

การศึกษาผลการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า Study of Efficiency Transformer Measurement Results

สุทธิเกียรติ ชลลาภ¹ จักรกฤษณ์ จันทร์เขียว¹ และจรรยารัตน์ เหย่ากุลบดี²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160 โทรศัพท์ 02-4570068 E-mail : Suthikeart.cho@siam.edu

²ฝ่ายมาตรฐานอาชีวศึกษาและส่งเสริมสถาบันมาตรฐานแห่งชาติ

3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-5775100 E-mail: charuayrat@nimt.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาผลการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (DL 1093) พิกัดกำลังไฟฟ้า 500 โวลต์-แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ 220 / 2 x 110 โวลต์ ค่าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของค่าความต้านทานในขดลวด ด้วยการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด และขณะวงจรปิด เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในวงจรสมมูลของหม้อแปลง ด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power and Harmonics Analyzer) และการสร้างแบบจำลอง Simulink ในโปรแกรม MATLAB ช่วยจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยเงื่อนไขต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ และผลการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส, การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด, การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด, แมทแลป

Abstract

This article measures the efficiency of a single-phase transformer. (DL 1093) Power rating 500 VA. Voltage at primary and secondary winding 220/2 x 110 V, frequency value 50 Hz. By considering the physical effect of the resistance in the windings by test method of transformers at open and closed circuits to find the parameters with the Power and Harmonics Analyzer. Comparing actual measurements with simulations with MATLAB / Simulink. From the results obtained, the values obtained from the simulator are close to the actual measurements.

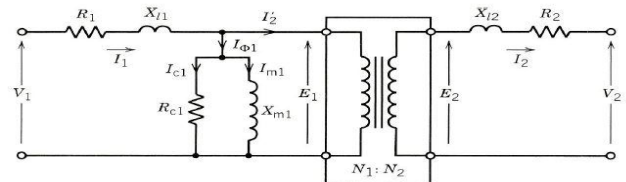
Keywords: Single-Phase Transformer, Open Circuit Test, Short Circuit Test, MATLAB

1. บทนำ

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) จัดเป็นวิชาเฉพาะที่มีความสำคัญทางด้านวิศวกรรมแขนงหนึ่ง มีทั้งทฤษฎี และทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีความยุ่งยาก และซับซ้อน ในปี ค.ศ. 2014 มีการนำเสนอแบบจำลอง MATLAB ในการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส โดย Srimanti และคณะ[1] ในปี ค.ศ. 2015 Nileema และ Prof. J. H. [2] มีการนำ Graphical User Interface (GUI) ในโปรแกรม MATLAB มาใช้คำนวณพารามิเตอร์ และวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส และปี ค.ศ. 2020 Ali N. และคณะ[3]ได้นำเสนอแบบจำลอง Simulink ในโปรแกรม MATLAB ในการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (terco-type) จึงมีแนวคิดในศึกษาการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (DL 1093) ในห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้า มาเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์การวัดระหว่างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (PROVA 6830) กับโปรแกรม MATLAB เพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานของหม้อแปลง อันเป็นประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรม

2. อุปกรณ์การทดลอง และทฤษฎี

1. แหล่งจ่ายไฟ (Delorenzo : DL 1013M2)
2. โหลดความต้านทาน (Delorenzo : DL 1017R)
3. หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Delorenzo : DL 1093)



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า [4]

4. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power and Harmonics Analyzer : PROVA 6830, 1000A)

การวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพจากการสูญเสียค่าต่างๆ ในวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถหาได้ 2 วิธีคือ [5-6]

2.1 การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

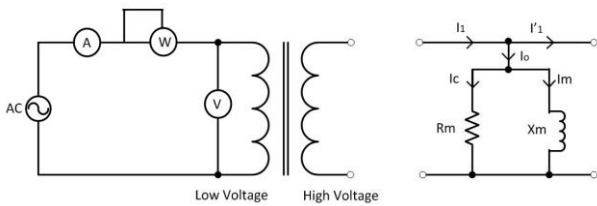
สามารถหาได้ด้วยวิธีการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (Open Circuit Test) หรือการทดสอบขณะไม่มีโหลด (No Load Test) โดยนำหม้อแปลงไฟฟ้าต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดแรงดันต่ำ (Low Voltage : LV) และเปิดวงจรที่ขดลวดแรงดันสูง (High Voltage : HV) เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้า (I_c) ที่ไหลผ่านค่าความต้านทาน (R_m) และค่ากระแสไฟฟ้า (I_m) ที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ (X_m) ภายในของหม้อแปลงไฟฟ้า จากสมการ

$$P = V_1 I_0 \cos\theta \tag{1}$$

$$I_c = I_0 \cos\theta \tag{2}$$

$$I_m = I_0 \sin\theta \tag{3}$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นวัตต์



รูปที่ 2 การทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรเปิด และวงจรสมมูล

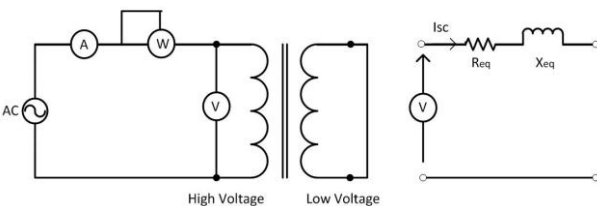
2.2 การสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss)

สามารถหาได้ด้วยวิธีการการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด (Short Circuit Test) หรือการทดสอบเพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance Test) โดยนำหม้อแปลงไฟฟ้าต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดแรงดันสูง (HV) และลัดวงจรที่ขดลวดแรงดันต่ำ (LV) เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทาน (R_{eq}) และขดลวดเหนี่ยวนำ (X_{eq}) ในวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า จากสมการ

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R_{eq} \tag{4}$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \tag{5}$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{eq}^2} \tag{6}$$



รูปที่ 3 การทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรปิด และวงจรสมมูล

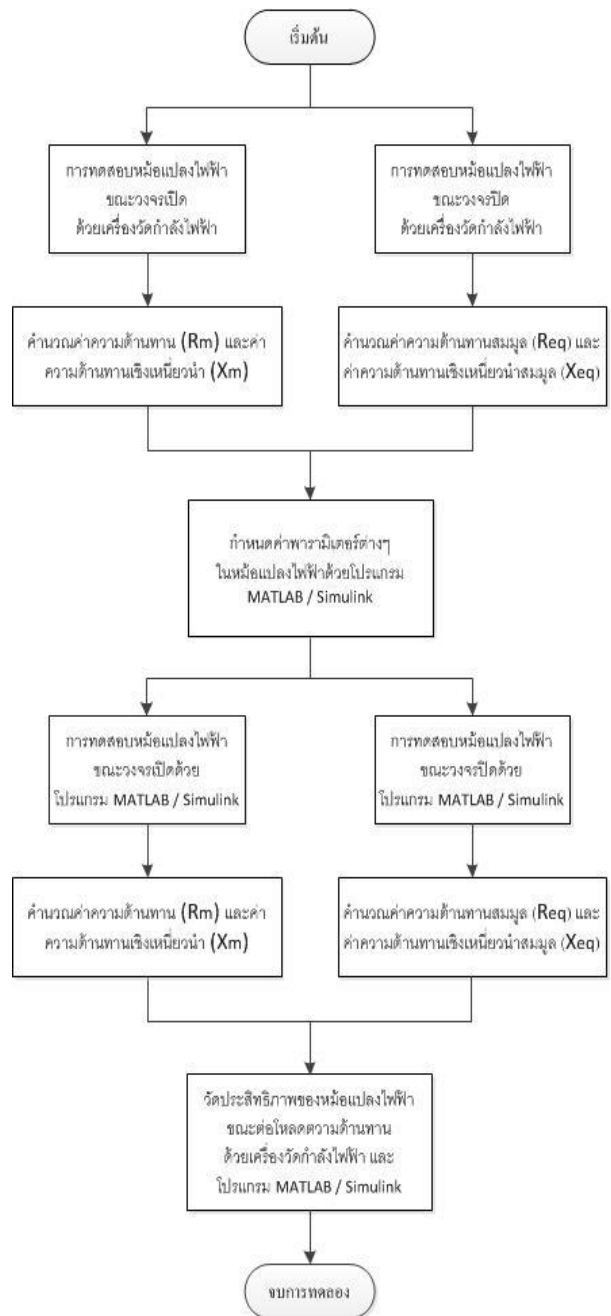
การวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (η) หาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{Out} + P_{Loss}} \times 100\% \tag{7}$$

เมื่อ P_{Out} คือกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตมีหน่วยเป็นวัตต์

P_{Loss} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในหม้อแปลงมีหน่วยเป็นวัตต์

3. ขั้นตอนและวิธีทดลอง

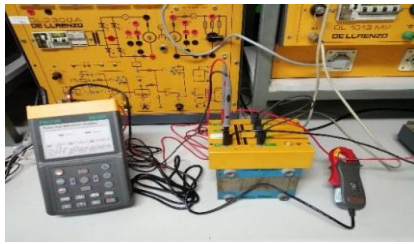


รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13

13th Conference of Electrical Engineering Network 2021 (EENET 2021)



รูปที่ 5 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

3.1 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด

ทำการทดสอบโดยการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ที่ขดลวดแรงดันต่ำ (LV) และบันทึกค่าต่างๆ ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรเปิด

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าจริง (โวลต์-แอมแปร์)
220.1	0.0742	9.4	16.2

3.2 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด

ทำการทดสอบโดยการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดแรงดันสูง (HV) ซึ่งมีค่าประมาณ 5-10 % ของแรงดันไฟฟ้าปกติ

ตารางที่ 2 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรปิด

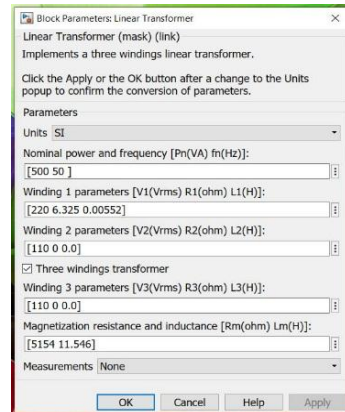
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
20.2	3.08	61.0

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรสมมูลในหม้อแปลงไฟฟ้า

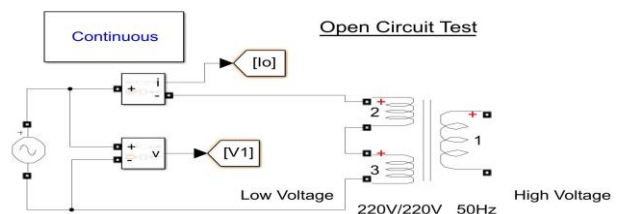
นำค่าที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด มาคำนวณหาค่าความต้านทาน (R_m) และค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำ (X_m) ที่สูญเสียในแกนเหล็ก และการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด มาคำนวณหาค่าความต้านทานสมมูล (R_{eq}) และค่าความต้านทานเชิงเหนี่ยวนำสมมูล (X_{eq}) ที่สูญเสียในขดลวดทองแดง ในตารางที่ 3

3.4 ทดลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยแบบจำลอง Simulink ในโปรแกรม MATLAB

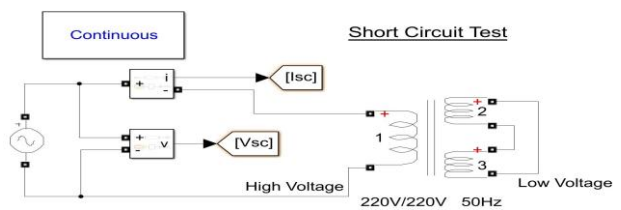
นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเติมใน Block Parameter ภายในหม้อแปลงไฟฟ้าที่สร้างโดยแบบจำลอง Simulink ของโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 6 ทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด และขณะวงจรปิด ดังรูป 7 และ 8



รูปที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ Block Parameter ในแบบจำลอง Simulink



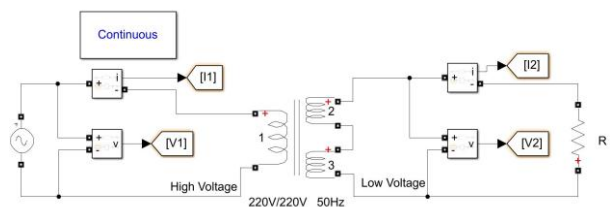
รูปที่ 7 การทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรเปิด ในแบบจำลอง Simulink



รูปที่ 8 การทดสอบหม้อแปลงขณะวงจรปิด ในแบบจำลอง Simulink

3.5 การวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ทำการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะต่อโหลดความต้านทานค่าต่างๆ ด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 9 วงจรหม้อแปลงไฟฟ้าขณะต่อโหลดความต้านทาน

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และการสร้างแบบจำลอง Simulink ในโปรแกรม MATLAB

บทความวิจัย

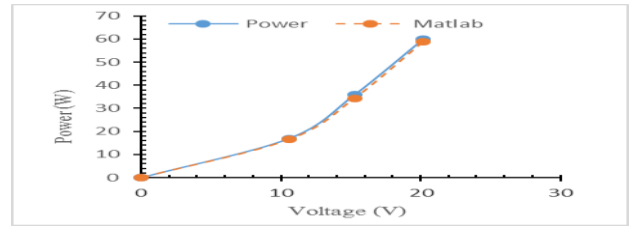
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13

13th Conference of Electrical Engineering Network 2021 (EENET 2021)

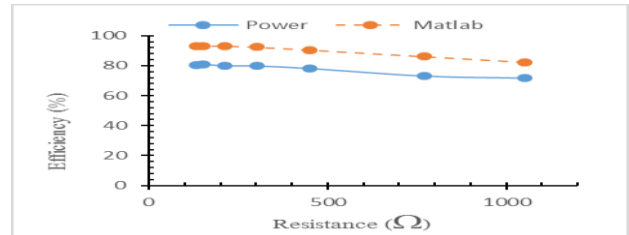


ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าของพารามิเตอร์

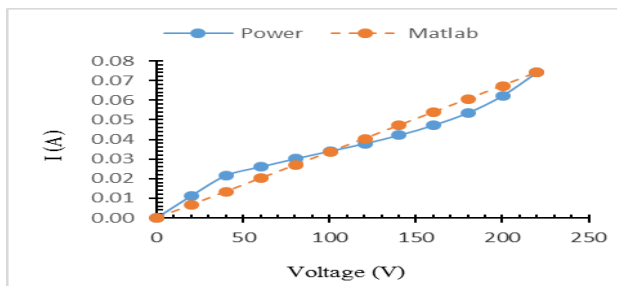
	ความ ต้านทาน R_m (โอห์ม)	ความต้านทาน เชิงเหนี่ยวนำ X_m (โอห์ม)	ความ ต้านทาน สมมูล R_{eq} (โอห์ม)	ความต้านทาน เชิงเหนี่ยวนำ สมมูล X_{eq} (โอห์ม)
เครื่องวัด กำลังไฟฟ้า	5153.62	3627.41	6.325	1.735
MATLAB	5152.78	3636.36	6.33	1.752
Error (%)	0.016	0.246	0.079	0.975



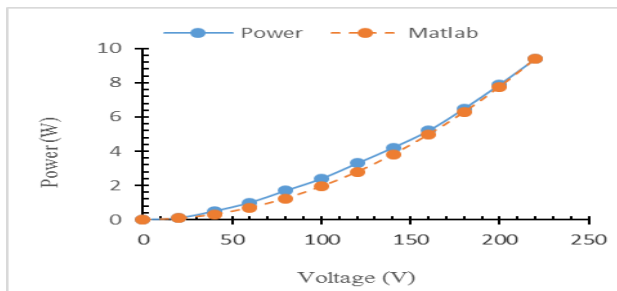
รูปที่ 13 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด



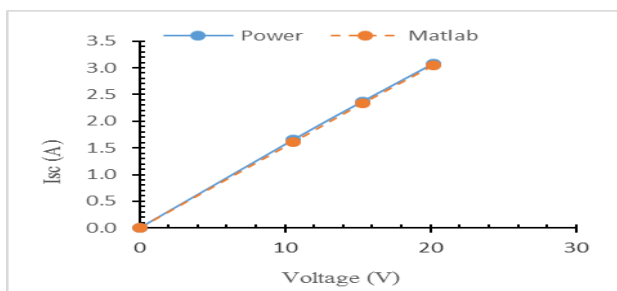
รูปที่ 14 ผลการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 10 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด



รูปที่ 11 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรเปิด



รูปที่ 12 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะวงจรปิด

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษารวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และการสร้างแบบจำลอง Simulink ในโปรแกรม MATLAB จากผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก และผลการวัดประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันเนื่องจากสูญเสียในแกนเหล็ก และขดลวดทองแดงที่เพิ่มขึ้น จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ทำให้เกิดความร้อน และอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในทางปฏิบัติมีค่าลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Srimanti Roychoudhury, Anish Deb, Gautam Sarkar and Jitendranath Bera, "Virtual Laboratory for Performing Tests on a Single-Phase Power Transformer", IETE Journal of Education, Aug 2014
- [2] Nileema Patil and Prof. J. H. Patil, "Transformer Testing and Analysis using MATLAB/Simulink", International Journal for Innovative Research in Science & Technology, Vol. 2, July 2015
- [3] Ali N. Hamoodi1, Bashar A. Hammad1, Fawaz S. Abdullah1 "Experimental Simulation Analysis for Single Phase Transformer Tests", Majlesi Journal of Electrical Engineering, Vol. 14, March 2020
- [4] P. C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", Wiley, 3rd, 2013,
- [5] ไชยชาญ หินเกิด, "หม้อแปลงไฟฟ้า", ศ.ศ.ท., 2552
- [6] รณฤทธิ์ ชื่นอุทัย, "ใบงานปฏิบัติหม้อแปลงไฟฟ้า", ศ.ศ.ท., 2544