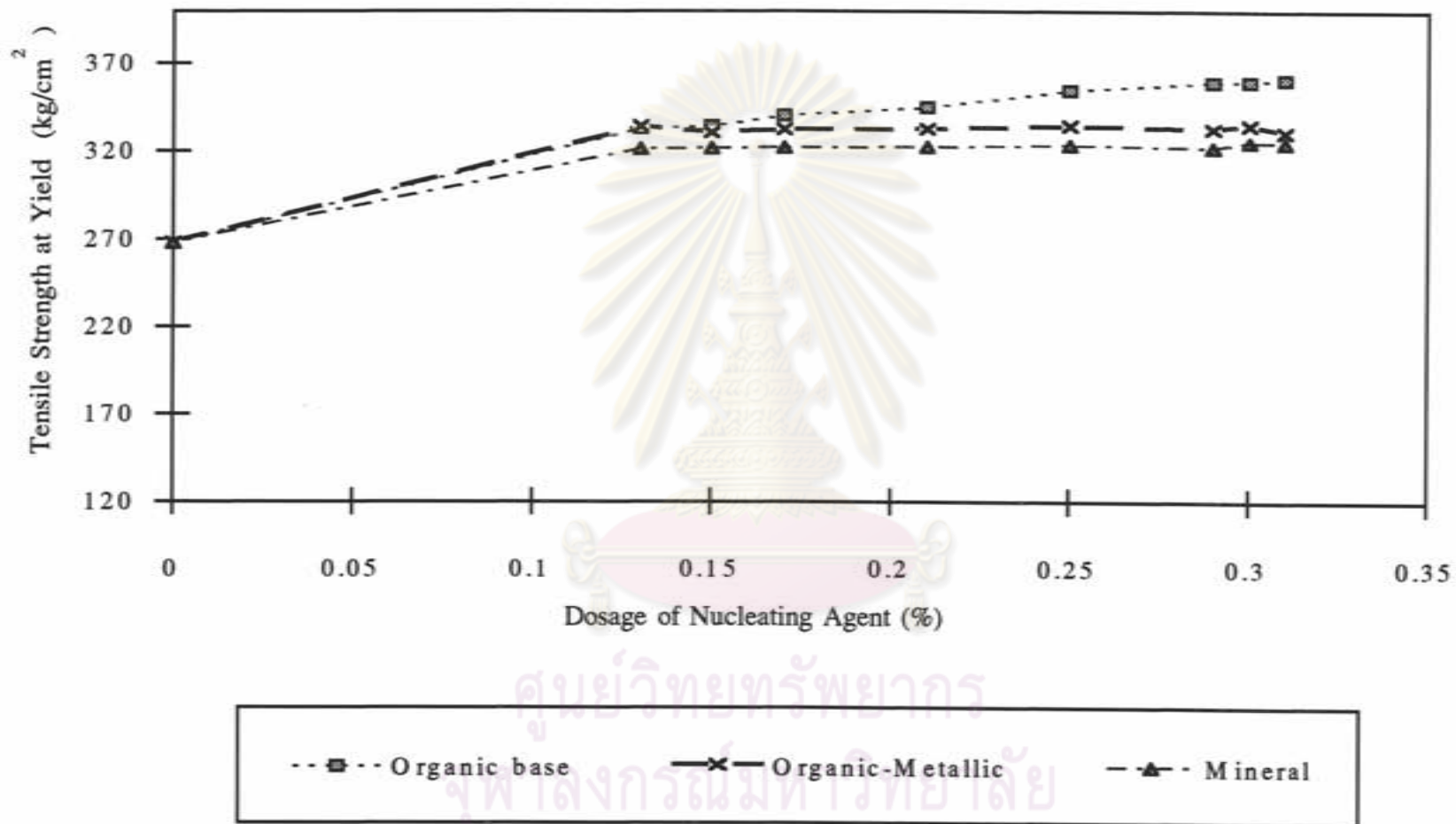
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile Strength at Yield ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



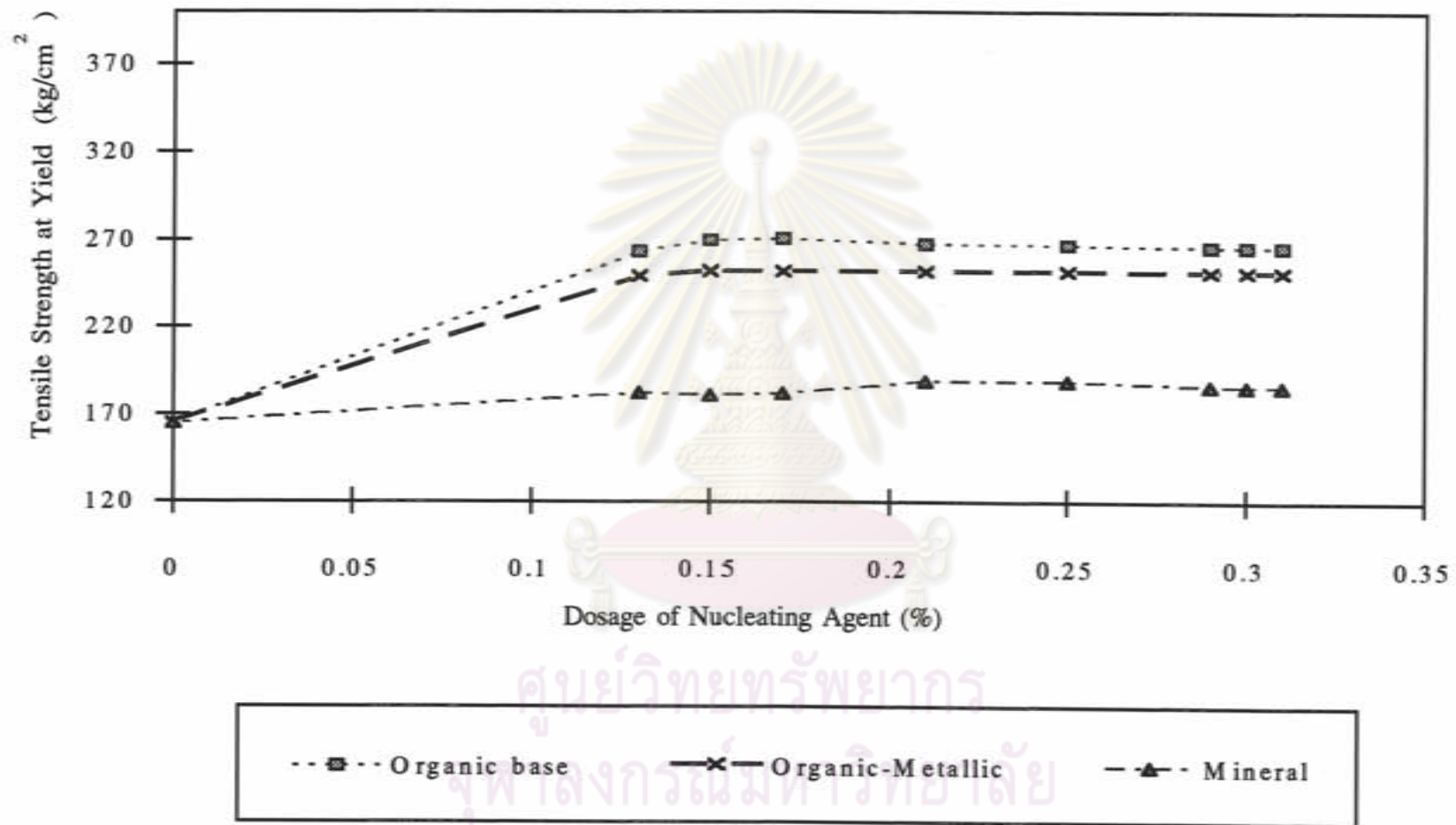
รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile Strength at Yield ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile Strength at Yield ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile Strength at Yield โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile Strength at Yield โดยใช้ Nucleating agent 3ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer

4. ผลต่อความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของทั้งแรนดัมโคโพลิเมอร์ และบล็อกโคโพลิเมอร์ เพิ่มขึ้นเมื่อถูกเติมด้วย สารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท พิจารณารูปที่ 4.22 การเติม Mineral ในโพรพิลีนโคโพลิเมอร์ทั้ง 2 ประเภทให้ค่าความแข็งที่สูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในแรนดัมโคโพลิเมอร์จะเพิ่มค่าความแข็งในระดับที่สูงกว่า บล็อกโคโพลิเมอร์เล็กน้อย ส่วนการเติม Organic base ค่าความแข็งค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทั้งแรนดัมและบล็อกโคโพลิเมอร์ แต่ สำหรับการเติม Organic Metallic มีเพียงแรนดัมโคโพลิเมอร์ เท่านั้นที่ค่าความแข็งสูงสุดขึ้นทันที ที่เติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ส่วนบล็อกโคโพลิเมอร์ ค่าความแข็งค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และสูงสุดที่อัตราผสม 0.17 % ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24

เมื่อพิจารณาประเภทของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ดังกราฟรูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าประเภท Organic base ให้ค่าความแข็งเพิ่มสูงที่สุดทั้ง แรนดัมและบล็อกโคโพลิเมอร์

5. ผลต่อค่าความทนต่อการบิดงอ (Flexural Strength) และ โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus)

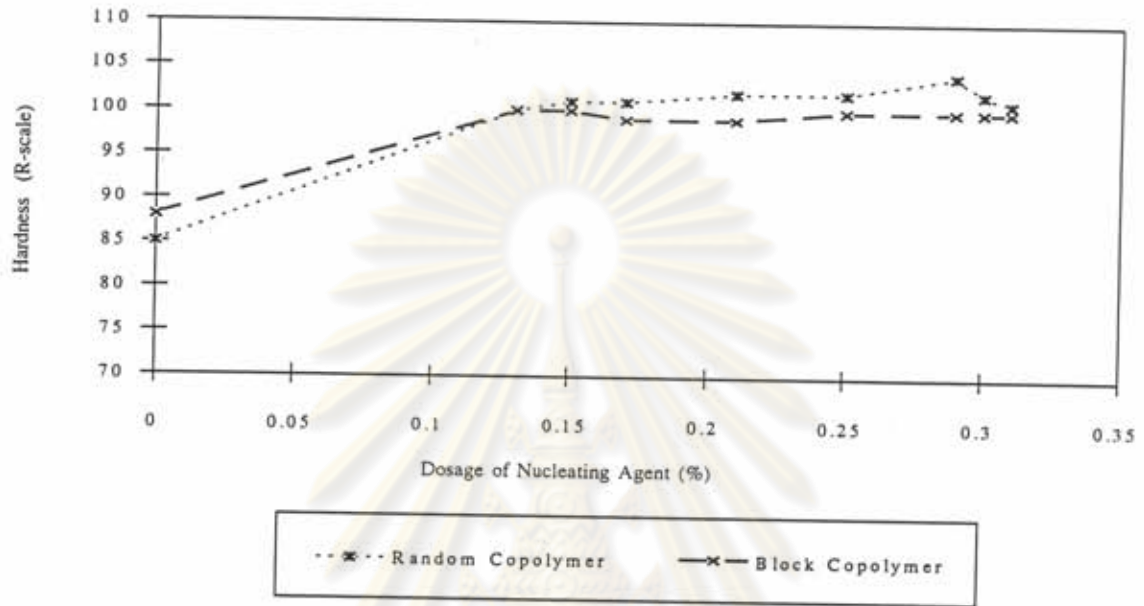
ผลของการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท ทำให้ค่าความทนต่อการบิดงอ และโมดูลัสของการบิดงอเพิ่มขึ้น ทั้งแรนดัม และบล็อกโคโพลิเมอร์ เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.27 - 4.29 จะเห็นว่าในการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ ทั้ง 3 ประเภท ทำให้ค่าความทนต่อการบิดงอของแรนดัมโคโพลิเมอร์สูงขึ้น จนใกล้เคียงค่าความทนต่อการบิดงอของบล็อกโคโพลิเมอร์ สารก่อตัวคริสตัลไลน์ ประเภท Organic base ให้ค่าความทนต่อการบิดงอสูงสุด รองลงมาได้แก่ Organic Metallic และ Mineral ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.30 และ 4.31

จากรูปที่ 4.32 - 4.36 ก็เช่นเดียวกัน การเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภทมีผลทำให้ค่าโมดูลัสของการบิดงอสูงขึ้น ทั้งแรนดัม และบล็อกโคโพลิเมอร์ สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base ก็ให้ค่าโมดูลัสของการบิดงอที่สูงที่สุดเช่นกัน

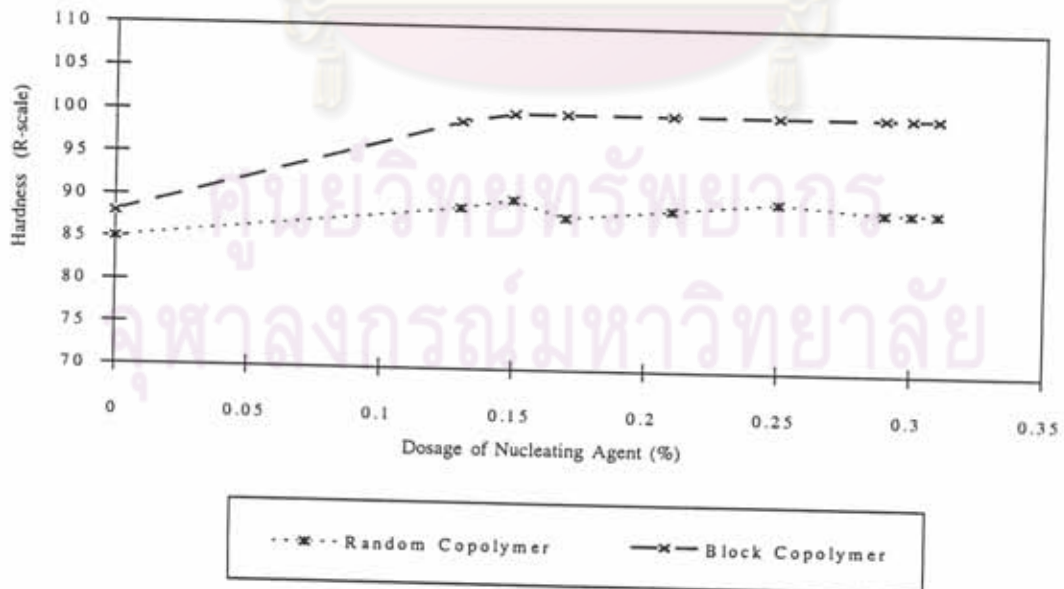
6. ผลต่ออุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อน (Heat Deflection Temperature)

ผลของการเติมสารก่อตัวคริสตัลไลน์ทั้ง 3 ประเภท ทำให้อุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อนสูงขึ้นนั่นหมายถึงสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้นที่จะเสียรูปไปทั้งในแรนดัมโคโพลิเมอร์และบล็อกโคโพลิเมอร์ สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic base จะให้ค่าอุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อนเพิ่มสูงสุด รองลงมาได้แก่ Organic Metallic และ Mineral ตามลำดับ สำหรับแรนดัมโคโพลิเมอร์ แต่สำหรับ บล็อกโคโพลิเมอร์ สารก่อตัวคริสตัลไลน์ประเภท Organic Metallic และ Mineral ให้ค่าการเพิ่มของอุณหภูมิการบิดเบี้ยวด้วยความร้อนมากที่สุด แต่

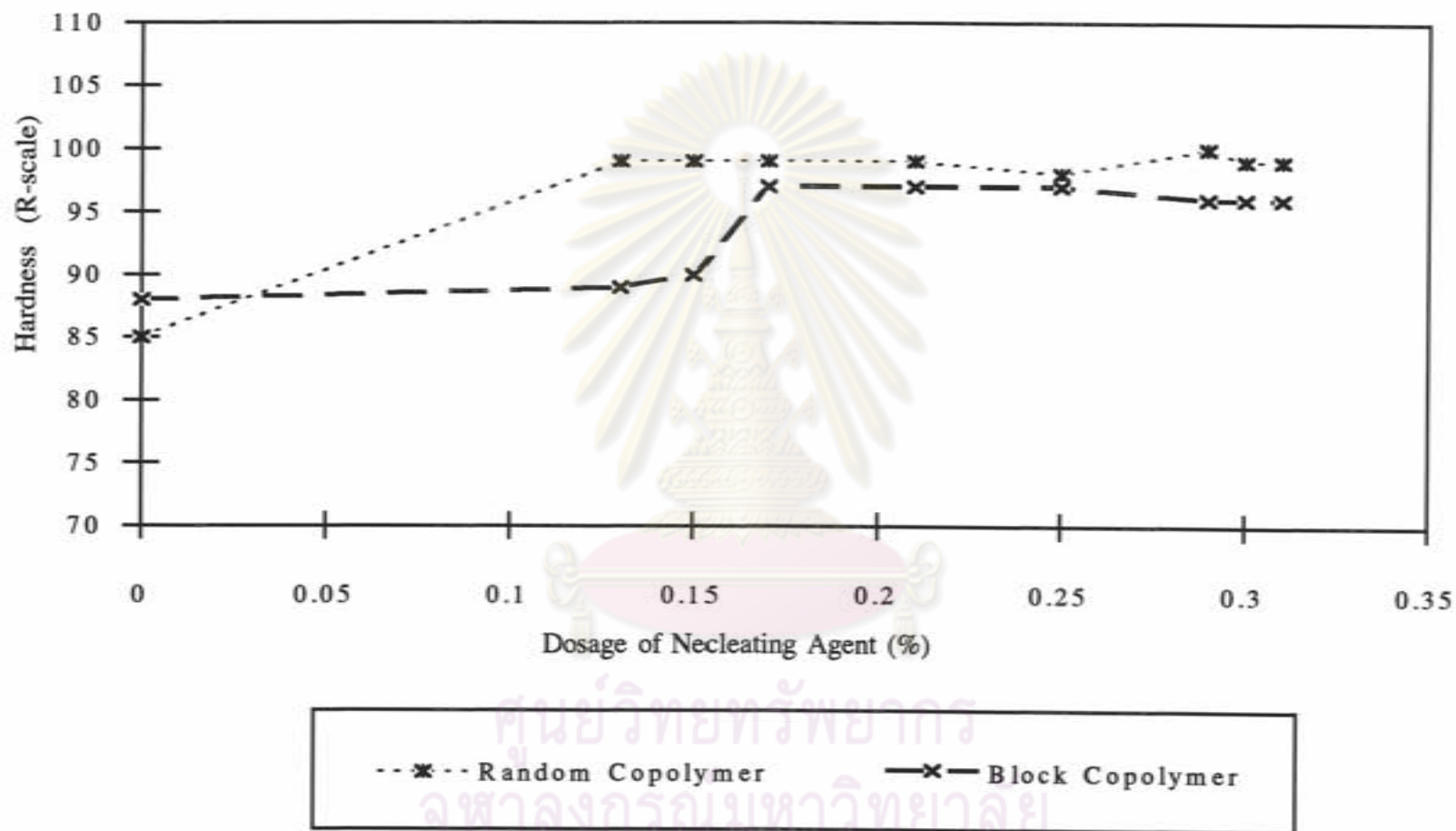
อัตราผสมของ Organic Metallic น้อยกว่า Mineral และรองลงมาได้แก่ Organic base ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.37 - 4.41



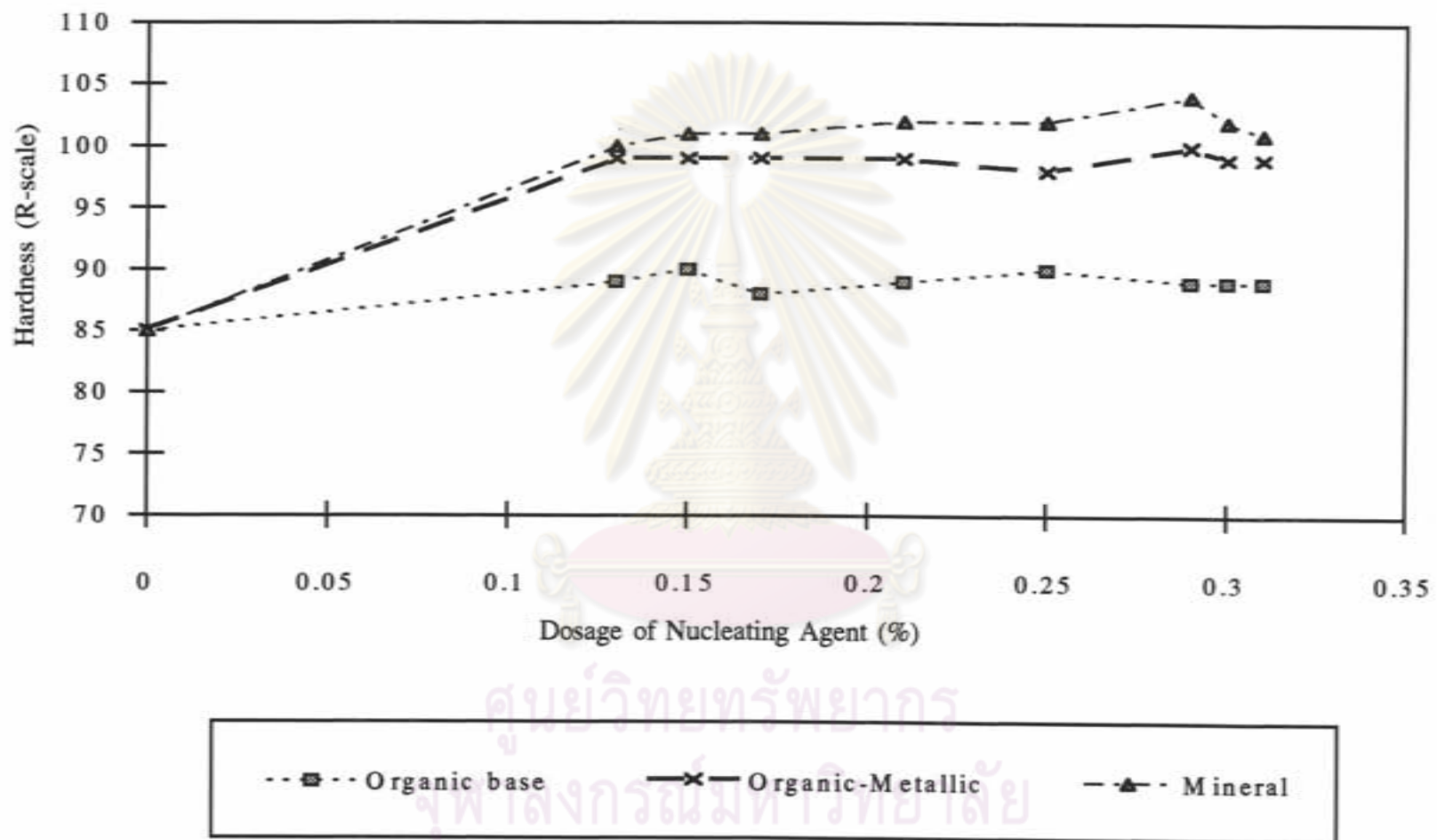
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



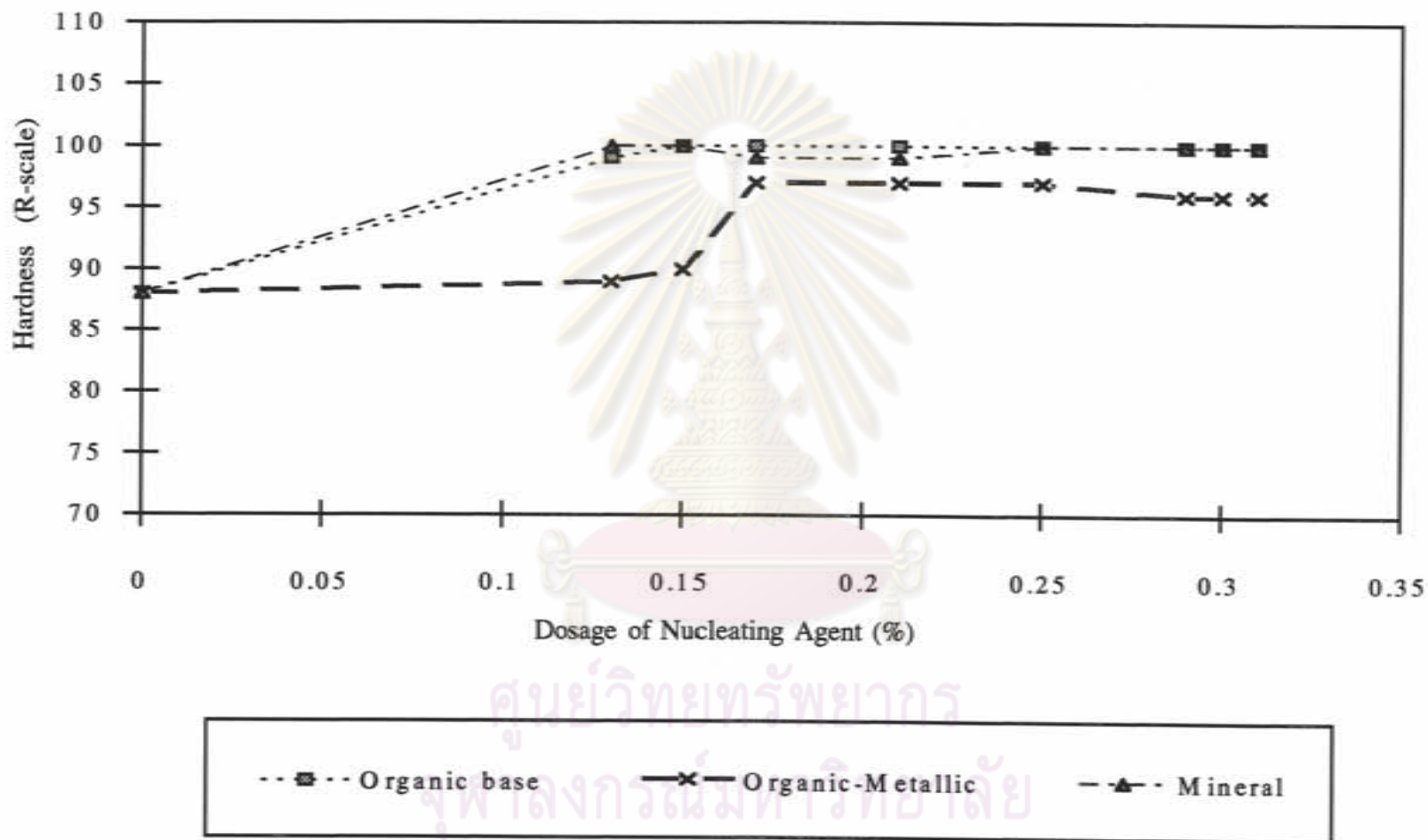
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



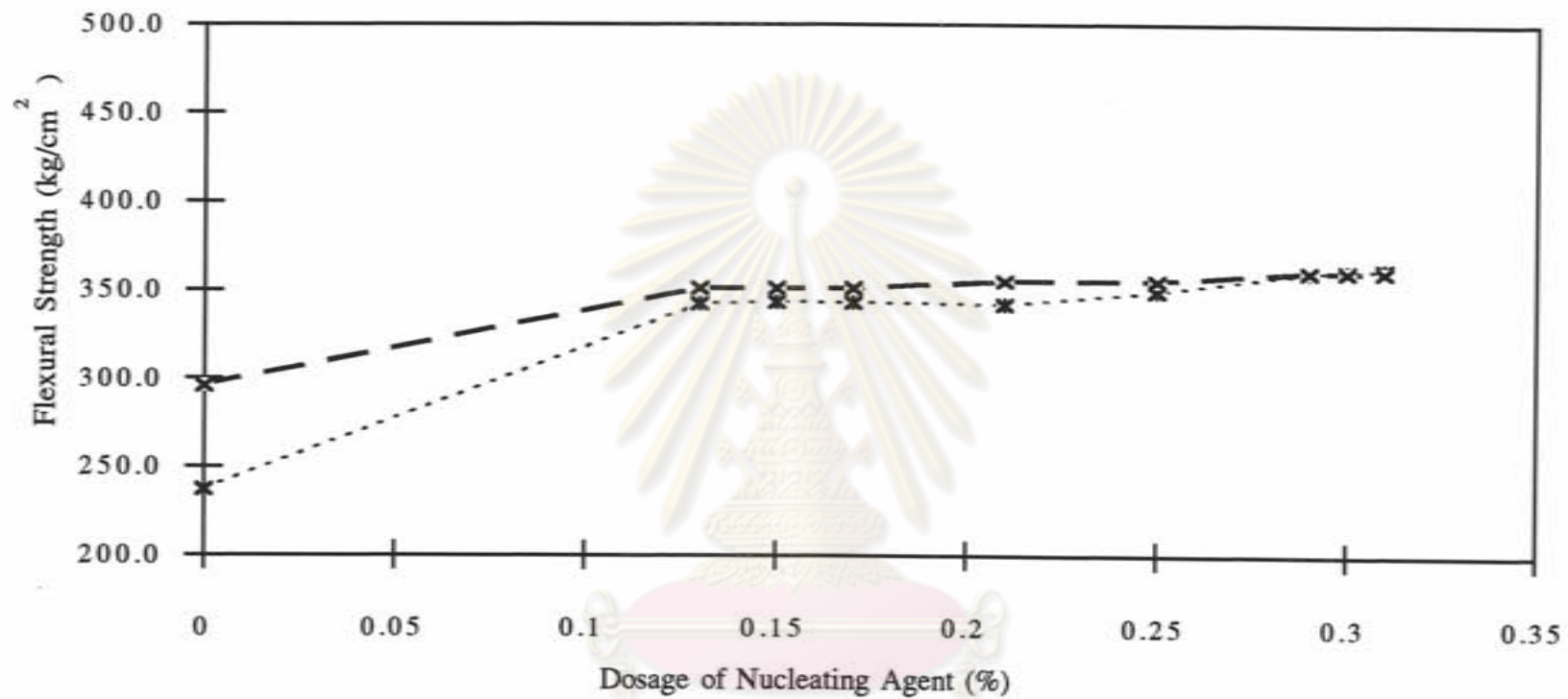
รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



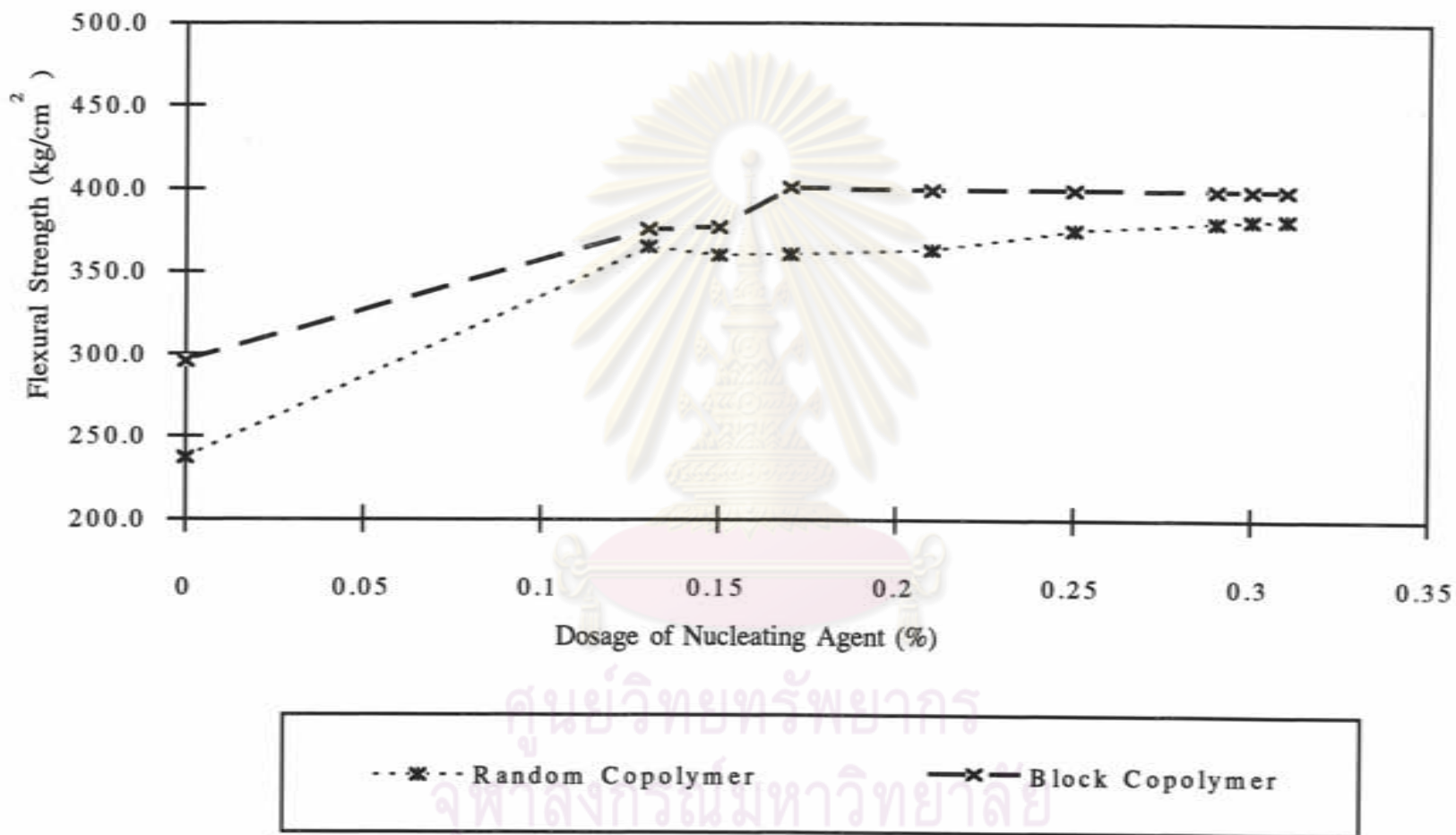
รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



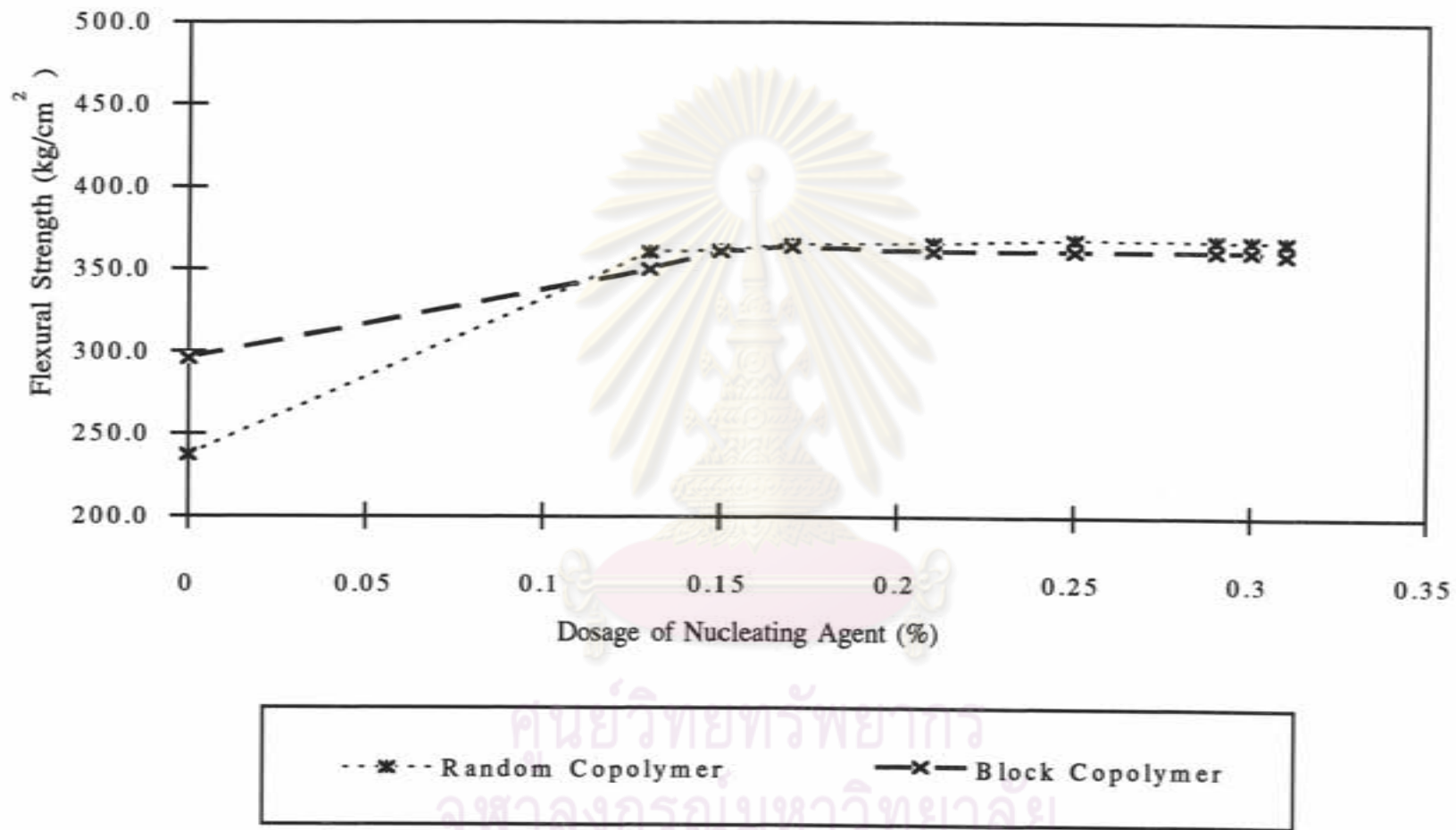
รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer



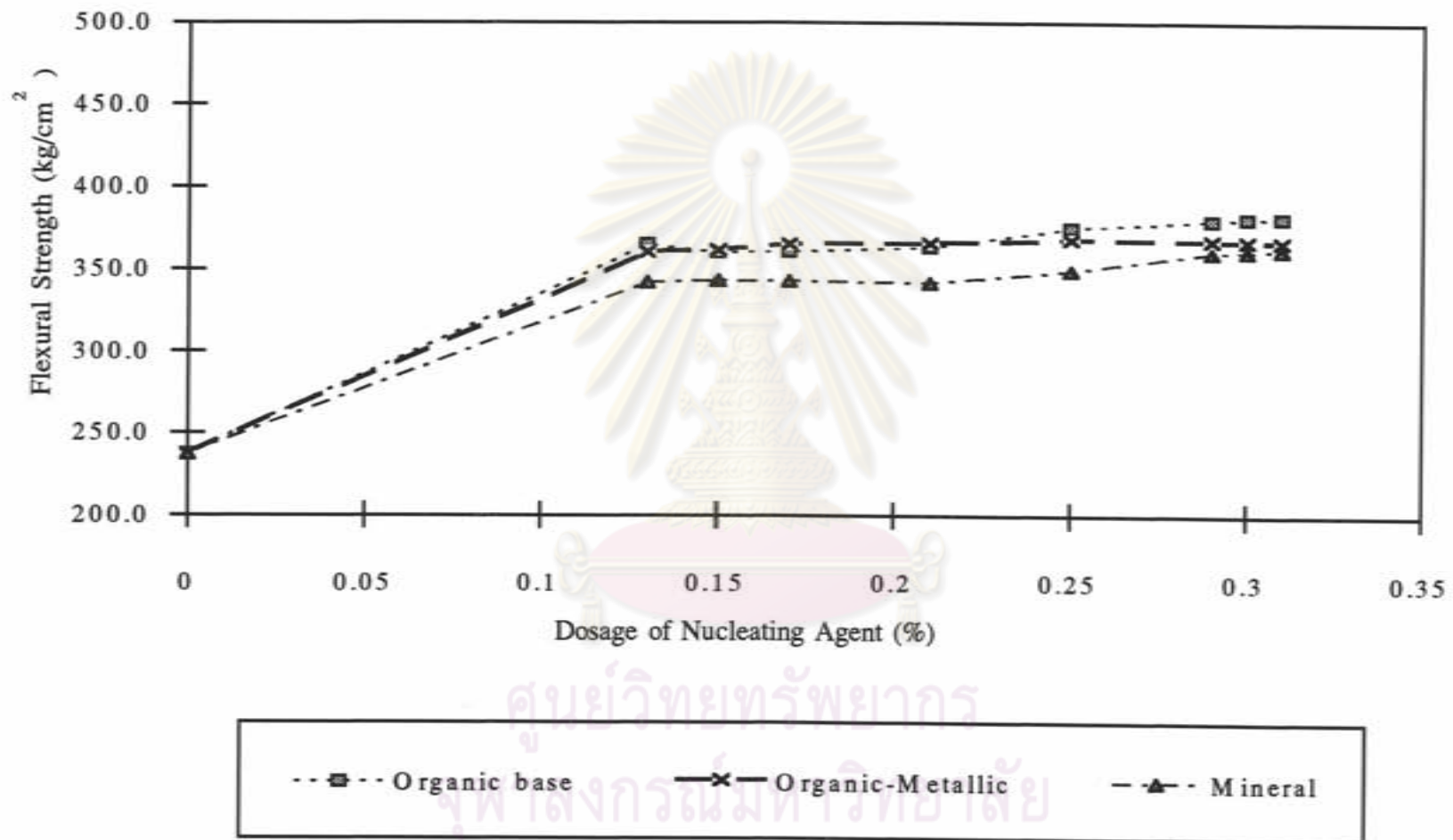
รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Strength ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



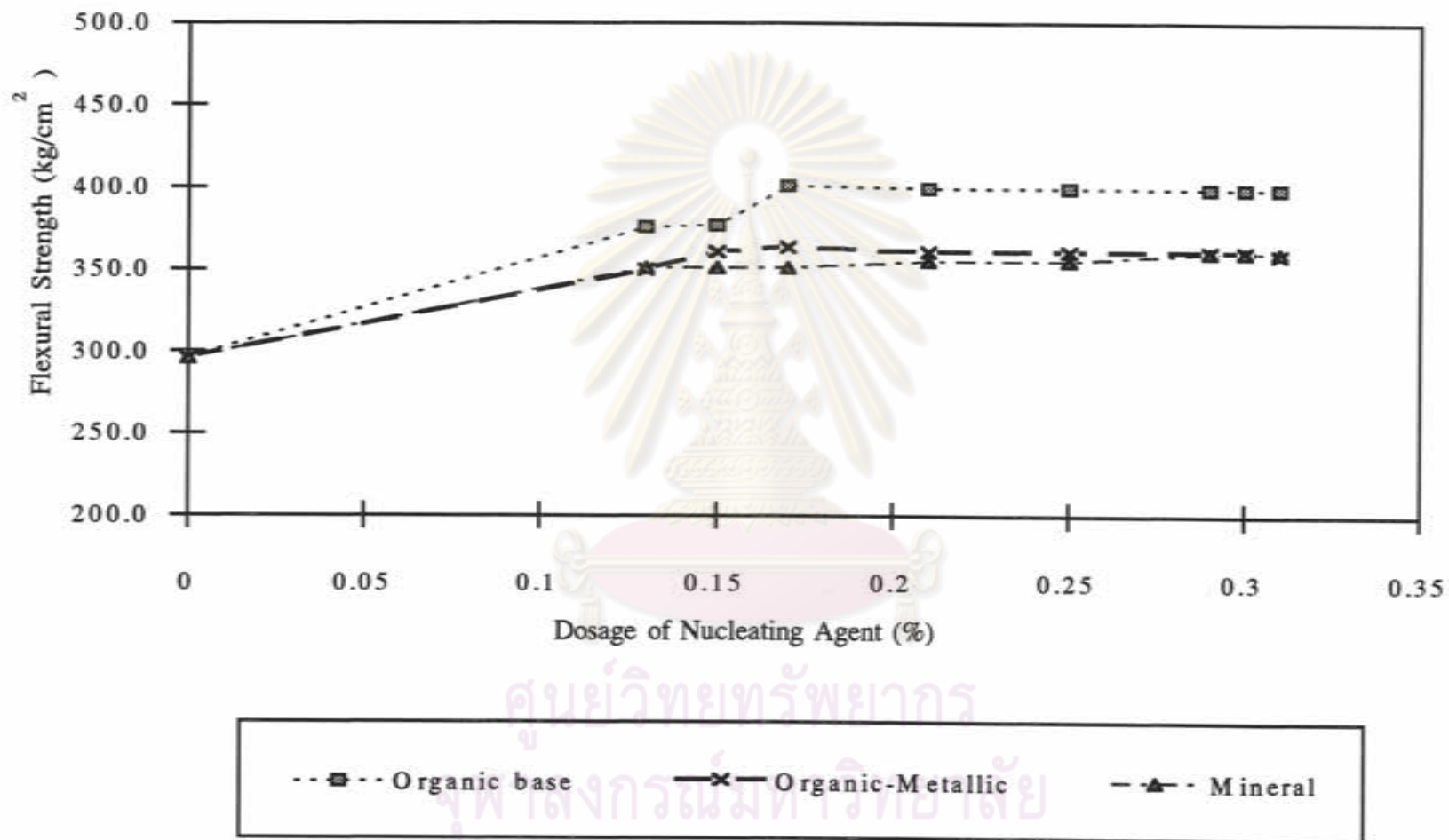
รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Strength ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



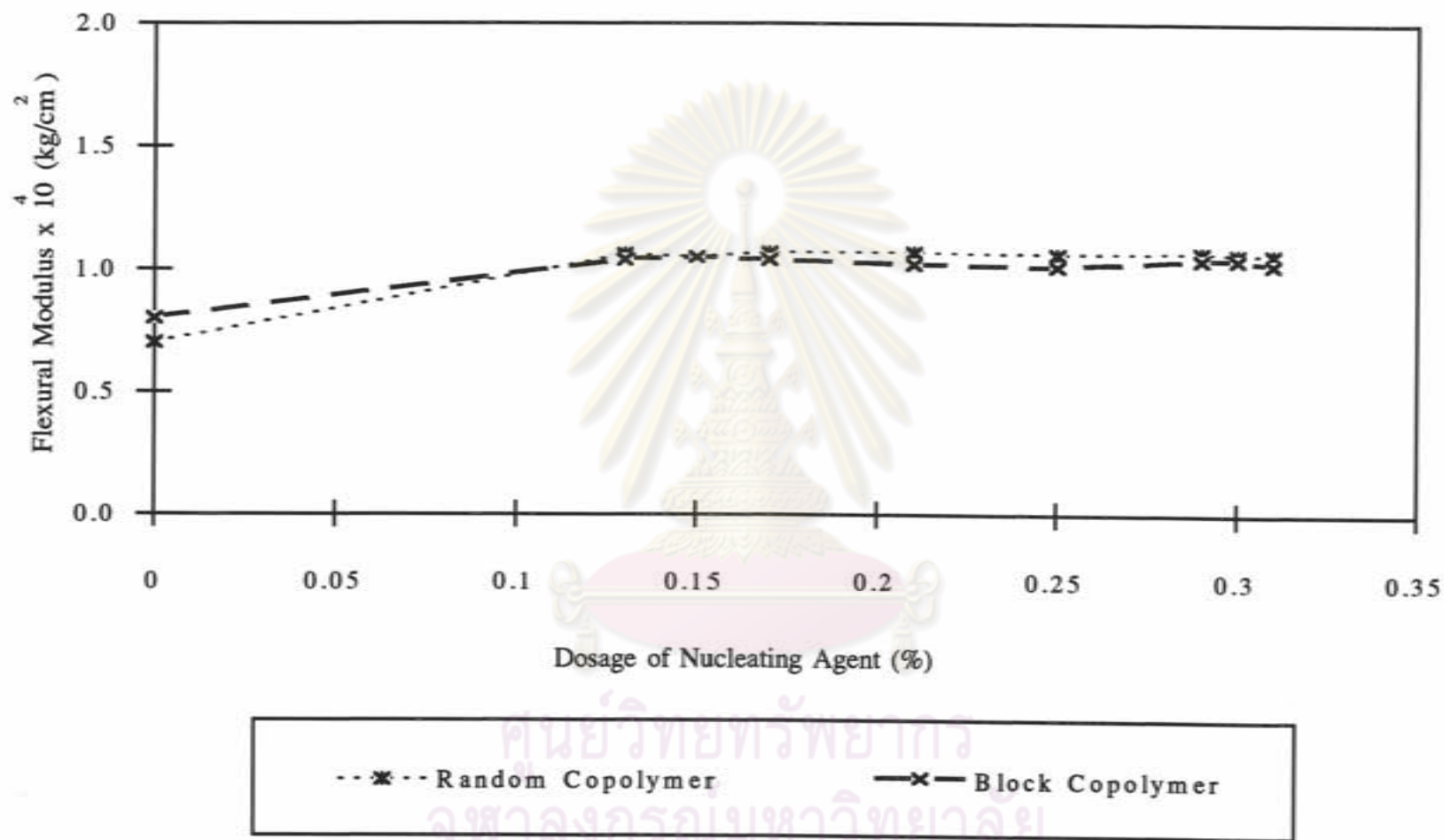
รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Strength ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



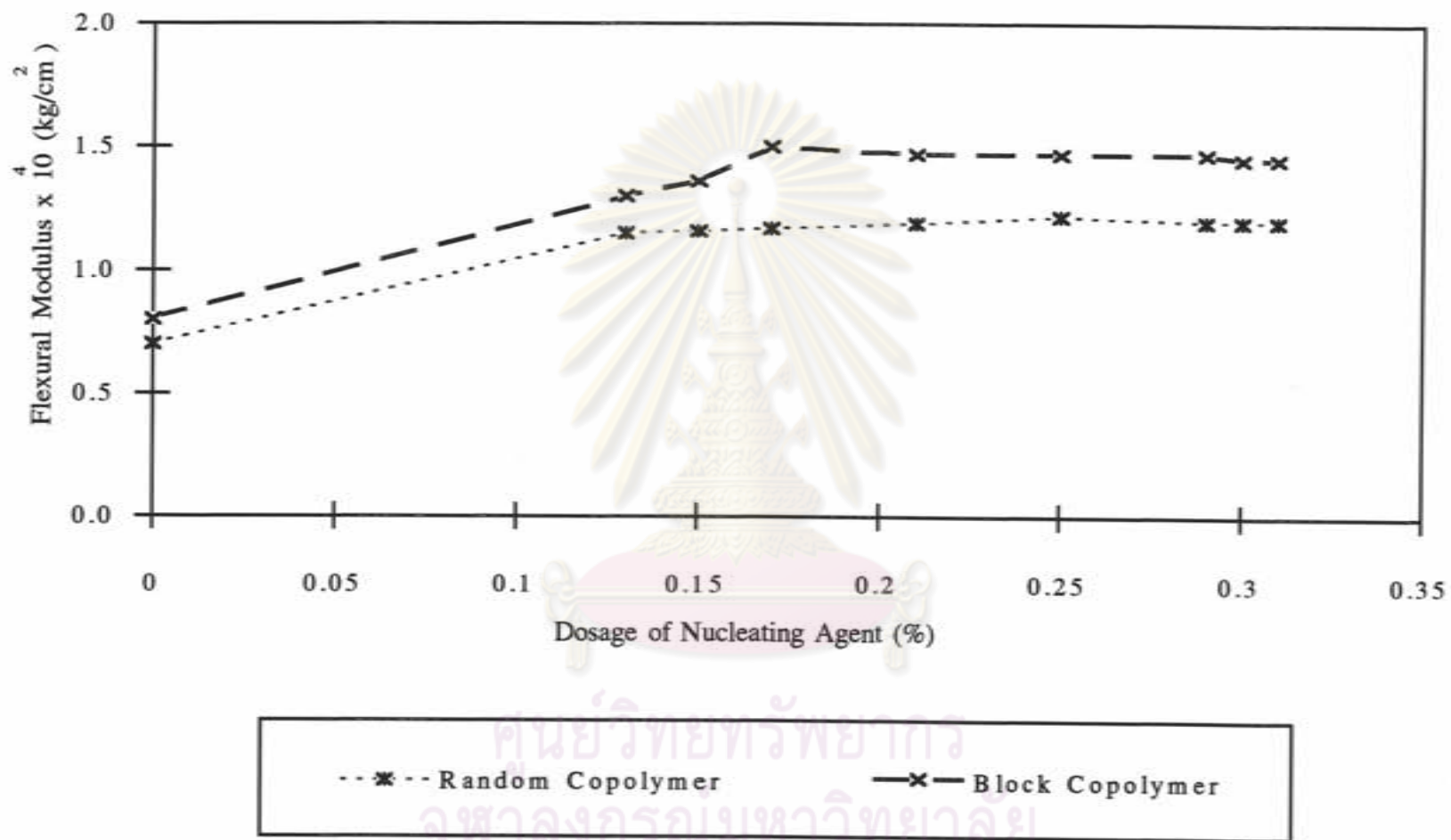
รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Strength โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



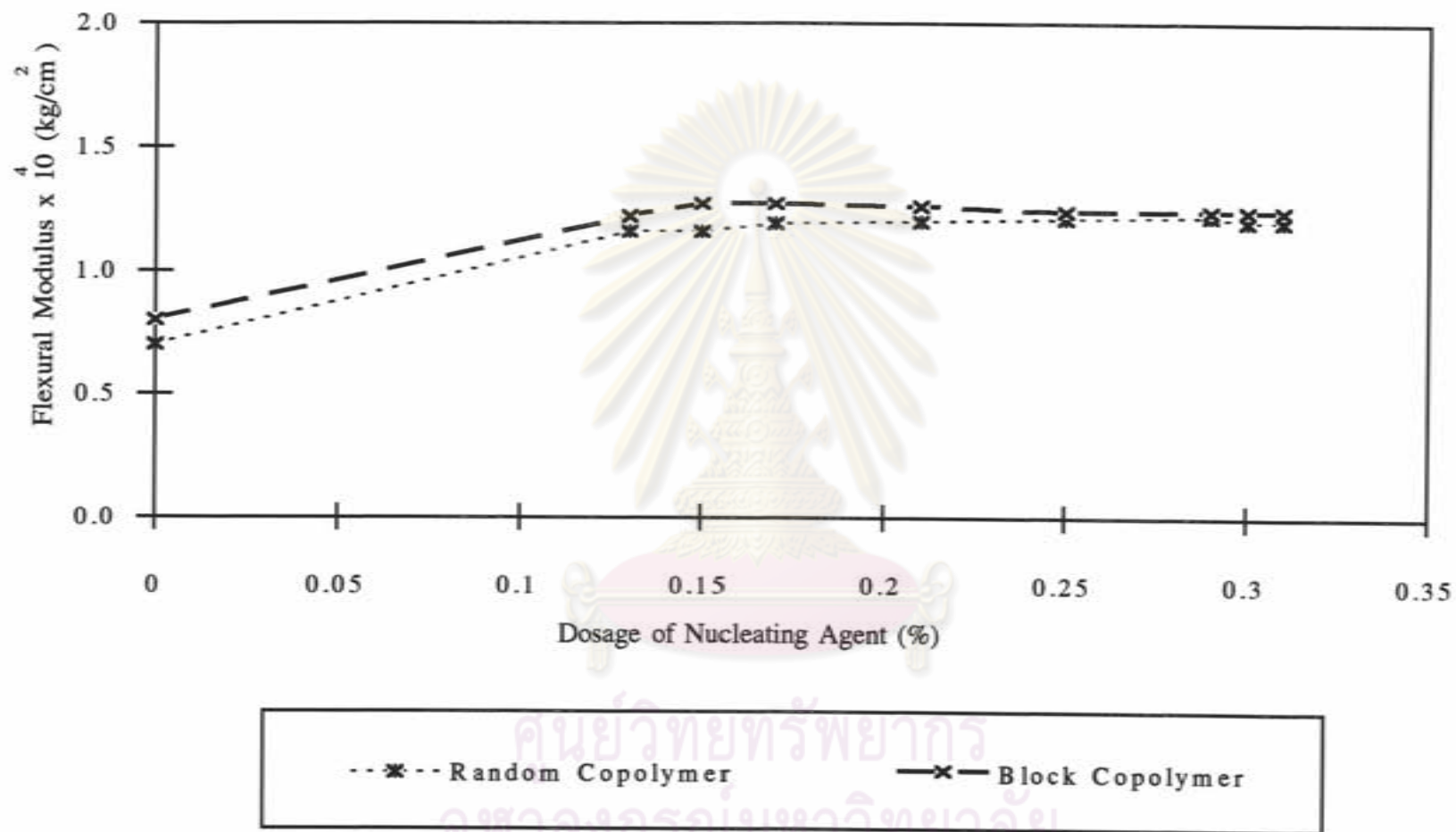
รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Strength โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer



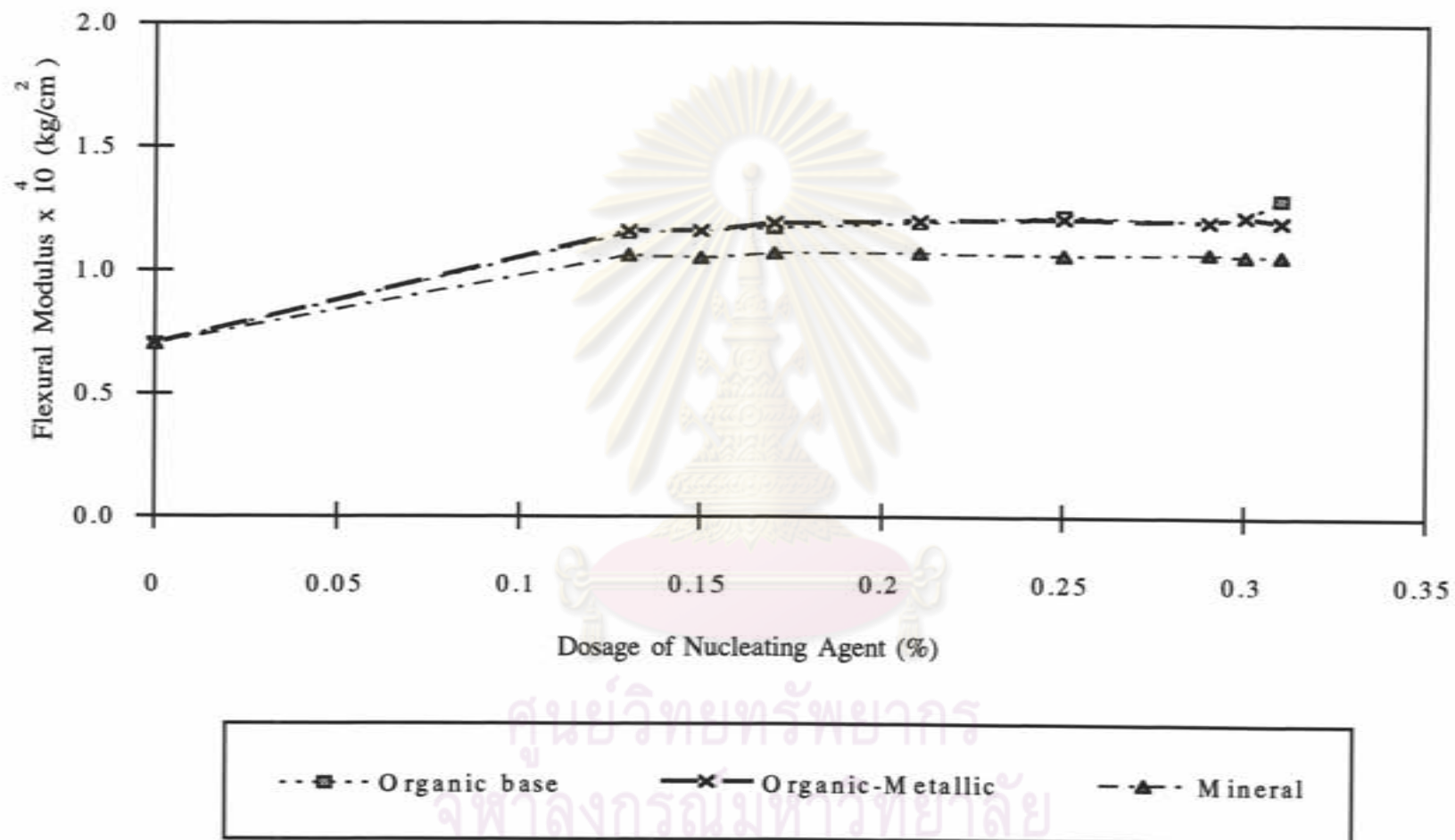
รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Modulus ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



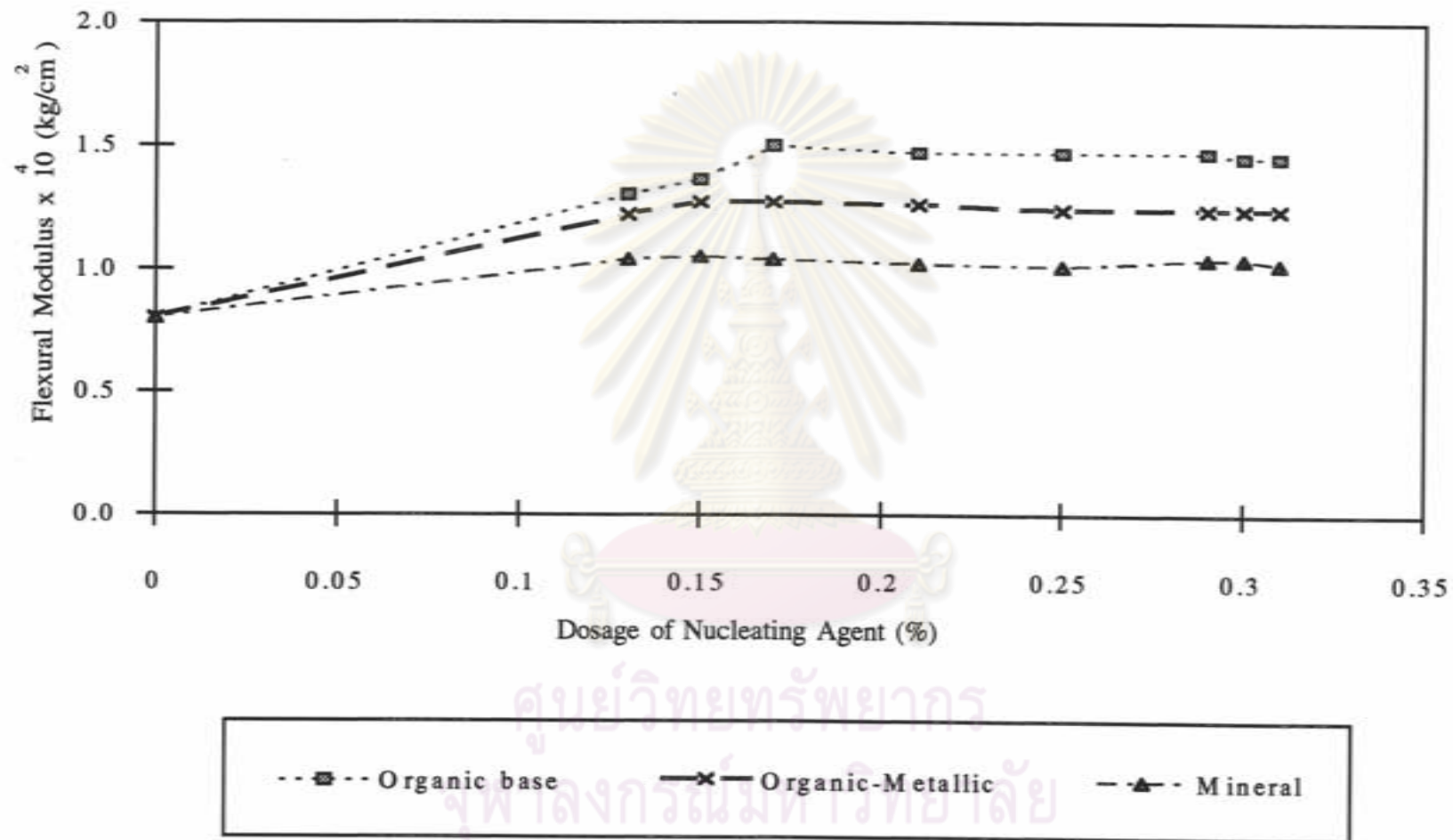
รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Modulus ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



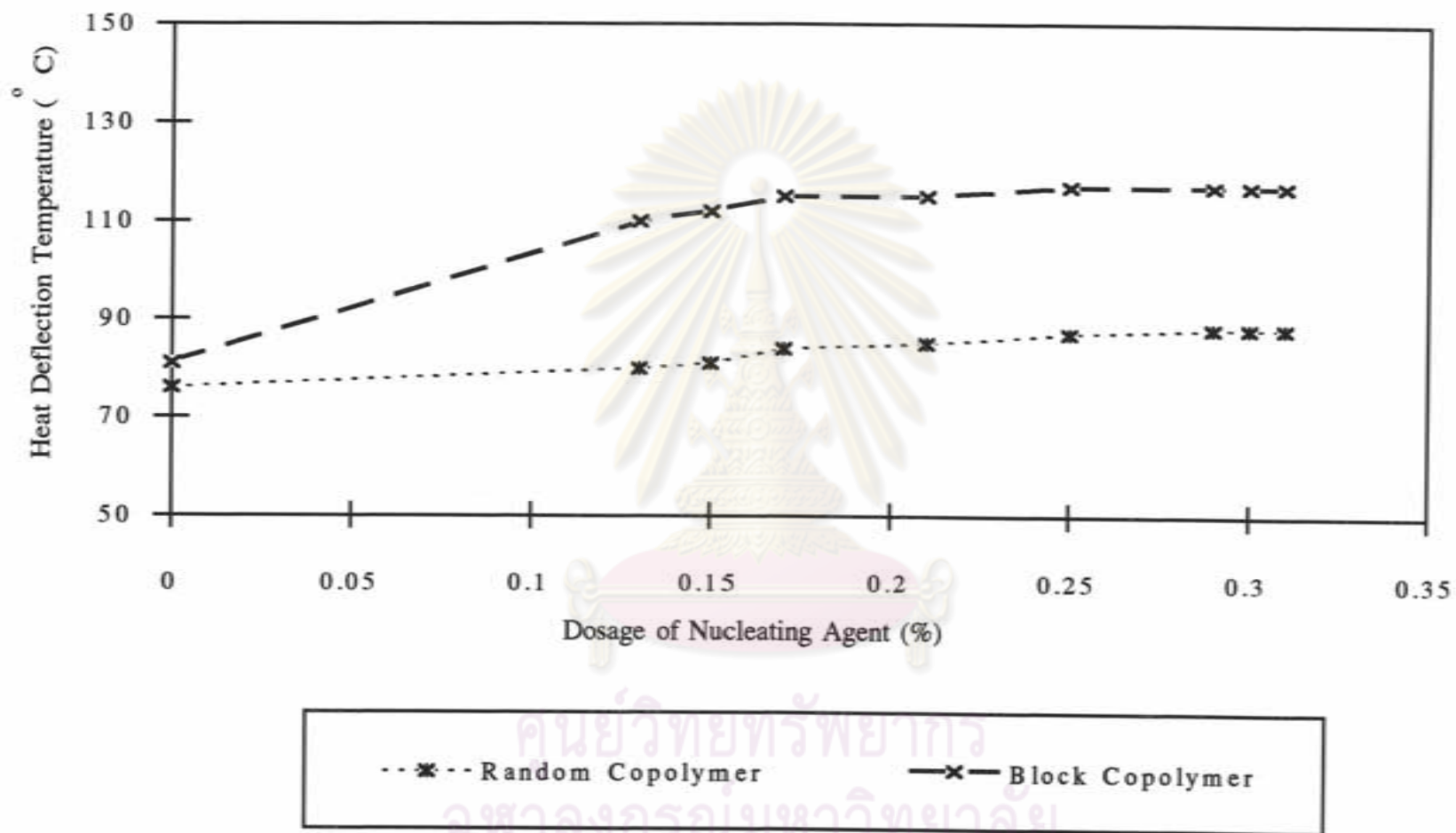
รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Modulus ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



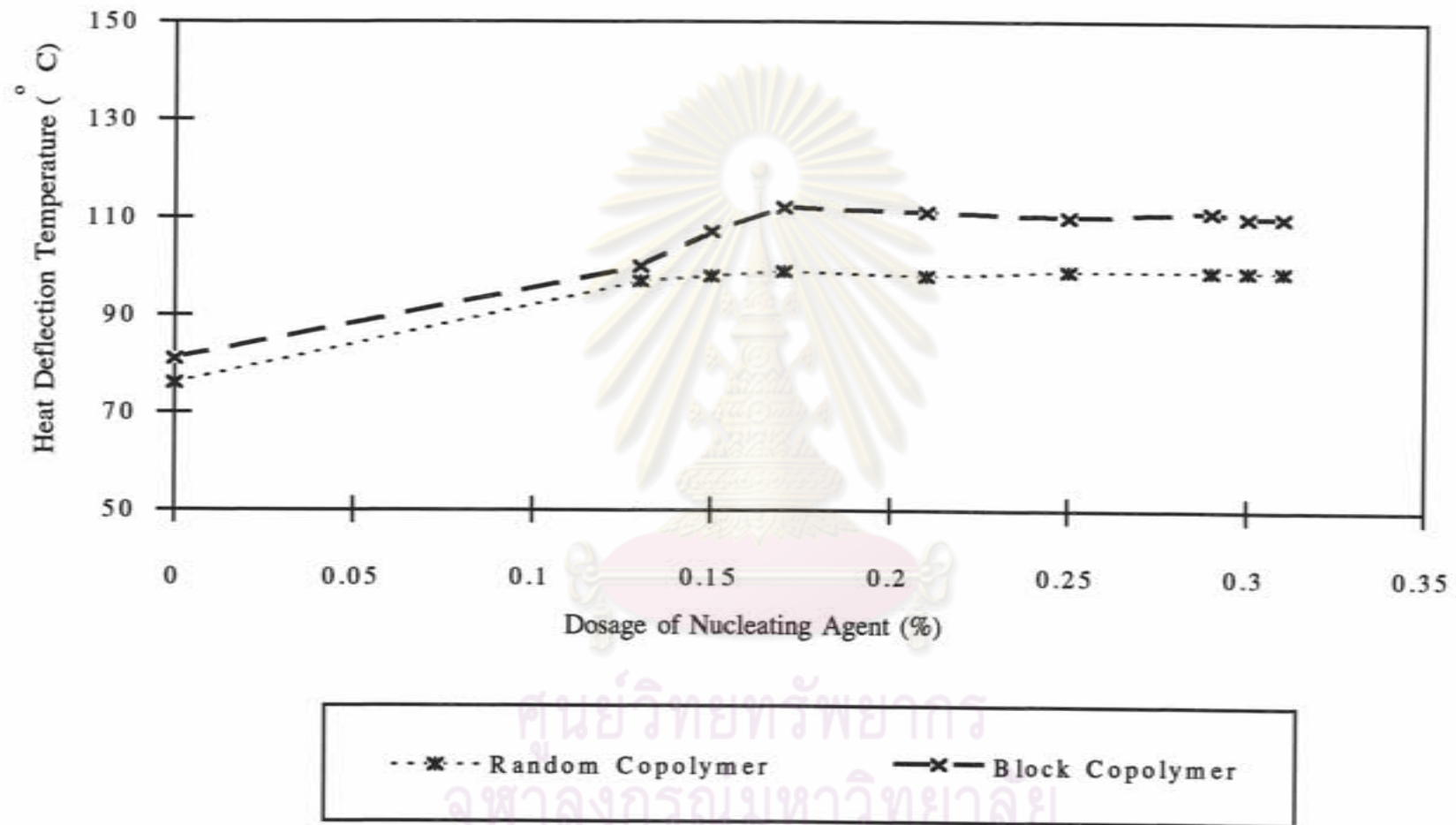
รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Modulus โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



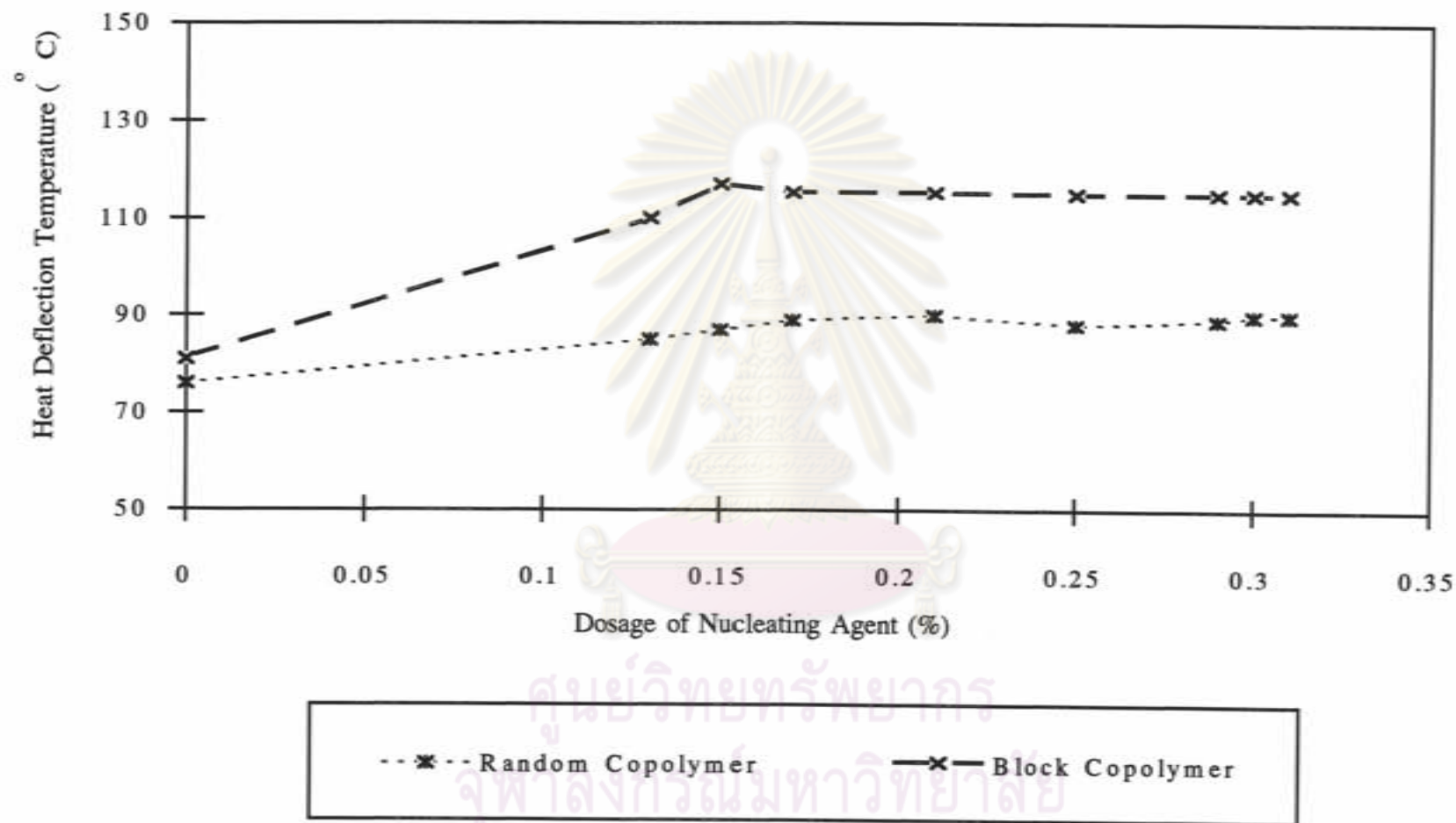
รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบ Flexural Modulus โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer



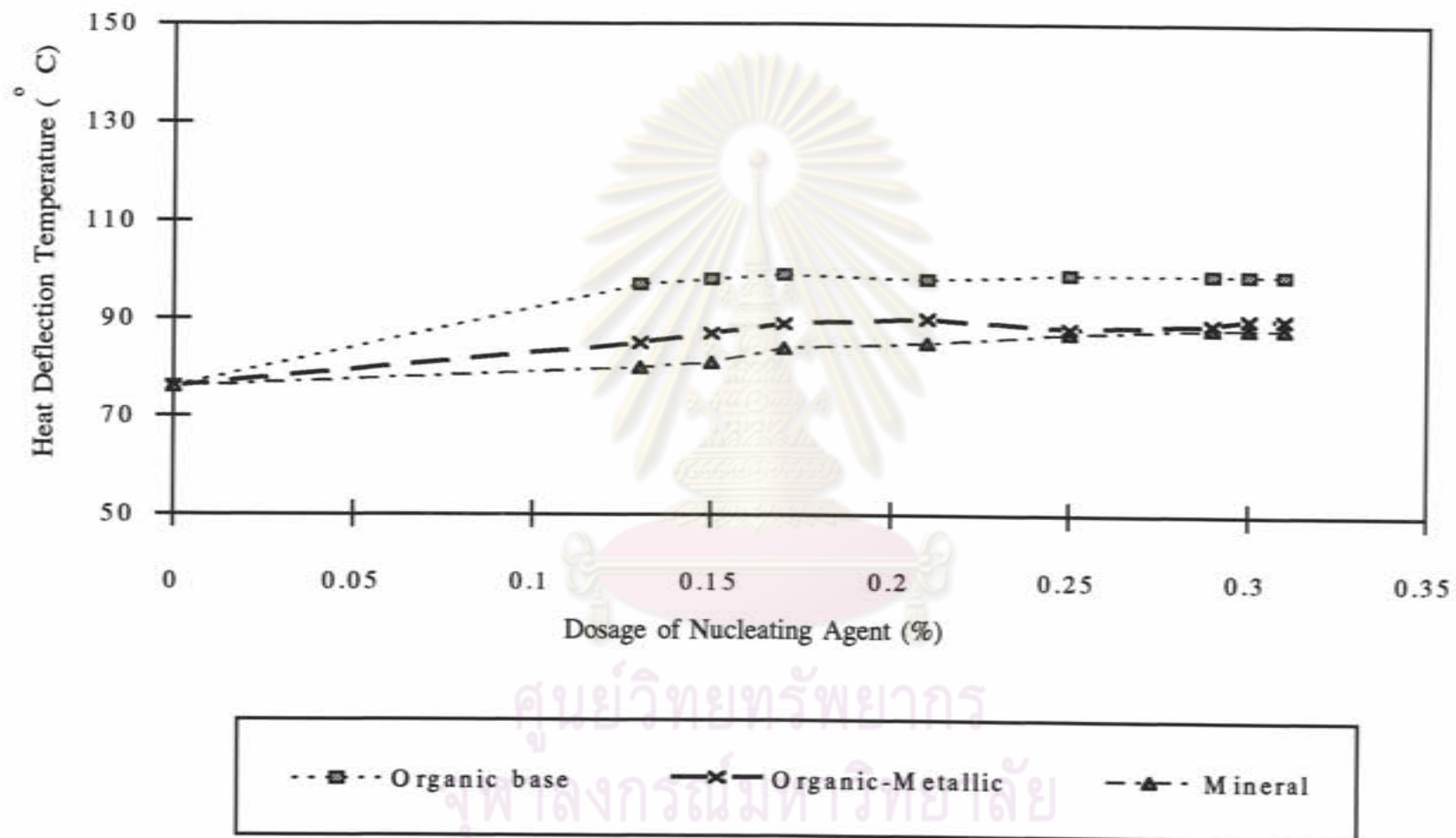
รูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบ Heat Deflection Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Mineral base nucleating agent



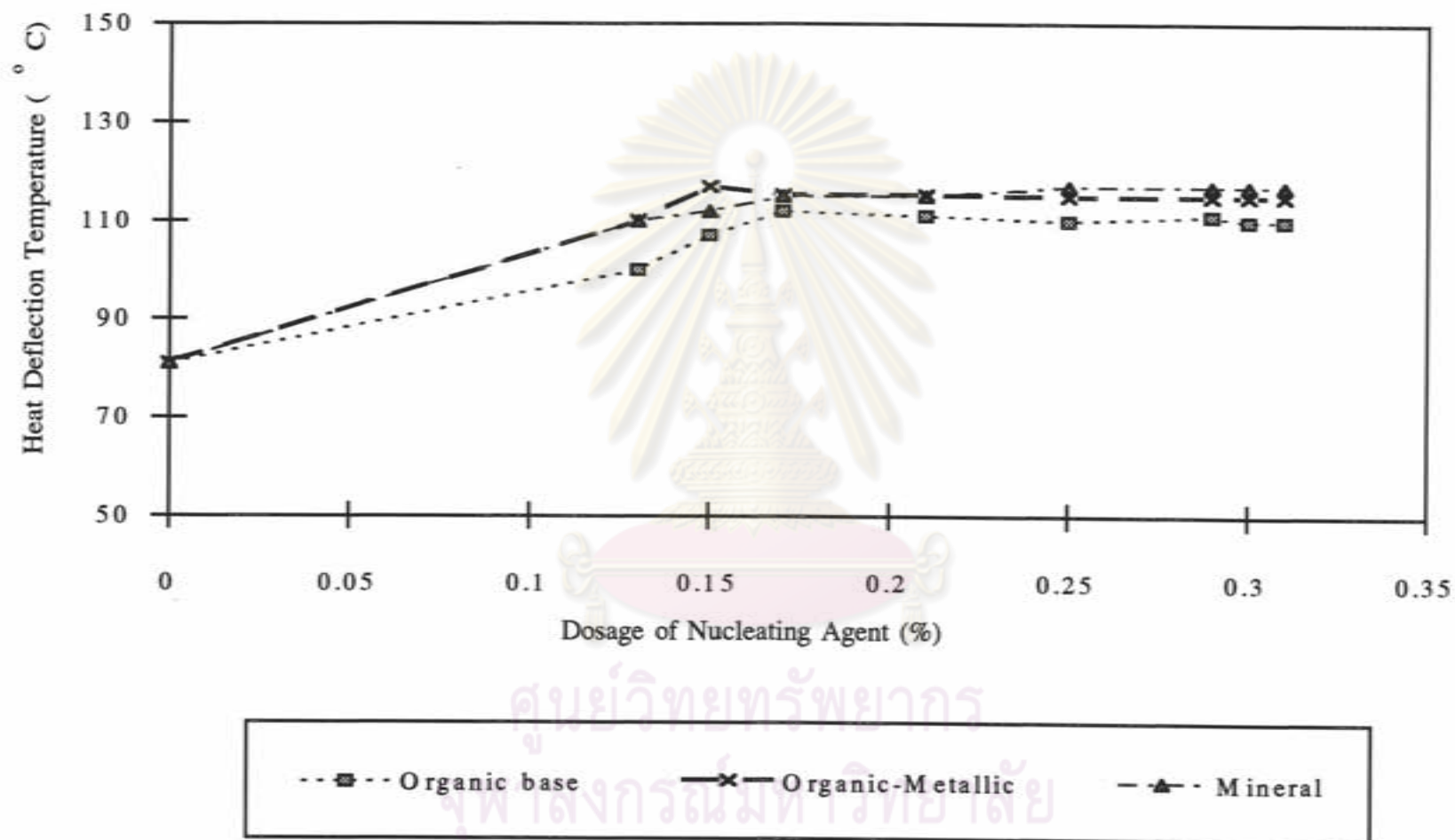
รูปที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบ Heat Deflection Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic base nucleating agent



รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบ Heat Deflection Temperature ของ PP Random Copolymer และ Block Copolymer โดยใช้ Organic metallic base nucleating agent



รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบ Heat Deflection Temperature โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Random Copolymer



รูปที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบ Heat Deflection Temperature โดยใช้ Nucleating agent 3 ประเภท สำหรับ PP Block Copolymer