

การพัฒนาาระบบควบคุมระดับน้ำเพื่อให้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องวัดความดันต่ำ
Development of Water level Control System to be Working Standard
for Calibration of Low Pressure Instrument

ชัชวาล พรพัฒน์กุล¹ และวิภาวรรณ สุขสถิตย์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทรศัพท์ 02-1049099 E-mail: chatchaval@pwt.ac.th

²สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยสารพัดช่างสี่พระยา

474/2 ถนนสี่พระยา แขวงมหาพฤฒาราม เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500 โทรศัพท์ 02-2361245 E-mail: Suksathid@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังเปิด ให้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องวัดความดันต่ำ เพื่อสะดวกและประหยัดต่อการสอบเทียบเครื่องวัดความดันต่ำ โดยวิธีการทดสอบสองของกระบวนการ และทำการควบคุมระดับน้ำด้วยการควบคุมแบบ พี-ไอ ทำให้ลดการกระเพื่อมของระดับน้ำได้ จากการปรับปรุงกระบวนการ การไหลเข้าของน้ำ ผลปรากฏว่าลดการกระเพื่อมของน้ำลงไปได้ถึงร้อยละ 70 เป็นผลทำให้ค่าความดันที่เกิดขึ้นที่ก้นถังมีความไม่แน่นอนของขยายอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับงานสอบเทียบเครื่องวัดความดันตามมาตรฐาน DAkKS-DKD-R 6-1 โดยมีค่าความผิดพลาดที่ความดันสูงสุดอยู่ที่ +0.07 kPa และมีค่าความไม่แน่นอนขยาย ±0.14 kPa ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของการสอบเทียบความดันในระดับมาตรฐานการใช้งาน

คำสำคัญ : การสอบเทียบเครื่องวัดความดันต่ำ, ความไม่แน่นอนขยาย, การควบคุมกระบวนการระดับน้ำ

Abstract

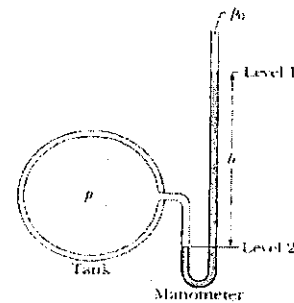
This paper presents a development of the water level in the open tank control system to be the low pressure working standard for calibration of low pressure instrument. So the convenient and economical to low pressure instrument calibration by reaction curve method of process system. And to control water level with P-I algorithm reduces the ripple of the water level. According to the influx of water process improvement, the ripple of water reduces 70 percent that makes the pressure at the bottom of the tank with in steady state. The expanded uncertainty remained acceptable for the pressure instrument calibration by guideline of pressure calibration DAkKS-DKD-R 6-1. The error value is the +0.07Pa at maximum pressure and the expanded uncertainty is ± 0.14 Pa, which be in accordance with the working standard of the pressure instrument calibration.

keywords : pressure instrument calibration, expanded uncertainty, level process control

1. บทนำ

สำหรับบทความนี้ยังคงใช้กระบวนการเดิม มีการปรับปรุงท่อ น้ำเข้าถังกระบวนการใหม่ และเปลี่ยนวิธีการควบคุมจาก ultimate sensitivity มาเป็นแบบ reaction curve และทำการควบคุมด้วย P-I algorithm แทนแบบเดิม และใช้โปรแกรมเดิมคือ ใช้โปรแกรม Syscon ในการสร้างฟังก์ชันต่าง ๆ ที่จะใช้ในการควบคุม และ โปรแกรม Intouch Runtime [1] เพื่อสร้างรูปภาพกราฟฟิคใช้แสดงผลการควบคุมที่หน้าจอแสดงผล เพื่อทำการควบคุมระดับของน้ำในถังเปิดให้อยู่ในระดับตามที่ต้องการเพื่อสร้างความดันมาตรฐานขึ้นที่ก้นถังสำหรับการสอบเทียบเครื่องวัดความดันต่ำตามมาตรฐาน DAkKS-DKD-R 6-1 [2] การสื่อสารระหว่างระบบควบคุม เครื่องวัดความดันแตกต่าง และวาล์วควบคุม เป็นแบบระบบดิจิทัล พัลส์บัส [3]

1.1 ความดันที่เกิดจากของเหลว



รูปที่ 1 ความดันที่เกิดจากระดับความสูงของของเหลว

$$P = \rho_f \cdot g_f \cdot h \text{ pascal(Pa)} \quad (1)$$

P = ความดันที่เกิดจากของเหลว มีหน่วยเป็น Pascal ; Pa

ρ_f = ความหนาแน่นของน้ำ (H₂O) : $\rho_f = 1,000 \text{ kg/m}^3$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceeding of The 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

g_l = แรงโน้มถ่วงของโลก ณ สถานีเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร คำนวณจากสมการของ International Association of Geodesy (IAG) เป็นวิธีการที่ให้ค่าความถูกต้อง แม่นยำถึง 50 ppm (part per million : $1/10^6$) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม

$$g_{\phi,h} = g_{0,0} (1 + \beta_1 \sin^2 \phi - \beta_2 \sin^2 2\phi) - 3.086 \times 10^{-6} h \quad (2)$$

โดยที่

$g_{\phi,h}$ คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการคำนวณที่ latitude ϕ และความสูง h , (ณ อาคารสมโชค สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน)

$g_{0,0}$ คือค่าความเร่งที่จากการคำนวณที่เส้นศูนย์สูตรของโลกและระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง 9.7803184 m/s^2

h คือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง ; m

β_1 คือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.0053024

β_2 คือค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.0000059

พิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ค่า Latitude ϕ เท่ากับ $13^\circ 44' 50'' \text{ N} = 13 + (44/60) + (50/60 \times 60) = 13.74721888^\circ \text{ N}$

โดยที่ $1^\circ = 60'$; $1' = 60''$

ค่า Longitude $100^\circ 31' 31''$ ตะวันออก แต่ค่านี้ไม่มีผลกระทบต่อแรงโน้มถ่วงของโลกจึงไม่ต้องนำมาคำนวณ

ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยปานกลาง $h = 2 \text{ m}$ แทนค่าต่างๆในสมการ (2) จะได้ค่า local gravity ณ อาคารสมโชค สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ดังนี้

$$g_{13.72} = 9.7803184 \left(\begin{matrix} 1 + 0.0053024 \sin^2 13.747218 \\ -0.0000059 \sin^2 27.494436 \end{matrix} \right) - 3.086 \times 10^{-6} \times 2$$

$$= 9.783228 \text{ m/s}^2$$

h = ความสูงของถังกระบวนการ 1.0 เมตร

ความดันมาตรฐานของระบบควบคุมระดับน้ำสามารถผลิตความดันมาตรฐานสูงสุดคำนวณจากสมการที่ 1 ดังนี้

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.783228 \text{ m/s}^2 \times 1.0 \text{ m} = 9.783228 \text{ kPa}$$

1.2 ความสำคัญในการสอบเทียบเครื่องวัดความดัน

การสอบเทียบมาตรฐาน หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดกับมาตรฐานการวัดที่รู้ค่าความถูกต้องเพื่อหาข้อผิดพลาด ปรับแต่งให้ได้มาตรฐานและรายงานค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดนั้น การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดเป็นการปฏิบัติเพื่อสร้างให้เกิดความมั่นใจในการทำงานของเครื่องวัดว่า เครื่องวัดนั้นๆ ยังสามารถทำงานได้ตามคุณลักษณะที่ถูกออกแบบไว้และมีความเชื่อถือได้ การที่เราเชื่อว่าการวัดที่ได้จากเครื่องวัดจะมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ทุกครั้งนั้น เป็นสิ่งที่การใช้วิจารณญาณเกินอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะเครื่องวัดที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถคงสภาพการทำงานได้เหมือนเดิมตลอดไปตามกฎของธรรมชาติที่วัตถุทุกสิ่งในโลกนี้ต้องเสื่อมสภาพไปตามเวลาโดยไม่มีข้อยกเว้น เครื่องวัดเองก็หนีไม่พ้นกฎของธรรมชาติที่มีการเสื่อมสภาพ

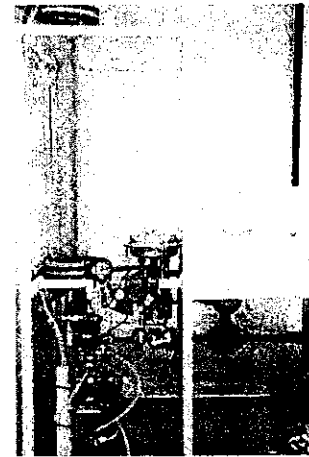
ไปตามเวลาและปัจจัยต่างๆ ดังนั้นทำอย่างไรเราจึงจะสร้างความเชื่อมั่นให้ได้ว่า ทุกครั้งที่เราทำการวัดสามารถมั่นใจในผลการวัดได้ในระดับที่พอใจ “เครื่องวัดที่ไม่ได้รับการสอบเทียบ คือ เครื่องวัดที่เสี่ยงในการใช้และยังไม่ใช่เครื่องวัดที่ไวใจได้”

การสอบเทียบเป็นส่วนสำคัญของระบบการวัดและความคุมในอุตสาหกรรม และด้วยความที่เป็นจริงแล้วการสอบเทียบเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการวัดและควบคุมกระบวนการผลิต การสอบเทียบจะต้องกระทำเป็นประจำทุกระยะเวลาหนึ่งๆ (ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของเครื่องมือ) และต้องมีมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบ ดังนั้นการสอบเทียบจากกล่าวได้ง่ายๆ ว่าเป็นการเปรียบเทียบค่าแสดงของเครื่องวัดที่ใช้งาน (Unit Under Calibration : UUC) ในบทความนี้ระบบควบคุมระดับน้ำจะเป็น UUC กับค่ามาตรฐานอ้างอิง ในที่นี้จะใช้ digital pressure standard gauge (STD)

2. ระบบควบคุมและการสอบเทียบ

2.1 ระบบควบคุมระดับน้ำในถังเปิด

ระบบควบคุมระดับน้ำที่ใช้กันในระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 โปรเซสสวิตเซอร์มันท์ของระบบควบคุมระดับน้ำ

เมื่อ

$F_{i,c}$: control inlet liquid flow rate

$F_{i,u}$: independent inlet liquid flow rate

$F_{o,u}$: outlet liquid flow rate

h : height of liquid level in process tank

d : distance between control valve and process tank

R : resistance of liquid flow

จะให้ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำขาออกดังนี้

$$F_{o,u} = \frac{h}{R} \quad (5)$$

ระบบควบคุมระดับน้ำจะต้องทำให้อัตราการไหลขาเข้าเท่ากับอัตราการไหลขาออก (mass balance) จะได้ว่า

$$A \frac{dh}{dt} = F_i + F_d - F_o = F_i + F_d - \frac{h}{R}$$

$$A \frac{dh}{dt} + \frac{h}{R} = F_i + F_d$$

$$AR \frac{dh}{dt} + h = RF_i + RF_d$$

เมื่อกำหนดให้

- A : cross sectional area of the tank
- F_{is} : dependent inlet liquid flow rate at steady state
- F_{ds} : independent inlet liquid flow rate at steady state
- h_s : height of liquid level in process tank at steady state

$$AR \frac{dh}{dt} + h_s = RF_{is} + RF_{ds} \quad (5)$$

เมื่อ $\frac{dh_s}{dt} = 0$, (4)-(5) จะได้

$$AR \frac{d(h-h_s)}{dt} + (h-h_s) = R(F_i - F_{is}) + R(F_d - F_{ds}) \quad (6)$$

ถ้ากำหนดให้

- h = h - h_s
- f_i = F_i - F_{is}
- f_d = F_d - F_{ds}

แทนค่าลงในสมการที่ (6)

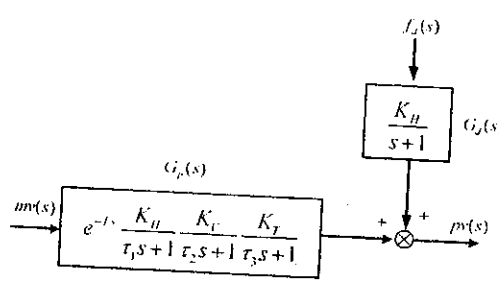
$$AR \frac{dh}{dt} + h = Rf_i + Rf_d$$

$$h(s) = \frac{K_h}{\tau_1 s + 1} f_i(s) + \frac{K_h}{\tau_2 s + 1} f_d(s)$$

$$f_i(s) \approx \frac{K_v}{\tau_2 s + 1} e^{-Ls} mv(s) ; L \approx \frac{D}{F_i}$$

$$pv(s) \approx \frac{K_r}{\tau_3 s + 1} h(s)$$

$$pv(s) = \left(\frac{K_H}{\tau_1 s + 1} \right) \left(\frac{K_r}{\tau_2 s + 1} \right) \left(\frac{K_v}{\tau_3 s + 1} \right) e^{-Ls} mv(s) + \frac{K_H}{\tau_1 s + 1} f_d(s)$$



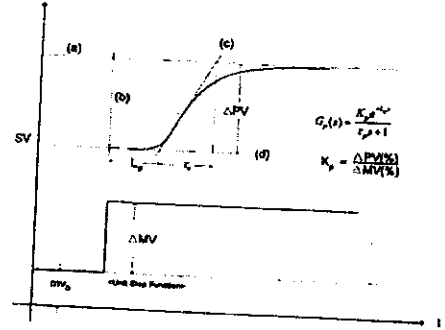
รูปที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการระดับน้ำ

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปที่ 3 สามารถหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน G_p(s) ได้ในรูปแบบของ first order plus dead time ดังนี้

$$G_p(s) = \left(\frac{K_H}{\tau_1 s + 1} \right) \left(\frac{K_r}{\tau_2 s + 1} \right) \left(\frac{K_v}{\tau_3 s + 1} \right) e^{-Ls} \approx \frac{K_p e^{-Ls}}{\tau_p s + 1} \quad (7)$$

เมื่อกำหนดให้

- K_p : process dynamic gain
- L_p : effective process dead time (sec)
- τ_p : effective process time constant (sec)



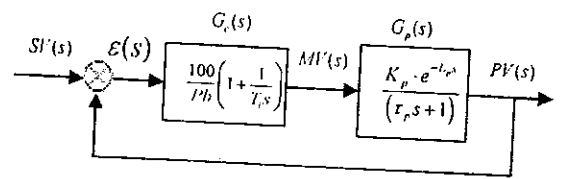
รูปที่ 4 reaction curve ของกระบวนการระดับน้ำ

เมื่อปรับค่า manipulated variable (MV) จาก 0% ไปที่ตำแหน่ง 50% ในระบบควบคุมแบบ manual mode เพื่อควบคุมระดับน้ำให้คงที่ 20% ของถังกระบวนการ จากนั้นปรับ MV จาก 50% ไปที่ 75% เกิด reaction curve (open-loop response) จะค่อยๆ เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการคือที่ 50% ของถังกระบวนการ ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 หลังจากนั้นเขียนเส้น tangent line ที่มีความสัมพันธ์กับ reaction curve ที่ได้ ผลจากกราฟจะได้ the effective process dead time L_p = 1 วินาที และ the effective process time constant τ_p = 50 วินาที สามารถคำนวณหาค่า process dynamic gain K_p ได้ดังนี้

$$K_p = \frac{\Delta PV(\%)}{\Delta MV(\%)} = \frac{30\%}{25\%} = 1.2 \quad (8)$$

ดังนั้น first-order lag plus dead time ของกระบวนการระดับน้ำมีดังนี้

$$G_p(s) = \frac{K_p \cdot e^{-Ls}}{(\tau_p s + 1)} = \frac{1.2 \cdot e^{-Ls}}{(50s + 1)} \quad (9)$$



รูปที่ 5 ระบบควบคุมระดับน้ำแบบป้อนกลับด้วย PI control

คำนวณหาค่า proportional band (P_o) และ integral time (T_i) จากตาราง Zeigler-Nichols tuning method [4] นำไปป้อนเข้าโปรแกรม Syscon

2.2. การสอบเทียบและผลการทดลอง

สมการการวัดความดัน

$$P_m = (\rho_f - \rho_a) \cdot g_l \cdot h \quad (10)$$

P_m คือ ความดัน ณ ตำแหน่งที่ทำการวัด (Pa)

ρ_f คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ 1000 kg/m³

ρ_a คือ ค่าความหนาแน่นของบรรยากาศ (1.2 kg/m³)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceeding of The 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

G_1 คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ณ ตำแหน่งที่ทำการ
สอบเทียบ 9.783228 m/s²

ตัวอย่างการสอบเทียบค่าความดันที่ตำแหน่ง 100% (h = 1 m)

ตารางที่ 1 ผลการสอบเทียบและค่าความคลาดเคลื่อน ที่ 100%

Pressure Calculation	Pressure Standard	Error
9.783228 kPa	9.72 kPa	+0.07 kPa

คำนวณการประเมินค่าความไม่แน่นอน (Source of Uncertainties) [5]

1) The uncertainty of digital standard gauge

ความไม่แน่นอนของ digital standard gauge กำหนดให้เป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal distribution) ในที่นี้ดูจากใบรับรองการสอบเทียบ No. 22/12 ที่ความดันแก๊ส 30 kPa ค่าความไม่แน่นอนขยาย 0.01 kPa ที่ความเชื่อมั่นประมาณ 95%

$$u_{stm} = \frac{0.01 kPa}{2} = 0.005 kPa$$

2) The acceleration due to gravity

ความไม่แน่นอนค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ณ จุดวัด กำหนดให้มีค่า 50 ppm กำหนดให้เป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular distribution)

$$u(g) = 9.783228 \times 50 \times 10^{-6} = 0.00048 m/s^2$$

$$u_g = \frac{9.783228 kPa \times 0.00048 m/s^2}{9.783228 m/s^2 \times \sqrt{3}} = 0.00027 kPa$$

3) The uncertainty of density difference : จากมาตรฐานของ EA10/03 กำหนดให้

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 20°C, 1 bar = 1.2 kg/m³ ± 5% = 1.2 × 5/100 = 0.06 Kg/m³

ρ_f = ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 kg/m³ ± 10% = 100 kg/m³

$$u_{\rho} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \sqrt{u(\rho_a)^2 + u(\rho_f)^2} \times g \times \Delta h = 0.06766 kPa$$

4) The uncertainty of Resolution : ความไม่แน่นอนของความละเอียดในการอ่านค่าของ STD

$$u_{res} = \frac{resolution}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1 kPa}{2\sqrt{3}} = 0.0288 kPa$$

5) The uncertainty of hysteresis

$$u_{hys} = \frac{1 \times \{ [(x_{2,j} - x_{1,u}) - (x_{1,j} - x_{1,u})] + [(x_{1,j} - x_{1,u}) - (x_{2,j} - x_{1,u})] \}}{n \times 2\sqrt{3}}$$

$$u_{hys} = 0.056619 kPa$$

6) The uncertainty of repeatability

$$u_{(up,r)} = \frac{[(x_{3,j} - x_{1,u}) - (x_{1,j} - x_{1,u})]}{2\sqrt{3}} \approx 0 kPa$$

$$u_{(down,r)} = \frac{[(x_{1,j} - x_{1,u}) - (x_{2,j} - x_{1,u})]}{2\sqrt{3}} \approx 0 kPa$$

7) The combined uncertainty

$$u_c = \sqrt{u_{stm}^2 + u_g^2 + u_{\rho}^2 + u_{res}^2 + u_{hys}^2 + u_{(up,r)}^2 + u_{(down,r)}^2} = 0.07 kPa$$

8) The expanded uncertainty

DAkks-DKD-R 6-1 กำหนดค่า coverage factor : K = 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = 2 \times u_c = 2 \times 0.07 kPa = 0.14 kPa$$

3. สรุป

บทความนี้ได้ศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมระดับน้ำ ให้ความน่าเชื่อถือมากขึ้นโดยใช้การควบคุมแบบดิจิทัลด้วยการสื่อสารแบบฟิลด์บัส ในการสร้างความดันมาตรฐานขึ้นที่กั้นถังกระบวนการและทำการทดสอบความดันมาตรฐานที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน DAkks-DKD-R 6-1 ผลปรากฏว่าความดันที่เกิดขึ้นมีความเสถียรอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้เป็นความดันมาตรฐานได้ โดยมีค่าความผิดพลาดที่ความดันสูงสุดอยู่ที่ +0.07 kPa และมีค่าความไม่แน่นอนขยาย ±0.14 kPa สำหรับนำไปเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องวัดความดันได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

4. กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากศูนย์บริการวิชาการและสอบเทียบ สำนักวิจัยและบริการวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัชวาล พรพัฒน์กุล และ ชัชชัย จิตต์สนธิ, "การควบคุมระดับและอัตราการไหลของน้ำแบบ cascade ด้วยระบบสื่อสารแบบฟิลด์บัส", ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5 วันที่ 27-29 มีนาคม 2556
- [2] Deutscher Kalibriedienst DAkks-DKD-R 6-1, Kalibrierung von druckmeferaten, Pressure gauge calibration, March 2012.
- [3] Yokogawa Electric Corporation, "Fieldbus Instrumentation system". Second Edition, Japan 2007.
- [4] J. G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controller," ASME Trans., Vol. 64, 1942.
- [5] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), First Edition, ISBN 92-67-10188-9, 1995.

ประวัติผู้เขียนบทความ



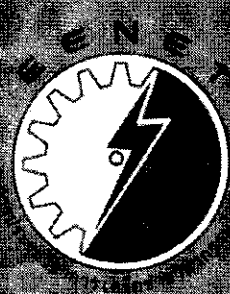
ผศ. ชัชวาล พรพัฒน์กุล วศ.ม.

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมงานวิจัยที่สนใจ Metrology & Calibration



ดร. วิทawat รณ สุขสดีชัย กศ.ด.

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์งานวิจัยที่สนใจ การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **คลอง ๖**

Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference
ซึ่งทางเราจัดขึ้นเพื่อส่งเสริม สนับสนุนให้อิทธิพลเครือข่ายทำงาน
Technology Research Innovation for Responding
to the Energy Network of AEC

Volume II

- อิทธิพลของเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT)
- เทคโนโลยีพลังงานทดแทน (RE)
- คอมพิวเตอร์ประยุกต์กับวิศวกรรม (CP)
- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT)
- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗
ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **คลอง ๖**
จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **คลอง ๖**

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนเดชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิมเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโค	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศิริรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมพรยากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ อำพวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐราชินดาเพ็ชร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมาภรณ์ อารีภัยกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำริง อินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จารุมิตร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ครองกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุนหนเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สาตะรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิทย์ บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณพล ป้อมสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เฉลขธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำนำน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำแสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา ยืนยงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญู ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคยา คล้ายเรือ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ โสทรโยม	มหาวิทยาลัยสยาม

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ดัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรวิชัย ทางรัตน์สุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริชัย แดงเอม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทง ถานธารทอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชญ์ คาราทพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุกัญญา เนตรโพธิ์แก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สรวุฑ ทองกุลภักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมพล เรืองพัฒน์วิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วารุณี กรุดพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันธุ์พงษ์ อภิชาติกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสุทธิ์ พงษ์พฤกษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์
อาจารย์ ดร. วุฑฒิ วิชกุล
อาจารย์ ดร. ณัฐภัทร พันธุ์คง
อาจารย์ ดร. ณัฏราชย์ สุภพิทักษ์สกุล
อาจารย์ ดร. พศุขณ นันทนาวงศา
อาจารย์ ดร. ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ
อาจารย์ ดร. กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล
อาจารย์ ดร. วิเชียร อุแป้ว
อาจารย์ ดร. สุริยา แก้วอาษา
อาจารย์ ดร. กฤตยา สมสัย
อาจารย์ ดร. พรเทพ ปัญญาแก้ว
อาจารย์ ดร. พิชัย อยู่เปล้า
อาจารย์ ดร. นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ
อาจารย์ ดร. เมธา ทศกร
อาจารย์ ดร. นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์
อาจารย์ ดร. สันหวังน ทองแดง
อาจารย์ ดร. เสกสรร พลสุวรรณ
อาจารย์ ดร. ณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
อาจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ
อาจารย์ ดร. พนา คูสีตากร
อาจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ เดชทุ่ง
อาจารย์ ดร. พสิษฐ์ สุวรรณกิจการ
อาจารย์ ดร. ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์
อาจารย์ ดร. อุมารินทร์ แสงพานิช
อาจารย์ ดร. ชาณูณรงค์ บาลมงคล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์ ดร.ศรีสุดา ไชยทองสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พินิจ ศรีธีร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.มงคล คูพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ประสพโชค ให้อทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมคุดยกกน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เขยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.นพพร พัชรประกิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.บุพดี หัดถสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.สุบงกช โตไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.อนนท นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จัดจตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ กงรัตนประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.สายชล ชุตเชื้อจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.นิริวัฒน์ ชุตกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พริ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ชยานันท์ บุญสนิท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุวิทย์ อัจริยะเมต	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.อรธ พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
อาจารย์พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิติพงศ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมยศ สันติมาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์มนัส บุญเทียรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์พูนศรี วรรณการ
อาจารย์เวทรินทร์ รัชฎีประเสริฐ
อาจารย์สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ
อาจารย์จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล
อาจารย์อดิศักดิ์ วิจารณ์กรม
อาจารย์ธนาวัฒน์ ตันมณีประเสริฐ
อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร
อาจารย์อภิชา ทองรักษ์
อาจารย์นิลमित นิลาส
อาจารย์พัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร
อาจารย์มาลียา ตั้งจิตเจษฎา
อาจารย์ธานี สมวงศ์
อาจารย์ปฎิวัติ บุญมา
อาจารย์อานนท์ พ่วงชิงงาม
อาจารย์วิสุทธิ์ ตันติรุ่งเรือง
อาจารย์ชูศักดิ์ กมลขันดิสร
อาจารย์บุญช่วย เจริญผล
อาจารย์เอกพล อนุสุเรนทร์
อาจารย์วินัย เมธาวิทิต
อาจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข
อาจารย์มงคล ดำนำรุ่งตระกูล
อาจารย์อดิศักดิ์ แข็งสารกิจ
อาจารย์โสภา แซ่เฮ้ง
อาจารย์ศิสพล ฉ่ำฉ่ำยกุล
อาจารย์กาญจน์ญา พานิชเจริญ
อาจารย์ปกรณ์ ฟูไเราะ
อาจารย์ชาญยุทธ อุบายโกศล
อาจารย์พีรวัฒน์ มีสุข
อาจารย์อภาพล มหาวีระ
อาจารย์นิกร แสงงาม
อาจารย์คนโท ปานทองคำ
อาจารย์อัมพร บุญราม
อาจารย์พิทักษ์ สถิตวารธนะ
อาจารย์กจติ มินา
อาจารย์ชลัช สัตยรักษ์
อาจารย์ธีรพงษ์ นิยมเพชร
อาจารย์ภราดร เรื่องกุล
อาจารย์สายัณห์ ละอองโชค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์