บทที่ 4
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

การทดสอบได้ทำการกำหนดสัดส่วนผสมคอนกรีตออกเป็น 3 กลุ่ม อันได้แก่ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตที่เติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก กลุ่มที่ 2 คอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากร่วมกับ ขี้เถ้าลอย และกลุ่มที่ 3 คอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากร่วมกับ ซิลิก้าฟูม

4.1.1 กลุ่มที่ 1 ในการทดสอบได้แปรผันปริมาณซีเมนต์ ตั้งแต่ 350, 400, 450, 500 และ 550 กก. ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศ์กเมตร โดยใช้ปริมาณน้ำในการผสม 3 ค่า ได้แก่ 120, 140, และ 160 กก. ทำให้ได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ แปรผันอยู่ในช่วง 0.22 ไปจนถึง 0.46 ซึ่งอัตราการใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Superplasticizer) เท่ากับ 1.2, 1.8, และ 2.4 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก. ตามลำดับ โดยแบ่งกลุ่มย่อยของการทดสอบออกเป็นกลุ่ม A, B, C, D, E, F, G, H และ I ดังแสดงในตารางที่ 4.1 - 4.9

จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ผสมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากในกลุ่ม A มีค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงประมาณ 5-10 ซม. และมีค่าการไหลแผ่ (Flow Table) อยู่ในช่วงประมาณ 26-30 ซม. คอนกรีตกลุ่ม B และ D มีค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงประมาณ 10-15 ซม. และมีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วงประมาณ 35-40 ซม. คอนกรีตกลุ่ม C และ G มีค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงประมาณ 15-20 ซม. และมีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วงประมาณ 40-50 ซม. คอนกรีตกลุ่ม E และ F มีค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงประมาณ 20-25 ซม. และมีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วงประมาณ 50-60 ซม. คอนกรีตกลุ่ม H และ I มีค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วงประมาณ 23-26 ซม. และมีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วงประมาณ 55-65 ซม. ดังแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 - 4.9

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกแบ่งการทดสอบออกตามอายุคอนกรีตที่ 1 วัน, 7 วัน, และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนผสมของสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Superplasticizer) ในอัตรา 1.8 ลิตร ต่อ ซีเมนต์ 100 กก. ให้ค่ากำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่นในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เท่ากัน โดยกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 0.31 ลงไป ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยมากกว่า 300 ksc. และที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยมากกว่า 600 ksc ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.11 - 4.14

4.1.2 กลุ่มที่ 2 คอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากร่วมกับขี้เถ้าลอย เป็นลักษณะการผสมเพิ่ม (Addition Method) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความสามารถทำงานได้และลดการเยิ้ม (Bleeding) ของคอนกรีต โดยการออกแบบส่วนผสมได้แปรผันปริมาณซีเมนต์ ตั้งแต่ 350, 400, 450, 500, และ 550 กก. โดยใช้ปริมาณน้ำในการผสมเท่ากับ 160 กก. และอัตราส่วนของสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก (Superplasticizer) ที่ใช้เท่ากับ 1.8 ลิตรต่อซีเมนต์ 100 กก.และแปรผันปริมาณการใช้ขี้เถ้าลอย (Fly Ash)

ในการผสมเพิ่มในอัตรา 15%, 20%, 25%, และ 30% ของปริมาณซีเมนต์ โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมาก ที่ผสมขี้เถ้าลอยเพิ่มจะมีคุณสมบัติความสามารถเทได้ดีขึ้น โดยมีผลทดสอบค่าความยุบตัว (Slump Test) โดยเฉลี่ยประมาณ 20-25 ซม. และค่าการไหลแผ่ (Flow Table) ประมาณ 55-65 ซม. ดังแสดงในตารางที่ 4.10 - 4.13 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อยได้แก่ J, K, L, M ตามลำดับ

การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกแบ่งการทดสอบออกตามอายุคอนกรีตที่ 1 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.10 - 4.13 ผลการทดสอบ พบว่าปริมาณการผสมเพิ่มของขี้เถ้าลอยที่ทำให้ได้กำลังรับแรงอัดที่ดี ควรมีค่าอยู่ในช่วง 20 - 25 % ของปริมาณซีเมนต์ โดยกำลังอัดที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยมากกว่า 350 ksc. และที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยมากกว่า 650 ksc. โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และขี้เถ้าลอย (W/(C+FA) Ratio) มีค่าต่ำกว่า 0.30 ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.10 - 4.13

4.1.3 กลุ่มที่ 3 คอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากร่วมกับซิลิก้าฟูม โดยการผสมเพิ่ม (Addition Method) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตในด้านความสามารถทำงานได้ ลดการเยิ้ม (Bleeding) ของคอนกรีต รวมทั้งเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้ใช้ปริมาณซีเมนต์ ตั้งแต่ 350, 400, 450, 500 และ 550 กก. โดยใช้ปริมาณน้ำในการผสมคอนกรีตเท่ากับ 160 กก. ต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. และแปรผันปริมาณการใช้ซิลิก้าฟูม ผสมเพิ่มในอัตรา 5%, 10%, 15% และ 20% ของปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ได้แก่ N, O, P, Q ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.14 - 4.17

จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตเติมสารลดปริมาณน้ำอย่างมากที่ผสมซิลิก้าฟูมเพิ่มลงไปทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตดีขึ้น การเยิ้มของคอนกรีตมีน้อยมาก แต่คอนกรีตที่ได้จะมีคุณสมบัติความสามารถเทได้ลดลง โดยค่าการไหลแผ่ (Flow Table Test) จะมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 43 -52 ซม. และค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 17-22 ซม. ดังแสดงในผลการทดสอบตามตารางที่ 4.14 - 4.17

การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก แบ่งการทดสอบออกตามอายุคอนกรีตที่ 1 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 - 4.17 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าปริมาณการผสมเพิ่มของซิลิก้าฟูม ที่ทำให้ได้กำลังรับแรงอัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 20 % ของปริมาณซีเมนต์ ซึ่งจะให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 965 ksc. โดยมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.29 และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และซิลิก้าฟูม (W/(C+SF) Ratio) เท่ากับ 0.24

ในกรณีที่ใช้ปริมาณ ซิลิก้าฟูมอยู่ในช่วง 15 % ของปริมาณซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 937 ksc. ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.29 และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และซิลิก้าฟูม (W/(C+SF) Ratio) เท่ากับ 0.25 และเมื่อลดปริมาณซิลิก้าฟูม ลงไปที่

อัตรา 5% และ 10% ของปริมาณซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 764 ksc. และ 824 ksc. ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.29 และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และซิลิก้าฟูม (W/(C+SF) Ratio) เท่ากับ 0.28 และ 0.26 ตามลำดับดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4.14 - 4.17

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

ความสามารถทำงานได้

ผลการทดสอบคุณสมบัติความสามารถเทได้ของคอนกรีต พบว่าค่าความยุบตัวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดปริมาณน้ำอย่างสูง (Superplasticizer) ซึ่งเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสม เช่นเดียวกับปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำและสารลดปริมาณน้ำอย่างสูง (Superplasticizer) ในอัตราที่มากขึ้น ส่วนผสมของคอนกรีตจะเริ่มการแยกตัว มีค่าการเยิ้มของน้ำสูง และมีกำลังรับแรงอัดต่ำลง ส่วนค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตจะมีค่าน้อยลงเมื่อค่าปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณส่วนละเอียดที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการยึดเหนี่ยวของเนื้อคอนกรีต แต่เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารลดปริมาณน้ำอย่างสูง (Superplasticizer) เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณน้ำในการผสมจะทำให้การไหลแผ่เพิ่มขึ้นแต่คอนกรีตจะมีการเยิ้มสูงและเริ่มมีการแยกตัว

จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการใช้ของสารลดปริมาณน้ำอย่างสูง (Superplasticizer) ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 1.2 ลิตร - 2.4 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก. และที่อัตรา 1.8 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก. จะให้คุณสมบัติของคอนกรีตที่ดีที่สุดทั้งในด้านความสามารถเทได้และกำลังรับแรงอัด

ปริมาณฟองอากาศ

จากผลทดสอบพบว่าคอนกรีตที่เติมสารลดปริมาณน้ำลงในส่วนผสมจะมีค่า ปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีค่าปริมาณฟองอากาศอยู่ประมาณ 1.85 - 2.70 %

การก่อตัว

จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณการใช้สารลดปริมาณน้ำ (ASTM C 494 Type G) มีผลต่อการเพิ่มระยะเวลาการก่อตัว ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1 ชั่วโมง ต่อ ปริมาณสารเพิ่มที่เพิ่มขึ้น 0.25% ของซีเมนต์โดยน้ำหนัก

กำลังรับแรงอัด

จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมสารลดปริมาณน้ำ(Superplasticizer) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง โดยค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน จะมีค่าประมาณ 60 % ของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน และที่อายุ 7 วัน จะมีค่าประมาณ 85% ของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราของสารลดปริมาณน้ำจะมีผลทำให้ลดปริมาณน้ำลงไป ทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบพบว่าอัตราการใช้สารลดปริมาณน้ำที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1.8 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก. จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยสูงกว่าค่าอื่น โดยค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ควรมีค่าต่ำกว่า 0.30 เพื่อให้ได้ ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 600 ksc. ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.14 ซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณสมบัติความสามารถเทได้ของคอนกรีต เช่นค่าการไหลแผ่ เทียบกับส่วนผสมของคอนกรีต เช่น ปริมาณน้ำ และอัตราการใช้สารผสมเพิ่มอาจแสดงได้ในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความยุบตัว, ค่าการไหลแผ่ กับปริมาณสารเพิ่มผสมและปริมาณน้ำที่ใช้ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1-4.6 และความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่อัตราสารผสมเพิ่มต่างๆ แสดงในกราฟรูปที่ 4.11 - 4.14

4.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตด้วยวัสดุเพิ่มขี้เถ้าลอยและซิลิก้าฟูม

ในการทดลองส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้สารลดปริมาณน้ำ (Superplasticizer) ในกลุ่มที่ 1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำและอัตราสารลดปริมาณน้ำ ในอัตราสูงขึ้นเพื่อเพิ่มความข้นเหลว คอนกรีตจะเริ่มมีการแยกตัวและมีการเยิ้มของน้ำที่ผิวหน้าคอนกรีต ดังนั้นการทดสอบในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ได้ใช้วัสดุผสมเพิ่ม ขี้เถ้าลอย และซิลิก้าฟูม ผสมร่วมกับสารลดปริมาณน้ำ เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติของคอนกรีต และปรับปรุงค่ากำลังรับแรงอัด

ความสามารถเทได้

จากการทดสอบพบว่าขี้เถ้าลอยแม่เมาะจะสามารถช่วยเพิ่มค่าความข้นเหลวของคอนกรีตได้ตามปริมาณอัตราการใช้ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความยุบตัวของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในอัตราการเพิ่มช่วงแรก ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.7 ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.8 และลักษณะของคอนกรีตที่เติมวัสดุขี้เถ้าลอย จะมีการยึดเหนี่ยวของเนื้อคอนกรีตที่ดีกว่า

จากผลการทดสอบพบว่า ซิลิก้าฟูมจะทำให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตลดลงตามปริมาณอัตราการใช้ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.9 และค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตก็จะมีค่าลดลงตามอัตราการเพิ่มของซิลิก้าฟูม ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.10 ซึ่งคอนกรีตจะมีค่าการเยิ้มน้อยมาก และมีการยึดเหนี่ยวของเนื้อคอนกรีตที่ดี และปราศจากการแยกตัว

ปริมาณฟองอากาศ

จากผลการทดสอบพบว่า การเติมวัสดุผสมขี้เถ้าลอย ลงในส่วนผสมคอนกรีต จะลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตลงจากเดิม โดยมีปริมาณฟองอากาศประมาณ 1.18 - 1.70 % เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยในอัตรา 20 % ของซีเมนต์ การเติมวัสดุผสมซิลิก้าฟูมลงในส่วนผสมคอนกรีต จะไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต โดยมีปริมาณฟองอากาศประมาณ 1.05 - 1.90 % เมื่อใช้ซิลิก้าฟูมในอัตรา 10 % ของซีเมนต์

การก่อตัว

จากผลการทดสอบพบว่าการเติมวัสดุผสมขี้เถ้าลอยมีผลต่อการเพิ่มระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 ชั่วโมง เมื่อใช้วัสดุผสมขี้เถ้าลอยในอัตรา 20 % ของซีเมนต์ แต่การเติมซิลิก้าฟูมลงในส่วนผสมคอนกรีต จะมีผลต่อการลดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตจะลดลงประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อใช้วัสดุผสมซิลิก้าฟูม ในอัตรา 10 % ของซีเมนต์

กำลังรับแรงอัด

จากผลการทดสอบพบว่าการผสมขี้เถ้าลอยในคอนกรีต จะช่วยเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในระยะยาวที่อายุ 28 วัน โดยค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 15 % เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยผสมเพิ่มในอัตรา 20-30 % ของซีเมนต์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.27 และการผสมเพิ่มซิลิก้าฟูมในคอนกรีตจะช่วยเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามอัตราปริมาณการผสมเพิ่ม เช่น ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 50 % และค่ากำลังรับแรงอัด ที่อายุ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 40 % เมื่อใช้วัสดุซิลิก้าฟูมผสมเพิ่มในอัตรา 20 % ของซีเมนต์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.24 และ 4.28 และเมื่อใช้วัสดุซิลิก้าฟูมผสมเพิ่มในอัตรา 10 % ของซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัดของ คอนกรีตที่อายุ 1 วัน และ 28 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 30 % และ 20 % ตามลำดับดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.24 , 4.28 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกับ ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และวัสดุผสมเพิ่มได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.29 และ 4.30

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม A

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
A1	350	120	890	1090	0.34	0.45	4.20	*7.5*	*26.5*	*312*	*458*	*575*
A2	400	120	870	1070	0.30	0.45	4.80	*8*	*27*	*402*	*548*	*652*
A3	450	120	850	1050	0.27	0.45	5.40	*10*	*27.5*	*412*	*579*	*712*
A4	500	120	830	1025	0.24	0.45	6.00	*11*	*29*	*418*	*626*	*788*
A5	550	120	810	1000	0.22	0.45	6.60	*10*	*28*	*457*	*655*	*867*

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม B

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
B1	350	140	890	1090	0.40	0.45	4.20	*13.5*	*37.5*	*250*	*354*	*469*
B2	400	140	870	1070	0.35	0.45	4.80	*15*	*39*	*298*	*412*	*576*
B3	450	140	850	1050	0.31	0.45	5.40	*14*	*39*	*352*	*459*	*658*
B4	500	140	830	1025	0.28	0.45	6.00	*15.5*	*42*	*396*	*551*	*743*
B5	550	140	810	1000	0.25	0.45	6.60	*15*	*41*	*402*	*574*	*816*

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม C

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
C1	350	160	890	1090	0.46	0.45	4.20	*16.5*	*43*	*212*	*306*	*412*
C2	400	160	870	1070	0.40	0.45	4.80	*17*	*44.5*	*243*	*352*	*487*
C3	450	160	850	1050	0.36	0.45	5.40	*18*	*46*	*295*	*448*	*572*
C4	500	160	830	1025	0.32	0.45	6.00	*17.5*	*46.5*	*348*	*489*	*653*
C5	550	160	810	1000	0.29	0.45	6.60	*18*	*46.5*	*376*	*563*	*738*

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม D

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
D1	350	120	890	1090	0.34	0.45	6.30	*13*	*35*	*326*	*478*	*580*
D2	400	120	870	1070	0.30	0.45	7.20	*15*	*37*	*389*	*565*	*678*
D3	450	120	850	1050	0.27	0.45	8.10	*16*	*36.5*	*445*	*646*	*761*
D4	500	120	830	1025	0.24	0.45	9.00	*15*	*37*	*462*	*712*	*812*
D5	550	120	810	1000	0.22	0.45	9.90	*15.5*	*38*	*487*	*752*	*853*

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม E

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
E1	350	140	890	1090	0.40	0.45	6.30	*20*	*50*	*287*	*425*	*494*
E2	400	140	870	1070	0.35	0.45	7.20	*21*	*52*	*317*	*479*	*587*
E3	450	140	850	1050	0.31	0.45	8.10	*21.5*	*52.5*	*375*	*553*	*669*
E4	500	140	830	1025	0.28	0.45	9.00	*21*	*53*	*452*	*602*	*744*
E5	550	140	810	1000	0.25	0.45	9.90	*22*	*54*	*479*	*668*	*825*

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม F

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
F1	350	160	890	1090	0.46	0.45	6.30	*22*	*53*	*253*	*349*	*435*
F2	400	160	870	1070	0.40	0.45	7.20	*23*	*54.5*	*288*	*427*	*499*
F3	450	160	850	1050	0.36	0.45	8.10	*22.5*	*54*	*302*	*465*	*587*
F4	500	160	830	1025	0.32	0.45	9.00	*23*	*55*	*366*	*538*	*659*
F5	550	160	810	1000	0.29	0.45	9.90	*24*	*56*	*412*	*575*	*746*

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม G

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
G1	350	120	890	1090	0.34	0.45	8.40	*17.5*	*45.5*	*318*	*446*	*589*
G2	400	120	870	1070	0.30	0.45	9.60	*17*	*45*	*338*	*528*	*680*
G3	450	120	850	1050	0.27	0.45	10.80	*18.5*	*47*	*407*	*552*	*726*
G4	500	120	830	1025	0.24	0.45	12.00	*19*	*48*	*458*	*621*	*812*
G5	550	120	810	1000	0.22	0.45	13.20	*18.5*	*46.5*	*472*	*689*	*852*

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม H

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
H1	350	140	890	1090	0.40	0.45	8.40	*23.5*	*57*	*250*	*385*	*468*
H2	400	140	870	1070	0.35	0.45	9.60	*24*	*58.5*	*297*	*440*	*577*
H3	450	140	850	1050	0.31	0.45	10.80	*24*	*59*	*350*	*498*	*653*
H4	500	140	830	1025	0.28	0.45	12.00	*24.5*	*59*	*391*	*541*	*712*
H5	550	140	810	1000	0.25	0.45	13.20	*25*	*61*	*422*	*628*	*811*

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม I

Code	Cement (kg.)	Water (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W/C	S/A	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
I1	350	160	890	1090	0.46	0.45	8.40	*25*	*59.5*	*208*	*315*	*428*
I2	400	160	870	1070	0.40	0.45	9.60	*26*	*61*	*248*	*395*	*504*
I3	450	160	850	1050	0.36	0.45	10.80	*25.5*	*62*	*295*	*420*	*563*
I4	500	160	830	1025	0.32	0.45	12.00	*26*	*62*	*352*	*492*	*644*
I5	550	160	810	1000	0.29	0.45	13.20	*26.5*	*63*	*387*	*549*	*712*

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม J FA 15%

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+F)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
J1	350	53	866	1061	160	0.40	7.25	*23.0*	*58*	*268*	*379*	*503*
J2	400	60	843	1037	160	0.35	8.28	*23.5*	*59*	*309*	*448*	*597*
J3	450	68	820	1013	160	0.31	9.32	*24.0*	*57*	*399*	*502*	*654*
J4	500	75	796	984	160	0.28	10.35	*25.0*	*60*	*411*	*561*	*726*
J5	550	83	773	955	160	0.25	11.39	*25.5*	*62*	*452*	*603*	*763*

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม K FA 20%

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+F)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
K1	350	70	859	1052	160	0.38	7.56	*24.5*	*59.5*	*287*	*389*	*518*
K2	400	80	834	1026	160	0.33	8.64	*25.0*	*60*	*305*	*452*	*612*
K3	450	90	810	1001	160	0.30	9.72	*24.5*	*62*	*378*	*534*	*698*
K4	500	100	785	970	160	0.27	10.80	*25.5*	*63*	*421*	*563*	*732*
K5	550	110	761	940	160	0.24	11.88	*26.0*	*62*	*468*	*598*	*745*

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม L FA 25%

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+F)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
L1	350	88	851	1042	160	0.37	7.88	*24.5*	*61*	*275*	*402*	*490*
L2	400	100	825	1015	160	0.32	9.00	*25.0*	*61.5*	*348*	*499*	*601*
L3	450	113	799	988	160	0.28	10.13	*25.0*	*64*	*401*	*567*	*664*
L4	500	125	774	956	160	0.26	11.25	*26.0*	*63*	*440*	*603*	*742*
L5	550	138	748	924	160	0.23	12.38	*26.0*	*67*	*459*	*675*	*776*

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม M FA 30%

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+F)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
M1	350	105	843	1032	160	0.35	8.19	*25.0*	*62*	*302*	*445*	*562*
M2	400	120	816	1004	160	0.31	9.36	*26.0*	*62*	*345*	*533*	*589*
M3	450	135	789	976	160	0.27	10.53	*25.0*	*64.5*	*411*	*605*	*675*
M4	500	150	763	943	160	0.25	11.70	*25.5*	*66*	*425*	*638*	*755*
M5	550	165	736	909	160	0.22	12.87	*26.5*	*67*	*444*	*678*	*787*

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม N SF 5%

Code	Cement (kg.)	SF (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+S)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
N1	350	18	882	1080	160	0.44	6.62	*21.0*	*46*	*299*	*410*	*487*
N2	400	20	861	1059	160	0.38	7.56	*22.5*	*46.5*	*341*	*472*	*579*
N3	450	23	840	1038	160	0.34	8.51	*20.0*	*49*	*416*	*549*	*642*
N4	500	25	819	1011	160	0.30	9.45	*21.5*	*52*	*514*	*644*	*725*
N5	550	28	798	985	160	0.28	10.40	*21.0*	*50*	*509*	*663*	*764*

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม O SF 10%

Code	Cement (kg.)	SF (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+S)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
O1	350	35	874	1071	160	0.42	6.93	*21.0*	*45*	*308*	*469*	*548*
O2	400	40	852	1048	160	0.36	7.92	*20.0*	*47*	*378*	*547*	*624*
O3	450	45	830	1025	160	0.32	8.91	*19.0*	*48*	*461*	*613*	*702*
O4	500	50	808	998	160	0.29	9.90	*21.0*	*50*	*484*	*673*	*776*
O5	550	55	785	970	160	0.26	10.89	*21.0*	*51*	*594*	*712*	*824*

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม P SF 15%

Code	Cement (kg.)	SF (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+S)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
P1	350	53	866	1061	160	0.40	7.25	*20.0*	*45.5*	*375*	*519*	*603*
P2	400	60	843	1037	160	0.35	8.28	*19.0*	*45*	*418*	*589*	*667*
P3	450	68	820	1013	160	0.31	9.32	*17.0*	*48*	*508*	*644*	*742*
P4	500	75	796	984	160	0.28	10.35	*20.0*	*50*	*542*	*721*	*834*
P5	550	83	773	955	160	0.25	11.39	*19.0*	*49.5*	*568*	*802*	*937*

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบ กลุ่ม Q SF 20%

Code	Cement (kg.)	SF (kg.)	Sand (kg.)	Agg. (kg.)	W (kg.)	W/(C+S)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Comp. Strength (ksc.)		
										1Day	7Day	28Day
Q1	350	70	859	1052	160	0.38	7.56	*20.0*	*43*	*380*	*541*	*644*
Q2	400	80	834	1026	160	0.33	8.64	*18.5*	*45*	*482*	*638*	*721*
Q3	450	90	810	1001	160	0.30	9.72	*19.0*	*47.5*	*497*	*663*	*779*
Q4	500	100	785	970	160	0.27	10.80	*18.0*	*48*	*520*	*725*	*912*
Q5	550	110	761	940	160	0.24	11.88	*17.0*	*47*	*634*	*834*	*965*

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีต

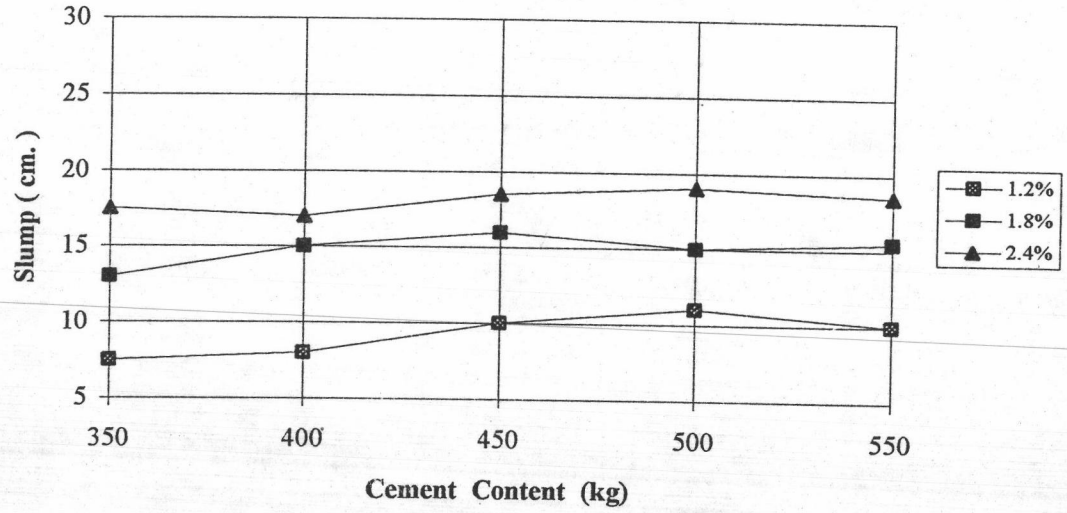
Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	SF (kg.)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Setting Time		Air Content %	Unit Weight (kg/m^3)
							Initial	Final		
C1	350	-	-	4.20	16.5	43	10:10	12:02	2.40	2411
C2	400	-	-	4.80	17	44.5	10:45	12:24	2.20	2442
C3	450	-	-	5.40	18	46	8:35	9:48	1.90	2468
C4	500	-	-	6.00	17.5	46.5	10:44	11:55	2.00	2458
C5	550	-	-	6.60	18	46.5	11:30	12:45	2.10	2432

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	SF (kg.)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Setting Time		Air Content %	Unit Weight (kg/m^3)
							Initial	Final		
F1	350	-	-	6.30	22	53	11:22	12:41	2.10	2442
F2	400	-	-	7.20	23	54.5	10:51	12:14	1.85	2458
F3	450	-	-	8.10	22.5	54	12:10	13:42	2.35	2468
F4	500	-	-	9.00	23	55	13:53	15:27	2.60	2432
F5	550	-	-	9.90	24	56	12:47	13:53	2.00	2468

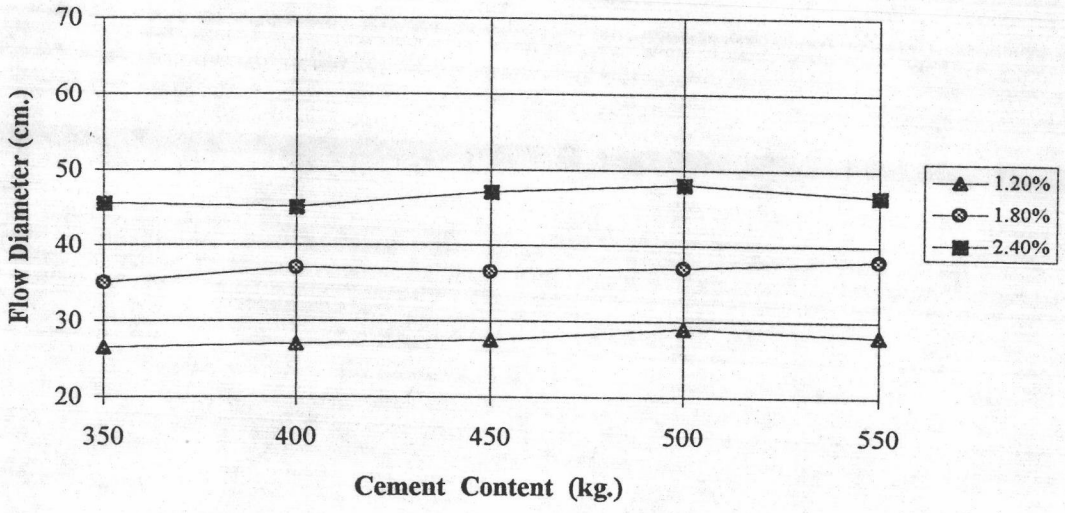
Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	SF (kg.)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Setting Time		Air Content %	Unit Weight (kg/m^3)
							Initial	Final		
I1	350	-	-	8.40	25	59.5	12:08	13:26	2.15	2432
I2	400	-	-	9.60	26	61	12:21	13:37	2.40	2473
I3	450	-	-	10.80	25.5	62	12:12	13:50	2.00	2411
I4	500	-	-	12.00	26	62	13:45	15:50	2.30	2442
I5	550	-	-	13.20	26.5	63	14:02	15:27	2.70	2458

Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	SF (kg.)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Setting Time		Air Content %	Unit Weight (kg/m^3)
							Initial	Final		
K1	350	70	-	7.56	24.5	59.5	13:38	15:10	1.66	2458
K2	400	80	-	8.64	25	60	13:20	15:52	1.45	2410
K3	450	90	-	9.72	24.5	62	13:58	16:02	1.70	2405
K4	500	100	-	10.80	25.5	63	13:40	15:45	1.18	2468
K5	550	110	-	11.88	26	62	14:32	16:25	1.26	2442

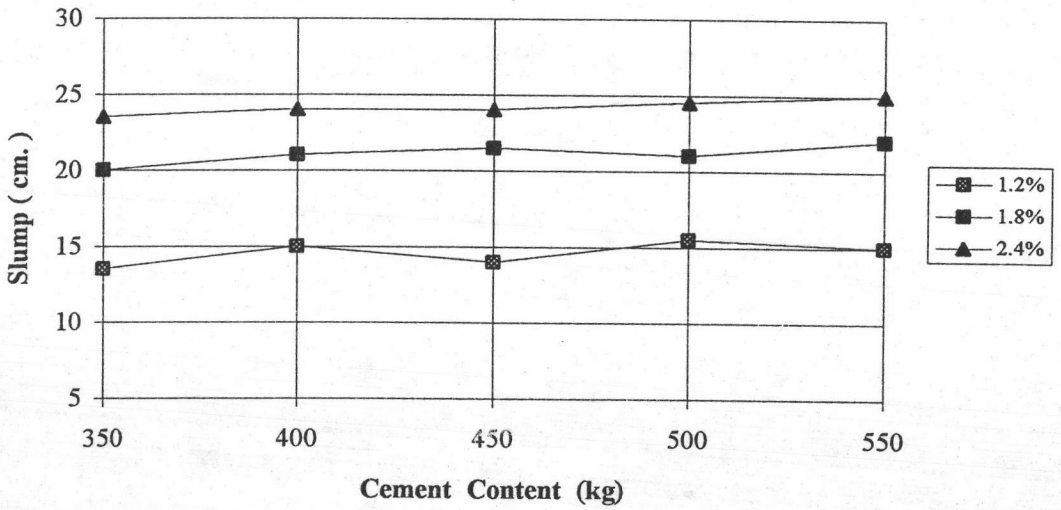
Code	Cement (kg.)	FA (kg.)	SF (kg.)	Admix. (liters.)	Slump (cm.)	Flow Table (cm.)	Setting Time		Air Content %	Unit Weight (kg/m^3)
							Initial	Final		
O1	350	-	35	6.93	21	45	11:05	12:43	1.60	2460
O2	400	-	40	7.92	20	47	10:42	12:10	1.05	2458
O3	450	-	45	8.91	19	48	11:44	13:30	1.80	2468
O4	500	-	50	9.90	21	50	12:47	13:50	1.90	2442
O5	550	-	55	10.89	21	51	11:59	13:46	1.55	2458



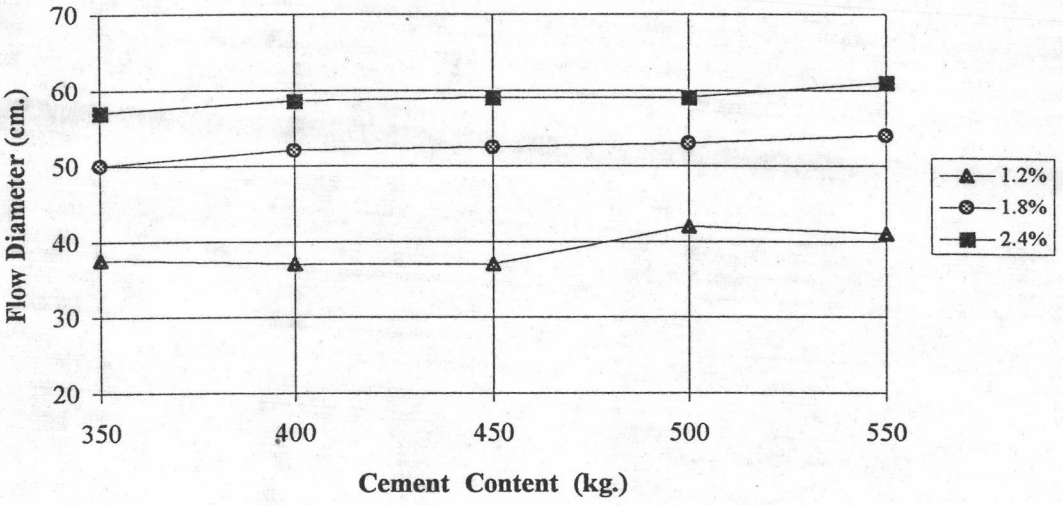
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Slump กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 120 กก.



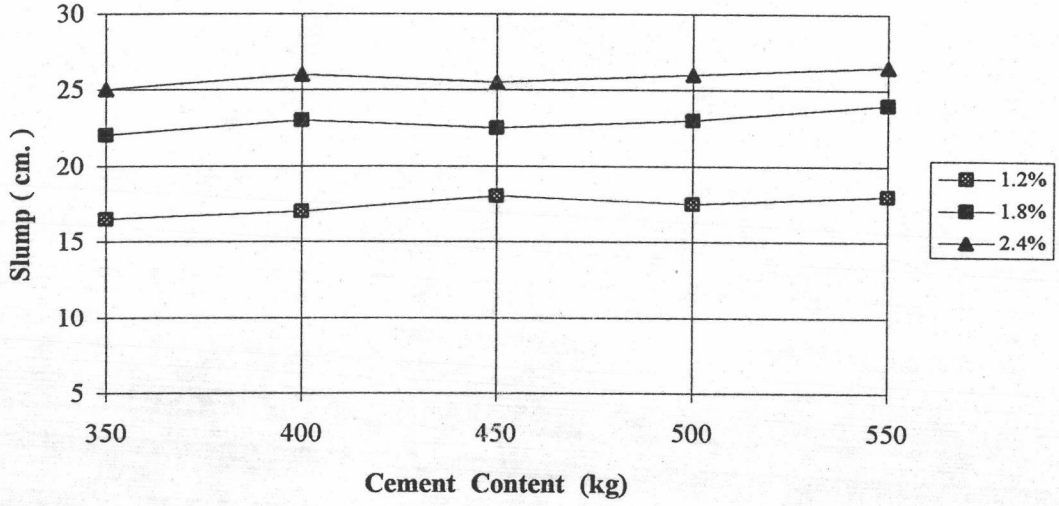
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow Diameter กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 120 กก.



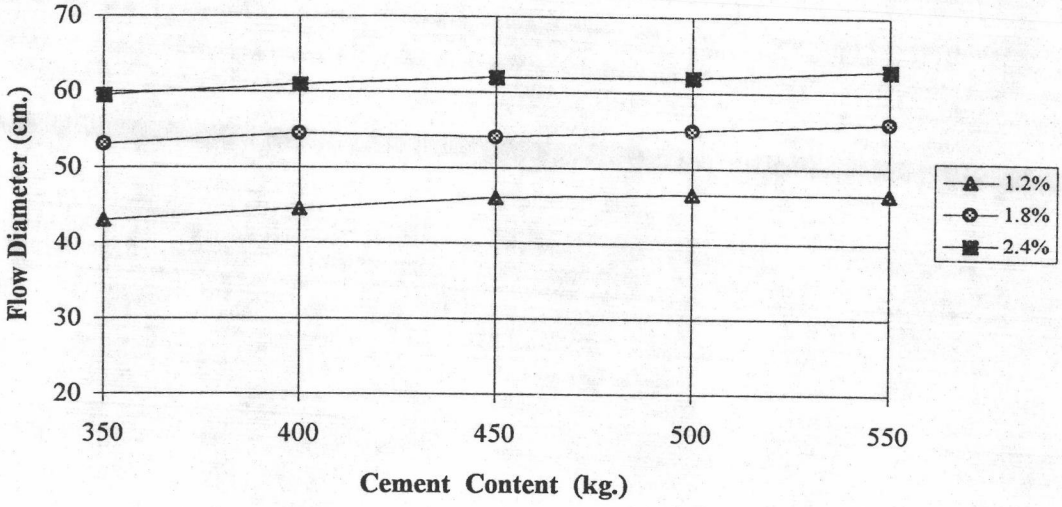
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Slump กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 140 กก.



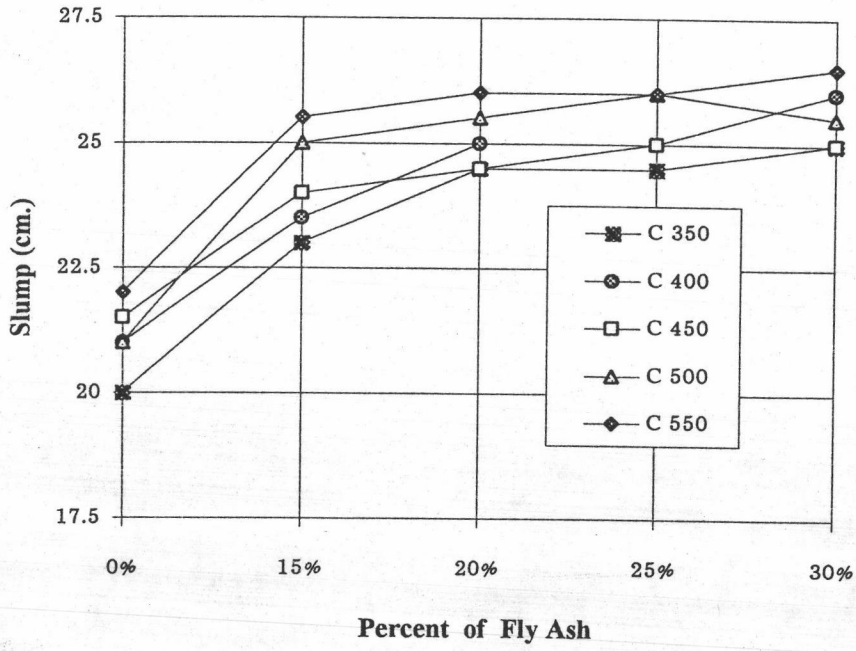
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow Diameter กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 140 กก.



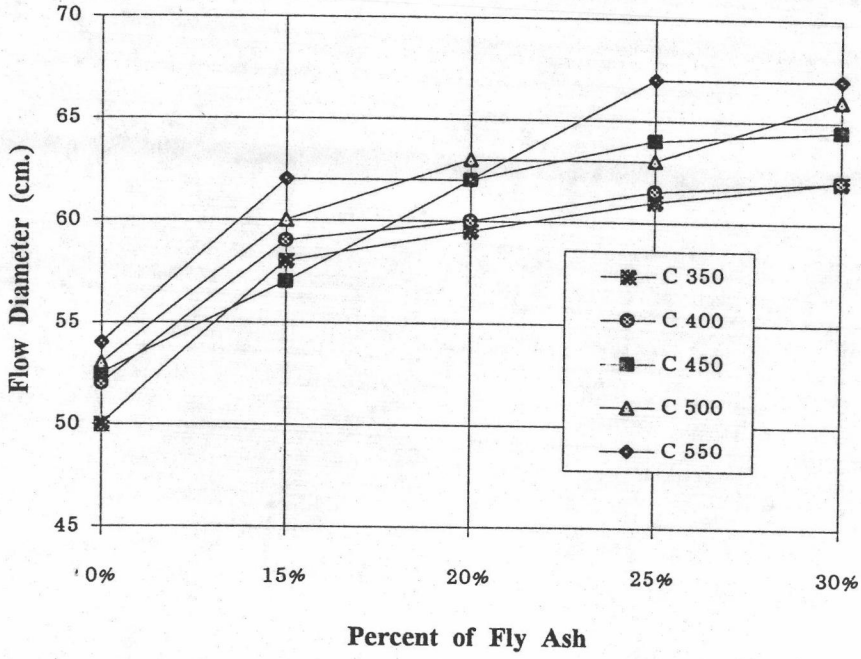
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Slump กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 160 กก.



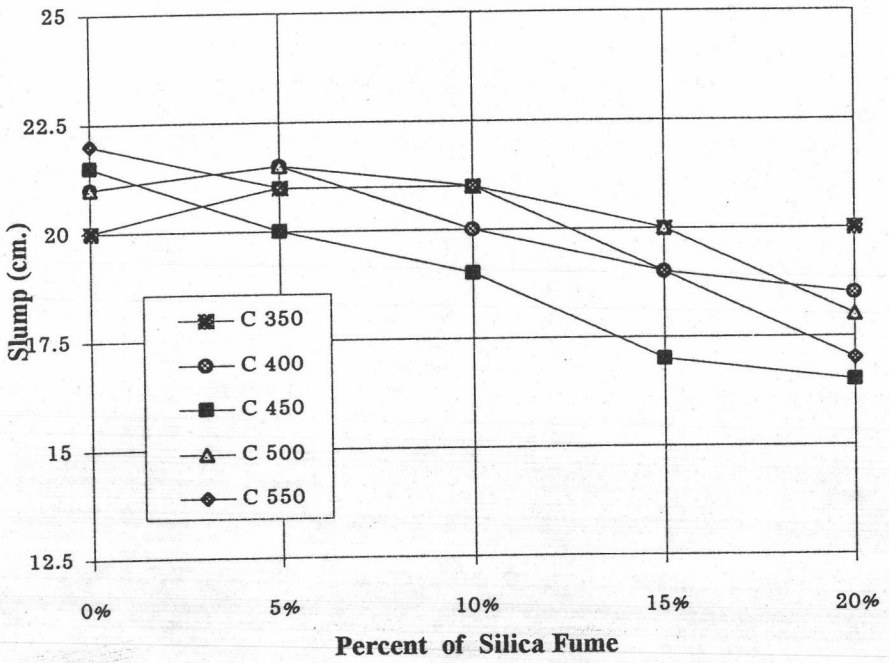
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow Diameter กับ Cement Content ที่ปริมาณน้ำ 160 กก.



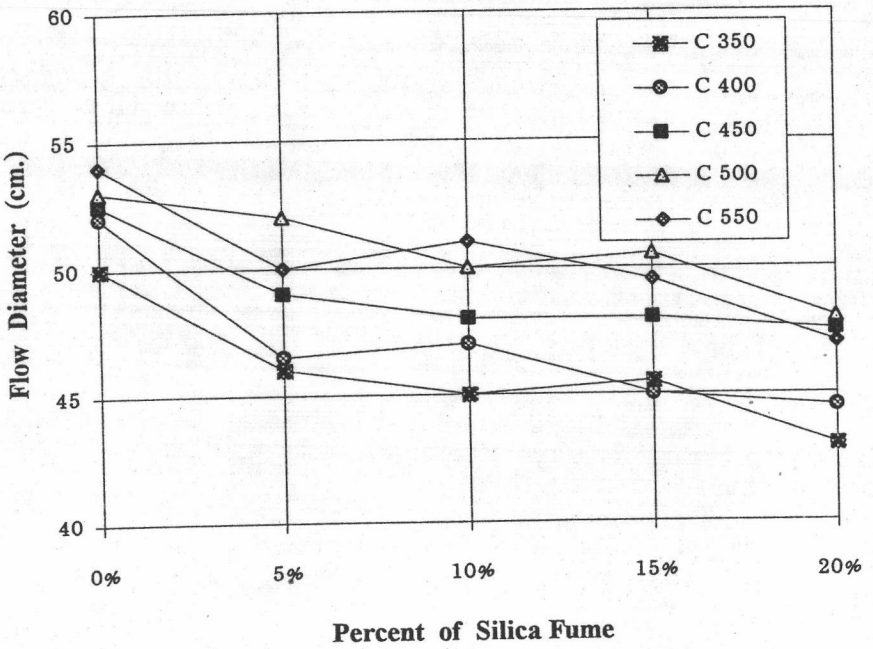
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Slump กับ อัตราวัสดุผสมเพิ่ม Fly Ash



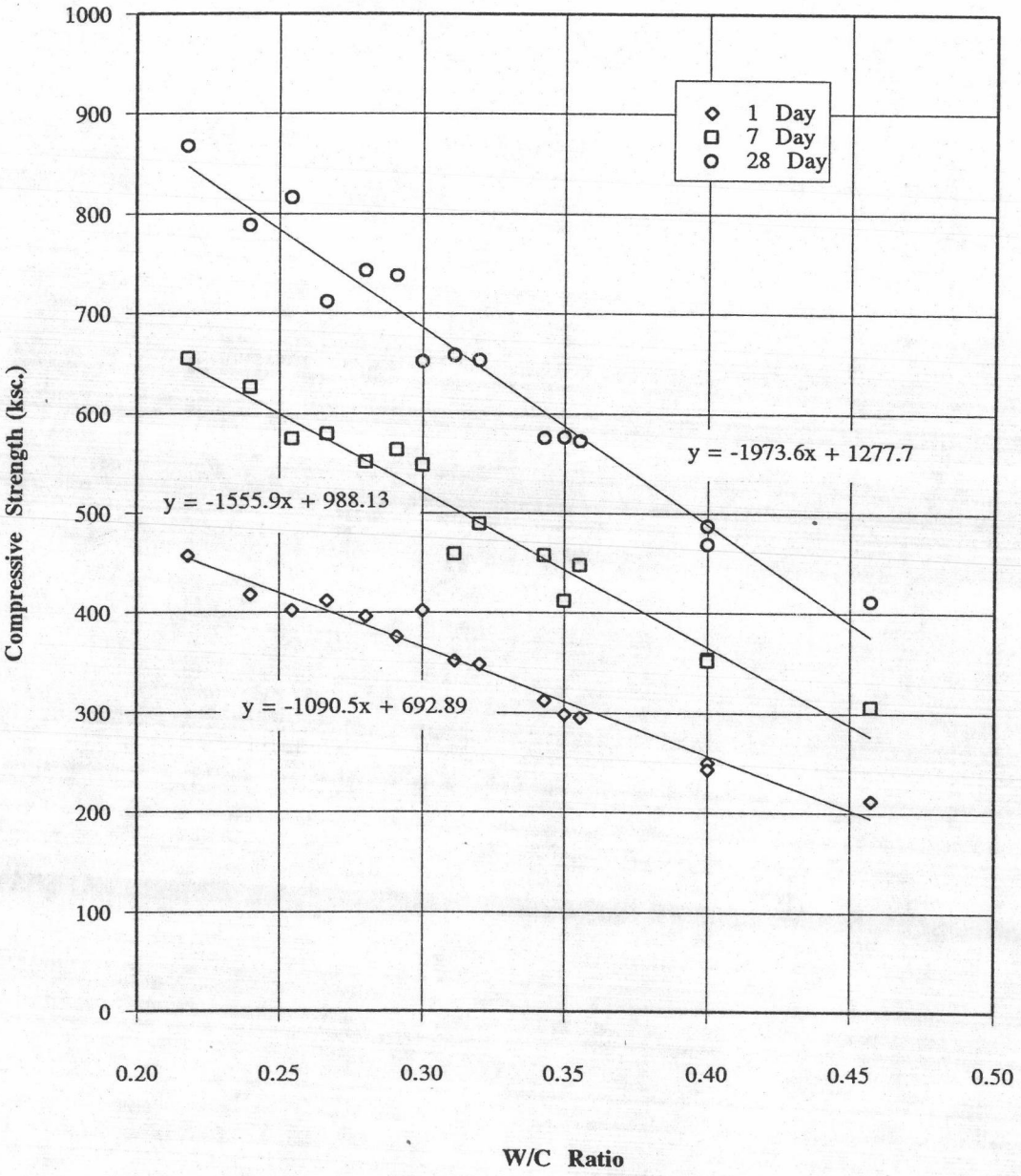
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow กับ อัตราวัสดุผสมเพิ่ม Fly Ash



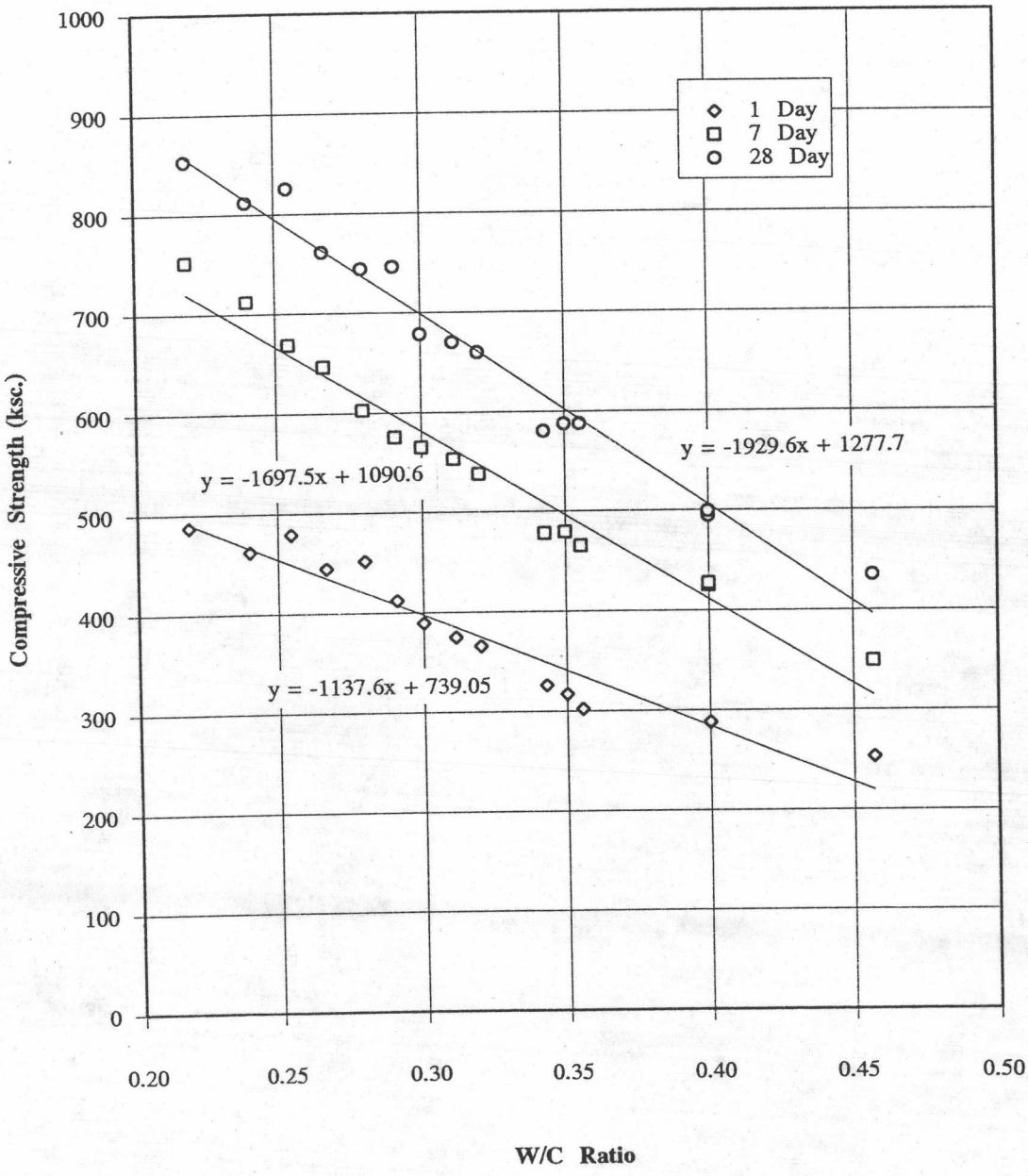
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Slump กับ อัตราวัสดุผสมเพิ่ม Silica Fume



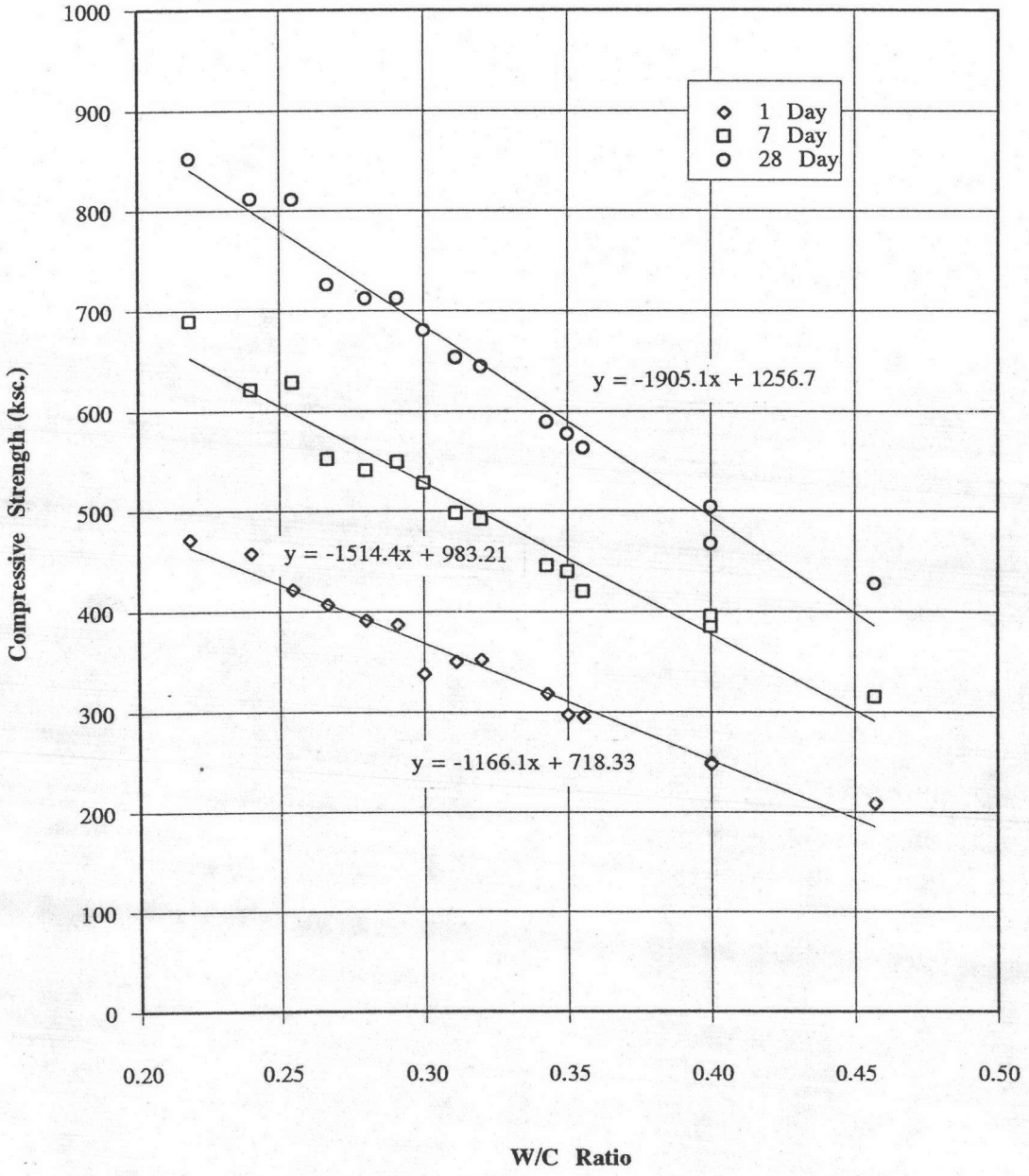
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Flow กับ อัตราวัสดุผสมเพิ่ม Silica Fume



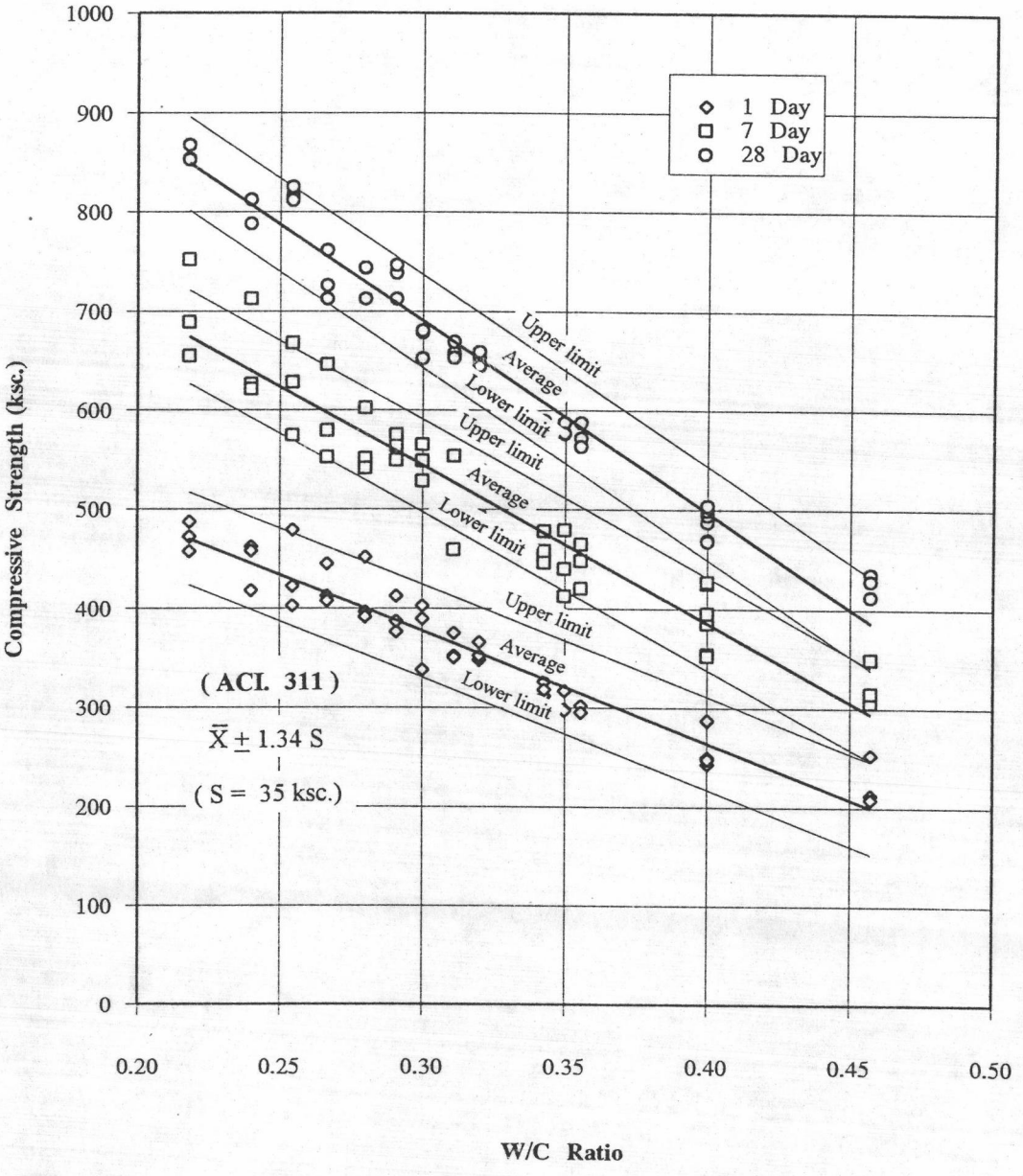
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ปริมาณสาร Superplasticizer เท่ากับ 1.2 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก.



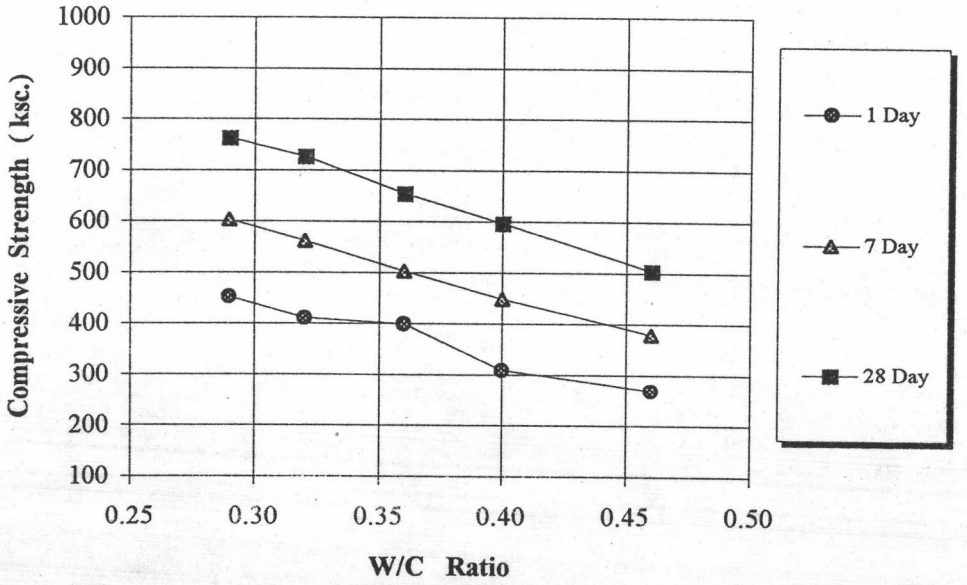
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ปริมาณสาร Superplasticizer เท่ากับ 1.8 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก.



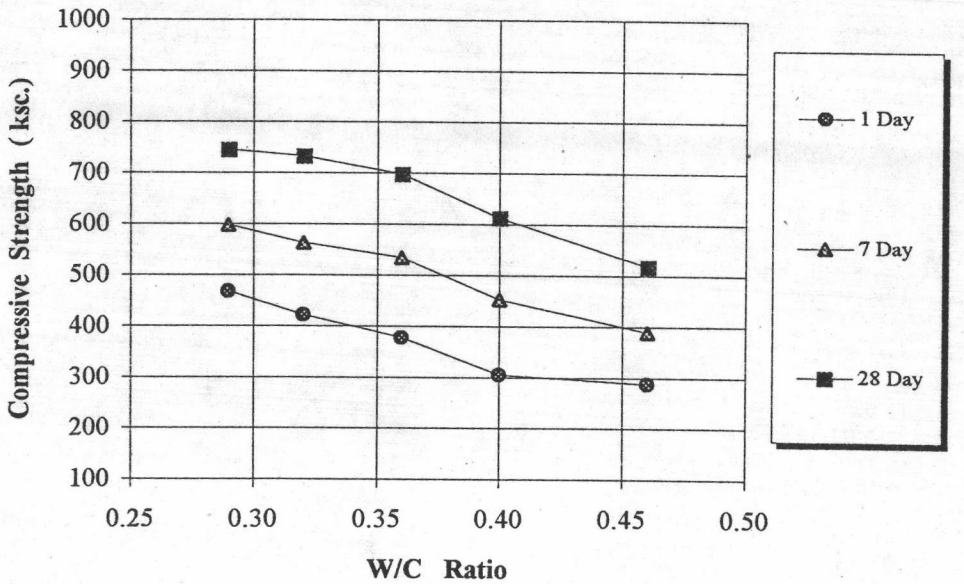
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ปริมาณสาร Superplasticizer เท่ากับ 2.4 ลิตร ต่อซีเมนต์ 100 กก.



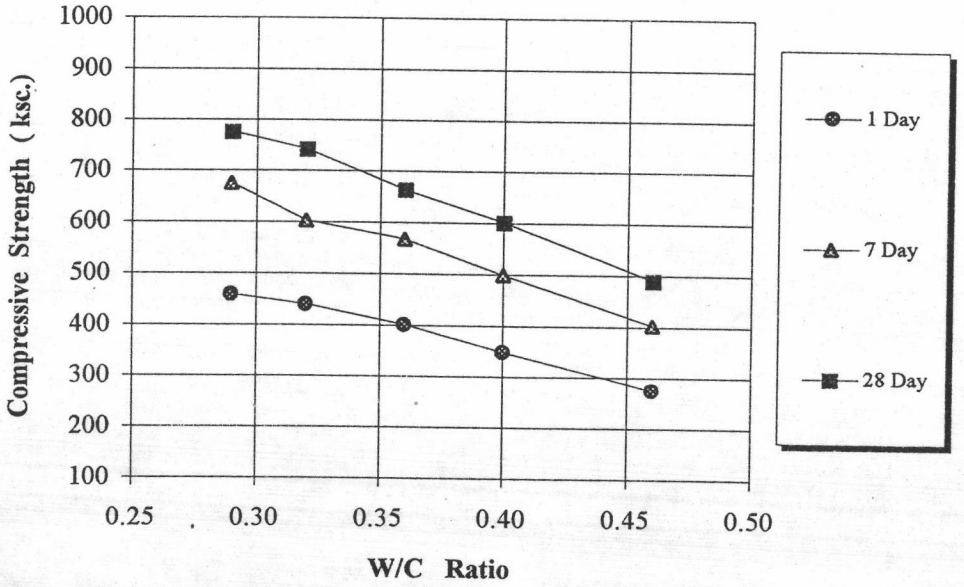
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio



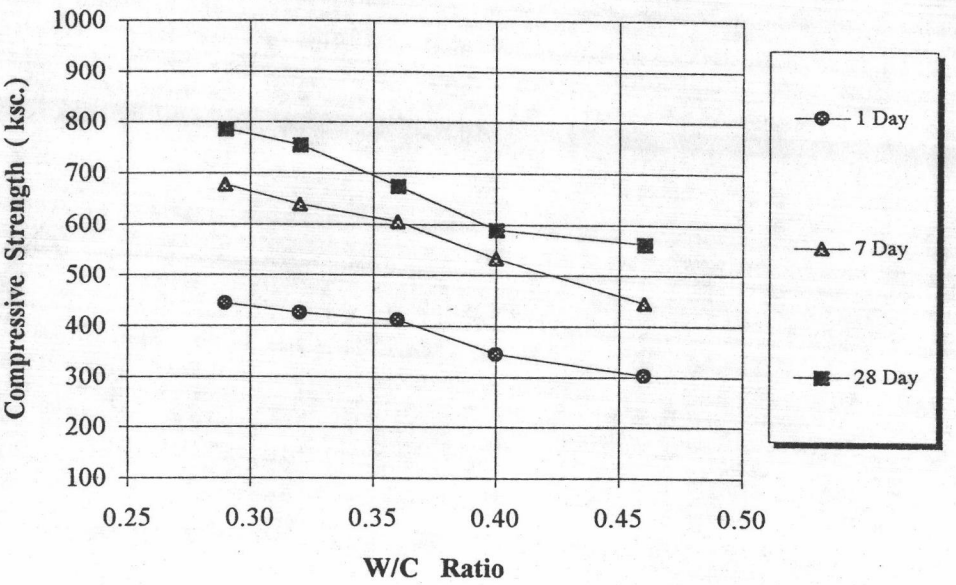
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ FA = 15 %



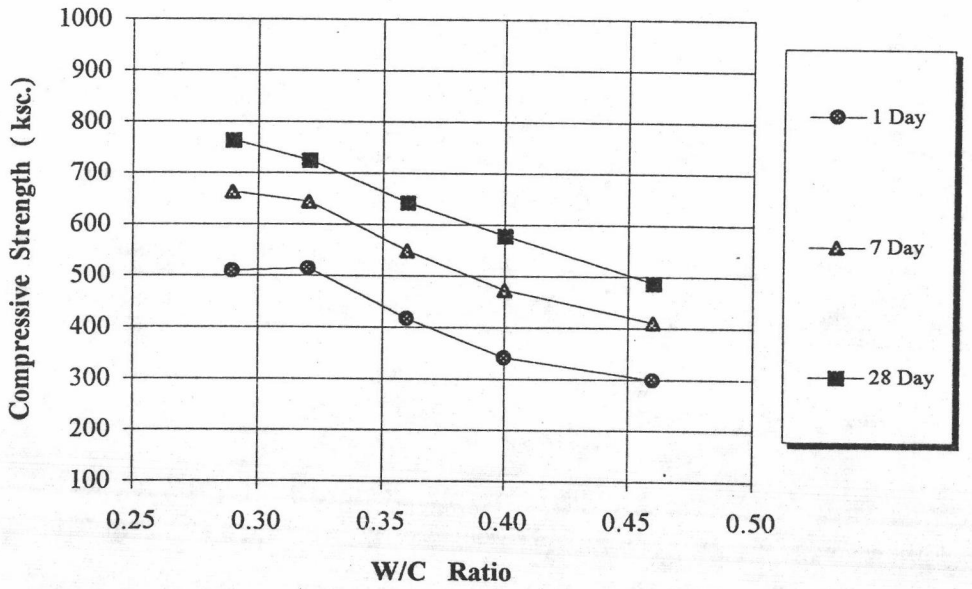
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ FA = 20 %



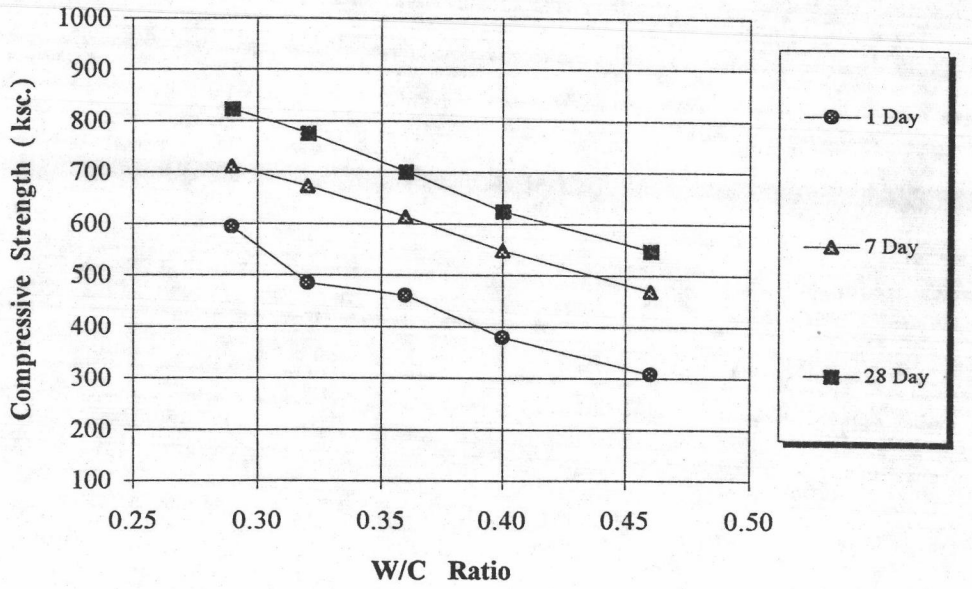
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ FA = 25 %



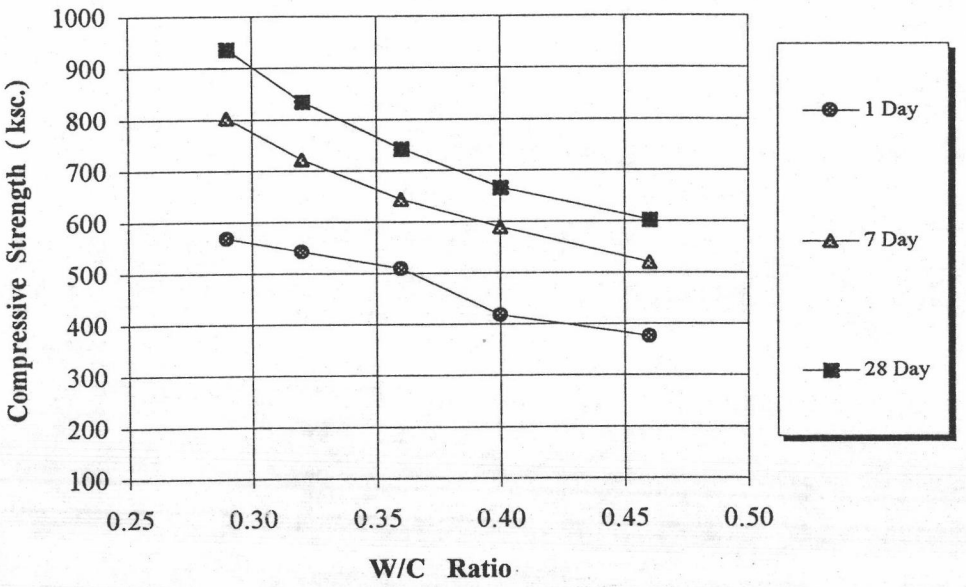
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ FA = 30 %



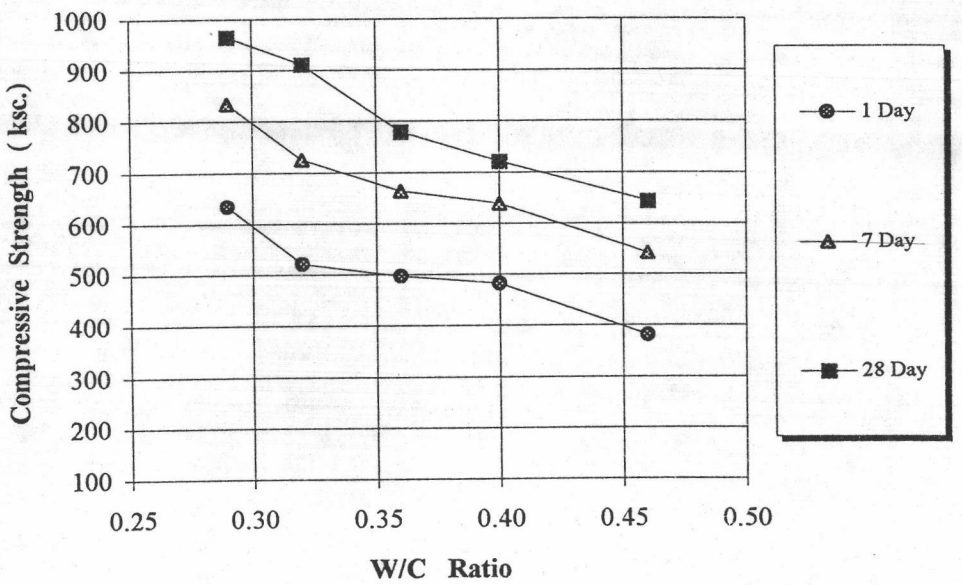
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ SF = 5 %



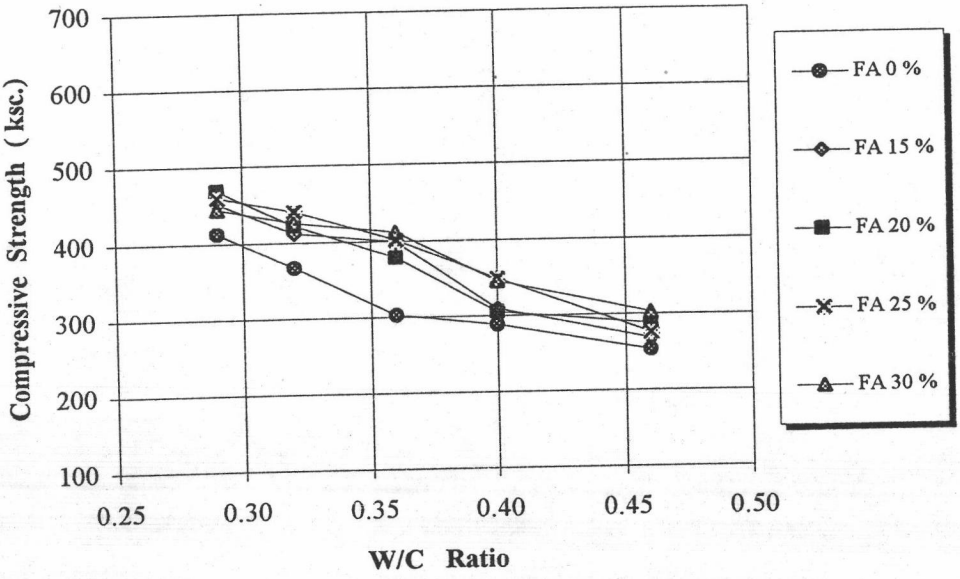
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ SF = 10 %



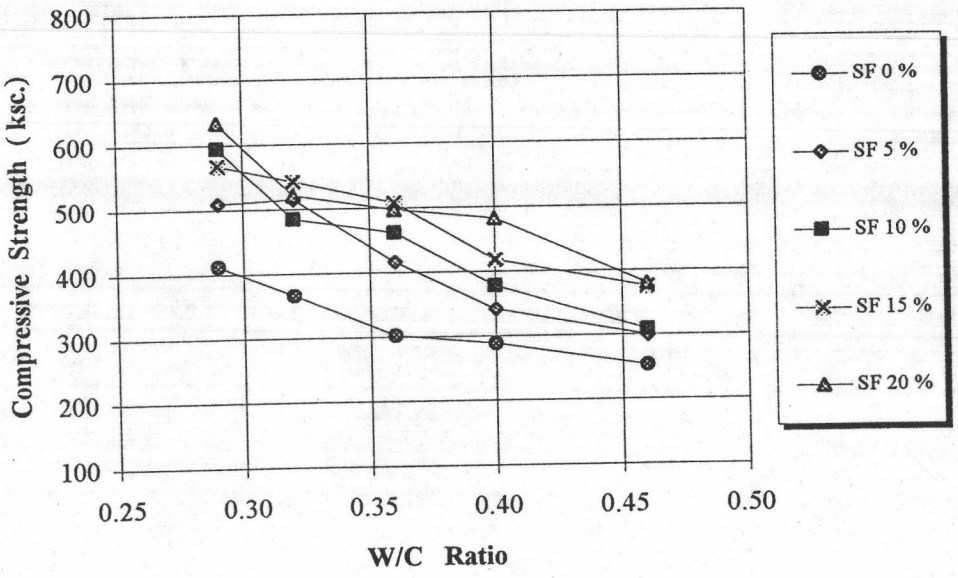
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ SF = 15 %



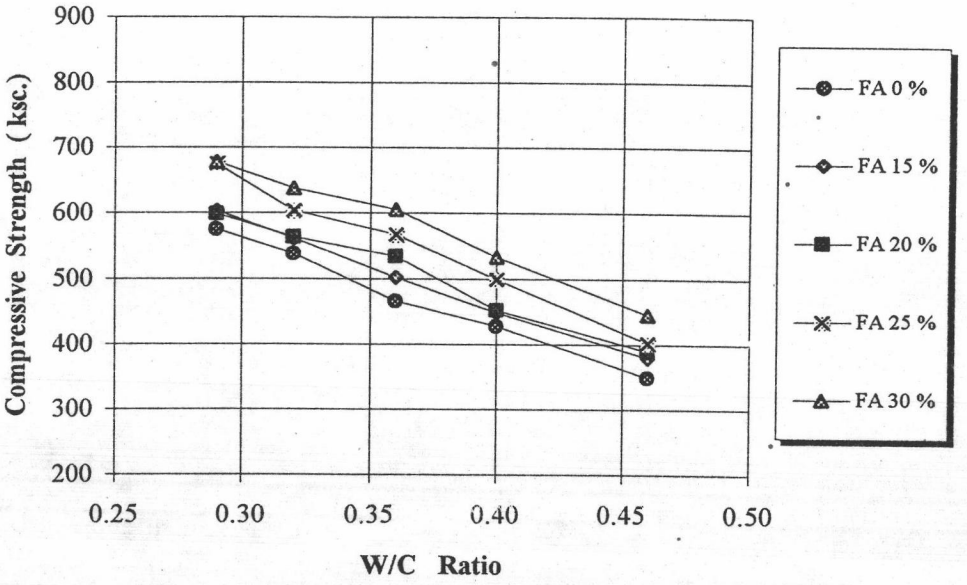
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/C Ratio ที่ใช้ SF = 20 %



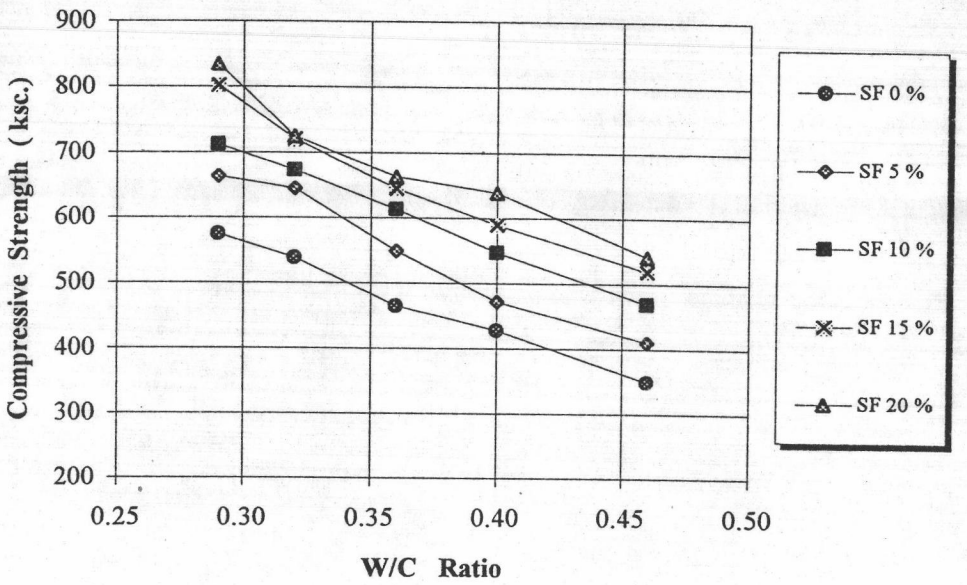
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 1 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Fly Ash



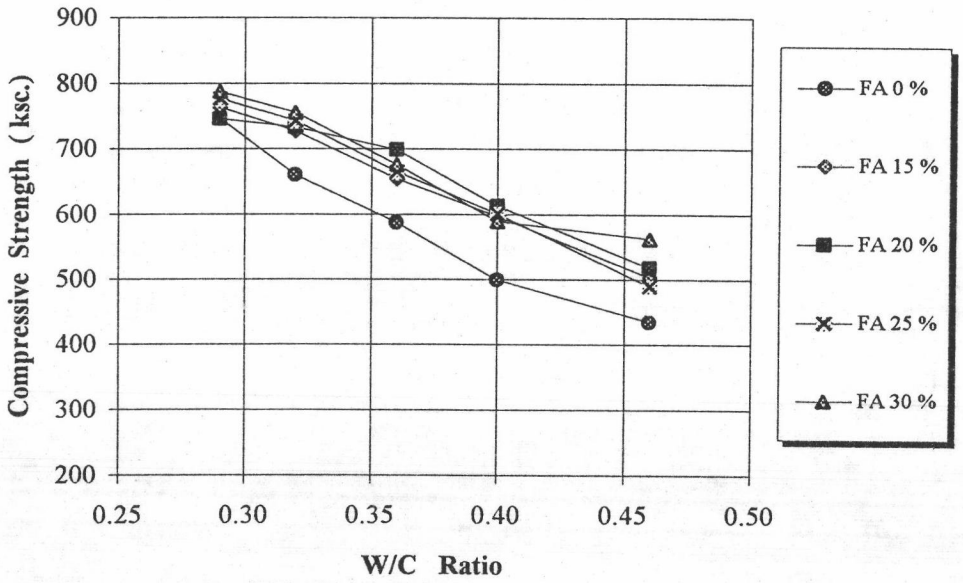
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 1 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Silica Fume



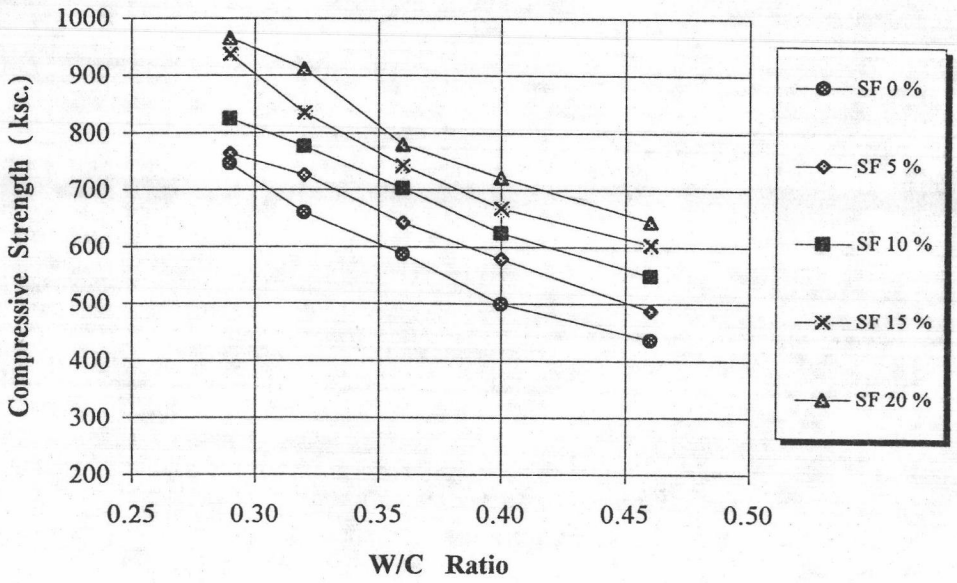
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Fly Ash



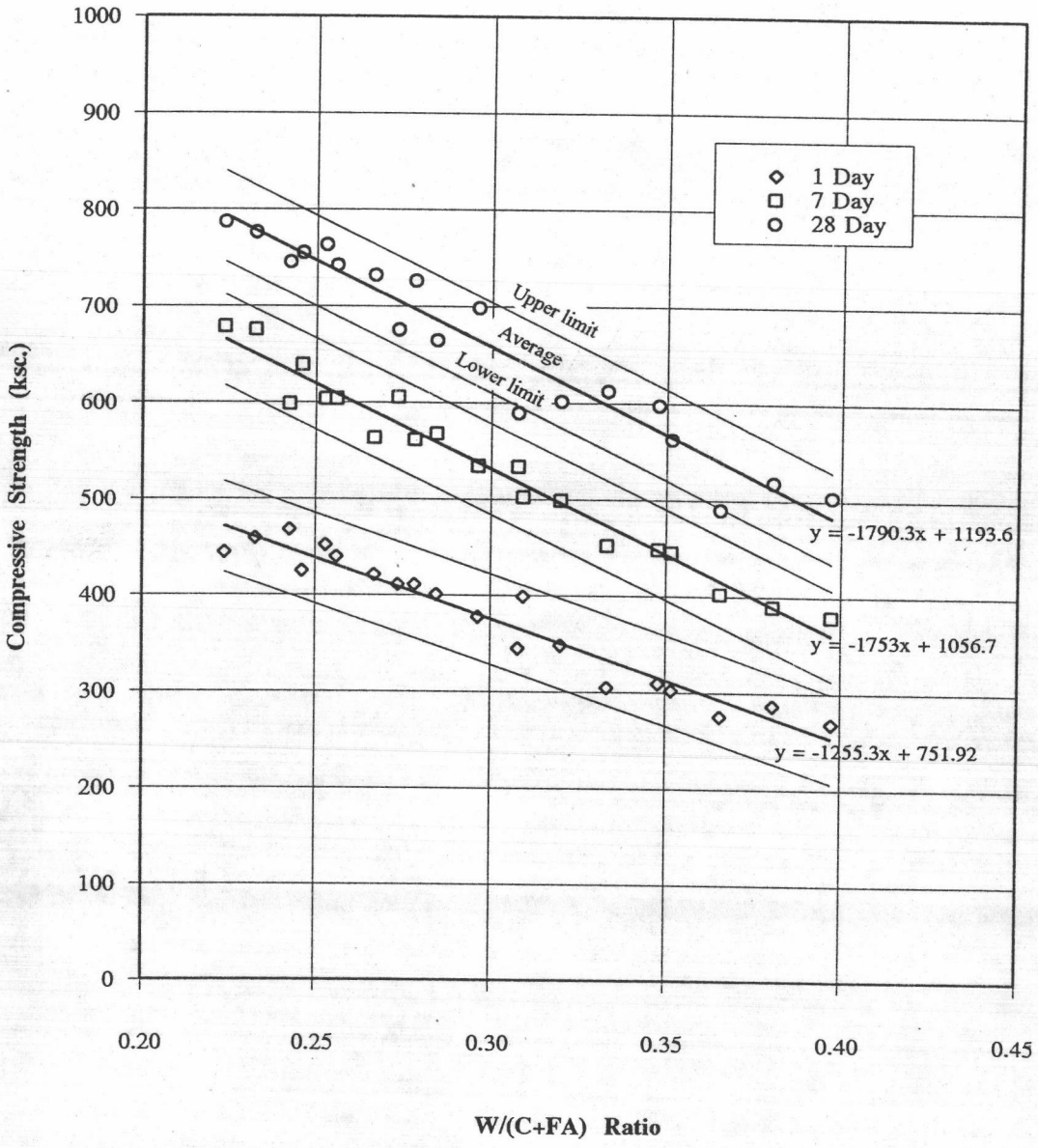
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Silica Fume



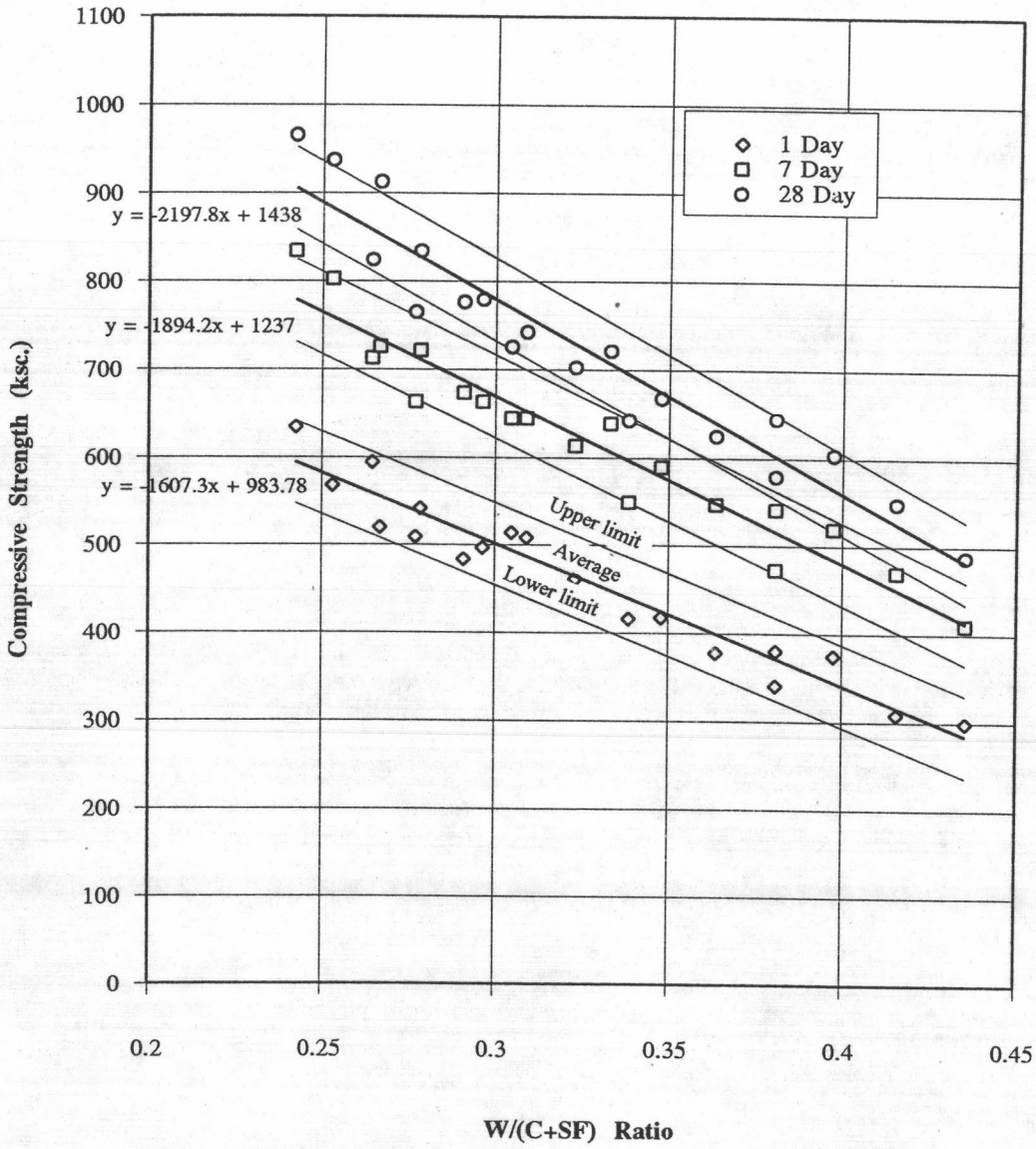
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Fly Ash



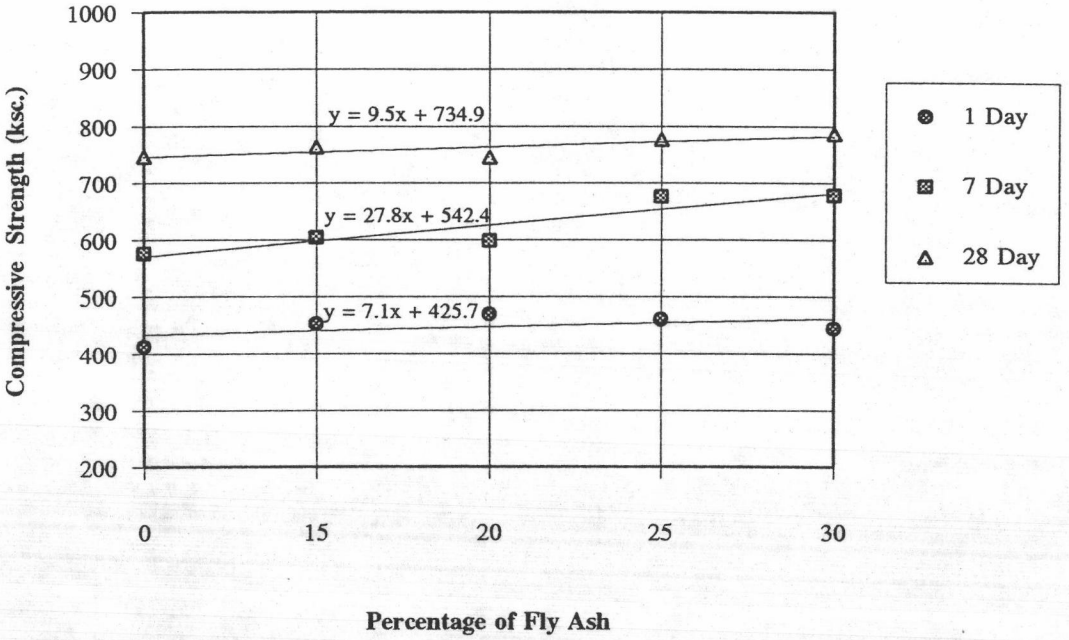
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน กับค่า W/C Ratio ของคอนกรีตผสม Silica Fume



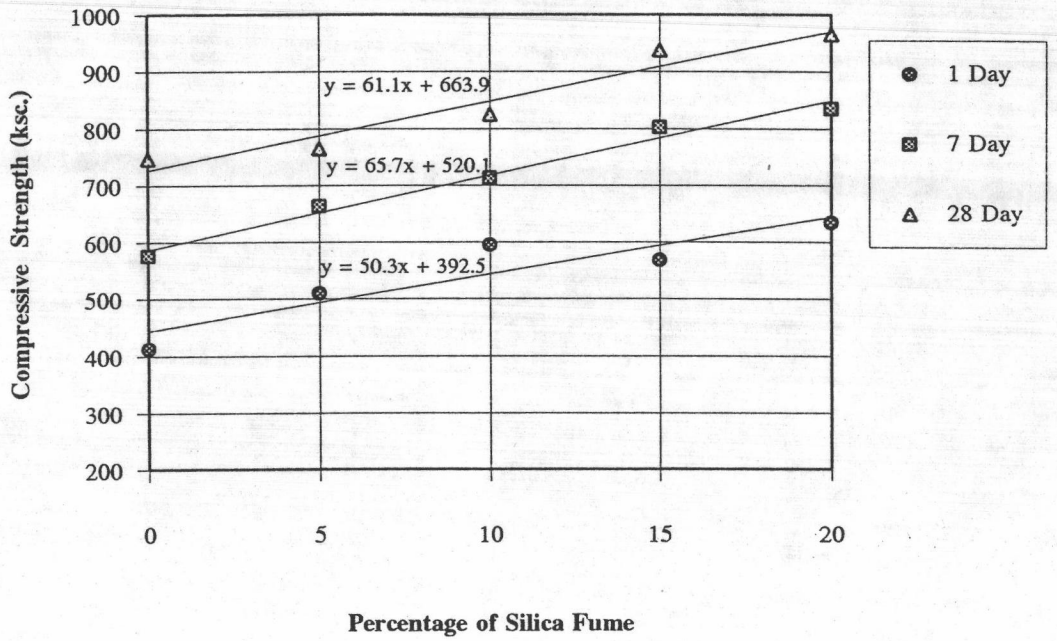
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/(C+FA) Ratio



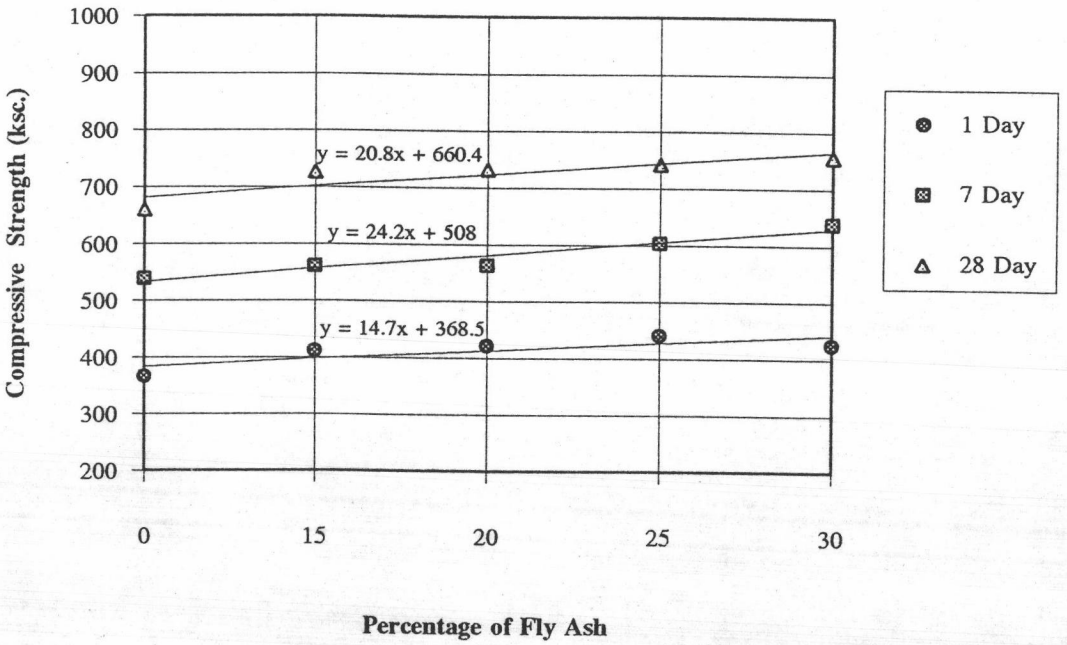
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่า W/(C+SF) Ratio



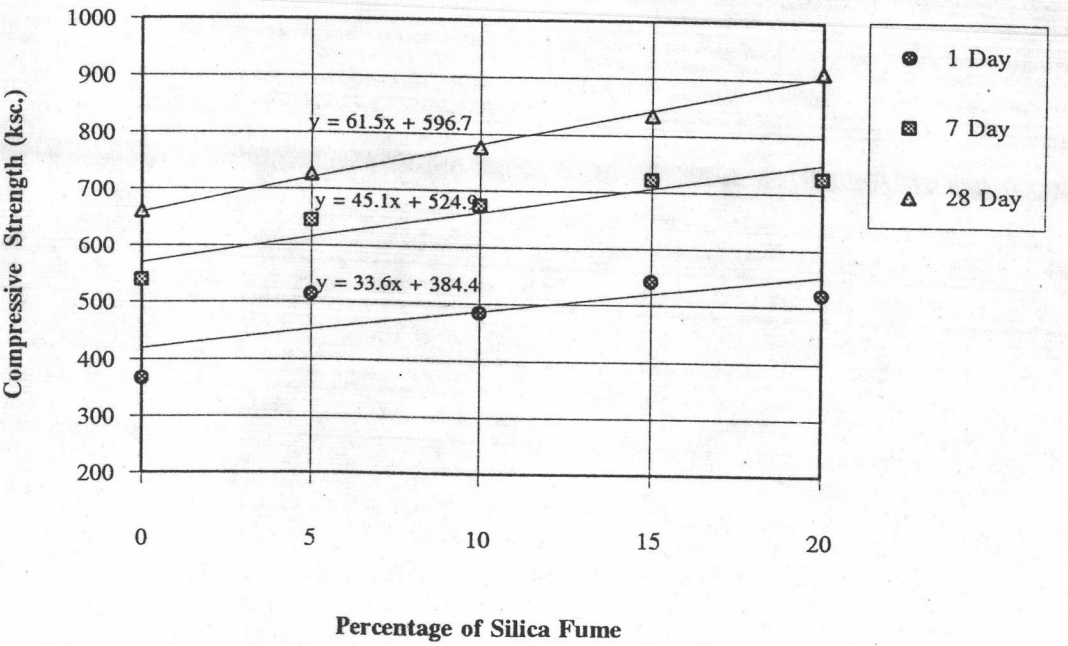
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมขี้เถ้าลอยที่ W/C Ratio 0.29



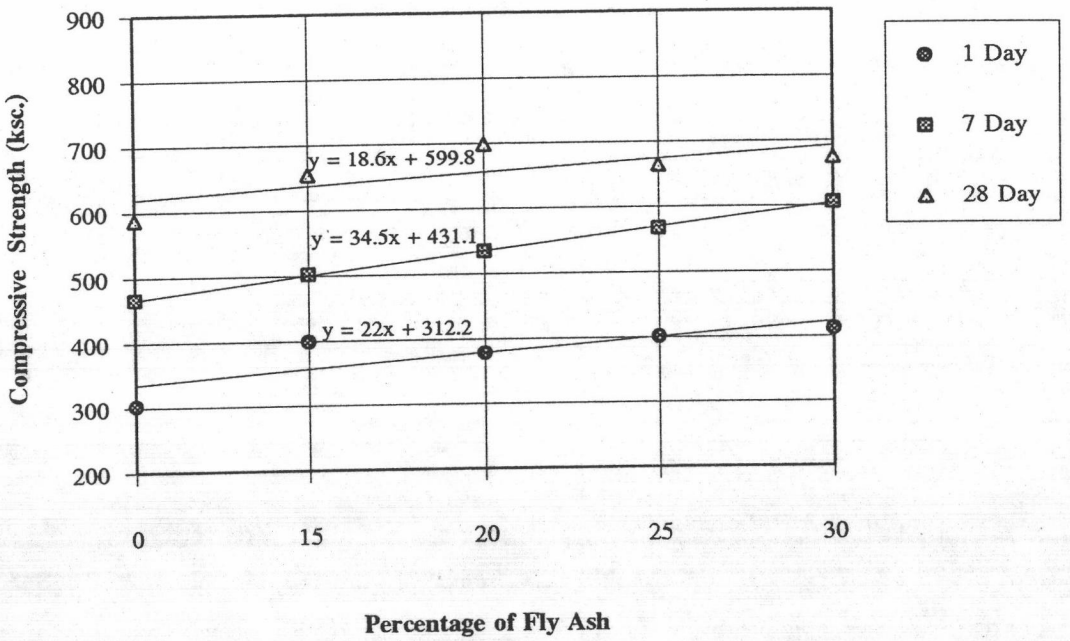
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมซิลิก้าฟูมที่ W/C Ratio 0.29



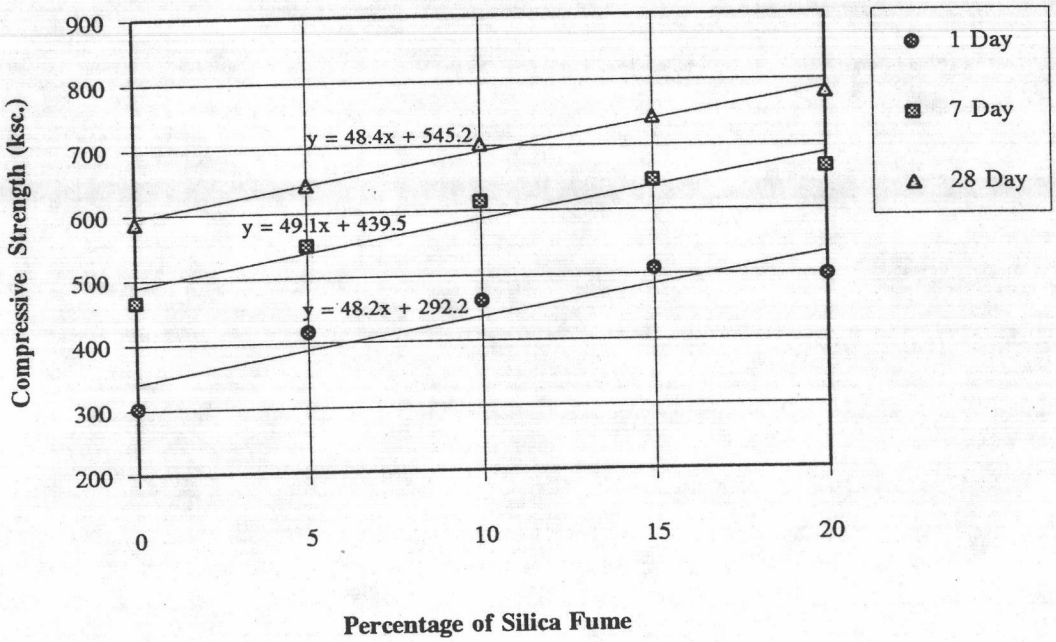
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมขี้เถ้าลอยที่ W/C Ratio 0.32



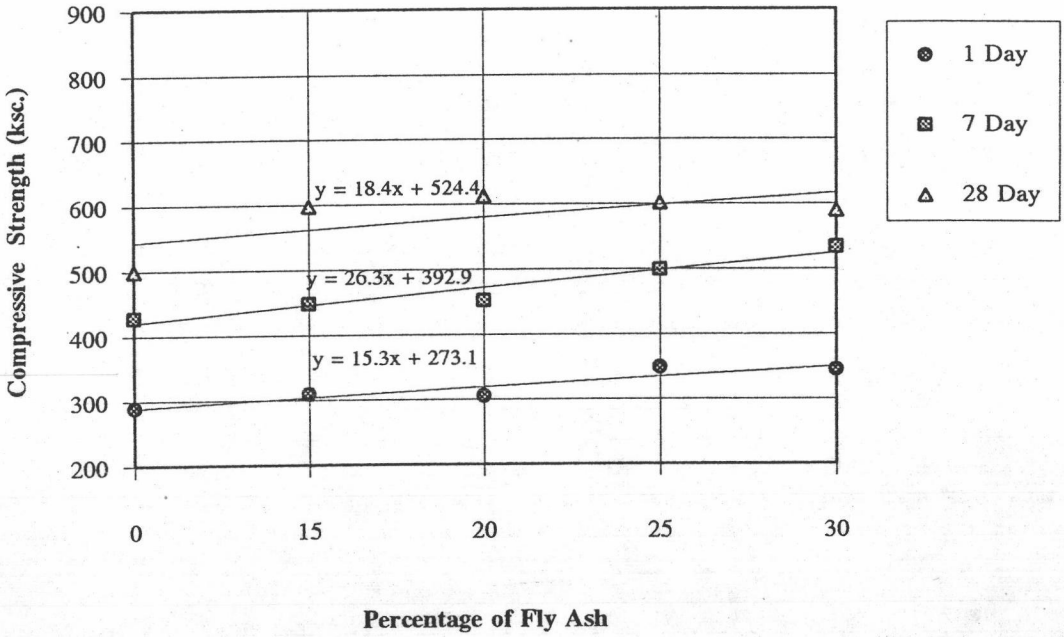
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมซิลิก้าฟูมที่ W/C Ratio 0.32



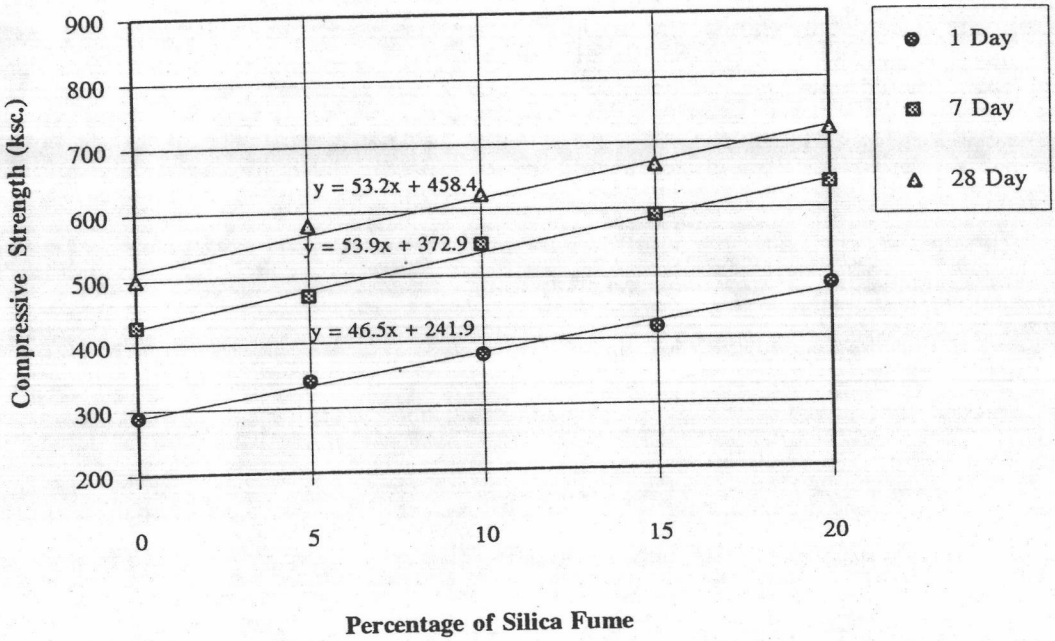
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมขี้เถ้าลอยที่ W/C Ratio 0.36



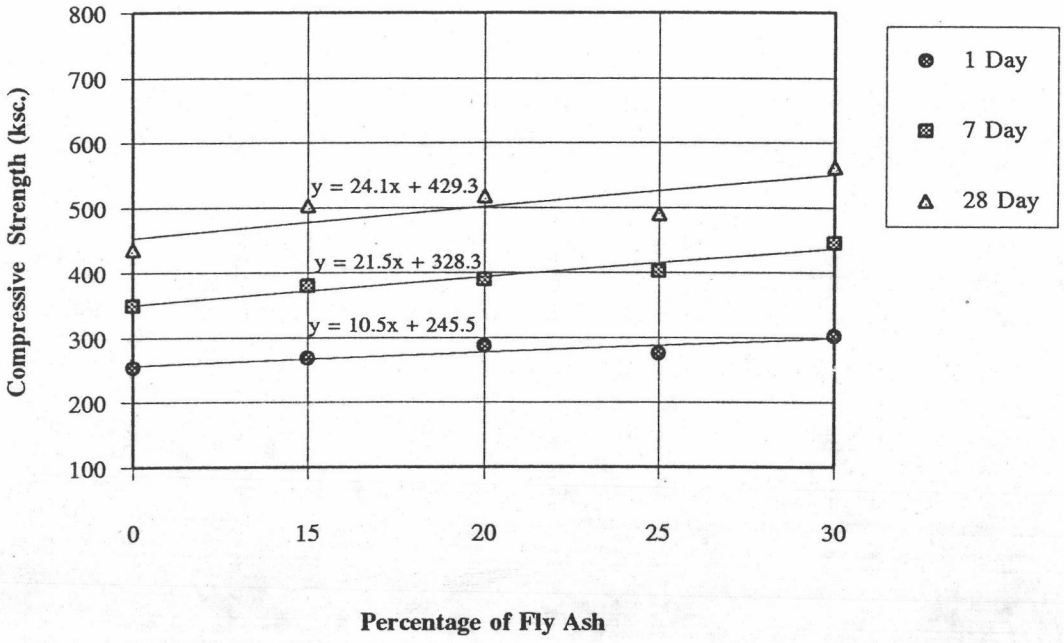
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมซิลิก้าฟูมที่ W/C Ratio 0.36



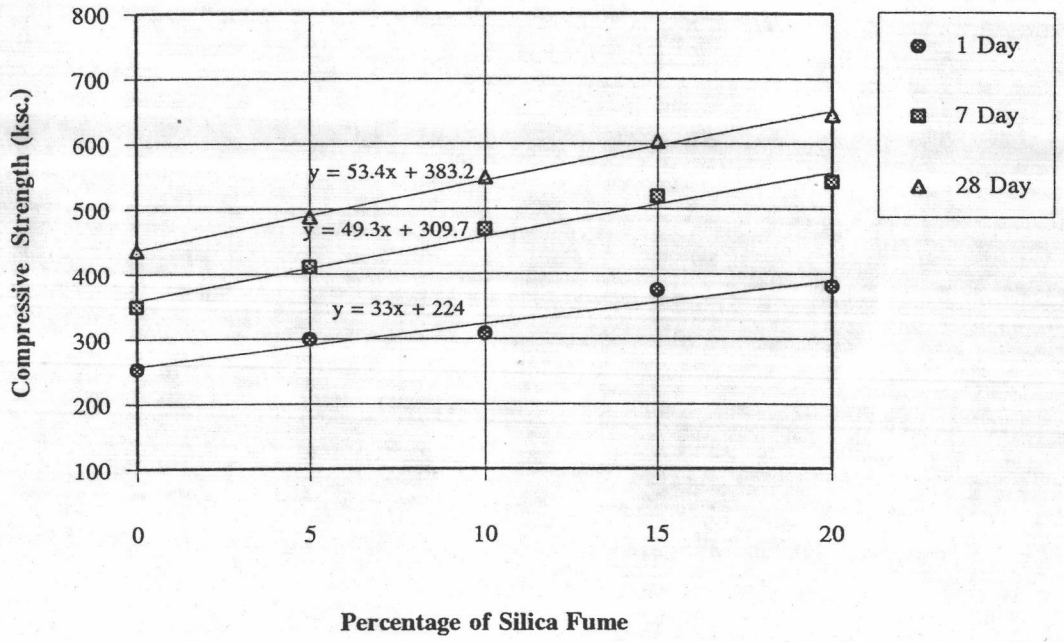
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมขี้เถ้าลอยที่ W/C Ratio 0.40



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมซิลิก้าฟูมที่ W/C Ratio 0.40



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมขี้เถ้าลอยที่ W/C Ratio 0.46



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณผสมซิลิก้าฟูมที่ W/C Ratio 0.46