

รายการอ้างอิง

1. Bear J. and Braester C.. Fundamental of Transport Phenomenon in Porous Media. Amsterdam: Elsevier, 1972.
2. Rose D.A.. Water Movement in Unsaturated Porous Materials. RILEM Bulletin. (29) (1965): 119-124.
3. The Concrete Society. A Review of Methods and Experience. Report of a Concrete-Society Working Party. Concrete Society Technical Report No.31 London (Aug.,1988): 95-96.
4. Washburn. The Dynamics of Capillary Flow. The Physics Review. XVII(3) (Mar.,1921): 273-283
5. Min-Hong Zhang and V.Mohan Malhotra. High-Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as Supplementary Cementing Material. ACI Materials Journal Vol .Nov-Dec (1996): 629-636.
6. Nabil Bouzoubaa, Alain Bilodeau, Vasantthy Sivasundaram, et al. ACI Material-Journal Vol.Jan-Feb (2004): 19-29.
7. ASTM C1202. Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion-Penetration. Annual Book of American Society for Testing Materials Standards Vol.C04.02 (1993): 620-625.
8. Caijun Shi. Another Look at the Rapid Chloride Permeability Test. CJS Technology-Inc. L7M2Z2. 2116 Upland Dr. , Burlington, Ontario, Canada , 1998.
9. Andrade C., Alonso C.,and Goni S.. Possibilities for Electrical Resistivity to Universally Characterise Mass Transport Processes in Concrete. Economic and Durable Construction Through Excellence 2, (1993): 1639-1652.
10. Andrade C. and Sanjuan M.A.. Experimental Procedure for the calculation of the Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Migration Tests. Advance in Cement Research 6, 23 (1993): 127-134.
11. Chung-Chia Yang. Relationship between Migration Coefficient of Chloride Ions and Charge Passed in Steady State. ACI Materials Journal Vol. Mar-Apr (2004): 124-130
12. Neville A.M.. Properties of Concrete. London : Pitman Books Ltd., 1981.

13. Powers T.C.. Structure and Physical Properties of Hydrated Portland Cement Paste. Journal of the American Ceramic Society 41(1) (Jan.,1958): 1-6.
14. Diem Paul. Determination of Capillary Absorptiveness of very dense concrete. Betonwerk und Fertigteil-Technik 52(11) (Nov.,1986): 719-724.
15. Metha P.K., and Manmohan D.. Pore Size Distribution and Permeability of Hardened Cement Pastes. Chemistry of Cement 7th International Congress (1980): 5-6.
16. Midgley H.G. and Illuston J.M.. Some Comments on the Microstructure of Hardened Cement Pastes. Cement and Concrete Research (13) (1983): 197-206.
17. Nieminen Pertti and Romu Marti. Porosity and Frost Resistance of Clay Bricks Proceeding 8th International Brick/Block Masonry Conference. Ireland (1988): p.103-109.
18. Parrott L.J. and Killoh D.C.. Prediction of Cement Hydration. The Chemistry and Chemically Related Properties of Cement, British Ceramic Proceeding (35) (Sept.,1984): 41-53.
19. Parrott L.J.. Effect of Changes in U.K. Cement upon Strength and Recommended Curing Times. Concrete, Journal of the Concrete Society (Sept.,1985): 22-24.
20. Metha and P.Kumar. Concrete: Structures, Properties and Materials. Prentice-Hall-Inc. Englewood Cliff, New Jersey (Jan.,1986): 450-451.
21. Van Brakel J.V., Modry S., and Svata M.. Mercury Porosimetry. State of Art. Powder-Technology (29) (1981):1-12.
22. Lowell S. and Shields J.E.. Powder Surface Area and Porosity. Second Edition, p.205-216. New Yorks : Chapman and Hall, 1984.
23. Washburn E.W.. Note on Method of Determining the Distributions of Pore Sizes in Porous Materials. Proc.Natl.Acad.Sci. (7) (1921): 115-116.
24. Diamond S.. Methodologies of Pore Sizes Distribution Measurements in Hydrated Cement Pastes: Postulates, Peculiarities, and Problems. Malts, Res.Soc., Proc.Symp. on Pore Struct. and Perm.Cem.Mtls. (137) (1989): 83-89.
25. Winslow D.N.. Advances in Experimental Techniques for Mercury Intrusion Porosimetry. Surface and Colloid Science (29) p.259-282. NY: Egon Matijevic and Robert J.Good, 1984.

26. Hearn N. and Hooton R.D.. Sample Mass and Dimension Effects on Mercury Intrusion Porosimetry Results. Cem.Concr. Res. (22) (1992): 970-980.
27. Winslow D.N. and Lowell C.W.. Measurement of Pore Sizes Distributions in Cements, Aggregates and Soils. Powder Technology (29) (1981) :1-12.
28. Tsuyoshi Maruya, Yasunori MATSUOKA, et al.. Simulation of Chloride Movement in Hardened Concrete. Concrete Library of JSCE No.20 (Dec.,1992): 57-70.
29. Tsuyoshi Maruya, Yasunori MATSUOKA, et al.. Modelling of Chloride Ion Movement in the Surface Layer of Hardened Concrete. Concrete Library of JSCE No.32 (Dec., 1998): 69-84.
30. Detwiler R.J., Kjellsen K.O. and Gjorv O.E.. Resistance to Chloride Intrusion of Concrete Cured at Different temperature. ACI Materials Journal 88, 1 (1991): 19-24.
31. Alford N.M. and Rahman A.A.. An Assesment of Porosity and Pore Sizes in Harden Cement Pastes. J. Mater.Sci. 16, (1981): 3105-3114.
32. Kalousek G.L. and Benton E.J.. Mechanism of Sea Water Attack on Cement Pastes. ACI Jour. Proc. 67 (1970): 187-191.
33. คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ ภายใต้คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. ความคงทนของคอนกรีต, หน้า 40-57.
34. Powers T.C.. Structure and Physical Properties of Hydrated Portland Cement Paste. Journal of the American Ceramic Society 41(1) (Jan.,1958): 1-6.
35. Feldman R.F. and Sereda P.J.. A Model for Hydrated Portland Cement Paste as Deduced from Sorption- Length Change and Mechanical Properties. RILEM-Bulletin 1(6):509-520. Paris (Nov.-Dec., 1968).

ภาคผนวก

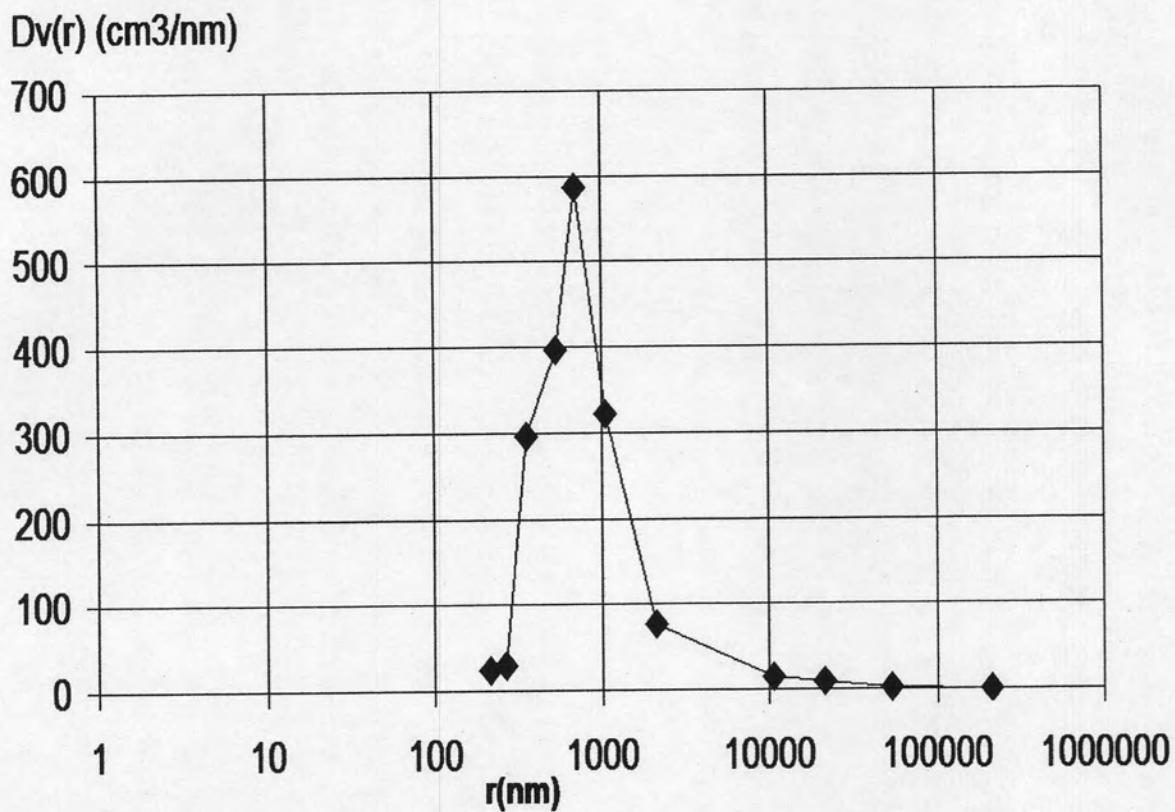
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณค่าการกระจายขนาดของโพรงโดยวิธีเอ็มไอพี

ในห้องทดสอบโดยวิธีเอ็มไอพีจะต้องมีการทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับความดันที่ใช้ในการอัดพรอทเข้าสู่โพรงคอนกรีตของก้อนตัวอย่าง และจะมีการเพิ่มความดันขึ้นทีละน้อยเรื่อยๆ โดยจะบันทึกค่าปริมาตรของพรอทที่ถูกอัด (V) และที่ความดัน (P) โดยในแต่ละขั้นตอนที่มีการเพิ่มความดัน (ΔP) จะทำให้ปริมาตรของพรอทถูกอัดเข้าไปสู่โพรงคอนกรีตเพิ่มขึ้นเป็นปริมาตร (ΔV) จากสมการ (2.4) ถึง (2.8) ทำให้เราสามารถคำนวณหาการกระจายขนาดของโพรงคอนกรีต ในรูปแบบความสัมพันธ์ของการกระจายสะสมของปริมาตรโพรงคอนกรีตเทียบกับขนาดโพรงคอนกรีตที่มีรัศมี (r) ต่างๆกันหรือ การกระจายขนาดของโพรงคอนกรีต ซึ่งถูกแทนด้วย $Dv(r)$ และสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตาราง ก.1 และสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ ก.1

ตารางก.1 แสดงการหาค่าการกระจายขนาดของโพรงคอนกรีตโดยวิธีเอ็มไอพี

P(psia)	ΔP (psia)	r(nm)	V(cm ³)	ΔV (cm ³)	$\frac{\Delta V}{\Delta P}$ (cm ³ /psia)	Dv(r) (cm ³ /nm)
50	50	213400	0.085	0.085	1.700	0.40
200	150	53350	0.142	0.057	0.380	1.42
500	300	21340	0.251	0.109	0.363	8.51
1000	500	10670	0.330	0.079	0.158	14.81
5000	4000	2134	0.461	0.131	0.0328	76.85
10000	5000	1067	0.633	0.172	0.0344	322.4
15000	5000	711.3	0.772	0.139	0.0278	586.25
20000	5000	533.5	0.825	0.053	0.0106	397.39
30000	10000	355.7	0.860	0.035	0.0035	295.19
40000	10000	266.8	0.862	0.002	0.0002	29.99
50000	10000	213.4	0.863	0.001	0.0001	23.43
60000	10000	177.8	0.863	0.000	-	-



รูปที่ ก.1 แสดงการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตที่ได้จากค่าในตาราง ก1



ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

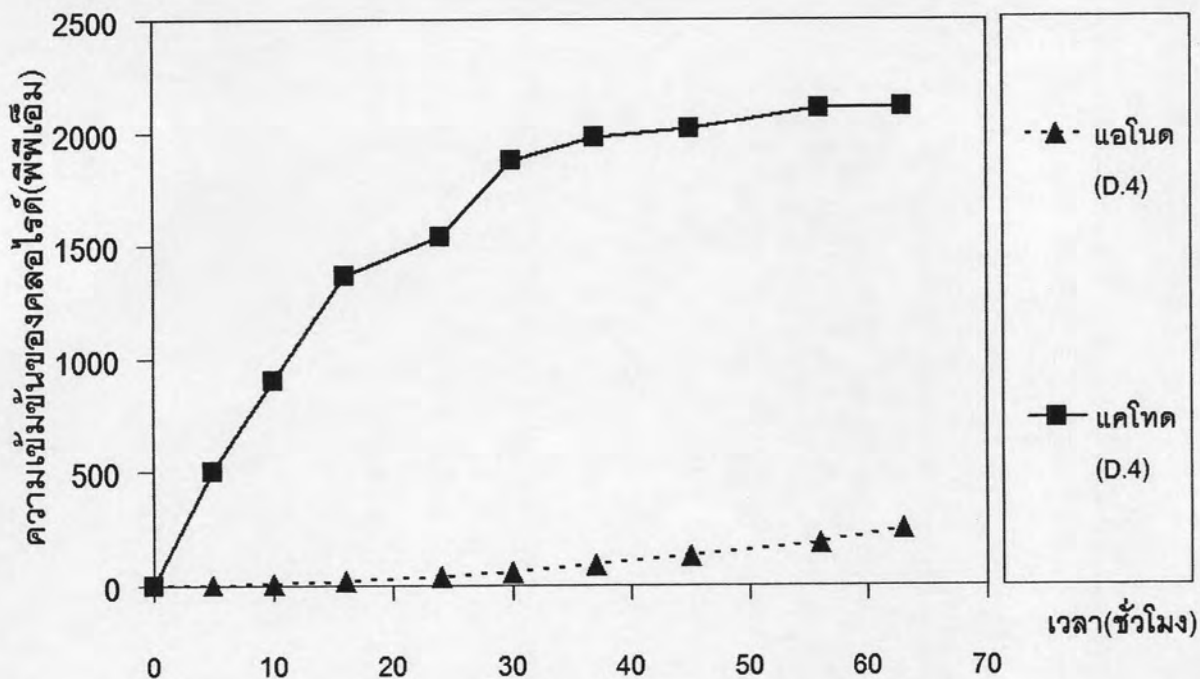
ข.1 ผลการทดสอบโดยวิธีประยุกต์

รูปที่ ข.1 - ข.9 ได้จากการนำค่าของความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในสารละลายที่ซั้วแอตโนดและแคโทดที่ทำการทดสอบได้ ณ เวลาต่างๆกัน ของคอนกรีตทั้ง 9 สัปดาห์ผสมได้แก่ D.4 D.7 D.11 D.15 D.18 D.22 D.26 D.29 และ D.33 โดยข้อมูลดิบก่อนที่นำมาวิเคราะห์ผลตามสมมติฐานในงานวิจัย

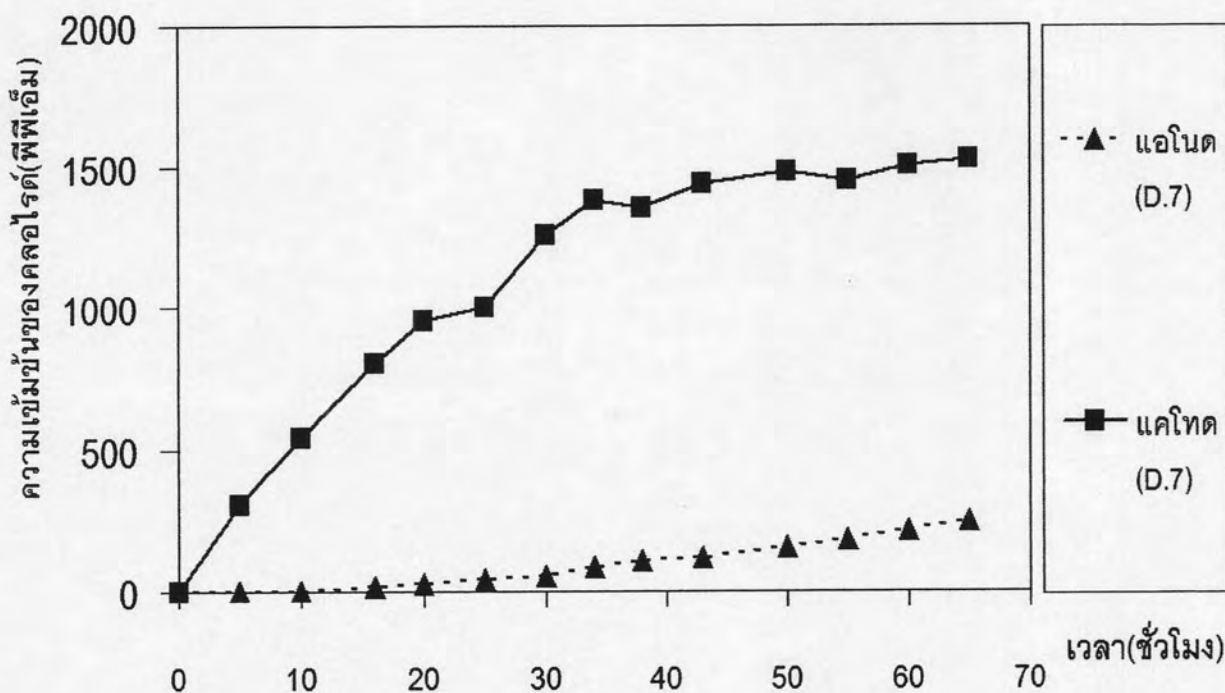
รูปที่ ข.10-ข.18 ได้จากการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านก้อนตัวอย่างทั้ง 9 สัปดาห์ผสม ณ เวลาต่างๆแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณกลับเป็นประจุไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ซึ่งใช้ในการหาช่วงเวลาที่เป็นจุดเริ่มต้นของสภาวะคงที่ (Ts)

ข.2 ผลการทดสอบโดยวิธีเอ็มไอพี

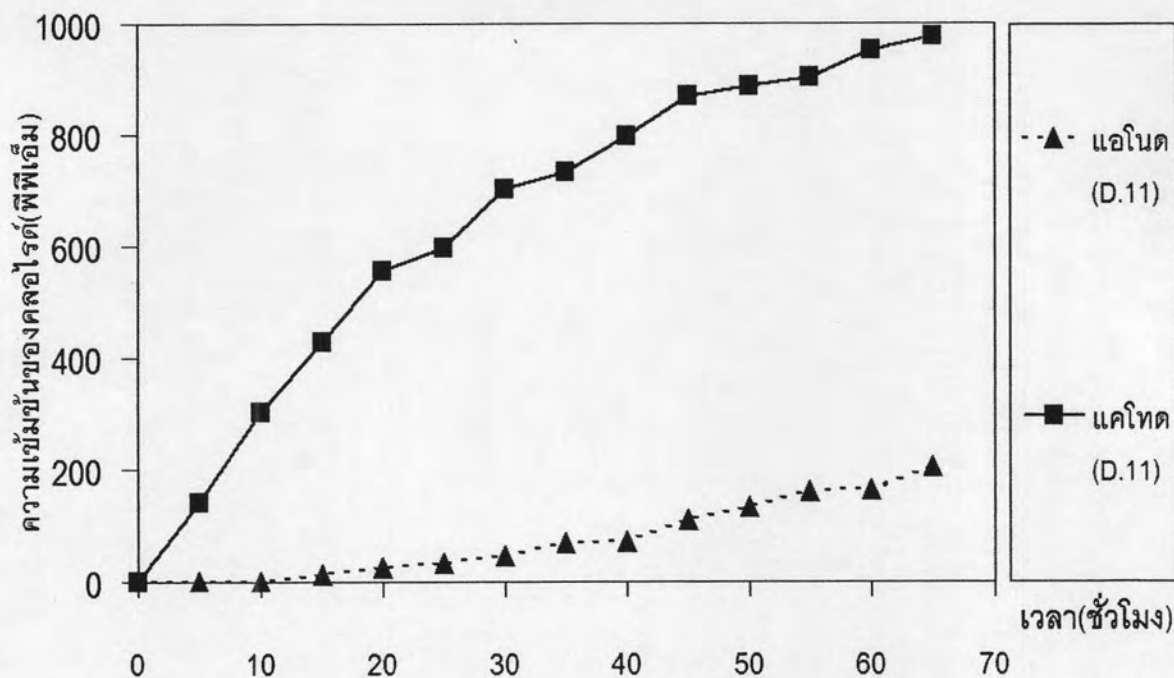
รูปที่ ข.19-ข.27 แสดงข้อมูลของกราฟการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตสะสม (Cumulative Pore Size Distribution) โดยวิธีเอ็มไอพีของคอนกรีตทั้ง 9 สัปดาห์ผสม



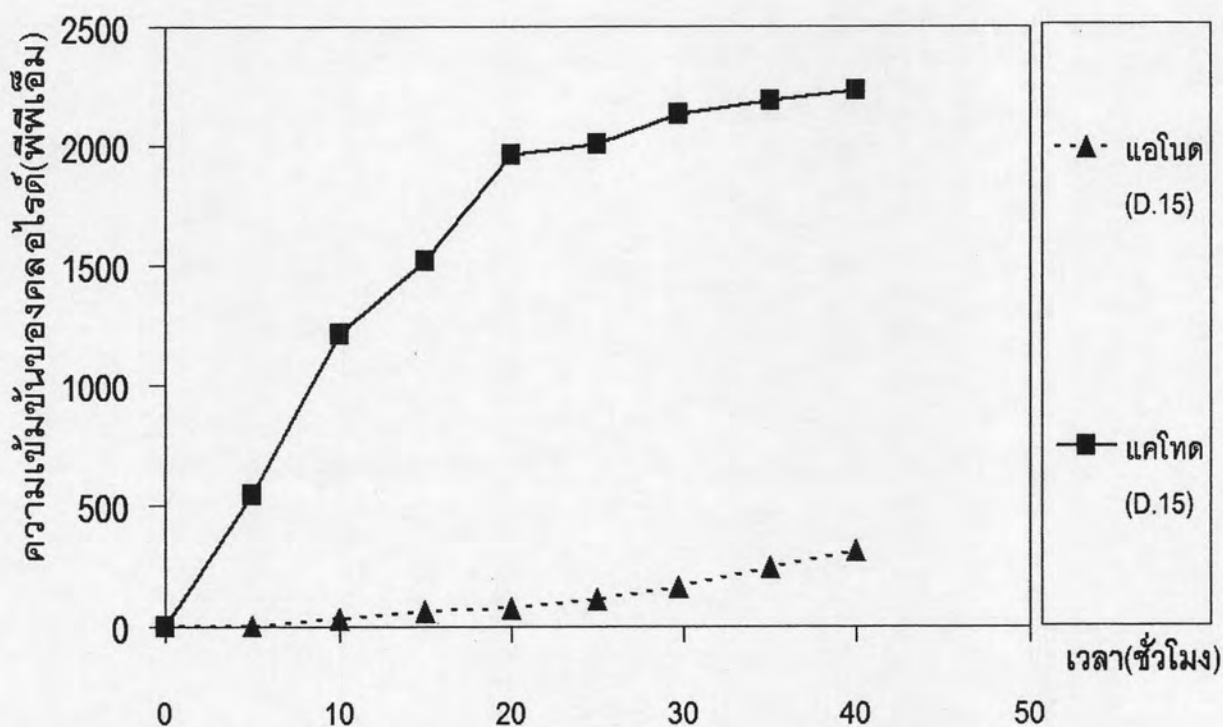
รูปที่ ข.1 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอนโตนและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของลัดส่วนผสม D.4 (85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



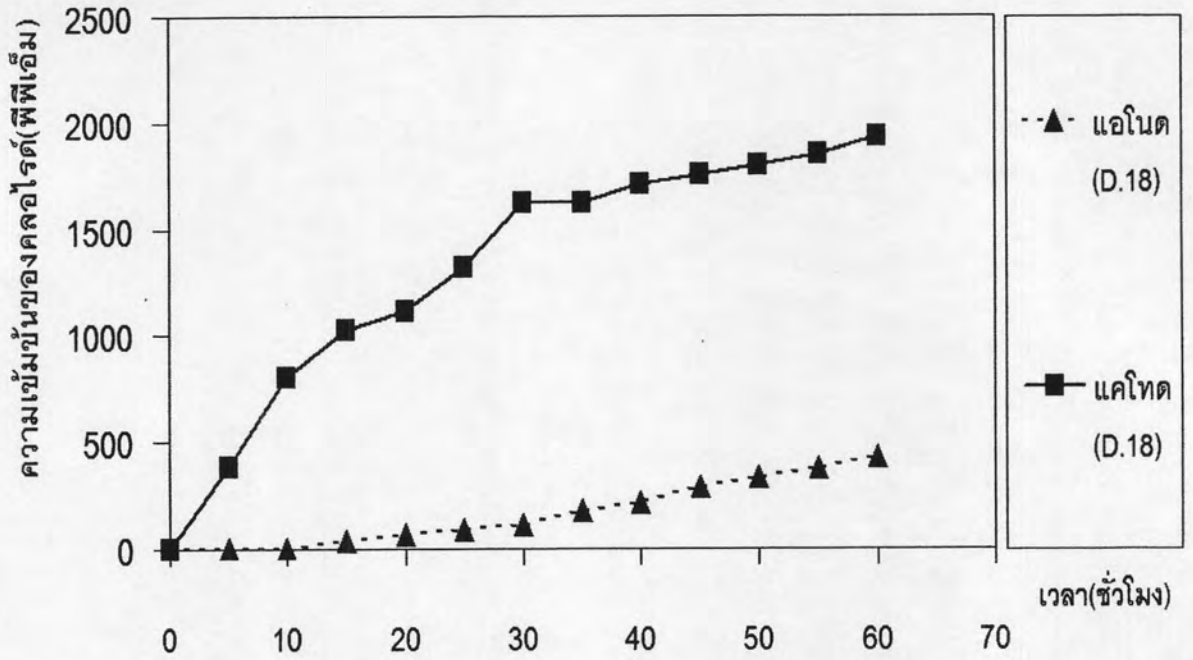
รูปที่ ข.2 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอนโตนและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของลัดส่วนผสม D.7 (65%OPC+35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



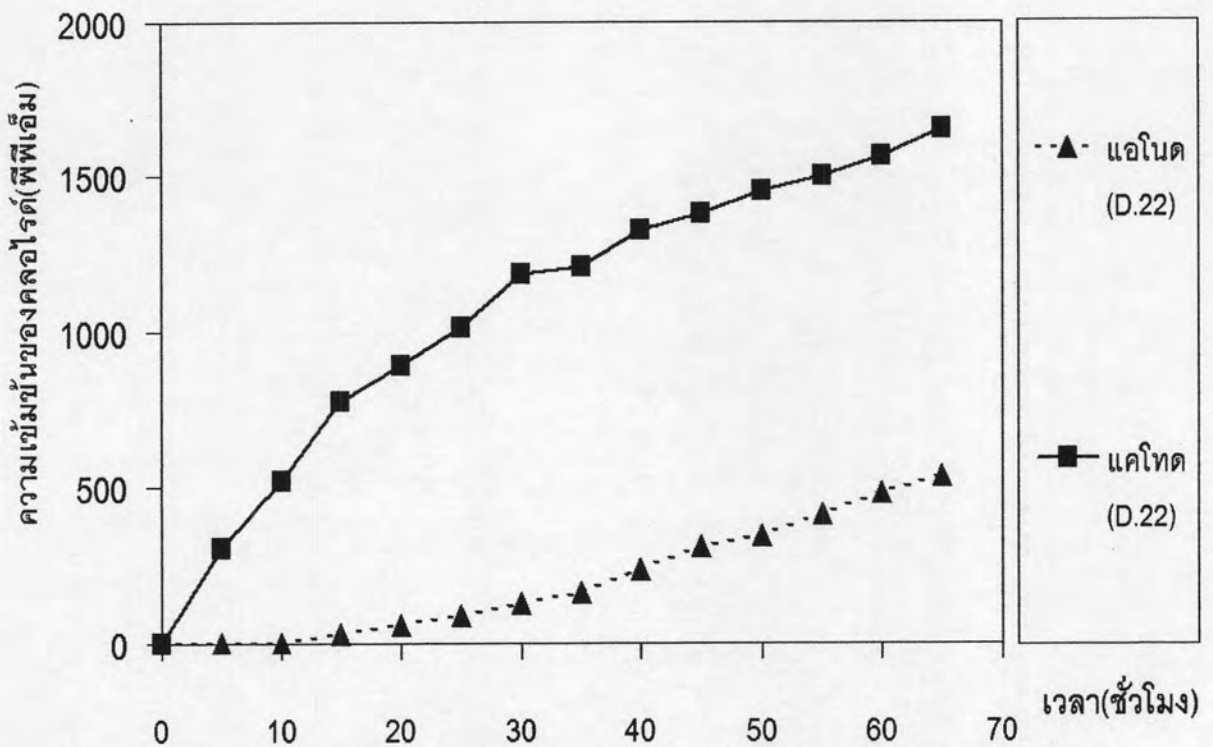
รูปที่ 3.3 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแคโนดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.11 (65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



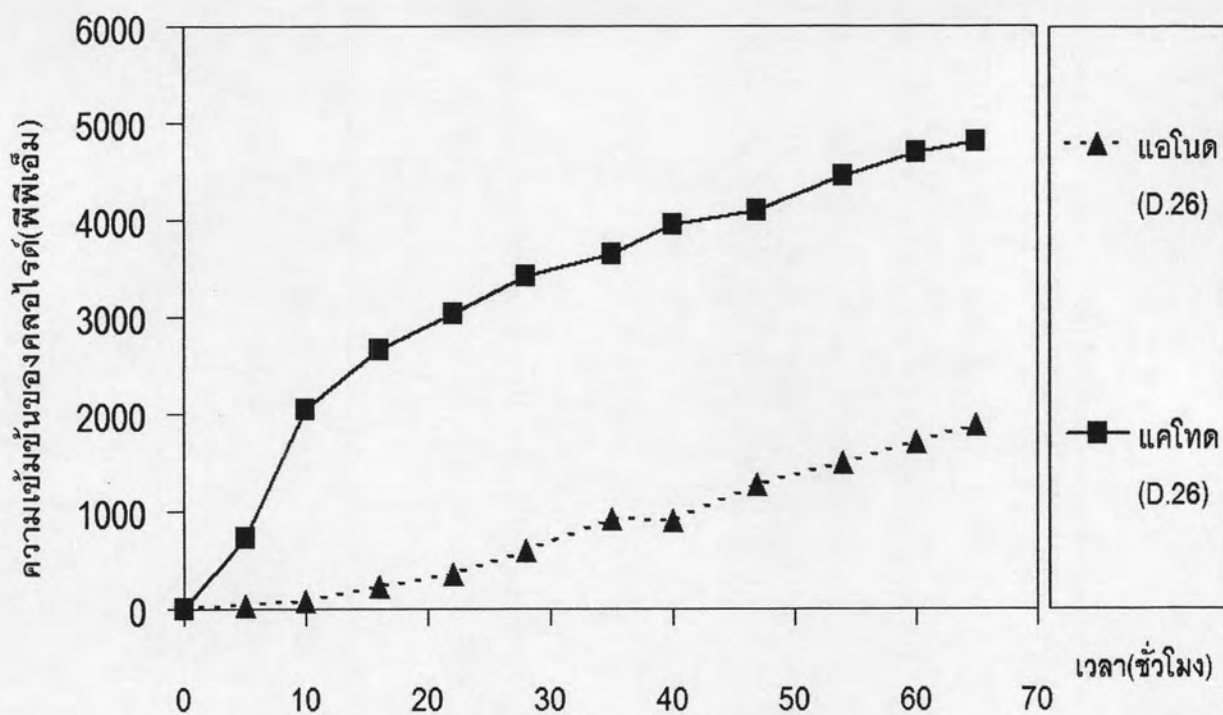
รูปที่ 3.4 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแคโนดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.15 (85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



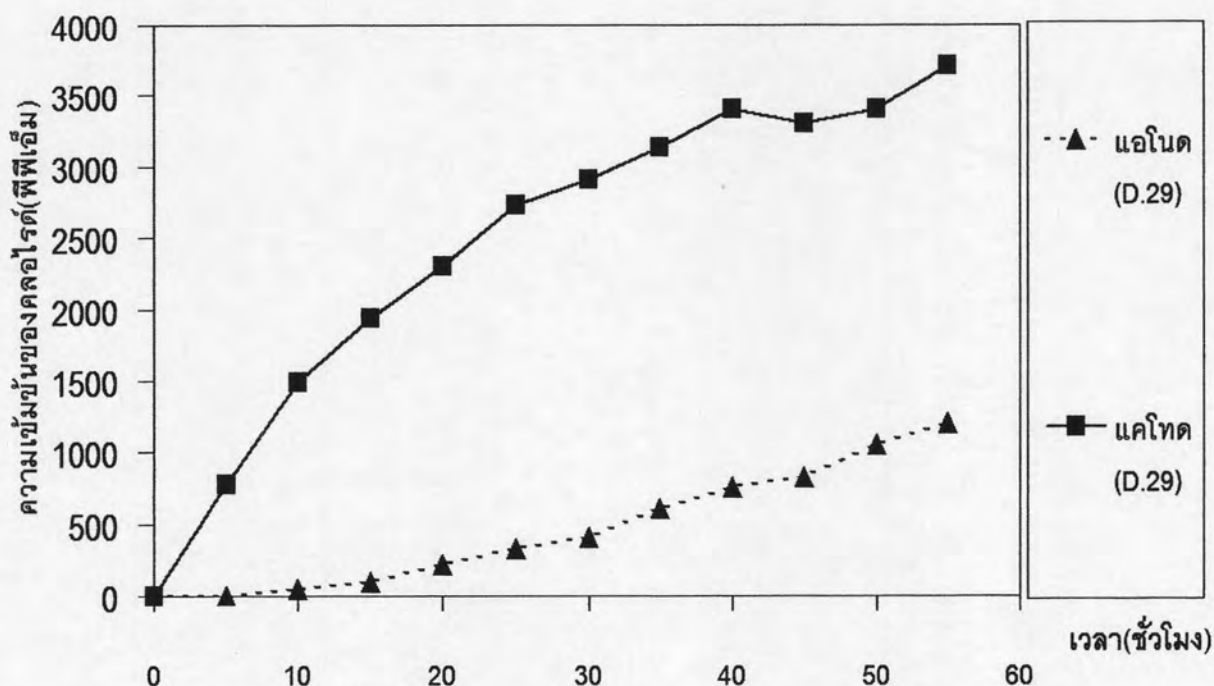
รูปที่ 15.5 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอนโดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.18 (65%OPC+35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



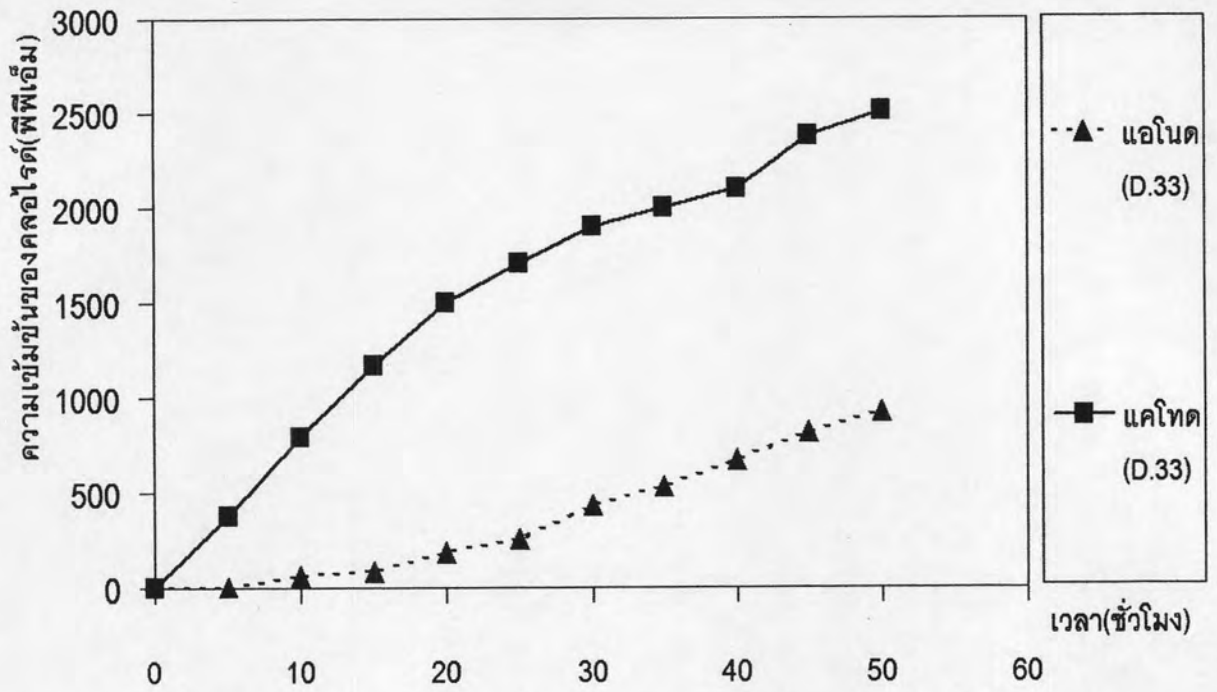
รูปที่ 15.6 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอนโดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.22 (65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



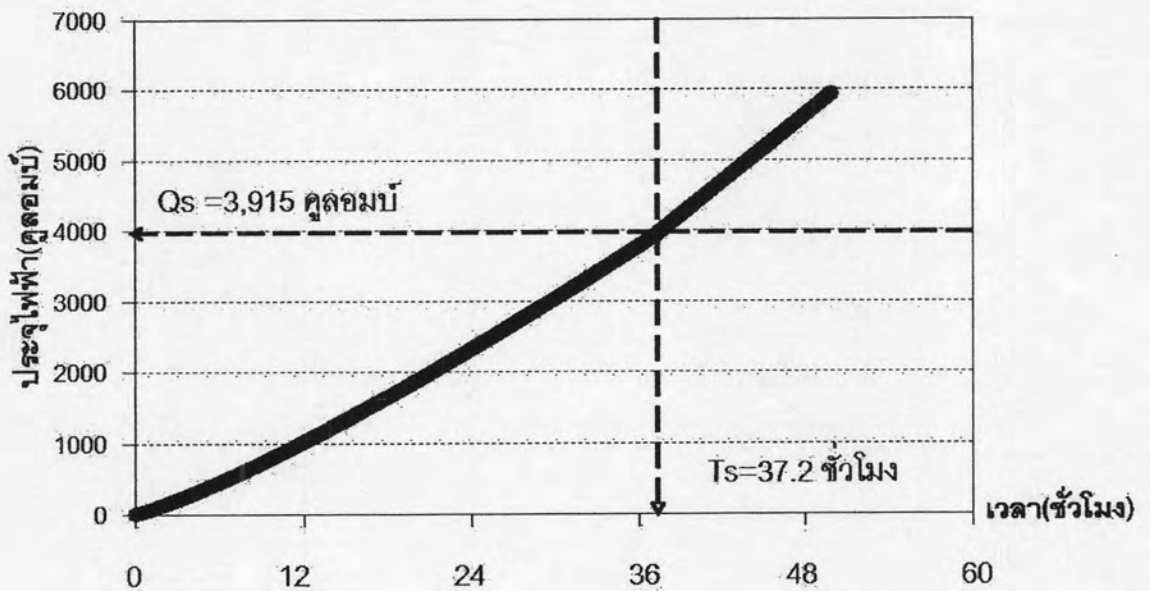
รูปที่ ๑.๗ ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอโนดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.26 (85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60



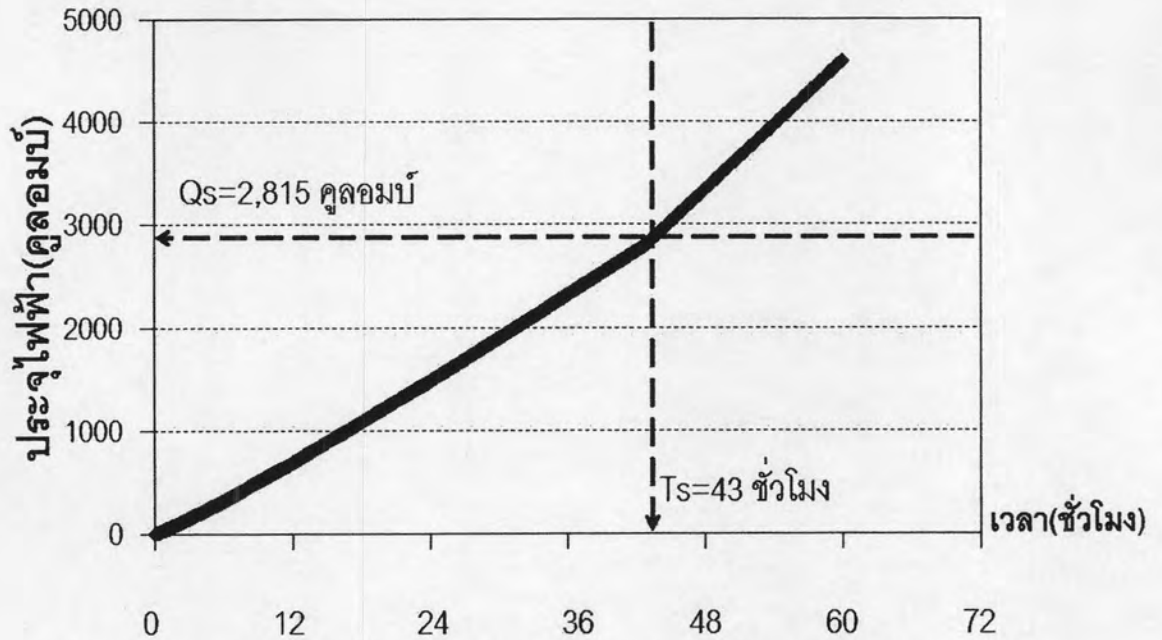
รูปที่ ๑.๘ ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอโนดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.29 (65%OPC+35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60



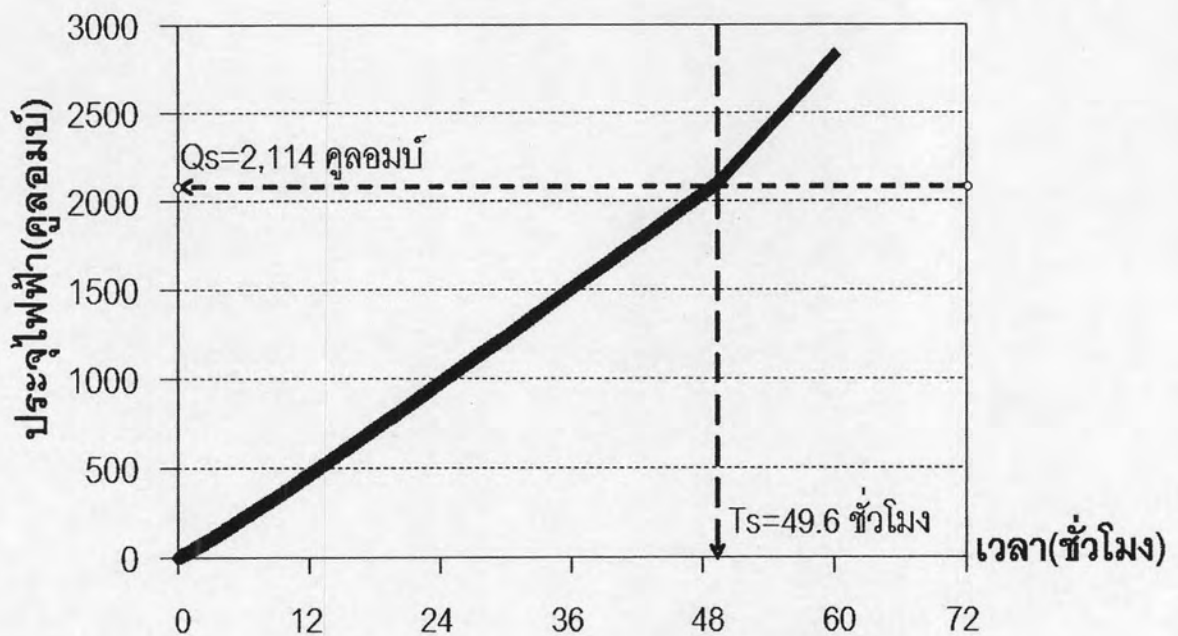
รูปที่ ๙.9 ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณขั้วแอมโนดและแคโทดที่เวลาต่างๆ ของสัดส่วนผสม D.33 (65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60



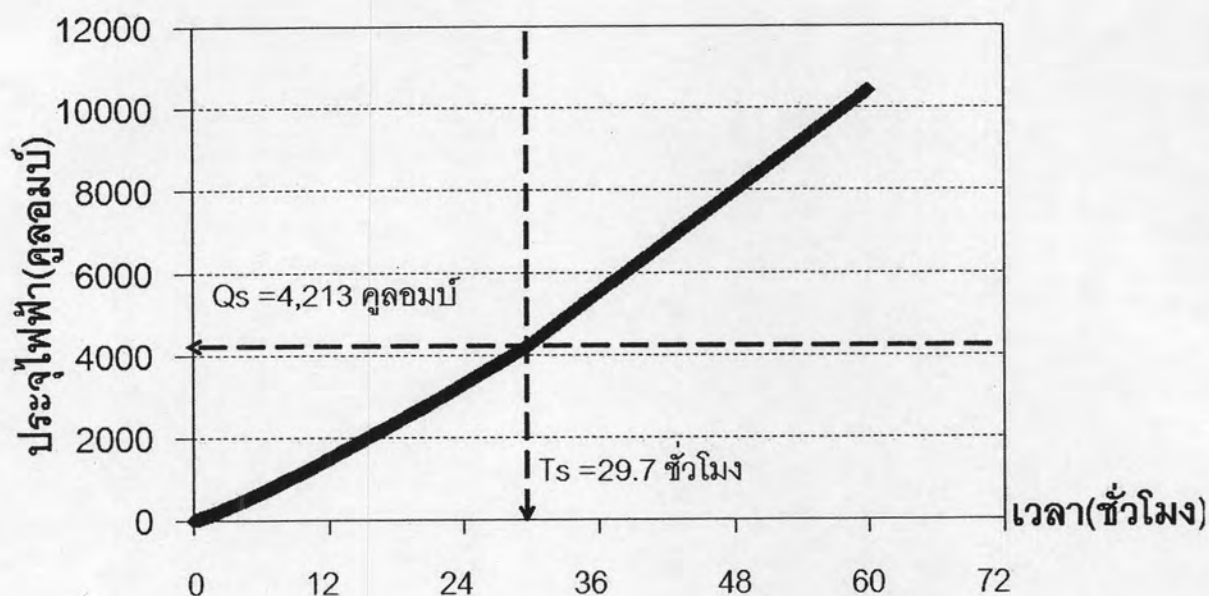
รูปที่ ๙.10 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Qs) และระยะเวลา (Ts) ของสัดส่วนผสม D.4 (85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



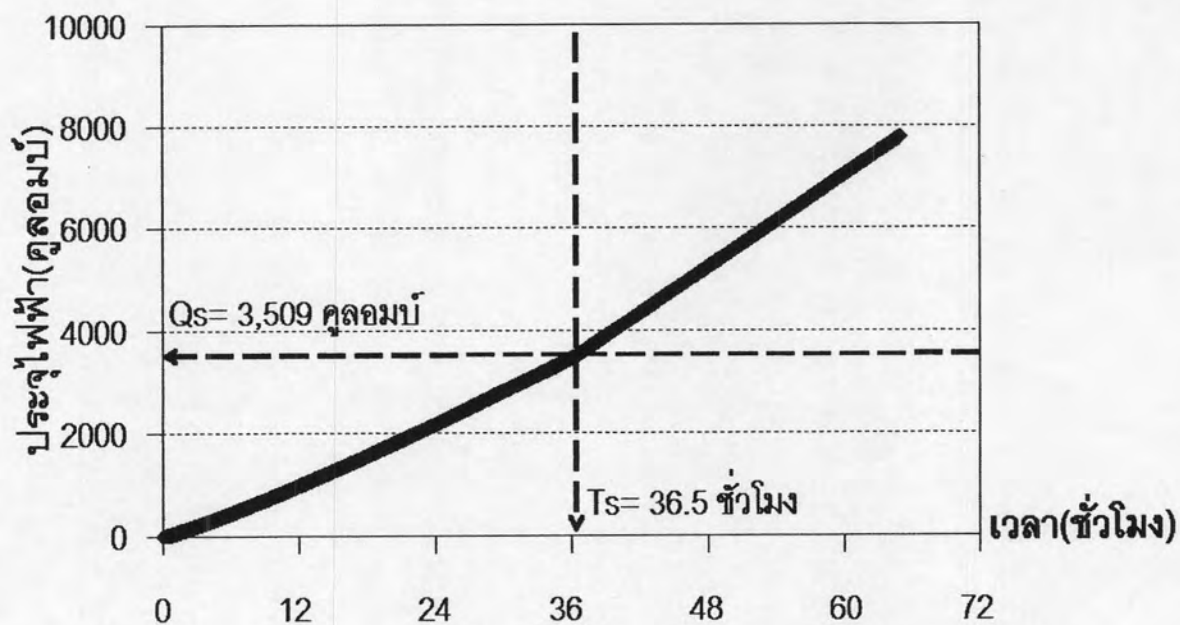
รูปที่ ข.11 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วผสม D.7
(65%OPC+ 35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



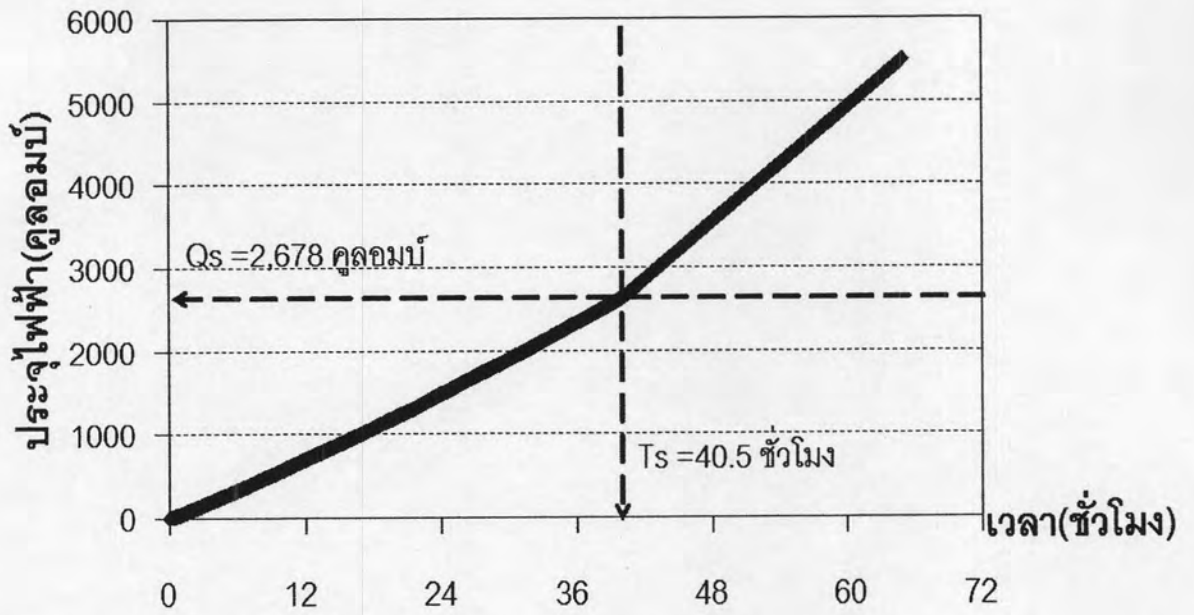
รูปที่ ข.12 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วผสม D.11
(65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40



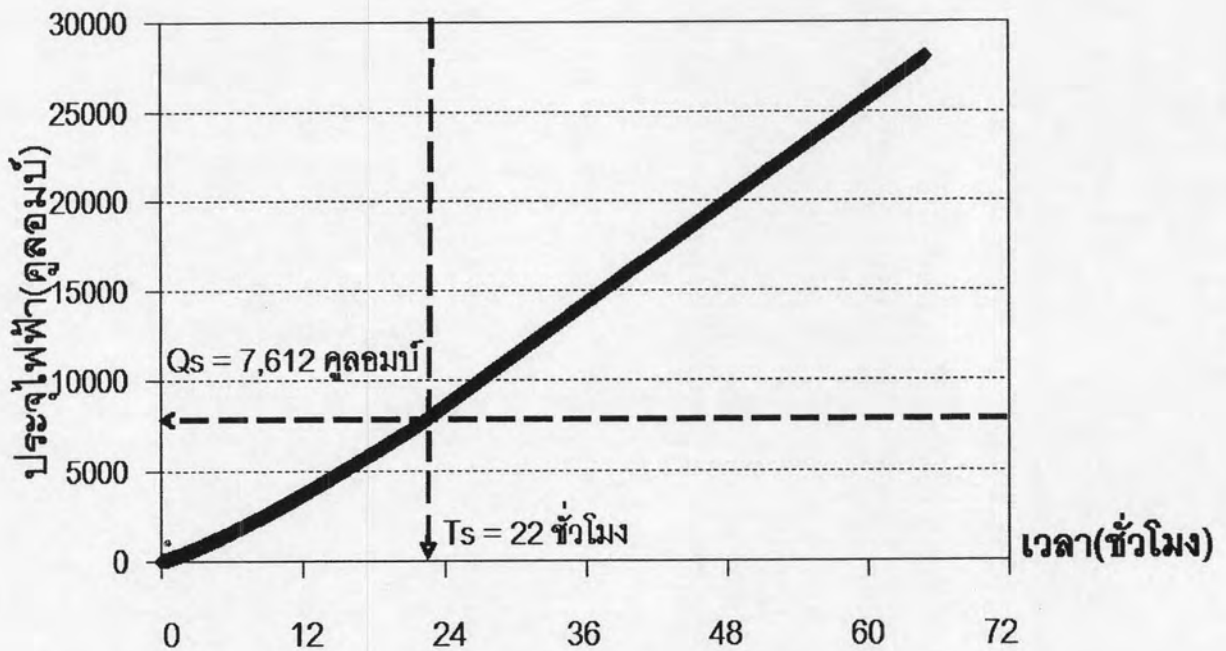
รูปที่ ข.13 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วผสม D.15
(85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



รูปที่ ข.14 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วผสม D.18
(65%OPC+ 35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

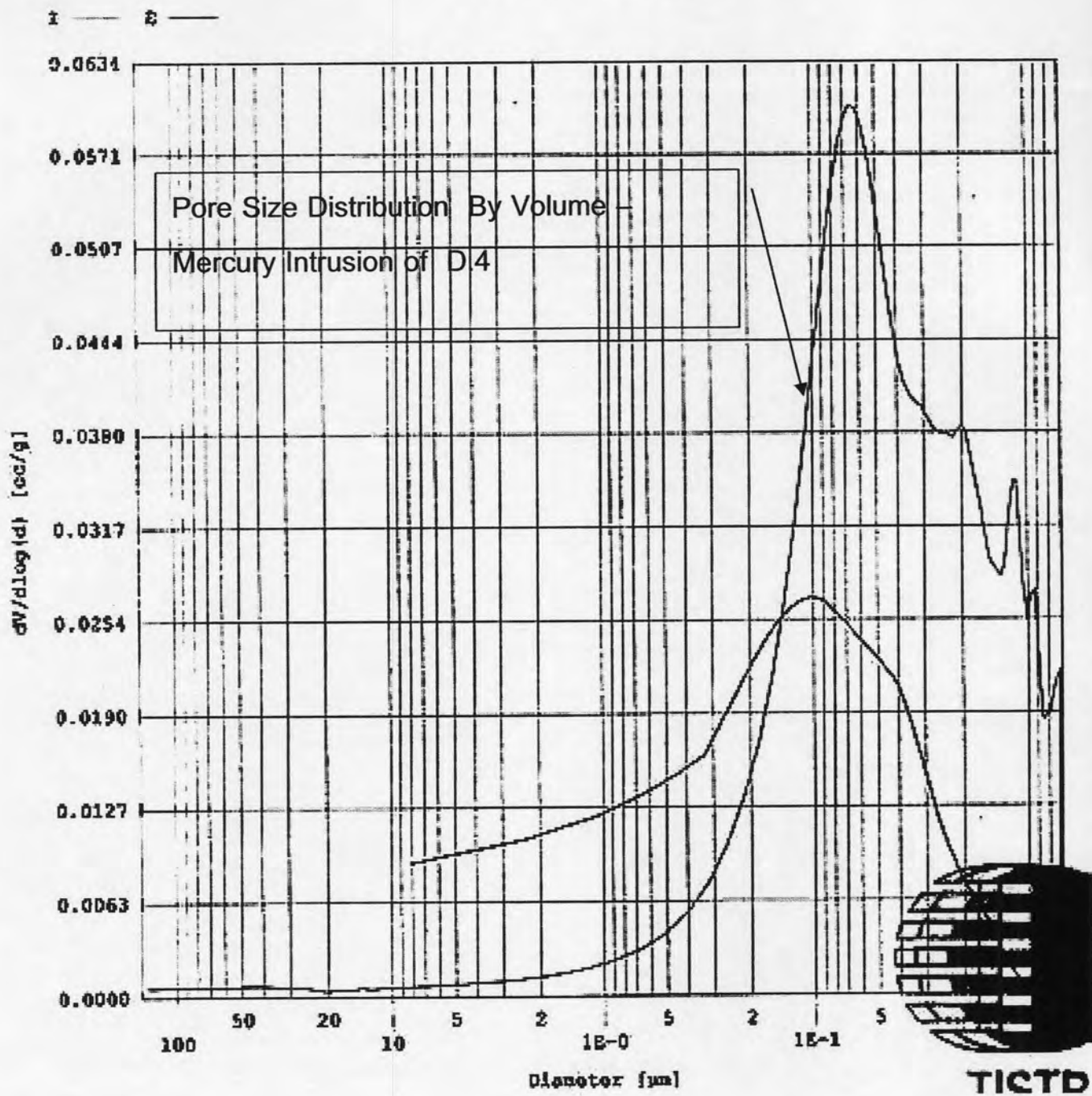


รูปที่ ข.15 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วนผสม D.22 (65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

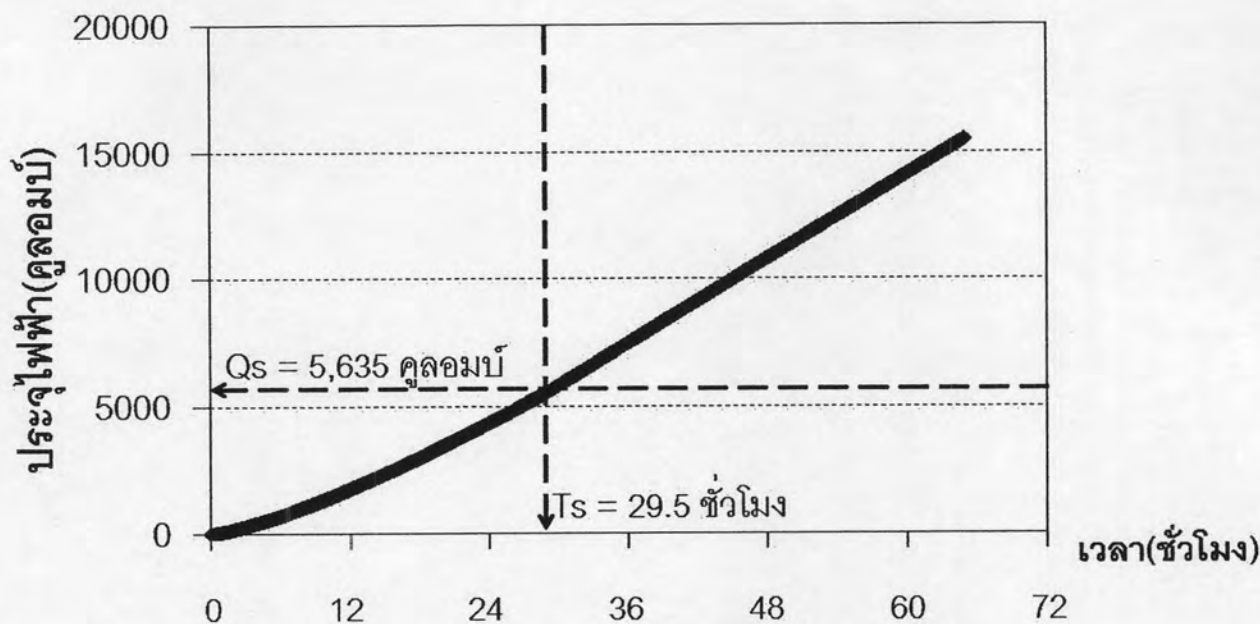


รูปที่ ข.16 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วนผสม D.26 (85%OPC+15%RHA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

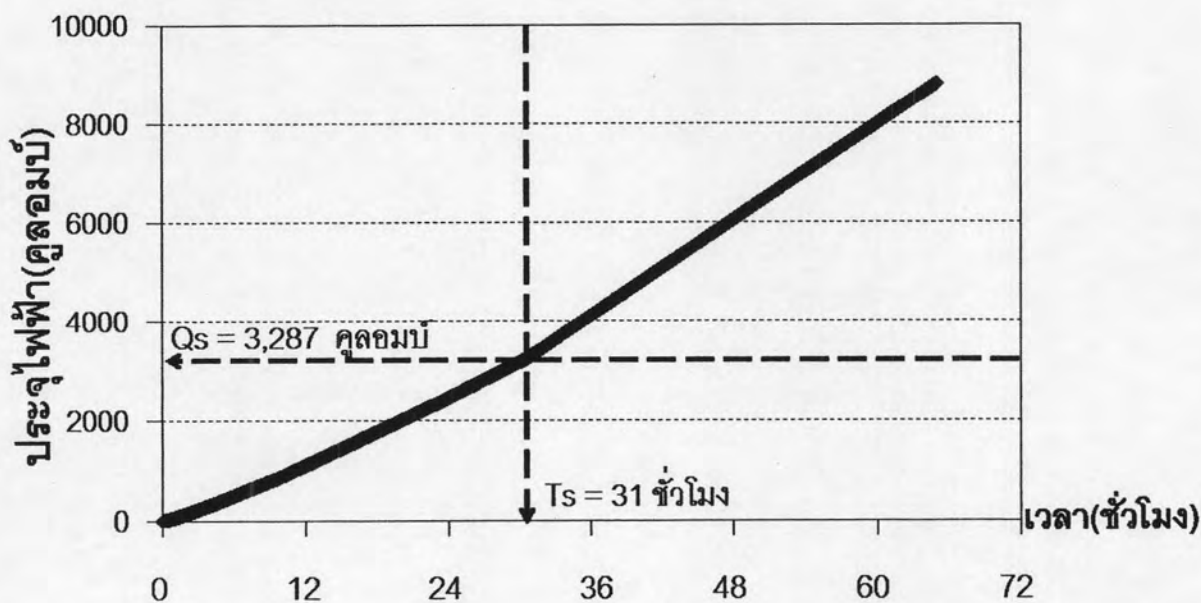
-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ ๑.๑๙ การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.4 (85% OPC + 15%RHA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

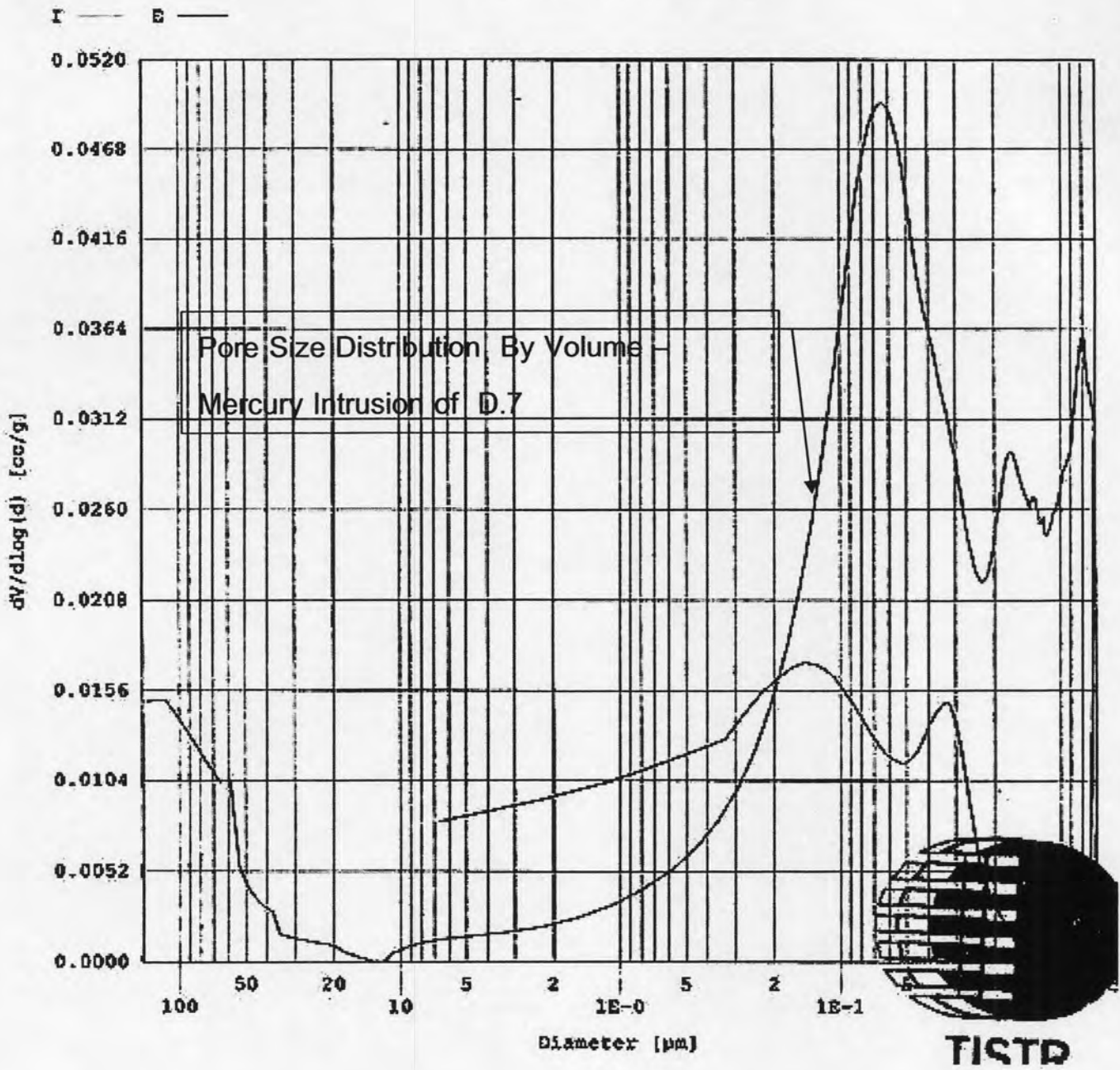


รูปที่ ๑.17 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วนผสม D.29
(65%OPC+ 35%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60



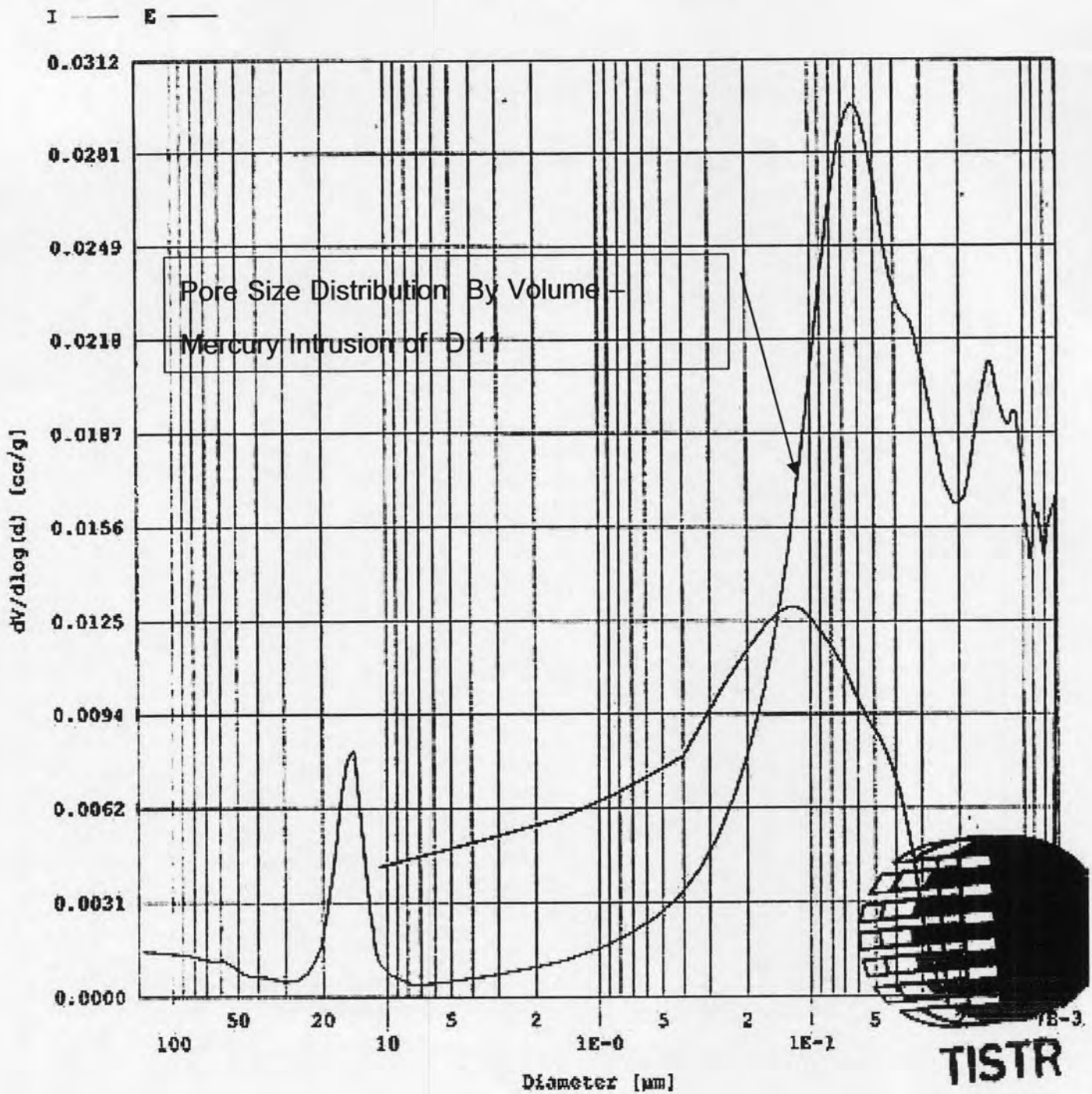
รูปที่ ๑.18 การหาค่าประจุไฟฟ้า (Q_s) และระยะเวลา (T_s) ของลัดส่วนผสม D.33
(65%OPC+10%RHA+25%FA) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

-dV/dlogD vs. Pore Size



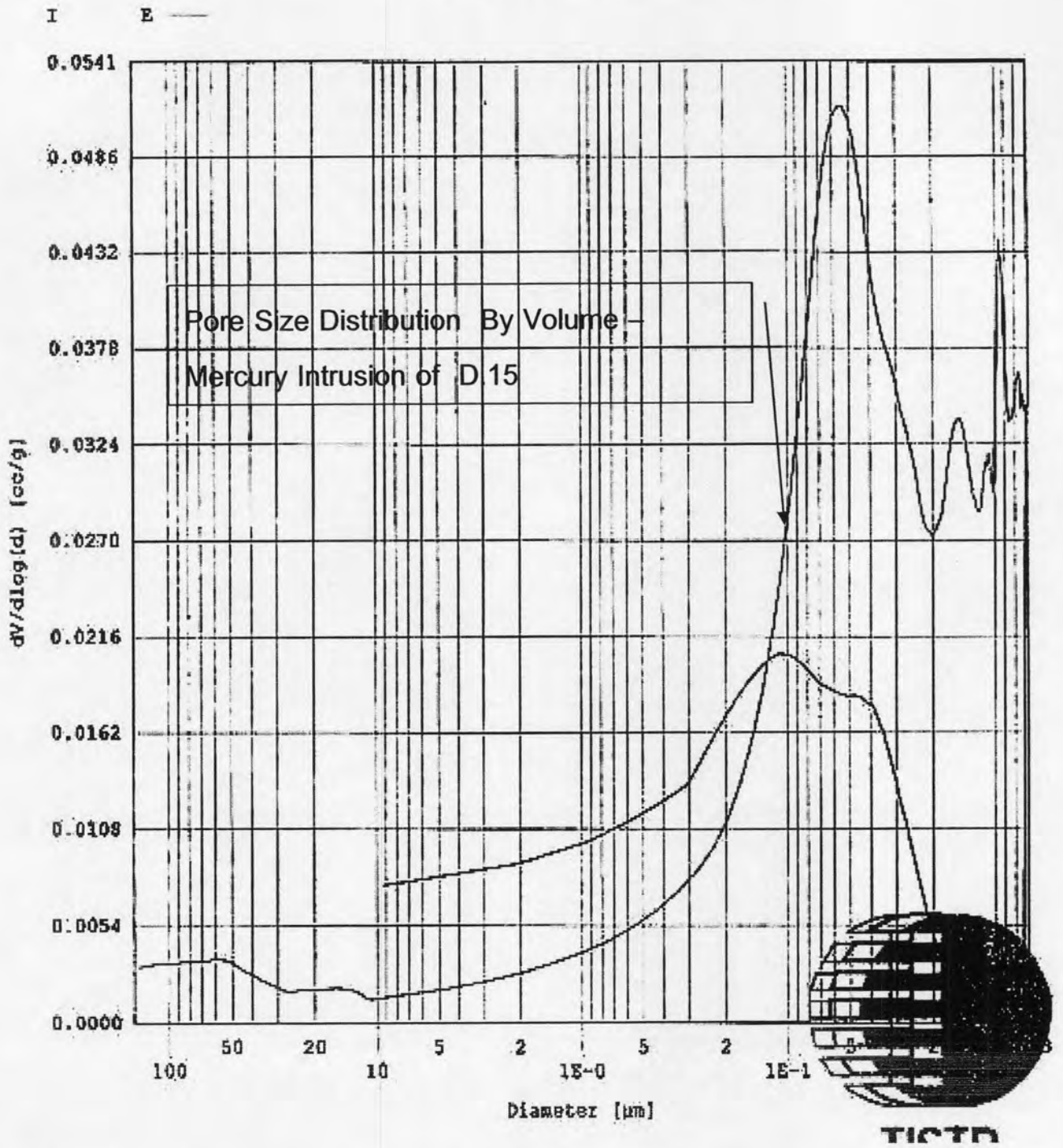
รูปที่ ข.20 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.7 (65% OPC + 35%FA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

-dV/dlogD vs. Pore Size



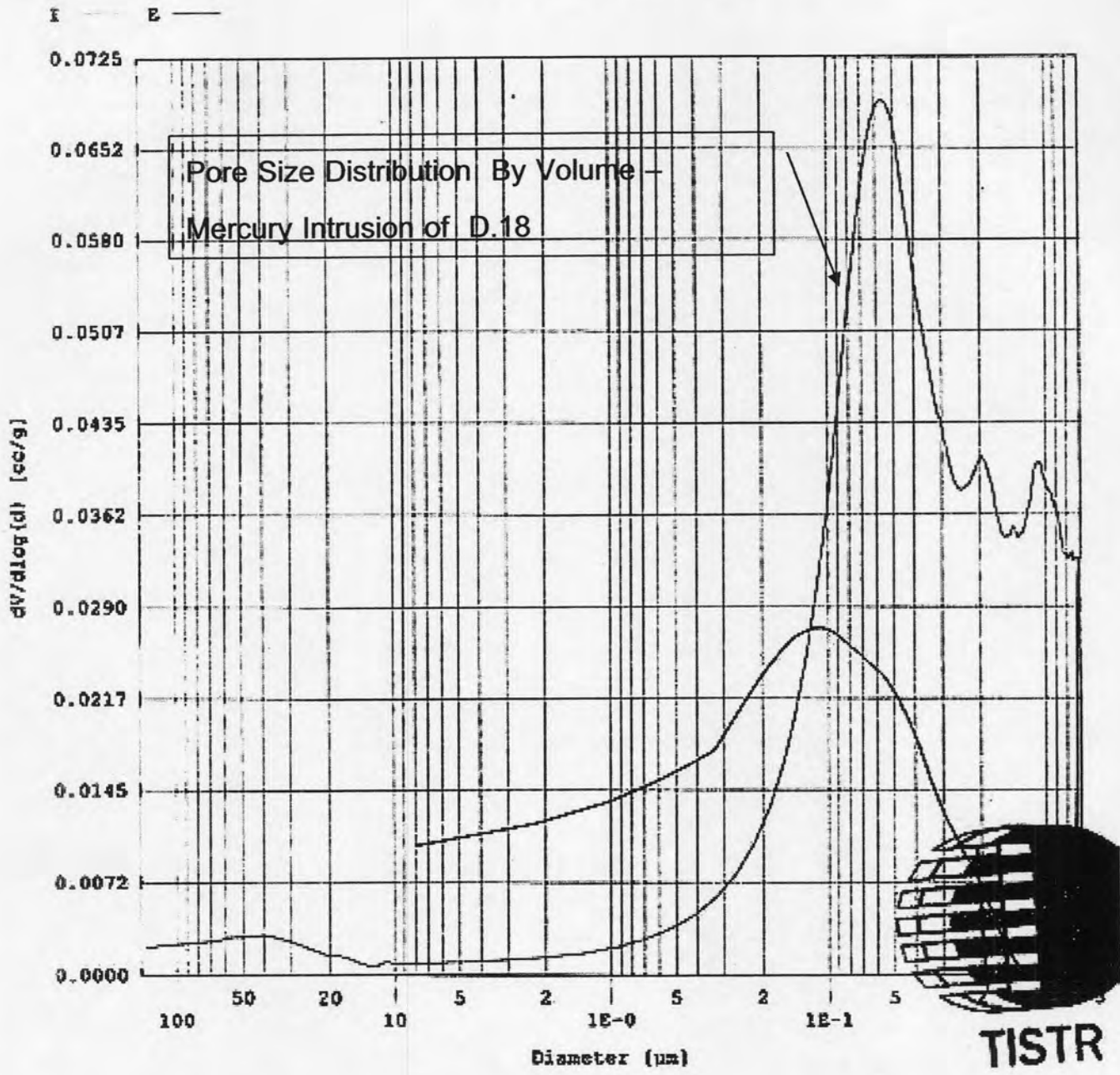
รูปที่ ข.21 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.11 (65% OPC + 10%RHA+25%FA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40

-dV/dlogD vs. Pore Size



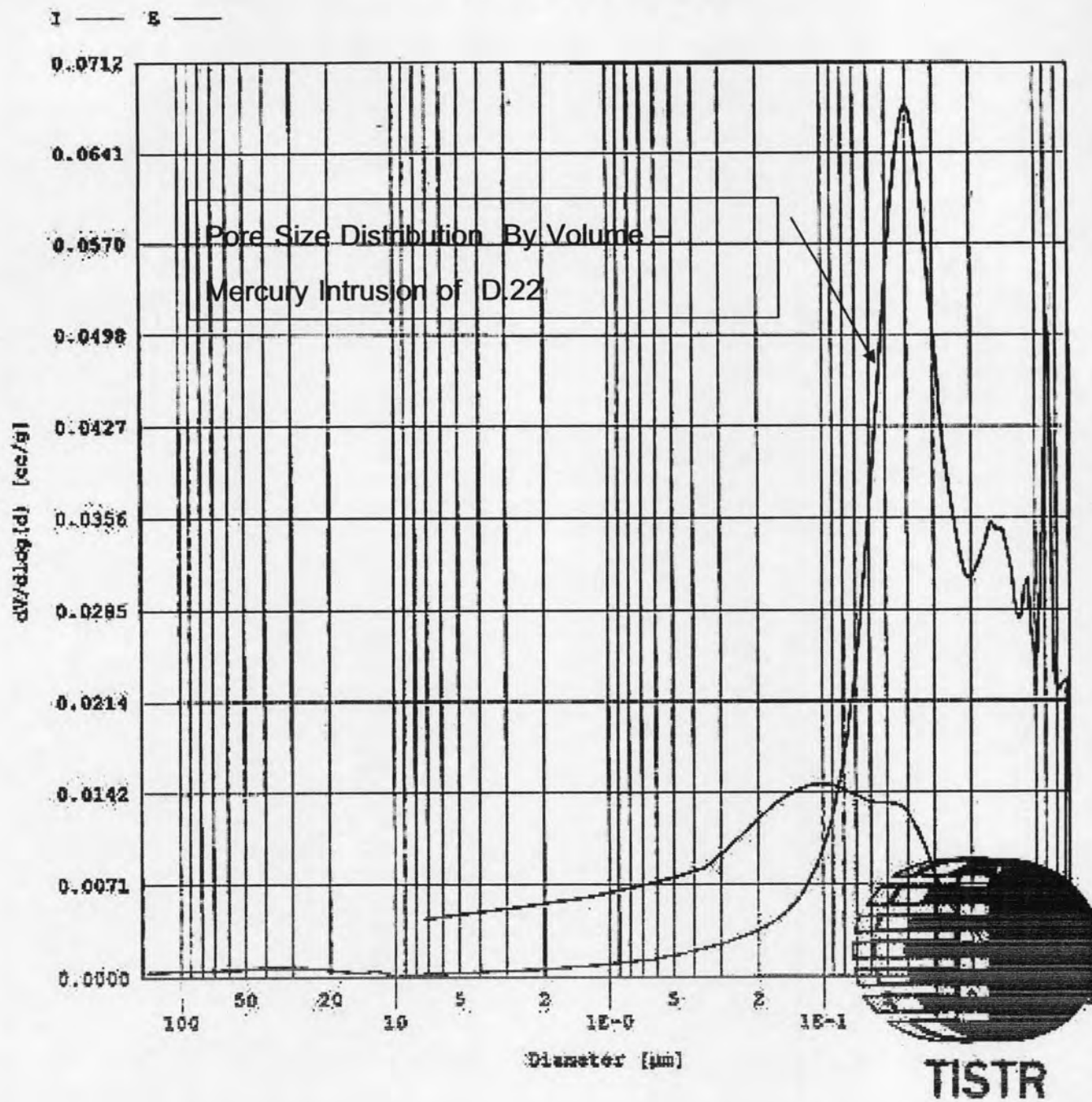
รูปที่ ข.22 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.15 (85% OPC + 15%RHA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

-dV/dlogD vs. Pore Size



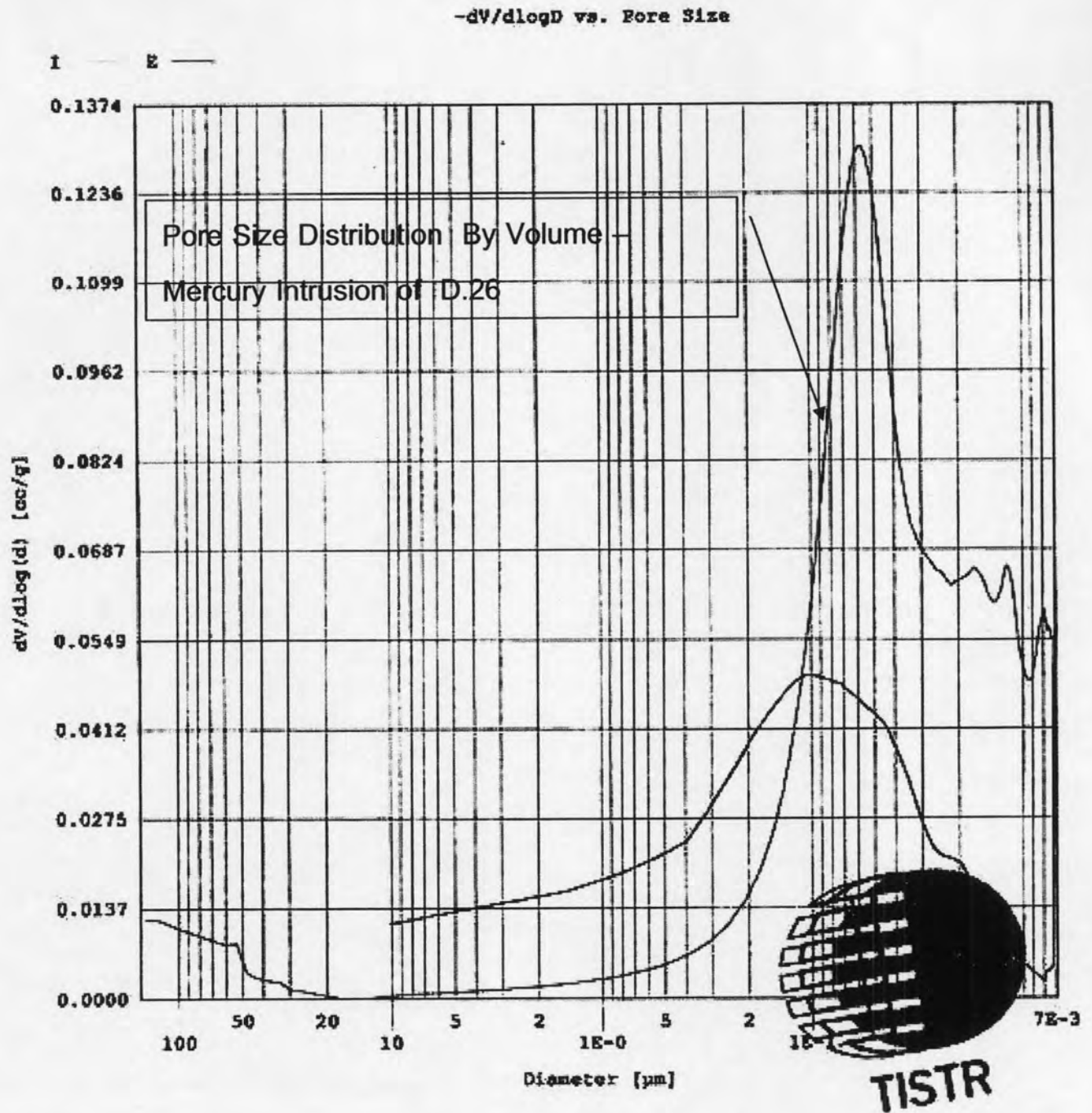
รูปที่ ข.23 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของส่วนผสม D.18 (65% OPC + 35%FA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

-dV/dlogD vs. Pore Size



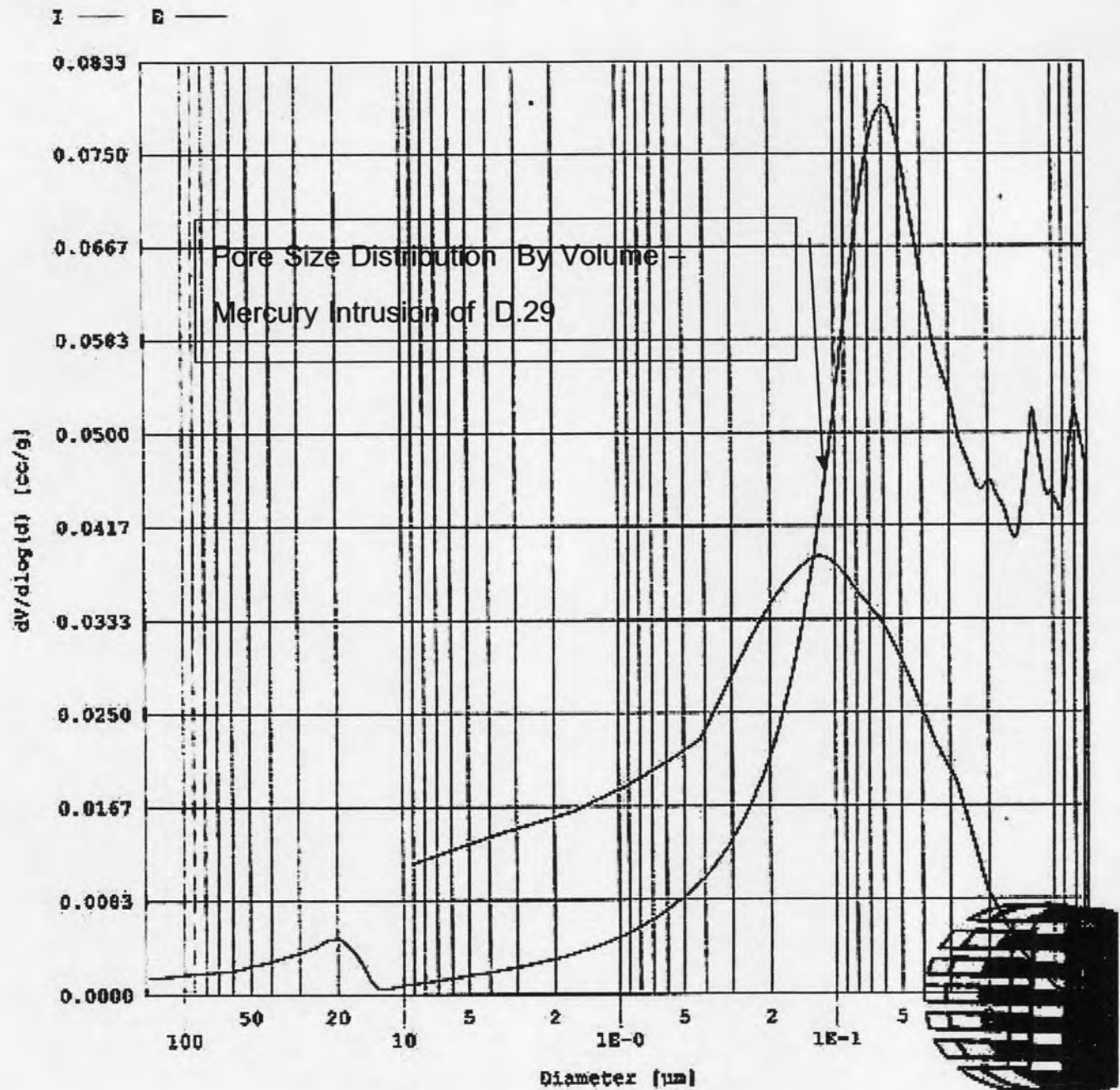
รูปที่ ข.24 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.22 (65% OPC+10%RHA+25%FA)

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



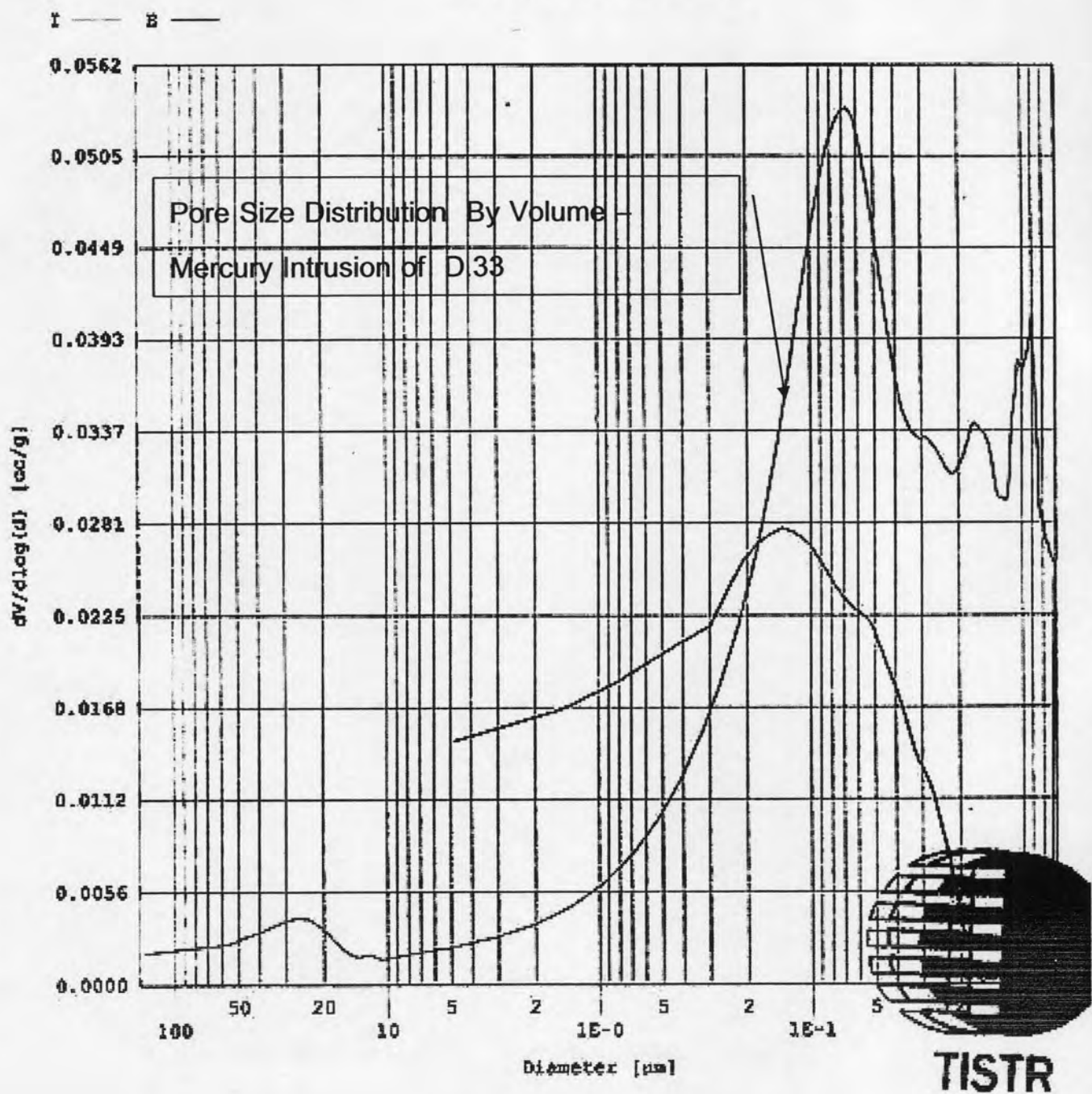
รูปที่ ข.25 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.26 (85% OPC + 15%RHA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ ข.26 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของลัดส่วนผสม D.29 (65% OPC + 35%FA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

-dV/dlogD vs. Pore Size



รูปที่ ข.27 การหาค่าการกระจายขนาดโพรงคอนกรีตของสัดส่วนผสม D.33 (65% OPC+10%RHA+25%FA)
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมพงษ์ ธีรานพ เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 25 ตุลาคม พ.ศ.2518 ที่กรุงเทพมหานคร ได้รับการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเพาะปัญญาและโรงเรียนวัดอ้อมน้อย ตามลำดับ ได้รับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวัดนवलนรดิศ และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 ประวัติเคยทำงานในตำแหน่งวิศวกรประจำแผนกควบคุมคุณภาพ บริษัทนครหลวงคอนกรีต จำกัด ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2540 ถึงปี 2543 หลังจากนั้นได้เข้ารับราชการในตำแหน่งวิศวกรโยธา 3 ฝ่ายควบคุมโรงมหรสพ สำนักงานคณะกรรมการควบคุมอาคาร กรมโยธาธิการ (เดิม) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2543 ถึงปี 2546 และ ปัจจุบันปฏิบัติราชการอยู่ในตำแหน่งวิศวกรโยธา 5 สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง พระราม 6

