รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชุติมา จารุศิริพจน์. การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ไร้วิกส์แบบทองแดงและฟรีออนเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน. ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ประดิษฐ์ เทอดทูล. ท่อความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2536.

ปรีชา กอบเกื้อชัยพงษ์. การสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์อุณหภูมิต่ำ. ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

วีรชาติ นามพรหม. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบคอยล์ลูป เทเทอร์โมไซฟอน สำหรับนำพลังงานกลับคืนระหว่างอากาศกับอากาศ. ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2535.

สาโรช ไหวเคลื่อน. กรณีศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง. ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ,2535.

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE. 1993 ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,1993.

ASHRAE. 1996 ASHRAE Handbook Heating. Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment SI Edition. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,1996.

Chi S.W. Heat Pipe Theory and Practice. Washington : Hemisphere Publishing Corporation,1976.

Frank P. Incropera and David P. DeWitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Fourth Edition. The United States of America : John Wiley & Sons,1996.

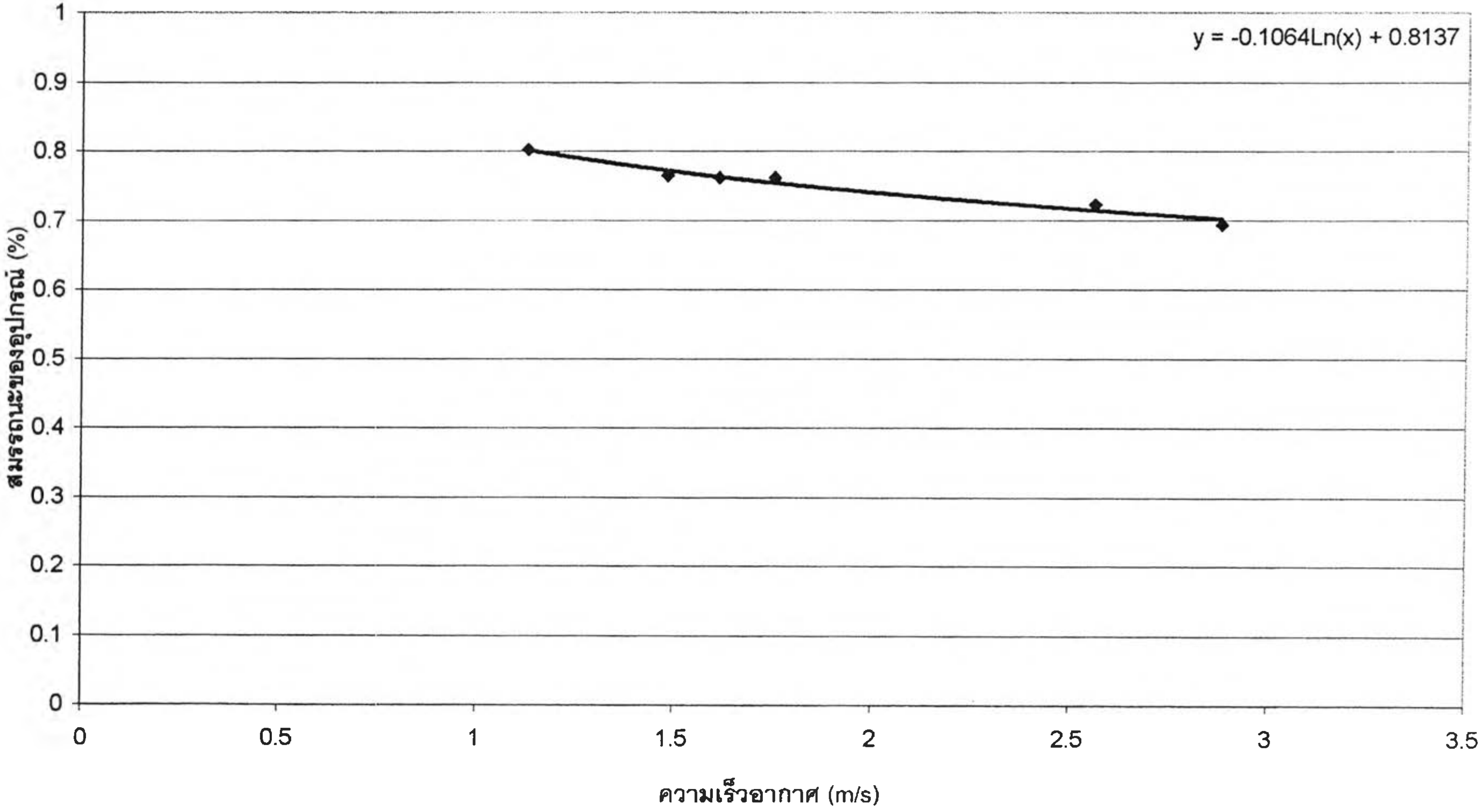
Wilbert F.Stoeker. Principles for air conditioning practice. New York: Industrial Press ,1967.

Yong Joo Park, Hwan Kook Kang and Chul Ju Kim. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon to the fill charge ratio. International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) : 4655-4661.

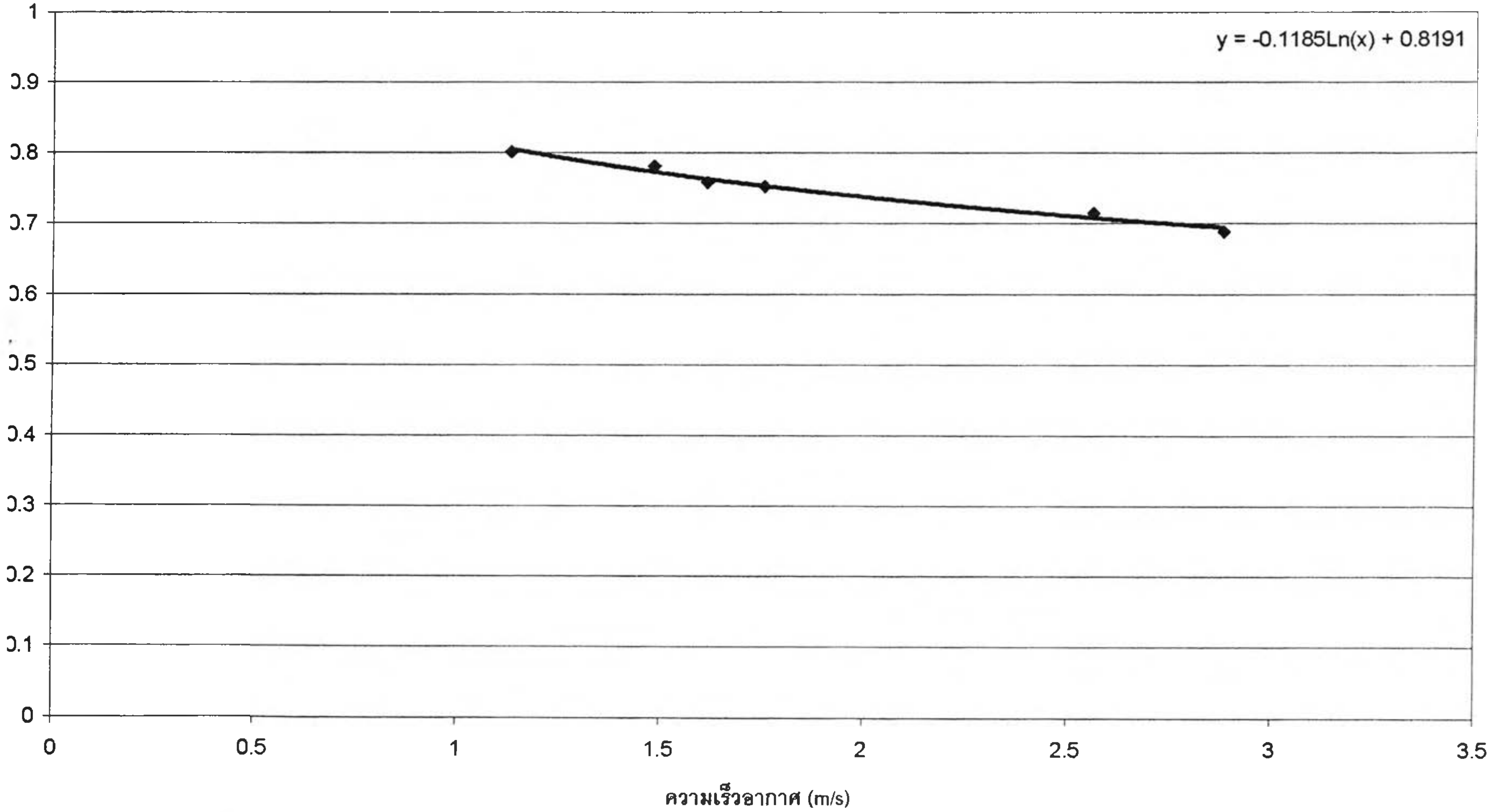
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

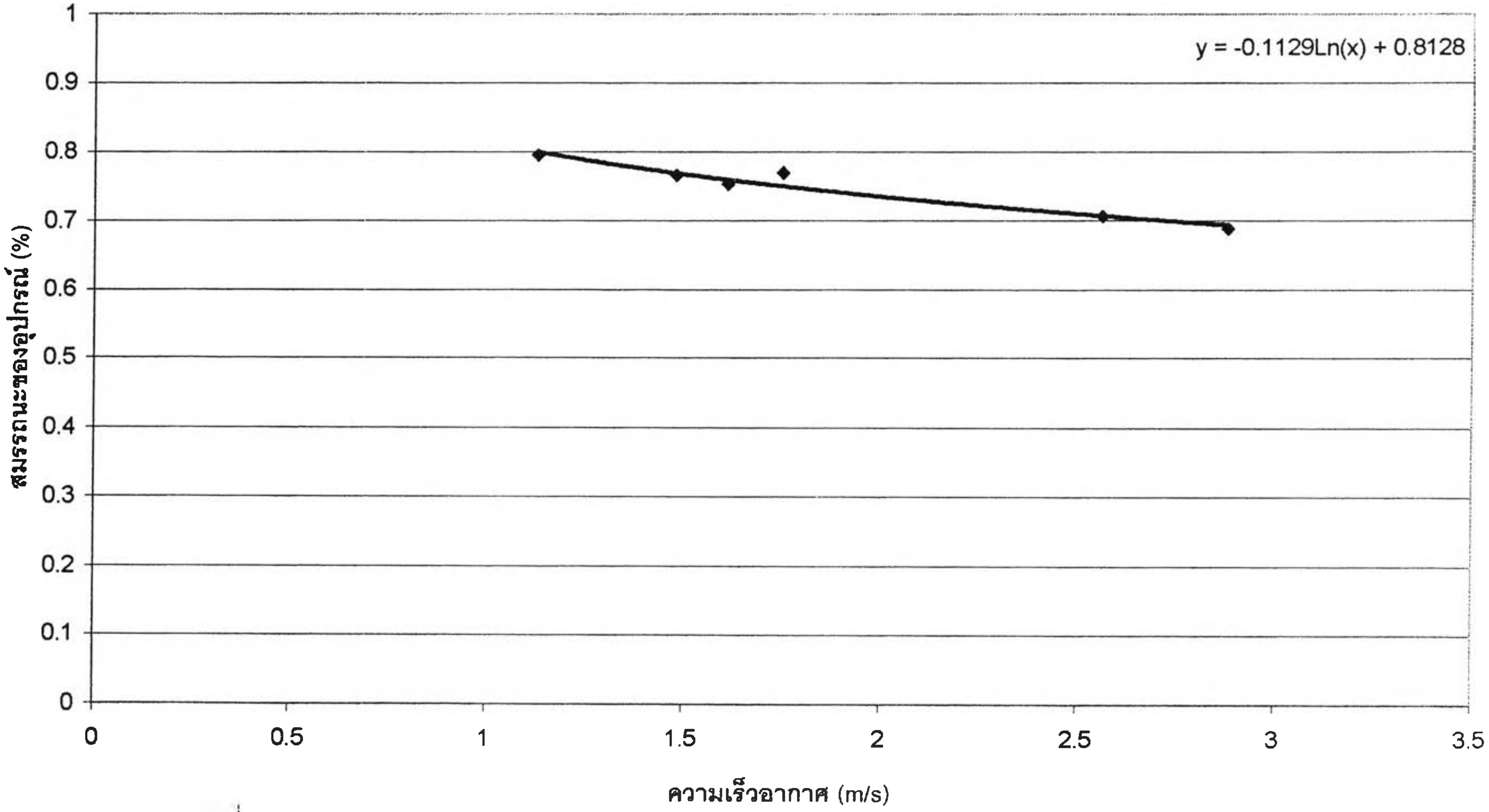
กราฟและตารางแสดงผลการทดลอง



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ
ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศประมาณ 32 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 57%

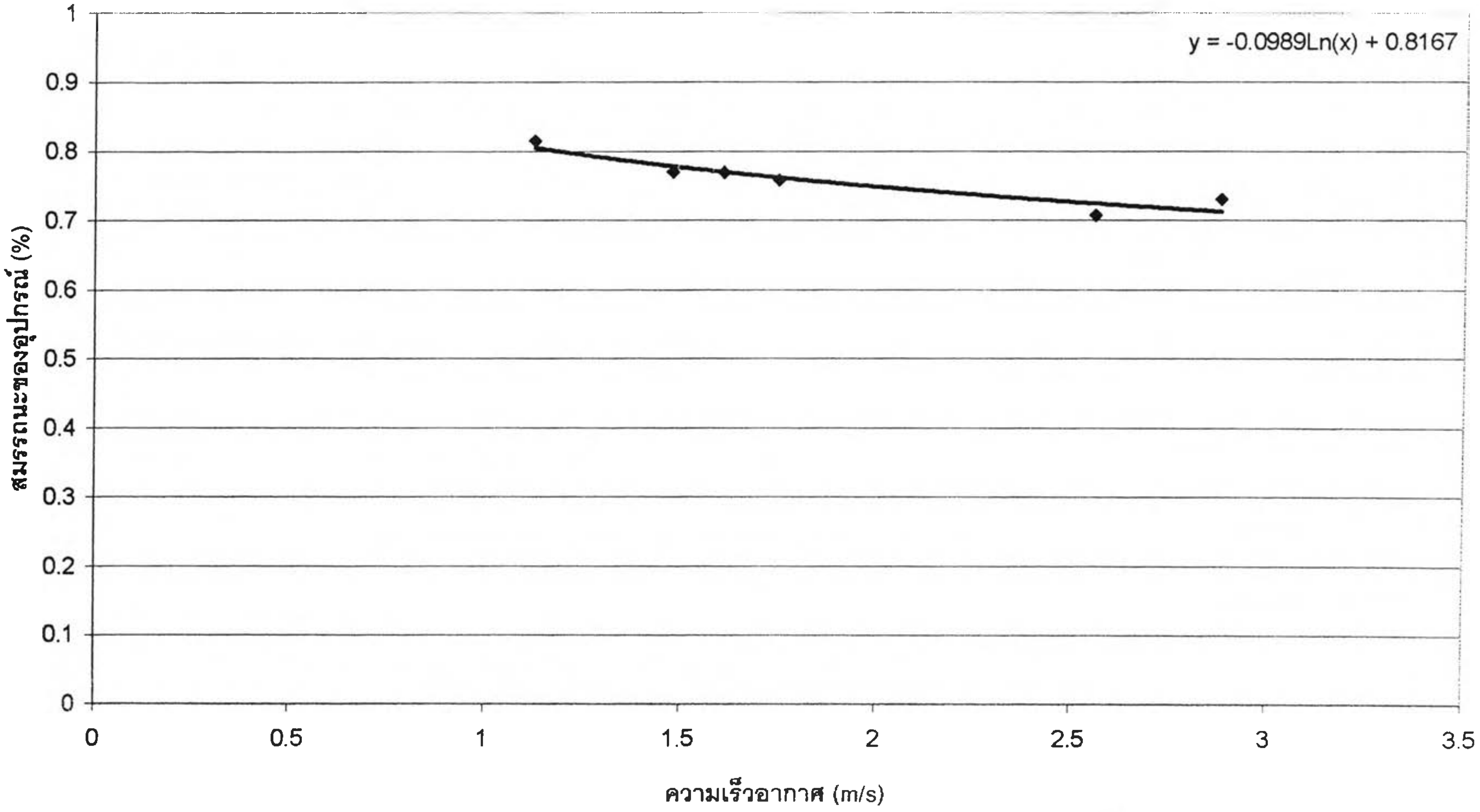


รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศประมาณ 29 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 65%

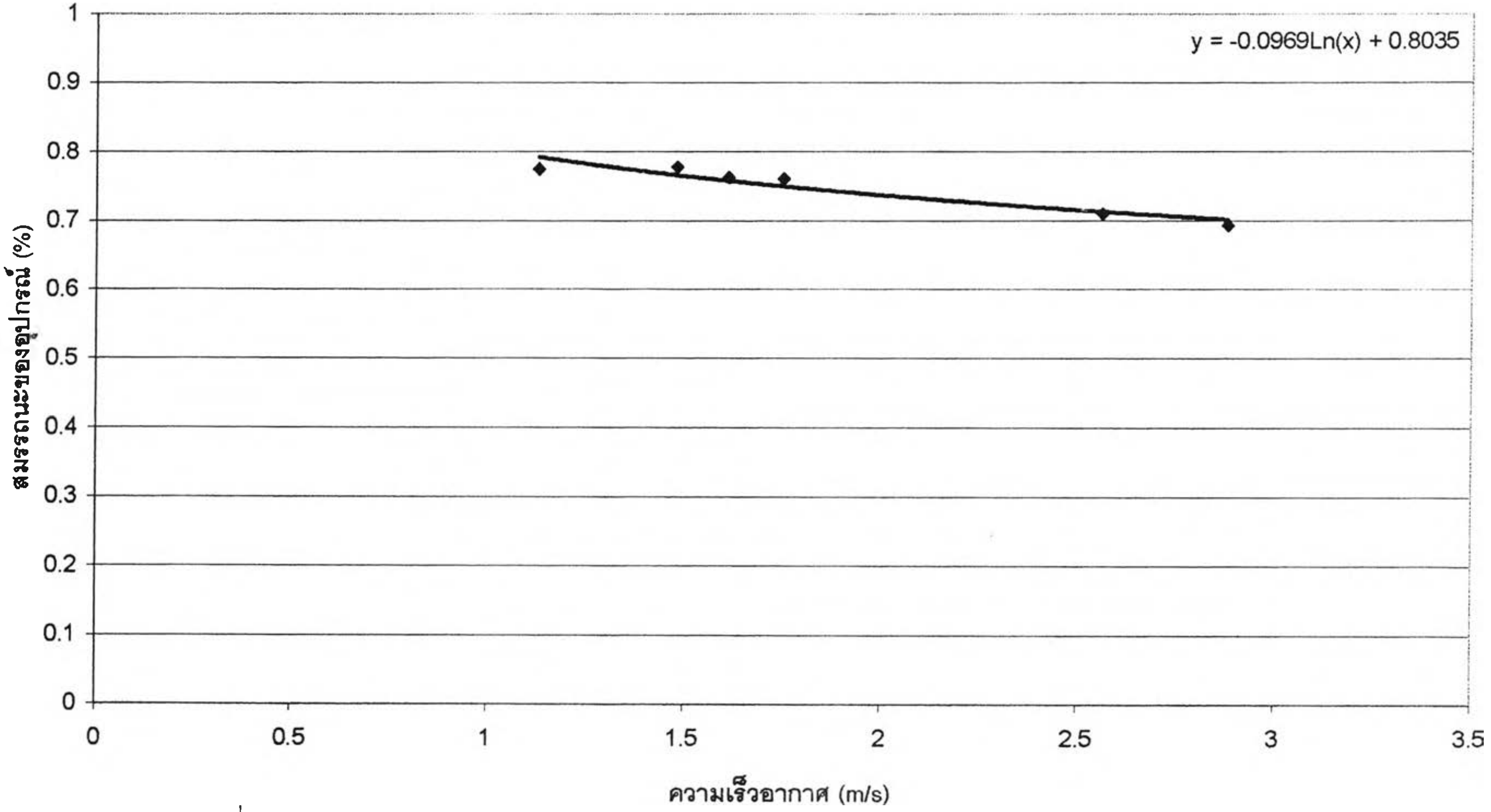


รูปที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ

ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศประมาณ 34 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 55%

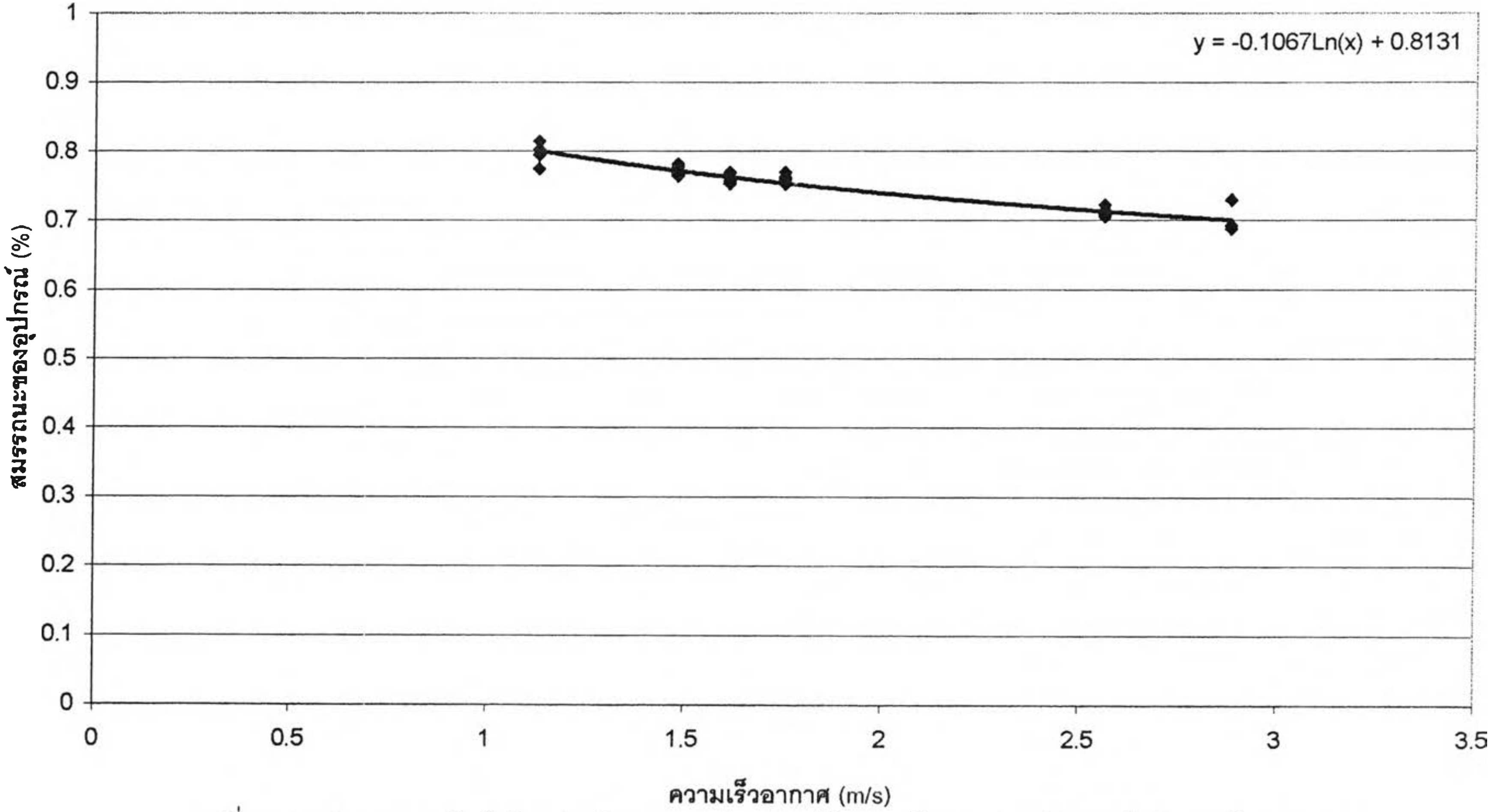


รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศประมาณ 34 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 52%



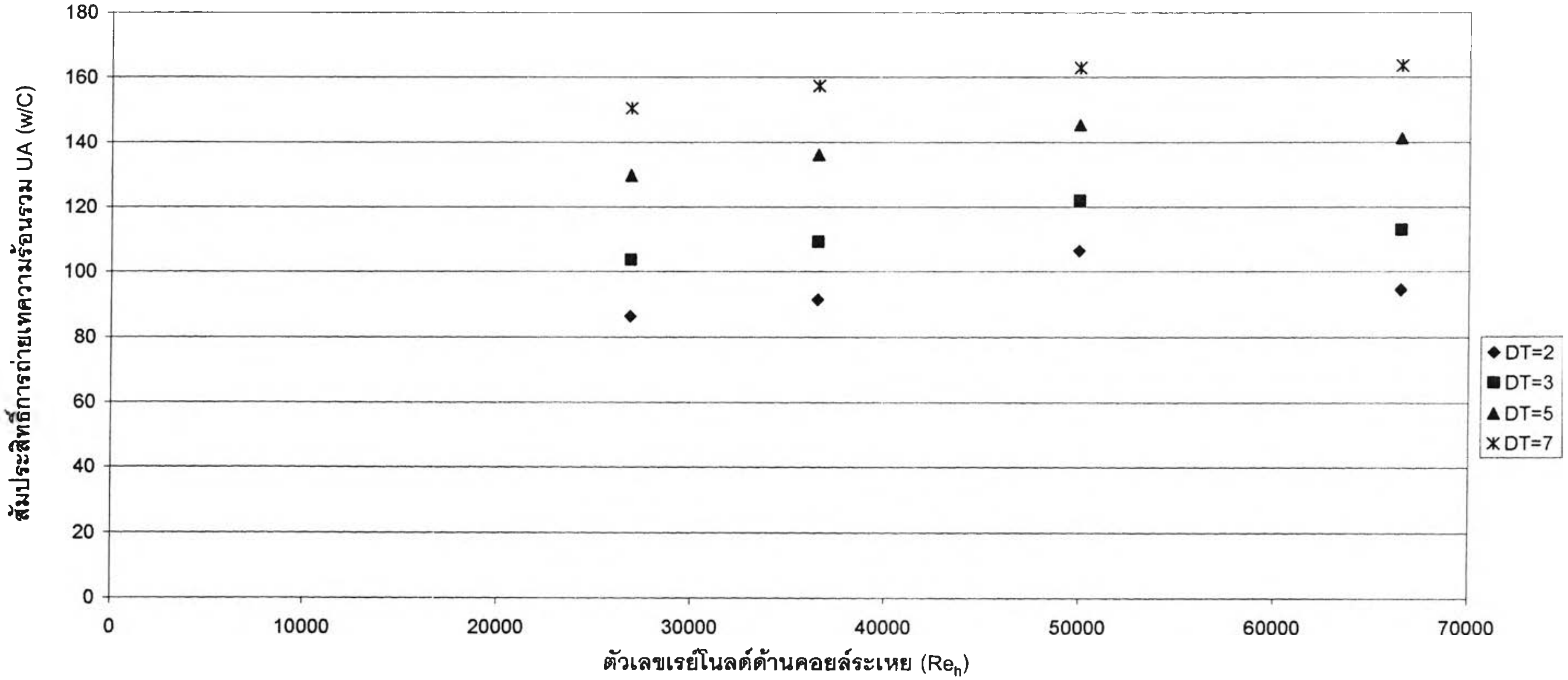
รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ

ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศประมาณ 35 องศาเซลเซียสและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 56%

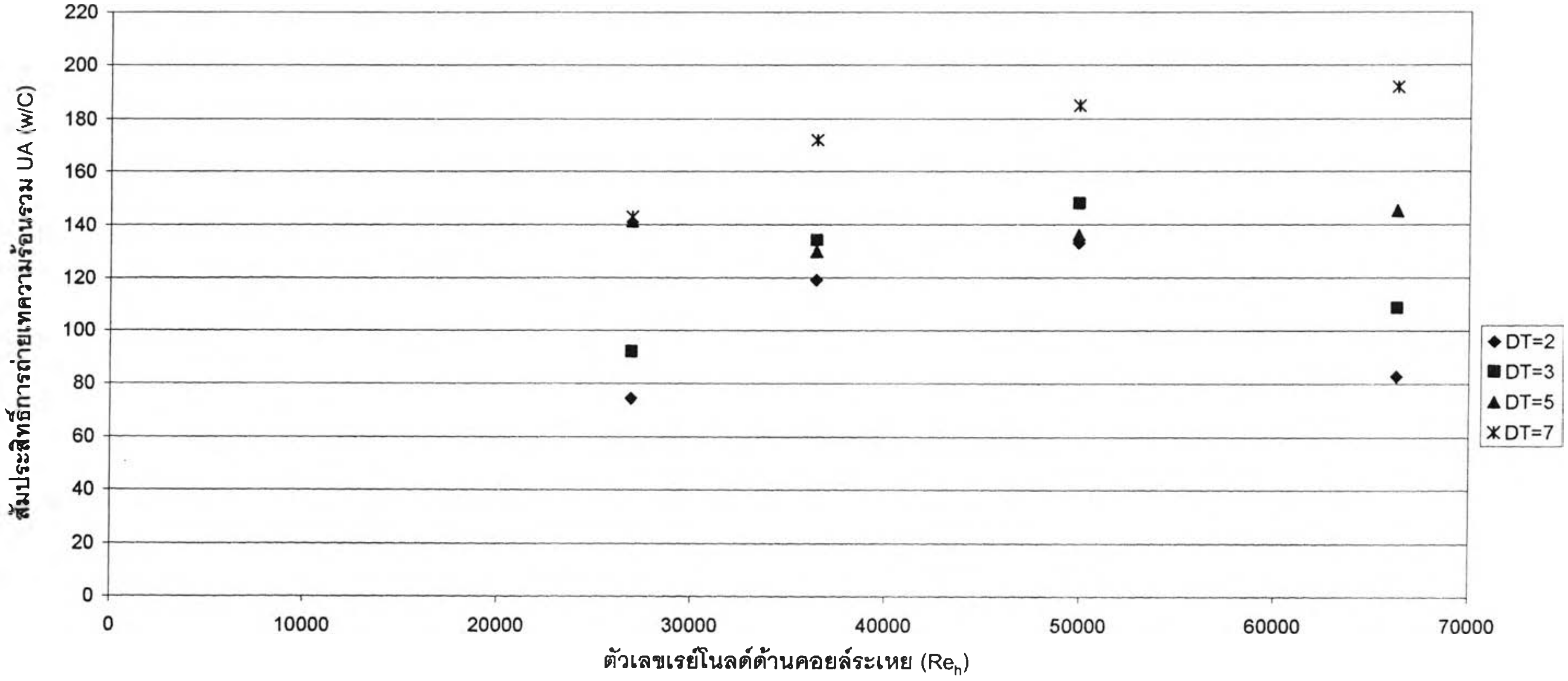


รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับค่าความเร็วของอากาศ

โดยรวมผลการทดลองทุกสภาวะอากาศ

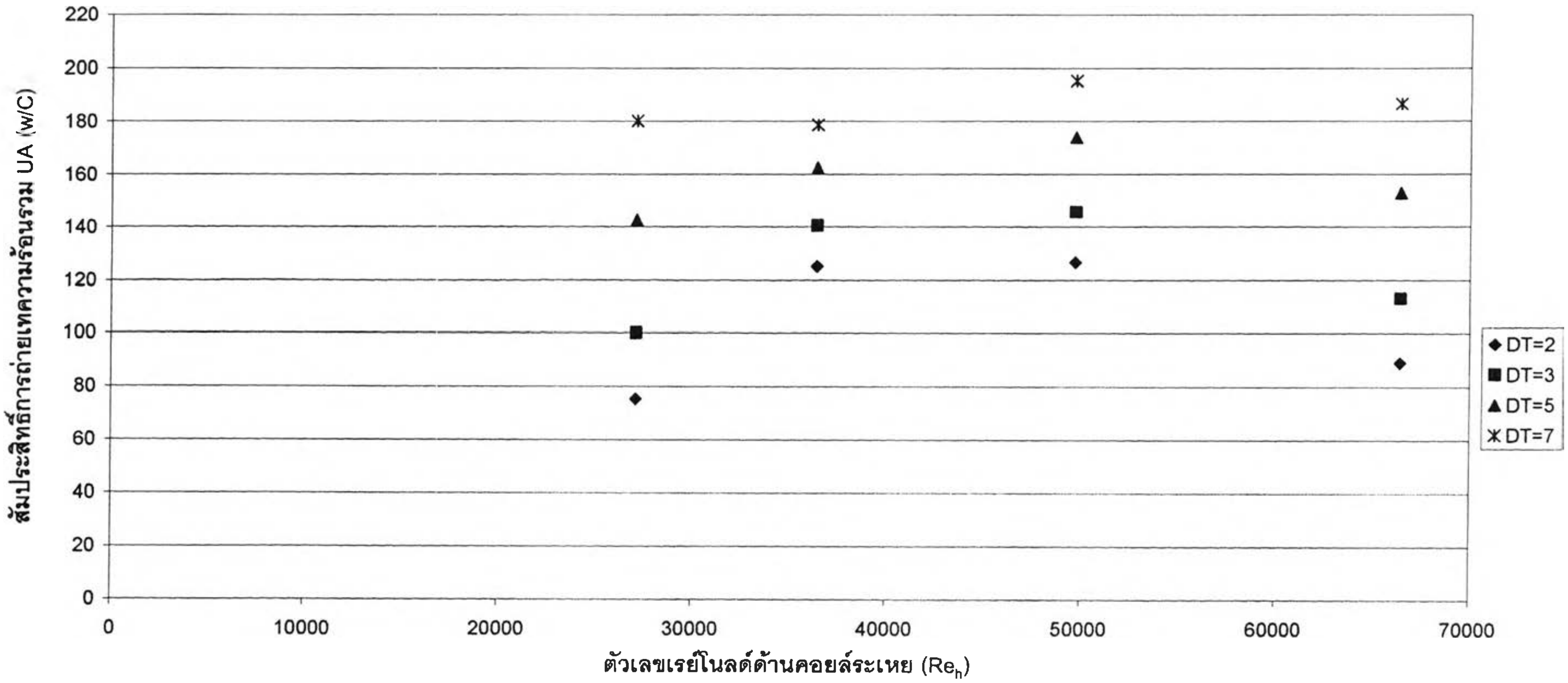


รูปที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่นมีค่าคงที่ประมาณ 22,352 (V_c= 0.724 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ

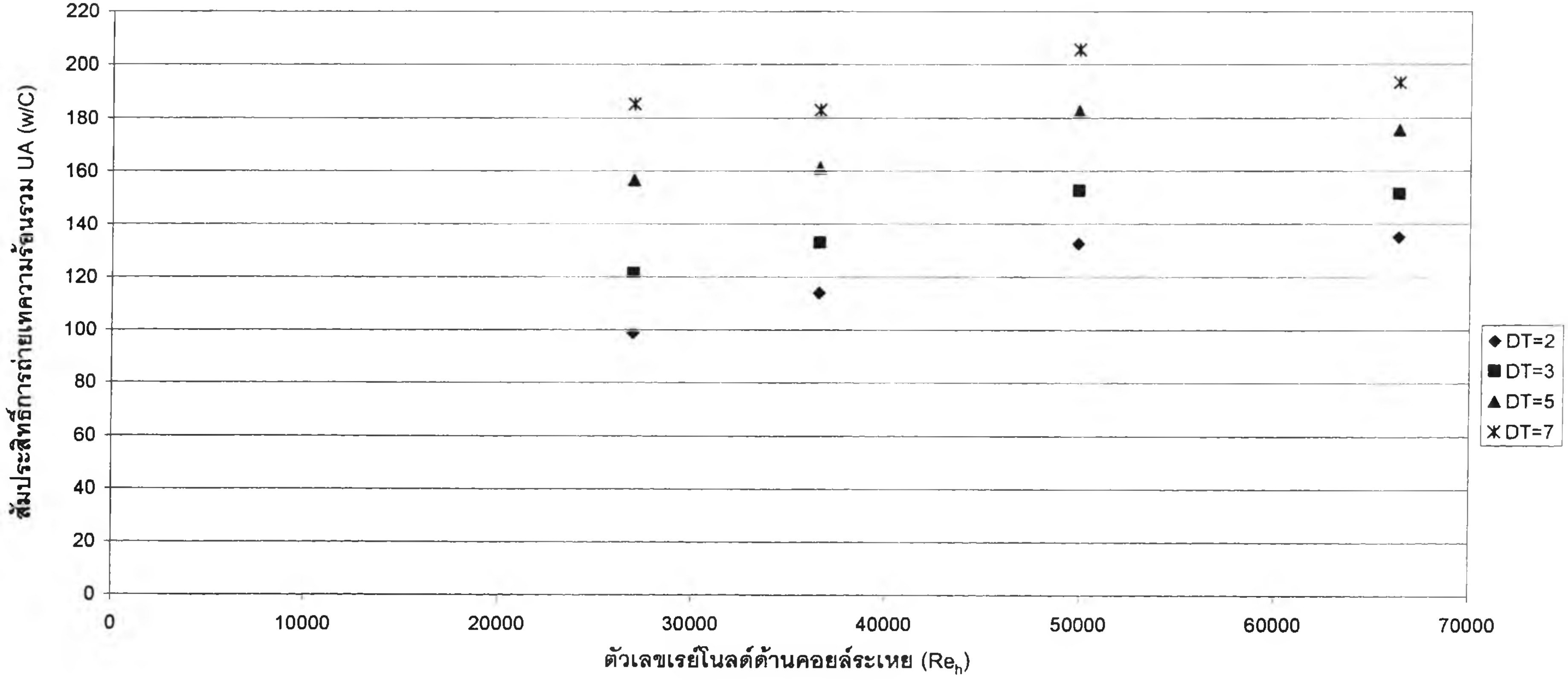


รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย

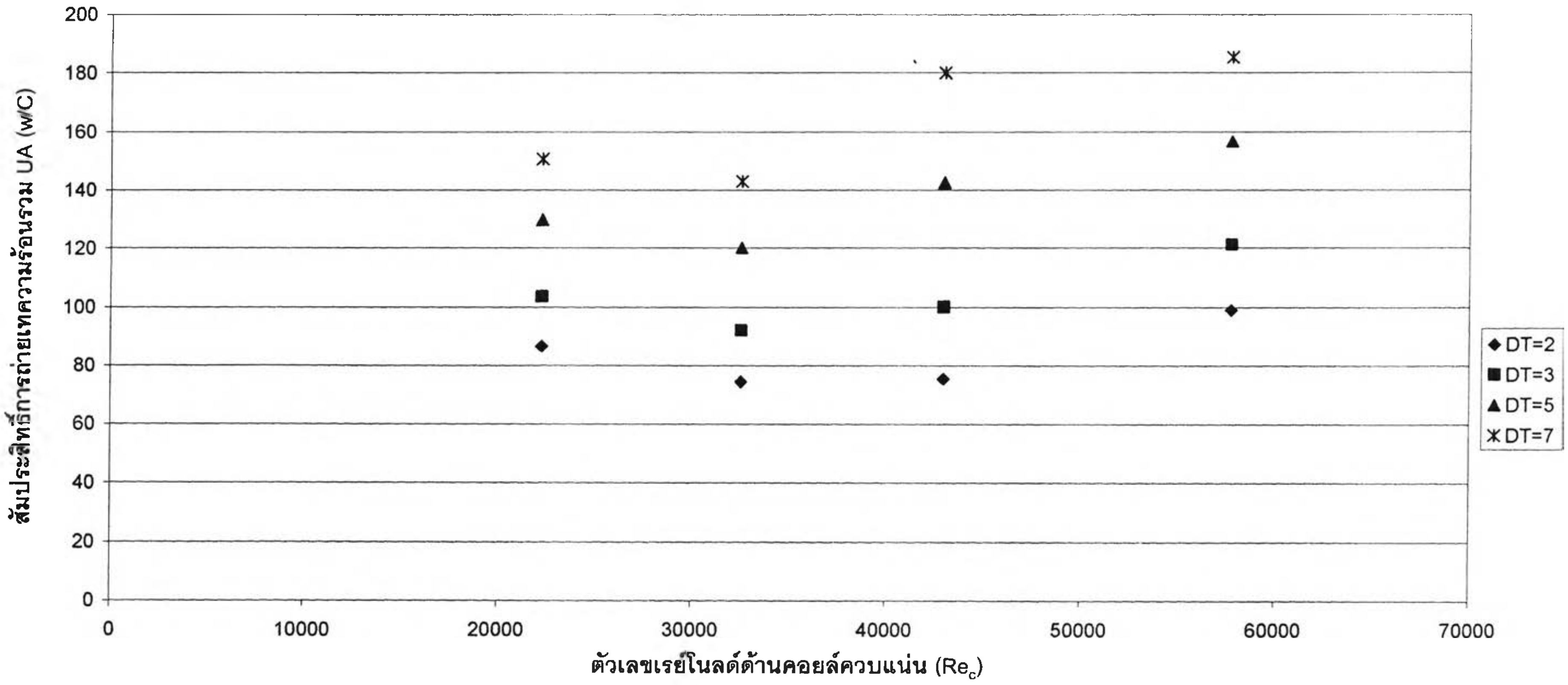
โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่นมีค่าคงที่ประมาณ 32,724 (V_c= 1.056 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



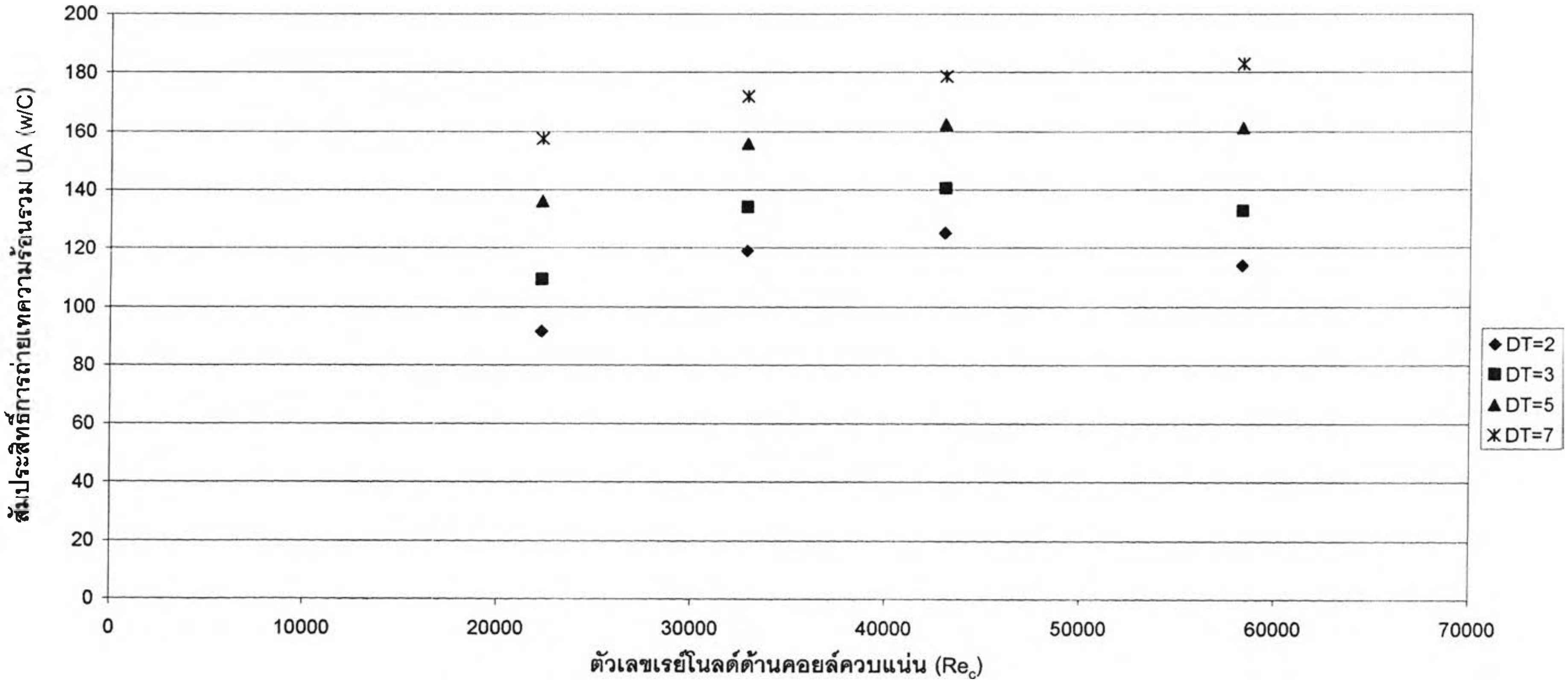
รูปที่ ก.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่นมีค่าคงที่ประมาณ 42,975 (V_c=1.384 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



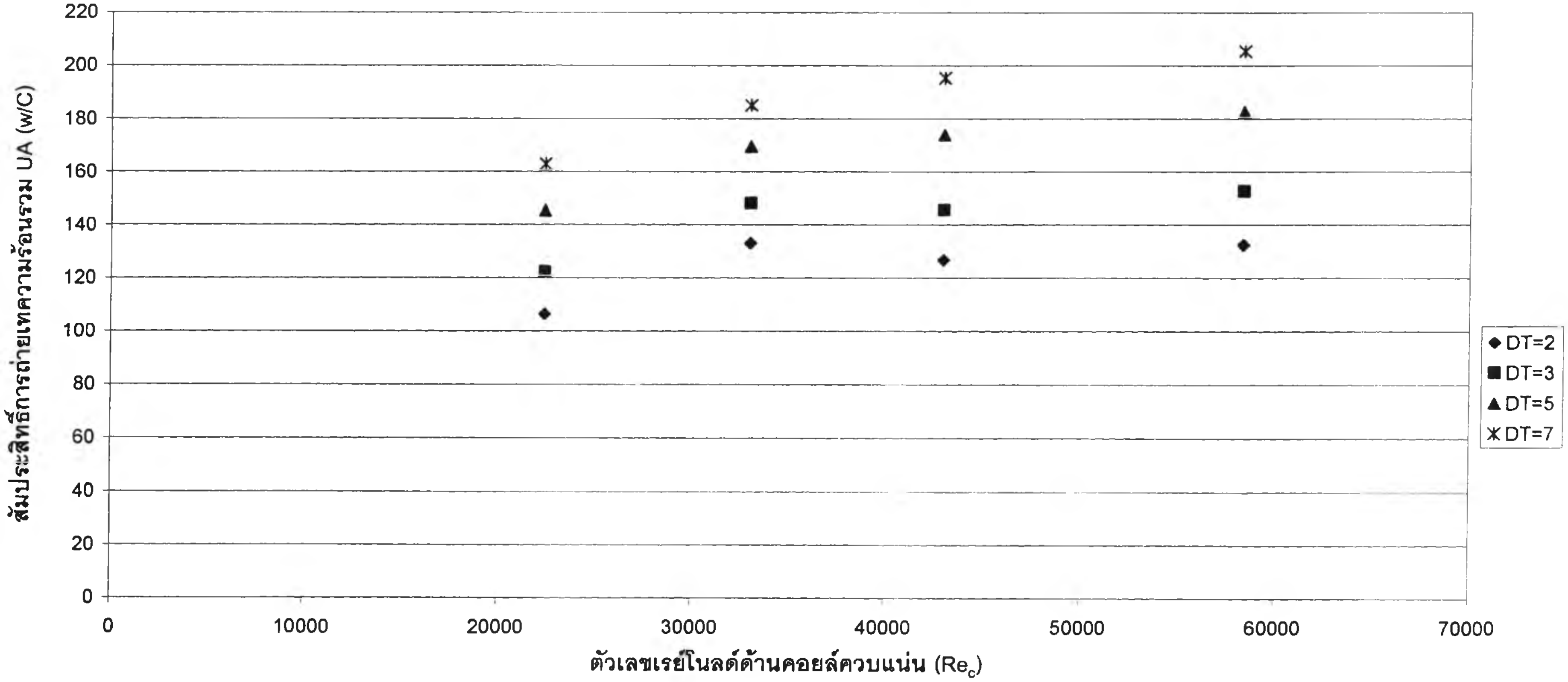
รูปที่ ก.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่นมีค่าคงที่ประมาณ 58,124 (V_c=1.876 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



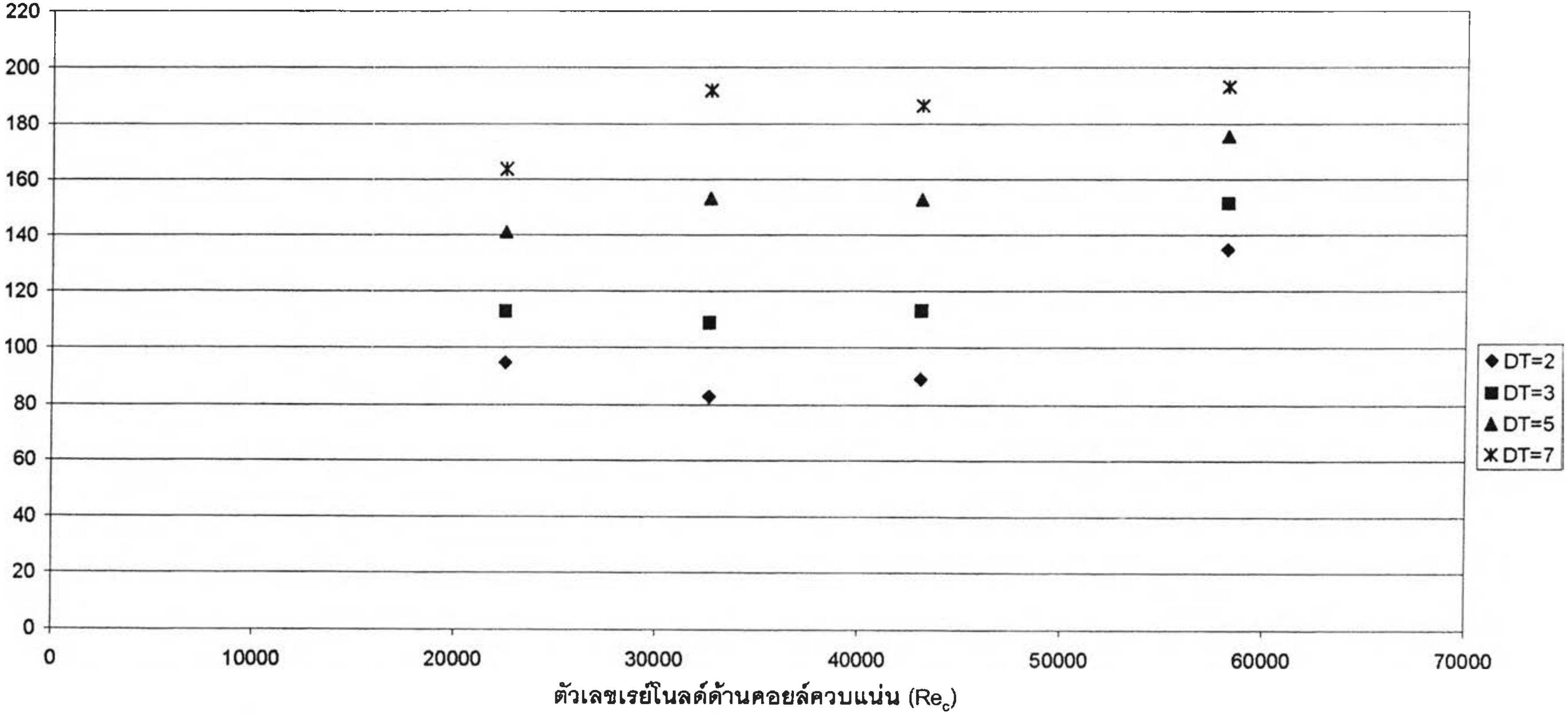
รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหยมีค่าคงที่ประมาณ 29,638 (V_h= 0.868 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



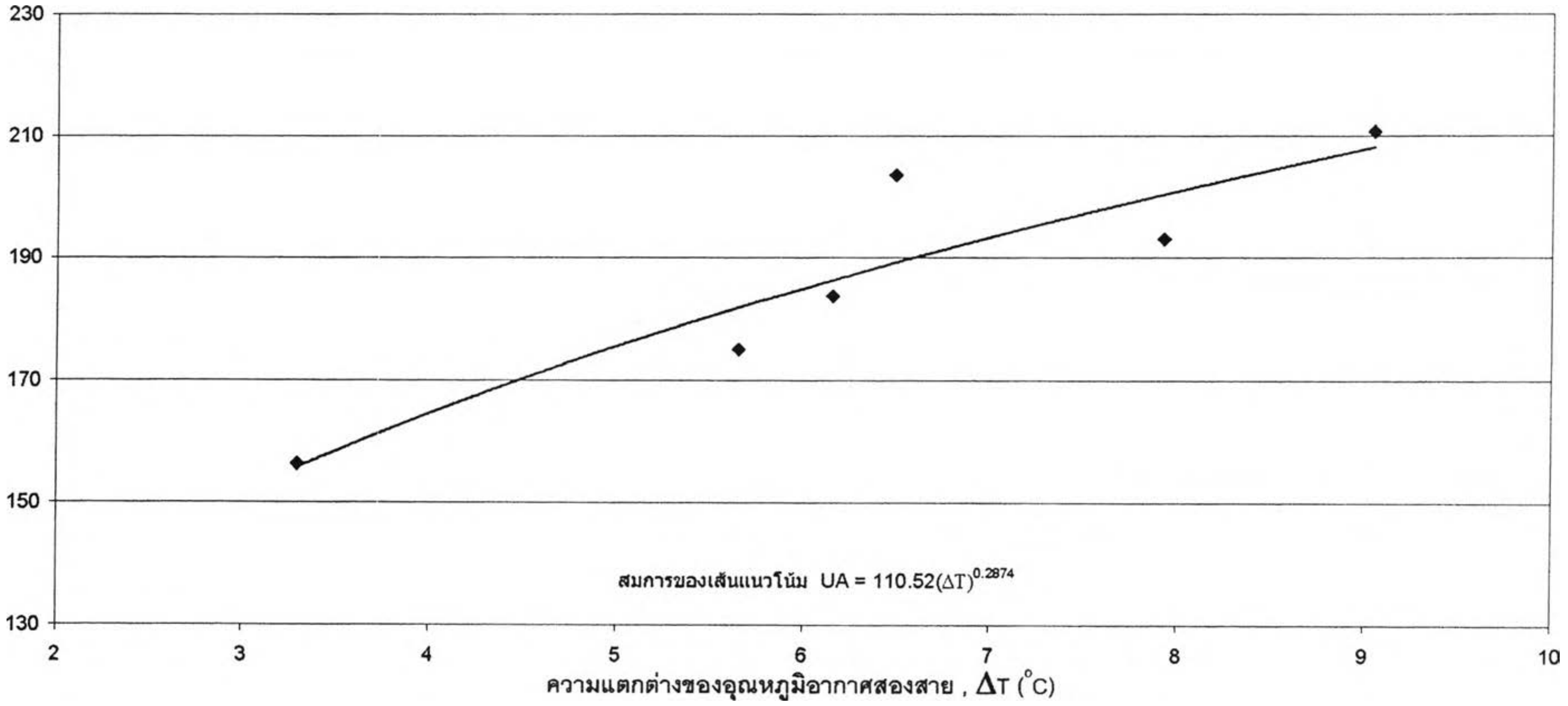
รูปที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหยมีค่าคงที่ประมาณ 36,438(V_h= 1.604 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



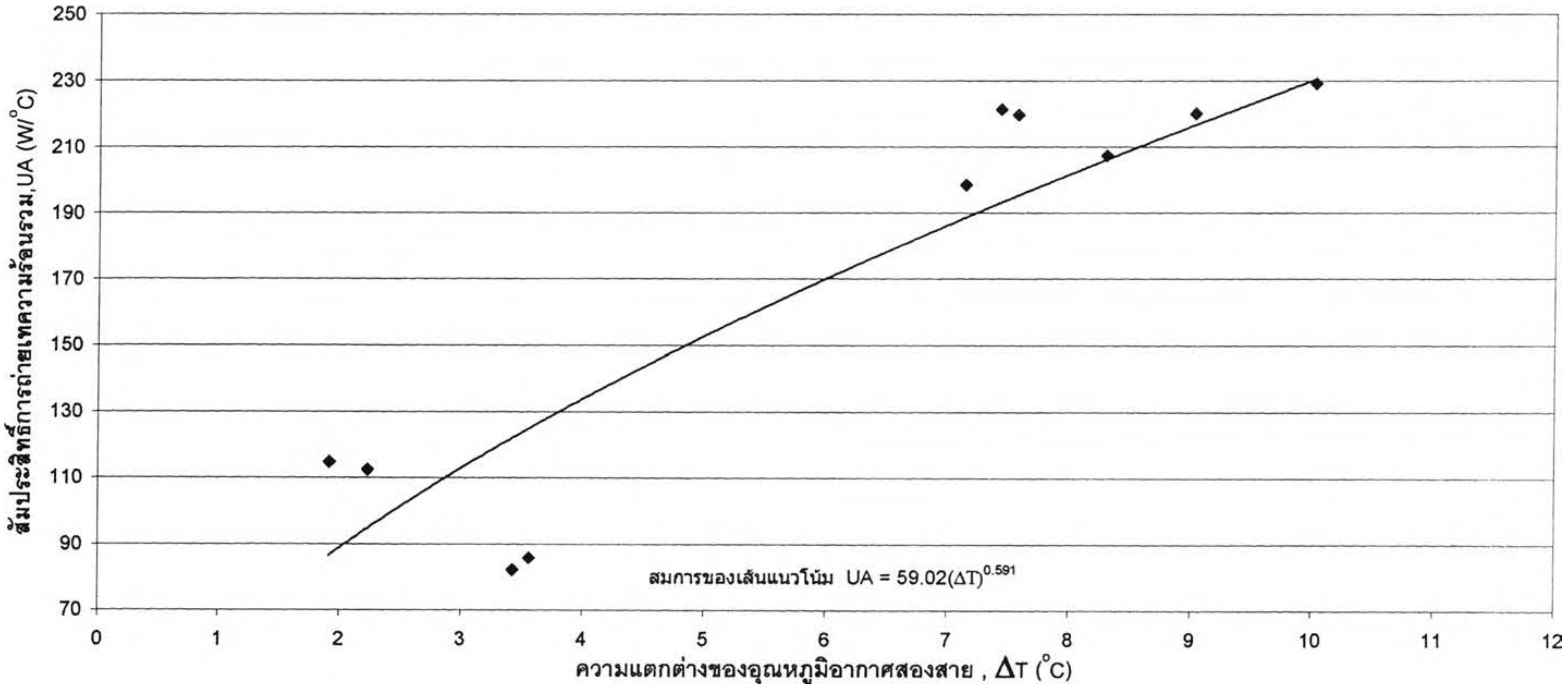
รูปที่ ก.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหยมีค่าคงที่ประมาณ 49,810 (V_h= 1.176m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



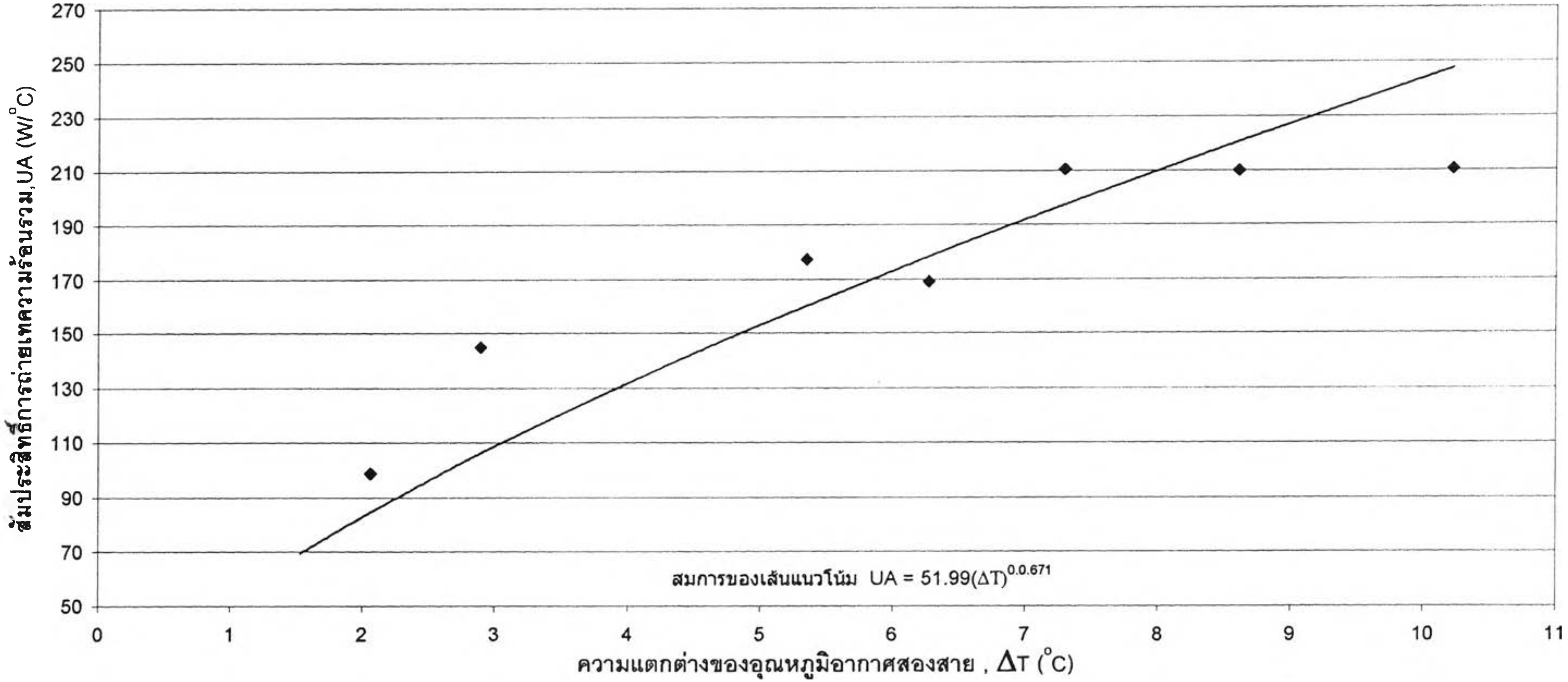
รูปที่ ก.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหยมีค่าคงที่ประมาณ 66,356 (V_h=2.128 m/s) ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศต่างๆ



รูปที่ ก.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h =66,356 (V_h=2.128 m/s)และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c =58,124 (V_c=1.876 m/s)

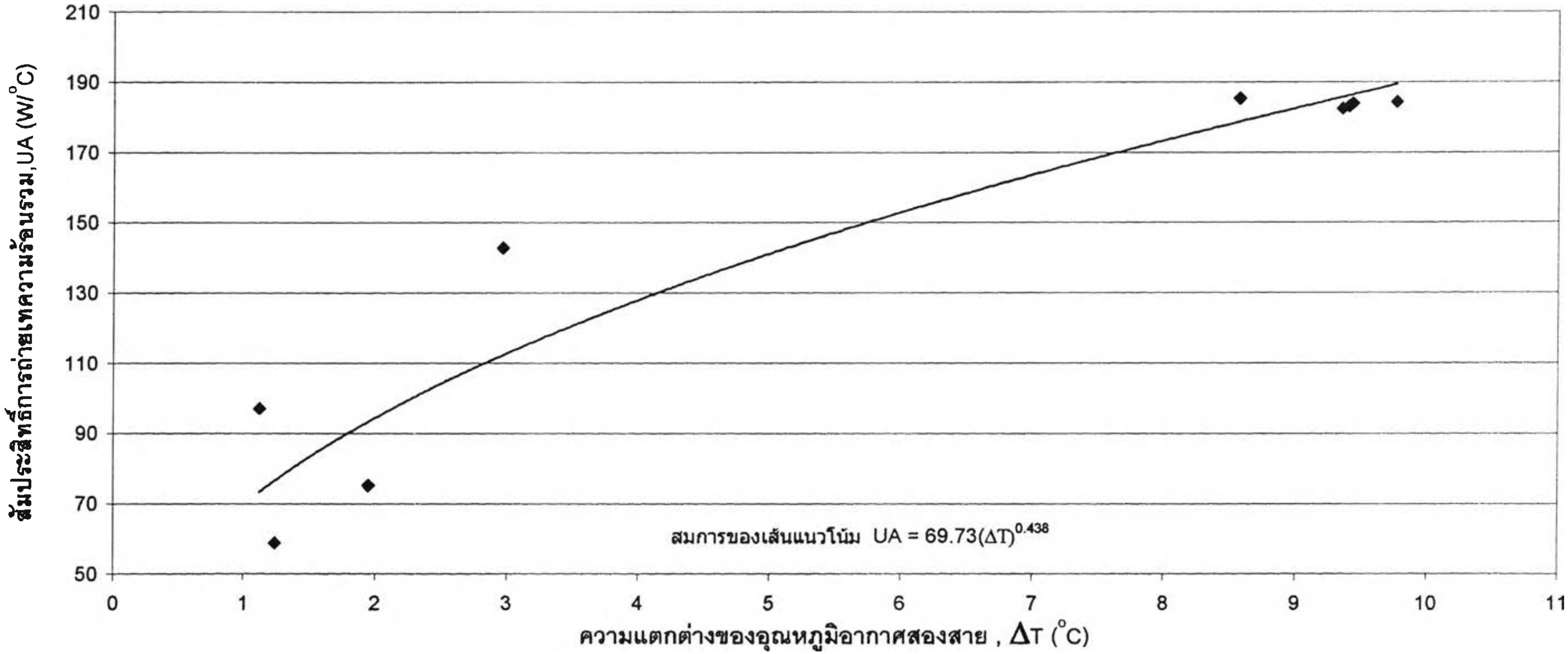


รูปที่ ก.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h = 66,356 (V_h=2.128 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c = 42,975 (V_c=1.384 m/s)

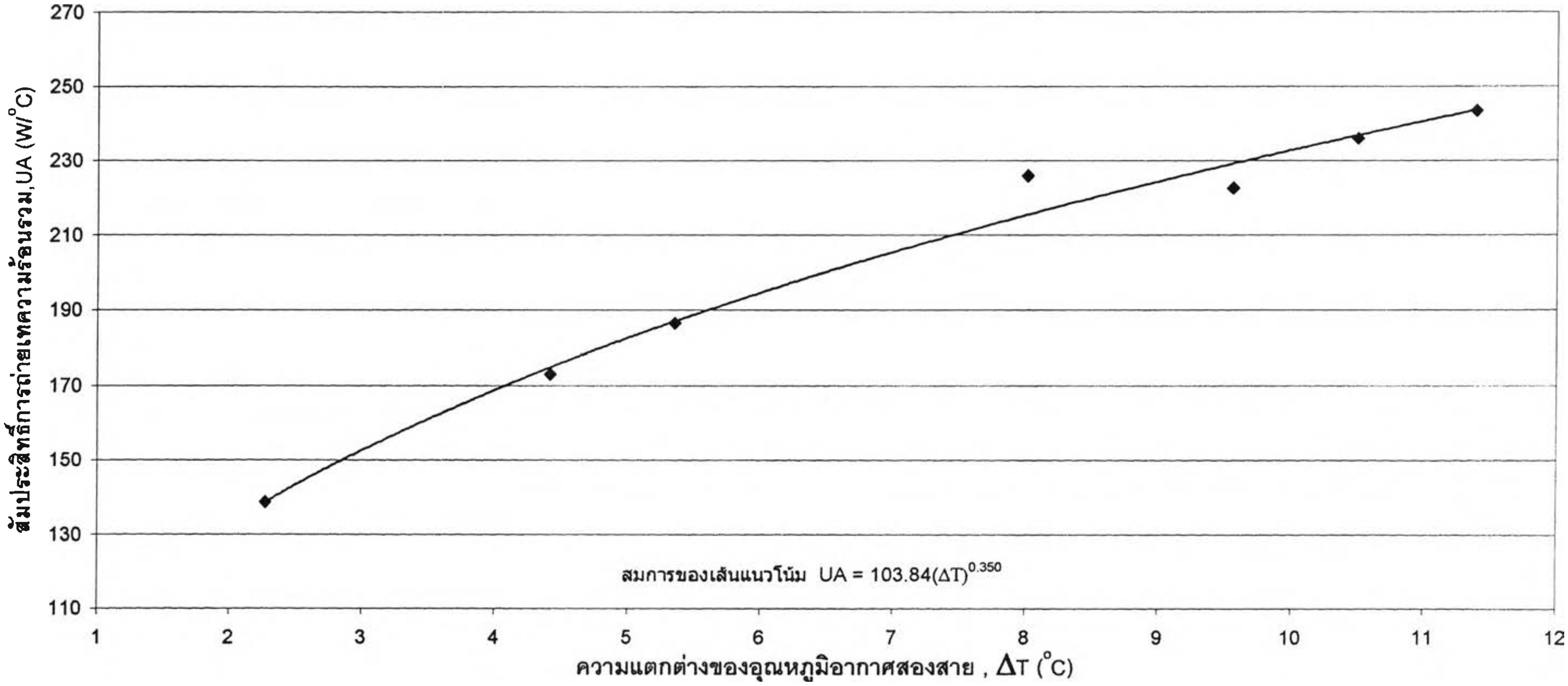


รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย

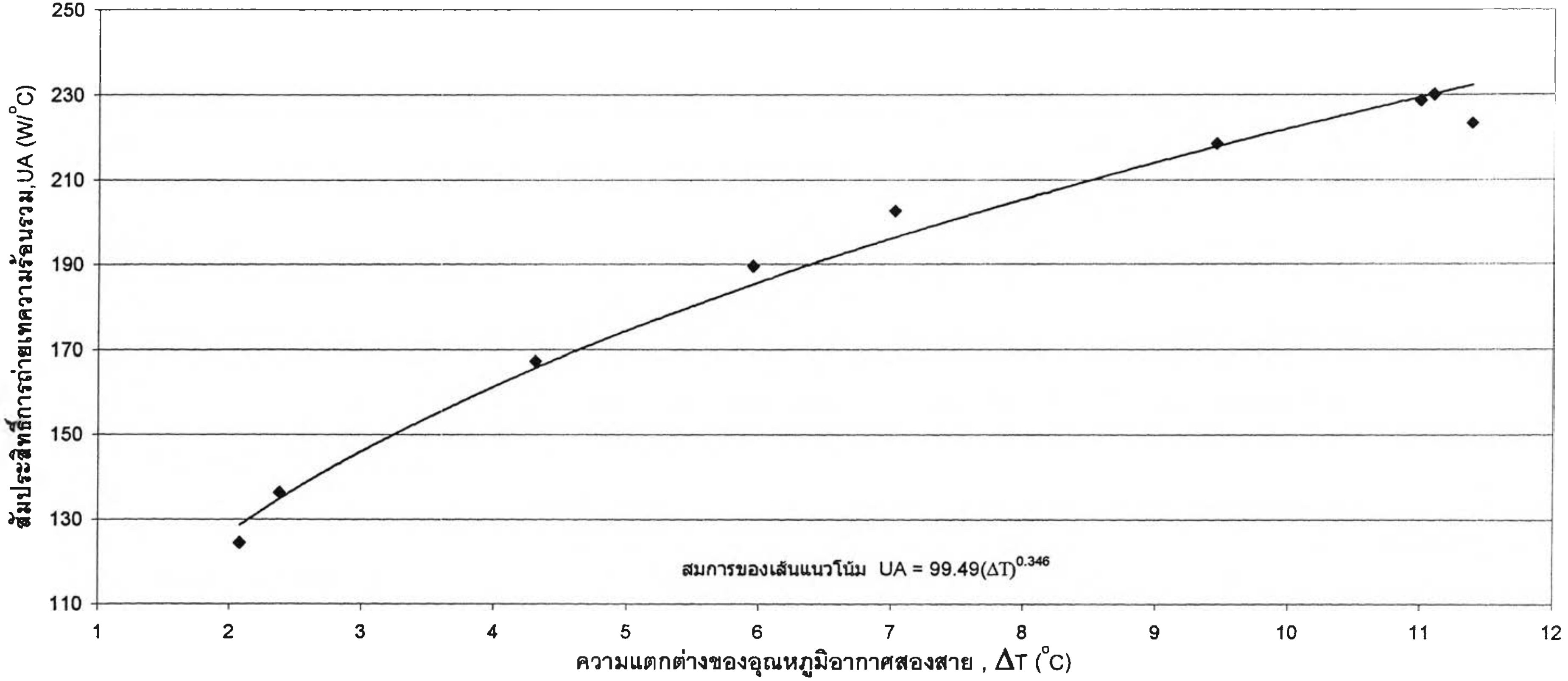
ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 66,356 (V_h=2.128 m/s)และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 32,724 (V_c= 1.056 m/s)



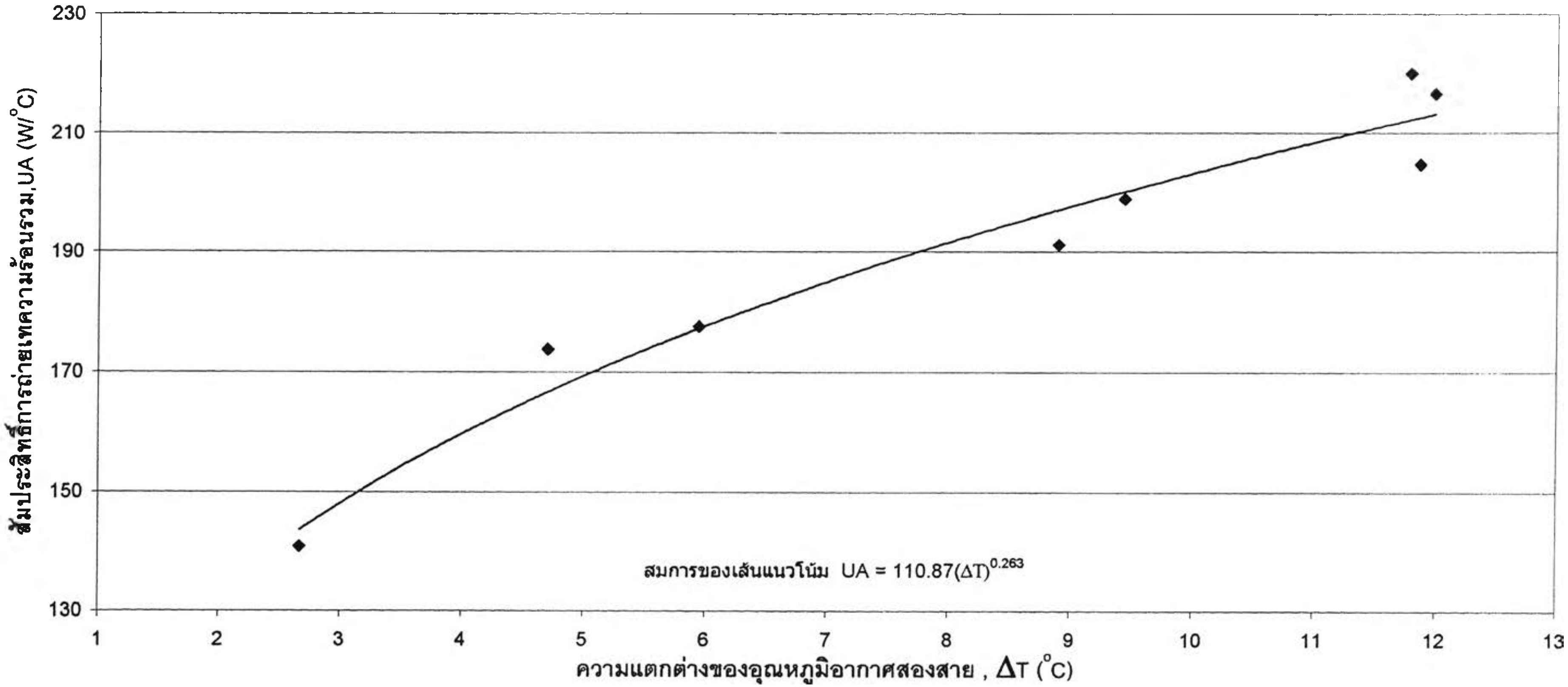
รูปที่ ก.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h =66,356 (V_h=2.128 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 22,352 (V_c= 0.724 m/s)



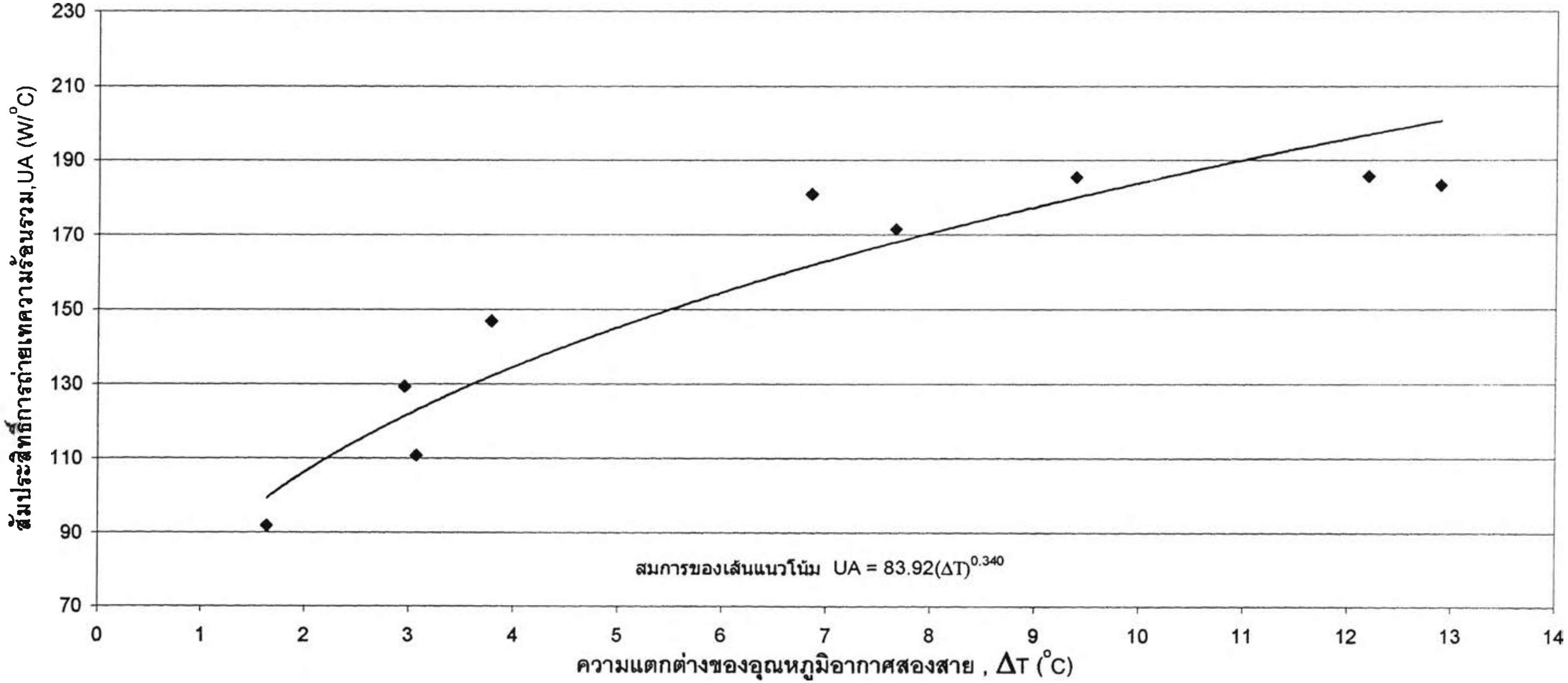
รูปที่ ก.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h =49,810 (V_h= 1.176m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c =58,124 (V_c= m/s)



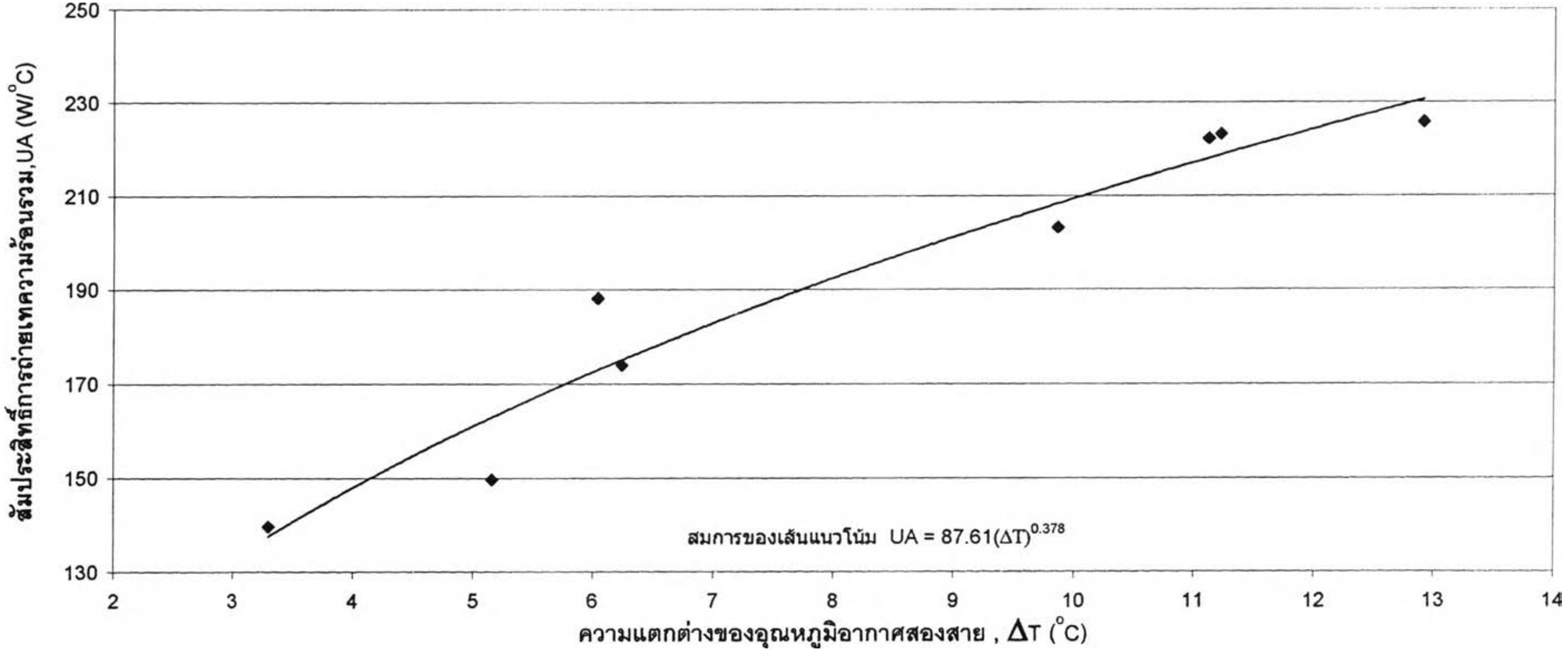
รูปที่ ก.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 49,810 (V_h= 1.176m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 42,975 (V_c=1.384 m/s)



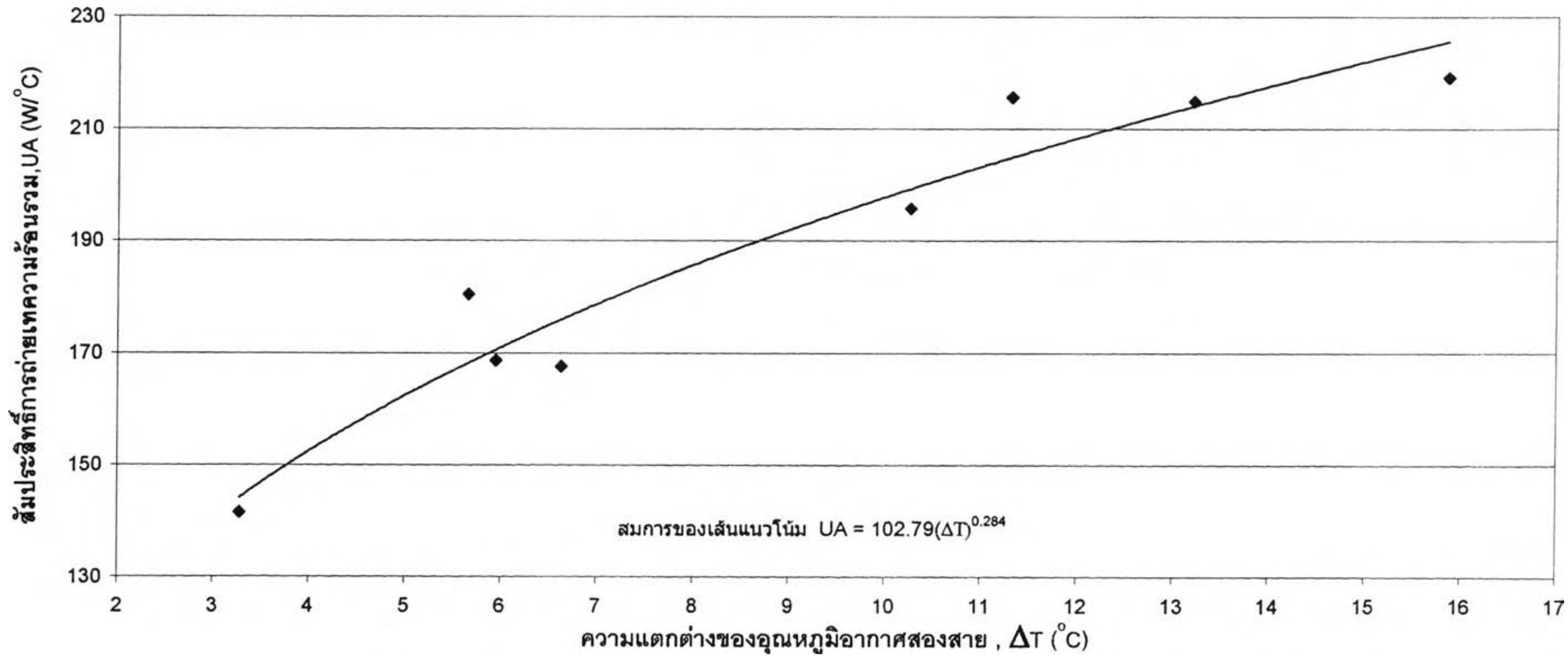
รูปที่ ก.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 49,810 (V_h= 1.176m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 32,724 (V_c= 1.056 m/s)



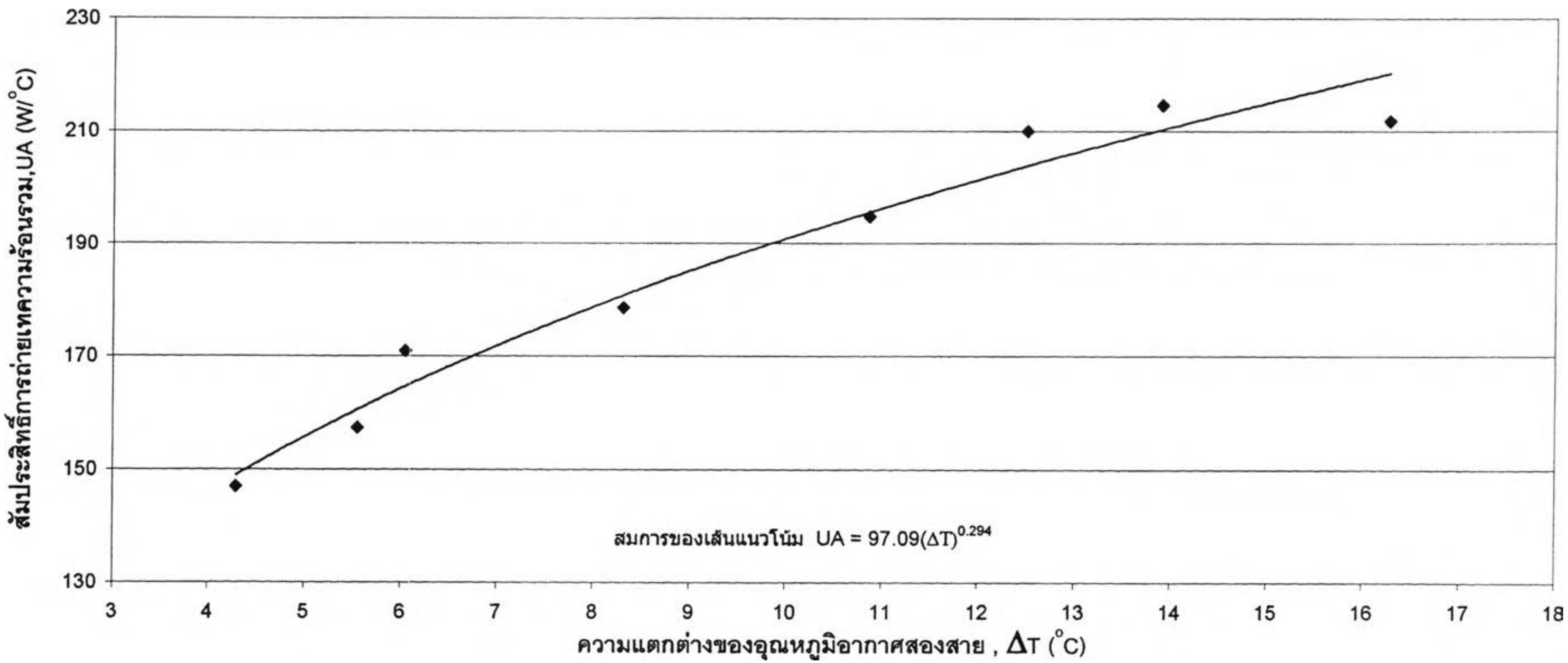
รูปที่ ก.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h =49,810 (V_h= 1.176m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c = 22,352 (V_c= 0.724 m/s)



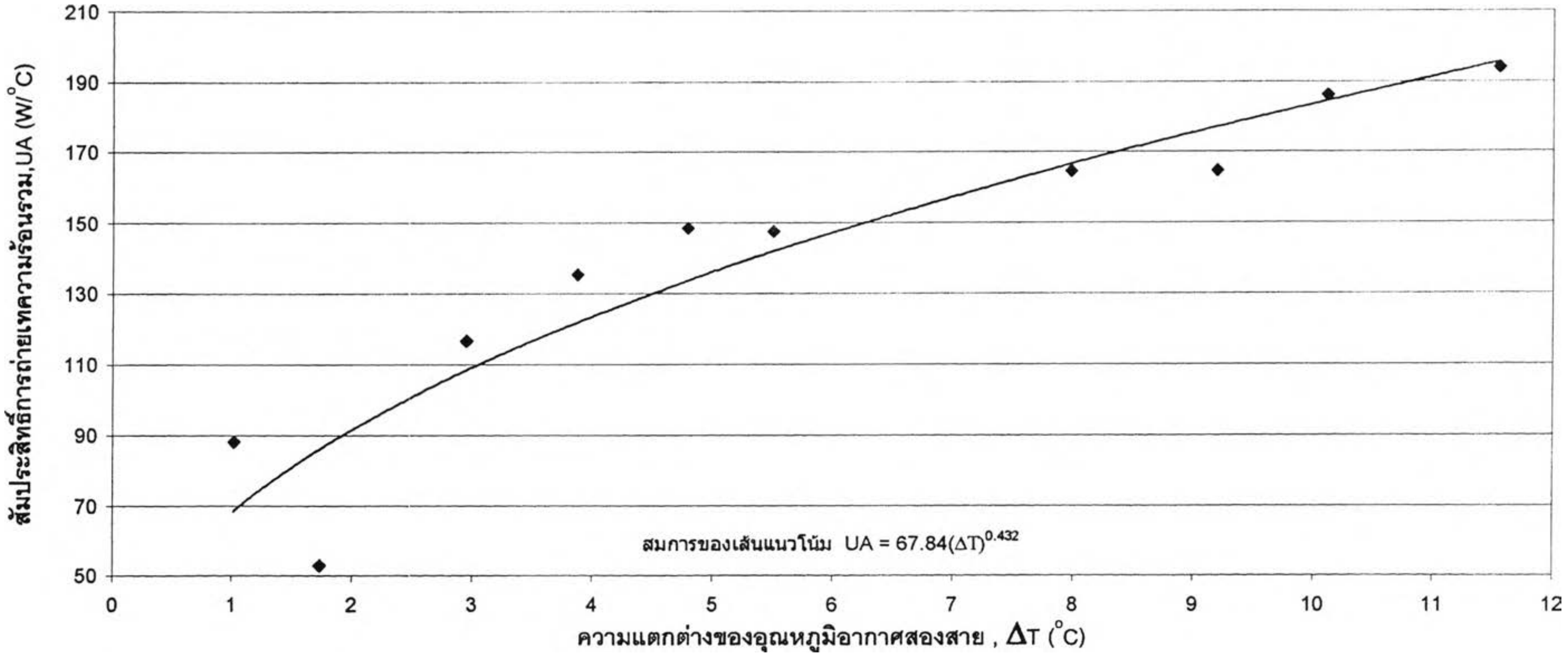
รูปที่ ก.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h =36,438 (V_h= 1.604 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c =58,124 (V_c= m/s)



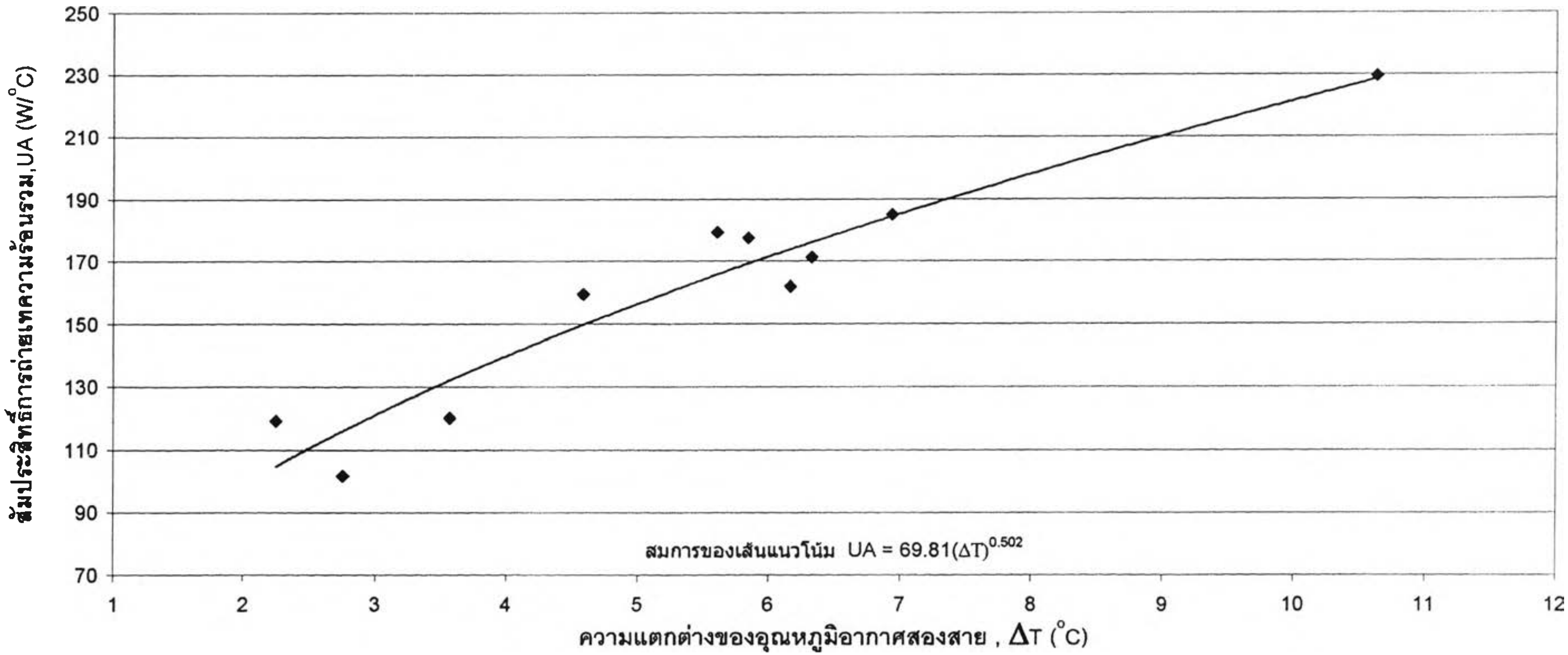
รูปที่ ก.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 36,438 (V_h= 1.604 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 42,975 (V_c=1.384 m/s)



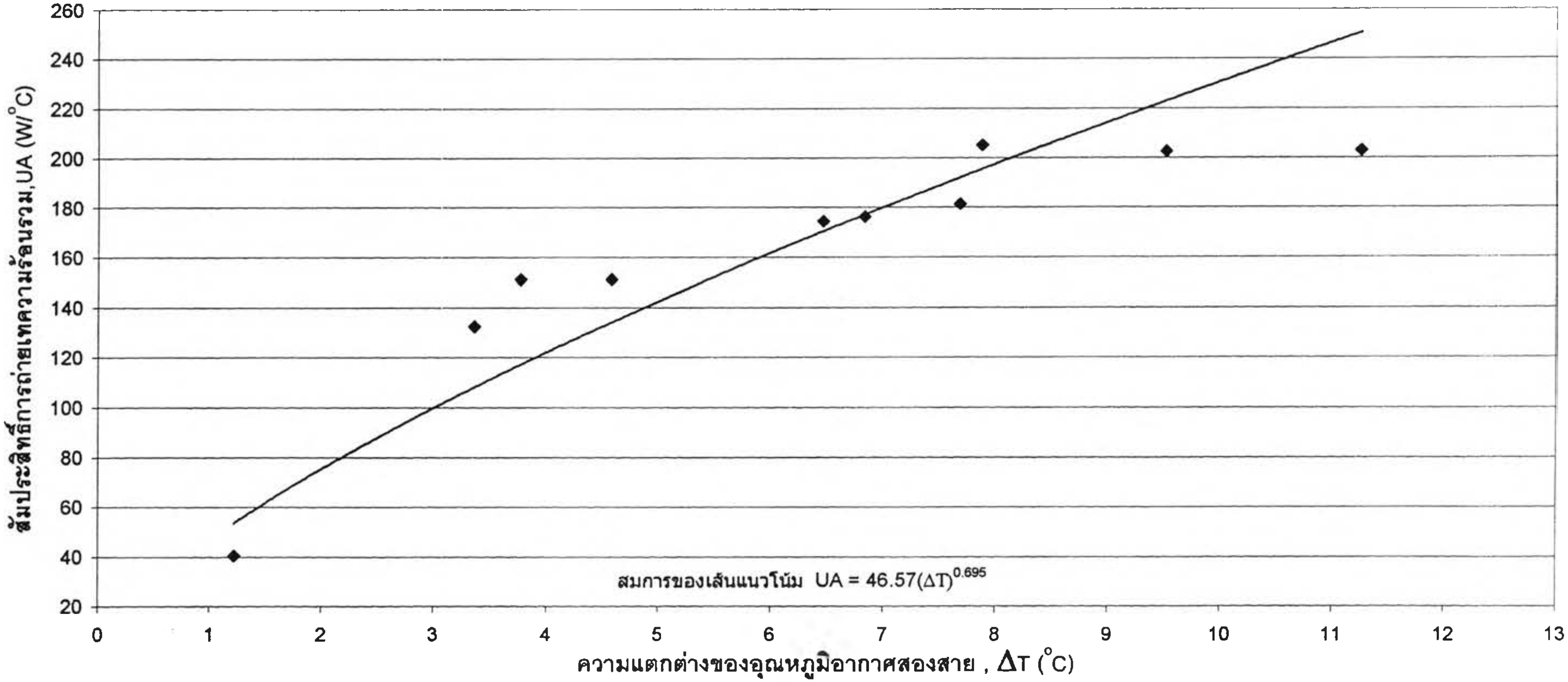
รูปที่ ก.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h = 36,438 (V_h= 1.604 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c = 32,724 (V_c= 1.056 m/s)



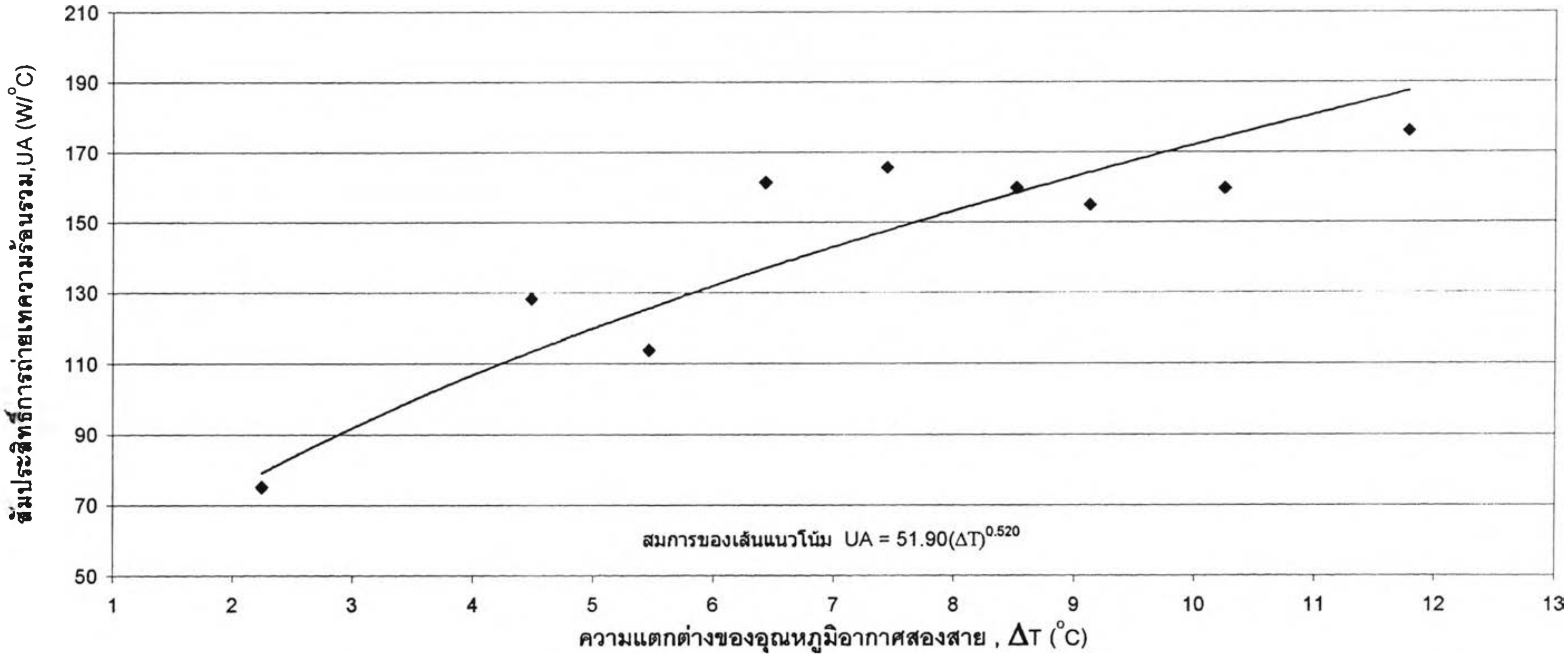
รูปที่ ก.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h =36,438 (V_h= 1.604 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 22,352 (V_c= 0.724 m/s)



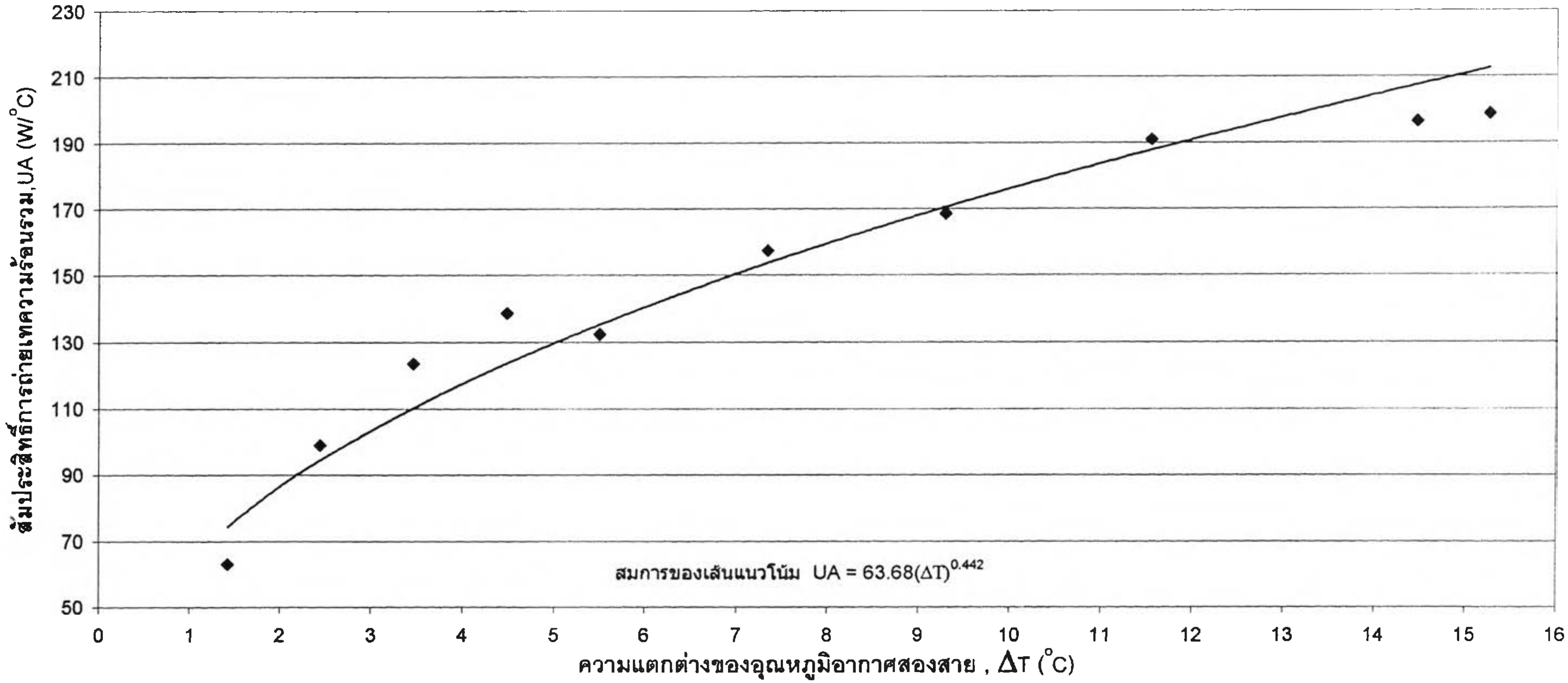
รูปที่ ก.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h =29,638 (V_h= 0.868 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c =58,124 (V_c= m/s)



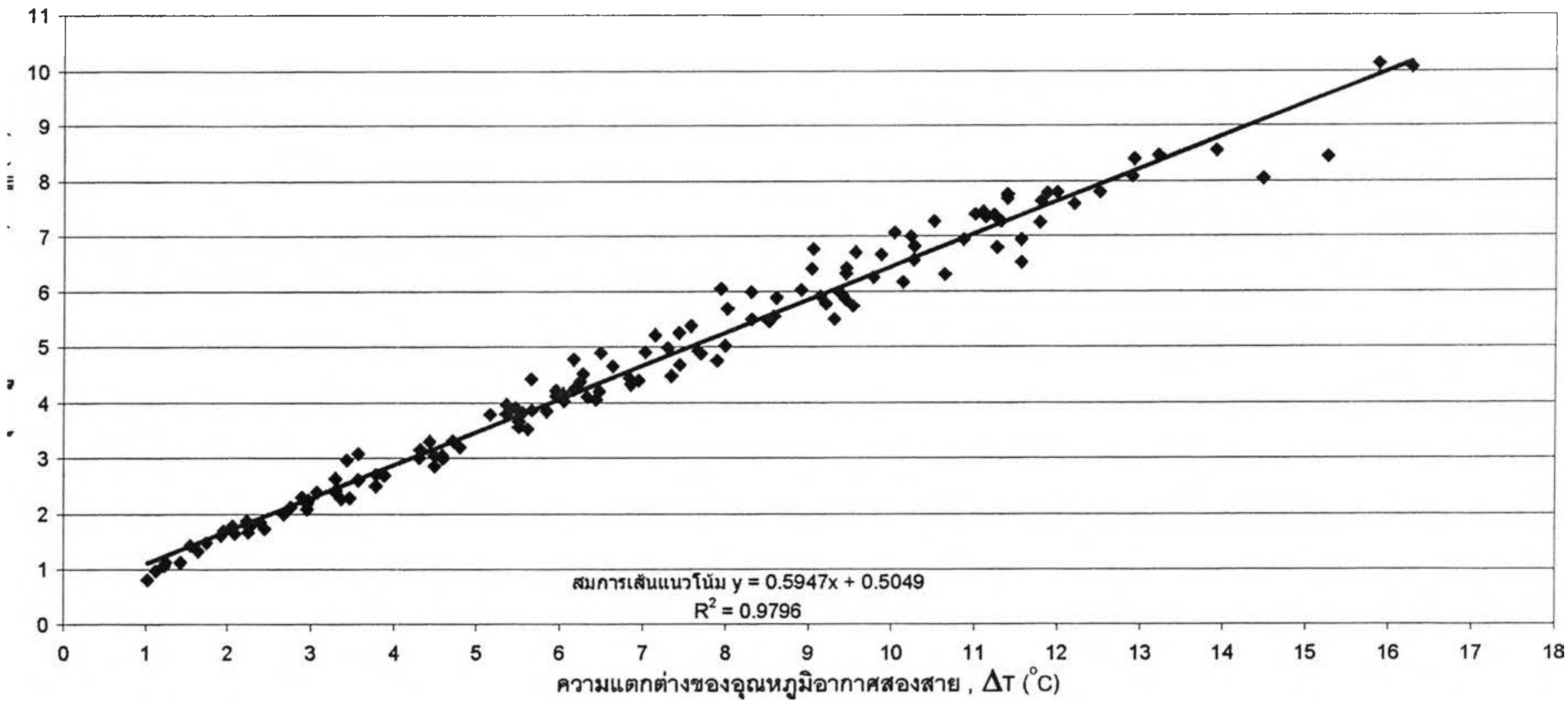
รูปที่ ก.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 29,638 (V_h= 0.868 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 42,975 (V_c=1.384 m/s)



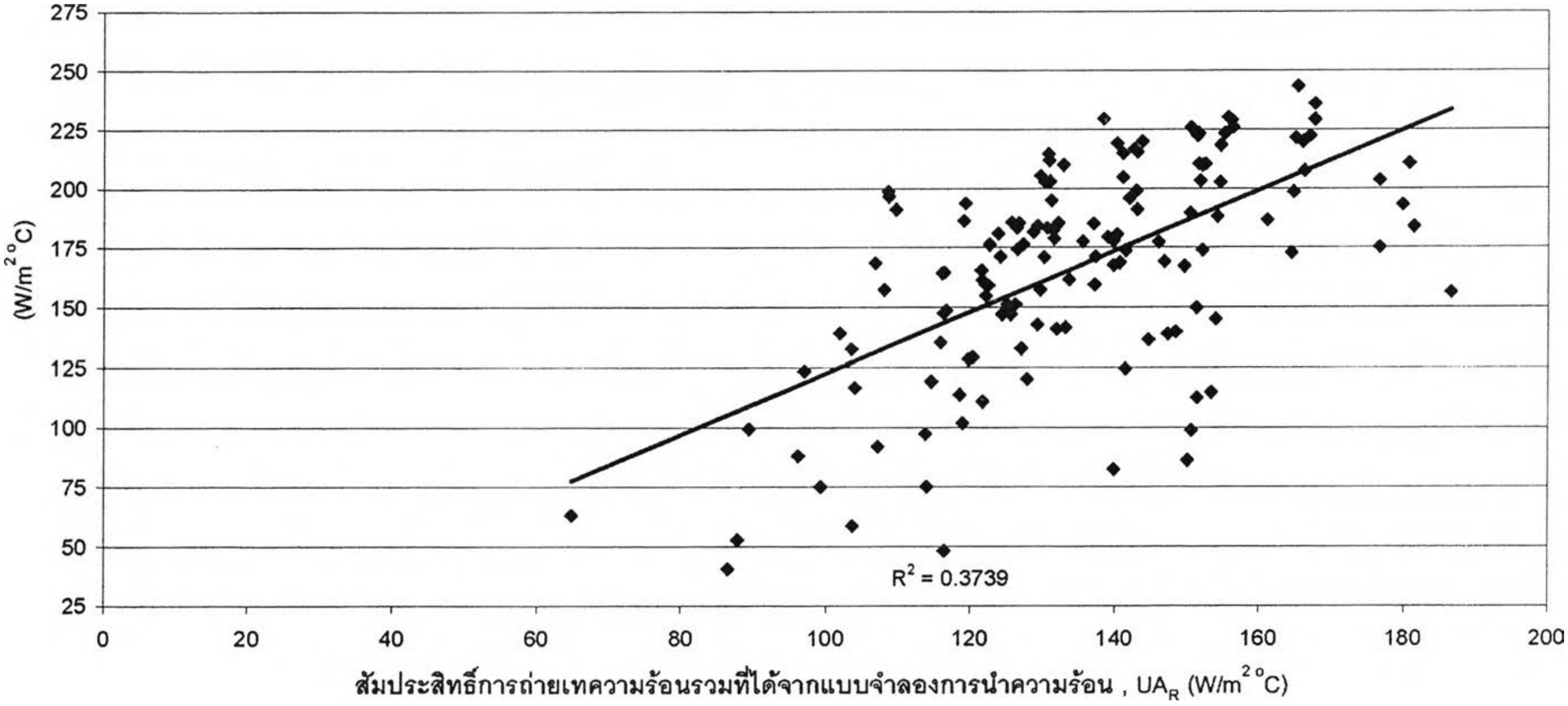
รูปที่ ก.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย,Re_h = 29,638 (V_h= 0.868 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น,Re_c = 32,724 (V_c= 1.056 m/s)



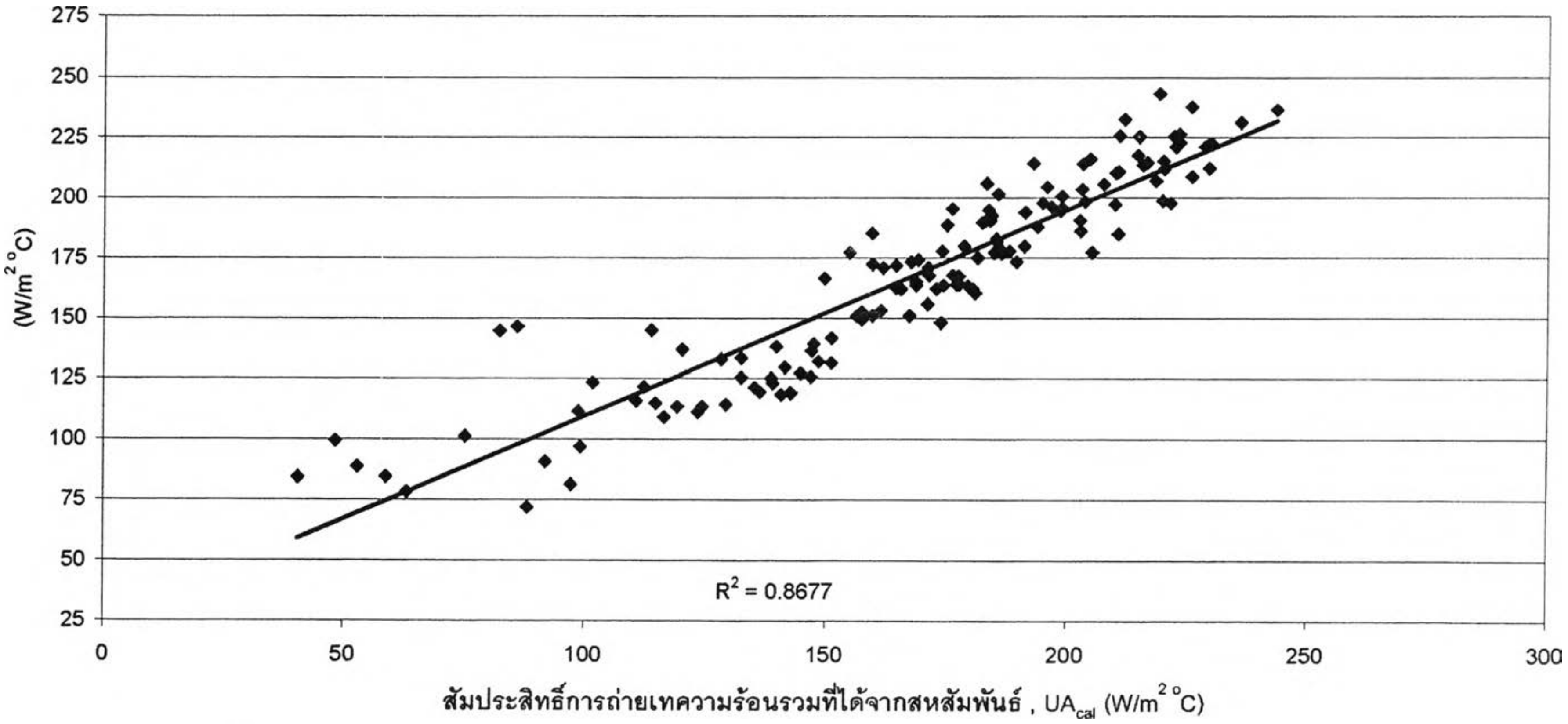
รูปที่ ก.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ระเหย, Re_h =29,638 (V_h= 0.868 m/s) และตัวเลขเรย์โนลด์ด้านคอยล์ควบแน่น, Re_c = 22,352 (V_c= 0.724 m/s)



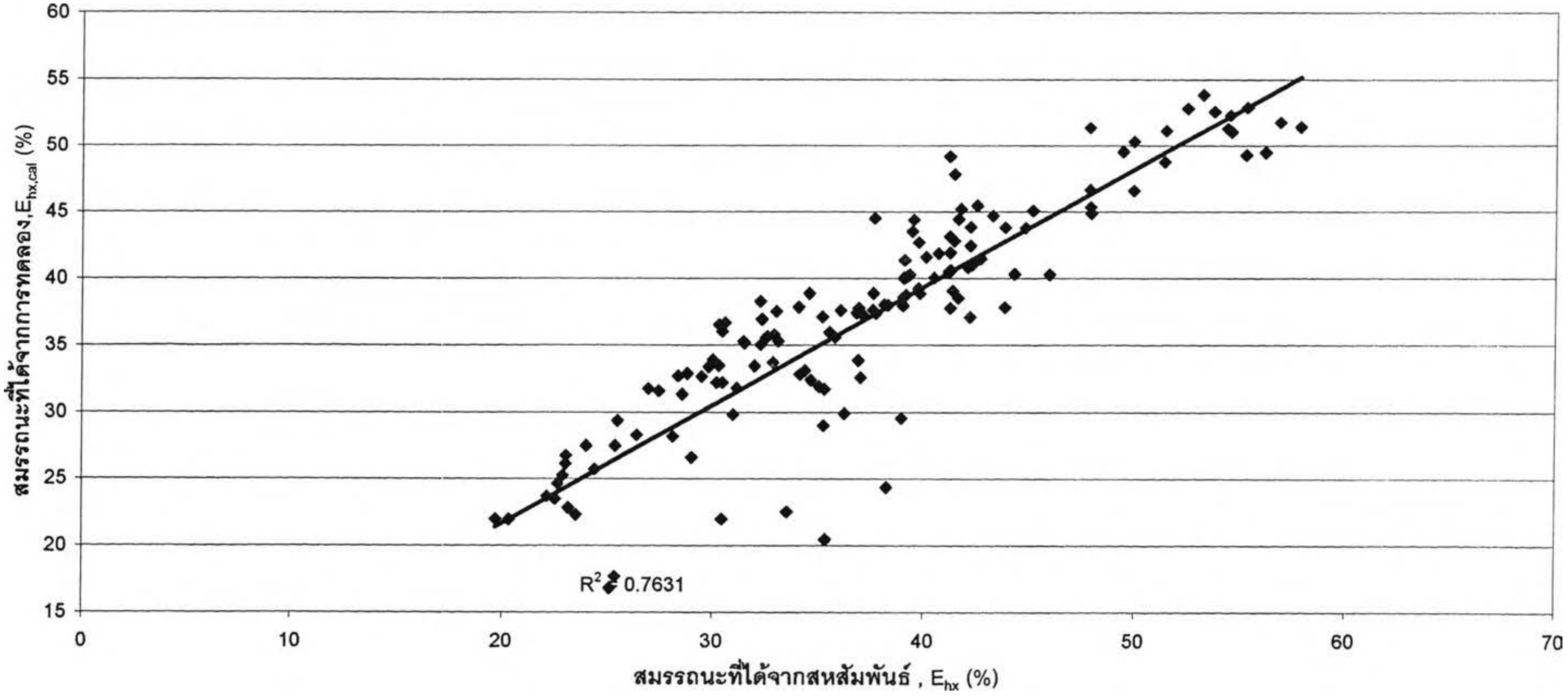
รูปที่ ก.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างของอุณหภูมิเชิงลอกาลิธึมกับค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศสองสาย



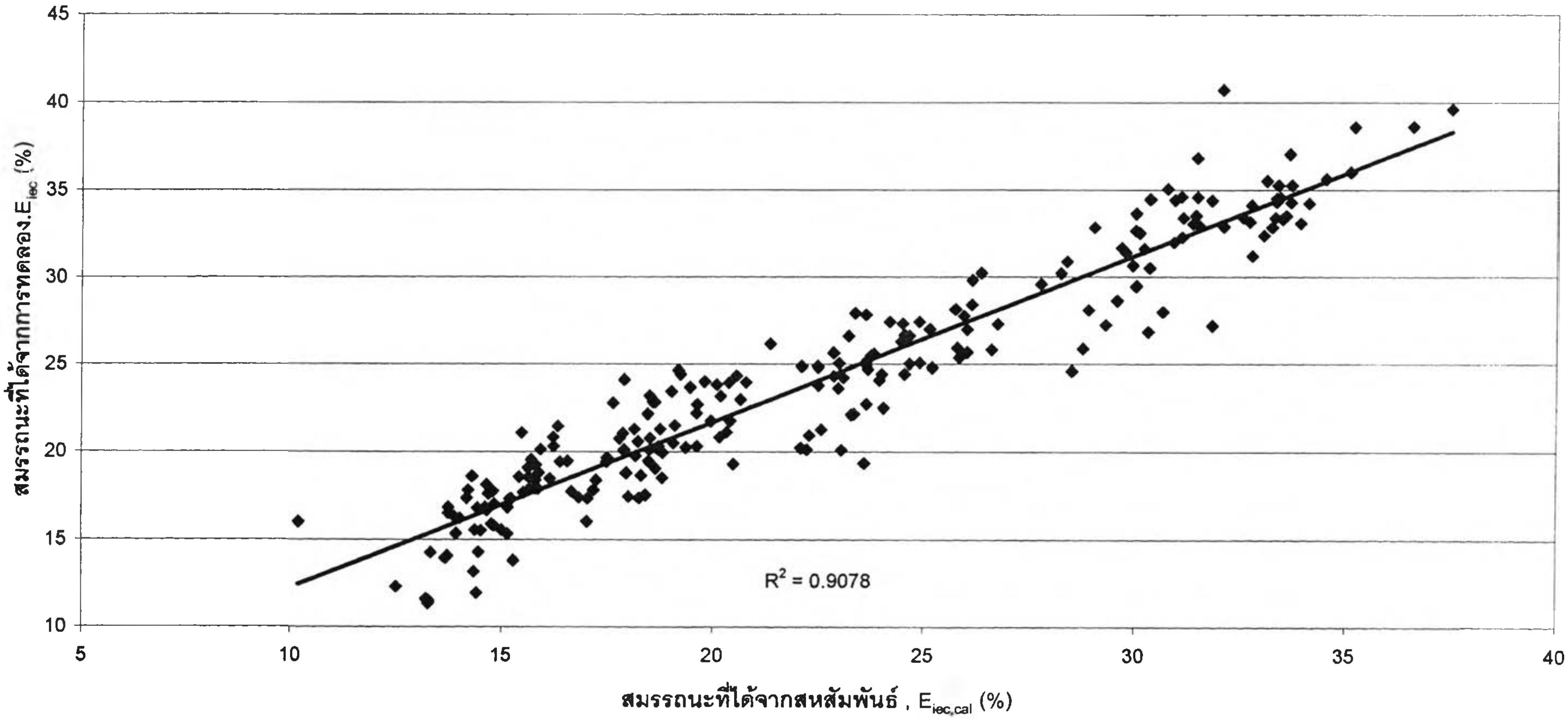
รูปที่ ก.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอุปกรณ์แลกเลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากคำนวณโดยแบบจำลองการนำความร้อน



รูปที่ ก.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมอุปกรณ์แลกเลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์

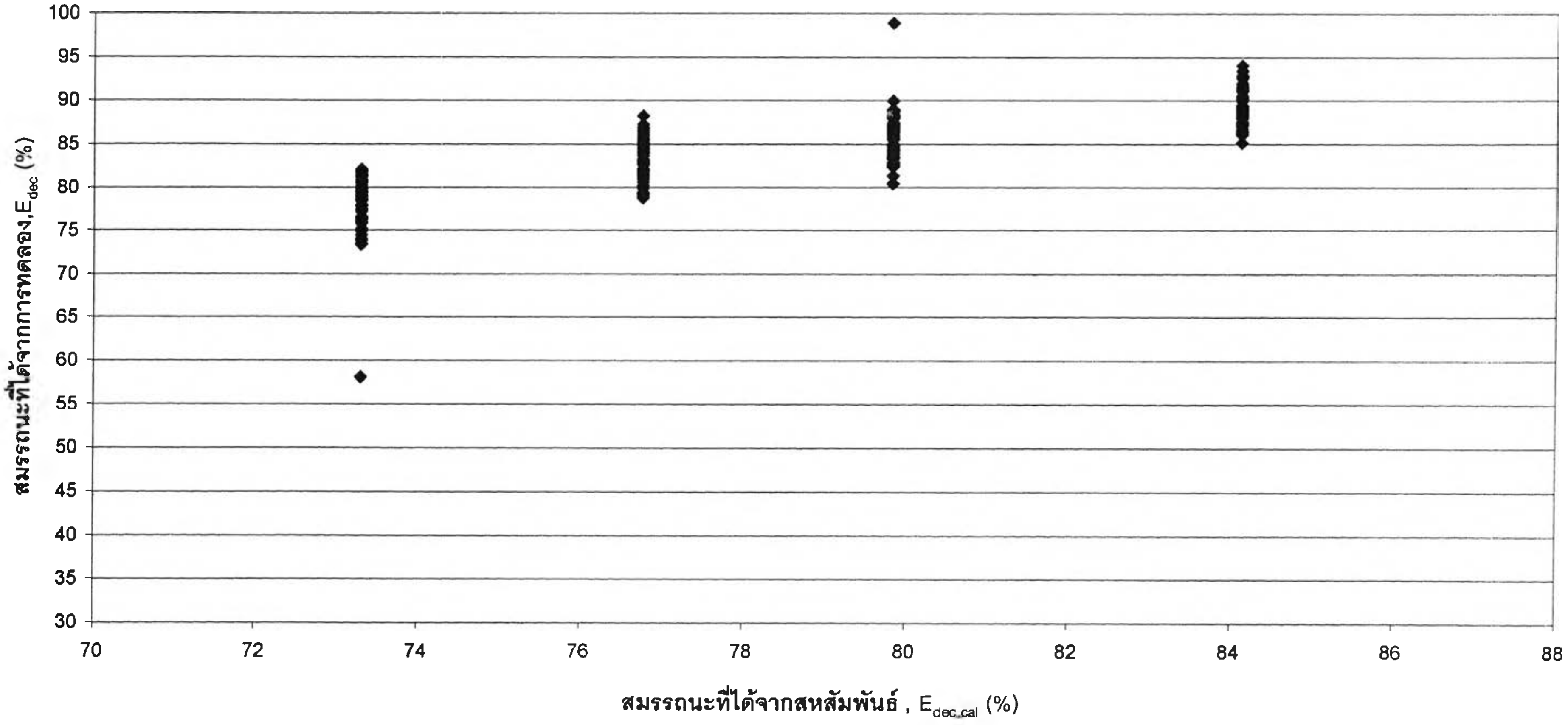


รูปที่ ก.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์

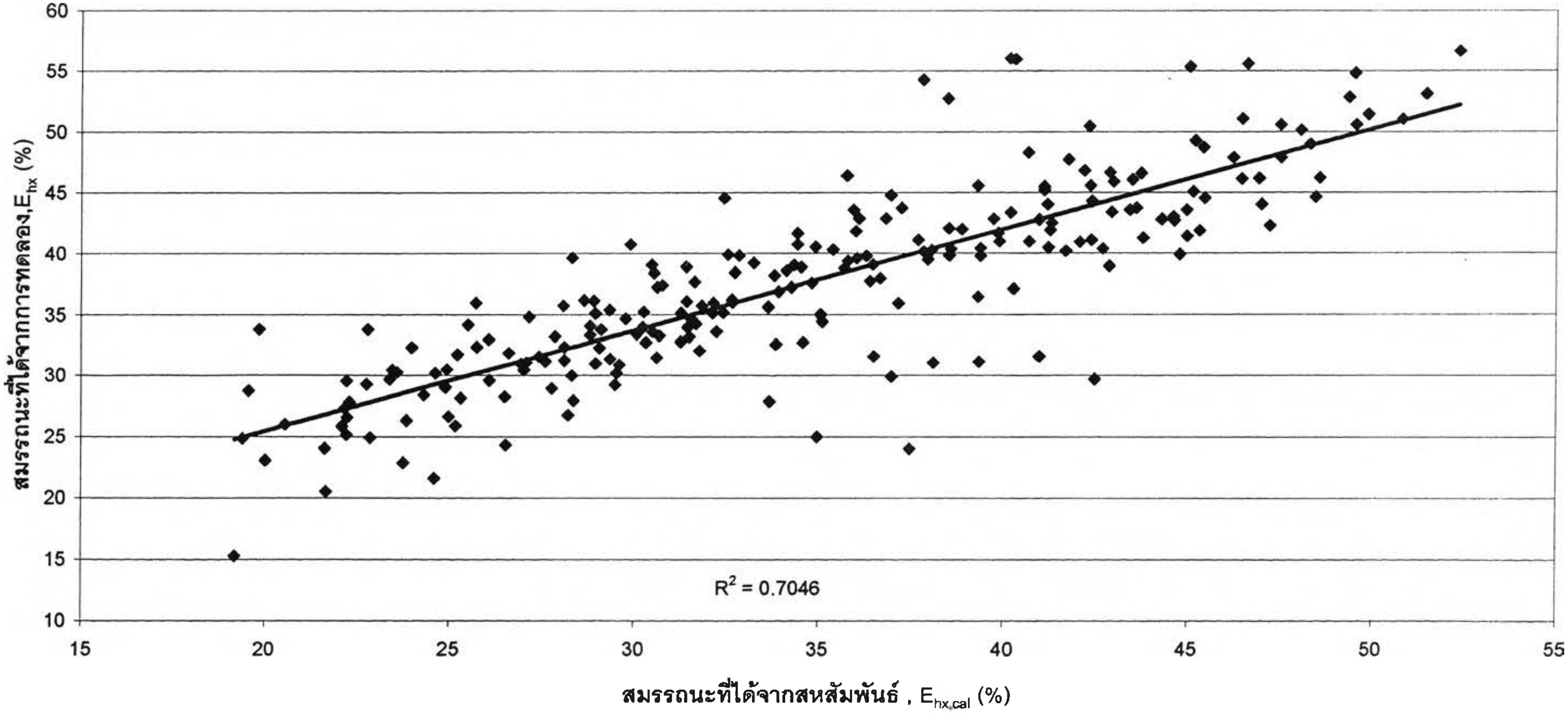


รูปที่ ก.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

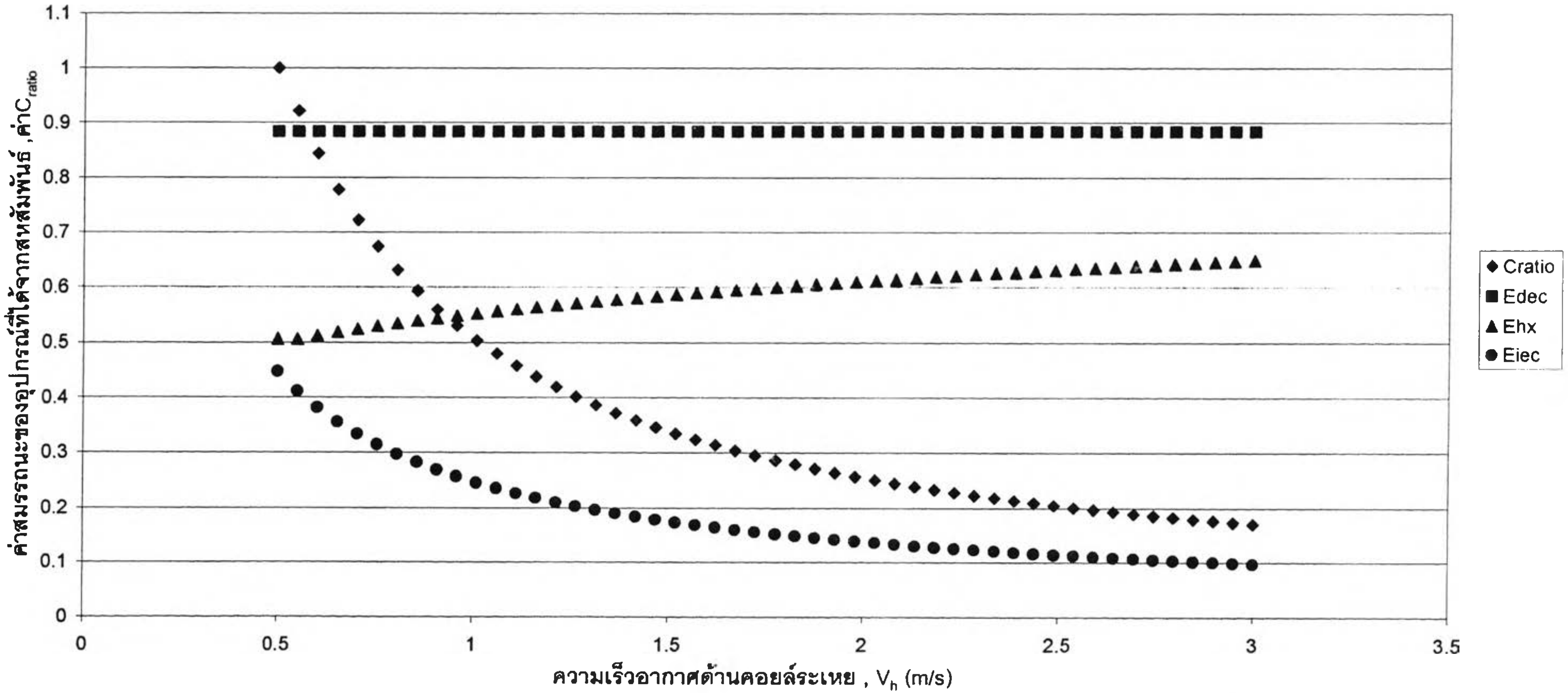
ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์



รูปที่ ก.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ (ค่าจากผลการทดลองอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม)

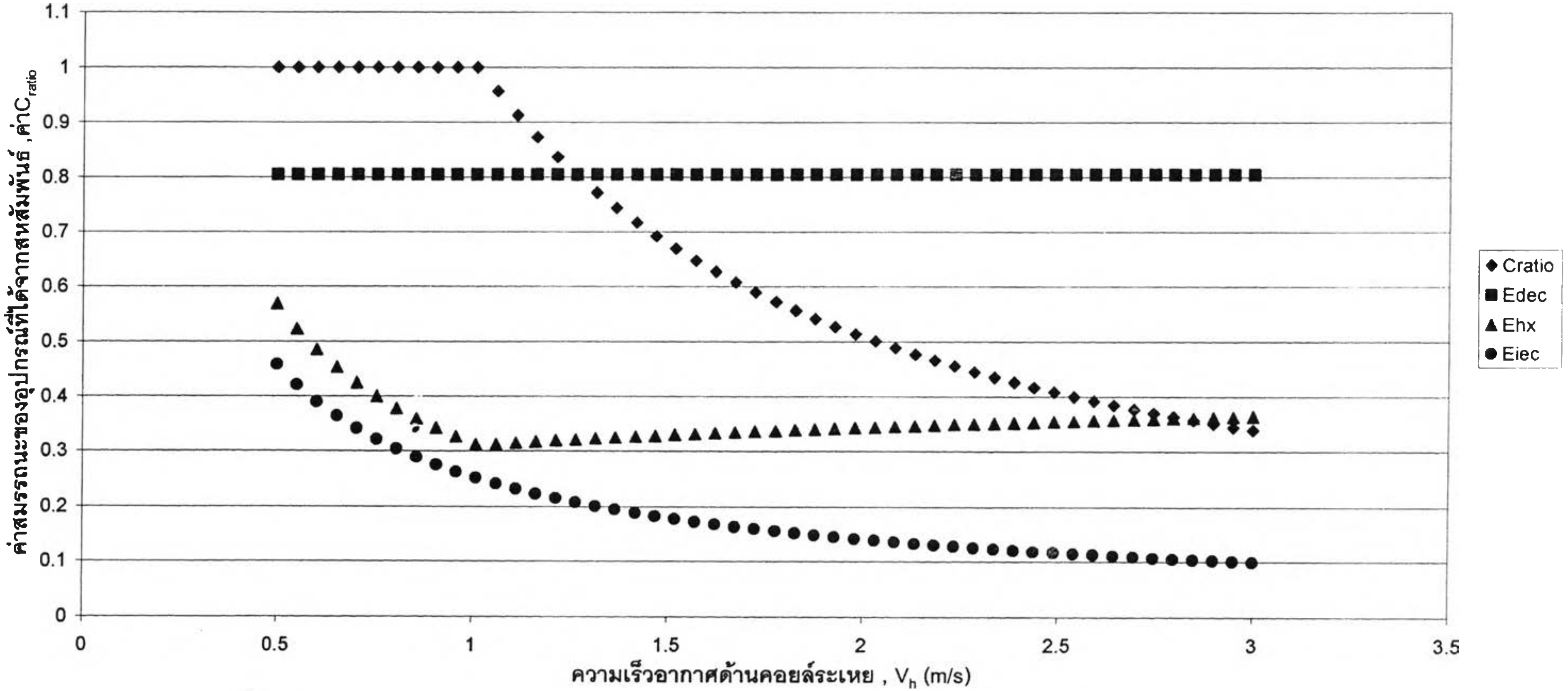


รูปที่ ก.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ (ค่าจากผลการทดลองอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม)



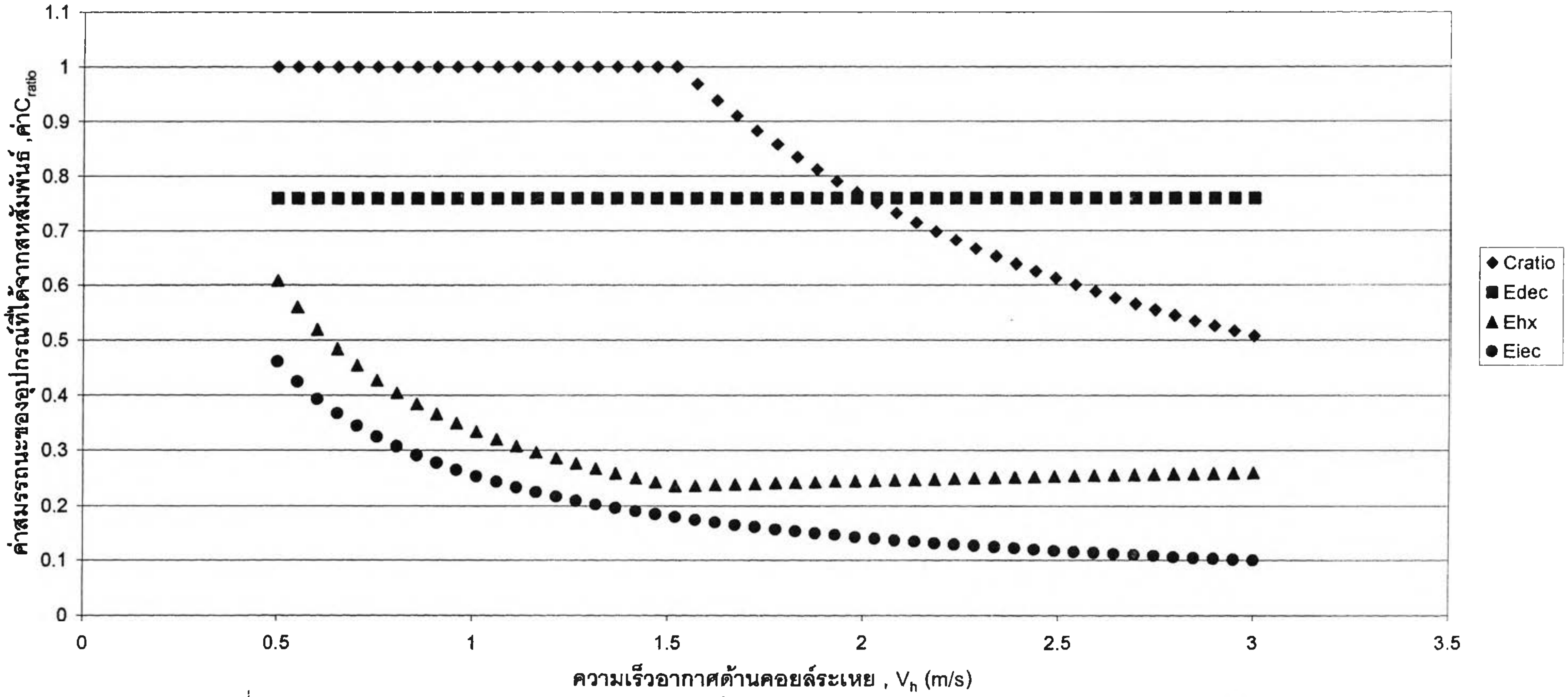
รูปที่ ก.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่เท่ากับ 0.5 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



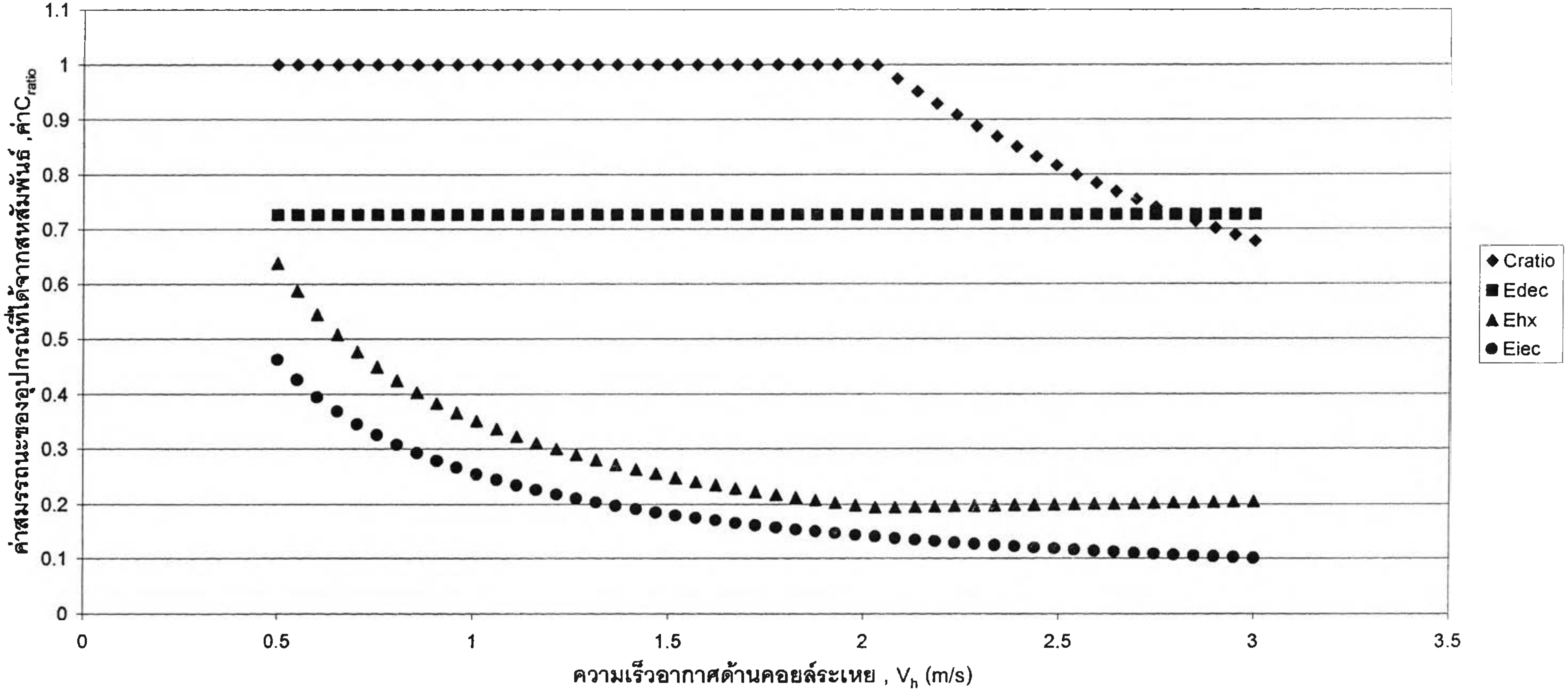
รูปที่ ก.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่เท่ากับ 1 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



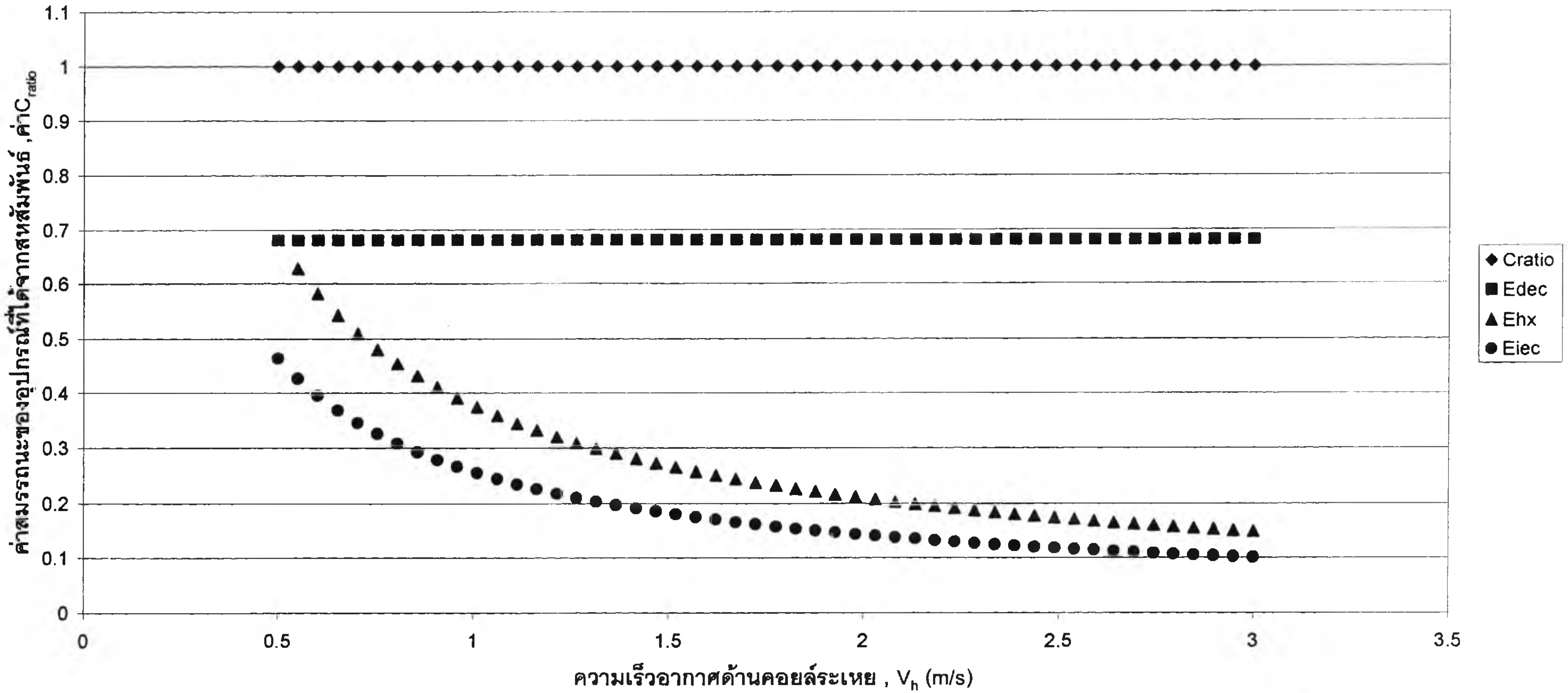
รูปที่ ก.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่า$C_{ratio,}$(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่เท่ากับ 1.5 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



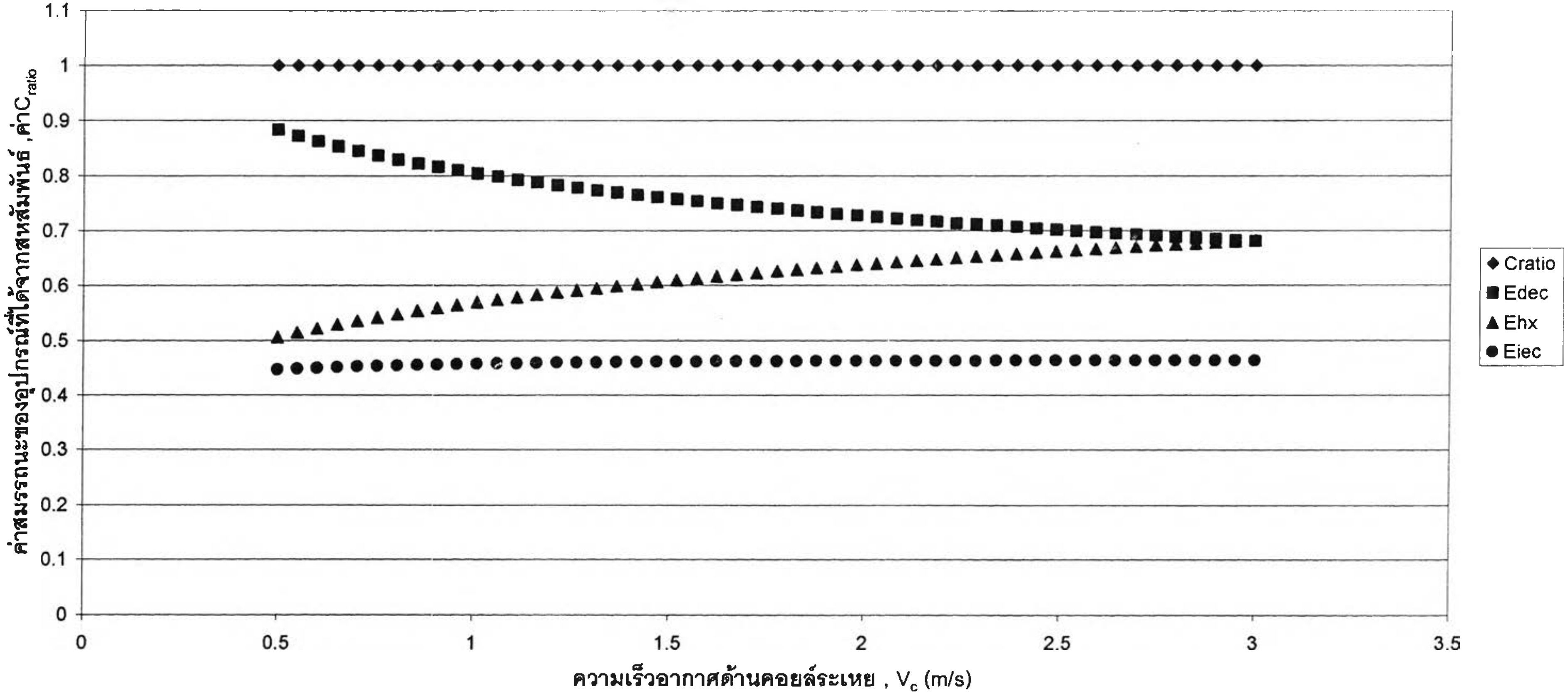
รูปที่ ก.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่เท่ากับ 2 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 ^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



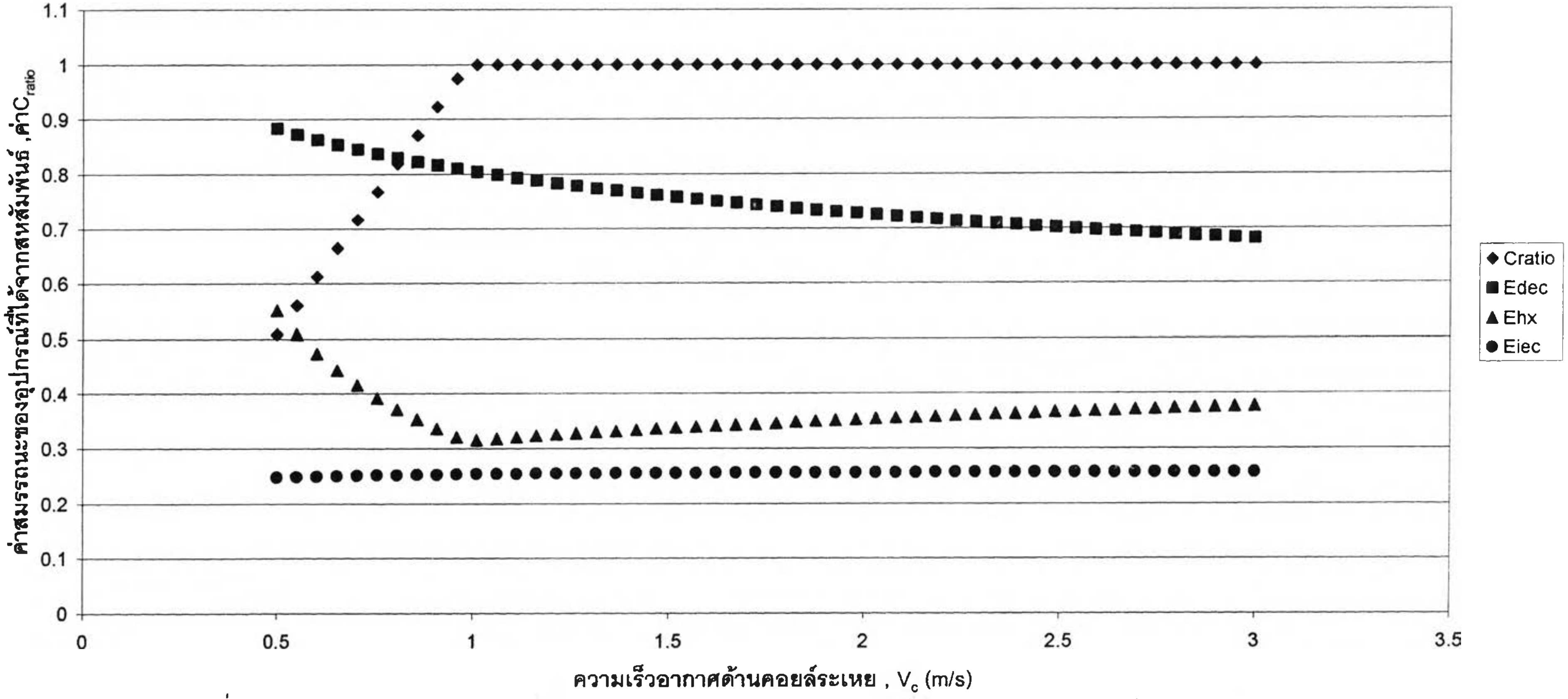
รูปที่ ก.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่า$C_{ratio,}$(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่เท่ากับ 3 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



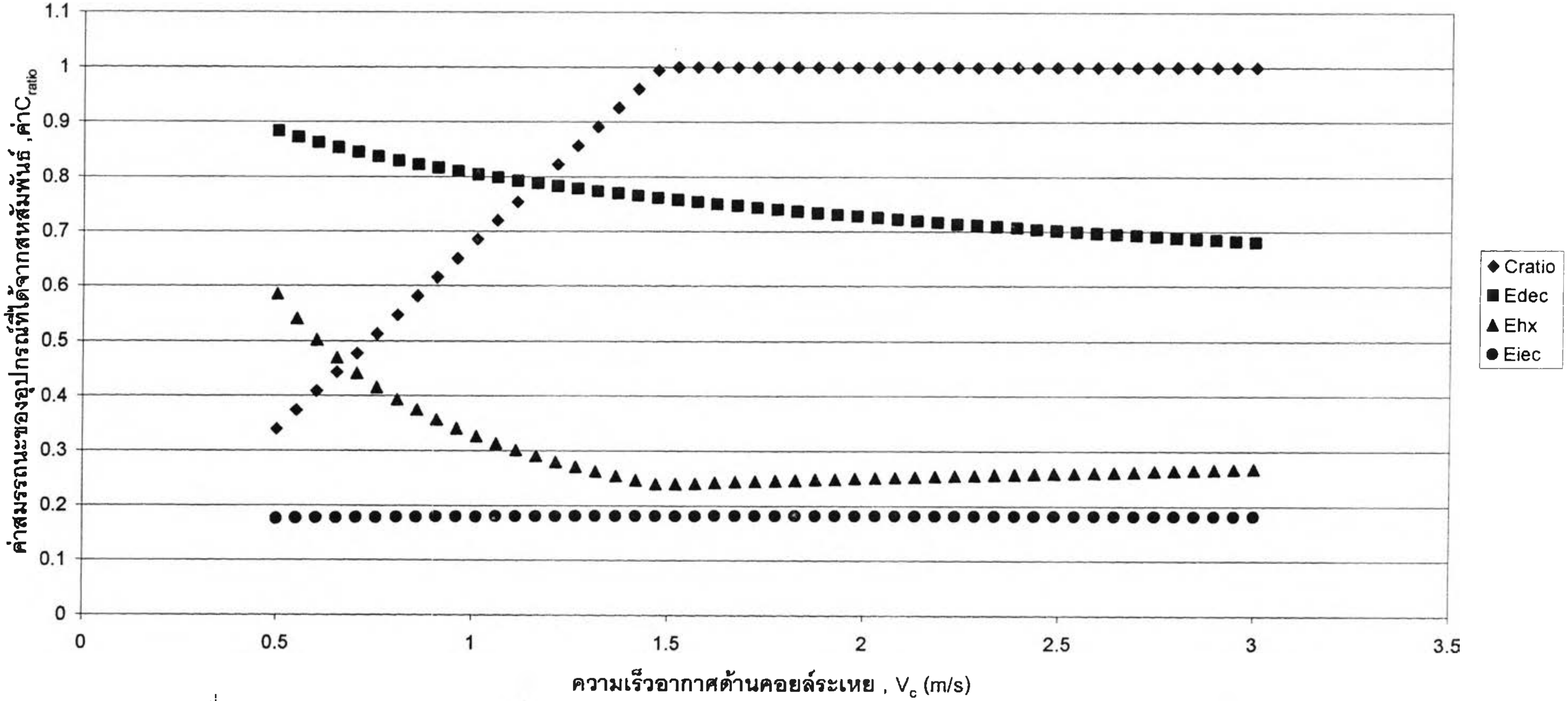
รูปที่ ก.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่น,(V_c)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหยคงที่เท่ากับ 0.5 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



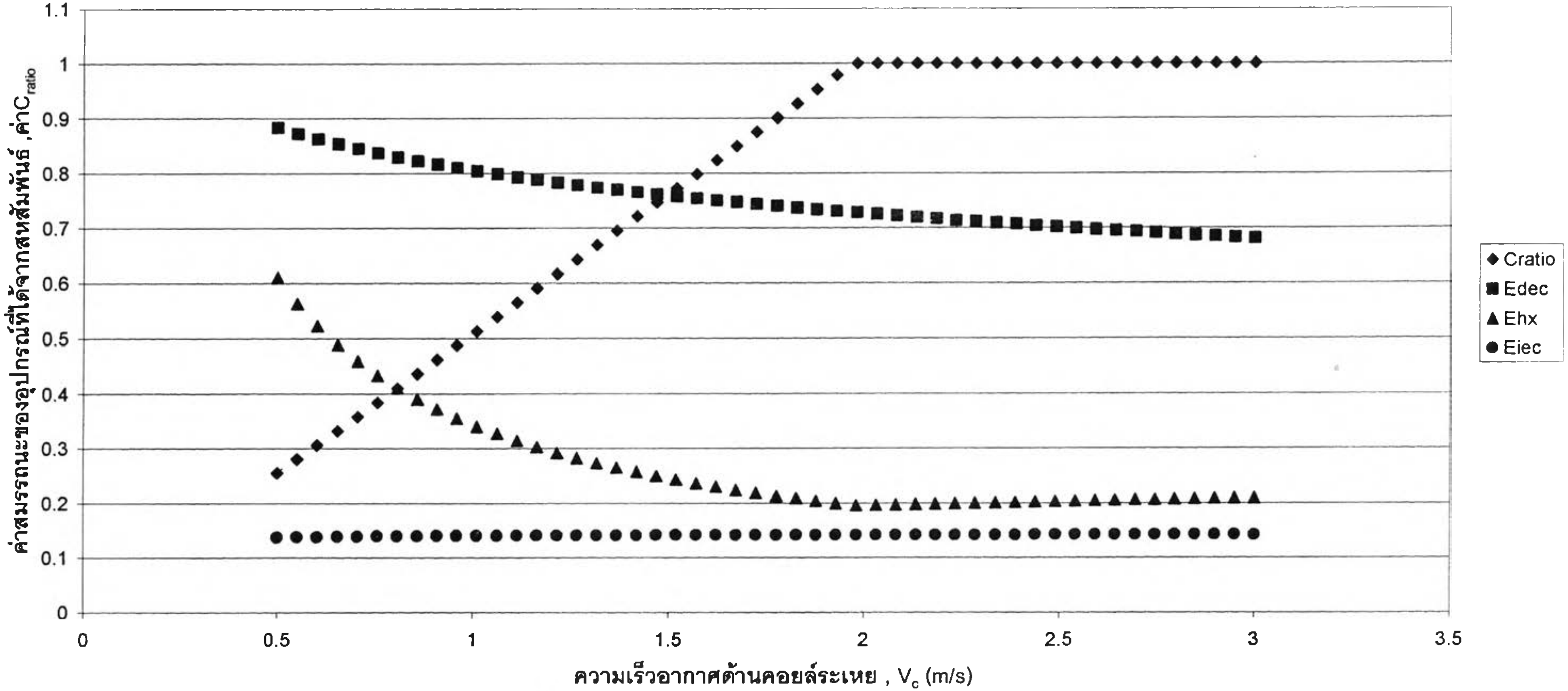
รูปที่ ก.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่น,(V_c)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่า$C_{ratio,}$(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหยคงที่เท่ากับ 1 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



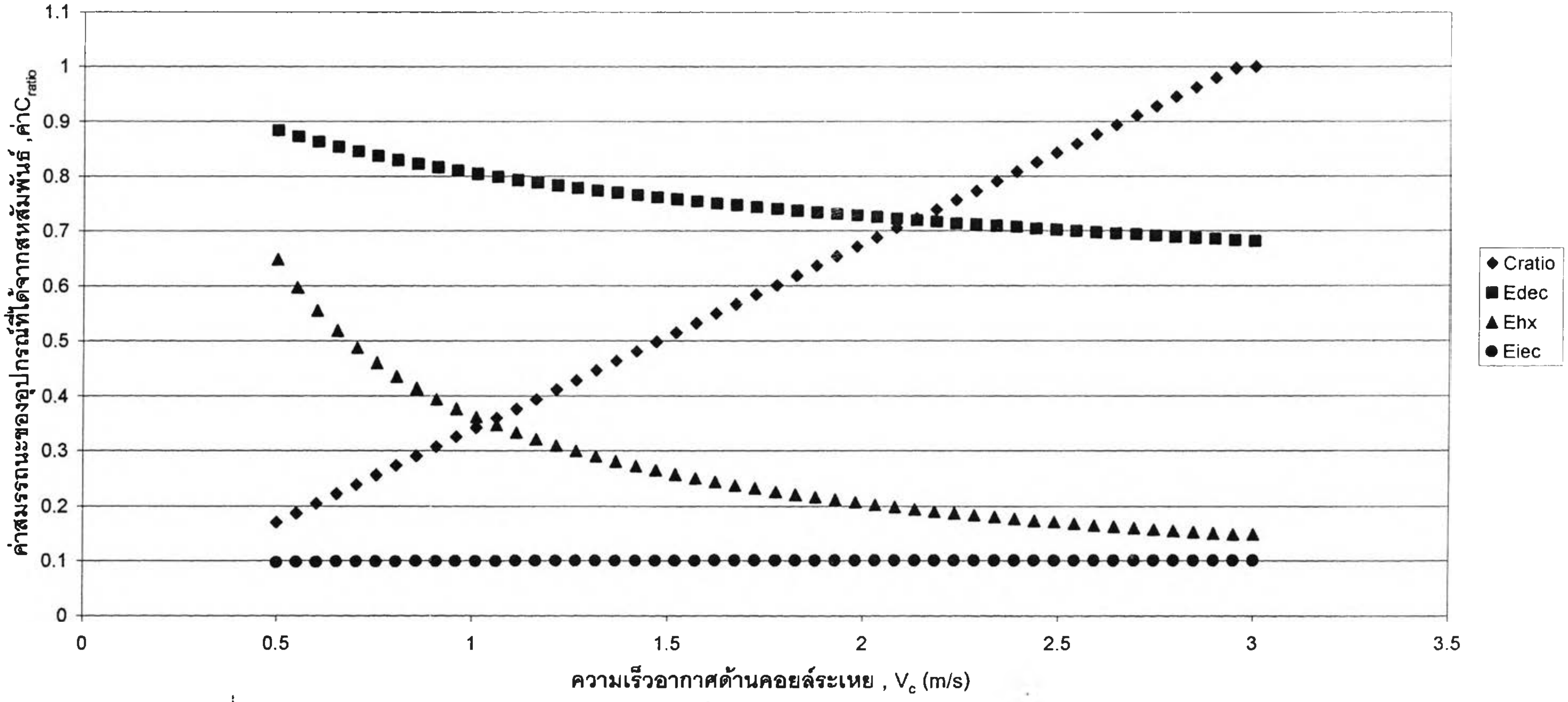
รูปที่ ก.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่น,(V_c)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหยคงที่เท่ากับ 1.5 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



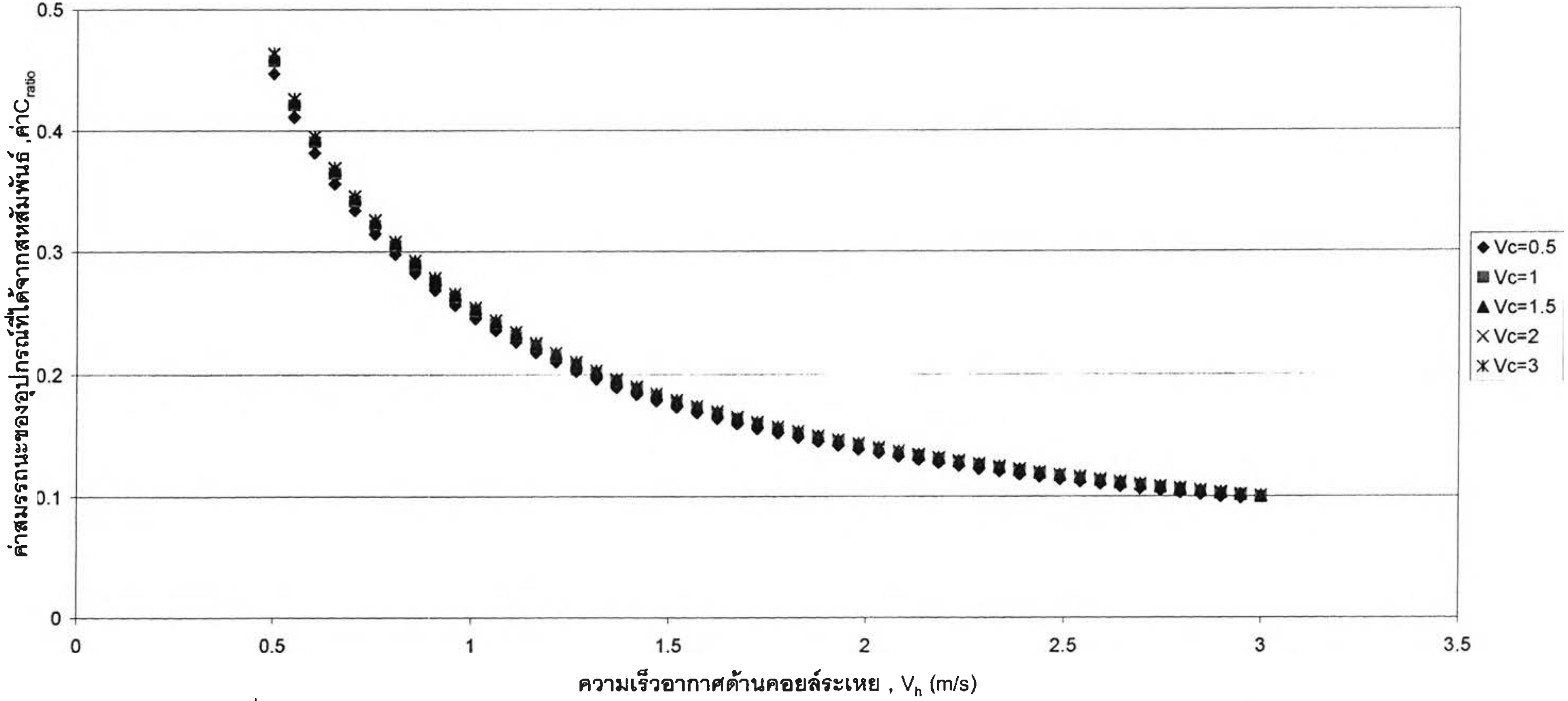
รูปที่ ก.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่น,(V_c)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่า$C_{ratio,}$(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหยคงที่เท่ากับ 2 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



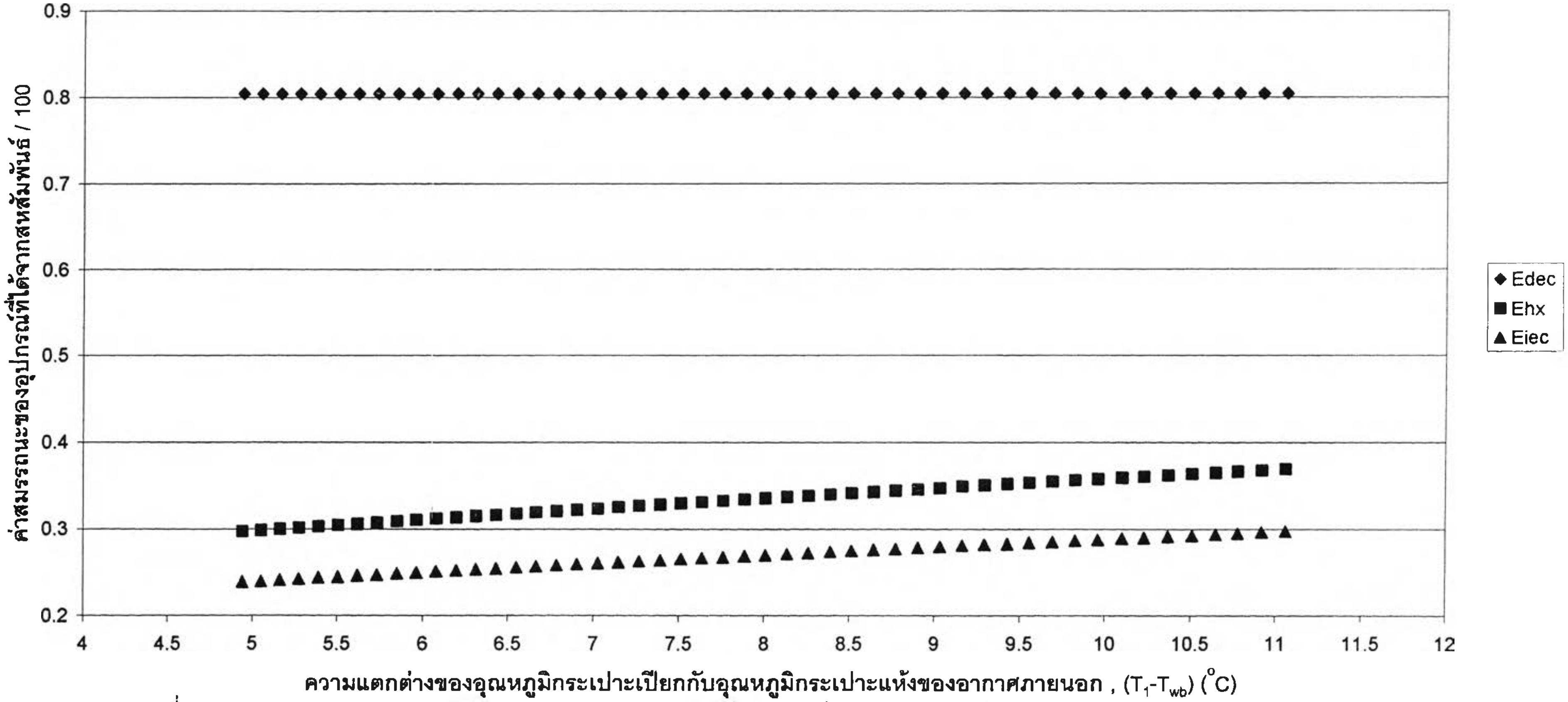
รูปที่ ก.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่น,(V_c)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหยคงที่เท่ากับ 3 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



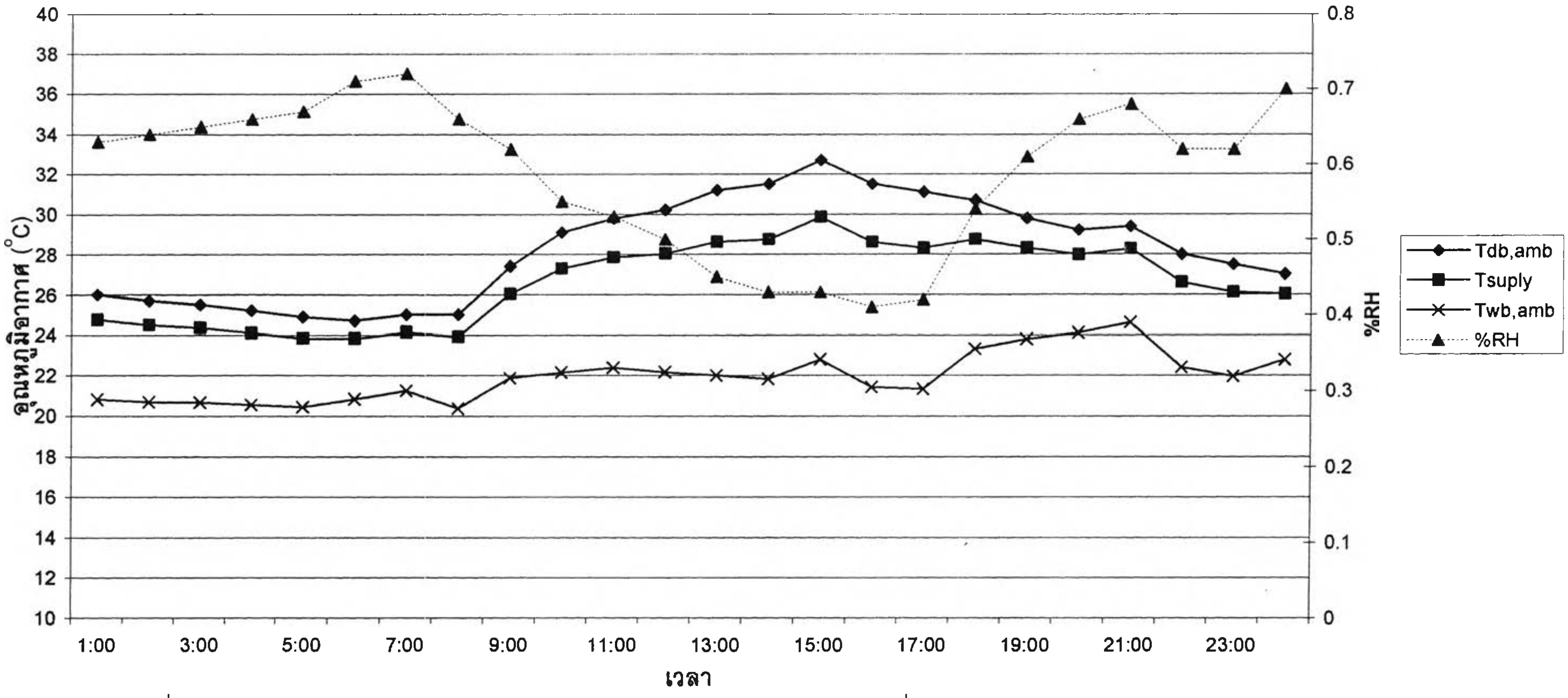
รูปที่ ก.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศด้านคอยล์ระเหย,(V_h)กับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์และค่าC_{ratio},(C_{min}/C_h)

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นคงที่ 0.5-3 m/s และอุณหภูมิอากาศภายนอก 32 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์ 60 %RH



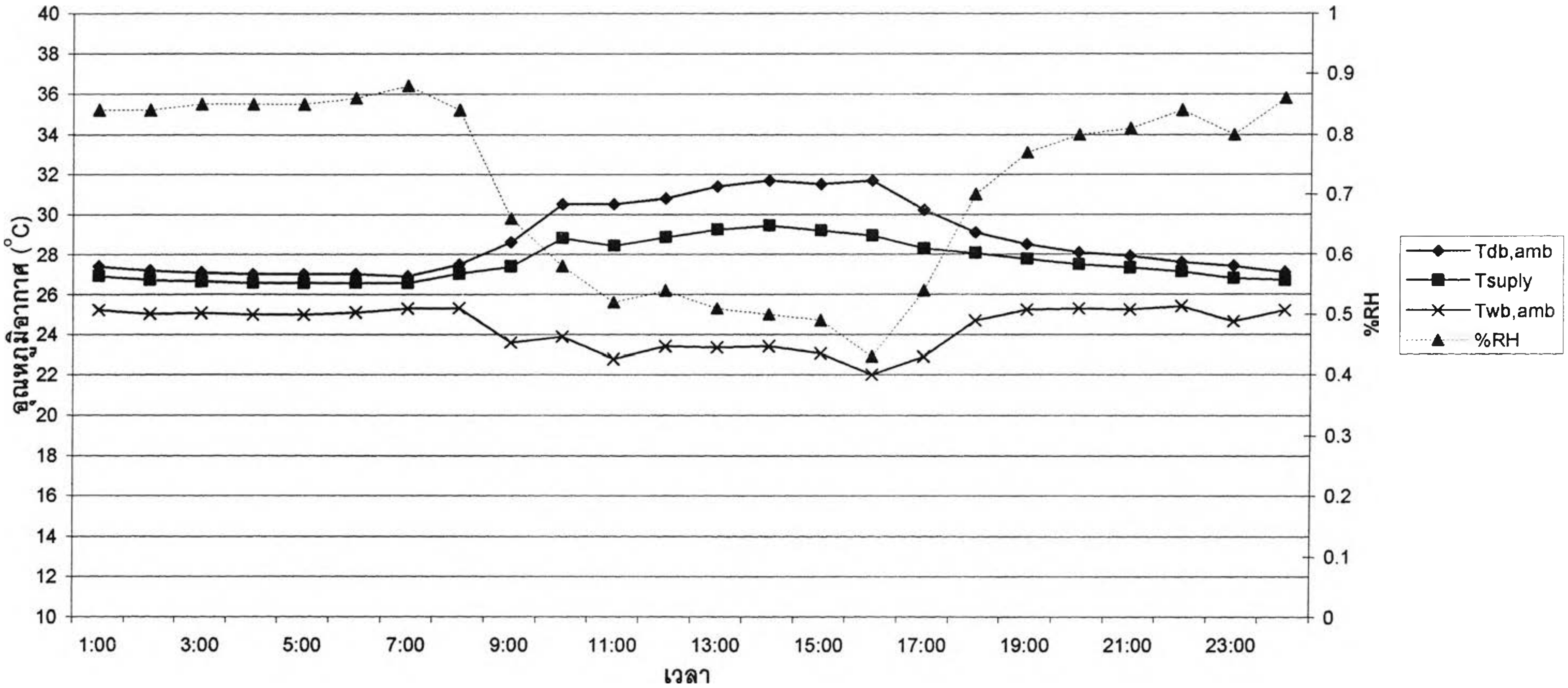
รูปที่ ก.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกกับค่าสมรรถนะของอุปกรณ์

ที่ค่าความเร็วอากาศด้านคอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหยเท่ากับ 1 m/s

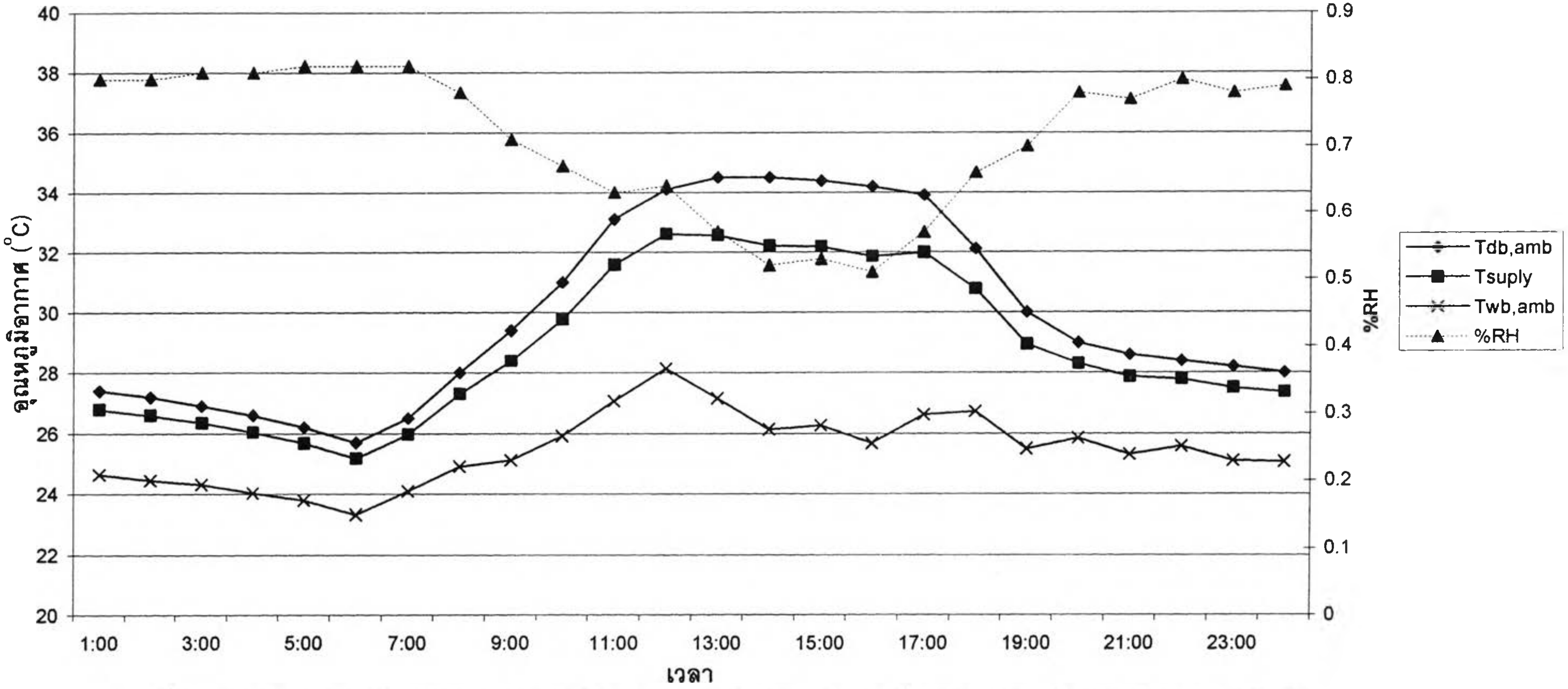


รูปที่ ก.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

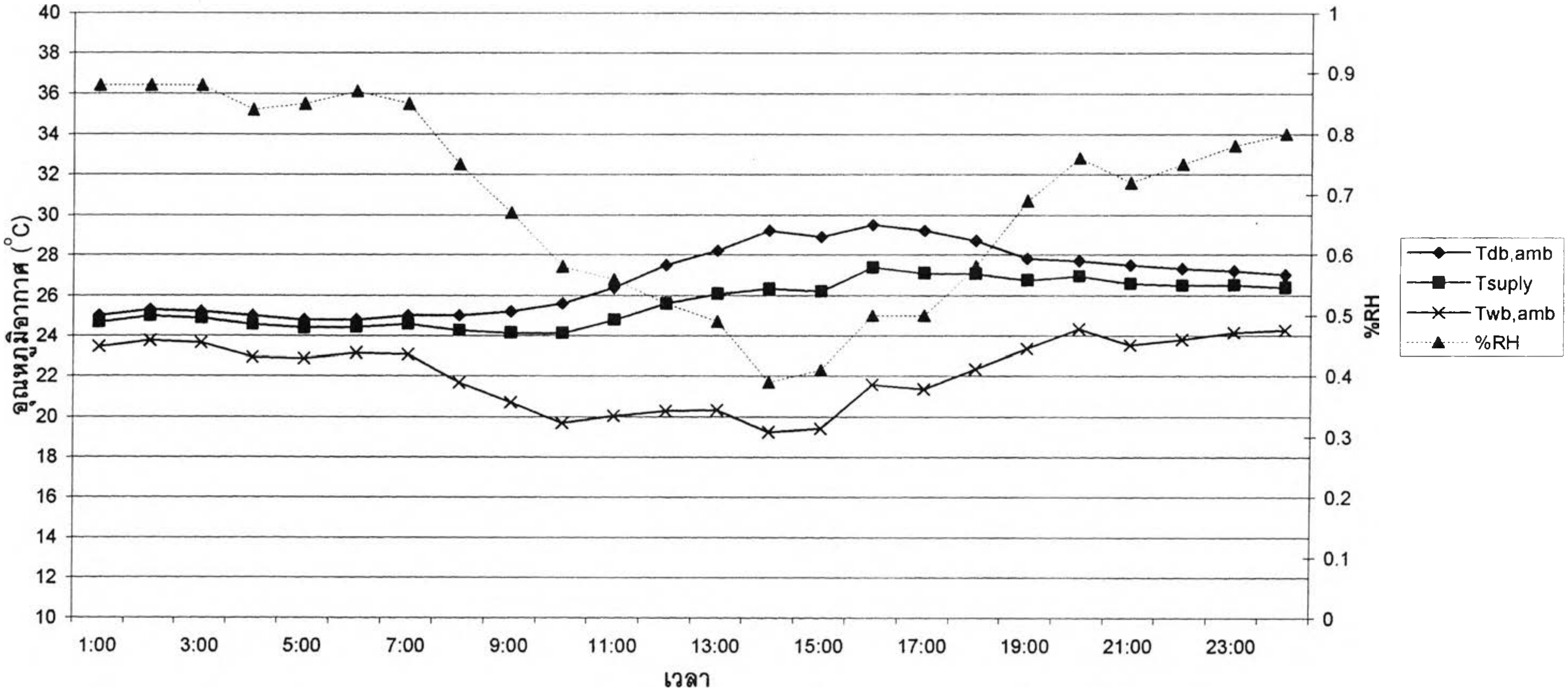
โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน มกราคม 2542



รูปที่ ก.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน กุมภาพันธ์ 2542

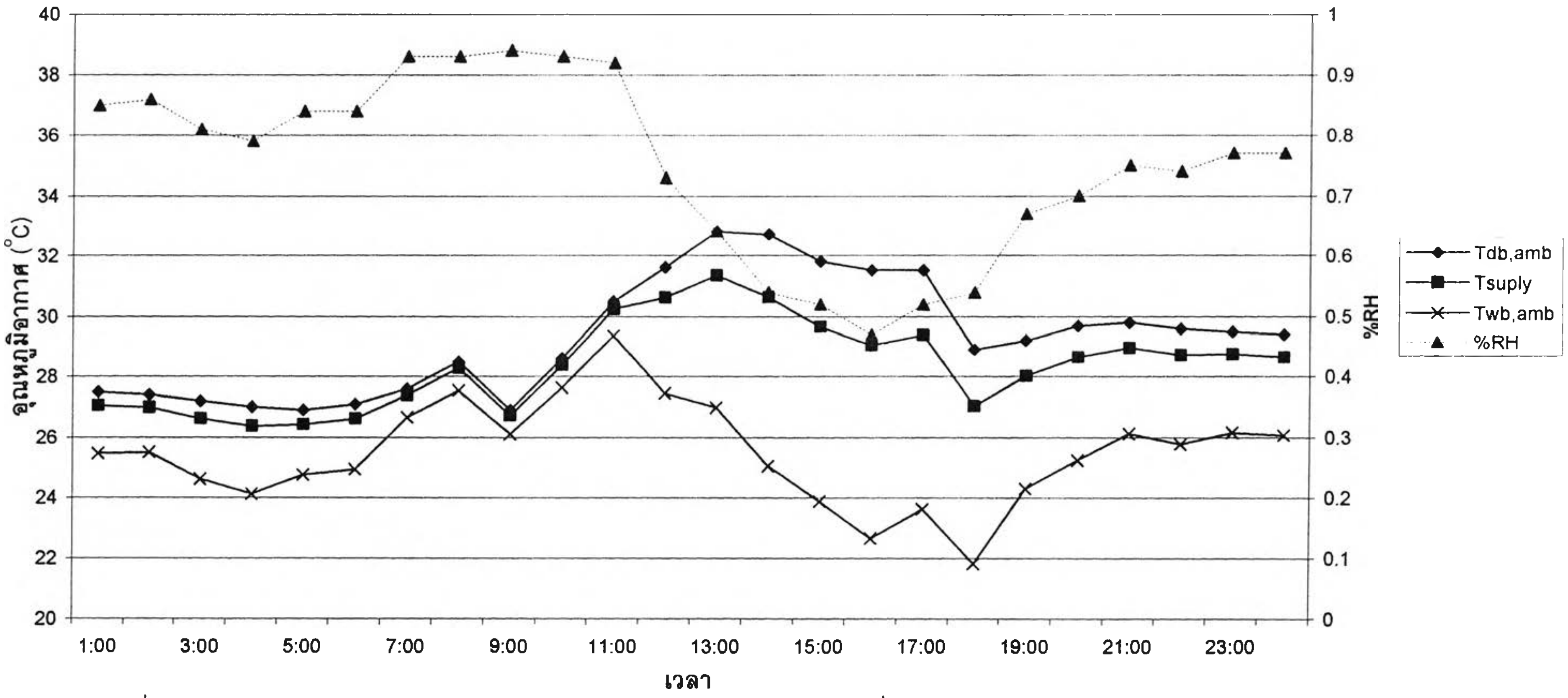


รูปที่ ก.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน มีนาคม 2542



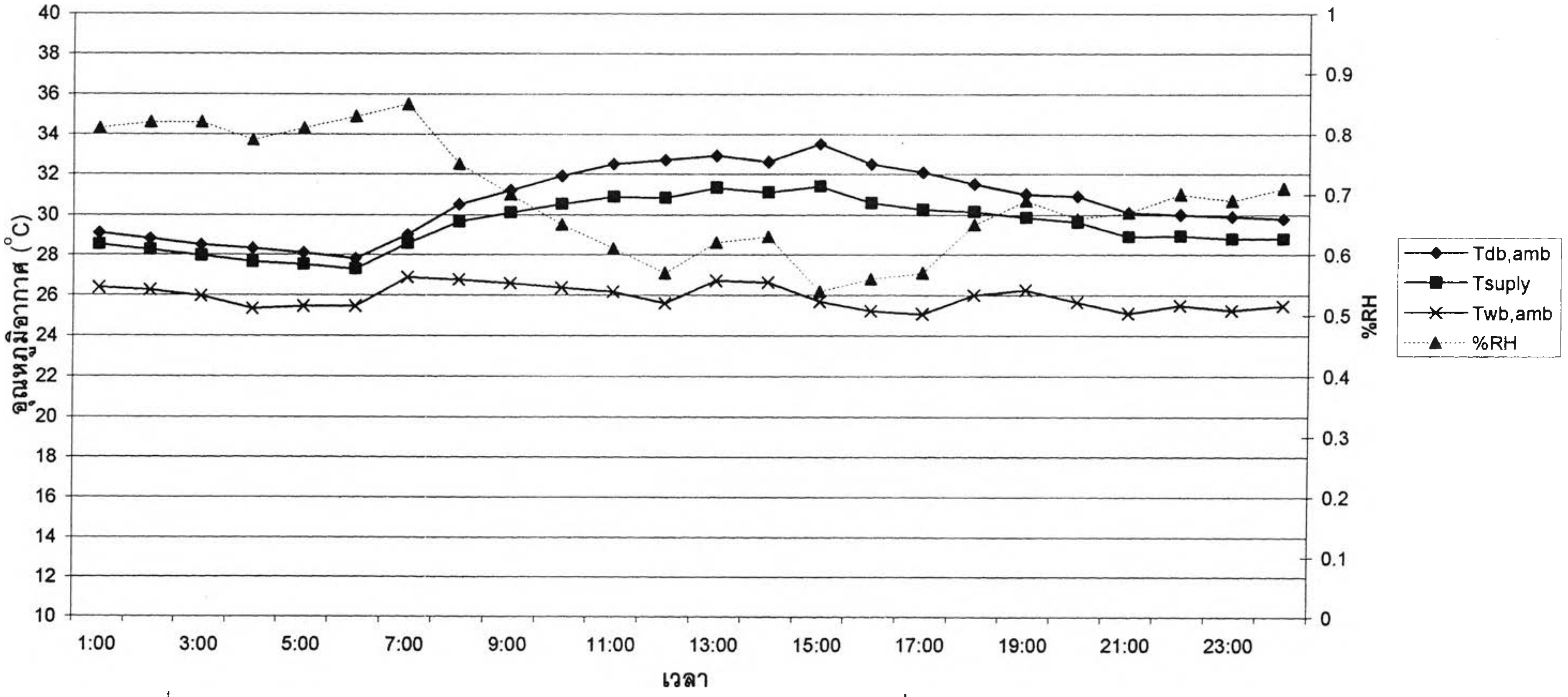
รูปที่ ก.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน เมษายน 2542

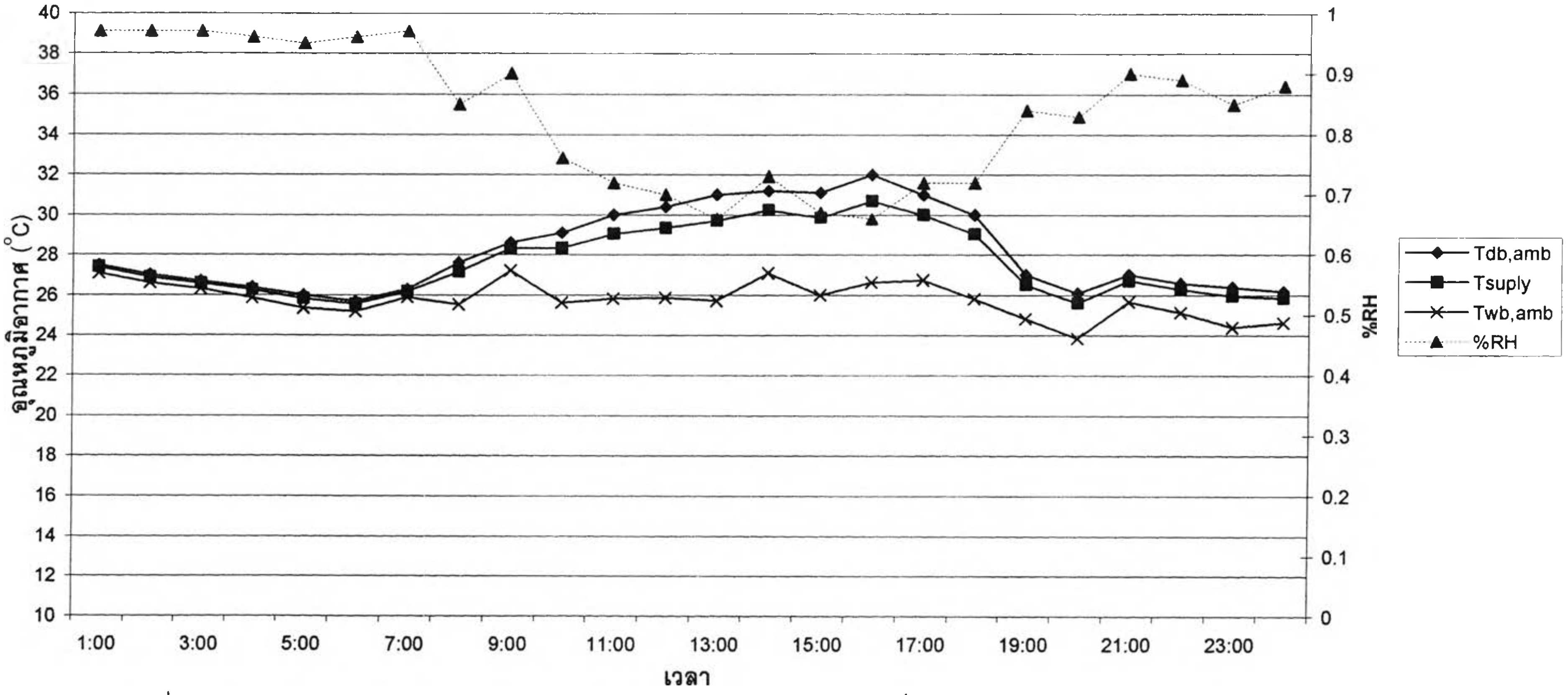


รูปที่ ก.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

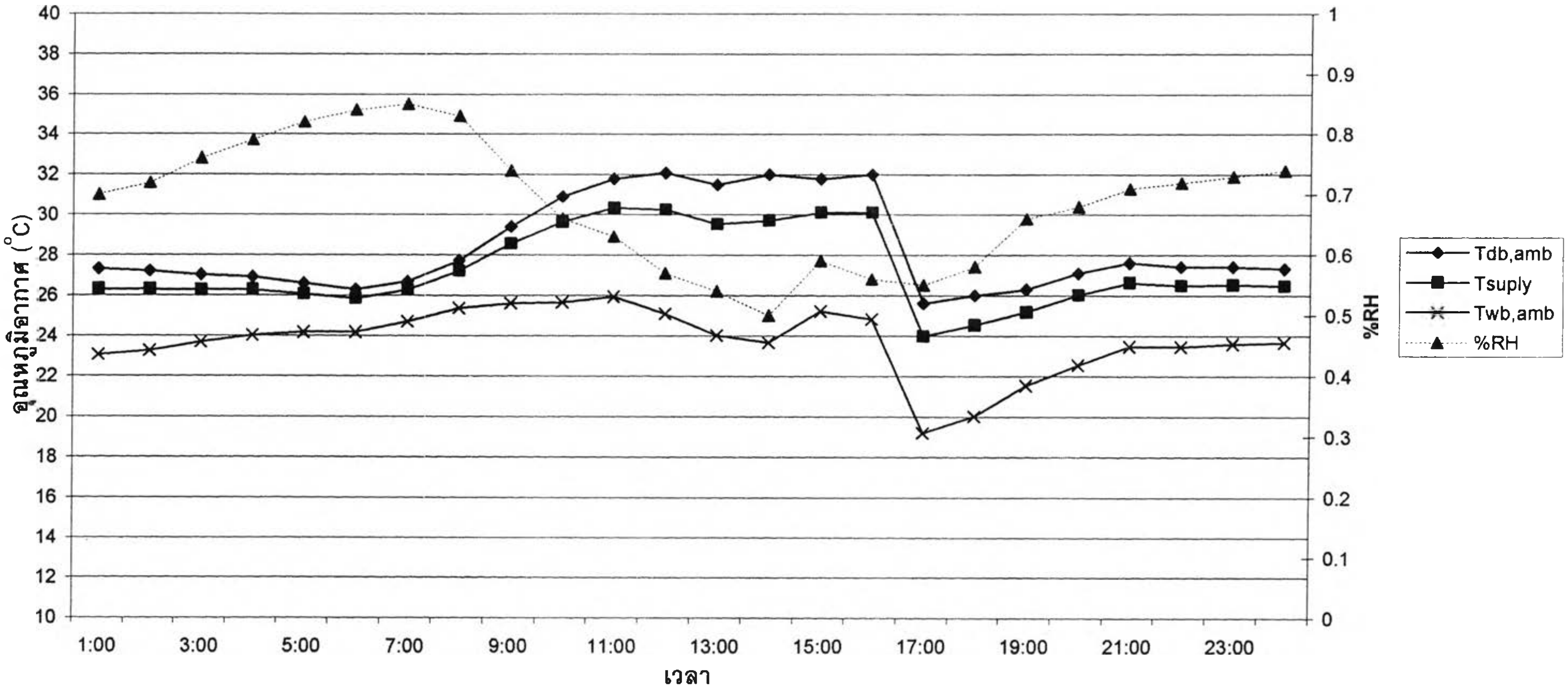
โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน พฤษภาคม 2542



รูปที่ ก.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน มิถุนายน 2542

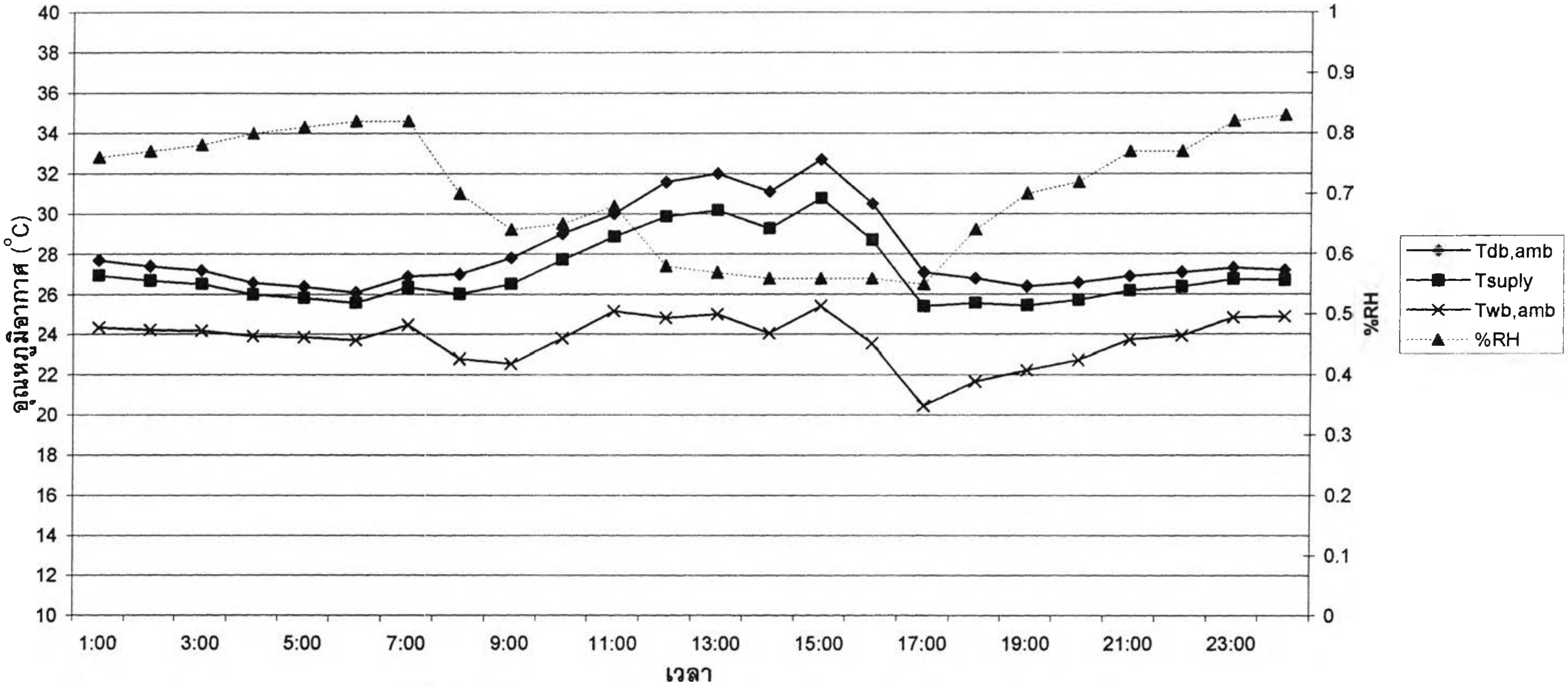


รูปที่ ก.56 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน กรกฎาคม 2542

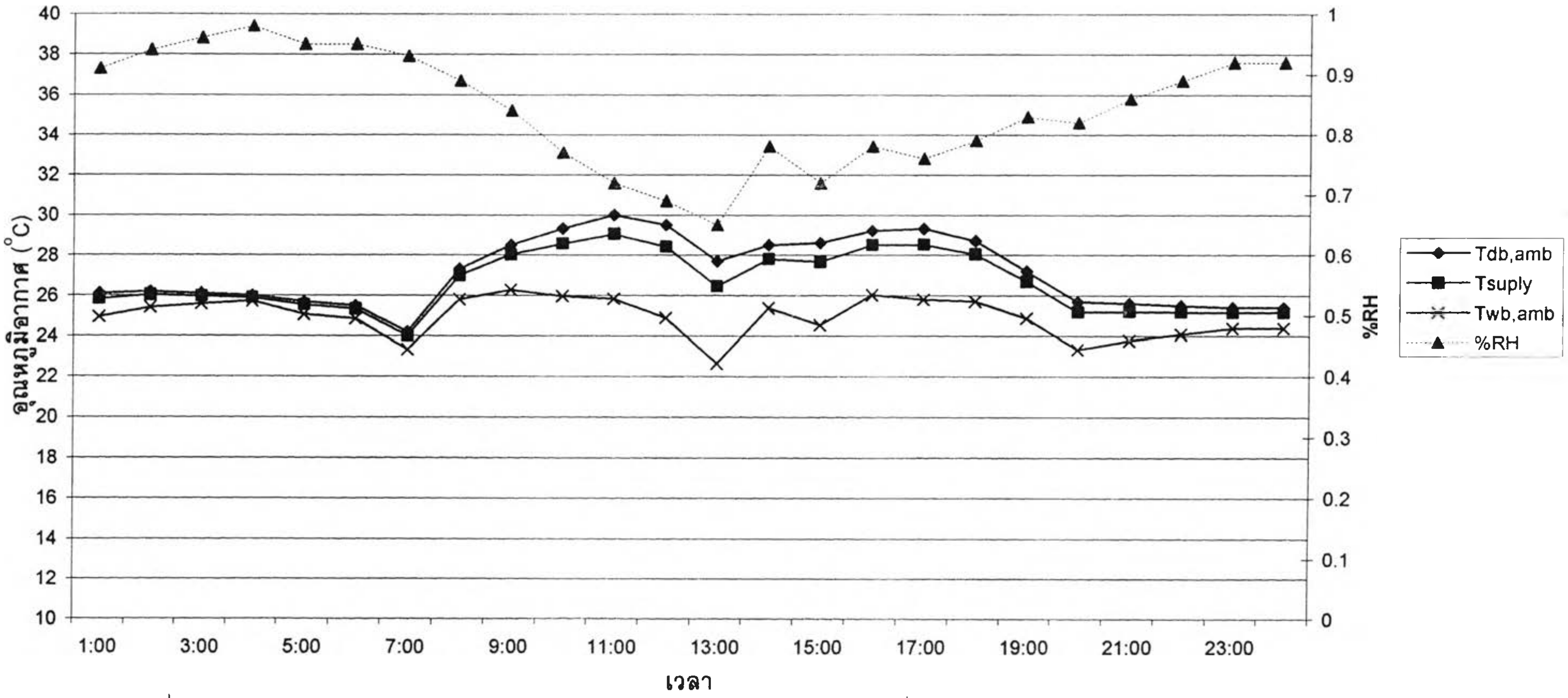


รูปที่ ก.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

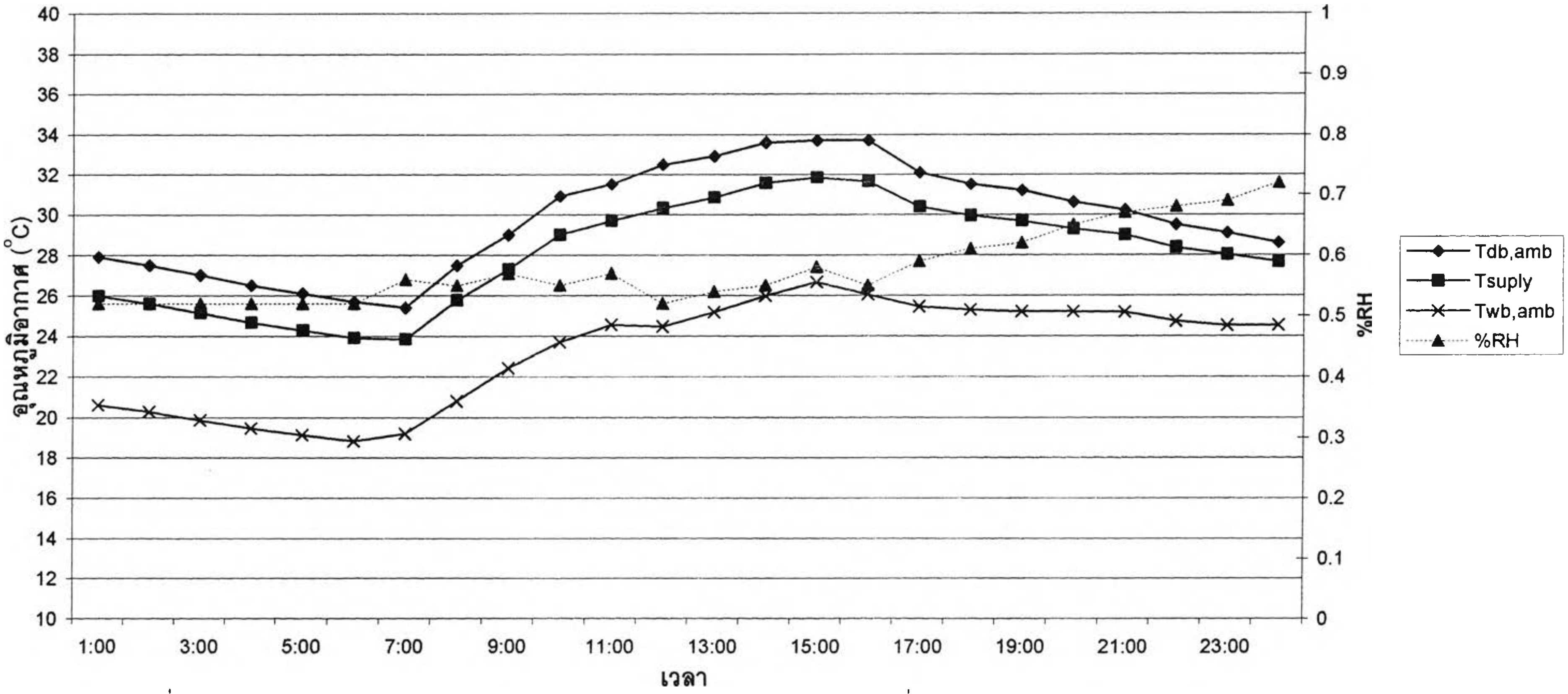
โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน สิงหาคม 2542



รูปที่ ก.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน กันยายน 2542

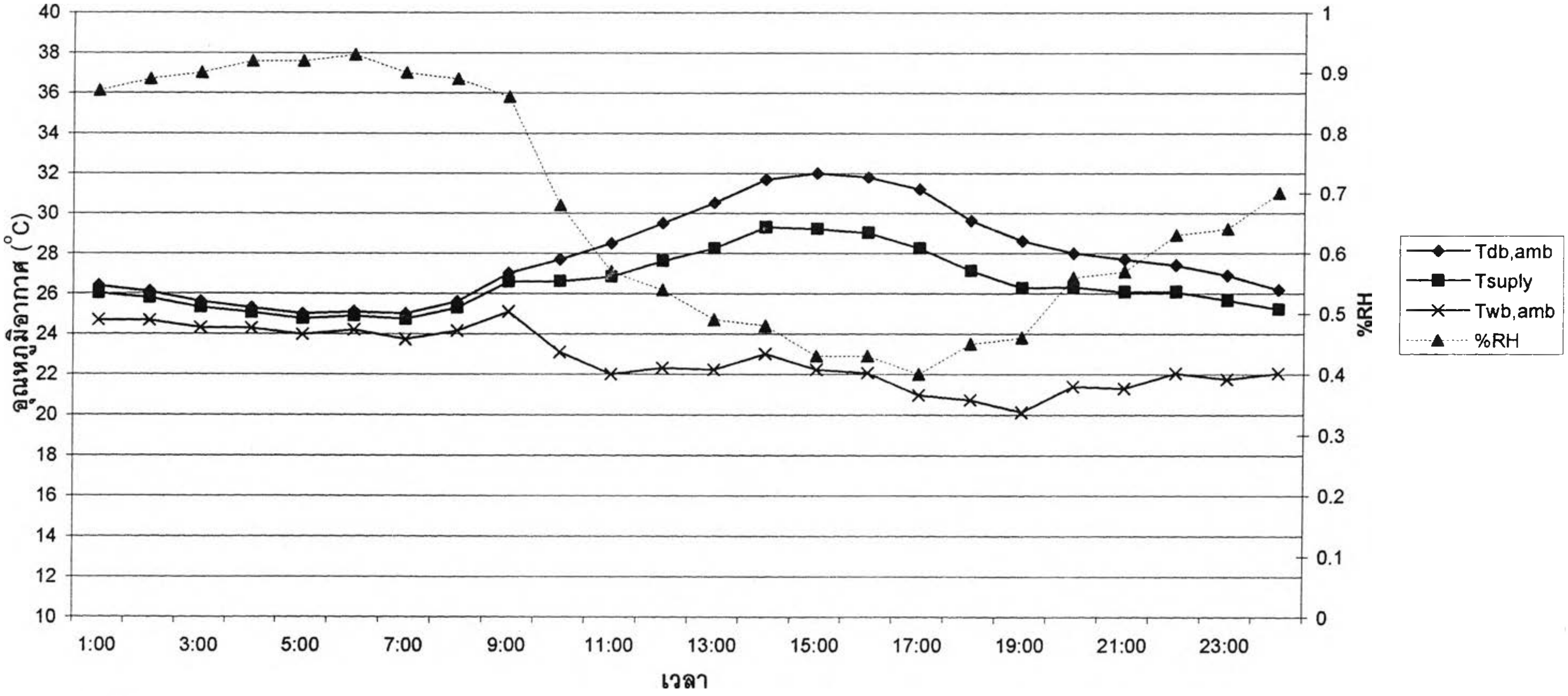


รูปที่ ก.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน ตุลาคม 2542



รูปที่ ก.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน พฤศจิกายน 2542



รูปที่ ก.61กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิอากาศที่ออกจากอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม โดยใช้ข้อมูลอากาศเดือน ธันวาคม 2542

ตารางที่ ก.1 แสดงผลการคำนวณค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ที่ได้จากผลการทดลอง ในแต่ละสภาวะอากาศที่ความเร็วอากาศต่างๆ

การทดลองที่	สภาวะอากาศภายนอก			ความเร็ว V_c,(m/s)	อุณหภูมิอากาศขาออก T_3, (°C)	สมรรถนะของอุปกรณ์ E_{dec}
	T_1,(°C)	%RH	T_{wb},(°C)			
1	32.01	58	25.2	2.88	27.29	69.26
	32.32	56	25.09	2.56	27.1	72.22
	32.42	56	25.17	1.75	26.9	76.21
	32.42	56	25.17	1.61	26.9	76.21
	32.52	55.5	25.16	1.48	26.9	76.46
	32.52	58.6	25.75	1.127	27.1	80.16
2	29.56	54	22.38	2.88	24.62	68.77
	29.46	57	22.82	2.56	24.72	71.43
	29.26	65	24.01	1.75	25.31	75.19
	29.16	66	24.09	1.61	25.31	75.79
	29.46	65.5	24.28	1.48	25.41	78.1
	29.56	65.6	24.38	1.127	25.41	80.15
3	34.26	53	26.14	2.88	28.68	68.76
	35.38	48	26.03	2.56	28.78	70.6
	34.77	55	26.98	1.75	28.78	76.93
	34.97	53	26.75	1.61	28.78	75.31
	34.56	56	27.01	1.48	28.78	76.58
	34.56	58	27.4	1.127	28.88	79.44
4	34.16	48	25.02	2.88	27.49	72.99
	33.95	48.5	24.96	2.56	27.59	70.77
	33.85	52	25.6	1.75	27.59	75.85
	33.95	52	25.68	1.61	27.59	76.94
	32.93	58	25.99	1.48	27.59	76.97
	32.12	65	26.56	1.127	27.59	81.43
5	35.99	45	25.86	2.88	28.98	69.27
	35.59	49	26.41	2.56	29.07	70.98
	36.81	45.5	26.63	1.75	29.07	76.02
	34.87	56	27.27	1.61	29.07	76.26
	35.18	55	27.33	1.48	29.07	77.76
	34.97	56	27.36	1.127	29.07	77.46

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 มกราคม 2542

(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff}
1:00	26	0.63	20.81	0.73	0.33	0.24	24.74	1.26
2:00	25.7	0.64	20.7	0.73	0.33	0.24	24.5	1.20
3:00	25.5	0.65	20.67	0.73	0.33	0.24	24.35	1.15
4:00	25.2	0.66	20.56	0.73	0.33	0.24	24.1	1.10
5:00	24.9	0.67	20.44	0.73	0.32	0.23	23.85	1.05
6:00	24.7	0.71	20.84	0.73	0.31	0.23	23.82	0.88
7:00	25	0.72	21.25	0.73	0.31	0.23	24.15	0.85
8:00	25	0.66	20.38	0.73	0.33	0.24	23.91	1.09
9:00	27.4	0.62	21.88	0.73	0.34	0.25	26.04	1.36
10:00	29.1	0.55	22.16	0.73	0.36	0.26	27.29	1.81
11:00	29.8	0.53	22.39	0.73	0.37	0.26	27.84	1.96
12:00	30.2	0.5	22.17	0.73	0.37	0.27	28.03	2.17
13:00	31.2	0.45	22.01	0.73	0.39	0.28	28.61	2.59
14:00	31.5	0.43	21.85	0.73	0.39	0.29	28.74	2.76
15:00	32.7	0.43	22.8	0.73	0.40	0.29	29.85	2.85
16:00	31.5	0.41	21.43	0.73	0.40	0.29	28.59	2.91
17:00	31.1	0.42	21.33	0.73	0.39	0.29	28.3	2.80
18:00	30.7	0.54	23.33	0.73	0.36	0.26	28.75	1.95
19:00	29.8	0.61	23.81	0.73	0.35	0.25	28.3	1.50
20:00	29.2	0.66	24.13	0.73	0.33	0.24	27.97	1.23
21:00	29.4	0.68	24.63	0.73	0.33	0.24	28.26	1.14
22:00	28	0.62	22.4	0.73	0.34	0.25	26.62	1.38
23:00	27.5	0.62	21.97	0.73	0.34	0.25	26.14	1.36
0:00	27	0.7	22.78	0.73	0.32	0.23	26.02	0.98

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2542
(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.4	0.84	25.22	0.73	0.30	0.22	26.93	0.47
2:00	27.2	0.84	25.02	0.73	0.30	0.22	26.73	0.47
3:00	27.1	0.85	25.07	0.73	0.30	0.21	26.66	0.44
4:00	27	0.85	24.97	0.73	0.30	0.21	26.56	0.44
5:00	27	0.85	24.97	0.73	0.30	0.21	26.56	0.44
6:00	27	0.86	25.11	0.73	0.30	0.21	26.6	0.4
7:00	26.9	0.88	25.3	0.73	0.30	0.21	26.56	0.34
8:00	27.5	0.84	25.31	0.73	0.30	0.22	27.03	0.47
9:00	28.6	0.66	23.59	0.73	0.33	0.24	27.39	1.21
10:00	30.5	0.58	23.89	0.73	0.35	0.26	28.8	1.7
11:00	30.5	0.52	22.79	0.73	0.37	0.27	28.44	2.06
12:00	30.8	0.54	23.42	0.73	0.37	0.27	28.84	1.96
13:00	31.4	0.51	23.35	0.73	0.37	0.27	29.22	2.18
14:00	31.7	0.5	23.41	0.73	0.38	0.27	29.43	2.27
15:00	31.5	0.49	23.05	0.73	0.38	0.28	29.18	2.32
16:00	31.7	0.43	22	0.73	0.39	0.29	28.93	2.77
17:00	30.2	0.54	22.91	0.73	0.36	0.26	28.28	1.92
18:00	29.1	0.7	24.69	0.73	0.32	0.24	28.06	1.04
19:00	28.5	0.77	25.23	0.73	0.31	0.22	27.77	0.73
20:00	28.1	0.8	25.3	0.73	0.30	0.22	27.48	0.62
21:00	27.9	0.81	25.26	0.73	0.30	0.22	27.32	0.58
22:00	27.6	0.84	25.41	0.73	0.30	0.22	27.13	0.47
23:00	27.4	0.8	24.64	0.73	0.30	0.22	26.79	0.61
0:00	27.1	0.86	25.21	0.73	0.30	0.21	26.69	0.41

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 มีนาคม 2542 (ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.4	0.8	24.64	0.73	0.30	0.22	26.79	0.61
2:00	27.2	0.8	24.45	0.73	0.30	0.22	26.6	0.60
3:00	26.9	0.81	24.31	0.73	0.30	0.22	26.34	0.56
4:00	26.6	0.81	24.03	0.73	0.30	0.22	26.04	0.56
5:00	26.2	0.82	23.79	0.73	0.30	0.22	25.68	0.52
6:00	25.7	0.82	23.32	0.73	0.30	0.22	25.18	0.52
7:00	26.5	0.82	24.08	0.73	0.30	0.22	25.97	0.53
8:00	28	0.78	24.91	0.73	0.31	0.22	27.31	0.69
9:00	29.4	0.71	25.12	0.73	0.32	0.23	28.4	1.00
10:00	31	0.67	25.91	0.73	0.33	0.24	29.76	1.24
11:00	33.1	0.63	27.07	0.73	0.35	0.25	31.58	1.52
12:00	34.1	0.64	28.14	0.73	0.35	0.25	32.6	1.50
13:00	34.5	0.57	27.15	0.73	0.37	0.27	32.55	1.95
14:00	34.5	0.52	26.14	0.73	0.38	0.28	32.2	2.30
15:00	34.4	0.53	26.26	0.73	0.38	0.27	32.18	2.22
16:00	34.2	0.51	25.68	0.73	0.38	0.28	31.85	2.35
17:00	33.9	0.57	26.63	0.73	0.37	0.26	31.98	1.92
18:00	32.1	0.66	26.72	0.73	0.34	0.25	30.78	1.32
19:00	30	0.7	25.5	0.73	0.33	0.24	28.94	1.06
20:00	29	0.78	25.84	0.73	0.31	0.22	28.3	0.70
21:00	28.6	0.77	25.32	0.73	0.31	0.22	27.86	0.74
22:00	28.4	0.8	25.58	0.73	0.30	0.22	27.78	0.62
23:00	28.2	0.78	25.1	0.73	0.31	0.22	27.51	0.69
0:00	28	0.79	25.06	0.73	0.30	0.22	27.35	0.65

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 เมษายน 2542 (ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	25	0.88	23.46	0.73	0.30	0.21	24.67	0.33
2:00	25.3	0.88	23.75	0.73	0.30	0.21	24.97	0.33
3:00	25.2	0.88	23.65	0.73	0.30	0.21	24.87	0.33
4:00	25	0.84	22.93	0.73	0.30	0.21	24.56	0.44
5:00	24.8	0.85	22.87	0.73	0.29	0.21	24.39	0.41
6:00	24.8	0.87	23.13	0.73	0.29	0.21	24.44	0.36
7:00	25	0.85	23.06	0.73	0.30	0.21	24.58	0.42
8:00	25	0.75	21.68	0.73	0.31	0.22	24.26	0.74
9:00	25.2	0.67	20.71	0.73	0.32	0.24	24.14	1.06
10:00	25.6	0.58	19.68	0.73	0.34	0.25	24.12	1.48
11:00	26.4	0.56	20.04	0.73	0.35	0.25	24.79	1.61
12:00	27.5	0.52	20.29	0.73	0.36	0.26	25.61	1.89
13:00	28.2	0.49	20.34	0.73	0.37	0.27	26.09	2.11
14:00	29.2	0.39	19.25	0.73	0.40	0.29	26.34	2.86
15:00	28.9	0.41	19.41	0.73	0.39	0.28	26.21	2.69
16:00	29.5	0.5	21.59	0.73	0.37	0.27	27.37	2.13
17:00	29.2	0.5	21.35	0.73	0.37	0.27	27.09	2.11
18:00	28.7	0.58	22.34	0.73	0.35	0.25	27.08	1.62
19:00	27.8	0.69	23.35	0.73	0.32	0.24	26.75	1.05
20:00	27.7	0.76	24.33	0.73	0.31	0.22	26.94	0.76
21:00	27.5	0.72	23.54	0.73	0.32	0.23	26.59	0.91
22:00	27.3	0.75	23.81	0.73	0.31	0.23	26.51	0.79
23:00	27.2	0.78	24.16	0.73	0.31	0.22	26.53	0.67
0:00	27	0.8	24.26	0.73	0.30	0.22	26.4	0.60

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 พฤษภาคม 2542
(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.5	0.85	25.45	0.73	0.30	0.22	27.06	0.44
2:00	27.4	0.86	25.5	0.73	0.30	0.21	26.99	0.41
3:00	27.2	0.81	24.6	0.73	0.30	0.22	26.63	0.57
4:00	27	0.79	24.12	0.73	0.30	0.22	26.37	0.63
5:00	26.9	0.84	24.74	0.73	0.30	0.22	26.43	0.47
6:00	27.1	0.84	24.93	0.73	0.30	0.22	26.63	0.47
7:00	27.6	0.93	26.66	0.73	0.31	0.23	27.39	0.21
8:00	28.5	0.93	27.55	0.73	0.31	0.23	28.29	0.21
9:00	26.9	0.94	26.11	0.73	0.32	0.23	26.72	0.18
10:00	28.6	0.93	27.64	0.73	0.31	0.23	28.38	0.22
11:00	30.5	0.92	29.36	0.73	0.30	0.22	30.25	0.25
12:00	31.6	0.73	27.46	0.73	0.32	0.23	30.63	0.97
13:00	32.8	0.64	26.99	0.73	0.35	0.25	31.34	1.46
14:00	32.7	0.54	25.03	0.73	0.37	0.27	30.64	2.06
15:00	31.8	0.52	23.88	0.73	0.37	0.27	29.66	2.14
16:00	31.5	0.47	22.65	0.73	0.38	0.28	29.04	2.46
17:00	31.5	0.52	23.63	0.73	0.37	0.27	29.38	2.12
18:00	28.9	0.54	21.82	0.73	0.36	0.26	27.05	1.85
19:00	29.2	0.67	24.29	0.73	0.33	0.24	28.02	1.18
20:00	29.7	0.7	25.23	0.73	0.33	0.24	28.65	1.05
21:00	29.8	0.75	26.12	0.73	0.31	0.23	28.96	0.84
22:00	29.6	0.74	25.78	0.73	0.32	0.23	28.72	0.88
23:00	29.5	0.77	26.16	0.73	0.31	0.23	28.75	0.75
0:00	29.4	0.77	26.06	0.73	0.31	0.22	28.65	0.75

ตารางที่ ก.7 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 มิถุนายน 2542 (ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	29.1	0.81	26.39	0.73	0.30	0.22	28.51	0.59
2:00	28.8	0.82	26.26	0.73	0.30	0.22	28.25	0.55
3:00	28.5	0.82	25.97	0.73	0.30	0.22	27.95	0.55
4:00	28.3	0.79	25.34	0.73	0.30	0.22	27.64	0.66
5:00	28.1	0.81	25.45	0.73	0.30	0.22	27.52	0.58
6:00	27.8	0.83	25.45	0.73	0.30	0.22	27.29	0.51
7:00	29	0.85	26.89	0.73	0.30	0.22	28.55	0.45
8:00	30.5	0.75	26.77	0.73	0.32	0.23	29.65	0.85
9:00	31.2	0.7	26.6	0.73	0.33	0.24	30.1	1.10
10:00	31.9	0.65	26.37	0.73	0.34	0.25	30.53	1.37
11:00	32.5	0.61	26.18	0.73	0.35	0.26	30.88	1.62
12:00	32.7	0.57	25.6	0.73	0.36	0.26	30.83	1.87
13:00	32.9	0.62	26.71	0.73	0.35	0.25	31.33	1.57
14:00	32.6	0.63	26.63	0.73	0.35	0.25	31.1	1.50
15:00	33.5	0.54	25.7	0.73	0.37	0.27	31.4	2.10
16:00	32.5	0.56	25.24	0.73	0.36	0.26	30.58	1.92
17:00	32.1	0.57	25.09	0.73	0.36	0.26	30.26	1.84
18:00	31.5	0.65	26.01	0.73	0.34	0.25	30.14	1.36
19:00	31	0.69	26.25	0.73	0.33	0.24	29.86	1.14
20:00	30.9	0.66	25.65	0.73	0.34	0.24	29.62	1.28
21:00	30.1	0.67	25.1	0.73	0.33	0.24	28.89	1.21
22:00	30	0.7	25.5	0.73	0.33	0.24	28.94	1.06
23:00	29.9	0.69	25.25	0.73	0.33	0.24	28.79	1.11
0:00	29.8	0.71	25.48	0.73	0.32	0.23	28.79	1.01

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 กรกฎาคม 2542 (ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.5	0.97	27.1	0.73	0.39	0.28	27.39	0.11
2:00	27	0.97	26.61	0.73	0.39	0.28	26.89	0.11
3:00	26.7	0.97	26.31	0.73	0.39	0.28	26.59	0.11
4:00	26.4	0.96	25.88	0.73	0.36	0.26	26.27	0.13
5:00	26	0.95	25.36	0.73	0.34	0.24	25.84	0.16
6:00	25.7	0.96	25.19	0.73	0.36	0.26	25.57	0.13
7:00	26.3	0.97	25.91	0.73	0.39	0.28	26.19	0.11
8:00	27.6	0.85	25.55	0.73	0.30	0.22	27.16	0.44
9:00	28.6	0.9	27.22	0.73	0.30	0.22	28.3	0.30
10:00	29.1	0.76	25.63	0.73	0.31	0.23	28.32	0.78
11:00	30	0.72	25.83	0.73	0.32	0.23	29.03	0.97
12:00	30.4	0.7	25.87	0.73	0.33	0.24	29.33	1.07
13:00	31	0.66	25.74	0.73	0.34	0.24	29.71	1.29
14:00	31.2	0.73	27.09	0.73	0.32	0.23	30.24	0.96
15:00	31.1	0.67	26	0.73	0.33	0.24	29.86	1.24
16:00	32	0.66	26.63	0.73	0.34	0.25	30.68	1.32
17:00	31	0.72	26.75	0.73	0.32	0.23	30	1.00
18:00	30	0.72	25.83	0.73	0.32	0.23	29.03	0.97
19:00	27	0.84	24.83	0.73	0.30	0.22	26.53	0.47
20:00	26.1	0.83	23.84	0.73	0.30	0.22	25.61	0.49
21:00	27	0.9	25.67	0.73	0.30	0.22	26.71	0.29
22:00	26.6	0.89	25.14	0.73	0.30	0.22	26.29	0.31
23:00	26.4	0.85	24.4	0.73	0.30	0.21	25.97	0.43
0:00	26.2	0.88	24.62	0.73	0.30	0.21	25.86	0.34

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 สิงหาคม 2542
(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.3	0.7	23.05	0.73	0.32	0.23	26.31	0.99
2:00	27.2	0.72	23.27	0.73	0.32	0.23	26.3	0.90
3:00	27	0.76	23.68	0.73	0.31	0.22	26.26	0.74
4:00	26.9	0.79	24.02	0.73	0.30	0.22	26.27	0.63
5:00	26.6	0.82	24.17	0.73	0.30	0.22	26.07	0.53
6:00	26.3	0.84	24.17	0.73	0.30	0.22	25.84	0.46
7:00	26.7	0.85	24.69	0.73	0.30	0.21	26.27	0.43
8:00	27.7	0.83	25.36	0.73	0.30	0.22	27.19	0.51
9:00	29.4	0.74	25.6	0.73	0.32	0.23	28.53	0.87
10:00	30.9	0.66	25.65	0.73	0.34	0.24	29.62	1.28
11:00	31.8	0.63	25.92	0.73	0.35	0.25	30.33	1.47
12:00	32.1	0.57	25.09	0.73	0.36	0.26	30.26	1.84
13:00	31.5	0.54	24.01	0.73	0.37	0.27	29.51	1.99
14:00	32	0.5	23.66	0.73	0.38	0.27	29.71	2.29
15:00	31.8	0.59	25.2	0.73	0.36	0.26	30.1	1.70
16:00	32	0.56	24.81	0.73	0.36	0.26	30.11	1.89
17:00	25.6	0.55	19.2	0.73	0.35	0.25	23.97	1.63
18:00	26	0.58	20.02	0.73	0.34	0.25	24.51	1.49
19:00	26.3	0.66	21.54	0.73	0.33	0.24	25.17	1.13
20:00	27.1	0.68	22.56	0.73	0.33	0.24	26.03	1.07
21:00	27.6	0.71	23.48	0.73	0.32	0.23	26.64	0.96
22:00	27.4	0.72	23.45	0.73	0.32	0.23	26.49	0.91
23:00	27.4	0.73	23.6	0.73	0.32	0.23	26.53	0.87
0:00	27.3	0.74	23.66	0.73	0.31	0.23	26.47	0.83

ตารางที่ ก.10 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 กันยายน 2542

(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.7	0.76	24.33	0.73	0.31	0.22	26.94	0.76
2:00	27.4	0.77	24.2	0.73	0.31	0.22	26.69	0.71
3:00	27.2	0.78	24.16	0.73	0.31	0.22	26.53	0.67
4:00	26.6	0.8	23.89	0.73	0.30	0.22	26.01	0.59
5:00	26.4	0.81	23.84	0.73	0.30	0.22	25.84	0.56
6:00	26.1	0.82	23.7	0.73	0.30	0.22	25.58	0.52
7:00	26.9	0.82	24.46	0.73	0.30	0.22	26.37	0.53
8:00	27	0.7	22.78	0.73	0.32	0.23	26.02	0.98
9:00	27.8	0.64	22.55	0.73	0.34	0.24	26.52	1.28
10:00	29	0.65	23.78	0.73	0.34	0.24	27.73	1.27
11:00	30	0.68	25.17	0.73	0.33	0.24	28.84	1.16
12:00	31.6	0.58	24.84	0.73	0.36	0.26	29.85	1.75
13:00	32	0.57	25	0.73	0.36	0.26	30.17	1.83
14:00	31.1	0.56	24.04	0.73	0.36	0.26	29.25	1.85
15:00	32.7	0.56	25.41	0.73	0.36	0.26	30.77	1.93
16:00	30.5	0.56	23.53	0.73	0.36	0.26	28.68	1.82
17:00	27.1	0.55	20.47	0.73	0.35	0.26	25.4	1.70
18:00	26.8	0.64	21.67	0.73	0.33	0.24	25.56	1.24
19:00	26.4	0.7	22.23	0.73	0.32	0.23	25.43	0.97
20:00	26.6	0.72	22.72	0.73	0.32	0.23	25.71	0.89
21:00	26.9	0.77	23.73	0.73	0.31	0.22	26.2	0.70
22:00	27.1	0.77	23.92	0.73	0.31	0.22	26.39	0.71
23:00	27.3	0.82	24.83	0.73	0.30	0.22	26.76	0.54
0:00	27.2	0.83	24.88	0.73	0.30	0.22	26.7	0.50

ตารางที่ ก.11 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 ตุลาคม 2542

(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	26.1	0.91	24.93	0.73	0.30	0.22	25.84	0.26
2:00	26.2	0.94	25.42	0.73	0.32	0.23	26.02	0.18
3:00	26.1	0.96	25.58	0.73	0.36	0.26	25.97	0.13
4:00	26	0.98	25.74	0.73	0.46	0.33	25.91	0.09
5:00	25.7	0.95	25.06	0.73	0.34	0.24	25.54	0.16
6:00	25.5	0.95	24.86	0.73	0.34	0.24	25.34	0.16
7:00	24.2	0.93	23.33	0.73	0.31	0.23	24	0.20
8:00	27.3	0.89	25.82	0.73	0.30	0.22	26.98	0.32
9:00	28.5	0.84	26.27	0.73	0.30	0.22	28.02	0.48
10:00	29.3	0.77	25.97	0.73	0.31	0.22	28.55	0.75
11:00	30	0.72	25.83	0.73	0.32	0.23	29.03	0.97
12:00	29.5	0.69	24.89	0.73	0.33	0.24	28.4	1.10
13:00	27.7	0.65	22.63	0.73	0.33	0.24	26.47	1.23
14:00	28.5	0.78	25.38	0.73	0.31	0.22	27.8	0.70
15:00	28.6	0.72	24.55	0.73	0.32	0.23	27.66	0.94
16:00	29.2	0.78	26.03	0.73	0.31	0.22	28.49	0.71
17:00	29.3	0.76	25.82	0.73	0.31	0.23	28.51	0.79
18:00	28.7	0.79	25.71	0.73	0.31	0.22	28.04	0.66
19:00	27.2	0.83	24.88	0.73	0.30	0.22	26.7	0.50
20:00	25.7	0.82	23.32	0.73	0.30	0.22	25.18	0.52
21:00	25.6	0.86	23.77	0.73	0.30	0.21	25.21	0.39
22:00	25.5	0.89	24.08	0.73	0.30	0.22	25.19	0.31
23:00	25.4	0.92	24.37	0.73	0.31	0.22	25.17	0.23
0:00	25.4	0.92	24.37	0.73	0.31	0.22	25.17	0.23

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2542

(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	27.9	0.52	20.63	0.73	0.36	0.26	25.99	1.89
2:00	27.5	0.52	20.29	0.73	0.36	0.26	25.61	1.86
3:00	27	0.52	19.88	0.73	0.36	0.26	25.14	1.83
4:00	26.5	0.52	19.46	0.73	0.36	0.26	24.67	1.81
5:00	26.1	0.52	19.13	0.73	0.36	0.26	24.29	1.79
6:00	25.7	0.52	18.8	0.73	0.36	0.26	23.91	1.56
7:00	25.4	0.56	19.19	0.73	0.35	0.25	23.84	1.72
8:00	27.5	0.55	20.81	0.73	0.35	0.26	25.78	1.69
9:00	29	0.57	22.43	0.73	0.35	0.26	27.31	1.90
10:00	30.9	0.55	23.69	0.73	0.36	0.26	29	1.81
11:00	31.5	0.57	24.57	0.73	0.36	0.26	29.69	2.18
12:00	32.5	0.52	24.47	0.73	0.37	0.27	30.32	2.07
13:00	32.9	0.54	25.19	0.73	0.37	0.27	30.83	2.04
14:00	33.6	0.55	25.98	0.73	0.37	0.27	31.56	1.85
15:00	33.7	0.58	26.66	0.73	0.36	0.26	31.85	2.05
16:00	33.7	0.55	26.07	0.73	0.37	0.27	31.65	1.72
17:00	32.1	0.59	25.46	0.73	0.36	0.26	30.38	1.57
18:00	31.5	0.61	25.3	0.73	0.35	0.25	29.93	1.51
19:00	31.2	0.62	25.21	0.73	0.35	0.25	29.69	1.32
20:00	30.6	0.65	25.21	0.73	0.34	0.25	29.28	1.21
21:00	30.2	0.67	25.19	0.73	0.33	0.24	28.99	1.14
22:00	29.5	0.68	24.72	0.73	0.33	0.24	28.36	1.08
23:00	29.1	0.69	24.52	0.73	0.33	0.24	28.02	0.94
0:00	28.6	0.72	24.55	0.73	0.32	0.23	27.66	1.89

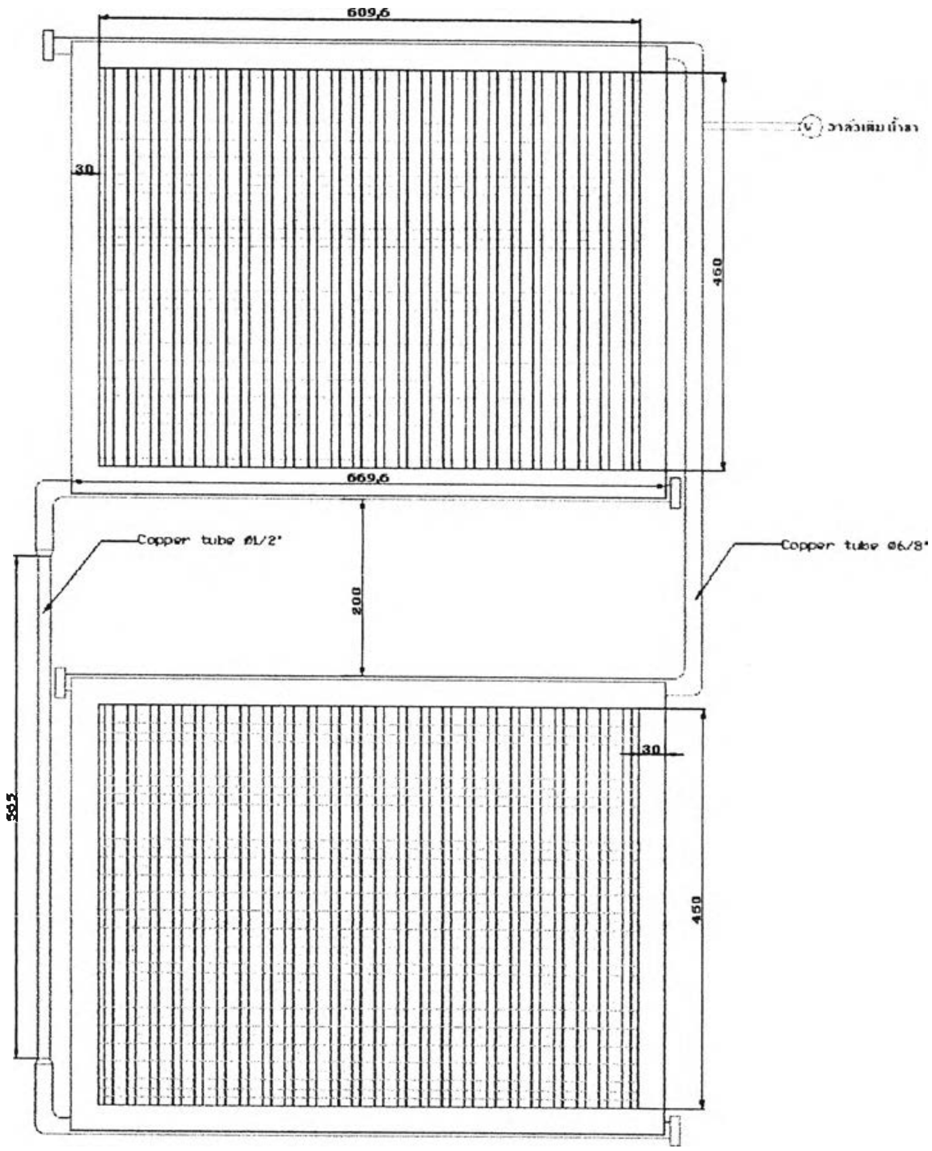
ตารางที่ ก.13 แสดงค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ในส่วนต่างๆของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ จากการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ วันที่ 15 ธันวาคม 2542
(ข้อมูลสภาวะอากาศ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

เวลา	$T_{db,amb}$,(°C)	%RH	T_{wb} ,(°C)	E_{dec}	E_{hx}	E_{dec}	T_{suply},(°C)	T_{diff},(°C)
1:00	26.4	0.87	24.68	0.73	0.30	0.21	26.03	0.37
2:00	26.1	0.89	24.66	0.73	0.30	0.22	25.79	0.31
3:00	25.6	0.9	24.31	0.73	0.30	0.22	25.32	0.28
4:00	25.3	0.92	24.28	0.73	0.31	0.22	25.07	0.23
5:00	25	0.92	23.98	0.73	0.31	0.22	24.77	0.23
6:00	25.1	0.93	24.21	0.73	0.31	0.23	24.9	0.20
7:00	25	0.9	23.72	0.73	0.30	0.22	24.72	0.28
8:00	25.6	0.89	24.17	0.73	0.30	0.22	25.29	0.31
9:00	27	0.86	25.11	0.73	0.30	0.21	26.6	0.40
10:00	27.7	0.68	23.1	0.73	0.33	0.24	26.61	1.09
11:00	28.5	0.57	22	0.73	0.35	0.26	26.84	1.66
12:00	29.5	0.54	22.32	0.73	0.36	0.26	27.61	1.89
13:00	30.5	0.49	22.23	0.73	0.38	0.27	28.24	2.26
14:00	31.7	0.48	23.02	0.73	0.38	0.28	29.29	2.41
15:00	32	0.43	22.24	0.73	0.40	0.29	29.2	2.80
16:00	31.8	0.43	22.08	0.73	0.39	0.29	29.02	2.78
17:00	31.2	0.4	20.99	0.73	0.40	0.29	28.24	2.96
18:00	29.6	0.45	20.73	0.73	0.38	0.28	27.13	2.47
19:00	28.6	0.46	20.12	0.73	0.38	0.27	26.27	2.33
20:00	28	0.56	21.4	0.73	0.35	0.26	26.31	1.69
21:00	27.7	0.57	21.31	0.73	0.35	0.25	26.08	1.62
22:00	27.4	0.63	22.04	0.73	0.34	0.24	26.09	1.31
23:00	26.9	0.64	21.76	0.73	0.33	0.24	25.66	1.24
0:00	26.2	0.7	22.05	0.73	0.32	0.23	25.24	0.96

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ ลูปเทอร์โมไซฟอน โดยคำนวณจากแบบจำลองการนำความร้อน (Thermal Resistance model), คำนวณโดยค่าสมรรถนะ และการคำนวณโดยใช้สหสัมพันธ์



รูปที่ ข.1 แสดงแบบคอยล์ ลูปเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ข.1 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

รายการ	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ขนาดและวัสดุคอยล์			
ชนิดท่อ		ท่อทองแดงผิวภายในเรียบ	
จำนวนท่อทั้งหมด	N_t	96	tube
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ	D_o	0.009525	m
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	D_i	0.00873	m
ความยาวท่อ จำนวนแถว	H	0.45 4 (24 x 23 x 24 x 23)	m
S_T	S_T	0.0254	m
S_L	S_L	0.022	m
ค่าความนำความร้อนของวัสดุท่อ	k_t	384	
พื้นที่หน้าตัดคอยล์และท่อลม	A	0.45x0.60=0.27	m^2
ชนิดของครีบ		Aluminum Corrugate fin	
จำนวนครีบต่อนิ้ว		13	fin/inch
จำนวนแผ่นครีบ	N_f	230	fin
ความหนาของครีบ	t_f	0.0033	m
ค่าความนำความร้อนของวัสดุครีบ	k_f	204	
สภาวะอากาศด้านคอยล์ระเหย			
อุณหภูมิอากาศขาเข้า	T_{hi}	34.16	^{o}C
อุณหภูมิอากาศขาออก	T_{ho}	33.98	^{o}C
ความหนาแน่นอากาศ	ρ_h	1.112	kg/m^3
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	C_{ph}	1044	J/kg ^{o}C
ค่าความหนืด	μ_h	0.00001877	kg/m s
Prandanlt number	$\Pr_h$	0.7266	-
ความเร็วอากาศ	V_h	0.868	m/s
สภาวะอากาศด้านคอยล์ควบแน่น			
อุณหภูมิอากาศขาเข้า	T_{ci}	32.74	^{o}C
อุณหภูมิอากาศขาออก	T_{co}	33.16	^{o}C
ความหนาแน่นอากาศ	ρ_c	1.12	kg/m^3

รายการ	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	C_{pc}	1041	J/kg °C
ค่าความหนืด	μ_c	0.00001886	kg/m s
Prandanlt number	$\Pr_c$	0.727	-
ความเร็วอากาศ	V_c	0.724	m/s

ข.1 การคำนวณจากแบบจำลองการนำความร้อน คอยล์ ลูป เทอร์โมไซฟอน

จากรูปคอยล์ ลูป เทอร์โมไซฟอน แสดงในรูปที่ ข.1 และรายละเอียดการคำนวณในหัวข้อ 2.2.2.2 สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ได้ดังนี้

1. **การคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อน**

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนด้านคอยล์ระเหย

จากสมการ $Q_h = \rho_h A V_h c_{ph}(T_{hi} - T_{ho})$

$= 1.112 \times 0.27 \times 0.868 \times 1044 \times (32.74 - 33.98)$

$= 48.96 \quad W$

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนด้านคอยล์ควบแน่น

จากสมการ $Q_c = \rho_c A V_{hc} c_{pc}(T_{co} - T_{ci})$

$= 1.12 \times 0.27 \times 0.724 \times 1041 \times (33.16 - 32.74)$

$= 95.71 \quad W$

2. **การคำนวณหาพื้นที่ผิวคอยล์**

การคำนวณพื้นที่ผิวภายนอกคอยล์ส่วนที่ไม่มีครีบ (A_b)

จากสมการ $A_b = N_t(\pi D_o L_i - N_f t_f \pi D_o)$

จะได้ $= 96 \times (3.1416 \times 0.009525 \times 0.45 - 230 \times 0.00033 \times 3.1416 \times 0.009525)$

$= 1.052 \quad m^2$

การคำนวณพื้นที่ผิวของครีบครีบ (A_f)

จากสมการ $A_f = N_t(2N_f(S_T S_L - \frac{\pi D_o^2}{4})$

$$= 96 \times (2 \times 230 \times (0.0254 \times 0.022 - \frac{3.1416 \times 0.009525^2}{4})$$

$$= 21.08 \quad m^2$$

ดังนั้นจะได้พื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมดของคอยล์(A_o) สามารถคำนวณได้จาก

สมการ $A_o = A_b + A_f$

$$= 1.052 + 21.08$$

$$= 22.13 \quad m^2$$

การคำนวณพื้นที่ผิวภายในคอยล์ทั้งหมด (A_i)

จากสมการ $A_i = N_t \times \pi \times D_i \times L_i$

จะได้

$$= 96 \times 3.1416 \times 0.009525 \times 0.45$$

$$= 1.16 \quad m^2$$

การคำนวณความยาวประสิทธิผลของครีบ (L_f)

จากสมการ $L_f = \frac{S_T - D_o}{2}$

$$= \frac{0.0254 - 0.009525}{2}$$

$$= 0.007938 \quad m$$

3. **การคำนวณค่าความต้านทานความร้อนในส่วนต่างๆของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน**

ความต้านทานความร้อนของฟิล์มของของไหลด้านนอกของคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น, (R_1, R_7 ตามลำดับ)

ด้านคอยล์ระเหย

พิจารณาคุณสมบัติของอากาศด้านคอยล์ระเหย ที่อุณหภูมิ 34.16 °C

$$V_\infty = V_h = 0.868 \quad m/s \qquad \mu_\infty = \mu_h = 0.00001887 \quad kg/m\cdot s$$

$$\rho_\infty = \rho_h = 1.112 \quad kg/m^3 \qquad \Pr = 0.7266$$

$$k_\infty = k_h = 0.0268 \quad W/m\cdot{}^oC$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบ

จากสมการ $$h_{fh} = \frac{0.036\,\mathrm{Re}_L^{4/5}\Pr^{1/3} k_f}{L_f}$$

โดยที่ $$\mathrm{Re}_{Lh} = \frac{\rho_\infty V_\infty L_f}{\mu_\infty} = \frac{1.112\times 0.868\times 0.007938}{0.00001877} = 406.1$$

$$h_{fh} = \frac{0.036\,\mathrm{Re}_{Lh}^{4/5}\Pr_h^{1/3} k_h}{L_f} = \frac{0.036\times(406.1)^{4/5}0.7266^{1/3}\times 0.0268}{0.007938}$$

$$= 13.09 \quad W/m^2\,{}^oC$$

การคำนวณหาประสิทธิภาพของครีบ

จากสมการ $$\eta_f = \frac{\tanh(mL_f)}{mL_f}$$

โดยที่ $$mL_f = L_f\sqrt{\frac{2h_f}{k_f t_f}} = 0.007938\sqrt{\frac{2\times 13.09}{204\times 0.00033}}$$

จะได้ $$\eta_{fh} = 0.9422$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อส่วนที่ไม่ได้ติดครีบ (h_b) สามารถหาได้จากสมการ

$$Nu = 1.13 C_1 C_2 \operatorname{Re}_{\max}^{m} \Pr^{1/3} = \frac{h_b D_o}{k_\infty}$$

โดยที่ $V_{\max} = \dfrac{S_T}{(S_T - D_o)} V_\infty = \dfrac{0.0254}{0.0254 - 0.009525} \times = 1.389 \quad m/s$

จะได้ $\operatorname{Re}_{\max} = \dfrac{\rho_\infty V_{\max} D_o}{\mu_\infty} = \dfrac{1.112 \times 1.389 \times 0.009525}{0.00001887} = 779.8$

จากตาราง 2.1, 2.2 จะได้ $C_1 = 0.522, C_2 = 0.89, m = 0.56$

จะได้ $h_{bh} = \dfrac{1.13 \times 0.522 \times 0.89 \times 779.8^{0.56} \times 0.7266^{1/3}}{0.009525} \times \dfrac{0.02628}{0.009525}$

$$= 54.23 \quad W/m^{2\circ}C$$

ดังนั้นจะได้ $h_{oh} = \dfrac{(\eta_{fh} A_f h_{fh} + A_b h_{bh})}{(A_f + A_b)} = \dfrac{(0.9422 \times 21.08 \times 13.09) + (1.052 \times 54.23)}{22.13}$

$$= 14.33 \quad W/m^{2\circ}C$$

$$R_1 = \frac{1}{14.33 \times 22.13} = 0.003153 \quad {}^\circ C/W$$

ด้านคอยล์ควบแน่น

พิจารณาคุณสมบัติของอากาศด้านคอยล์ระเหย ที่อุณหภูมิ 32.74 °C

$V_\infty = V_c = 0.724 \quad m/s$ $\qquad \mu_\infty = \mu_c = 0.00001886 \quad kg/m \cdot s$

$\rho_\infty = \rho_c = 1.12 \quad kg/m^3$ $\qquad \Pr = 0.727$

$k_\infty = k_c = 0.02628 \quad W/m \cdot {}^\circ C$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบ

จากสมการ $h_{fc}=\dfrac{0.036\,\mathrm{Re}_L^{4/5}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\,k_f}{L_f}$

โดยที่ $\mathrm{Re}_{Lc}=\dfrac{\rho_\infty V_\infty L_f}{\mu_\infty}=\dfrac{1.12\times 0.724\times 0.007938}{0.00001886}$

$=341.4$

จะได้ $h_{fc}=\dfrac{0.036\,\mathrm{Re}_L^{4/5}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\,k_f}{L_f}=11.4\quad W/m^{2o}C$

การคำนวณหาประสิทธิภาพของครีบ

จากสมการ $\eta_f=\dfrac{\tanh(mL_f)}{mL_f}$

โดยที่ $mL_f=L_f\sqrt{\dfrac{2h_f}{k_f t_f}}=0.007938\sqrt{\dfrac{2\times 11.4}{204\times 0.00033}}$

จะได้ $\eta_{fc}=0.9422$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อส่วนที่ไม่ได้ติดครีบ (h_b) สามารถหาได้จากสมการ

$$Nu=1.13C_1C_2\,\mathrm{Re}_{max}^m\,\mathrm{Pr}^{1/3}=\frac{h_bD_o}{k_\infty}$$

โดยที่ $V_{max}=\dfrac{S_T}{(S_T-D_o)}V_\infty=\dfrac{0.0254}{0.0254-0.009525}\times 0.724=1.158\quad m/s$

จะได้ $\mathrm{Re}_{max}=\dfrac{\rho_\infty V_{max}D_o}{\mu_\infty}=\dfrac{1.12\times 1.158\times 0.009525}{0.0001886}=655.4$

จากตาราง 2.1, 2.2 จะได้ $C_1=0.522, C_2=0.89, m=0.56$

จะได้ $h_{bc}=\dfrac{1.13\times 0.522\times 0.89\times 655.4^{0.56}\times 0.727^{1/3}}{0.009525}\times\dfrac{0.02628}{0.009525}$

$$= 49.21 \;\; W/m^{2o}C$$

ดังนั้นจะได้ $$h_{oc} = \frac{(\eta_{fc}A_f h_{fc} + A_b h_{bc})}{(A_f + A_b)} = \frac{(0.9274 \times 21.08 \times 11.4) + (1.052 \times 49.21)}{22.13}$$

$$= 12.41 \;\; W/m^{2o}C$$

$$R_7 = \frac{1}{12.41 \times 22.13} = 0.003642 \;\; ^{o}C/W$$

ความต้านทานความร้อนผ่านผนังท่อสำหรับในช่างคอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหย (R_2,R_6 ตามลำดับ)

เป็นความต้านทางความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนังท่อด้านระเหยและด้านควบแน่น สามารถหาค่าได้โดยตรงจากสมการการนำความร้อน 2.24, 2.27 ตามลำดับ

จะได้ $$R_2 = \frac{\ln(0.09525/0.00873)}{2\pi \times 384 \times 0.45 \times 96} = 8.54E-07 \;\; ^{o}C/W$$

$$R_6 = \frac{\ln(0.09525/0.00873)}{2\pi \times 384 \times 0.45 \times 96} = 8.54E-07 \;\; ^{o}C/W$$

ความต้านทานความร้อนผ่านแผ่นฟิล์มด้านในของฮีทไปป์ด้านคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น (R_3,R_5 ตามลำดับ)

อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยด้านคอยล์ระเหย

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} = 34.07 \;\; ^{o}C$$

เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของผนังท่อด้านในคอยล์ระเหยได้

$$T_{wh} = T_h - (Q_h \times R_7) - (Q_h \times R_6)$$

$$= 34.07 - (48.96 \times 0.003642) - (48.96 \times 8.54E-07)$$

$$= 33.89 \;\; ^{o}C$$

พิจารณาคุณสมบัติของของเหลวใช้งาน Freon 22(R22) ที่อุณหภูมิ 33.89 °C

$\rho_l = 1155 \quad kg/m^3$ $\rho_v = 56.33 \quad kg/m^3$

$\mu_l = 0.0001495 kg/m\cdot s$ $h_{fg} = 173.4 \quad J/kg$

$kl = 0.08074 \quad W/m°C$ $c_{pl} = 1304 \quad J/kg\cdot°C$

$\sigma = 0.00687 \quad N/m$ $g_c = 1 \quad kg\cdot m/(N\cdot s^2)$

$g = 9.81 \quad kg\cdot m/(N\cdot s^2)$

$$\Pr_l = \frac{c_{p,l}\mu_l}{k_l} = 2.413$$

จากสมการ $h_{ih} = \dfrac{c_{pl}(Q_h/A_{ih})^{0.67}}{h_{fg,h}(\Pr_l)^{1.7}C_{sf}}\left(\dfrac{1}{\mu_l h_{fg,h}}\sqrt{\dfrac{g_c\sigma}{g(\rho_l-\rho_v)}}\right)^{-0.33}$

แทนค่าจะได้ $h_{ih} = 108.8 \quad W/m^{2°}C$

ดังนั้น $R_3 = \dfrac{1}{108.8\times 1.16} = 0.007925 \quad °C/W$

อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยด้านคอยล์ควบแน่น

$$T_c = \frac{T_{ci}+T_\infty}{2} = 32.95 \quad °C$$

เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของผนังท่อด้านในคอยล์ระเหยได้

$$T_{wc} = T_c + (Q_c\times R_1) + (Q_c\times R_2)$$

$$= 32.95 + (95.71\times 0.003153) + (95.71\times 8.54E-07)$$

$$= 33.25 \quad °C$$

พิจารณาคุณสมบัติของของเหลวใช้งาน Freon 22(R22) ที่อุณหภูมิ 33.25 °C

$\rho_l = 1158 \quad kg/m^3$ $\rho_v = 55.37 \quad kg/m^3$

$\mu_l = 0.0001505 \quad kg/m\cdot s$ $h_{fg} = 174.3 \quad J/kg$

$k_l = 0.08105 \quad W/m\cdot^{o}C \qquad \sigma = N/m$

$v_l = 1.30E-07 \quad m^2/s$

จากสมการ $$Nu_c = \frac{h_{ic}}{k_l}\left[\frac{v_l^2}{g}\left(\frac{\rho_l}{\rho_l-\rho_v}\right)\right]^{1/3} = 0.925\,\mathrm{Re}_{max}^{-1/3}$$

โดยที่ $$\mathrm{Re}_{max} = \frac{Q_c}{\pi D_i \mu_l h_{fg,c}} = \frac{95.71}{\pi \times 0.00873 \times 0.0001505 \times 174.3} = 133.1$$

จะได้ $h_{ic} = 1205 \quad W/m^{2o}C$

ดังนั้น $$R_5 = \frac{1}{1205 \times 1.16} = 0.0007151 \ {}^{\circ}C/W$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_6 + R_7$$

$$= 0.003153 + (8.54E-07) + 0.007925 + 0.0007151 + (8.54E-07) + 0.003642$$

$$= 0.01544 \ {}^{\circ}C/W$$

ดังนั้นจะได้ $$UA = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0.01544} = 64.78 \quad W/{}^{\circ}C$$

การคำนวณสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

จากสมการ $$E_{hv} = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{UA(\Delta T_{lm})}{C_{min}(\Delta T)}$$

โดยที่ $$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{hi}+T_{ho})-(T_{ci}+T_{co})}{2}$$

$$= \frac{(34.16+33.98)+(32.74+33.16)}{2} = 1.12$$

$$\Delta T = T_{hi} - T_{ci} = 34.16 - 32.74 = 1.42$$

$$C_h = 1.12 \times 0.27 \times 0.868 \times 1044 = 274.32$$

$$C_c = 1.12 \times 0.27 \times 0.724 \times 1041 = 227.91$$

$$\therefore C_{\min} = 227.91$$

$$E_{hx,resist} = \frac{64.78 \times (1.12)}{227.91 \times (1.42)} = 0.2241$$

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ ลูป เทอร์โมไซฟอน โดยวิธีวิเคราะห์ค่าสมรรถนะ

จากสมการ

$$E_{hx} = \frac{Q_{avg}}{Q_{\max}} = \frac{Q_h + Q_c}{2(C_{\min}(\Delta T))}$$

$$= \frac{48.96 + 95.71}{2 \times (227.91 \times 1.42)} = 0.2207$$

ข.3 ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ ลูป เทอร์โมไซฟอน โดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง

จากสหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง

$$E_{hx} = \frac{(2.0 \mathrm{Re}_h^{0.1462} \mathrm{Re}_c^{0.20362} (\Delta T)^{0.39477})(0.505 + 0.594(\Delta T))}{C_{\min}(\Delta T)}$$

โดยที่

$$\mathrm{Re}_h = \frac{\rho_h V_h D_e}{\mu_h} = \frac{1.149 \times 0.868 \times 0.5143}{0.00001891} = 27127; \text{ At } T_{avg} = 34.07\ ^{\circ}\mathrm{C}$$

$$\mathrm{Re}_c = \frac{\rho_c V_c D_e}{\mu_c} = \frac{1.119 \times 0.724 \times 0.5143}{0.00001881} = 22146; \text{ At } T_{avg} = 32.95\ ^{\circ}\mathrm{C}$$

$$\Delta T = T_{hi} - T_{ci} = 34.16 - 32.74 = 1.42$$

จะได้

$$E_{hx} = \frac{(2.0 \times (27127)^{0.1462} (22146)^{0.20362} (1.42)^{0.39477})(0.505 + 0.594(1.42))}{227.91 \times (1.42)}$$

$$= 0.3265$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายโอสุ อัมพวานนท์
เกิดวันที่	20 พฤษภาคม พ.ศ.2521
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์
	- สำเร็จการศึกษาระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2542
	- เข้าศึกษาต่อในระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2343