

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะเริ่มต้นที่มีต่อโครงสร้างการไหลของเจ็ทร้อนที่หมุนควงในกระแสมขวง โดยการใช้ Tab รูปสามเหลี่ยมซึ่งมีขนาดพื้นที่ประมาณ 3% ของพื้นที่ปากเจ็ท วางบนขอบปากเจ็ทและเลื่อนไปโดยรอบ 8 ตำแหน่ง ทั้งนี้ได้ทำการทดลองที่ค่าอัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล ( $r$ ) คงที่ประมาณ 4.0 ทั้งในกรณีที่เจ็ทมีการหมุนควงที่ค่า Swirl ratio ( $Sr$ ) ประมาณ 0.52 และในกรณีที่เจ็ทไม่มีการหมุนควง โดยมีค่า Reynolds number ของเจ็ท ( $Re_j = \bar{u}_j d / \nu$ ) ประมาณ 14,000 และ Reynolds number ของกระแสมขวง ( $Re_{cf} = \bar{u}_{cf} d / \nu$ ) ประมาณ 4,000 ส่วนค่า Densimetric Froude number ( $Fr$ ) ประมาณ 0.1 ทั้งนี้ในการทดลองจะให้ความร้อนกับเจ็ทอากาศจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของกระแสมขวงประมาณ  $50^\circ\text{C}$  และวัดอุณหภูมิเป็นหน้าตัด (Crossplane) ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสมขวง ตามแนว Downstream ( $x$ ) 3 หน้าตัด ( $x/rd = 0.25, 0.5$  และ  $1.0$ )

#### 5.1 กรณีเจ็ทไม่หมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ

##### 5.1.1 ผลของ Tab ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ในกรณีที่ติด Tab ด้านข้างในทุกกรณี (Sr0-P(S),PW(SW),PL(SL)) พบว่า จะทำให้รูปร่างของเจ็ทไม่สมมาตร Lobe ด้านที่ติด Tab จะมีอุณหภูมิโดยรวมต่ำกว่าและขอบด้านล่างจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า Lobe ด้านที่ไม่ติด Tab ซึ่งจะมีอุณหภูมิโดยรวมสูงกว่าและขอบด้านล่างจะอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่า (รูปที่ 3.8ก-ข)

ผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เป็นแบบแผนอย่างเด่นชัดในกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงนี้ กล่าวคือ Lobe ด้านที่ติด Tab จะมีอุณหภูมิโดยรวมต่ำกว่าและจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า Lobe ด้านที่ไม่ติด Tab จะสอดคล้องกับข้อสันนิษฐานสำหรับกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงว่า

Tab ในด้านใดๆ จะมีผลทำให้เกิด Tab Shear Layer ในด้านนั้นๆ ซึ่งสามารถดึงเอา (Entrain) Crossflow เข้ามาผสม และผลของ Tab และ Tab Shear Layer ที่เกิดขึ้นในด้านนั้น จะสามารถ Penetrate ลึกเข้าไปในบริเวณแกนกลางของเจ็ทที่มีอุณหภูมิสูง จึงทำให้ Core ที่มีอุณหภูมิสูง ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ในด้านนั้นสลายตัวเร็วกว่าด้านอื่นๆ หรืออีกนัยหนึ่ง Lobe ของเจ็ทในด้านนั้นจึงมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าและอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า (รูปที่ 3.14ก-ข)

ส่วนในด้านที่ไม่มีการติด Tab แกนกลางของเจ็ทที่มีอุณหภูมิและโมเมนตัมตามแนวแกน  $y$  สูงจะไม่ถูกรบกวนจาก Tab Shear Layer มากนัก ทำให้แกนกลางของเจ็ทในด้านนี้ยังคงมี

อุณหภูมิและโมเมนต์ตามแนวแกน  $y$  สูงอยู่ ดังแสดงโดยประมาณได้จากบริเวณ Core ของเจ็ทที่มีอุณหภูมิสูง ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ Core ในด้านนี้สลายตัวโดยการสูญเสียอุณหภูมิ (พลังงานความร้อน) และโมเมนต์ตามแนวแกน  $y$  ช้ากว่าด้านที่ติด Tab อีกนัยหนึ่ง Lobe ของเจ็ทในด้านนี้จึงมีอุณหภูมิที่สูงกว่าและอยู่ในตำแหน่งตามแนวแกน  $y$  ที่สูงกว่า

ผลการทดลองจึงชี้แนะว่าบริเวณ Core ของเจ็ทที่มีอุณหภูมิสูง ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) โดยเฉพาะในหน้าตัดแรก ( $x/rd = 0.25$ ) จะสอดคล้องโดยประมาณกับบริเวณแกนกลางของเจ็ทร้อนที่ยังคงมีอุณหภูมิและโมเมนต์ตามแนวแกน  $y$  ค่อนข้างสูง

โดยเฉพาะ Core ของเจ็ทกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง PW(SW) จะมีขนาดเล็กลงมากกว่ากรณีอื่นๆ ทั้งหมดในทั้งสามหน้าตัดตามแนว Downstream ประเด็นนี้บ่งชี้ว่าผลของ Tab ที่ตำแหน่งนี้นั้นสามารถ Penetrate ลึกเข้าไปในแกนกลางของเจ็ทที่มีอุณหภูมิสูงได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ

ในส่วนของ Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) (รูปที่ 3.14ค-ง) และ Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) (รูปที่ 3.14จ-ฉ) พบว่ากรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง W,L, P(S) และ PL(SL) นั้นรูปร่างของ Body และ Boundary ยังคงมีรูปร่างเป็นรูปไตและคล้ายกับกรณีไม่ติด Tab (Sr0) อย่างไรก็ตามกรณีติด Tab ที่ตำแหน่งด้านข้าง (P(S) และ PL(SL)) พบว่ารูปร่างของ Body และ Boundary จะมีความไม่สมมาตรมากขึ้น โดย Lobe ของ Body และ Boundary ด้านที่ติด Tab จะอยู่ต่ำกว่าด้านที่ไม่ติด Tab

ในขณะที่กรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง  $\pm 45^\circ$  ด้าน Windward (PW(SW)) นั้น พบว่ารูปร่างของ Body แตกต่างจากกรณีไม่ติด Tab (Sr0) และกรณีอื่นๆ อย่างมาก โดยในกรณีนี้รูปร่างของ Body จะคล้ายจุลภาคในหน้าตัดแรก และมีการพัฒนาตัวต่อไปตามแนว Downstream โดยส่วนหางของจุลภาคก็ขยายตัวไปในหน้าตัดสุดท้าย เช่นนี้ ทำให้การพัฒนาตัวของ Body ในกรณีนี้ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตลอดแนวการพัฒนาตัว และการที่ส่วนหางของจุลภาคก็ขยายตัวไปนั้น ยังชี้แนะว่าบริเวณหางของจุลภาคนี้น่าจะเป็นบริเวณที่มีกิจกรรมพลวัต (Dynamic activity) ในการไหลสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

การที่ Body มีการพัฒนาตัวโดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างมากและอย่างต่อเนื่องจากหน้าตัดแรกไปจนถึงหน้าตัดที่สาม บ่งชี้ว่า Flow ในบริเวณ Body ในช่วงการไหลนี้ยังไม่เข้าสู่ Dynamic equilibrium (ไม่มี Similarity) ซึ่งเป็นเครื่องชี้แนะว่าผลของการรบกวนของ Tab ยังคงอยู่ (ยังไม่สลายตัว) จนถึงหน้าตัดที่สาม แตกต่างจากกรณีอื่นๆ ที่รูปร่างของ Body ประมาณเหมือนเดิมตลอดทั้งสามหน้าตัดซึ่งชี้แนะว่าผลของ Tab โดยเปรียบเทียบน่าจะหายไปมากแล้ว และ Flow เข้าใกล้สู่ Dynamic equilibrium

ส่วนรูปร่างของ Boundary ของกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง PW(SW) นี้พบว่า แตกต่างจากกรณีไม่ติด Tab (Sr0) เป็นอย่างมาก กล่าวคือแทนที่จะมีรูปร่างคล้ายรูปไต กลับมีรูปร่างคล้ายจุลภาค ในด้านการพัฒนาตัวของ Boundary ในกรณีนี้จะแตกต่างจากการพัฒนาตัวของ Core และ Body ในกรณีเดียวกัน กล่าวคือการพัฒนาตัวของ Boundary มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่าของ Core และ Body

### 5.1.2 ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างของเจ็ท

เมื่อวาง Tab บนตำแหน่ง W และ L (รูปที่ 3.12ก) พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียสจะเปลี่ยนแปลงจาก Kidney-Shape ในกรณี Sr0 เป็น Symmetric, Deformed Kidney Shape โดยเกิดการยืดตัวตามแนว Spanwise (z) สำหรับกรณี Sr0-W และยืดตัวตามแนว Traverse (y) สำหรับกรณี Sr0-L โดยโครงสร้างยังคงคล้ายรูปไตและยังคงมีความสมมาตรอยู่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างนี้ได้ชี้แนะถึงผลของ Tab ต่อการเปลี่ยนแปลง Mean Velocity Field (MVF) ในลักษณะที่ทำให้เกิด Deformation ในลักษณะยืดตัว (Stretching) ตามแนวดังกล่าว

เมื่อวาง Tab บนตำแหน่ง PW(SW) (รูปที่ 3.12ก) พบว่า การกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียสจะเปลี่ยนแปลงจาก Kidney-Shape ในกรณี Sr0 เป็น Asymmetric, Deformed Kidney Shape โดยเกิดการยืดตัวออกตามแนว  $45^\circ$  (CW(CCW)) จากแกน y ทำให้โครงสร้างเสียความสมมาตรและกลับมีรูปร่างคล้ายเครื่องหมายจุลภาคตั้งกลับข้างในทุกหน้าตัด ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างนี้ได้ชี้แนะถึงผลของ Tab ต่อการเปลี่ยนแปลง Mean Velocity Field (MVF) ในลักษณะที่ทำให้เกิด Deformation ในลักษณะยืดตัว (Stretching) ตามแนวดังกล่าวเช่นเดียวกับกรณี Sr0-W และ Sr0-L

### 5.1.3 ความไวของโครงสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง Tab

จากการสังเกตติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการไหลของเจ็ท อันเนื่องมาจากการเลื่อนตำแหน่งที่ติด Tab ไปโดยรอบปากเจ็ท ทำให้พบว่าโครงสร้างของเจ็ทจะมีความไวมากต่อตำแหน่งของ Tab ซึ่งติดบริเวณ P(S)→W (Quadrant 1 และ 2) ของขอบปากเจ็ท ซึ่งเป็นด้านที่เจ็ทปะทะกระแสลมขวาง (Windward) โดยเฉพาะจากกรณีติด Tab บริเวณ PW นั้นโครงสร้างของเจ็ทดูเหมือนว่าจะมีความไวต่อตำแหน่งของ Tab มากที่สุด ในขณะที่โครงสร้างของเจ็ทจะมีความไวน้อยต่อตำแหน่งของ Tab ซึ่งติดบริเวณ P(S)→L (Quadrant 3 และ 4) ซึ่งเป็นด้านใต้ลม (Leeward)

### 5.1.4 กลไกการเกิด CVP

นอกจากนั้น ผลของการวาง Tab ที่ตำแหน่ง PW(SW) นี้ จะมีข้อสังเกตที่สำคัญคือ Tab ที่ตำแหน่ง PW(SW) นี้จะมีผลต่อโครงสร้างโดยรวมของเจ็ทและส่วนของ Core, Body และ Boundary อย่างมากและแบบค่อนข้างถาวร (Permanent) แตกต่างจากกรณีอื่นๆในกรณีเจ็ทไม่หมุนควง กล่าวคือ แม้เจ็ทจะมีการพัฒนาตัวมาถึงหน้าตัดสุดท้ายที่ทำการวัด ( $x/r_d = 1$ ) ซึ่งเปรียบเทียบได้ว่าอยู่ในบริเวณ Far Field ของกรณี Sr0 แล้วก็ตาม รูปร่างของเจ็ทก็ยังคงเป็นรูปจตุภาค ไม่กลับคืนมาเป็นรูปไต (CVP) คล้ายกับกรณีไม่ติด Tab ในขณะที่กรณีอื่นๆ (Sr0-P(S),W,L) รูปร่างของเจ็ทกลับคืนมาคล้ายรูปไต เช่นนี้ ชี้แนะให้เห็นว่าบริเวณ P→W (S→W) บนขอบปากเจ็ท น่าจะมีความเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับกลไกการเกิด CVP (ถ้ากลไกเป็น Global Effect) หรืออาจเป็นบริเวณสำคัญบริเวณเดียว (ถ้ากลไกเป็น Local Effect) ที่ให้กำเนิด CVP เลยก็ตาม

## 5.2 กรณีเจ็ทหมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ

### 5.2.1 ผลของ Tab ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ในกรณีติด Tab แบบอยู่กับที่บนตำแหน่งต่างๆ รอบขอบปากเจ็ทที่มีการหมุนควงนั้น สามารถแบ่งกลุ่มของ Tab ตามตำแหน่ง ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างการไหลของเจ็ทได้เป็นสองกลุ่มดังนี้

กลุ่มแรก คือกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง P→W (P, PW และ W) พบว่า Tab จะทำให้โครงสร้างของเจ็ทเปลี่ยนแปลงไปจากโครงสร้างเดิมคือ NZT-SJVS (Non-Zero Tangential Velocity Swirling Jet Vortical Structure) ในกรณีไม่ติด Tab (Sr52) ไปเป็นโครงสร้างรูปร่างอื่น (คล้าย “จตุภาค” ซึ่งวางตัวในแบบต่างๆ (P, PW) และคล้ายอักษร S เอียงไปทางด้าน Pressure (W)) อย่างค่อนข้างถาวร (Permanent) กล่าวคือถึงแม้ว่าเจ็ทจะพัฒนาตัวมาถึงหน้าตัดที่สามแล้วก็ตาม รูปร่างของเจ็ทก็ยังไม่กลับคืนมาคล้ายกับกรณีไม่ติด Tab

ทั้งนี้ มีข้อที่น่าสังเกตเกี่ยวกับการพัฒนาตัวตามแนว Downstream ( $x$ ) ของเจ็ทในกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง P และ PW คือพบว่าเจ็ทมีลักษณะหมุนตามการหมุนของเจ็ทเริ่มต้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า Tab ซึ่งติดที่ตำแหน่งนี้สามารถส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของเจ็ทตามแนวการไหลได้ไกล

และเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของเจ็ทโดยแยกออกเป็นส่วนๆ อย่างสังเขป (Core, Body และ Boundary) จะพบว่ารูปร่าง Core ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) (รูปที่ 3.17ก-ข) มีรูปร่างค่อนข้างจะแตกต่างจากกรณีไม่ติด Tab (Sr52) อีกทั้งยังพบว่ามีความที่เล็กกว่า ชี้แนะว่าผลของ Tab ซึ่งติดที่ตำแหน่งดังกล่าวสามารถ Penetrate เข้าไปในแกนกลางของเจ็ทได้ลึก ทั้งนี้มีข้อที่น่าสังเกตคือจาก

กรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง P→PW จะเกิดการย้ายข้างของ Core จากที่เคยวางตัวและเคลื่อนตัวออกไปทางด้าน Suction จะเปลี่ยนไปเป็นด้าน Pressure ซึ่งบ่งชี้ว่าบริเวณ P→PW นี้โครงสร้างของเจ็ทจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ Tab มาก ในส่วนของ Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) (รูปที่ 3.17ค-ง) และ Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) (รูปที่ 3.17จ-ฉ) นั้นพบว่ามีการรูปร่างและการพัฒนาตัวที่แตกต่างจากกรณีไม่ติด Tab (Sr52) มาก

กลุ่มที่สอง คือกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง SW→PL (SW, S, SL, L และ PL) พบว่า Tab มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเจ็ทบ้างแต่ไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ติด Tab โดยเฉพาะโครงสร้างของเจ็ทโดยรวมจะกลับไปคล้ายกรณีไม่ติด Tab อีกในหน้าตัดสุดท้ายของการวัด

และเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของเจ็ทโดยแยกออกเป็นส่วนๆ (Core, Body และ Boundary) จะพบว่ารูปร่างของ Core มีลักษณะคล้ายกับนำเอารูปร่าง Core กรณีไม่ติด Tab (Sr52) มาหมุนหรือยืดตัวออกตามแนวความโค้งและทิศทางการหมุนของเจ็ทลงมาทางด้าน Suction อีกทั้งมีการพัฒนาตัวที่แผ่ขยายและยกตัวขึ้นตามแนวโค้งคล้ายกรณีไม่ติด Tab (Sr52) ในส่วน Body และ Boundary พบว่ามีการรูปร่างและการพัฒนาตัวที่คล้ายกับกรณีไม่ติด Tab (Sr52) มากกว่ากลุ่มแรกในทุกหน้าตัด

นอกเหนือจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกันในทุกกรณี พบว่าในทุกกรณีจะมีบางส่วนของ Core ซึ่งเป็นบริเวณที่มีขนาดที่มีนัยสำคัญอย่างน้อยอยู่ทางด้าน Suction ยกเว้นกรณี PW และ W ที่บริเวณของ Core ส่วนใหญ่จะอยู่ทางด้าน Pressure เท่านั้น

## 5.2.2 ความไวของโครงสร้างต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง Tab

จากการสังเกตติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการไหล ตามการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งการติด Tab บนขอบเจ็ทไปตามแนวเส้นรอบวง พบว่า โครงสร้างการไหลของเจ็ทที่หมุนควงในกระแสลมขวางจะมีความไว (Sensitive) มากต่อตำแหน่งของ Tab ซึ่งติดบริเวณ P→W (วนตามทิศทางการหมุนของเจ็ทเริ่มต้น) หรืออาจครอบคลุมบริเวณ PL→S (บน Quadrant ที่ 3, 2 และ 1) ซึ่งครอบคลุมด้าน Pressure และ Windward เป็นส่วนใหญ่

## 5.2.3 กลไกการเกิด NZT-SJVS

นอกจากนั้น ผลของการวาง Tab ที่ตำแหน่ง P→W นี้ จะมีข้อสังเกตที่สำคัญ คล้ายกับกรณี PW สำหรับกรณีเจ็ทไม่หมุนควง คือ Tab ที่ตำแหน่ง P→W นี้จะมีผลต่อโครงสร้างโดยรวมของเจ็ท และส่วนของ Core, Body และ Boundary อย่างมากและแบบค่อนข้างถาวรโดยทำให้เจ็ทเปลี่ยนโครงสร้างจาก NZT-SJVS (Non-Zero Tangential Velocity Swirling Jet

Vortical Structure) ในกรณีไม่ติด Tab (SR52-0) มาเป็นโครงสร้างรูปร่างอื่น ในทุกหน้าตัดตลอดการพัฒนาตัวของเจ็ทแม่เจ็ทจะมีการพัฒนาตัวมาถึงหน้าตัดสุดท้ายที่ทำการวัด ( $x/r_d = 1$ ) แล้วก็ตาม โครงสร้างของเจ็ทก็ยังคงเป็นโครงสร้างอื่นไม่กลับคืนมาเป็น NZT-SJVS คล้ายกับกรณีไม่ติด Tab ในขณะที่กรณีอื่นๆ โครงสร้างของเจ็ทจะกลับคืนมาคล้าย NZT-SJVS เช่นนี้ ทำให้สรุปได้ว่ากลไกที่ทำให้เกิด NZT-SJVS นั้นจะมีความไว (Sensitive) ต่อการรบกวน Initial condition บริเวณ  $P \rightarrow W$  บนขอบปากเจ็ท ซึ่งจุดนี้ชี้แนะให้เห็นว่าบริเวณ  $P \rightarrow W$  บนขอบปากเจ็ท น่าจะมีความเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับกลไกการเกิด NZT-SJVS (ถ้ากลไกเป็น Global Effect) หรืออาจเป็นบริเวณสำคัญบริเวณเดียว (ถ้ากลไกเป็น Local Effect) ที่ให้กำเนิด NZT-SJVS เลยก็ตาม

### 5.3 สรุปการเปรียบเทียบผลของกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงกับกรณีที่เจ็ทหมุนควงเมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน

เมื่อเพิ่มการหมุนควงเข้าไปให้กับกรณีติด Tab ที่ตำแหน่ง Sr0-P, PW, W, SW ( $P \rightarrow SW$ ) เป็นกรณี Sr52-P, PW, W, SW ( $P \rightarrow SW$ ) ตามลำดับ แล้วจะพบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจ็ทเป็นอย่างมาก ตลอดการพัฒนาตัวซึ่งอยู่ในช่วง Near field และ Far field

ตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มการหมุนควงให้กับกรณี Sr0-S, SL, L, PL ( $S \rightarrow PL$ ) เป็นกรณี Sr52-S, SL, L, PL ตามลำดับแล้วจะพบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจ็ทที่น้อยกว่ามาก แม้ว่าบริเวณอุณหภูมิสูงของเจ็ทจะถูกหมุนและยึดตัวออกตามแนวความโค้งและทิศทางการหมุนของเจ็ท แต่ที่ขอบเจ็ทอุณหภูมิต่ำยังคงมีความสมมาตรคล้ายกับกรณีที่เจ็ทไม่หมุนควงเมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งเดียวกัน

เมื่อเพิ่มการหมุนควงเข้าไปให้กับกรณี Sr0-SW, S, SL, L, PL, P ( $SW \rightarrow P$ ) เปลี่ยนเป็นกรณี Sr52-SW, S, SL, L, PL, P ( $SW \rightarrow P$ ) ตามลำดับ แล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการไหลที่เสมือนว่ายังคงติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องมาจากส่วนต่างๆ ของเจ็ทมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่สอดคล้องกับทิศทางการหมุนของเจ็ทเริ่มต้น ตรงกันข้ามกับเมื่อเพิ่มการหมุนควงเข้าไปให้กับกรณี Sr0-PW, W ( $PW \rightarrow W$ ) เปลี่ยนเป็นกรณี Sr52-PW, W ( $PW \rightarrow W$ ) ตามลำดับ แล้วพบว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการไหลอย่างมาก จนยากที่จะติดตามความเปลี่ยนแปลงได้

#### 5.4 Skewed Shear Layer และกลไกการเกิดโครงสร้าง CVP และ NZT-SJVS

จากผลการทดลองนี้ที่บ่งชี้ว่า การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเจ็ทในกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควง ในกระแสลมขวางจะมีความไวสูง และมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างค่อนข้างฉับพลันจากโครงสร้างรูปไตมาเป็นโครงสร้างจุลภาคเมื่อติด Tab บริเวณ Lateral-Windward แต่กลับมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้อย เมื่อติด Tab บริเวณด้าน Leeward ซึ่งน่าจะกลไกการเกิดและการพัฒนาโครงสร้าง Counter-Rotating Vortex Pair (CVP) อาจเกี่ยวเนื่องอย่างใกล้ชิดกับการเกิดและการพัฒนา Skewed Shear Layer ที่ขอบปากเจ็ทตามแนวการไหลของ Crossflow รอบปากเจ็ท กลมจากตำแหน่ง Windward มาถึงตำแหน่ง Lateral (ด้านข้าง) มากกว่ากลไก Vortex Ring Model ที่เสนอว่า CVP เกิดจากส่วนของ Vortex Ring ด้าน Leeward นอกจากนี้ ในกรณีเจ็ทที่ไม่หมุนควงในกระแสลมขวาง ผลการทดลองยังชี้แนะในลักษณะเดียวกันต่อการเกิดและการพัฒนาโครงสร้าง NZT-SJVS



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประมวลตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
1	Pratte and Baines (1967)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาเส้นทาง, อัตราการลดลงตามแนวแกน และการขยายตัวของเจ็ท</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วในอุโมงค์ลม</li> <li>ปากเจ็ทอยู่ติดกับแผ่นราบขนาดรัศมี 6 นิ้วตั้งอยู่สูงจากพื้น 8 นิ้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 5, 15, 25, 35</math></li> <li><math>d = 0.158, 0.248</math>, 0.362 นิ้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เส้นทางของความเร็วสามารถยุบรวมเป็นเส้นเดียวกันได้ที่อัตราส่วนความเร็วต่างกันเมื่อลดด้วย rd</li> <li>อัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงของเจ็ทในบริเวณ Vortex zone เป็นค่าคงที่ที่ประมาณ 1.4 ในแต่ละหน้าตัดตามแนวแกน เจ็ท แสดงถึง Similarity</li> <li>ใน Vortex zone อัตราการกระจายจะถูกควบคุมโดย Turbulent mixing และการพาของ Vortex</li> </ul>
2	Kamotani and Greber (1972)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาเส้นทางและคุณลักษณะการผสม</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วและอุณหภูมิในอุโมงค์ลม</li> <li>ปากเจ็ทอยู่ติดกับแผ่นราบซึ่งอยู่สูงจากผนังพื้น 2.5 นิ้วและอยู่ห่างจากขอบด้านบนของแผ่นราบ 2 นิ้ว</li> <li>ใช้ Hot-wire ในการวัดความเร็วและใช้ Thermocouple ในการวัดอุณหภูมิ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_m = \frac{\rho_j u_j^2}{\rho_{cf} u_{cf}^2} = 15.3, 59.6</math></li> <li><math>T_j - T_{cf} = 0, 75, 320 \text{ } ^\circ\text{F}</math></li> <li><math>Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu} = 2800-4200</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>อัตราส่วนโมเมนตัมเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับเส้นทางของความเร็วและอุณหภูมิ</li> <li>อัตราส่วนความหนาแน่นมีผลต่อเส้นทางของอุณหภูมิเล็กน้อยแต่ไม่ผลต่อเส้นทางของความเร็ว</li> <li>เส้นทางของอุณหภูมิอยู่ต่ำกว่าเส้นทางของความเร็วที่อัตราส่วนโมเมนตัมเดียวกัน</li> <li>ปริมาณ Turbulence ของเจ็ทเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโมเมนตัม</li> </ul>

ตารางที่ 1.1 สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา: การศึกษาคุณลักษณะของเจ็ทในกระแสผสมขวาง

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
3	Fric and Roshko (1994)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาโครงสร้างของVortical structure ของเจ็ทในกระแสผสมขวาง</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วในอุโมงค์ลม</li> <li>ใช้ Smoke-wire ในการศึกษารูปแบบของการไหล และใช้ Hot-wire ในการวัดความเร็ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 2-10</math></li> <li><math>Re_j = \frac{u_j d}{\nu} = 7600-11400</math></li> <li><math>Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu} = 3800-11400</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wake vortices เกิดจากการโค้งตัวของ เจ็ท อากาศ ทำให้เกิด Adverse pressure gradient ที่พื้นด้านข้างของเจ็ทและเกิด “Seperation events” ภายในชั้นขอบเขตของผนังที่พื้น และกลายเป็นอย่างสร้างของ Wake ด้านหลังเจ็ท</li> <li>ค่าความถี่ Strouhal ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนความเร็วนั้นสอดคล้องกับความถี่ที่วัดได้จาก “Seperation events”</li> </ul>
4	Kelso et al. (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาโครงสร้างของVortical structure ของเจ็ทในกระแสผสมขวาง</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วในอุโมงค์ลมและอุโมงค์น้ำ</li> <li>ใช้การฉีดสีและ Smoke-wire ในการศึกษารูปแบบของการไหลและใช้ Flying-hotwire ในการวัดความเร็ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r = \frac{u_j}{u_{cf}} = 2-6</math></li> <li><math>Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu} = 440-6200</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CVP เกิดจากการแยกตัวของเจ็ทอากาศภายในท่อนอกจากนี้การโค้งตัวของ Vortex ring เนื่องจากผลของ กระแสลมขวาง และ Vorticity ที่เกิดจากผนังของพื้นต่างเป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการเกิด CVP</li> <li>Wake vortices เกิดจากการแยกตัวของชั้นขอบเขตที่ผนังพื้น</li> </ul>

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
5	Smith and Mungal (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาคุณลักษณะการผสมของเจ็ทในกระแสลมขวาง</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณ Scalar concentration ในอุโมงค์ลม</li> <li>ใช้เทคนิค Planar laser-induced fluorescence (PLIF)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r = \left( \frac{\rho_j u_j^2}{\rho_{cf} u_{cf}^2} \right)^{1/2} = 5 - 25</math></li> <li><math>Re_j = \frac{u_j d}{\nu} = 8400 - 41500</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การลดลงของ Scalar concentration บนระนาบสมมาตรแปรตาม <math>(s/rd)^{-1.3}</math> ในบริเวณ Near field และแปรตาม <math>(s/rd)^{-2.3}</math> ในบริเวณ Far field โดยมีจุดแบ่ง (branch point) อยู่ที่ <math>s = 0.3rd</math> (<math>s</math> คือระยะทางตามแนวแกนเจ็ทบนระนาบสมมาตร)</li> <li>จุดแบ่งดังกล่าวยังพิจารณาได้จากลักษณะการกระจายของ p.d.f. โดยมีลักษณะ Non-marching ที่ Near field และมีลักษณะ Tilted ที่ Far field</li> </ul>
6	Yuan and Street (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษา Trajectory และ Entrainment ของ เจ็ท ใน Cross flow</li> <li>ทำ Simulation โดยศึกษา Scalar concentration</li> <li>ใช้ Large eddy simulation (LES)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r = \frac{u_j}{u_{cf}}, r = 2, 3, 3</math></li> <li><math>Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu}</math></li> <li><math>Re_{cf} = 1050, 2100</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trajectory ของ Center plane บริเวณห่างจากปาก เจ็ท ที่ Velocity ratio ต่างกัน Collapse เป็นเส้นเดียวโดยมีลักษณะเป็น Power law</li> <li>ในบริเวณ Power law การดึง Cross flow fluid เข้าไปในเจ็ท fluid (Entrainment) เป็นกลไกสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเจ็ท ส่วนบริเวณปากเจ็ท (บริเวณ Upstream ของบริเวณ Power law) Pressure drag และ Turbulent intensity จะเป็นกลไกสำคัญ</li> </ul>

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
7	Yuan et al. (1999)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาโครงสร้างของVortical structure บริเวณ Near field</li> <li>ทำ Simulation โดยศึกษาปริมาณเฉลี่ยและ Fluctuation</li> <li>ใช้ Large eddy simulation (LES)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 2, 3.3</math></li> <li><math>Re_{cf} = \frac{u_{cf} d}{\nu} = 1050, 2100</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>พบโครงสร้างของ Vertical structure บริเวณ Near field ได้แก่ Hanging vortices, Spanwise rollers และ Vertical streaks</li> <li>CVP เกิดจากการที่ Hanging vortices ซึ่งเกิดขึ้นจาก Skewed mixing layer ที่ขอบเขตที่ได้รับผลของ Adverse pressure gradient ทำให้เกิดการ Breakdown จนกลายเป็น CVP และพัฒนามาตามเส้นทางของเจ็ท</li> </ul>
8	Lim et al. (2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ทำการทดลองโดยศึกษา Large-scale Structure ของเจ็ทใน กระแสลมขวาง</li> <li>ทำการทดลองโดยใช้เทคนิค Flow Visualization ใช้ dye/alcohol mixture และ Fluorescein disodium dye</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Re = 1600</math></li> <li><math>R_v = 4.6</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Large-scale Structure ของเจ็ทในกระแสลมขวาง ในบริเวณของเจ็ท shear layer vortices เป็นลักษณะของ Loops vortex ซึ่งไม่ได้เกิดจากการหมุนตัวของ Vortex rings แต่ Loops vortex เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Cylindrical vortex sheet หรือ Jet column</li> </ul>

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
1	Zaman and Foss (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของการติดตั้ง Vortex generators แบบ Tab รูปสามเหลี่ยม ซึ่งติดตั้งอยู่บนขอบปากเจ็ทรูปวงกลม โดยปากเจ็ทอยู่ในระดับเดียวกับพื้น Test section</li> <li>ทำการทดลองศึกษาปริมาณความเร็วและ Vorticity ที่หน้าตัดๆ ซึ่งตั้งฉากกับแนวแกน Streamwise โดยใช้ hot-wire anemometer ในการวัด</li> <li>ความเร็ว กระแสลมขวาง , <math>U_T = 6.77</math> , <math>4.18</math> m/s</li> <li>ความเร็วเจ็ท , <math>V_j = 31</math> m/s</li> <li>Tab รูปสามเหลี่ยมซึ่งฐานติดอยู่กับขอบปากเจ็ทมีมุมยอดเท่ากับ <math>90^\circ</math> และระนาบของ Tab เอียงทำมุม <math>45^\circ</math> กับทิศทางการไหลของเจ็ท</li> <li>Tab มี area blockage ratio = 2.8 % ของพื้นที่ปากเจ็ท</li> </ul>	$J = \left( \frac{\rho_j u_j}{\rho_{ef} u_{ef}} \right)^2 = 21.1, 54.4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>การติดตั้ง Tab รูปสามเหลี่ยมด้านหน้าของปากเจ็ท ส่งผลให้ Penetration depth ลดลง เนื่องจากการสันนิษฐานที่ว่าบริเวณด้านหน้าปากเจ็ทมีความดันสถิตย์สูง ประกอบกับบริเวณผนังปากเจ็ทด้านในซึ่งตรงกับตำแหน่งที่ติดตั้ง Tab เป็นบริเวณที่มี Pressure gradient สูงที่เรียกว่า “Pressure hill” อีกด้วย จึงทำให้บริเวณที่ติดตั้ง Tab นี้เป็น Primary source ของ Streamwise vorticity โดย vorticity นี้จะมีทิศทางหักล้างกับ CVP ทำให้ CVP มีกำลังลดลง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ Penetration depth ลดลงตามด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้ง Tab</li> <li>ในขณะที่การติดตั้ง Tab ด้านหลังของปากเจ็ทจะไม่ค่อยส่งผลต่อ Penetration depth เนื่องจากบริเวณพื้นด้านหลังของปากเจ็ทมีความดันสถิตย์ต่ำ จึงไม่ช่วยเสริม Pressure gradient ด้านในปากเจ็ท ดังนั้นจึงส่งผลให้บริเวณดังกล่าว ไม่มี Pressure gradient สูงพอที่จะทำให้เกิด Streamwise vorticity ซึ่งมีกำลังมากพอในการหักล้าง</li> </ul>

ตารางที่ 1.2 สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา : การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อคุณลักษณะของเจ็ทในกระแสลมขวาง

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
2	Kavsaoğlu and Schetz (1989)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลกระทบของ Initial swirl และ High turbulence ที่มีต่อคุณลักษณะการผสมของเจ็ทในกระแสมวลขวาง</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาการกระจายของความดันสถิตยที่พื้นผิว Test section บริเวณรอบปากเจ็ทและความเร็ว ที่ระนาบขวางตรงกลาง ที่วางตัวอยู่ตามแนว Streamwise</li> <li>ใช้ Yaw probe ในการวัดความเร็ว</li> <li>ใช้การฉีดอากาศด้านข้างในการทำให้เกิดการหมุนควง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 2.2, 4, 8</math></li> <li><math>Sr = \frac{w_R}{u_j} = 0.4, 0.58</math></li> <li>Turbulence = 3%, 10-16%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เจ็ทที่มี High turbulence มีผลทำให้ความดันสถิตยที่พื้นผิว Test section บริเวณรอบปากเจ็ทต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และยังลด Penetration ของ เจ็ทลงอีกด้วย</li> <li>เจ็ทที่มี Swirl เพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันสถิตยที่พื้นผิว Test section บริเวณรอบปากเจ็ท มีความไม่สมมาตรเพิ่มขึ้น และจะลด Penetration ของเจ็ท ลงอีกด้วย</li> <li>ผลของ Swirl ดังกล่าวจะชัดเจนเมื่อเจ็ทมีอัตราส่วนความเร็วต่ำ, High turbulence และที่บริเวณใกล้ปากเจ็ท</li> </ul>
3	Niederhaus et.al. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของ Swirl ที่มีต่อคุณลักษณะการผสม</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณ Scalar concentration ในอุโมงค์น้ำ</li> <li>ใช้เทคนิค Planar laser-induced fluorescence (PLIF)</li> <li>ใช้ใบพัดกวาดเจ็ทอากาศเพื่อให้เกิด Swirl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 4.9 - 11.1</math></li> <li><math>Sn = \frac{G_\theta}{G_u R} = 0 - 0.17</math></li> <li><math>Re_j = 1.3 \times 10^4</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ลักษณะของ CVP เปลี่ยนจากรูปร่างสมมาตรในกรณีที่ไม่มี Swirl ไปเป็นลักษณะที่ Vortex ด้านหนึ่งมีขนาดโตกว่าอีกด้านหนึ่ง ทำให้รูปร่างของ CVP เปลี่ยนจากรูป Kidney เป็นรูป Comma</li> <li>เจ็ทที่มี Swirl ทำให้ Penetration ลดลงเล็กน้อย และ ไม่มีผลต่อการลดลงของ Maximum mean concentration ของเจ็ท ในช่วงที่ทดลอง</li> </ul>

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
4	Yoshizako et.al. (1991)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผล Swirl ที่มีต่อเจ็ทในกระแสลมขวาง ในอุโมงค์น้ำ</li> <li>ทดลองหา Velocity vector และ Concentration profile ของ Swirling เจ็ท โดยใช้เทคนิค Image processing วิธีการคือ ปล่อยอนุภาคเล็กๆ เข้าไปพร้อมกับเจ็ทพร้อมกับการฉายระนาบของแสงตัดลงไปตรงบริเวณที่ต้องการ แล้วทำการถ่ายรูป</li> <li>ความเร็วกระแสลมขวาง, <math>U_{cf} = 50</math> mm/s</li> <li>ความเร็วเจ็ท, <math>V_j = 200</math> mm/s</li> <li>เส้นผ่านศูนย์กลางปากเจ็ท = 60 mm.</li> <li>ใช้ Guide vane ที่สามารถปรับมุมได้ในการทำงานให้เกิด Swirl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Swirl number, <math>Sw = 0, 0.34, 0.76, 1.54</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เมื่อเพิ่ม Swirl number ขึ้นเจ็ทจะมีการกระจายตัวได้มากขึ้นในบริเวณใกล้ปากเจ็ทและ Penetration depth จะลดลง</li> <li>กระแสลมขวางซึ่งมีลักษณะเป็น Uniform flow จะถูกรบกวนเมื่อมีทิศทางสอดคล้องกับทิศทางความเร็วในแนวสัมผัสผิวของ Swirling jet</li> </ul>

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
5	Liscinsky And True (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาการผสมของเจ็ทในกระแสผสมขวาง ในกรณีที่ปากทางออกของเจ็ท เป็น Sharp-edged orifice รูปแบบต่างๆ เปรียบเทียบกับรูปร่างกลมที่มีพื้นที่เท่ากัน โดยปากเจ็ทอยู่ในระดับเดียวกับพื้น</li> <li>ทดลองโดยการฉาย Laser light sheet ตัดเข้าไปตั้งฉากกับแกน Streamwise ของเจ็ทที่ผสมควีน แล้วใช้เทคนิค planar digital image processing เพื่อหา Mean concentration trajectory และ Mean concentration distribution ที่หน้าตัดต่างๆ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Re_j = 2.4 \times 10^4</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>รูปร่างของ Orifice ไม่มีผลกระทบบานักต่อ Mean concentration trajectory , Turbulence intensity และการผสมกันแบบ Turbulent ซึ่งทำการวิเคราะห์จาก Mean concentration distribution</li> </ul>
6	Sivadas et al. (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของรูปร่างของปากเจ็ทที่มีต่อ เส้นทางการขยายตัวของเจ็ท</li> <li>ทำการทดลองโดยศึกษาปริมาณความเร็วในอุโมงค์ลม</li> <li>ใช้ Laser light sheet visualization และ Image processing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>r_v = \frac{u_j}{u_{cf}} = 3.9, 5.9, 7.8</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ปากเจ็ทรูปสี่เหลี่ยมมนมีการผสมดีกว่าปากเจ็ทรูปวงกลม โดยเฉพาะเมื่อมีเพิ่มอัตราส่วนรูปร่างสำหรับด้านที่สัมผัสกับกระแสผสมขวาง</li> <li>ไม่พบโครงสร้างของ Horseshoe vortex ในกรณีนี้ที่ปากเจ็ท เป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งต่างจากลักษณะของปากเจ็ทเป็นรูปวงกลม</li> </ul>

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)



ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
1	Bradbury and Khadem (1975)	<ul style="list-style-type: none"> <li>เป็นการทดลองโดยใช้เจ็ทอิสระที่มีหน้าตัดทางออกของ Nozzle เป็นรูวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 8 นิ้ว</li> <li>Tab ที่ใช้เป็นรูสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวด้านละ 1/16 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Nozzle ซึ่งติดตั้งอยู่ที่บริเวณขอบของ Nozzle</li> <li>ใช้ Pitot-static probe ในการวัดความเร็วเฉลี่ยภายในบริเวณเจ็ท และใช้ Pitch-and-yaw probe แบบ 5 รู ในการหาทิศทางการไหล</li> <li>ใช้ Pulsed-wire anemometer ในการวัดความเร็วรอบบริเวณเจ็ทเพื่อใช้หา Entrainment rate ของเจ็ท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Re = 6 \times 10^5</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความหนาของชั้นขอบเขตและระดับ Turbulence ของเจ็ทที่บริเวณทางออกของ Nozzle รวมทั้ง Nozzle Convergence นั้นจะส่งผลต่ออัตราการเติบโตของเจ็ทอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลของการใช้ Tab รูสี่เหลี่ยมจัตุรัส</li> <li>โดยเฉพาะการใช้ Tab จำนวน 2 Tab ติดตั้งบริเวณขอบของ Nozzle ในลักษณะที่วางตรงข้ามกันนั้นจะส่งผลต่อการเติบโตของเจ็ทมากที่สุด กล่าวคือ ทำให้ความยาวของ Potential core ของเจ็ทสั้นลง, Centerline turbulent intensity ของเจ็ทเพิ่มขึ้น และช่วยการเพิ่มการ Entrainment ของเจ็ทได้ ซึ่งแสดงว่าการใช้ Tab จำนวน 2 Tabs นี้จะช่วยให้ประสิทธิภาพการผสมของเจ็ทกับอากาศรอบข้างได้ดีที่สุด</li> </ul>

ตารางที่ 1.3 สรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา: การศึกษาคุณลักษณะของเจ็ทอิสระที่มีการติด Tab บริเวณปากทางออก

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
2	Zaman and Samimy (1994)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาผลของ Vortex generator แบบ Tab รูปสามเหลี่ยม ซึ่งติดตั้งที่ปากทางออกของเจ็ทที่มีต่อการพัฒนาการของเจ็ท</li> <li>เส้นผ่านศูนย์กลางปากเจ็ทเท่ากับ 1.27 cm.</li> <li>ใช้การทำ Flow visualization แบบ Laser sheet illumination แล้วถ่ายภาพเพื่อดู ลักษณะการกระจายตัวของเจ็ท บริเวณ Near field</li> <li>ใช้ Pitot tube ในการวัด Stagnation pressure ตามแนวศูนย์กลางของเจ็ท เพื่อหาความเร็วที่ลดลงตามแนวศูนย์กลางที่ลดลง และการกระจายตัวของความเร็วที่หน้าตัดต่างๆ ที่ตั้งฉากกับแนวแกน Streamwise ซึ่งสามารถบ่งบอกถึง Entrainment rate ของเจ็ท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jet mach number, <math>M_j = 0.3, 1.63</math></li> <li>Blockage ratio ของ Tab เท่ากับ 2 % ของพื้นที่ปากเจ็ท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tab รูปสามเหลี่ยมมีอิทธิพลอย่างมากต่อการพัฒนาการและการผสมของเจ็ท โดย Tab ทำให้ Thrust ลดลงเล็กน้อย แต่ช่วยเพิ่มการผสมและอัตราการกระจายตัวของเจ็ทเพิ่มขึ้นอย่างมาก</li> <li>Tab รูปสามเหลี่ยมเป็นต้นกำเนิดของ Pair of counter-rotating streamline vortices ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการช่วยผสมอากาศภายในอกเจ็ทกับภายนอกเจ็ท ให้เพิ่มขึ้น</li> <li>การผสมจะดีที่สุดที่จุดถัดจาก Tab 4 อันที่ปากเจ็ท ในลักษณะที่ยอดสามเหลี่ยมเบนออกจากรากเจ็ท โดยให้ระนาบของสามเหลี่ยมทำมุมกับผนังด้านในของเจ็ท เป็นมุม <math>135^\circ</math></li> <li>การผสมจะเริ่มลดลงเมื่อติดตั้งตั้งแต่ 6 อันขึ้นไปเนื่องจาก Vortices ที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยจะมีการรวมและหักล้างกัน ทำให้กำลังของ Vortices ในการช่วยผสมลดลง</li> </ul>

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

ลำดับ	ผู้ศึกษา	รายละเอียดของการศึกษา	พารามิเตอร์	ผลที่ได้
3	Reeder and Samimy (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้อุโมงค์น้ำที่มี Contraction ratio 3:1 โดยหน้าตัดทางออกของ Contraction เป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 1.5 cm</li> <li>ใช้ LDV ที่สามารถวัดความเร็วใน 2 ทิศทางได้ในกาจัดความเร็ว</li> <li>ทำ Flow visualization โดยใช้เทคนิค Laser-induced fluorescence และ PLIF (Planar Laser-Induced Fluorescence)</li> <li>ใช้ Tab รูปสามเหลี่ยมที่มีฐานยาว 0.28D และสูง 0.1D โดยมี Pitch Angle เท่ากับ 45° และ 135°</li> <li>Jet core velocity, <math>U_j = 0.16</math> m/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Re_D = 1,950, 4,160</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>การใช้ Tab รูปสามเหลี่ยมกับเจ็ทที่มีความเร็วต่ำจะทำให้รูปปร่างของเจ็ทเปลี่ยนแปลงไปและทำให้ Reynolds stress มีค่าเพิ่มขึ้นจึงสามารถดึงเอาของไหลภายนอกเข้ามาผสมกับของไหลภายในเจ็ทได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผสมดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองอื่นซึ่งใช้เจ็ทที่มีความเร็วสูง</li> <li>Tab สามเหลี่ยมแต่ละอันที่เข้ากับเจ็ทที่มีความเร็วต่ำนี้จะทำให้เกิด Counter-rotating streamwise vortices ที่มีกำลังสูง ทำให้เจ็ทที่ติด Tab นี้สามารถดึงเอาของไหลภายนอกเข้ามาผสมได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิด Streamwise vortices ชุดที่ 2 ที่มีกำลังต่ำกว่าซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ Horseshoe Vortex ที่บริเวณใกล้ๆ Tab ซึ่งไม่พบในเจ็ทที่มีความเร็วสูง (ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชั้นขอบเขตที่ปากทางออกของ Nozzle ในกรณีเจ็ทความเร็วสูงนั้นบางกว่าในกรณีเจ็ทที่มีความเร็วต่ำ)</li> <li>สำหรับ Tab สามเหลี่ยมที่ติดตั้งแบบมี Pitch angle เท่ากับ 45° (Inverted delta Tabs) นี้จะทำให้เกิด Streamwise vortices ชุดที่ 3 ขึ้นที่บริเวณปลายยอดของ Tab</li> </ul>

ตารางที่ 1.3 (ต่อ)

พารามิเตอร์	กรณีเจ็ทไม่หมุนควง	กรณีเจ็ทหมุนควง	ค่าเฉลี่ยของทุกกรณี
ความเร็วเฉลี่ย ( $\bar{u}_j$ , m/s)	$9.4 \pm 0.1$	$9.4 \pm 0.1$	$9.4 \pm 0.1$
ความเร็วที่จุดกึ่งกลางเจ็ท ( $u_{j,c}$ , m/s)	$10.6 \pm 0.1$	$9.6 \pm 0.1$	$10.0 \pm 1.0$
ความเร็วของกระแสลมขวาง ( $u_{cf}$ , m/s)	$2.2 \pm 0.0$	$2.2 \pm 0.0$	$2.2 \pm 0.0$
อุณหภูมิเฉลี่ย ( $\bar{T}_j$ , °C)	$78.2 \pm 1.2$	$77.5 \pm 1.8$	$77.8 \pm 1.7$
อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเจ็ท ( $T_{j,c}$ , °C)	$87.0 \pm 1.4$	$86.2 \pm 2.0$	$86.6 \pm 1.9$
อุณหภูมิของกระแสลมขวาง ( $T_{cf}$ , °C)	$30.0 \pm 1.0$	$29.4 \pm 2.2$	$29.7 \pm 1.8$
อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล ( $r$ )	$4.0 \pm 0.0$	$4.0 \pm 0.0$	$4.0 \pm 0.0$
อัตราส่วนความเร็ว ( $r_v$ )	$4.3 \pm 0.0$	$4.3 \pm 0.0$	$4.3 \pm 0.0$
อัตราส่วนความหนาแน่น ( $r_d$ )	$0.9 \pm 0.0$	$0.9 \pm 0.0$	$0.9 \pm 0.0$
Densimetric Froude number ( $Fr$ )	$0.1 \pm 0.0$	$0.1 \pm 0.0$	$0.1 \pm 0.0$
Reynolds number ของเจ็ท ( $Re_j$ )	$14,500 \pm 100$	$14,500 \pm 100$	$14,500 \pm 100$
Reynolds number ของกระแสลมขวาง ( $Re_{cf}$ )	$4,300 \pm 0$	$4,300 \pm 0$	$4,300 \pm 0$

ตาราง 2.1 รายละเอียดพารามิเตอร์ในการทดลองและความคลาดเคลื่อนในแต่ละกรณี

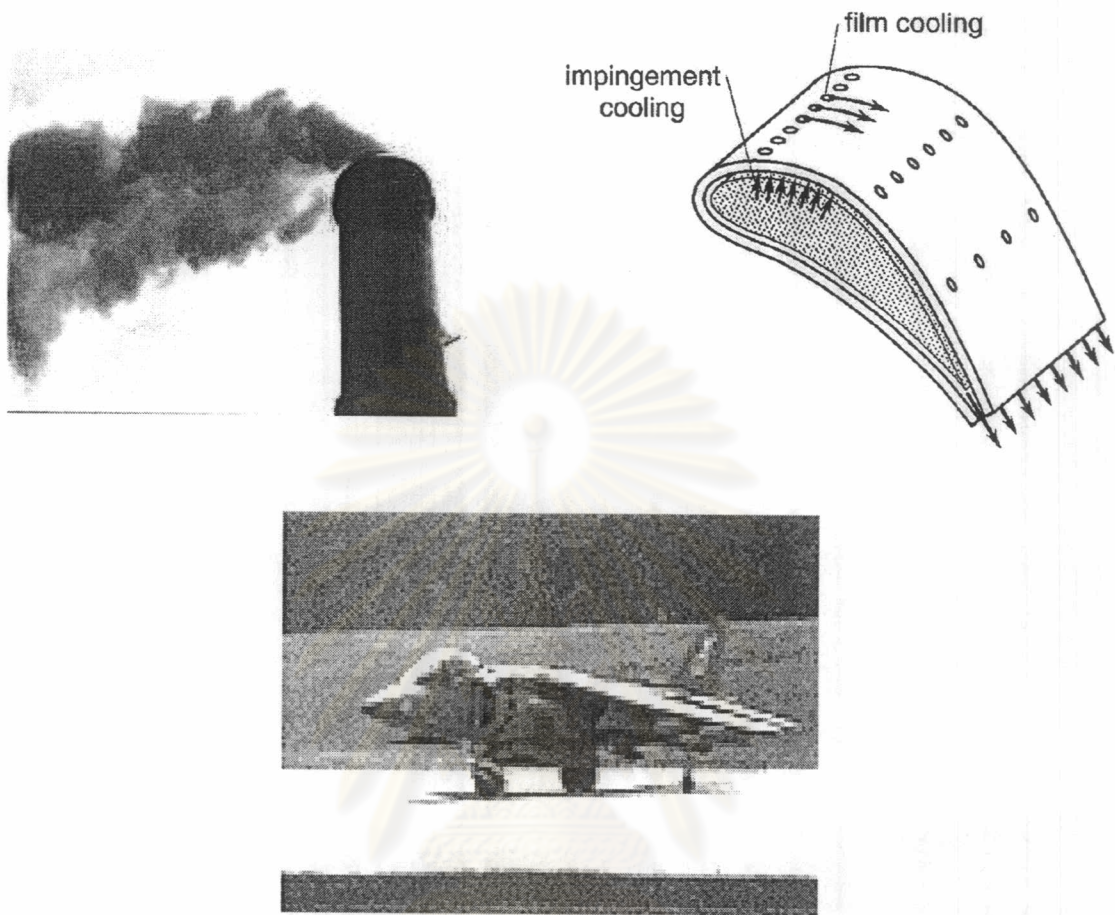
ตำแหน่งของ Tab	Swirl ratio ( $Sr$ )	
	0	0.52
W	Sr0-W	Sr52-W
SW	Sr0-SW	Sr52-SW
S	Sr0-S	Sr52-S
SL	Sr0-SL	Sr52-SL
L	Sr0-L	Sr52-L
PL	Sr0-PL	Sr52-PL
P	Sr0-P	Sr52-P
PW	Sr0-PW	Sr52-PW

ตาราง 2.2 รายละเอียดกรณีการทดลอง



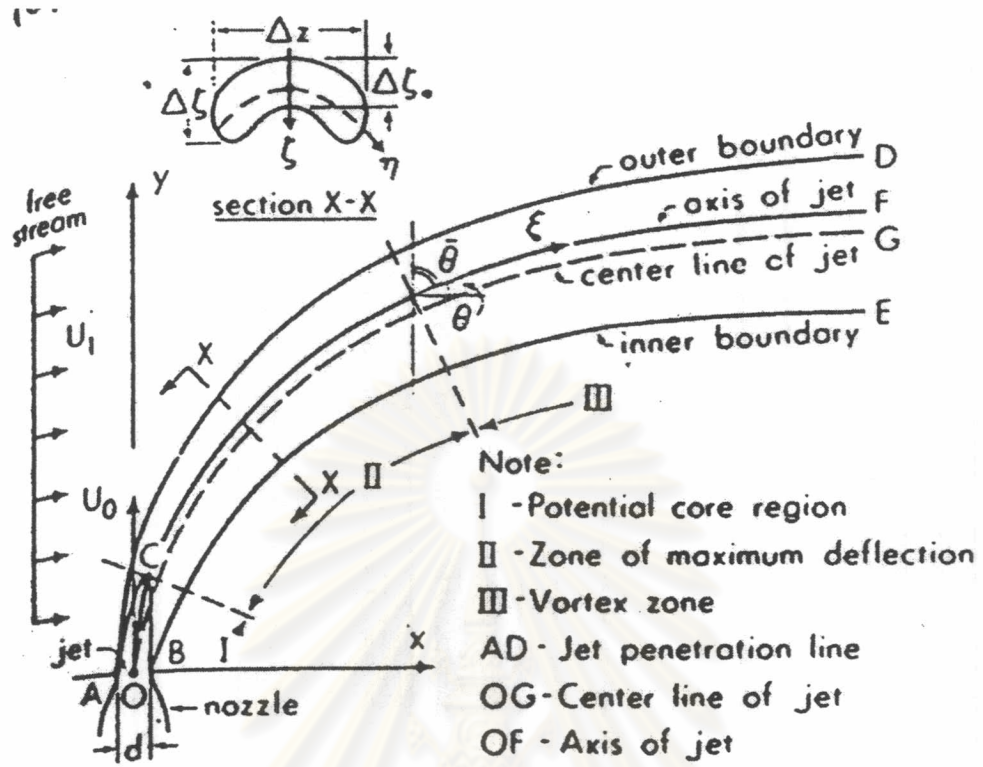
ประมวลรูปภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

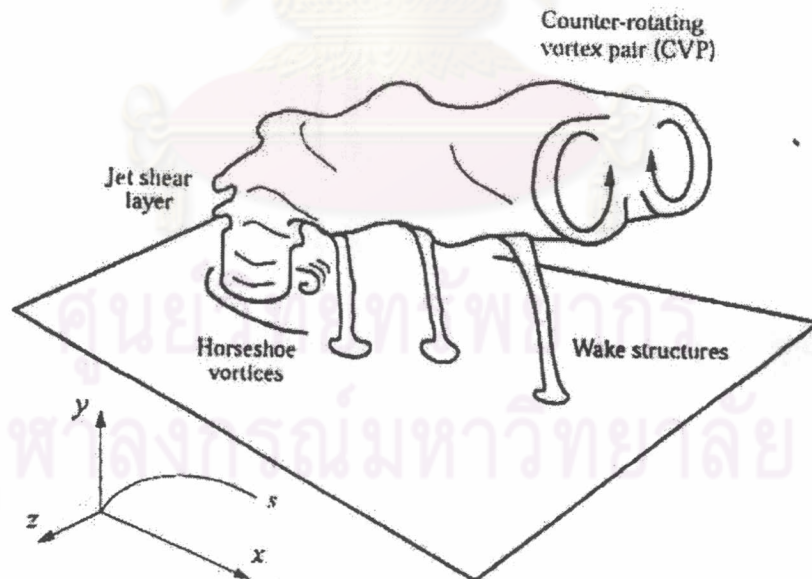


รูปที่ 1.1 การไหลแบบเจ็ทในกระแสมวงที่เกิดจากการระบายอากาศเสียจากปล่องควัน การระบายความร้อนที่ผิวของ Turbine blade และการควบคุมการขึ้นลงตามแนวตั้งของเครื่องบินแบบ V/STOL (Vertical Short Take Off and Landing)

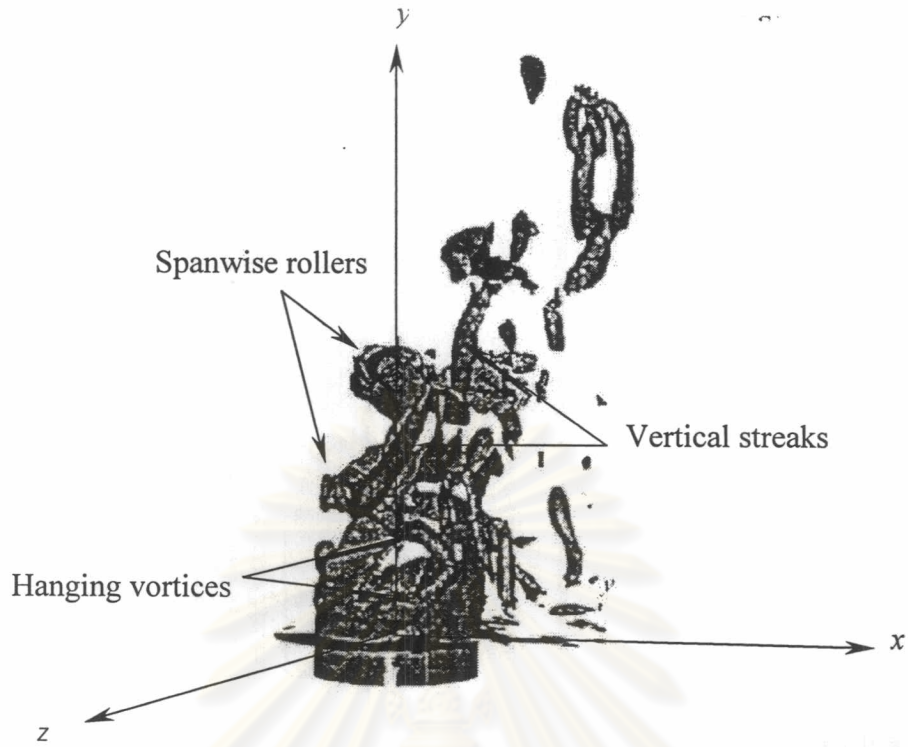
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



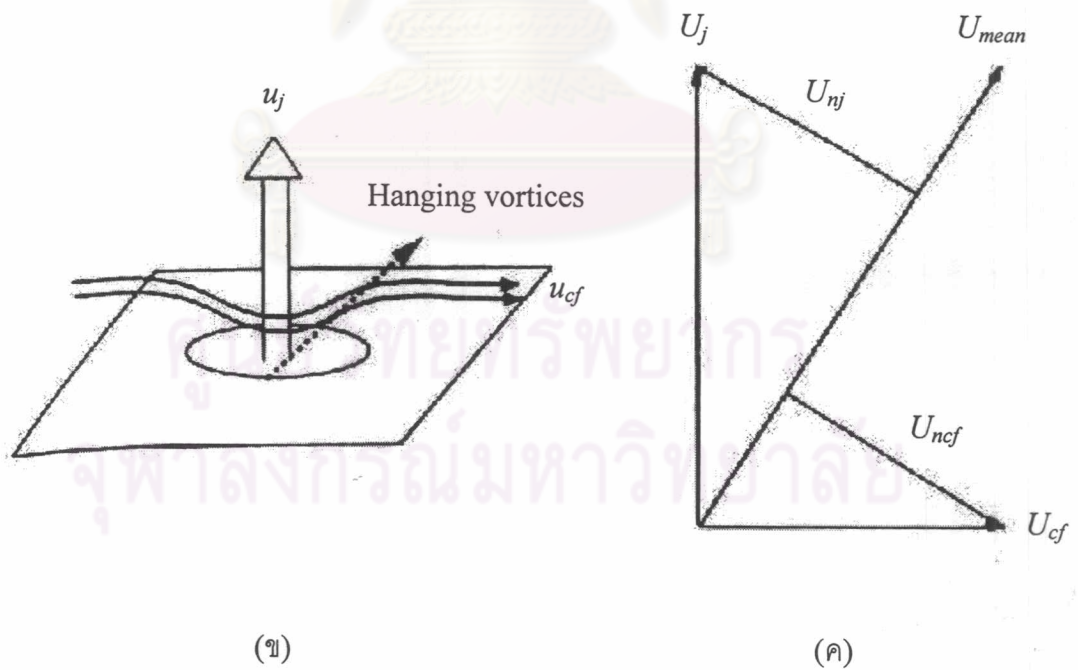
รูปที่ 1.2 ลักษณะของเจ็ทในกระแสลมขวาง (Rajaratnam, 1976)



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของ Vortical structure ของเจ็ทในกระแสลมขวาง (Fric and Roshko, 1994)



รูปที่ 1.4ก โครงสร้างบริเวณ Near field ของเจ็ทในกระแสลมขวาง ซึ่งแสดงเป็น Isosurface ของ Vorticity (Yuan et al., 1999)

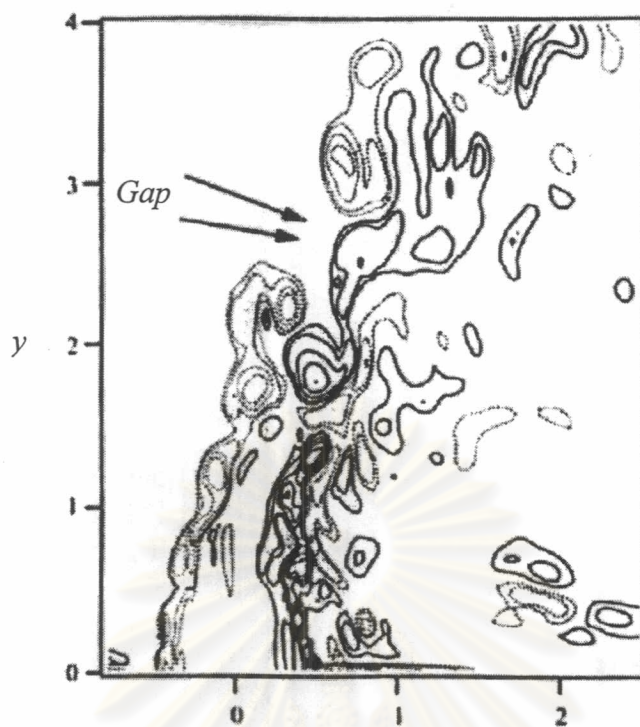


รูปที่ 1.4ข-ค โครงสร้างของ Hanging vortices (Yuan et al., 1999)

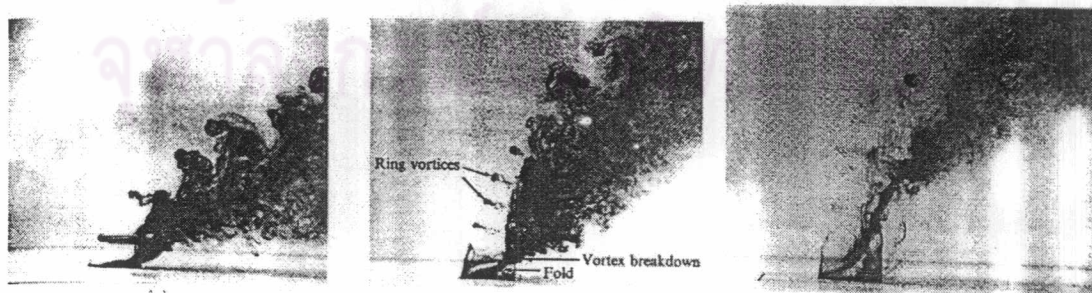
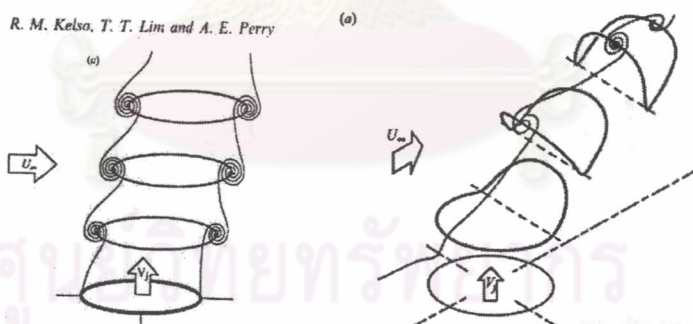
(ข) รูป Schematic ของ Hanging vortices

(ค) Vector ความเร็วซึ่งแสดงกลไกของการเกิด Hanging vortices





รูปที่ 1.4ง โครงสร้างของ Spanwise rollers ซึ่งแสดงเป็น Instantaneous contour ของ Spanwise vorticity ( $\omega_z$ ) โดยเส้นประแสดงค่าลบ (Yuan et al., 1999)

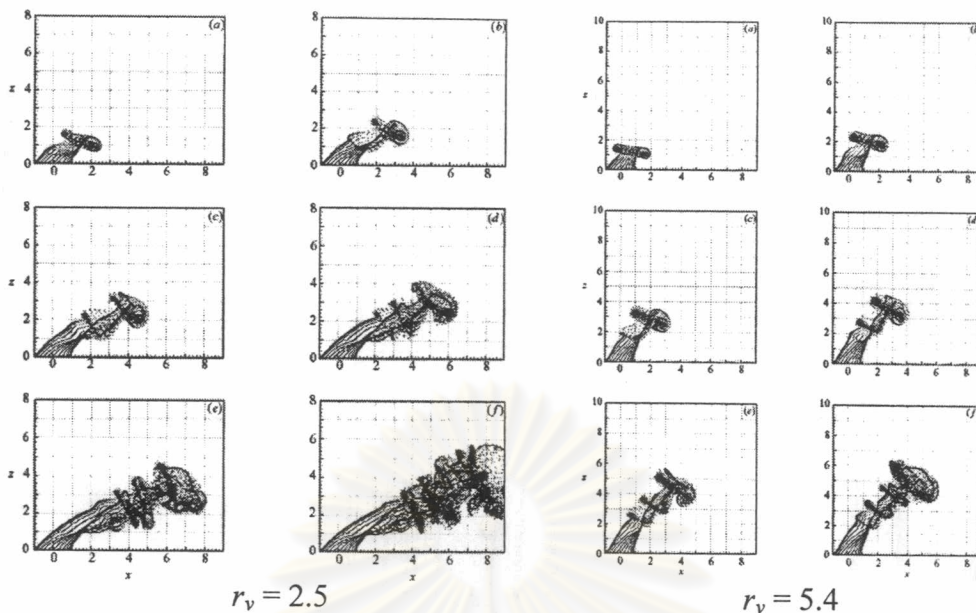


$r_v = 2.2$

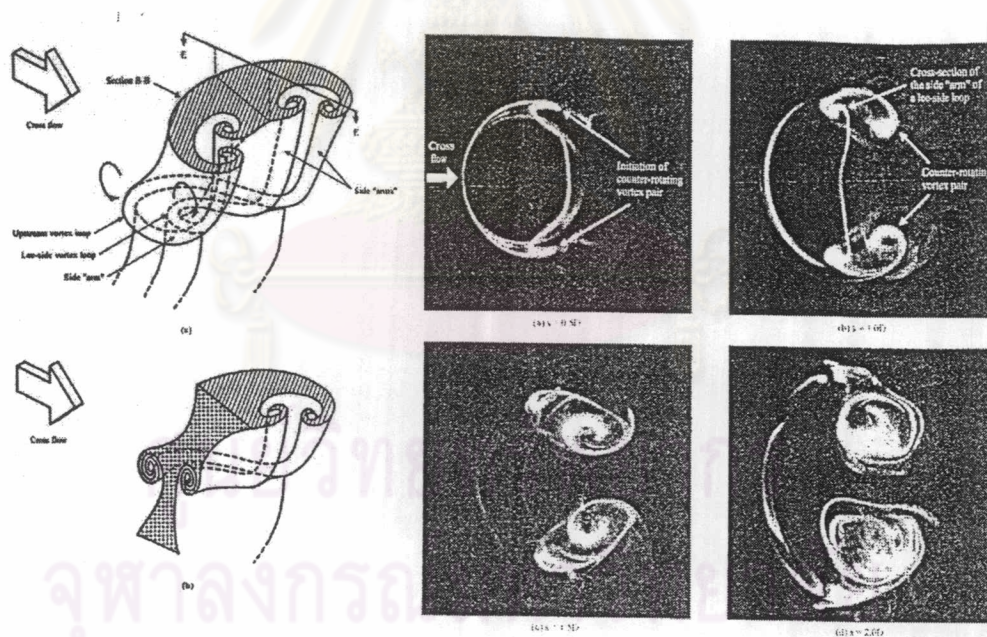
$r_v = 4.0$

$r_v = 5.5$

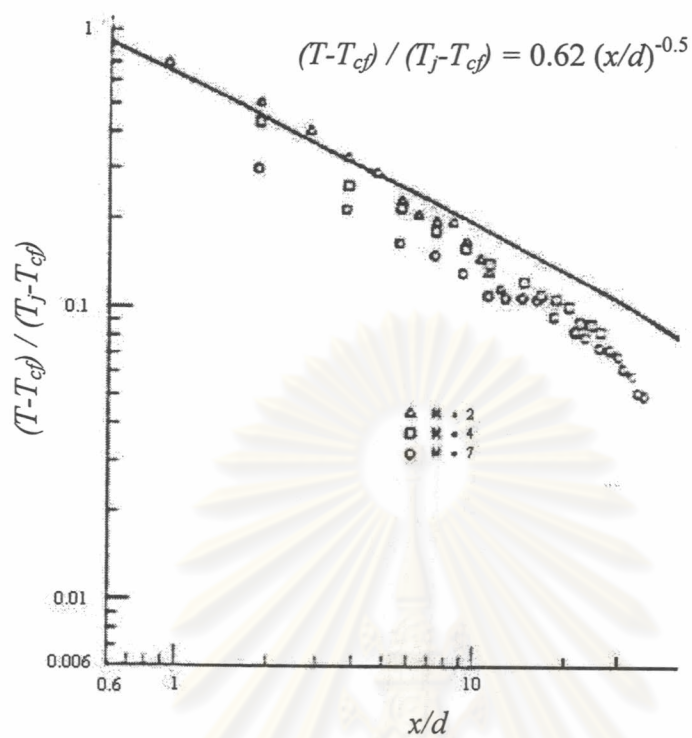
รูปที่ 1.5 กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Ring (Kelso et al., 1996)



รูปที่ 1.6 กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Ring โดยใช้วิธี Transient Numerical Simulation แบบ 3D-Vortex Elements (Cortezzi and Karagozian, 2001)

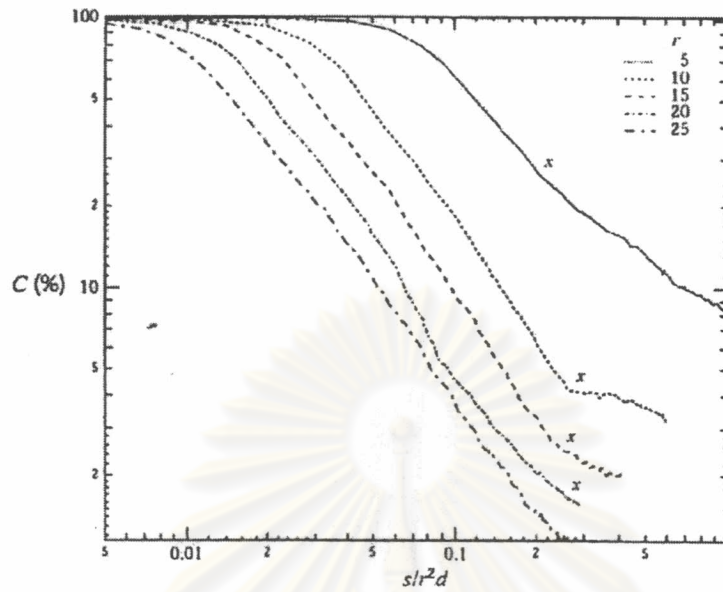


รูปที่ 1.7 กลไกการเกิด CVP เนื่องจาก Vortex Loop (Lim et al., 2001)

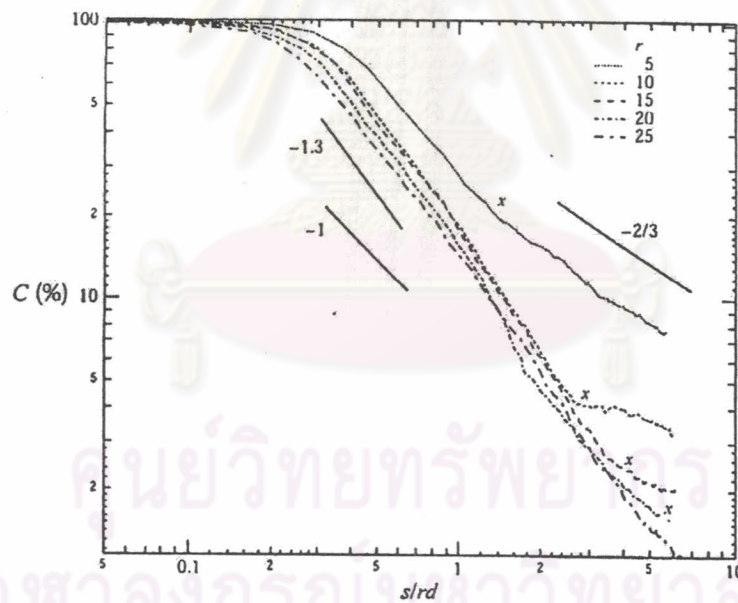


รูปที่ 1.8 การลดลงของอุณหภูมิตามแนว Downstream ( $x$ ) บนระนาบสมมาตร (Sherif and Pletcher, 1989)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



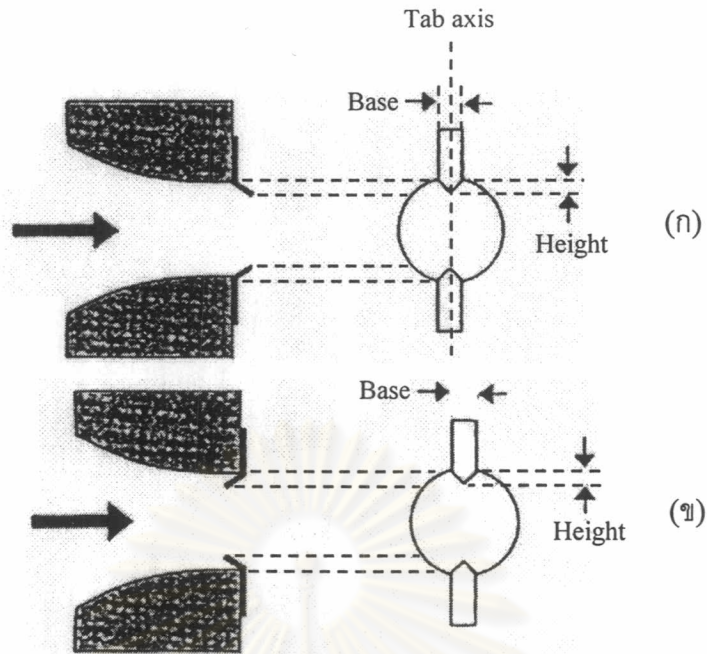
(ก)



(ข)

รูปที่ 1.9 การลดลงของ Concentration ตามแนวแกนเจ็ท ( $s$ ) (Smith and Mungal, 1998)

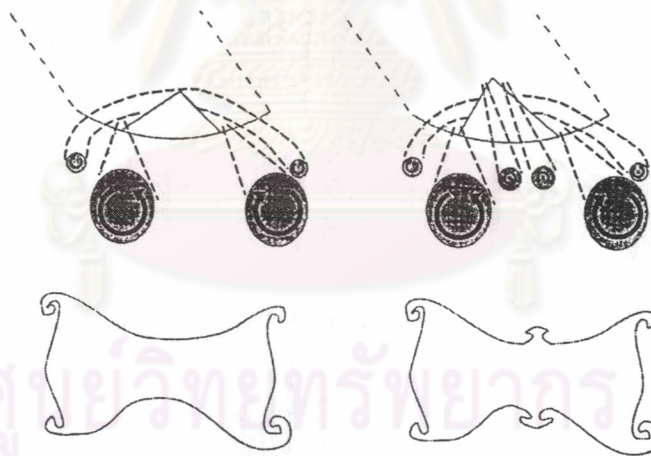
(ก) สเกลด้วย  $r^2d$  (ข) สเกลด้วย  $rd$



รูปที่ 1.10ก-ข ลักษณะและการติดตั้ง Tab สามเหลี่ยม (Reeder and Samimy, 1996)

(ก) แบบ Delta tabs (Pitch angle =  $135^\circ$ )

(ข) แบบ Inverted delta tabs (Pitch angle =  $45^\circ$ )



(ค)

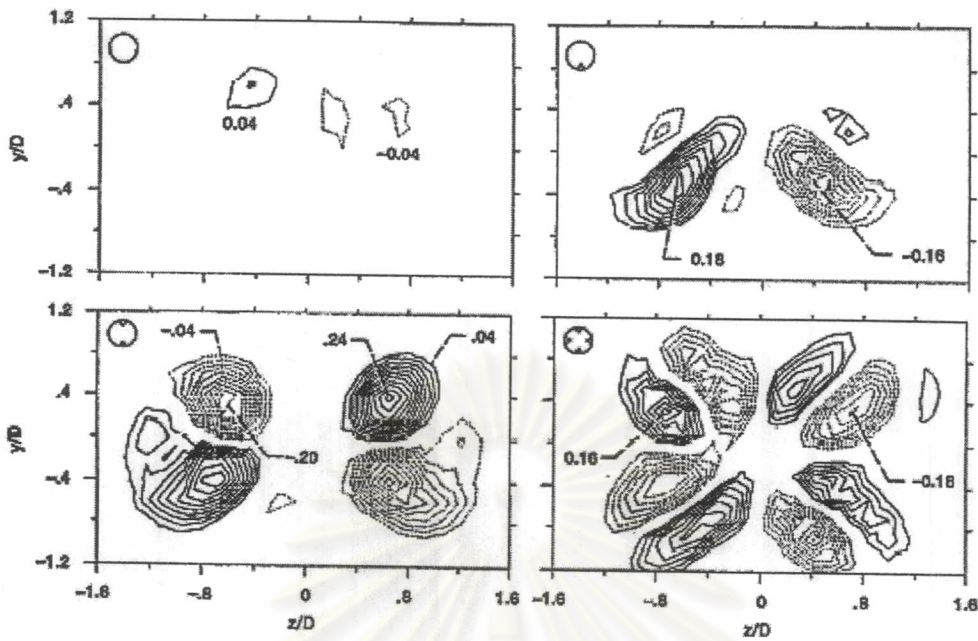
(ง)

รูปที่ 1.10ค-ง ลักษณะ Streamwise vorticity ที่เกิดจากการไหลผ่าน Tab

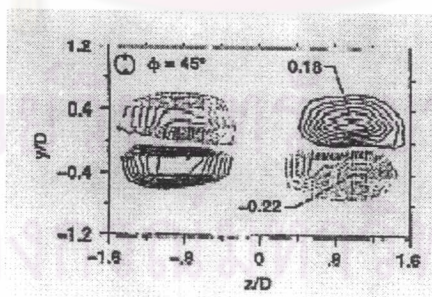
สามเหลี่ยม (Reeder and Samimy, 1996)

(ค) แบบ Delta tabs (Pitch angle =  $135^\circ$ )

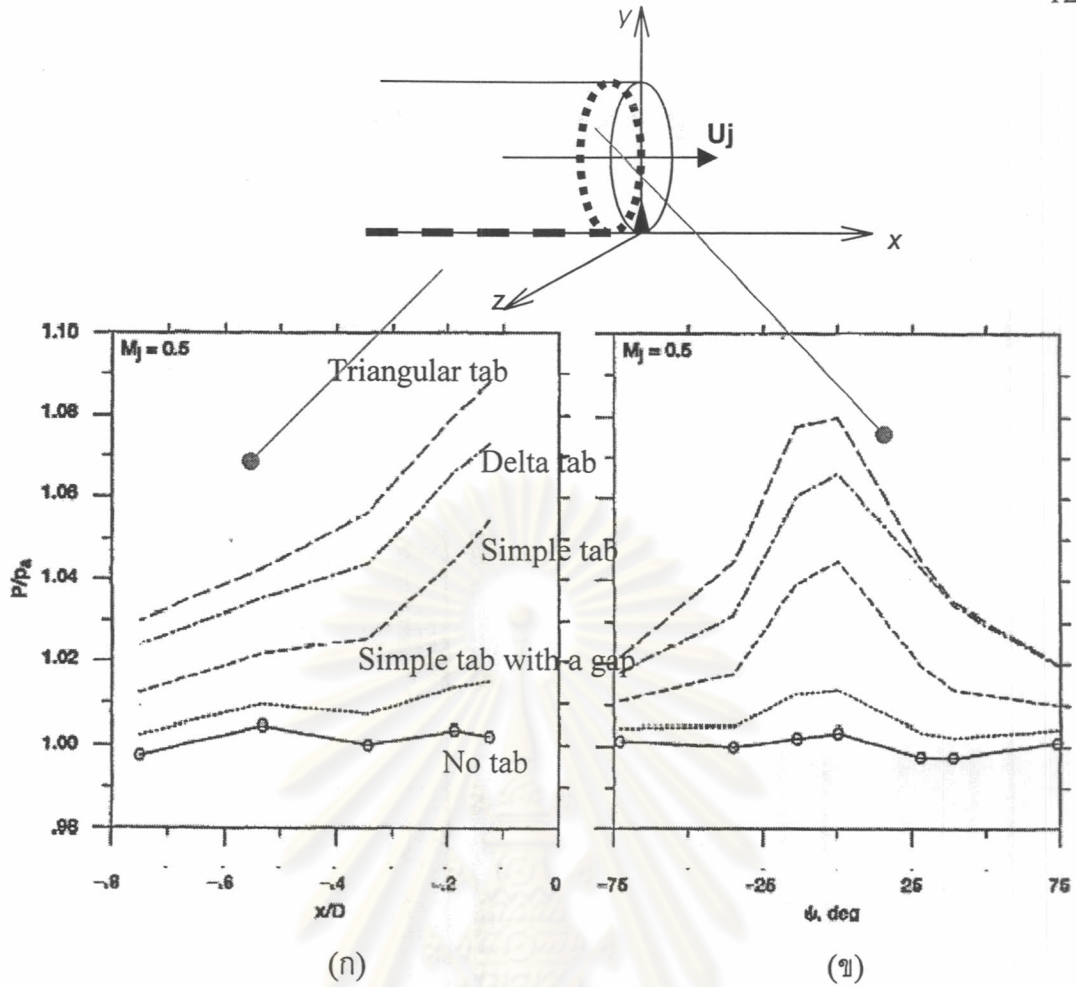
(ง) แบบ Inverted delta tabs (Pitch angle =  $45^\circ$ )



รูปที่ 1.11 Contour ของ Streamwise vorticity ,  $\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right) \cdot \left(\frac{D}{U_j}\right)$ , ที่  $x/D = 3$  และ  $M_j = 0.3$  ในกรณีติด Delta tab จำนวน 0,1,2,4 อันตามลำดับ โดยระยะห่างระหว่าง Contour แต่เส้นมีค่าเท่ากับ 0.02  
 Contour ที่เป็นเส้นเต็ม แสดงทิศทางของ Vorticity ที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา  
 Contour ที่เป็นเส้นประ แสดงทิศทางของ Vorticity ที่หมุนตามเข็มนาฬิกา  
 (Zaman et al.,1994)



รูปที่ 1.12 Contour ของ Streamwise vorticity , ที่  $x/D = 3$  ,  $M_j = 0.3$  ในกรณีติด Triangular tab จำนวน 2 อัน (Zaman et al.,1994)



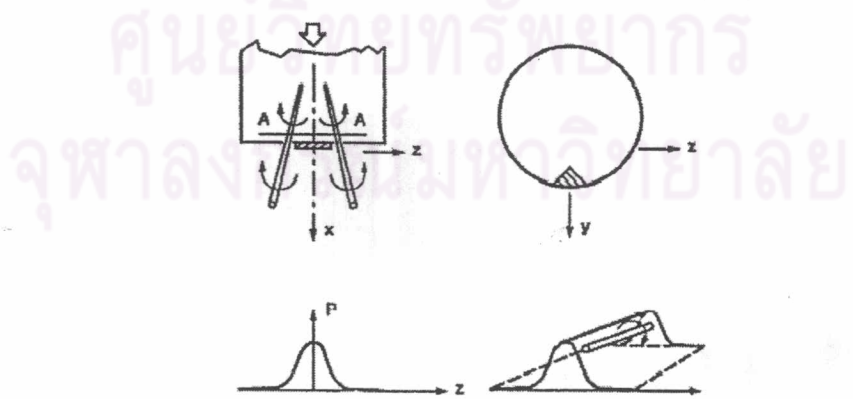
รูปที่ 1.13 ก-ข การกระจายตัวของความดันสถิตยบนผนังด้านในของปากเจ็ท

(ก) เทียบกับระยะทางตามแนว Upstream ของ Tab

(Tab ติดอยู่บนปากเจ็ทที่  $x/D = 0$ )

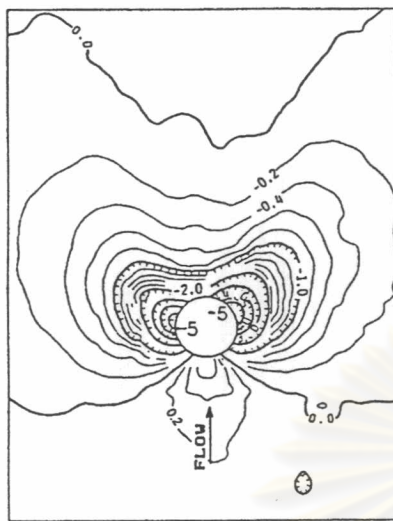
(ข) เทียบกับระยะทางตามแนวเส้นรอบวง ที่  $x/D = -0.2$

(Tab ติดอยู่บนแนว  $\psi = 0^\circ$ ) (Zaman et al.,1994)

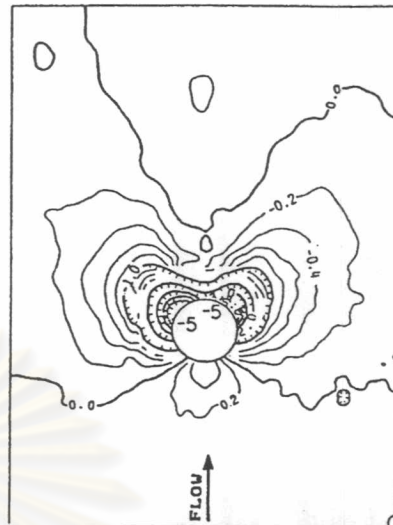


รูปที่ 1.14 กลไกการเกิด Streamwise vorticity โดย Pressure hill  $\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)$

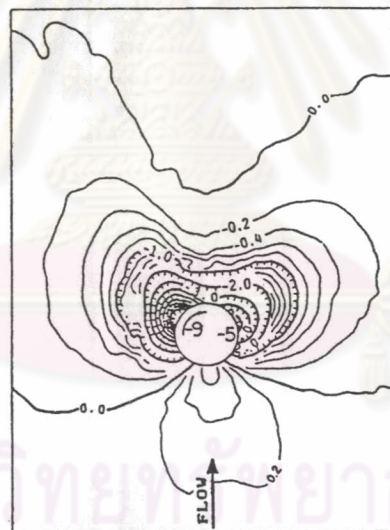
(Zaman et al.,1994)

Surface pressures, low-turbulence jet,  $R = 4.0$ 

(ก)

Surface pressures, high-turbulence jet,  $R = 4.0$ 

(ข)

Surface pressures, 58% swirl jet,  $R = 4.0$ 

(ค)

รูปที่ 1.15 การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นผิว Test section บริเวณรอบขอบปากเจ็ท  
 (ก-ข) กรณีที่เจ็ทไม่มีการหมุนควง (ค) กรณีที่เจ็ทมีการหมุนควง  
 (Kavsoglu and Schetz, 1989)

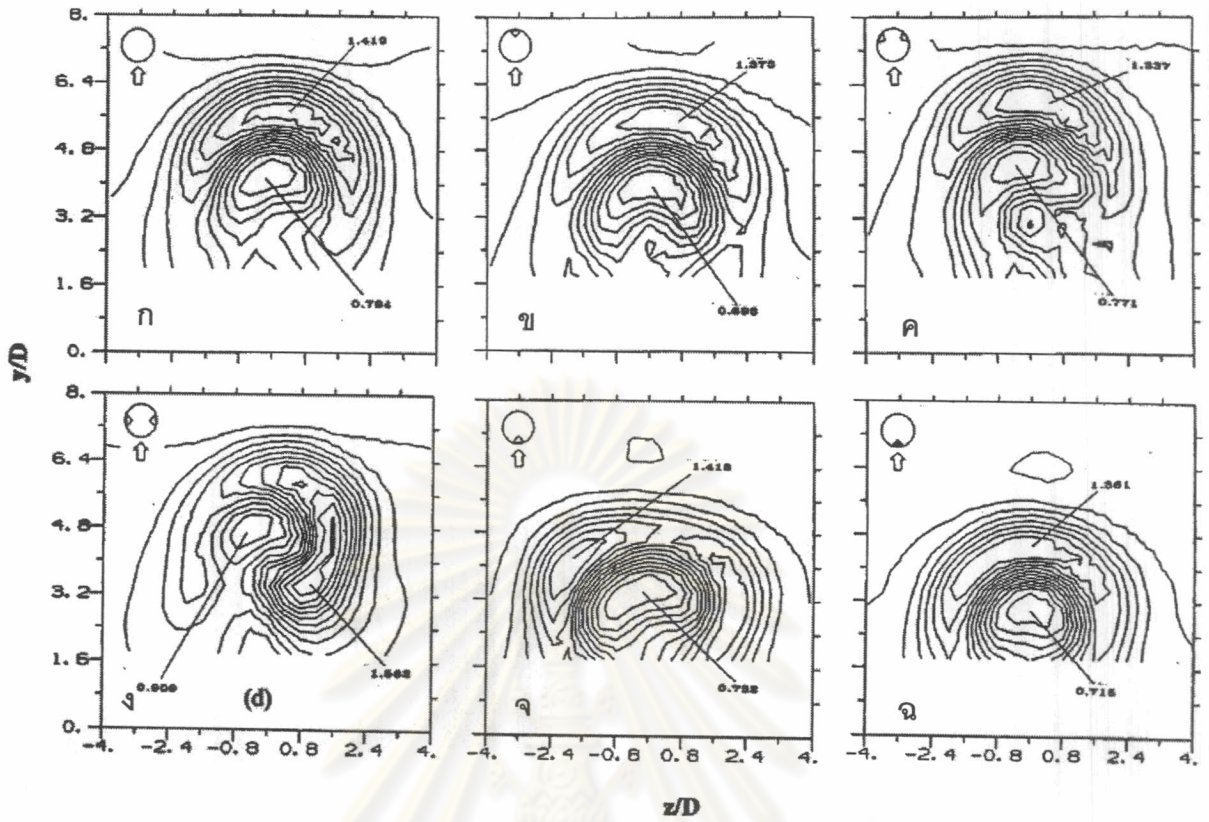


(ก)  $r_v = 4.9$ (ข)  $r_v = 7.6$ (ค)  $r_v = 11.1$ (ง)  $r_v = 7.6$ 

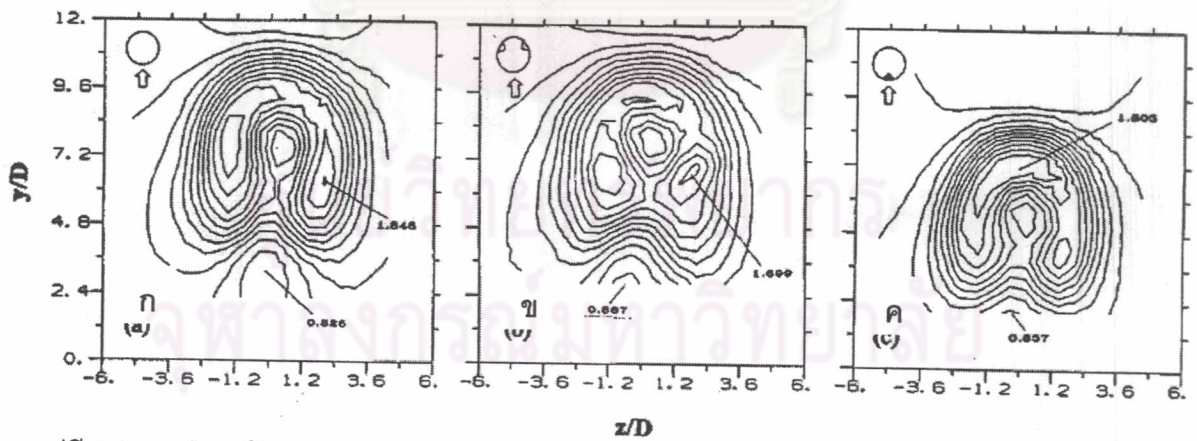
รูปที่ 1.16 Contour ของ Mean concentration จาก End view (Niederhaus et al., 1997)

(ก) - (ค) เปรียบเทียบผลของ Swirl number (S) ที่  $x/d = 24$

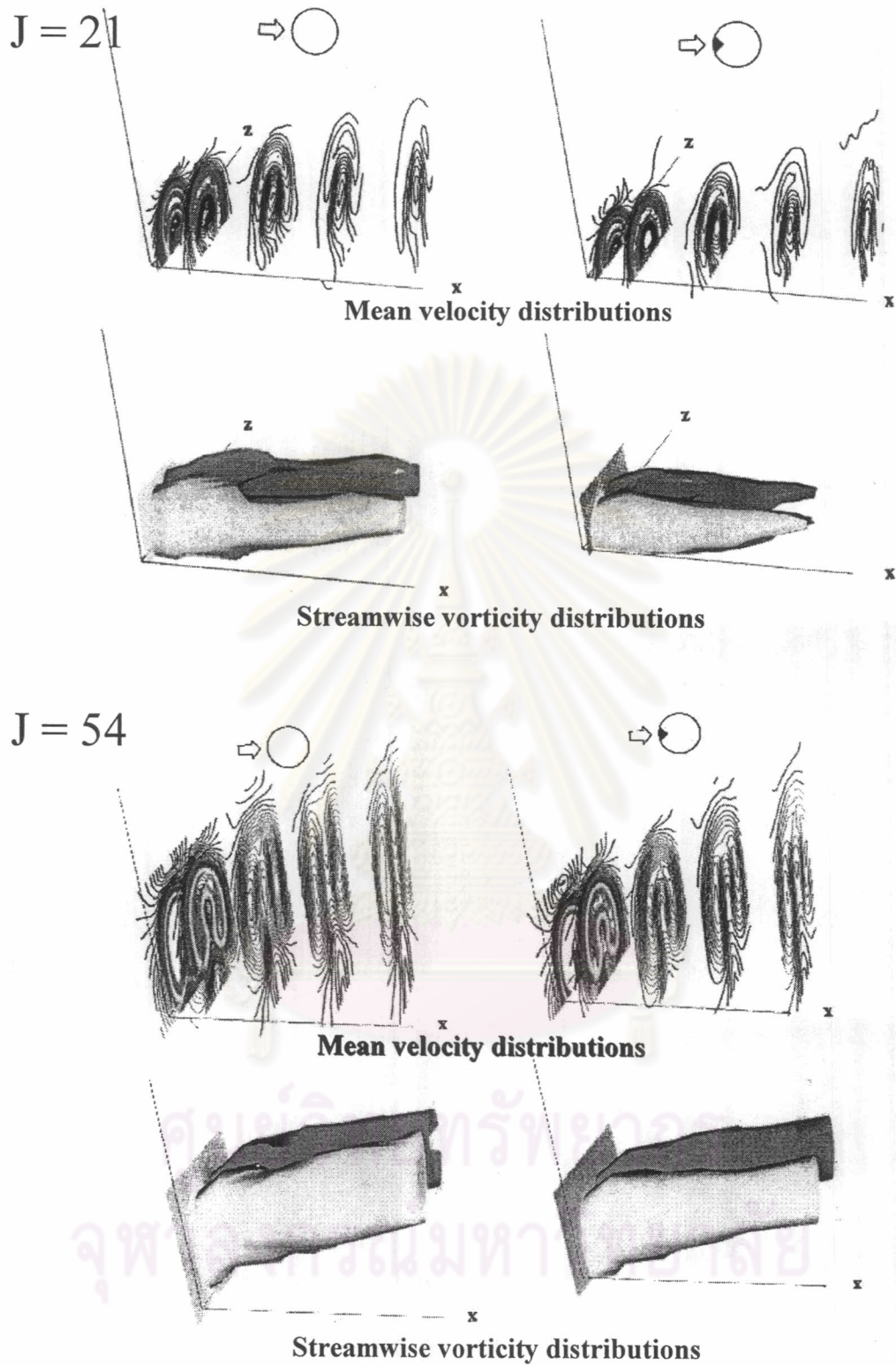
(ง) เปรียบเทียบผลของ Swirl number (S) ที่  $r_v = 7.6$  และ  $x/d = 4$  และ 8



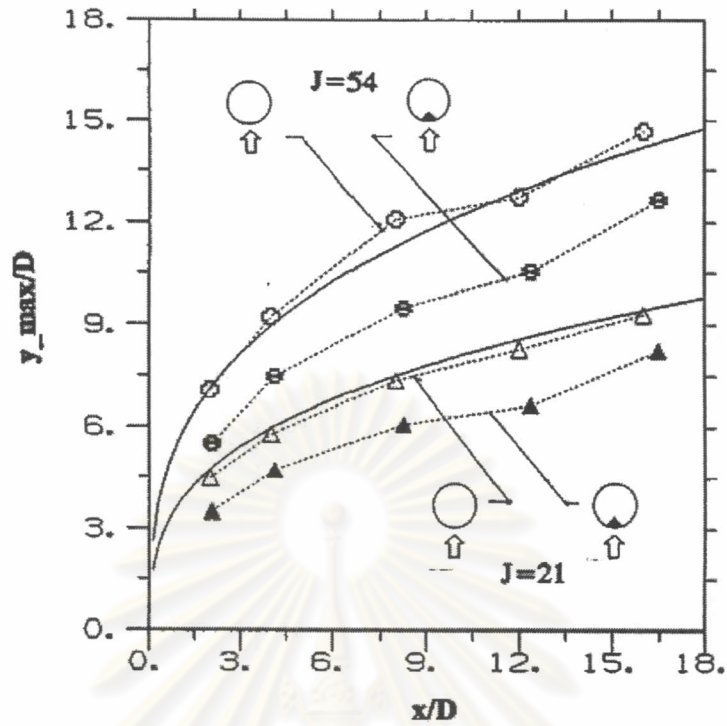
รูปที่ 1.17 รูปทางด้านบนแสดง Contour ของความเร็วเฉลี่ย ( $U/U_T$ ) ที่หน้าตัด  $x/D = 4$  โดยมีค่า momentum- flux ratio,  $J = 21$  (ก-จ) Delta tab และ (ฉ) Triangular tab (Zaman and Foss, 1997)



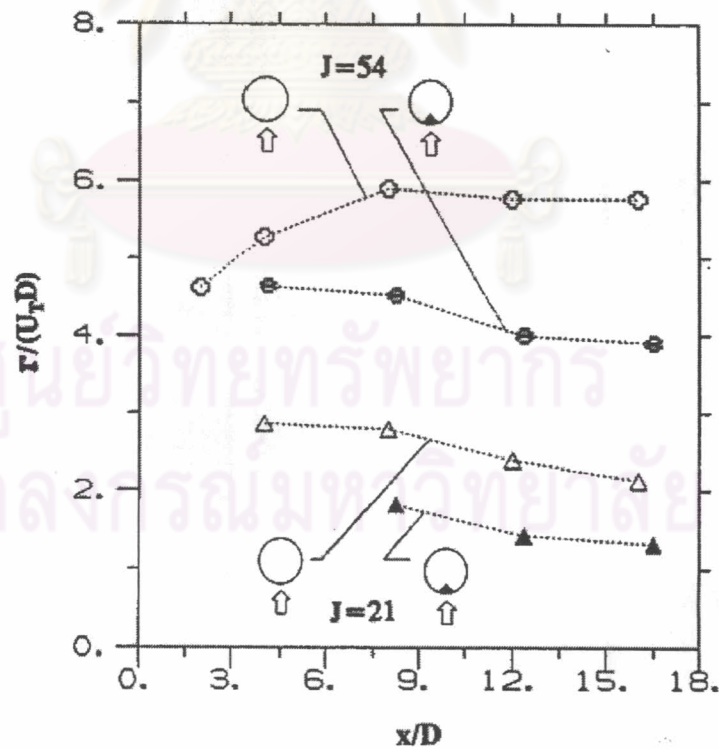
รูปที่ 1.18 รูปทางด้านบนแสดง Contour ของความเร็วเฉลี่ย ( $U/U_T$ ) ที่หน้าตัด  $x/D = 4$  โดยมีค่า momentum- flux ratio,  $J = 54$  (ก-ข) Delta tab และ (ค) Triangular tab (Zaman and Foss, 1997)



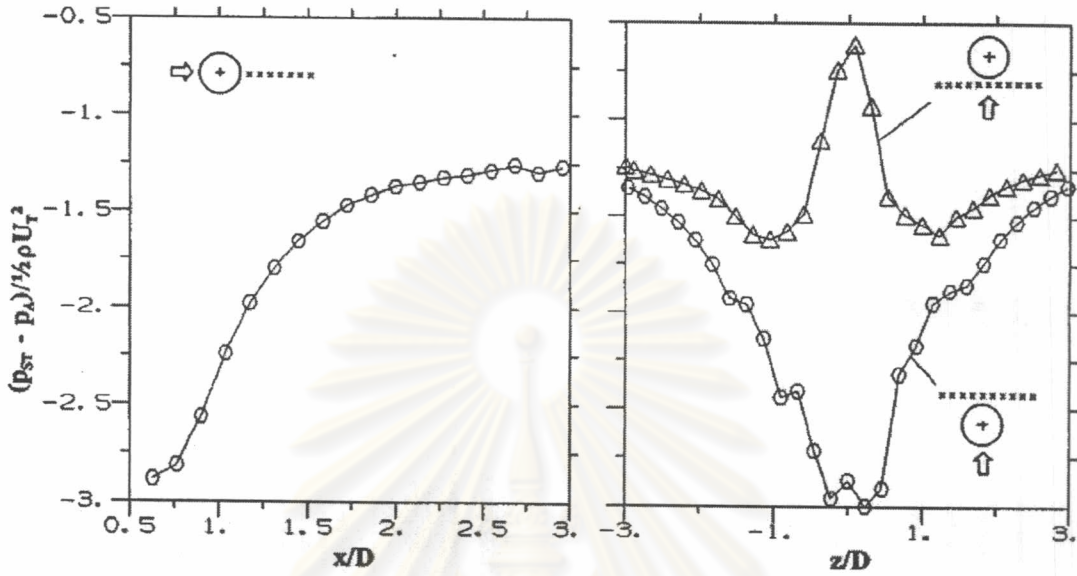
รูปที่ 1.19 แสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยและ Streamwise vorticity แบบ Perspective view ที่หน้าตัด  $x/D = 2, 4, 8, 12$  และ  $16$  ในกรณีที่ไม่ติด Tab และติด Triangular tab ที่ด้าน Windward ตามลำดับ  
(ก)  $J = 21$  และ (ข)  $J = 54$  (Zaman and Foss, 1997)



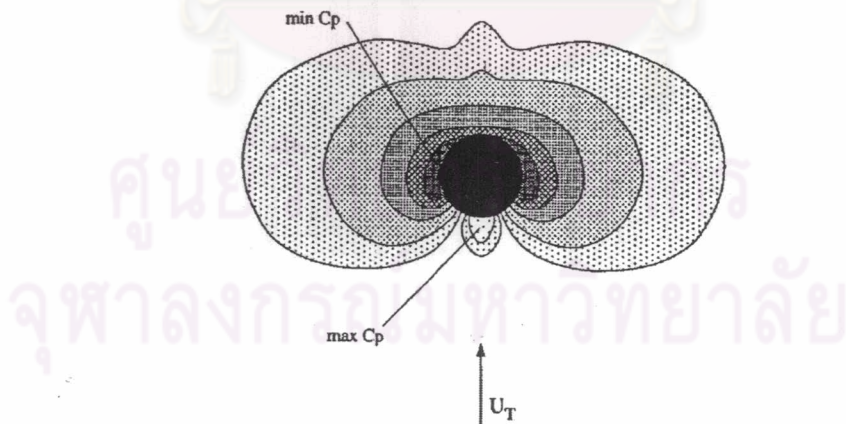
รูปที่ 1.20 ผลของการติด Tab ที่มีต่อเส้นทางของความเร็วเฉลี่ยที่มากที่สุดบนระนาบสมมาตร (Zaman and Foss, 1997)



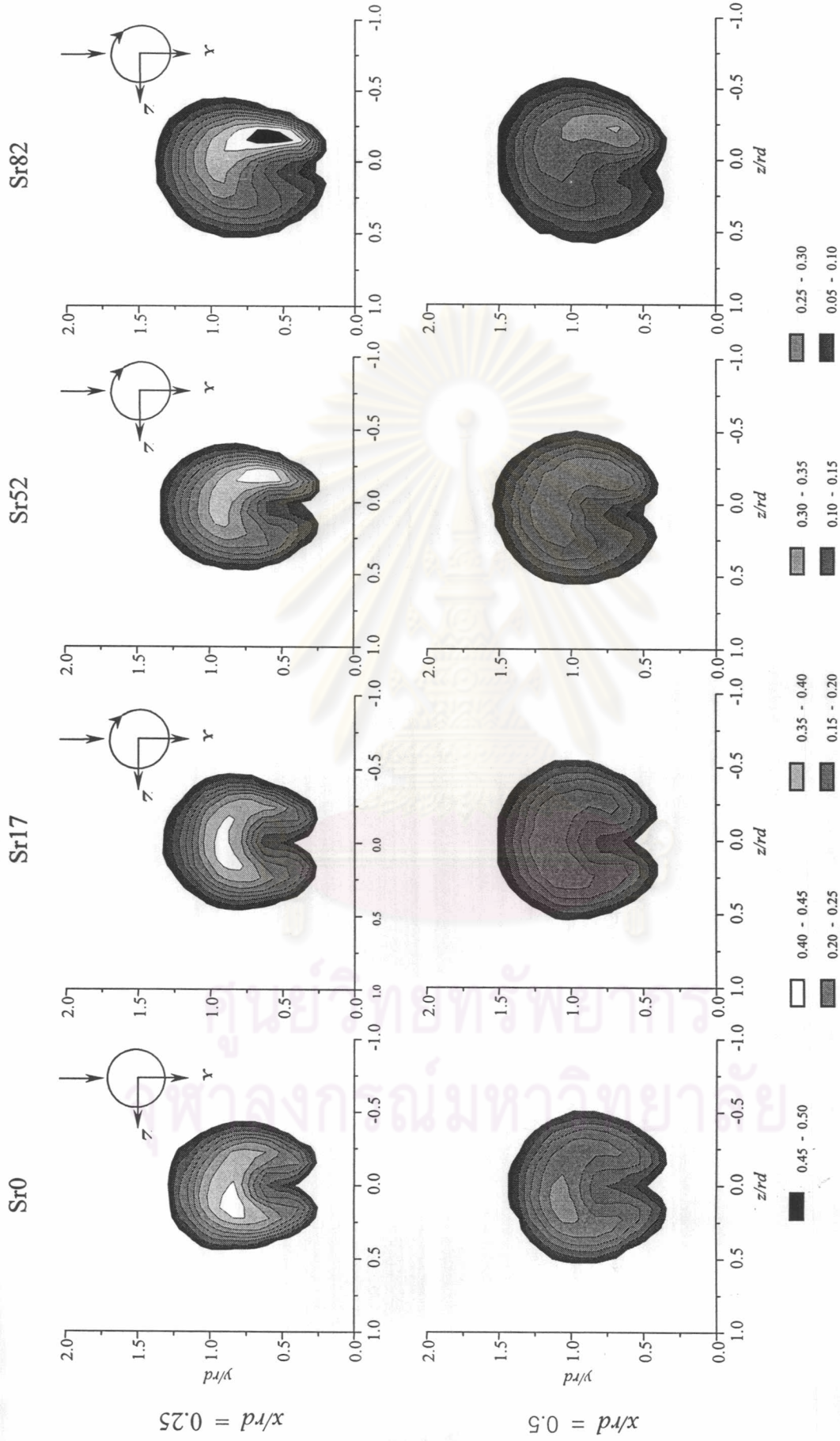
รูปที่ 1.21 ผลของการติด Tab ที่มีต่อการกระจายตัวของค่า Circulation ในทิศทาง  $x$  ตามแนว Downstream ( $x$ ) ที่ด้านหนึ่งของแกนสมมาตร (Zaman and Foss, 1997)



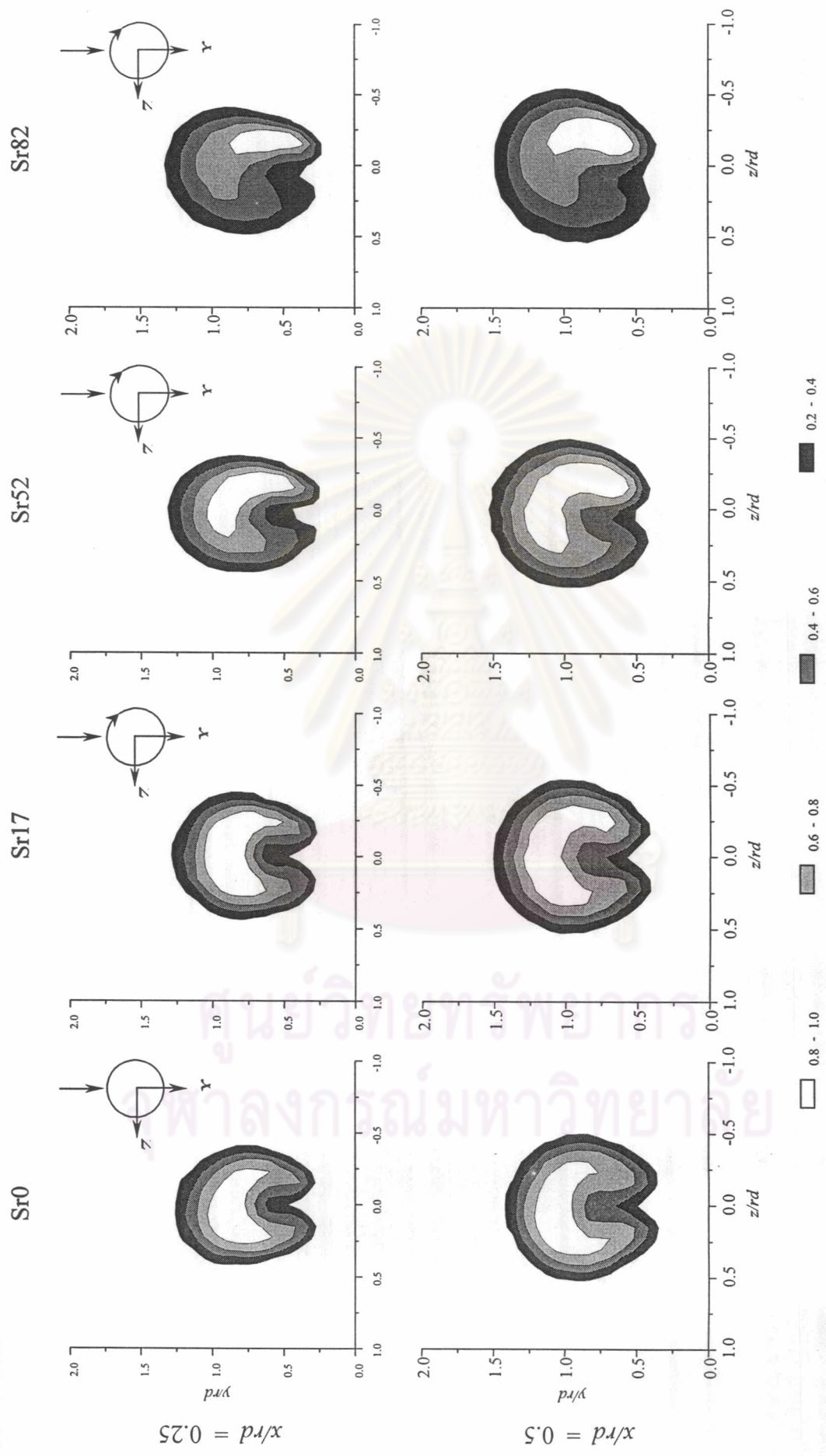
รูปที่ 1.22 การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นของ Test section บริเวณใกล้ขอบปากเจ็ท โดยรูปทางซ้ายแสดงเทียบกับระยะทางตามแนว Downstream และ รูปทางด้านขวา เทียบกับระยะทางตามแนว Spanwise (Zaman and Foss, 1997)



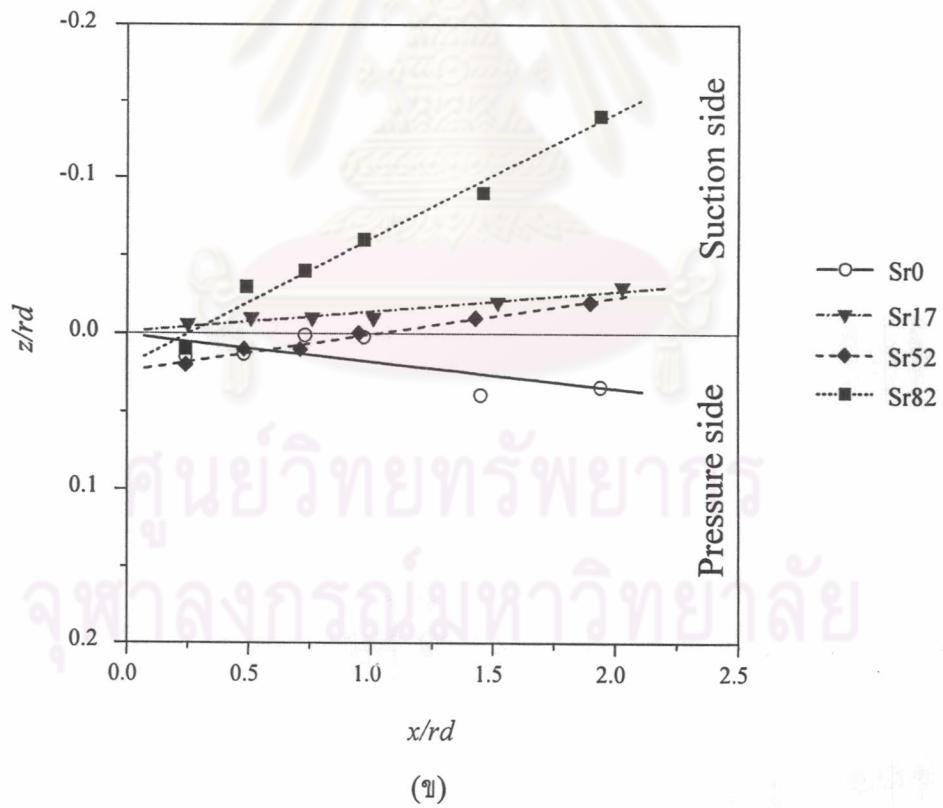
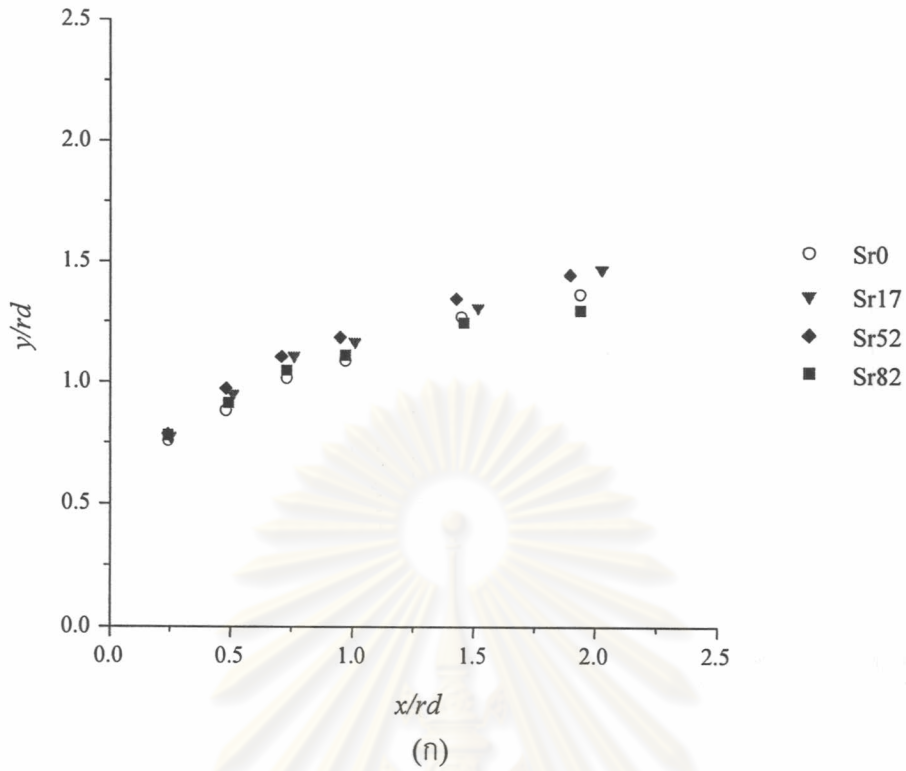
รูปที่ 1.23 การกระจายตัวของความดันสถิตยที่พื้นผิวบริเวณโดยรอบปากเจ็ทในกระแสมขวาง (Bradbury and wood ,1965)



รูปที่ 1.24ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_T$ ) เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณีที่  $x/rd = 0.25$  และ  $0.5$  (Wangjiraniran, 2001)

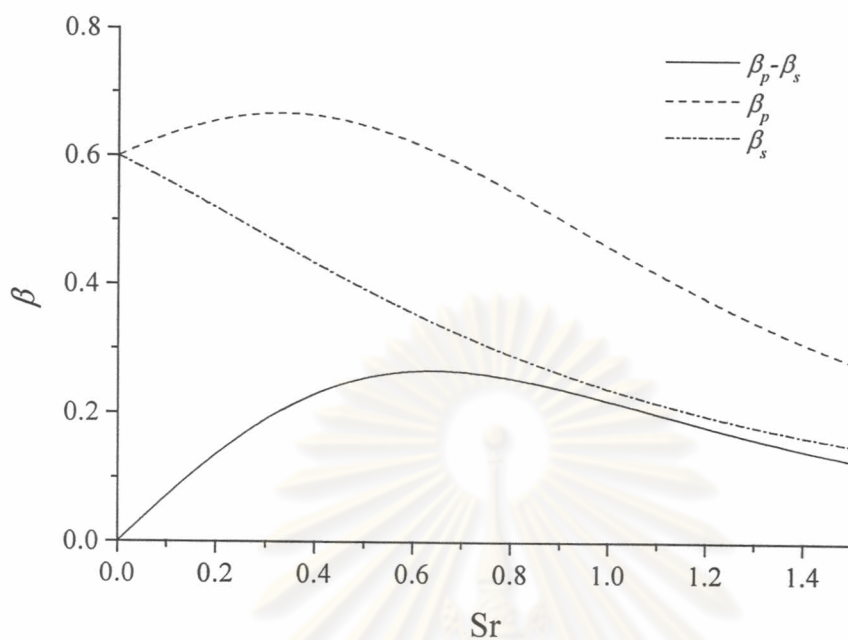


รูปที่ 1.24 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณีที่  $x/rd = 0.25$  และ  $0.5$  (Wangjiranran, 2001)



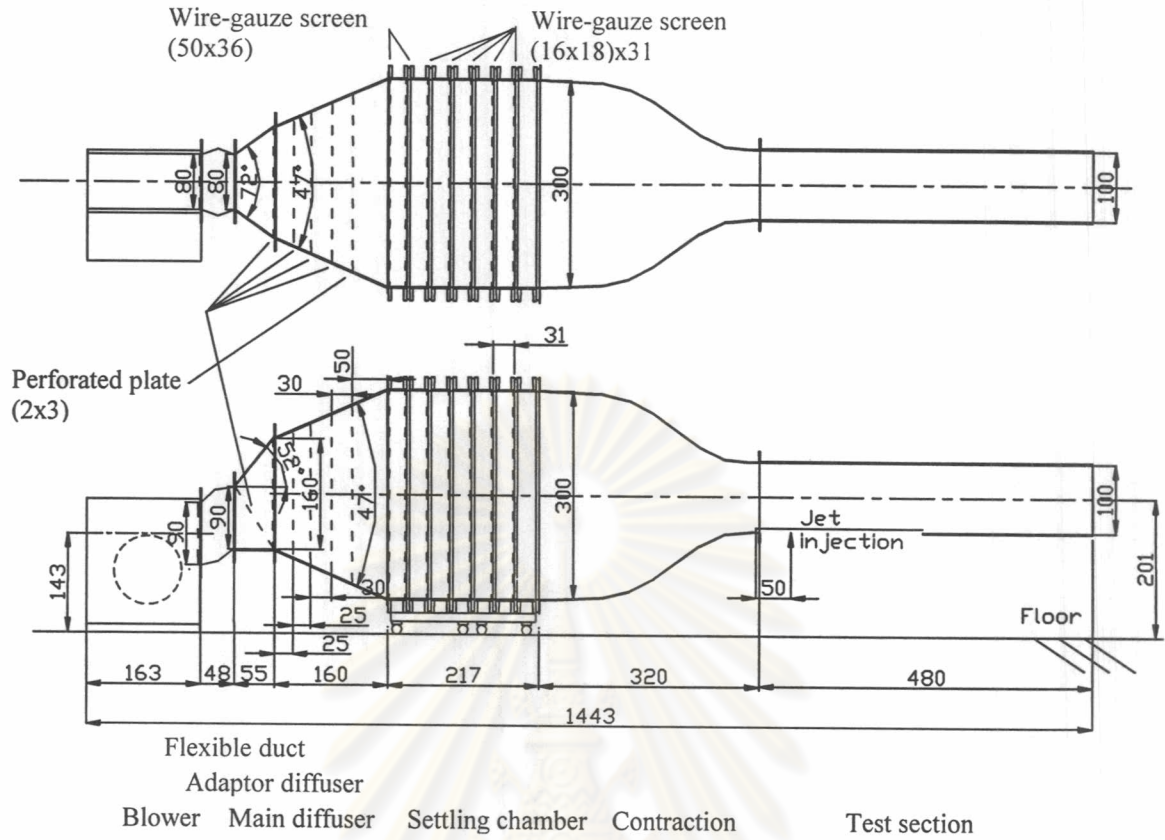
รูปที่ 1.25 Centroid Trajectory ของจุดศูนย์กลางมวล เปรียบเทียบกันในแต่ละกรณี  
 (ก) บนระนาบสมมาตร ( $\bar{y}_T$ ), (ข) บนระนาบนอน ( $\bar{z}_T$ )  
 (Wangjiraniran, 2001)



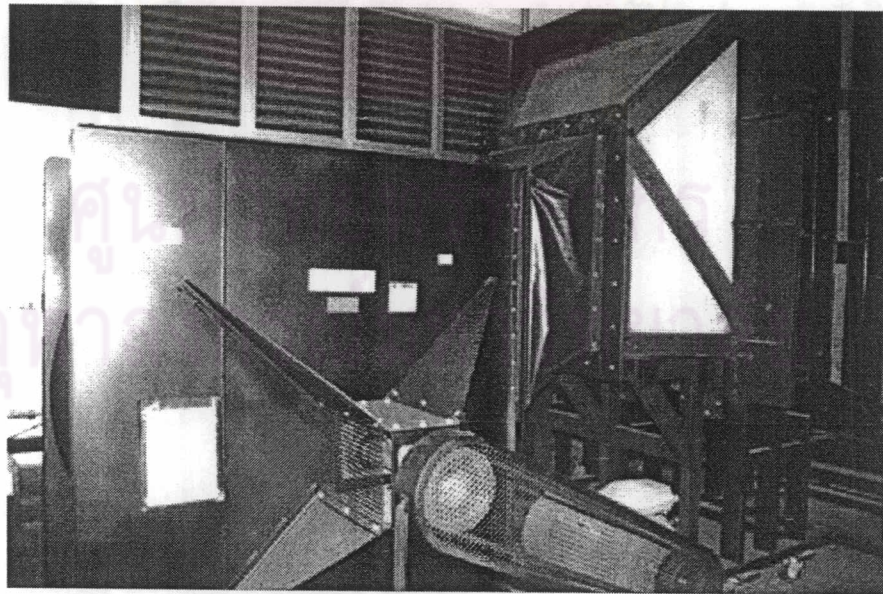


รูปที่ 1.26 การเปลี่ยนแปลงค่ากำลัง (Strength) ของ Mixing layer ( $\beta$ ) ที่ขอบปากเจ็ทด้านข้าง เทียบกับ Swirl ratio ที่  $r_v = 4$  (Wangjiraniran, 2001)

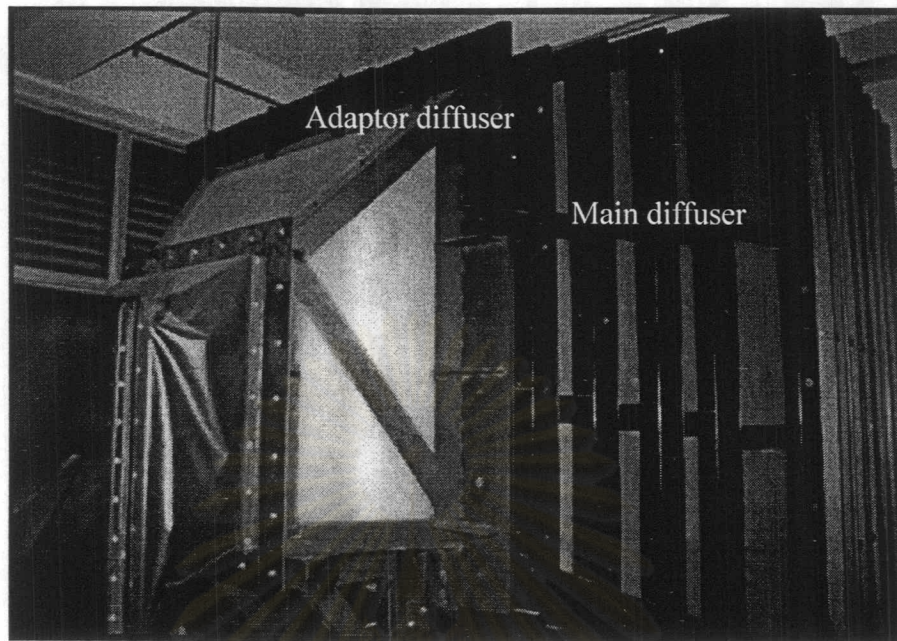
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



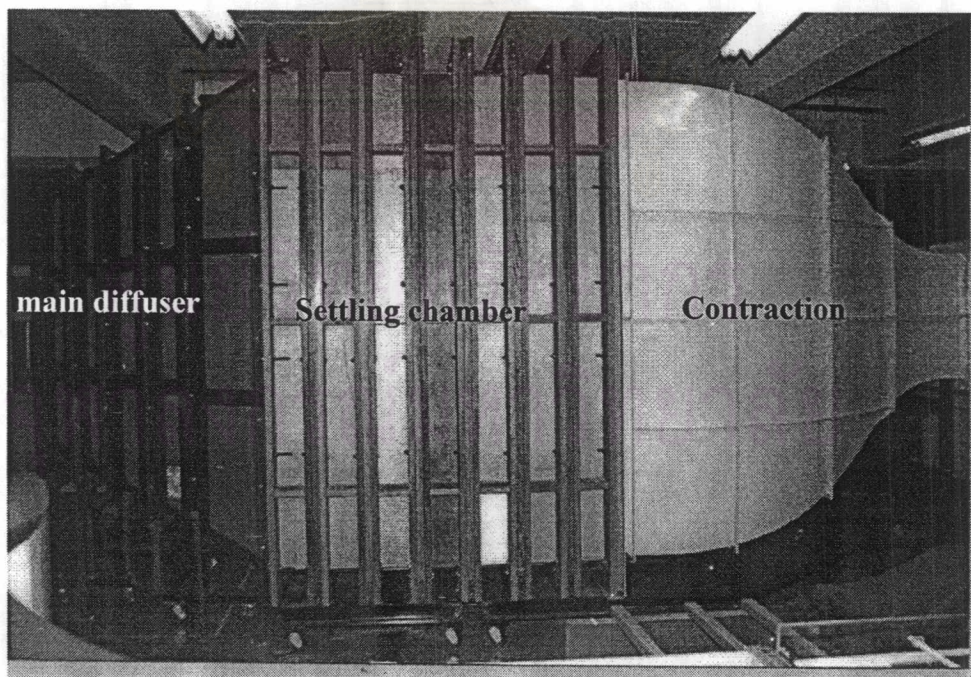
รูปที่ 2.1 รูป Schematic ของอุโมงค์ลม (หน่วยเซนติเมตร)



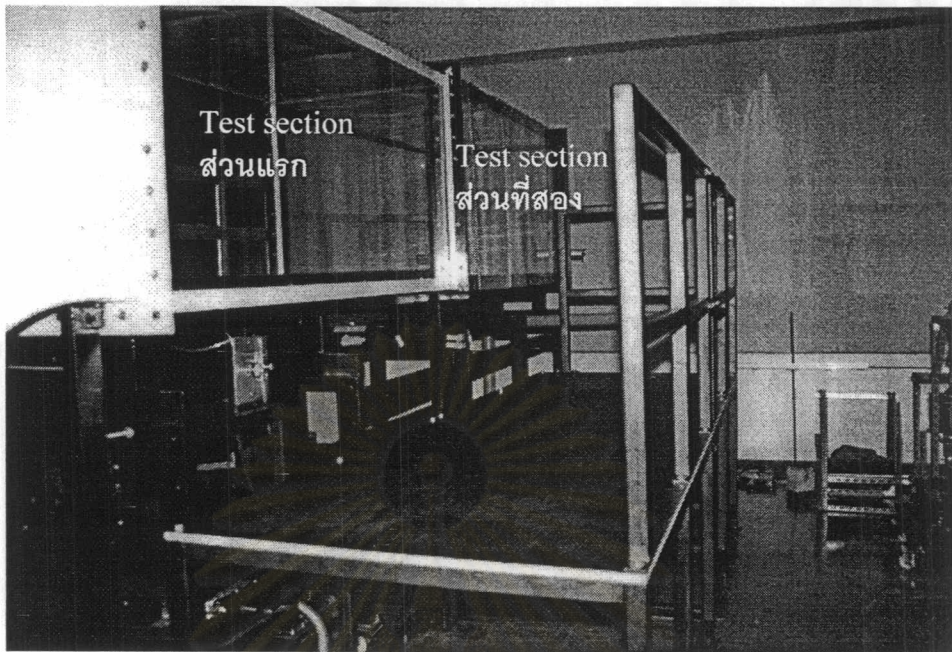
รูปที่ 2.2 พัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Blower) ชนิดใบพัดแบบ Backward-curved airfoil ขนาด 30 กิโลวัตต์ที่ใช้สำหรับอุโมงค์ลม



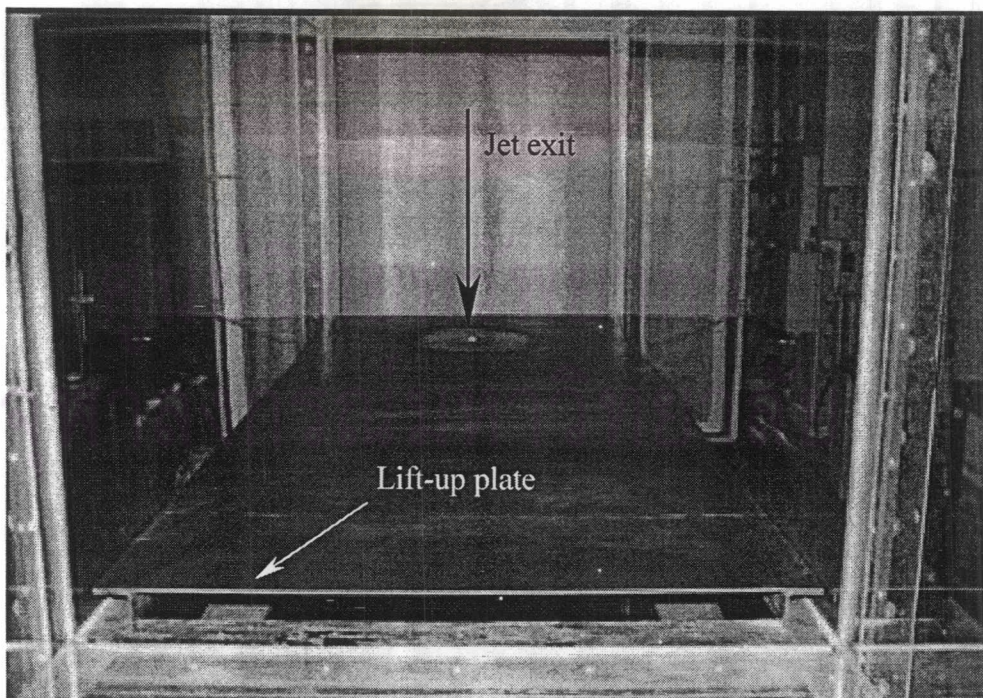
รูปที่ 2.3 ส่วนขยายพื้นที่หน้าตัดซึ่งประกอบด้วย Main diffuser และ Adaptor diffuser



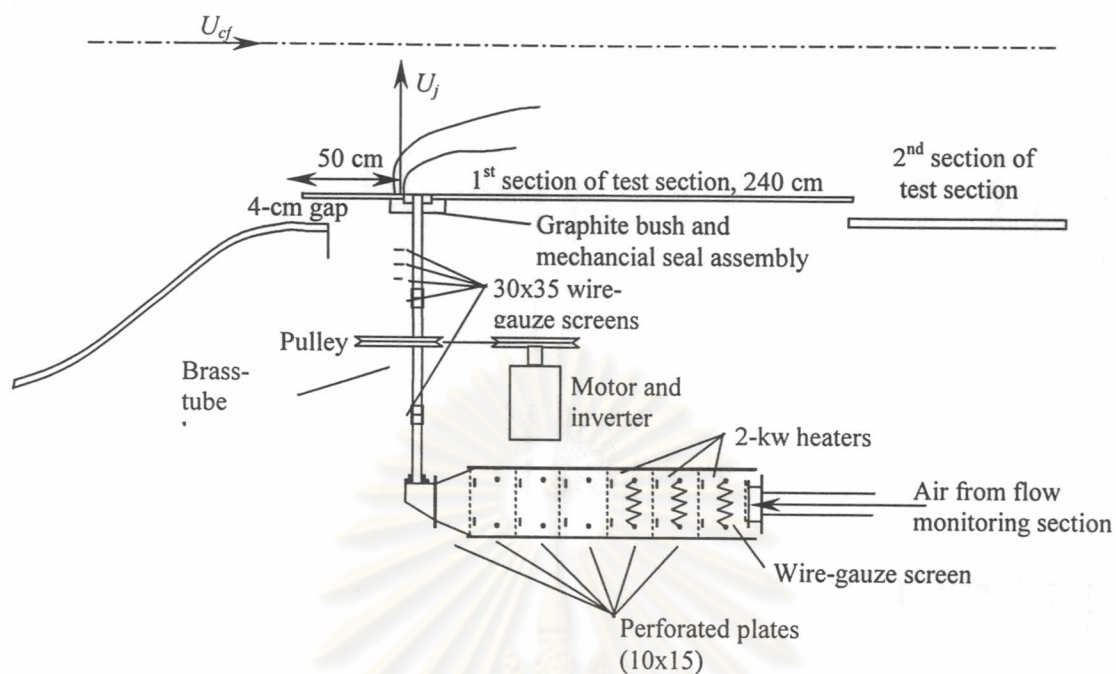
รูปที่ 2.4 ห้องจัดปรับการไหล (Settling chamber) และ Contraction ของอุโมงค์ลม



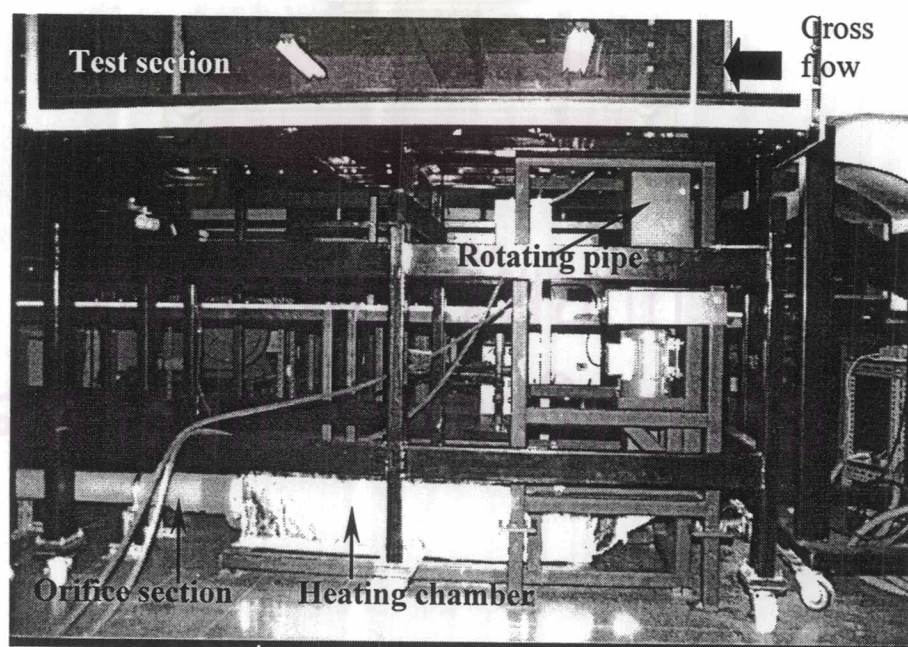
รูปที่ 2.5 หน้าตัดทดสอบ (Test section) ทั้ง 2 ส่วนของอุโมงค์ลม



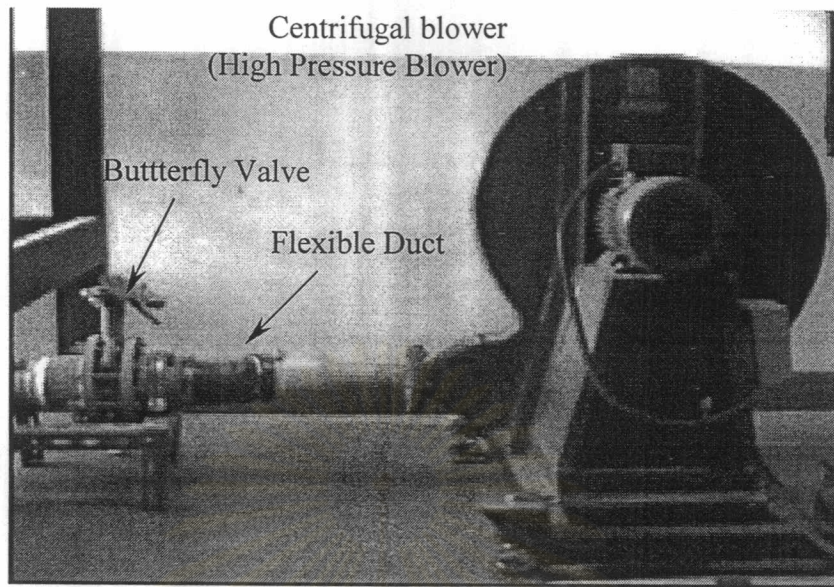
รูปที่ 2.6 ภายในหน้าตัดทดสอบ (Test section) ส่วนแรก



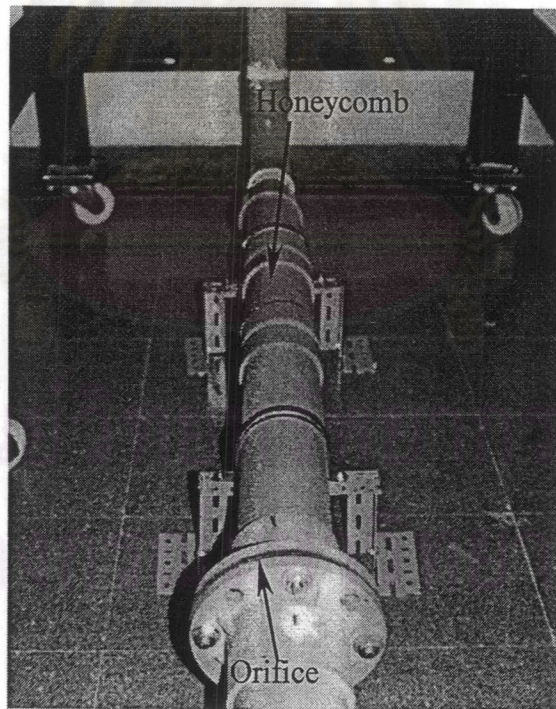
รูปที่ 2.7 รูป Schematic ของชุดเจ็ทแบบท่อหมุน



รูปที่ 2.8 ชุดเจ็ทแบบท่อหมุนทั้ง 3 ส่วนคือ Orifice section, Heating chamber และ Rotating pipe



(ก)

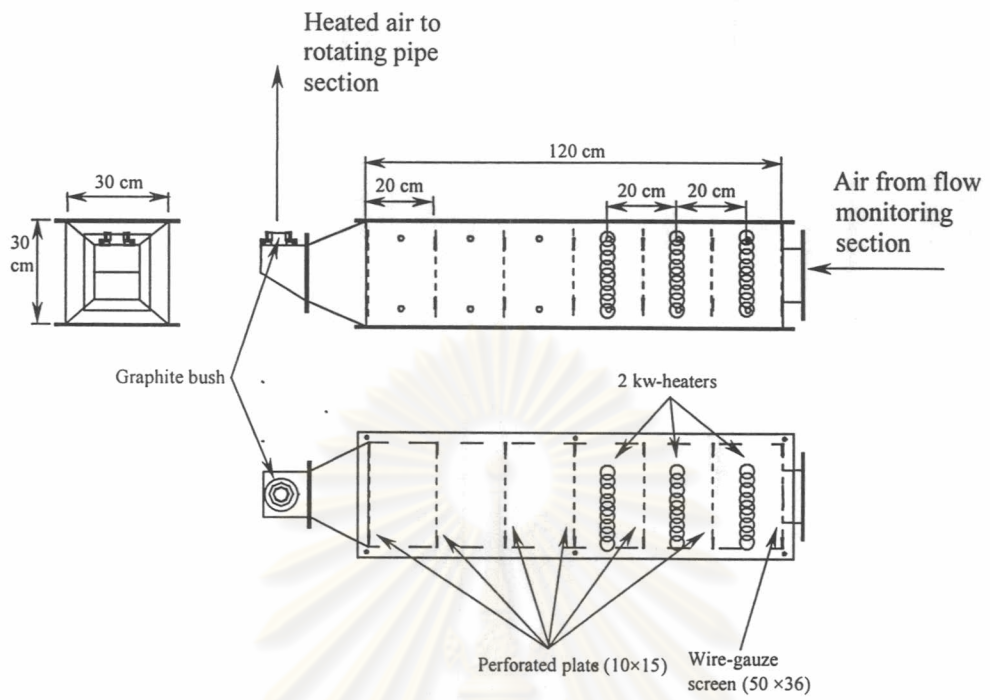


(ข)

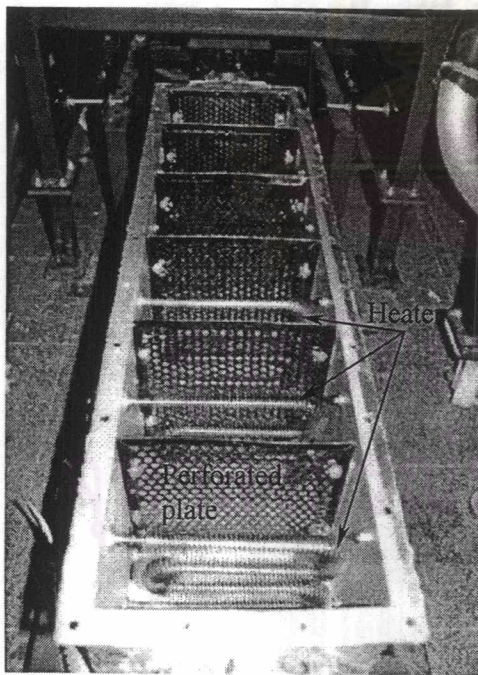
รูปที่ 2.9 ส่วนของพัดลมและ Orifice

(ก) พัดลมหอยโข่ง (Centrifugal blower) และวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly valve)

(ข) Honeycomb และ Orifice



(ก)

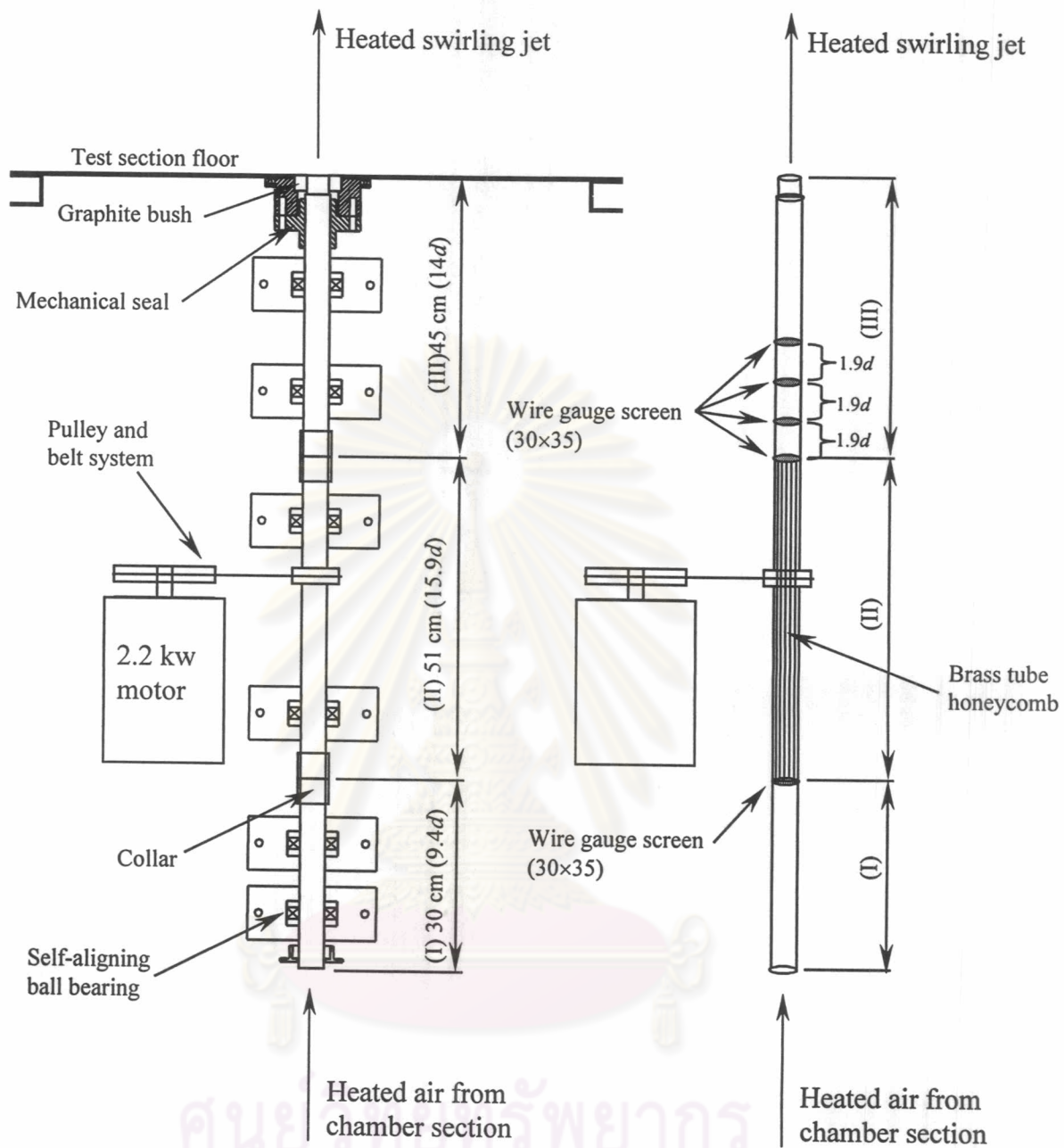


(ข)



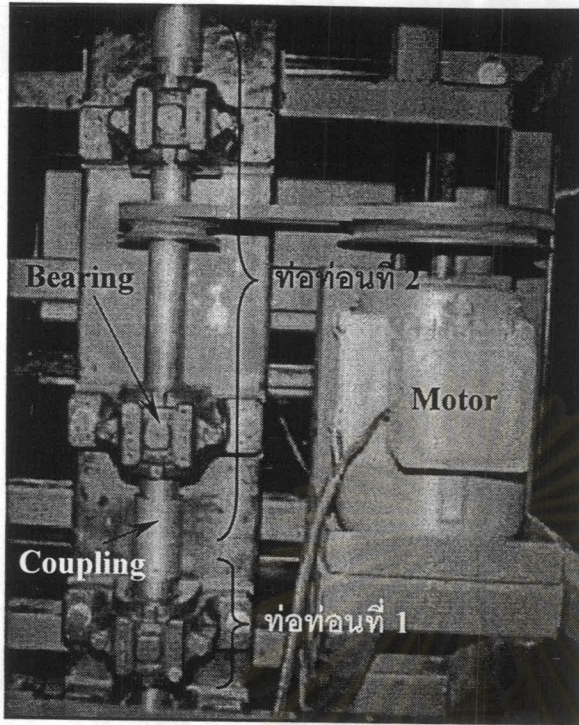
(ค)

รูปที่ 2.10 ส่วน Heating chambet (ก) รูป Schematic, (ข) รูปถ่ายภายใน และ (ค) หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ Variac ที่ใช้สำหรับ Heater

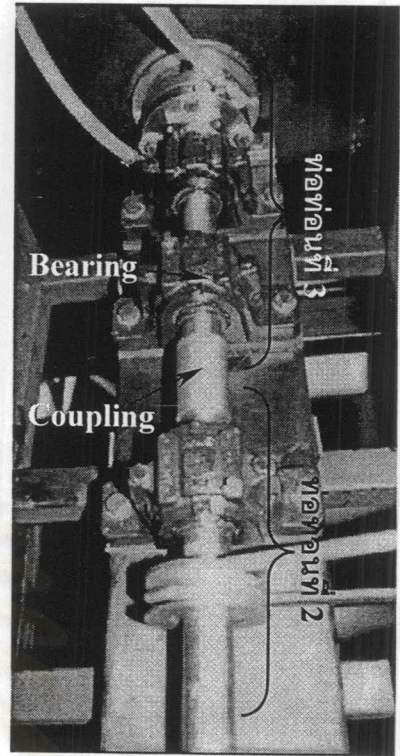


รูปที่ 2.11 รูป Schematic ของส่วนท่อหมุน (Rotating pipe)  
 (ก) ส่วนประกอบต่างๆ (ข) ส่วนประกอบสำหรับปรับสภาวะการไหล

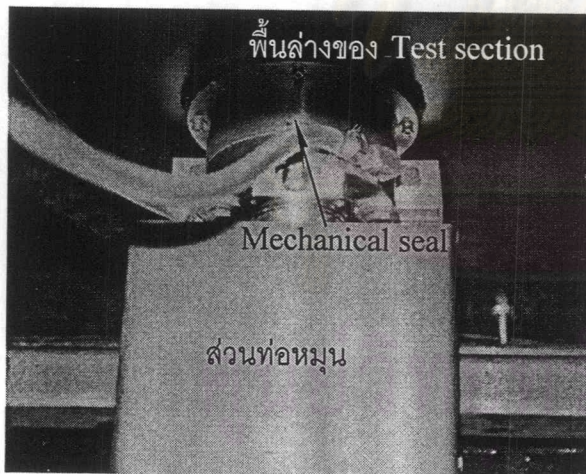




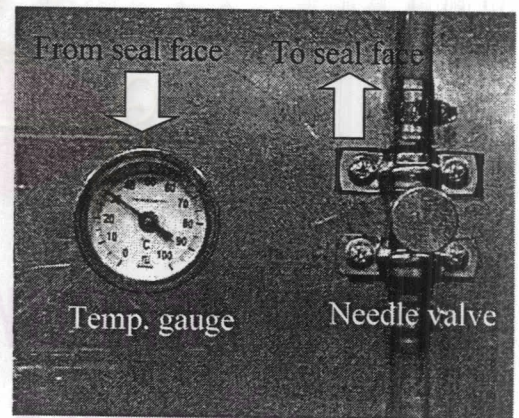
(ก)



(ข)



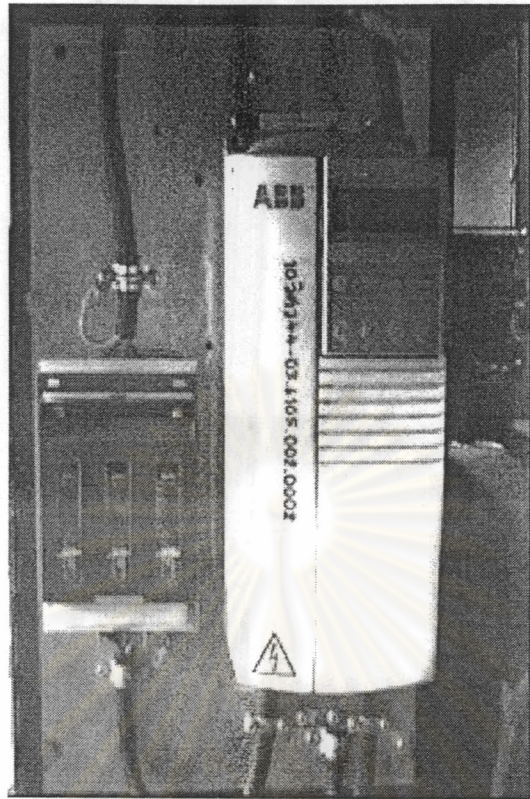
(ค)



(ง)

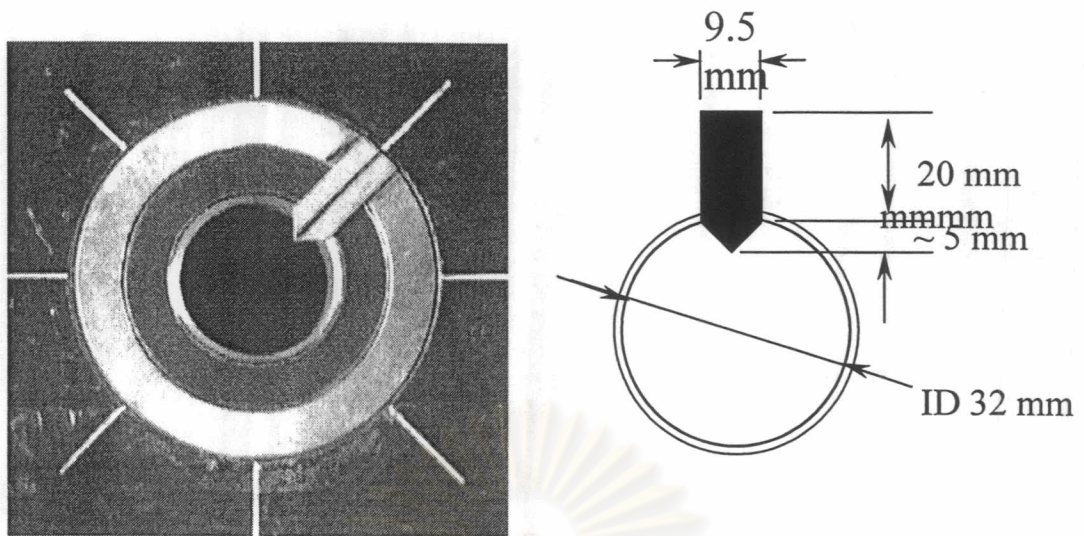
รูปที่ 2.12 รูปถ่ายของส่วนท่อหมุน (Rotating pipe)

- (ก) ท่อส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สองและการส่งกำลังโดย Pulley และสายพาน
- (ข) ท่อส่วนที่สองและส่วนที่สาม
- (ค) Mechanical seal และการประกอบกันของท่อหมุนกับพื้นล่างของ Test section
- (ง) เกจวัดอุณหภูมิและ Needle valve สำหรับการหล่อเย็นของ Mechanical seal

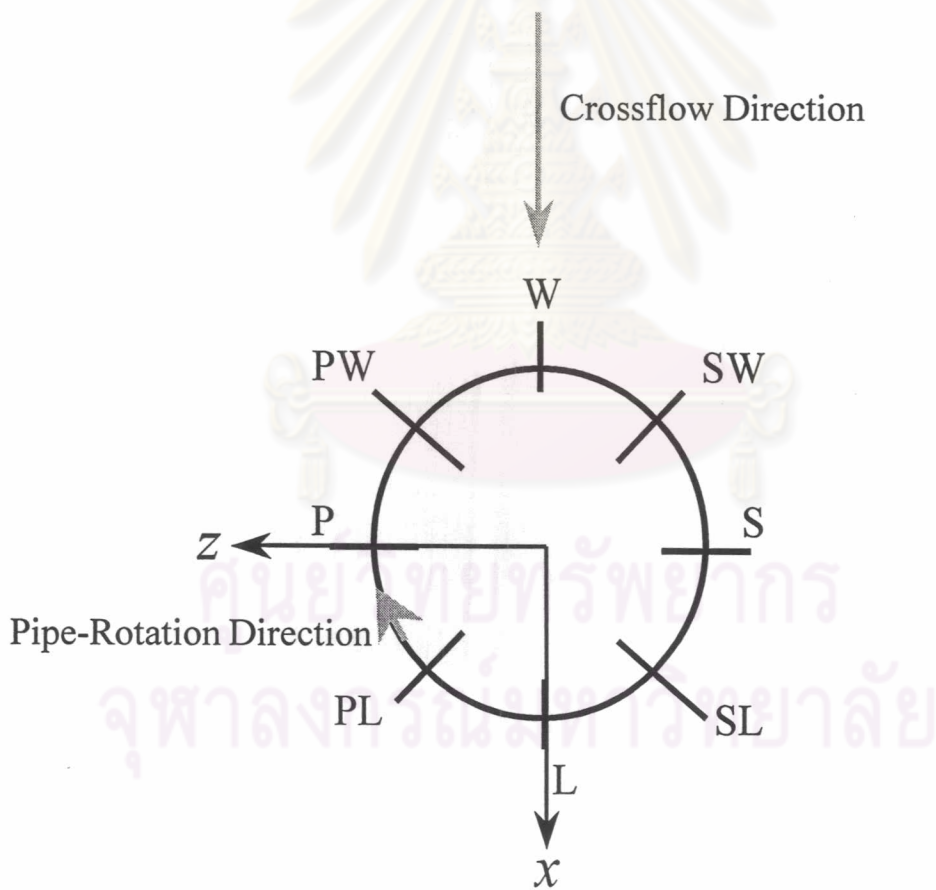


รูปที่ 2.13 Invertor ยี่ห้อ ABB ขนาด 5.5 kW ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบของท่อหมุน

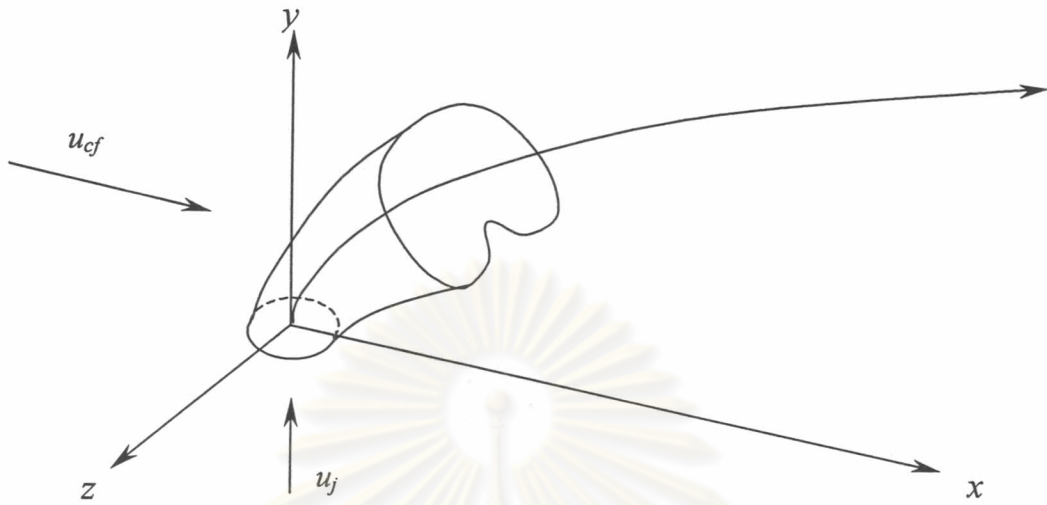
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



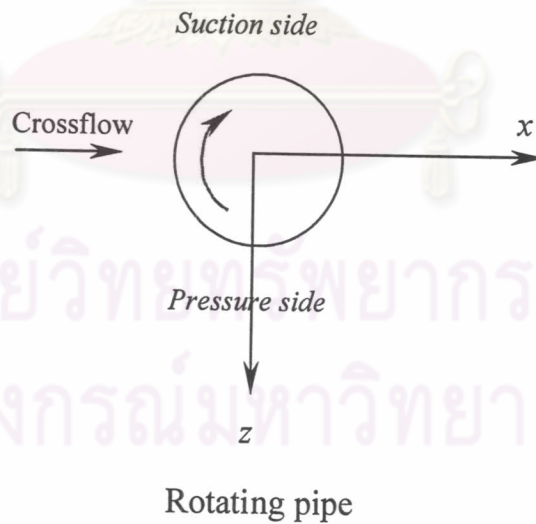
Blockage area ratio  $\sim 3.0\%$  ของพื้นที่ปากเจ็ท



รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งของ Tab ที่ติดบนขอบปากเจ็ท

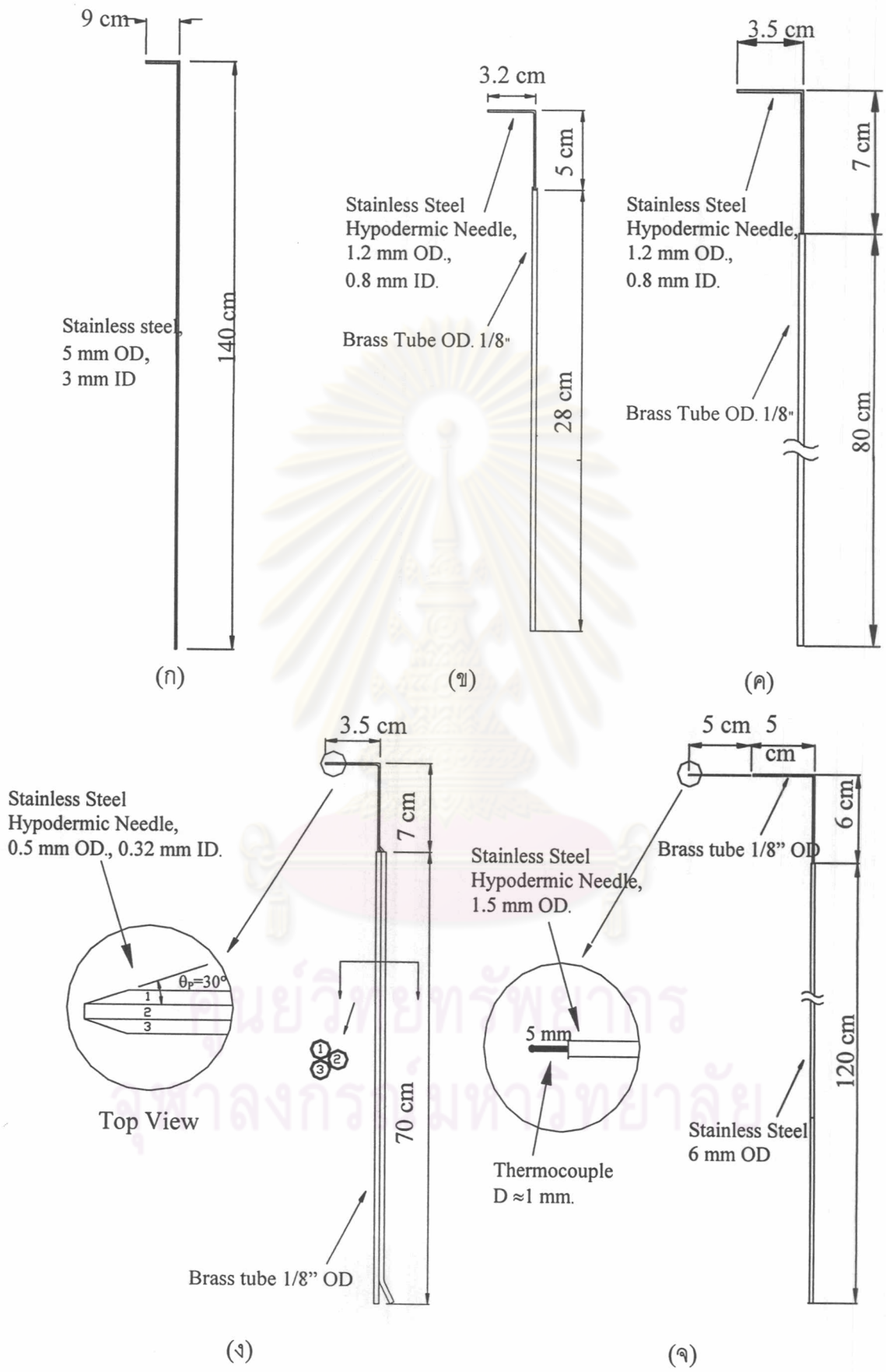


รูปที่ 2.15 พิกัดอ้างอิงที่ใช้ในการทดลอง

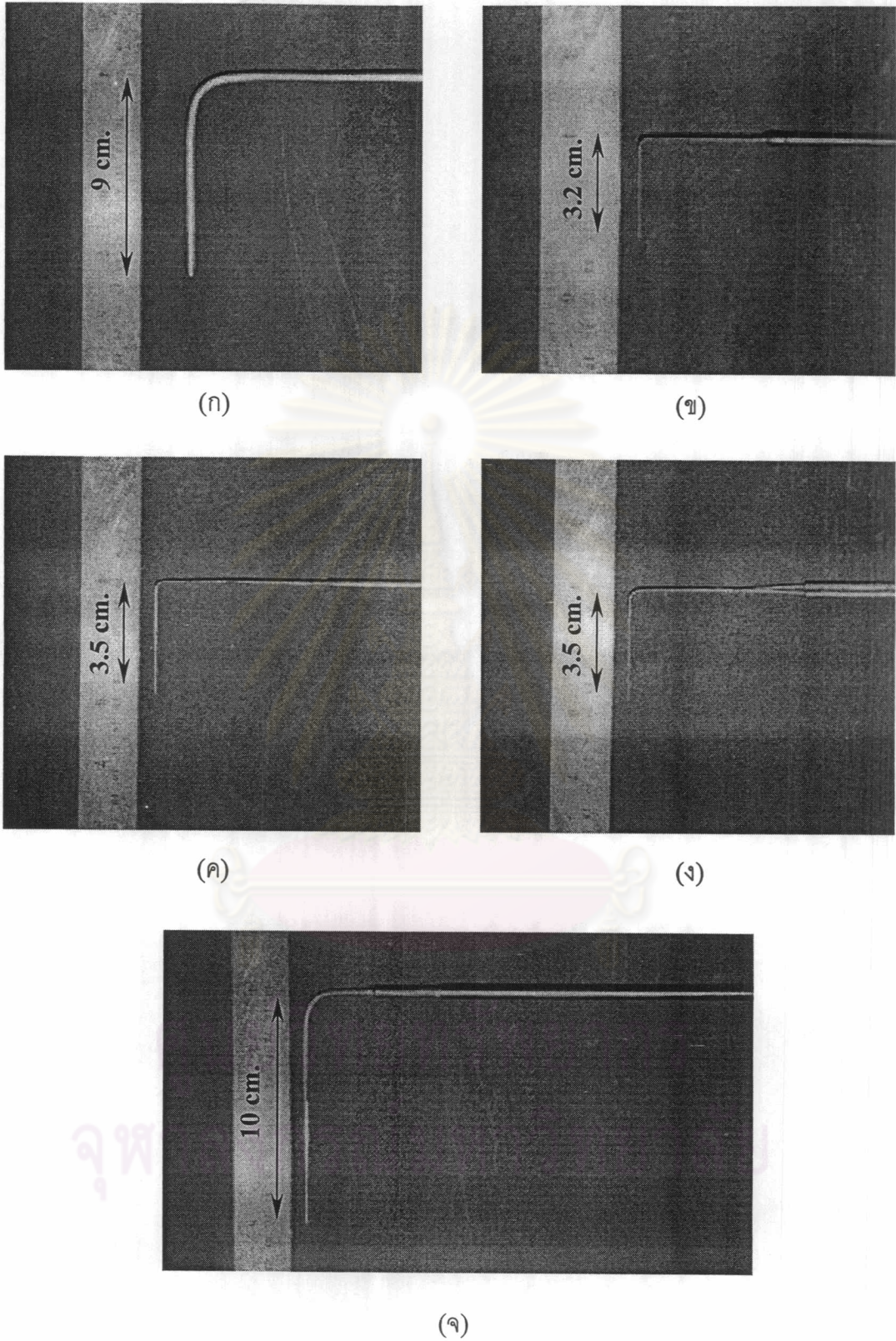


Rotating pipe

รูปที่ 2.16 การนิยามด้าน Pressure และ Suction



รูปที่ 2.17 รูป Schematic ของ Probe ที่ใช้วัด (ก)-(ค) Pitot probe A, B และ C ตามลำดับ  
 (ง) Yaw probe และ (จ) Thermocouple probe



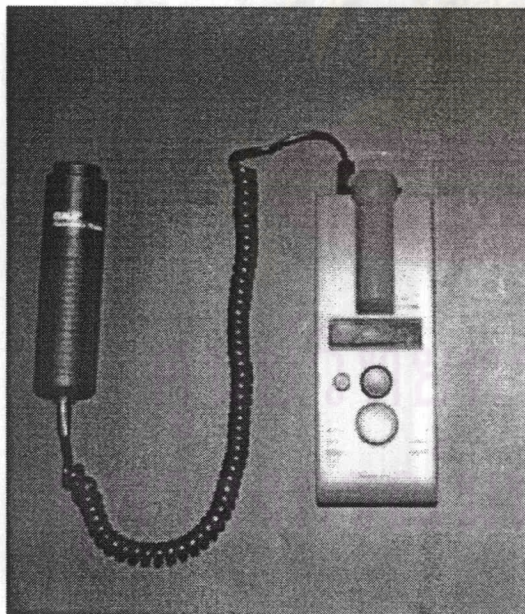
รูปที่ 2.18 รูปถ่ายของ Probe ที่ใช้วัด (ก)-(ค) Pitot probe A,B และ C ตามลำดับ  
(ง) Yaw probe และ (จ) Thermocouple probe



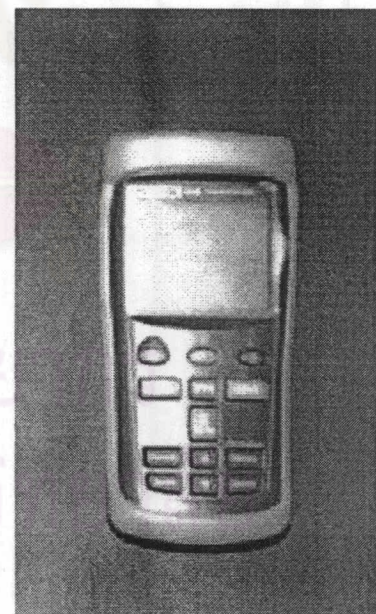
(ก)



(ข)



(ค)

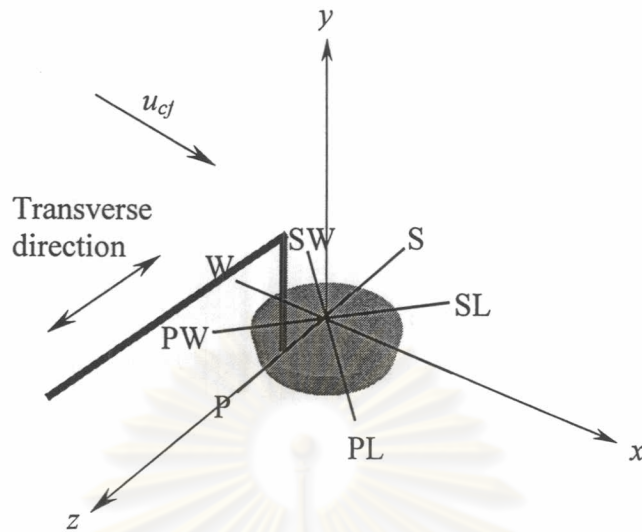


(ง)

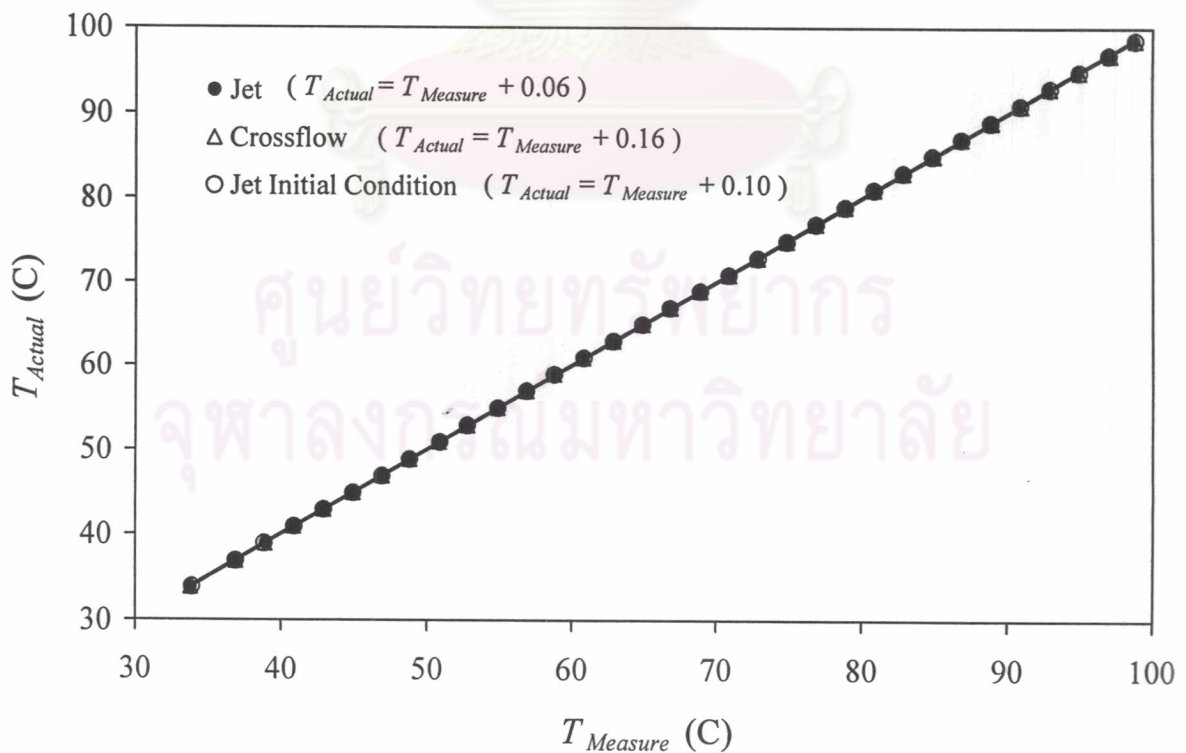
รูปที่ 2.19 อุปกรณ์การวัดอื่นๆ

(ก) Pressure transducer (ข) Digital multimeter

(ค) Optical Tachometer (ง) ตัวอ่านอุณหภูมิจาก Thermocouple

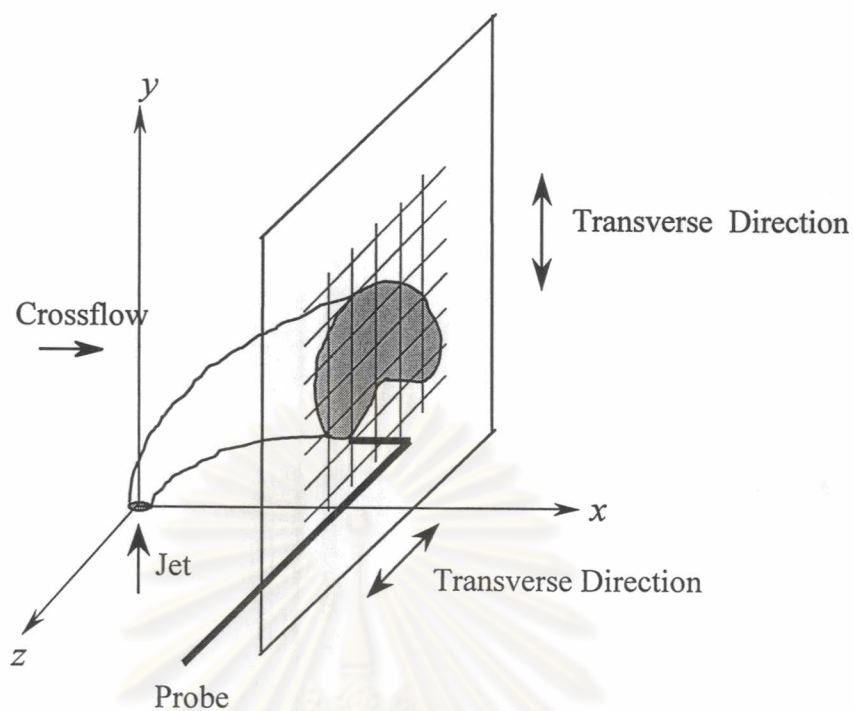


รูปที่ 2.20 ลักษณะการวัดสภาวะเริ่มต้นที่ปากเจ็ทกรณีเจ็ทไม่หมุนควง ตามแนว P-S, PW-SL, W-L และ SW-PL โดยใช้วิธีหมุนท่อแนวละ  $45^\circ$  เนื่องจาก Probe สามารถสอดผ่านผนัง Test section เข้ามาได้เพียงทิศทางเดียว ( $z$ )



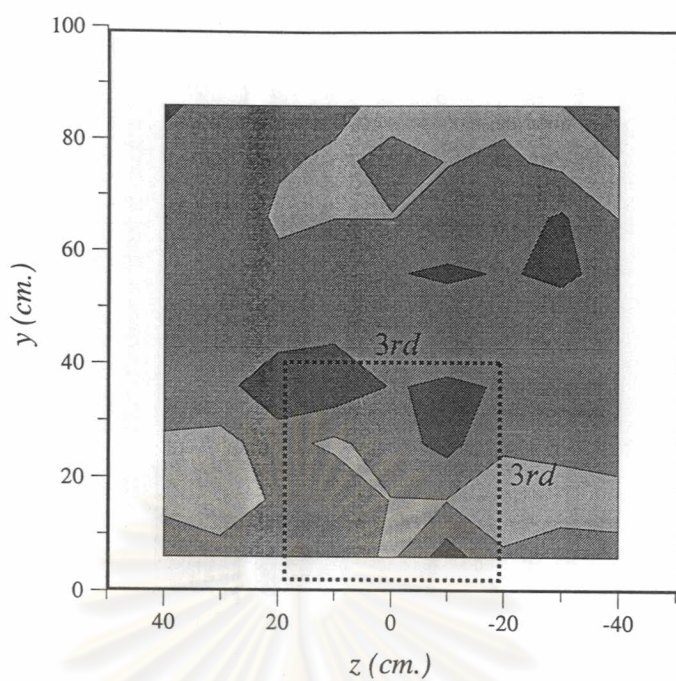
รูปที่ 2.21 ผลการสอบเทียบ Thermocouple เทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานคือ Thermometer



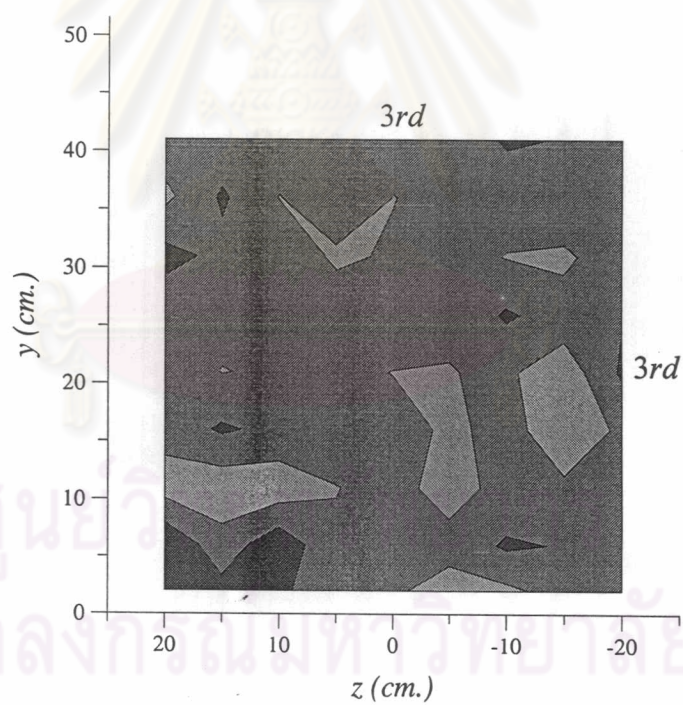


รูปที่ 2.22 ลักษณะการวัดการกระจายของอุณหภูมิเป็นหน้าตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

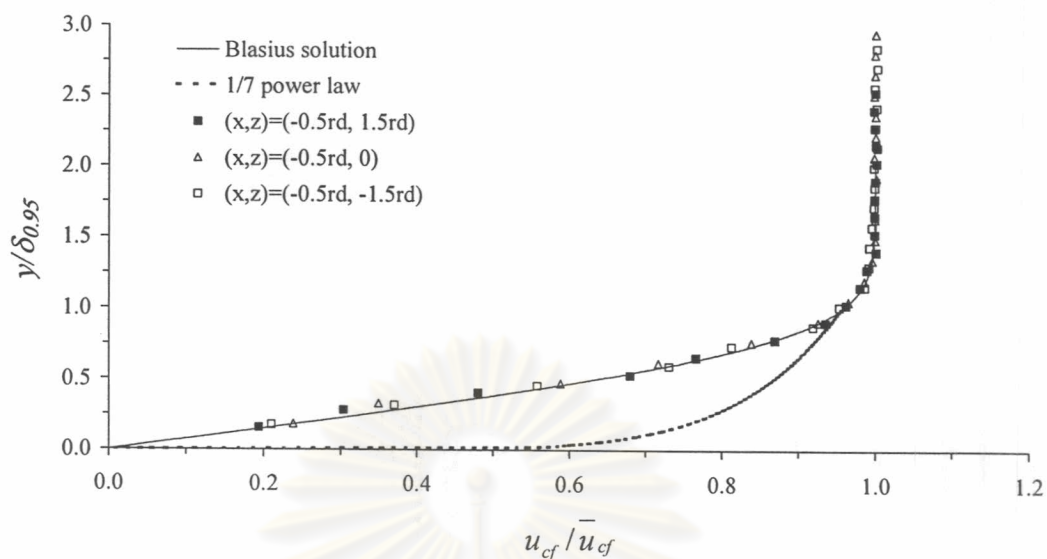


(ข)

$u$  : 2.16 2.17 2.18 2.19 (m/s)

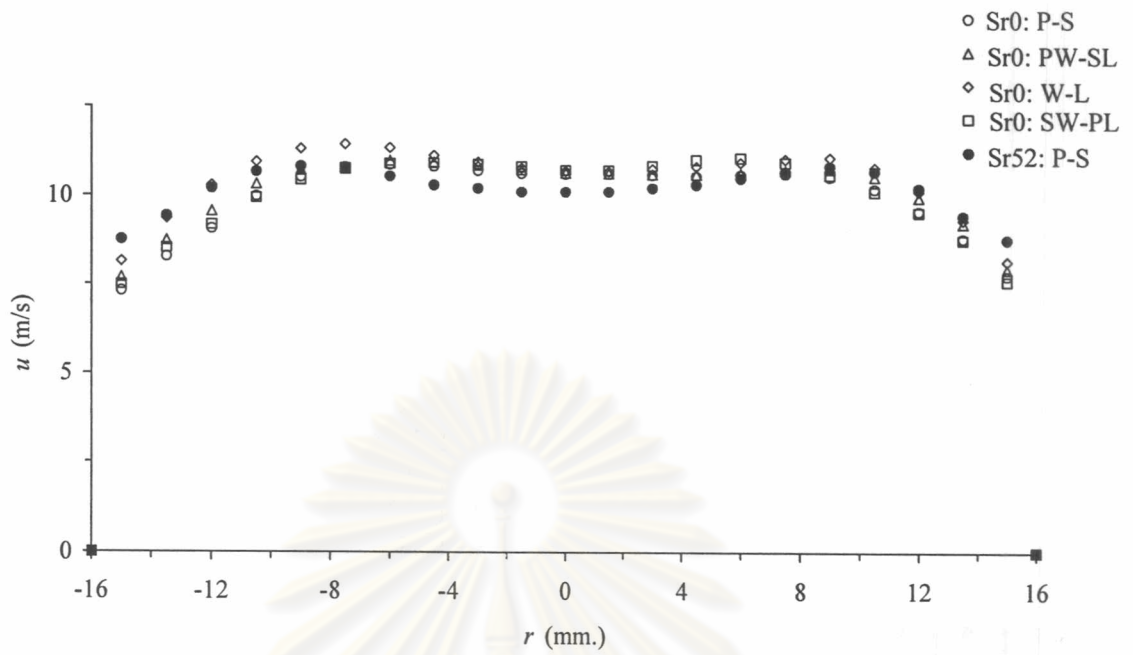
รูปที่ 3.1 ความสม่ำเสมอของความเร็วเฉลี่ยตามแนวแกน  $x$  ( $u$ ) ของกระแสลมขวางที่  $x = -15$  cm.

(ก) บริเวณทั้งหน้าตัดทดสอบของอุโมงค์ลม (ข) บริเวณที่ทำการศึกษา ( $3rd \times 3rd$ )

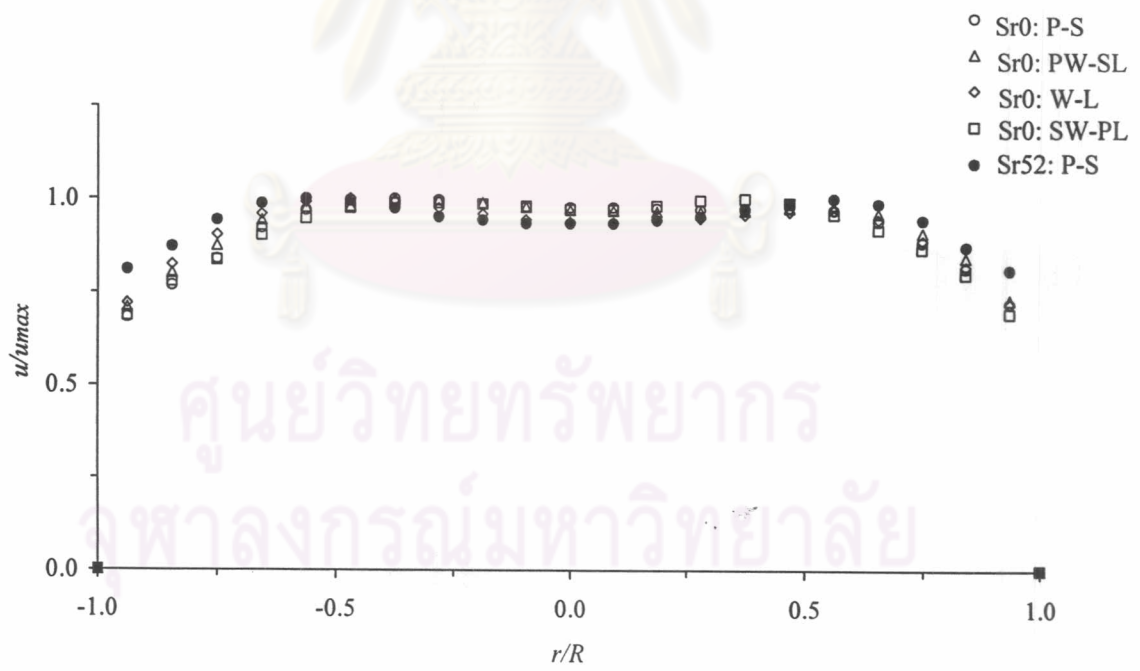


รูปที่ 3.1(ค) รูปร่างของชั้นขอบเขต (Boundary layer ;  $u_{cf}/\bar{u}_{cf}$  ,  $\bar{u}_{cf}=2.18$  m/s)  
ที่  $(x, z) = (-0.5rd, -1.5rd)$ ,  $(-0.5rd, 1.5rd)$  และ  $(-0.5rd, 1.5rd)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

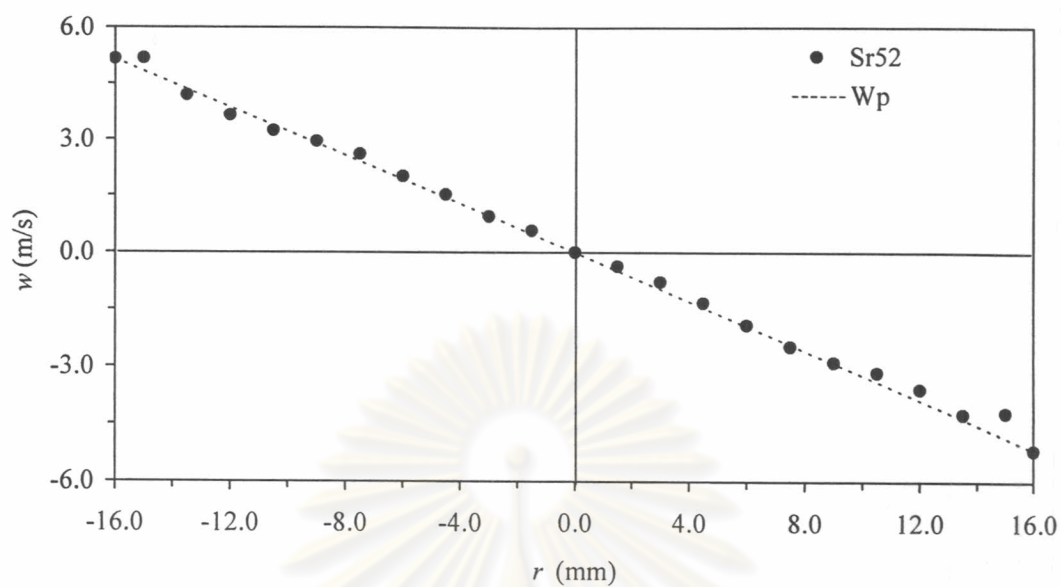


(ก)

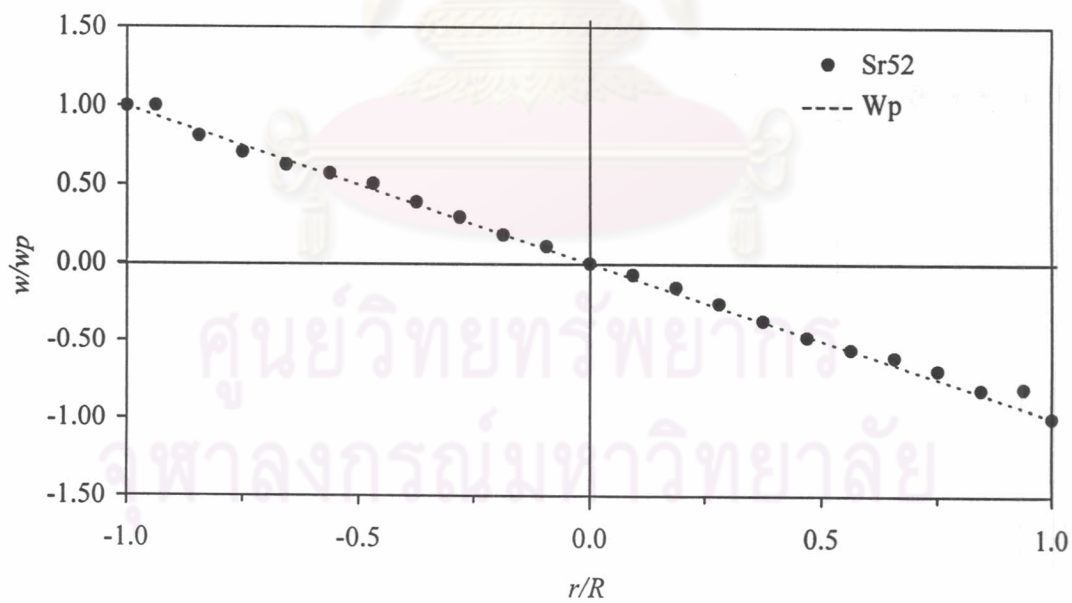


(ข)

รูปที่ 3.2 รูปร่างความเร็วในแนวแกนของเจ็ตอากาศที่ปากทางออกของเจ็ต (ก)  $u$  (ข)  $u/u_{max}$

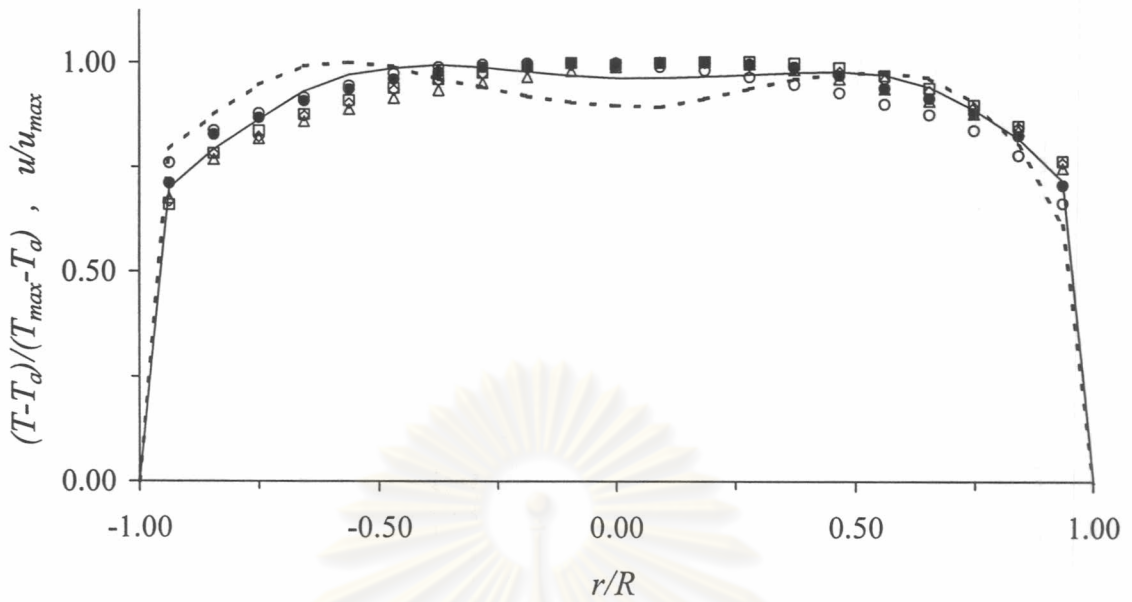


(ก)



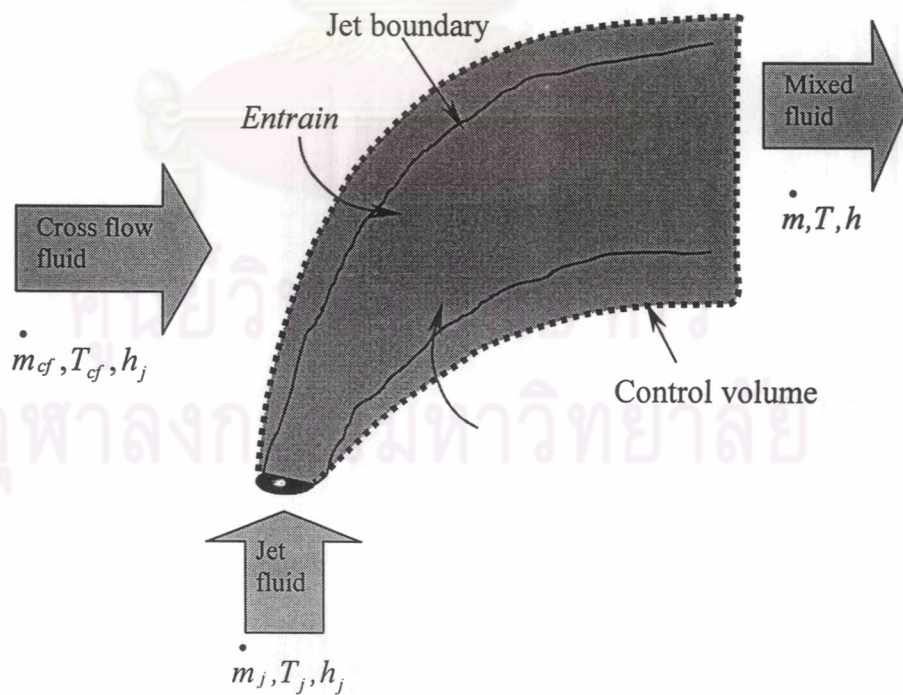
(ข)

รูปที่ 3.3 รูปร่างความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตอากาศที่ปากทางออกของเจ็ต (ก)  $w$  (ข)  $w/w_p$

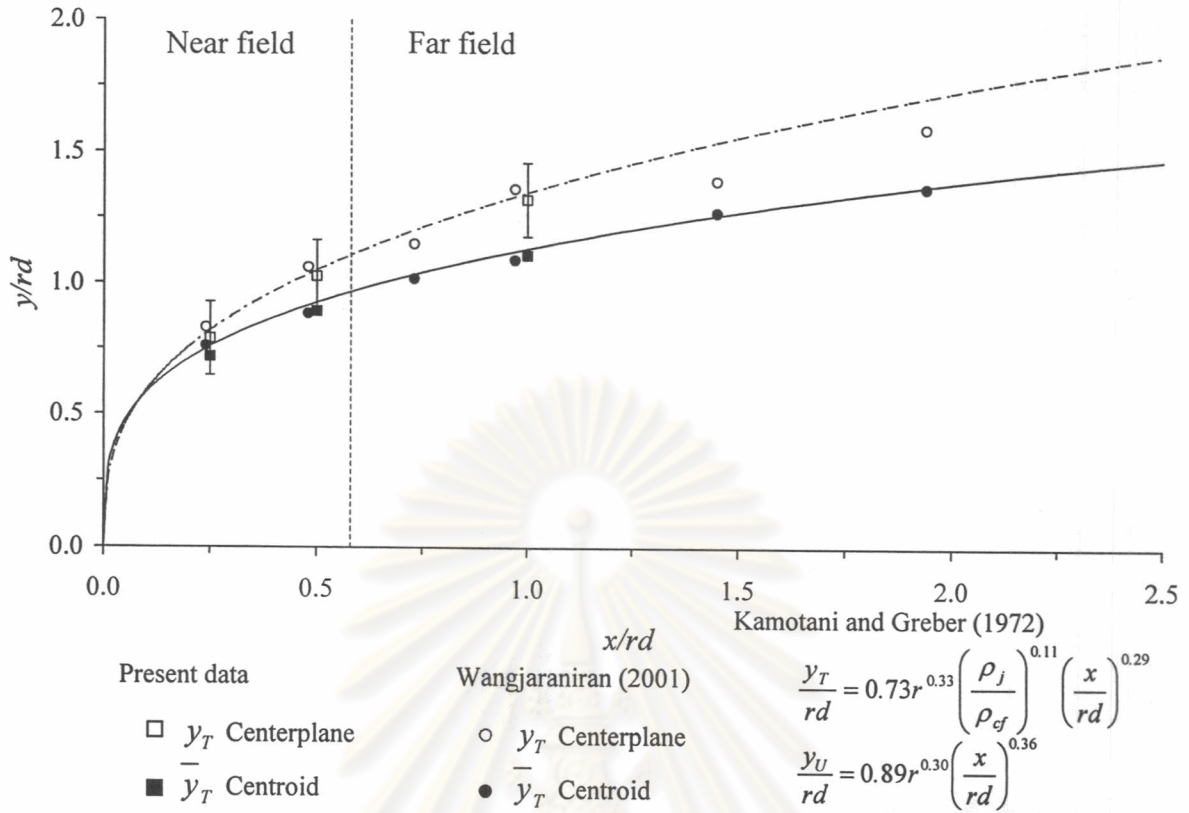


$(T-T_a)/(T_{max}-T_a)$  :  $\circ$  Sr0:P-S  $\triangle$  Sr0:PW-SL  $\diamond$  Sr0:W-L  $\square$  Sr0: SW-PL  $\bullet$  Sr52:P-S  
 $u/u_{max}$  : — Sr0 - - - - Sr52

รูปที่ 3.4 รูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบกับรูปร่างการกระจายตัวของความเร็วในแนวแกนที่ปากทางออกของเจ็ต

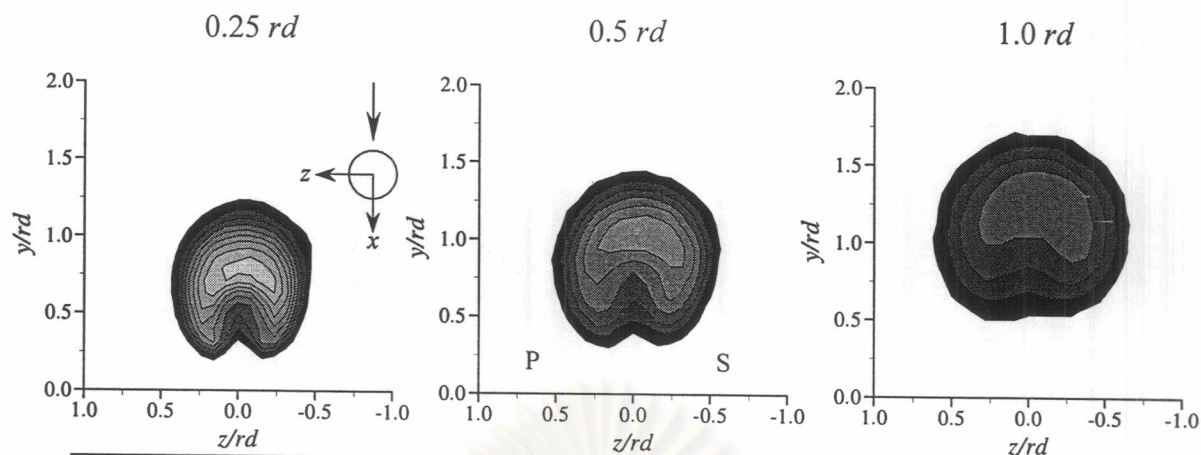


รูปที่ 3.5 ปริมาตรควบคุมในการวิเคราะห์คุณลักษณะการผสมของที่แสดงโดย  $C_{TG}$

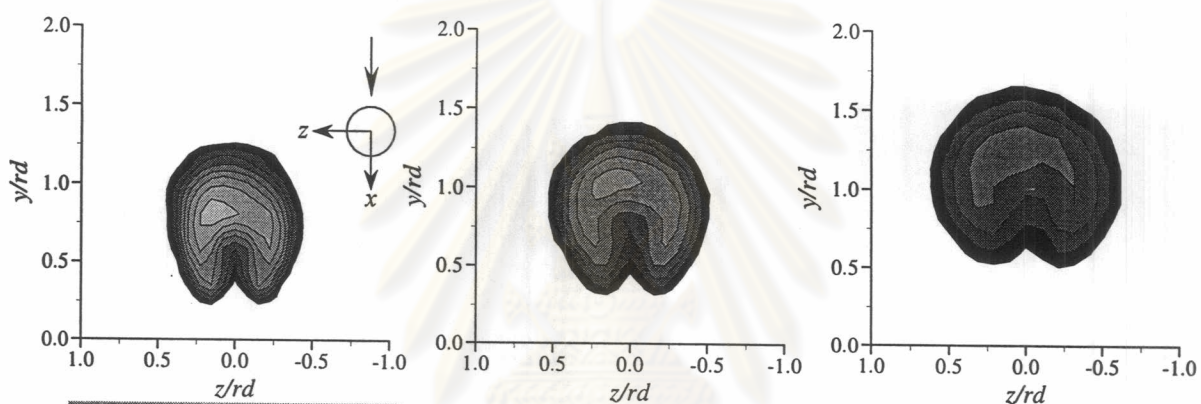


รูปที่ 3.6 Centerplane ( $y_T$ ) และ Centroid ( $\bar{y}_T$ ) ของอนุภาคน้ำ สำหรับกรณีเจ็ตไม่หมุนควง ( $Sr_0$ ) เปรียบเทียบกับ Wangjiraniran (2001) และเปรียบเทียบกับ Trajectory ของอนุภาคน้ำ ( $y_T$ ) และความเร็ว ( $y_U$ ) ของ Kamotani and Greber (1972)

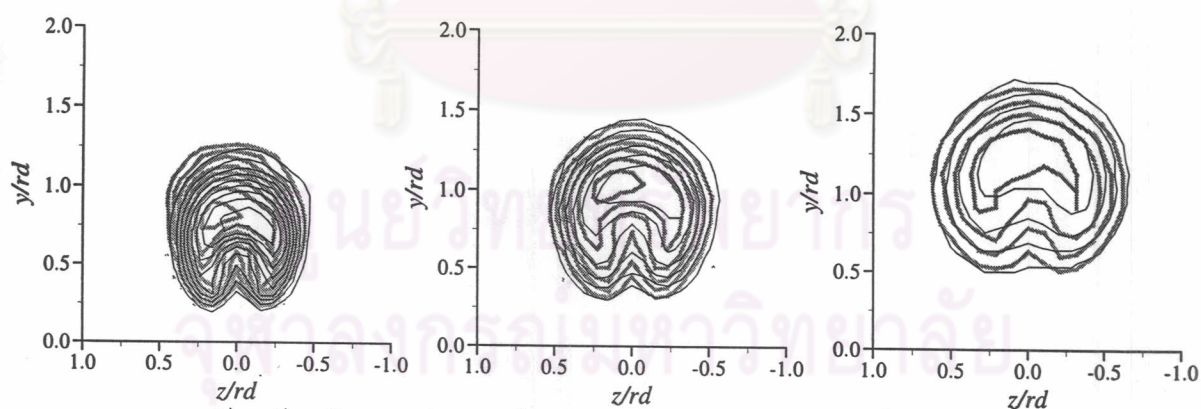
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



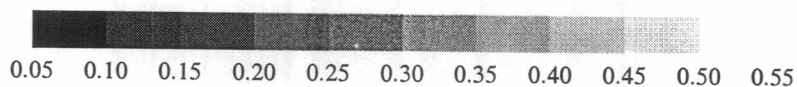
การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดไม่หมุนควง ( $Sr0$ ) ของการทดลองนี้



การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดไม่หมุนควง ( $Sr0$ ) ของ Wangjiraniran (2001)

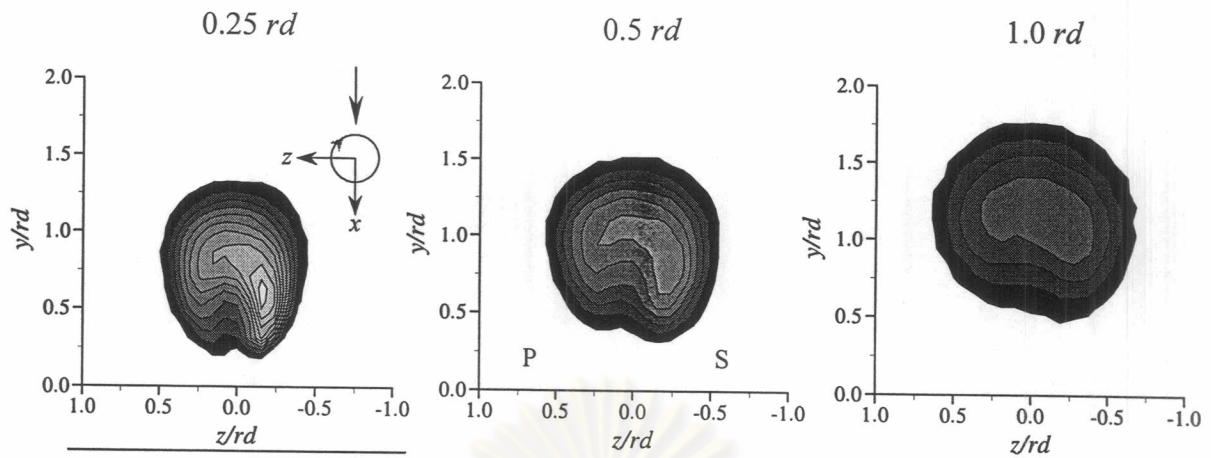


การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและตำแหน่ง การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดไม่หมุนควง ( $Sr0$ ) ของการทดลองนี้และ Wangjiraniran (2001)

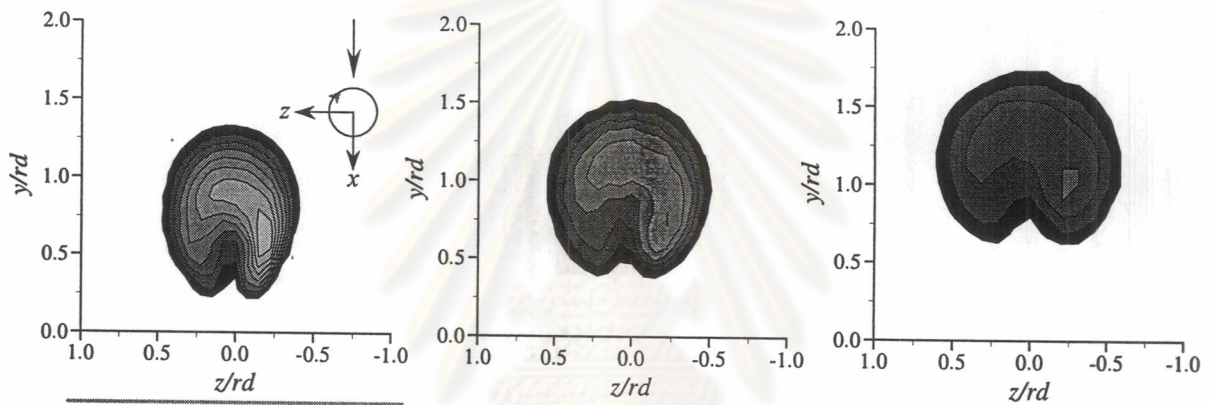


รูปที่ 3.7ก การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ที่หน้าตัดต่างๆ ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองนี้กับผลที่ได้จาก Wangjiraniran (2001) ในกรณีที่เจ็ดไม่หมุนควง  $Sr0$

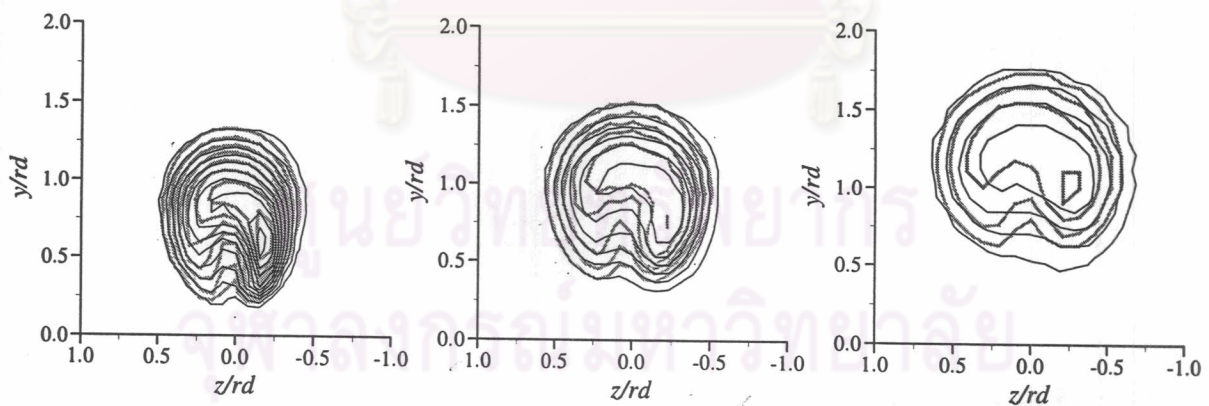




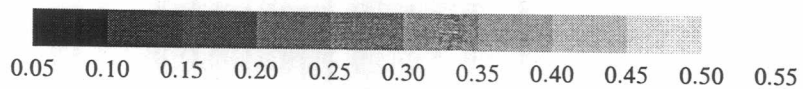
การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดหมุนควง (Sr52) ของการทดลองนี้



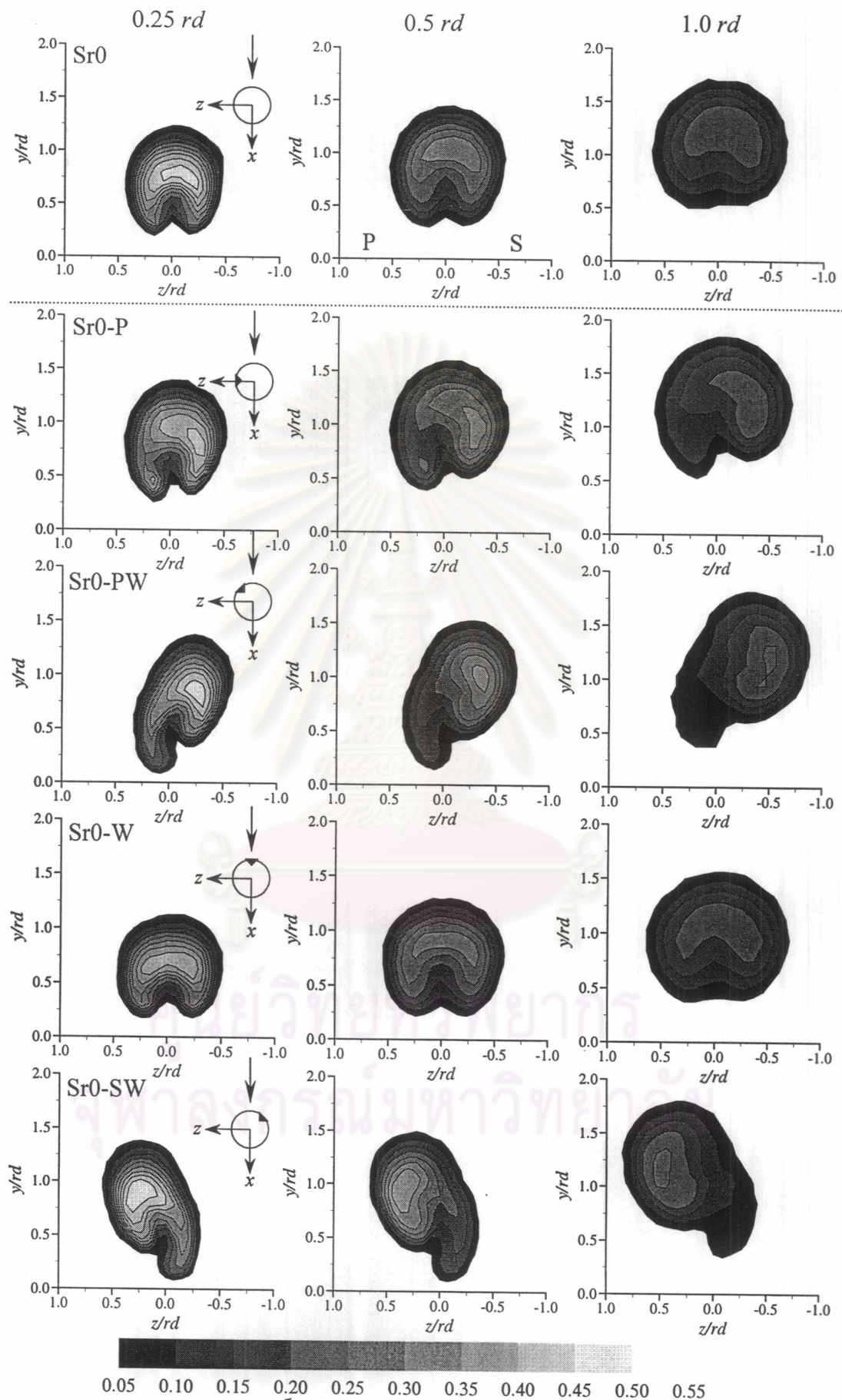
การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดหมุนควง (Sr52) ของ Wangjiraniran (2001)



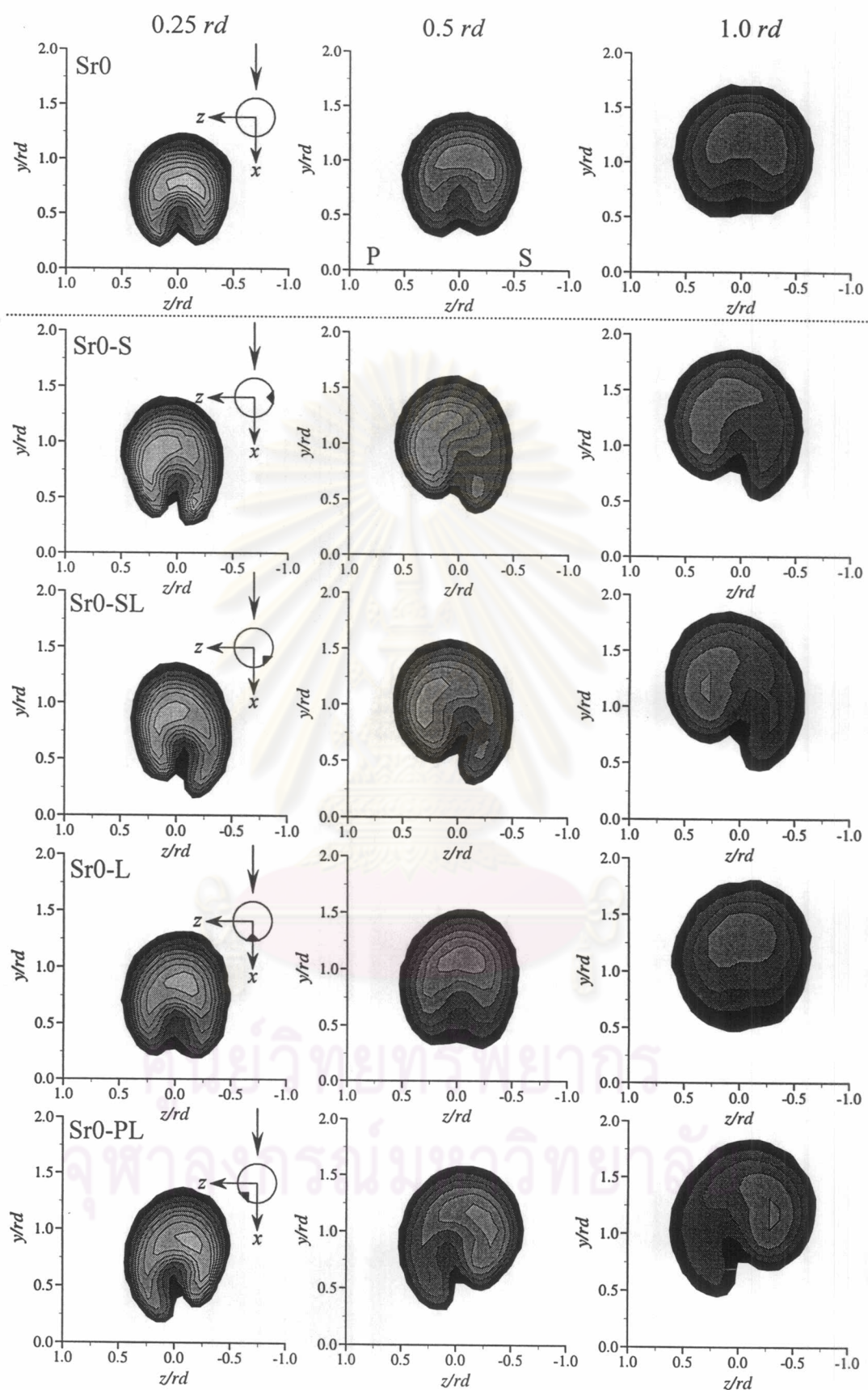
การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและตำแหน่ง การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) กรณีเจ็ดหมุนควง (Sr52) ของการทดลองนี้และ Wangjiraniran (2001)



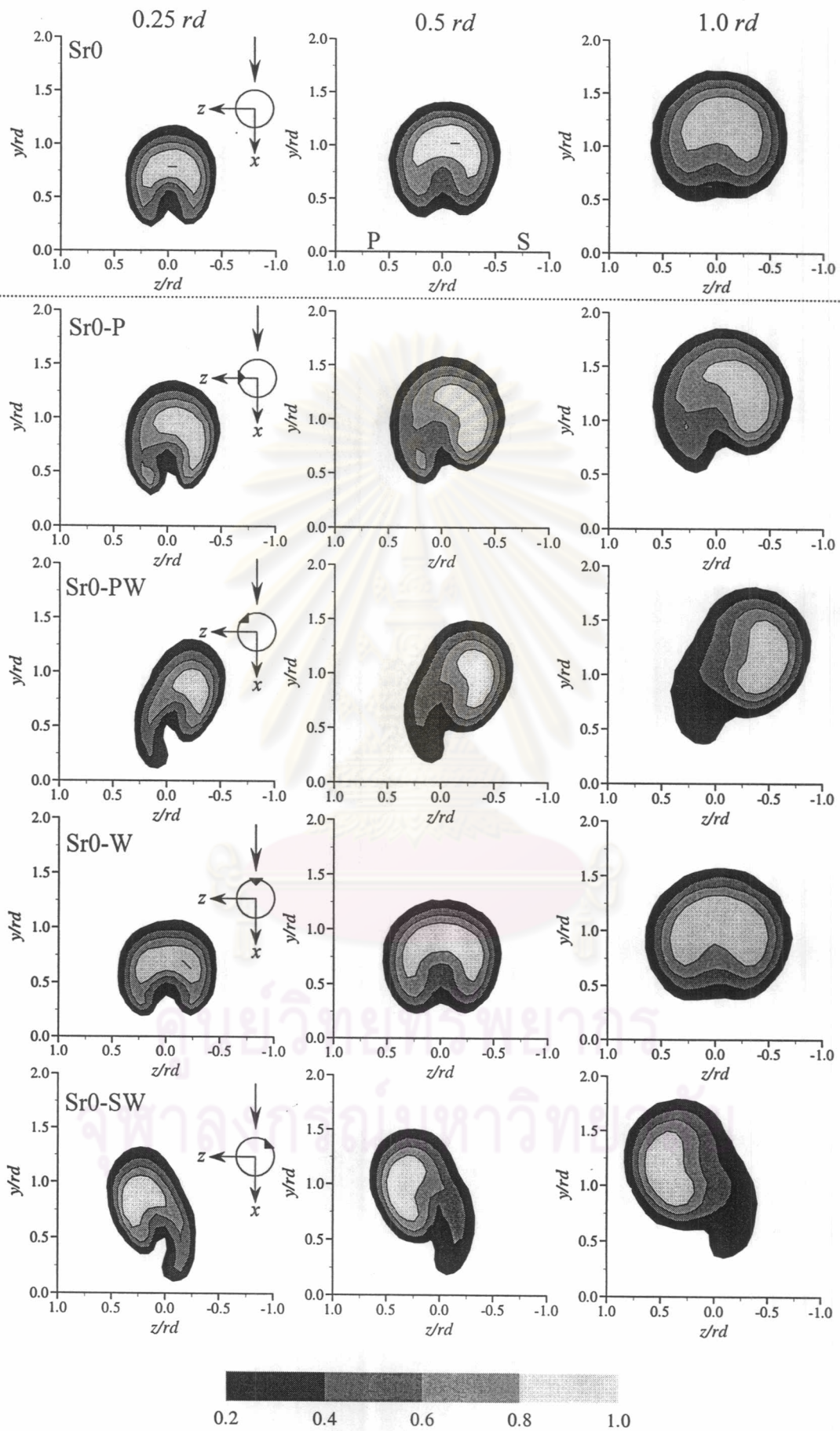
รูปที่ 3.7ข การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ที่หน้าตัดต่างๆ ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองนี้กับผลที่ได้จาก Wangjiraniran (2001) ในกรณีเจ็ดหมุนควง Sr52



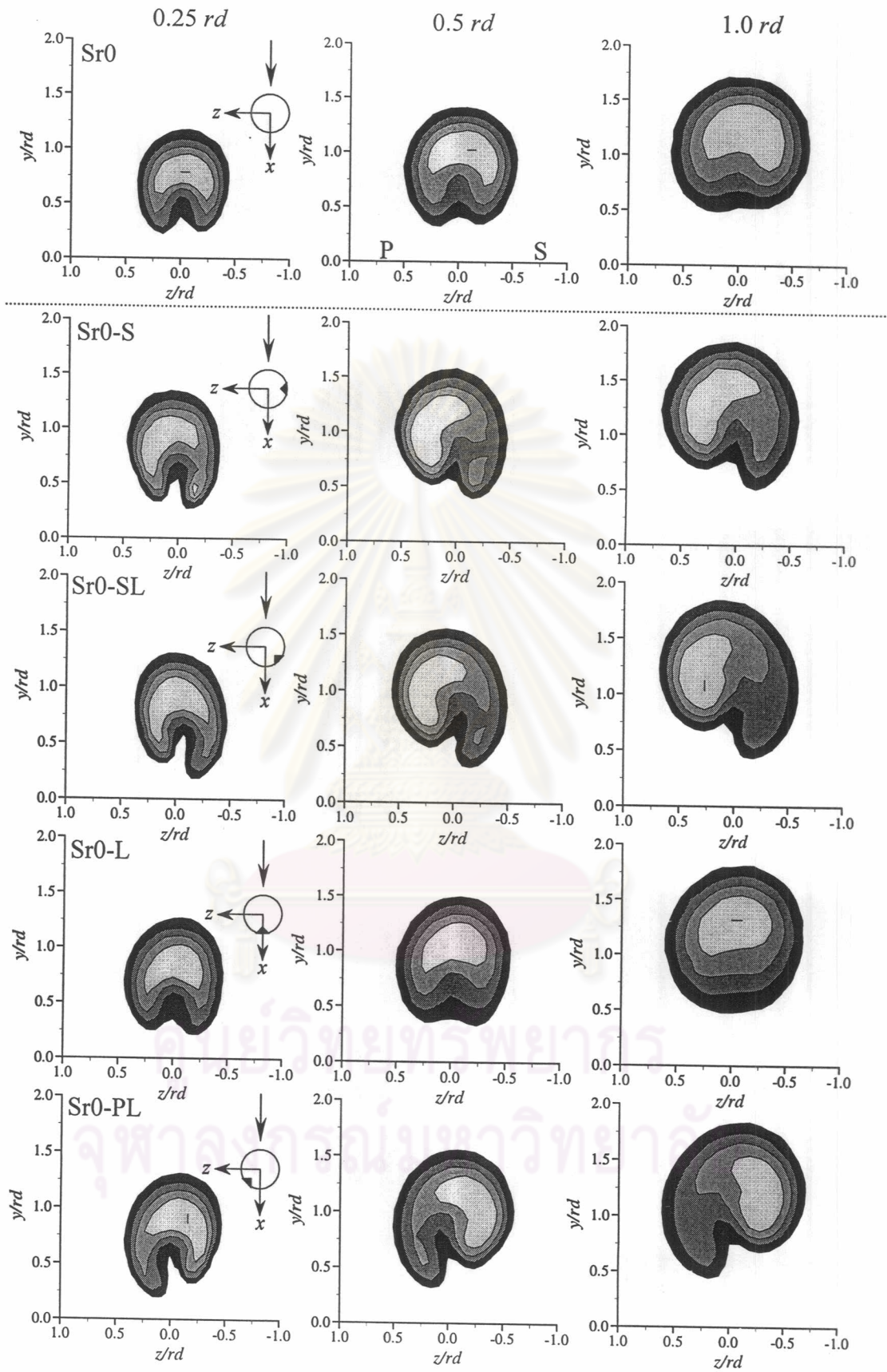
รูปที่ 3.8 ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{TG}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream ( $x$ ) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง P, PW, W, SW บนขอบปากเจ็ตที่ไม่หมุนควง



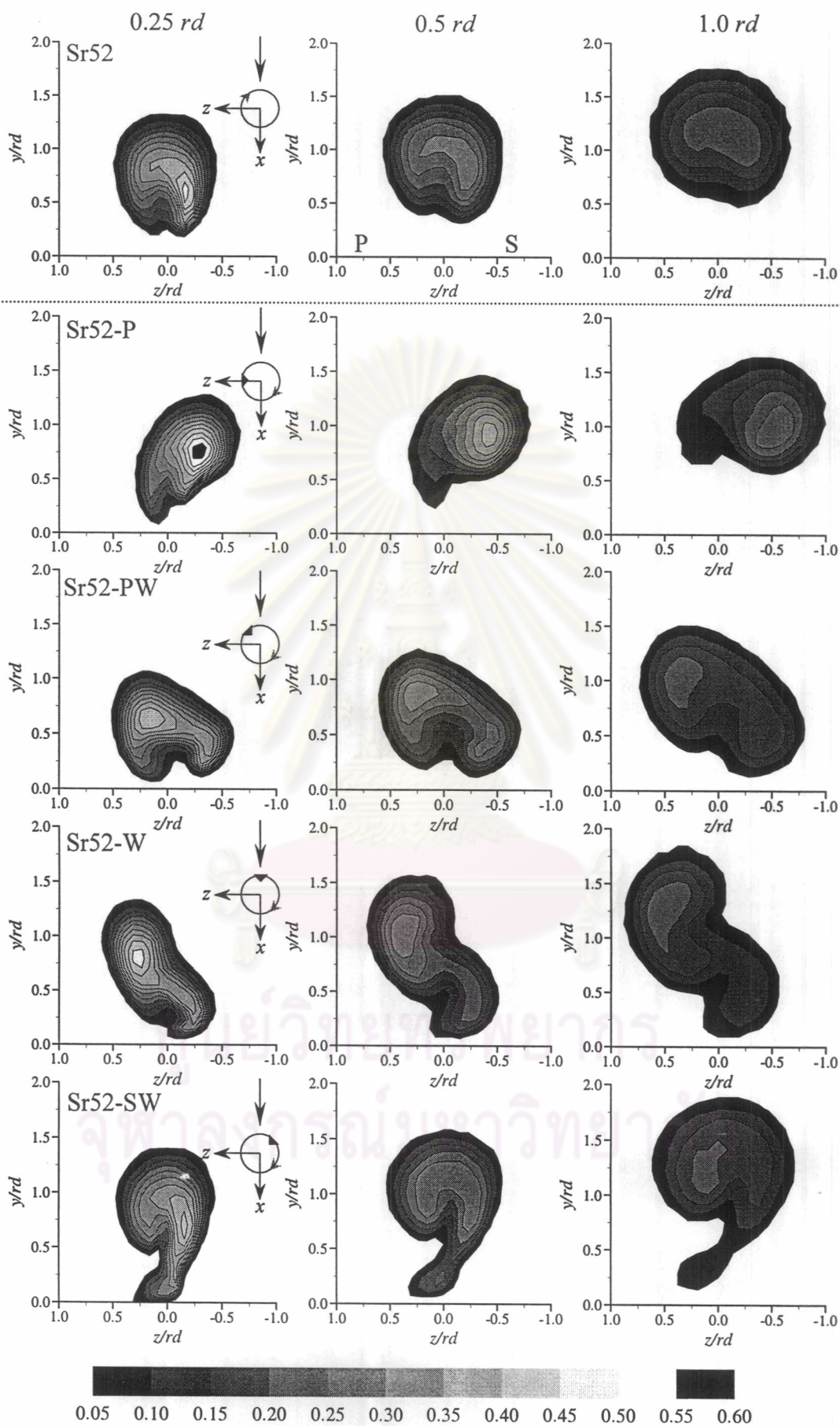
รูปที่ 3.8 ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรรวม ( $C_{TG}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream ( $x$ ) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง S, SL, L, PL บนขอบปากเจ็ตที่ไม่หมุนควง



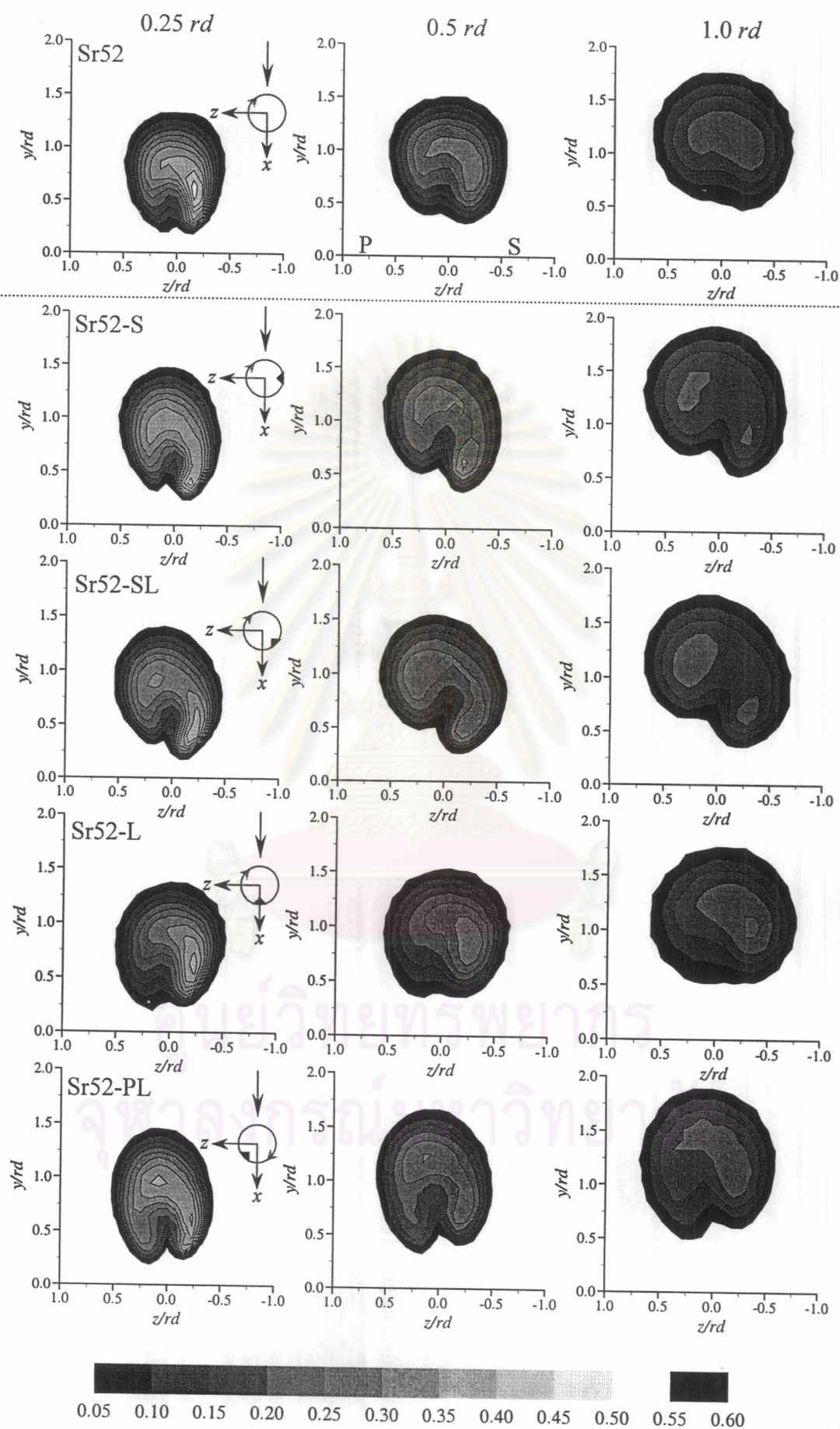
รูปที่ 3.9ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream( $x$ ) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง P, PW, W, SW บนขอบปากเจ็ตที่ไม่หมุนควง



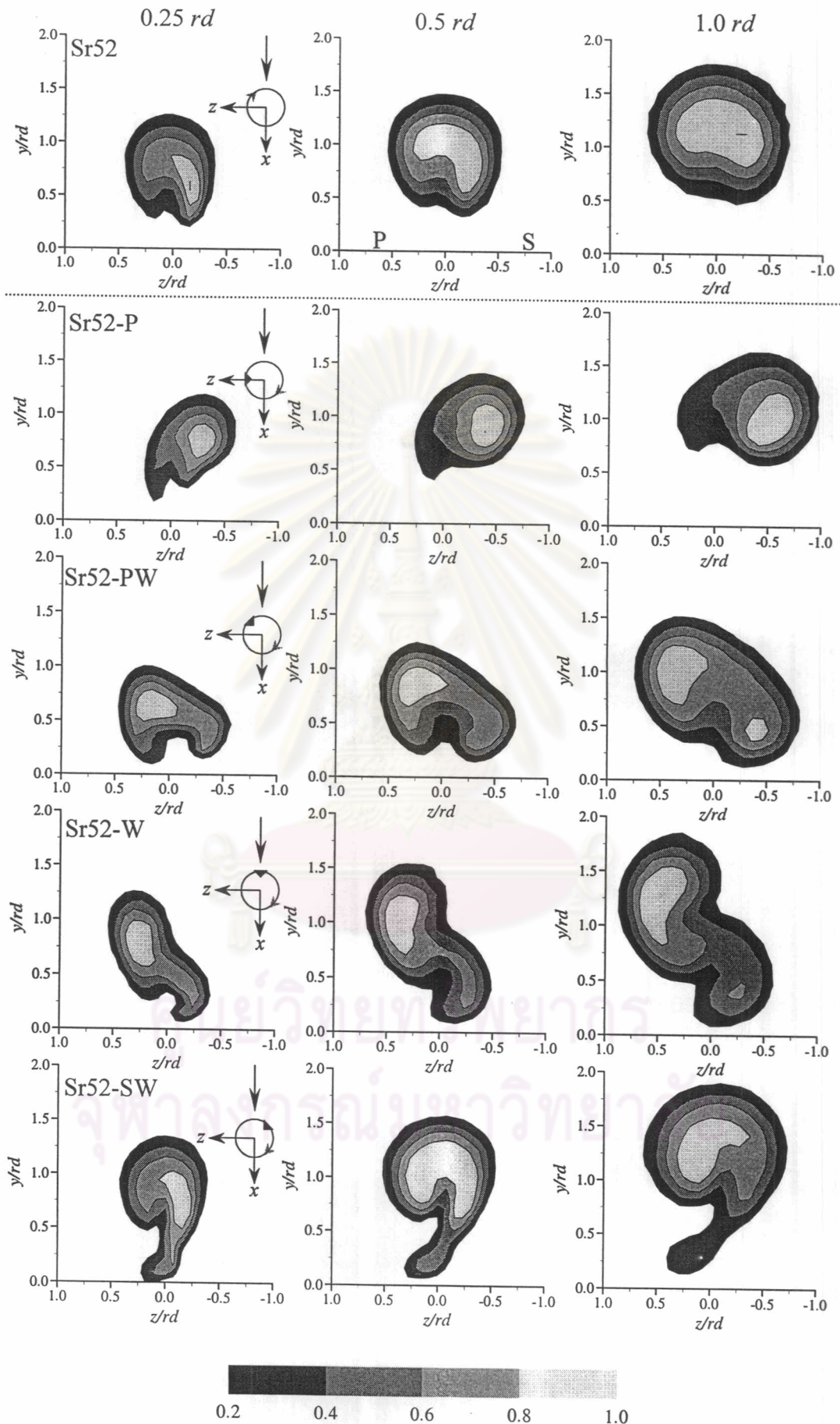
รูปที่ 3.9 ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream(x) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง S, SL, L, PL บนขอบปากเจ็ตที่ไม่หมุนควง



รูปที่ 3.10ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream (x) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง P, PW, W, SW บนขอบปากเจ็ตที่หมุนควง

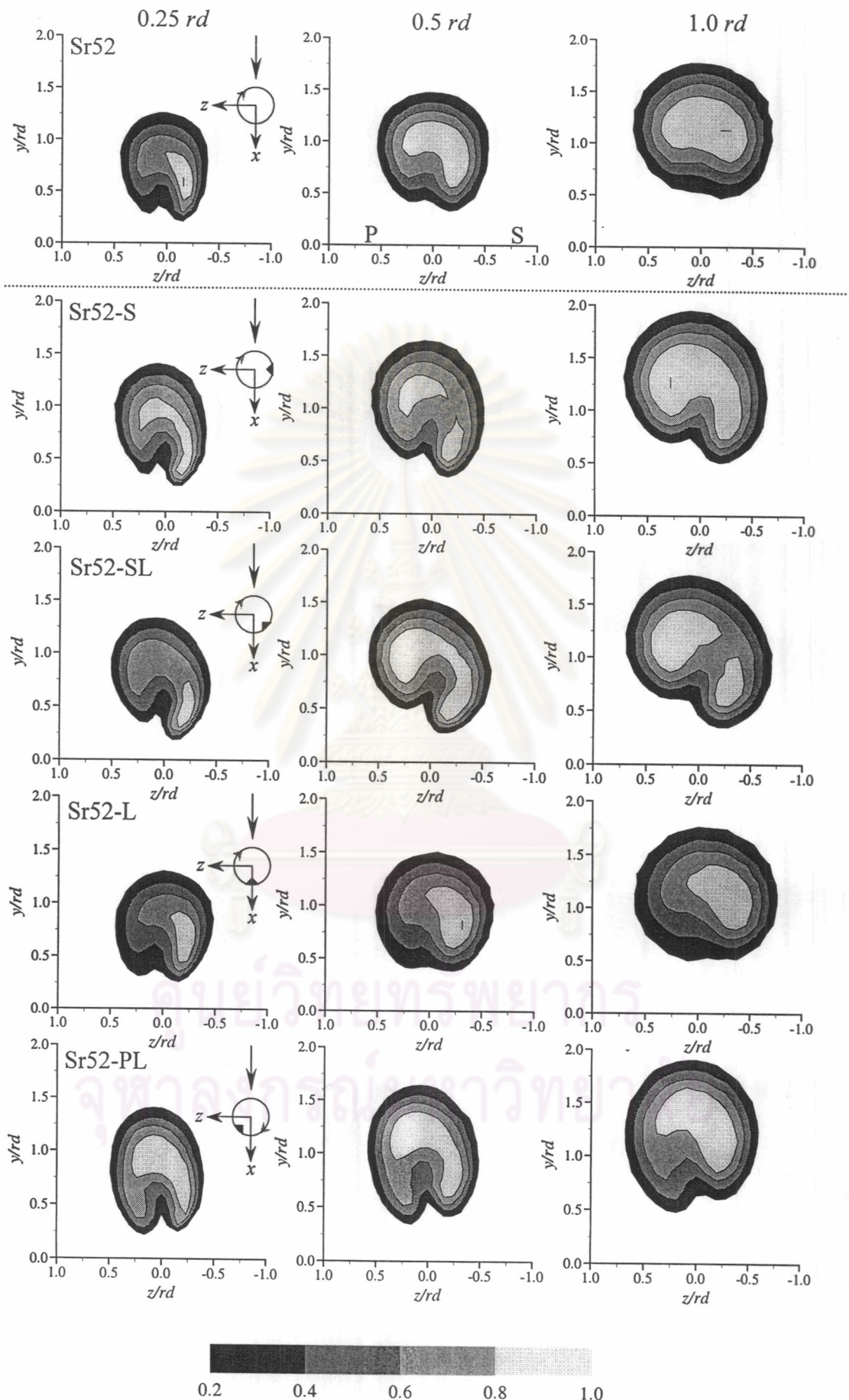


รูปที่ 3.10 ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{7G}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream ( $x$ ) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง S, SL, L, PL บนขอบปากเจ็ตที่หมุนควง

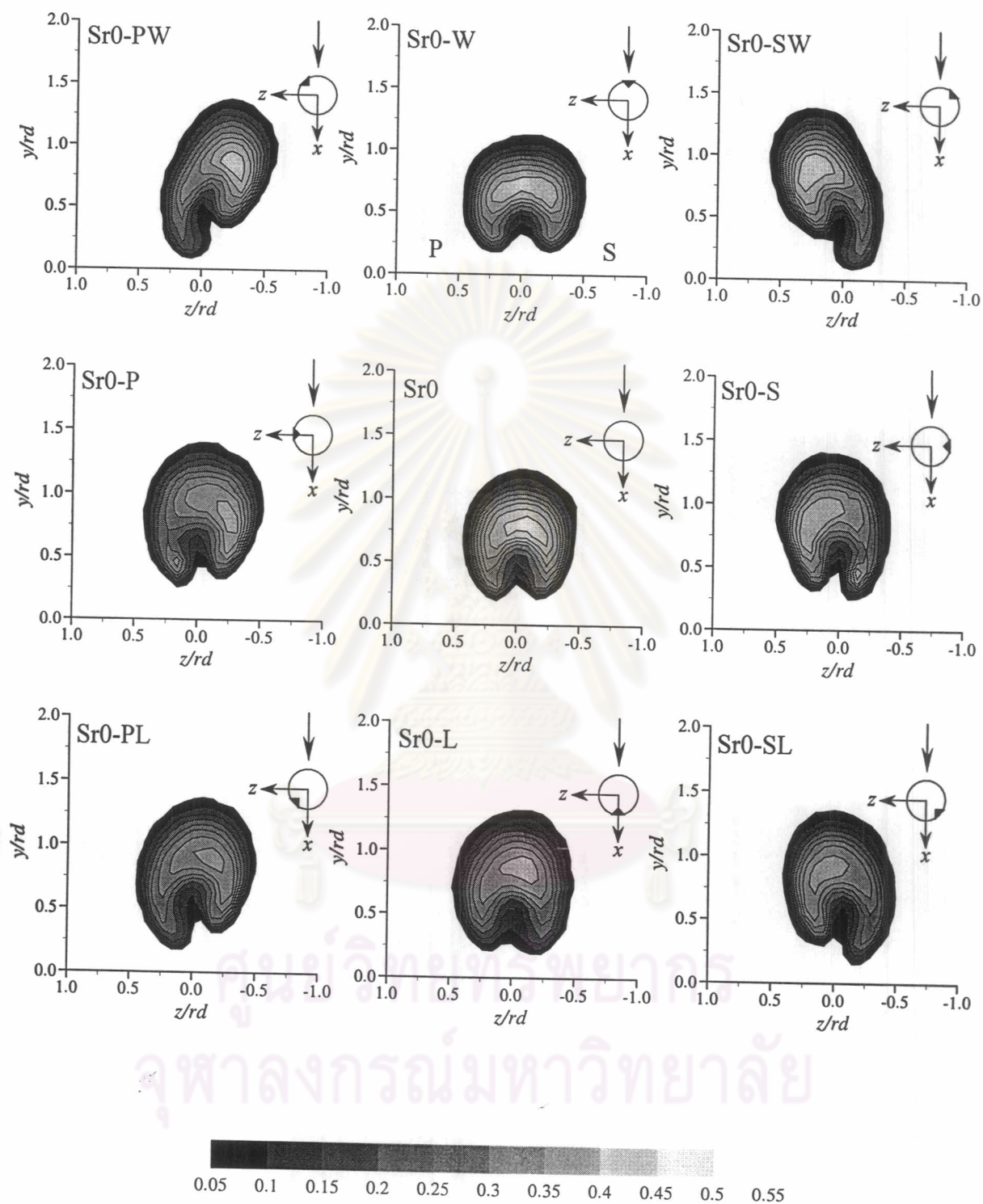


รูปที่ 3.11ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream(x) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง P, PW, W, SW บนขอบปากเจ็ตที่หมุนควง

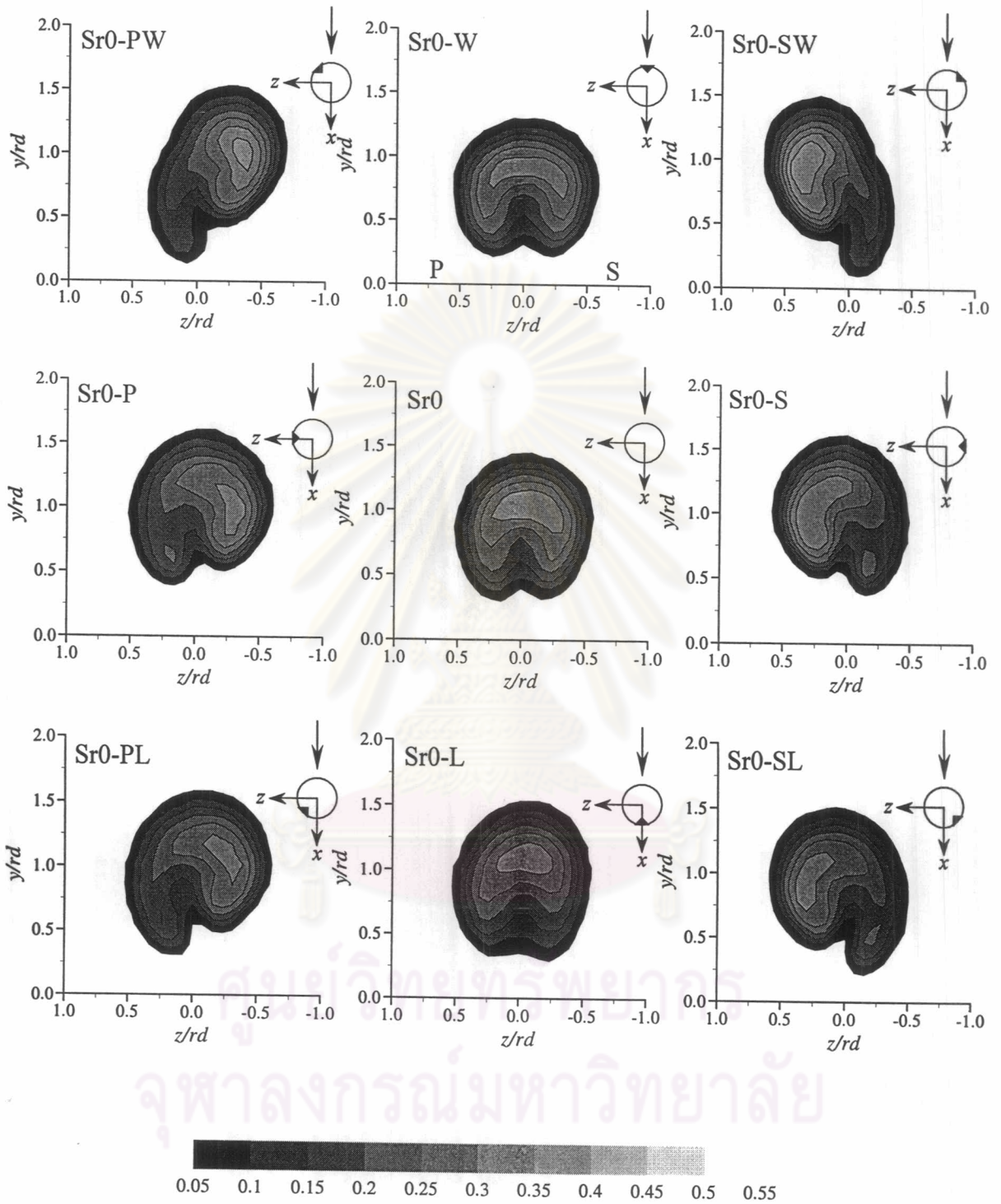




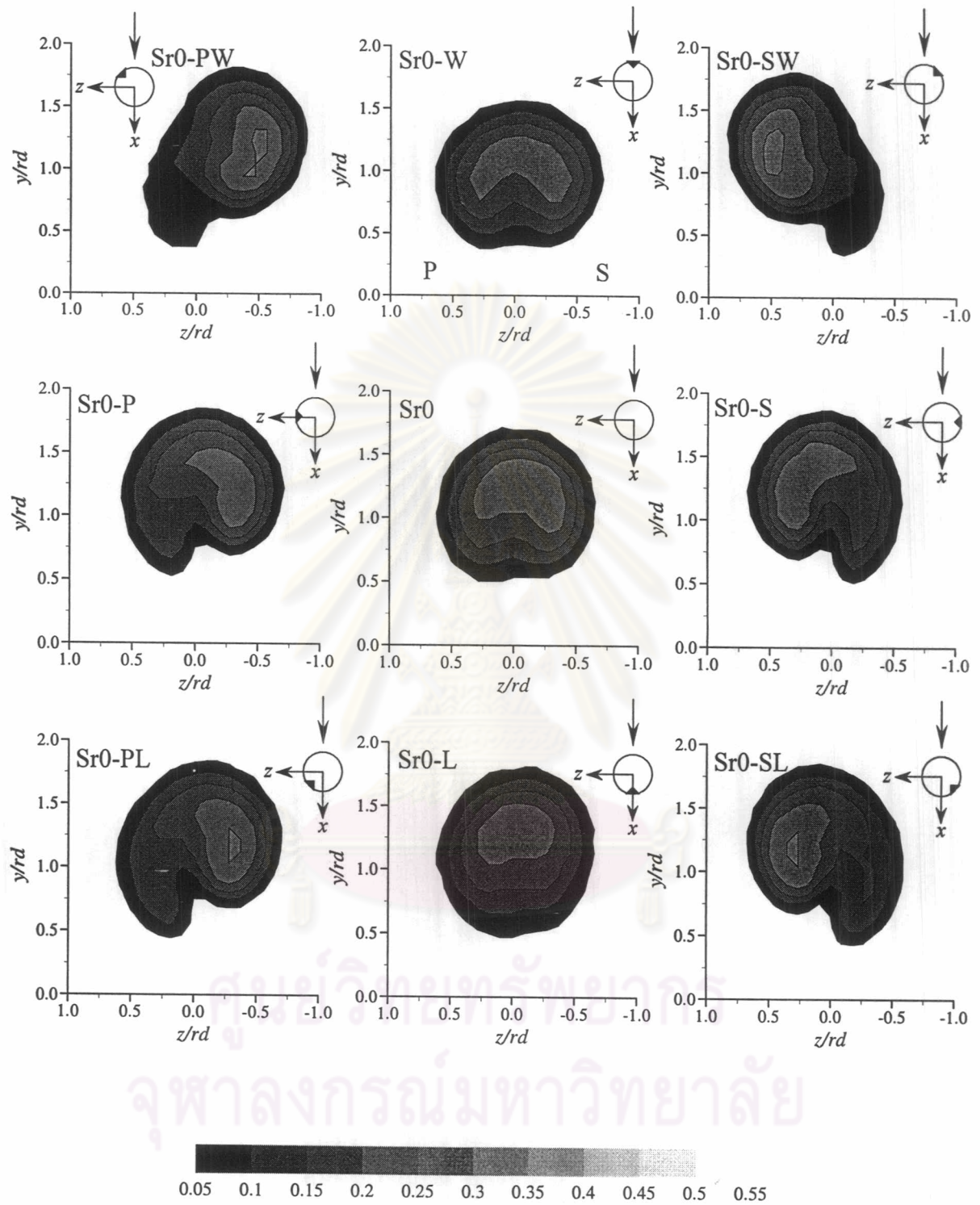
รูปที่ 3.11 ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อิทธิพลมุมเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream(x) สำหรับกรณีไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง S, SL, L, PL บนขอบปากเจ็ตที่หมุนควง



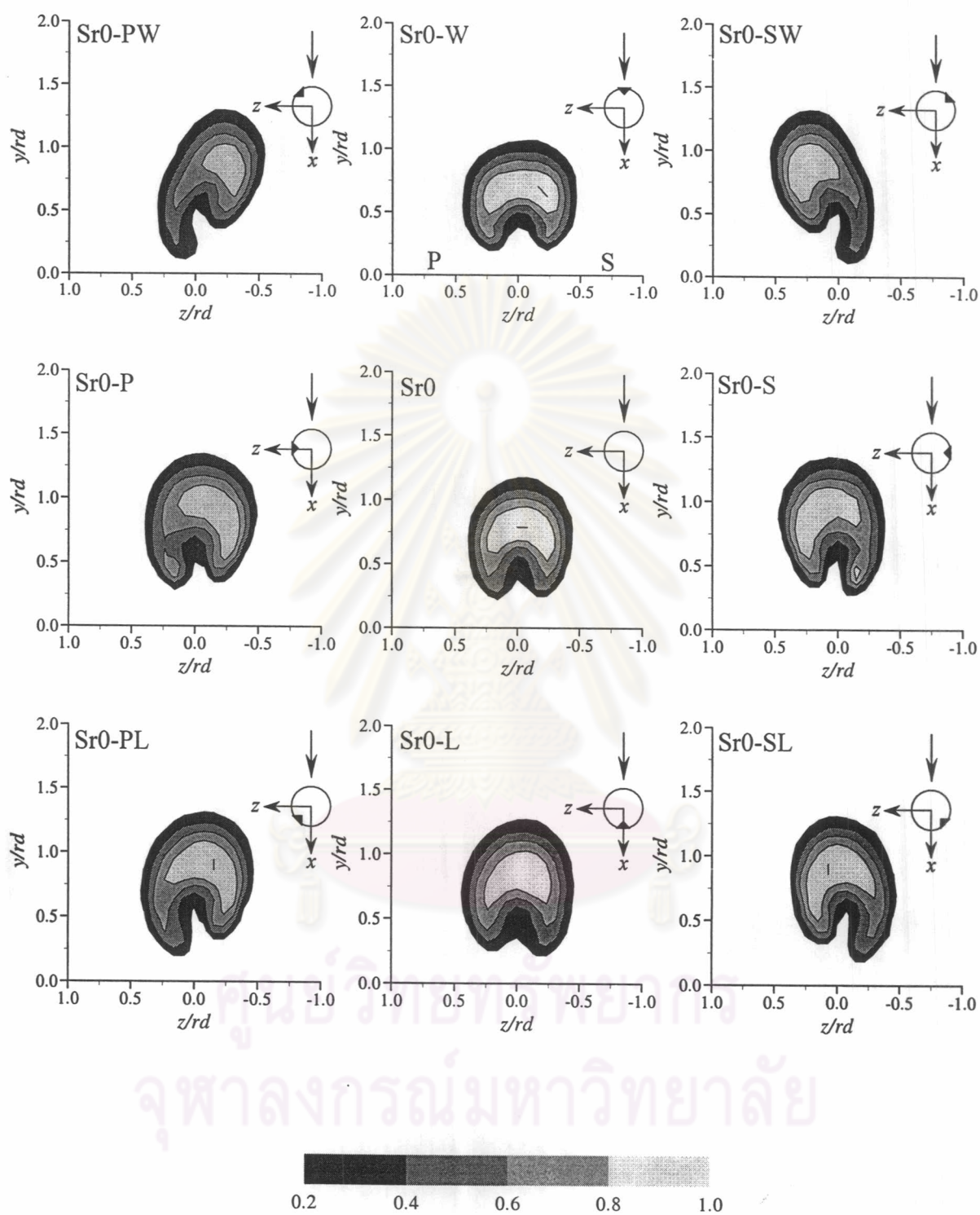
รูปที่ 3.12ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีนี้ที่เจ็ตไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$



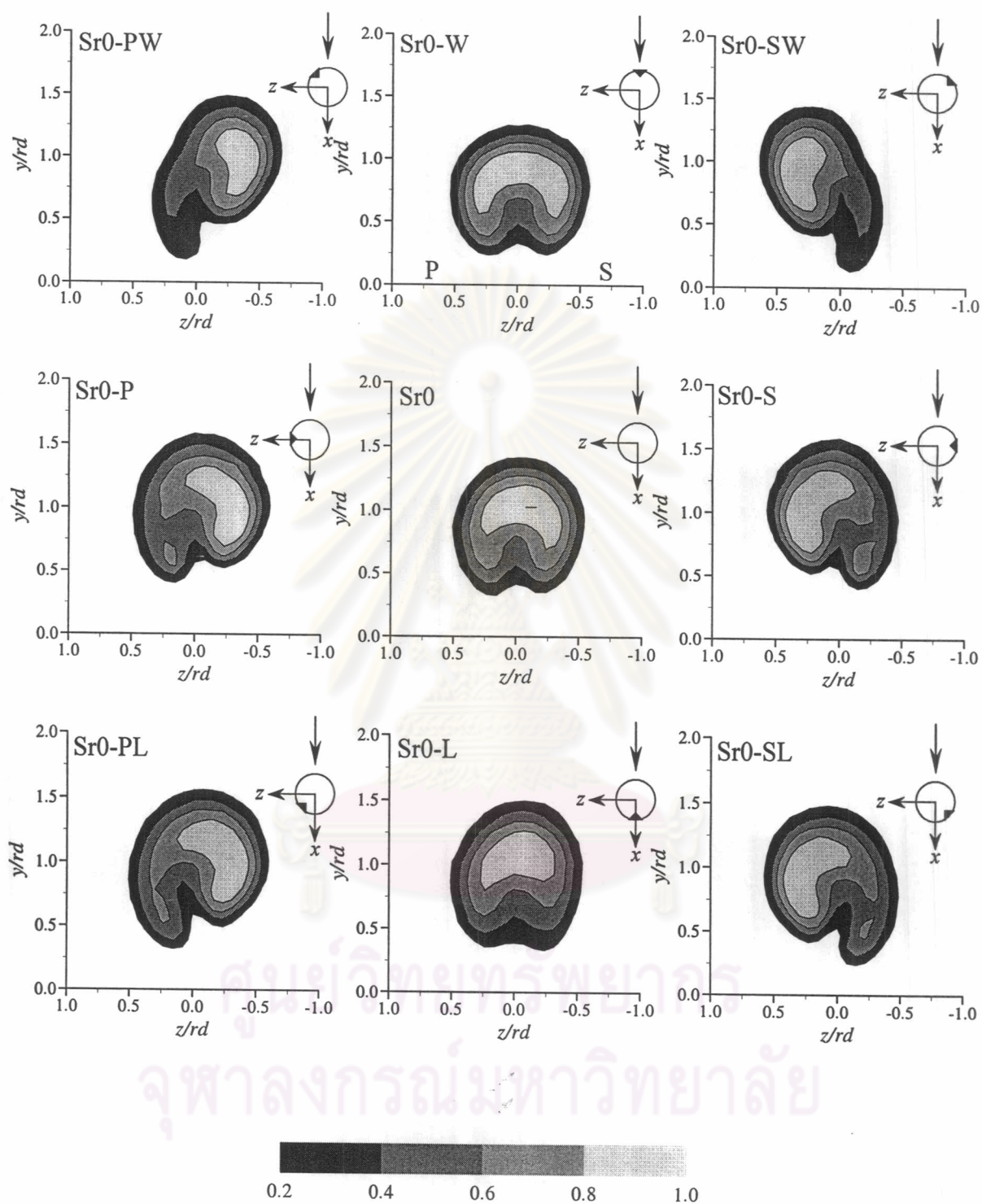
รูปที่ 3.12 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.5$



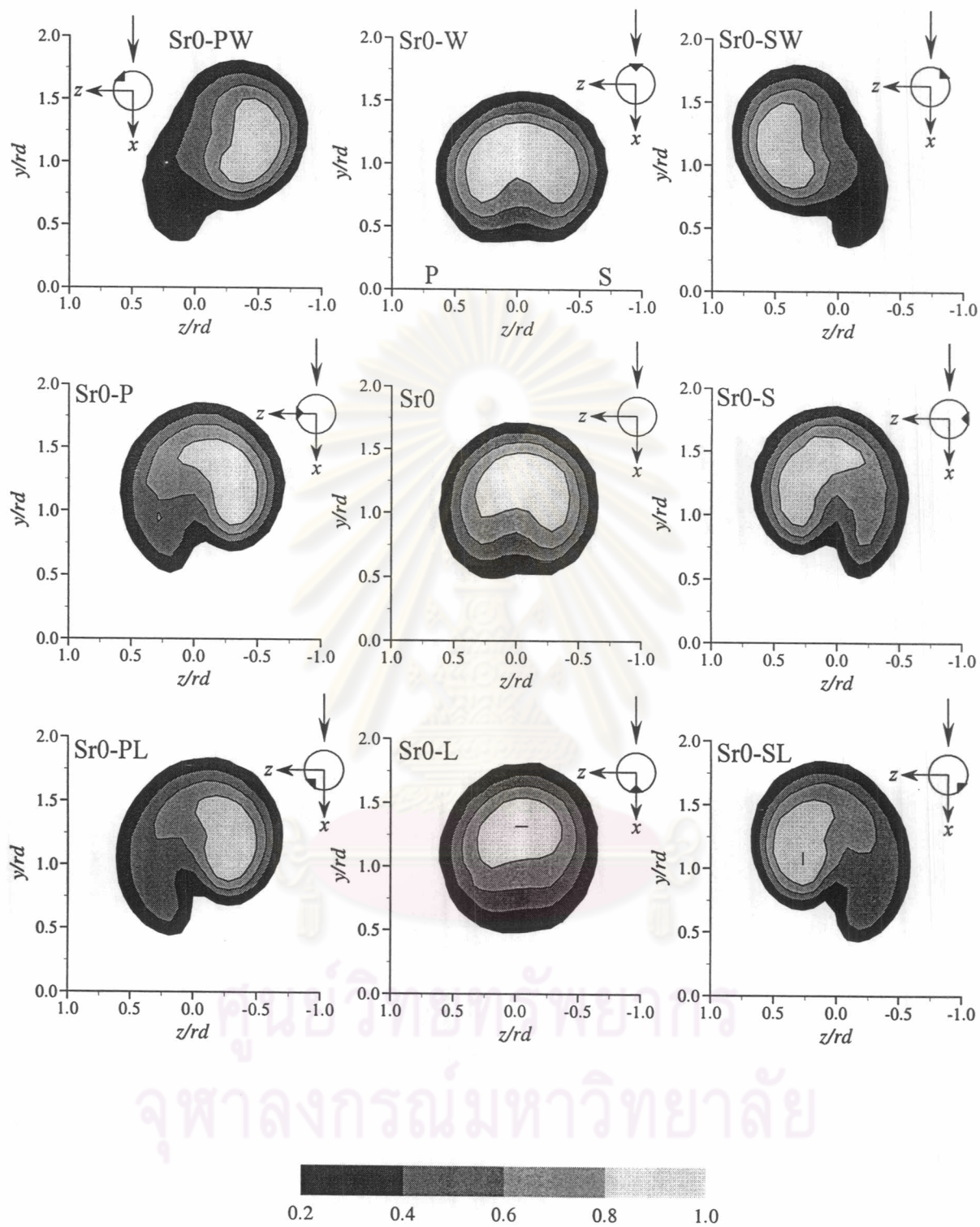
รูปที่ 3.12ค การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เจ็ดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$



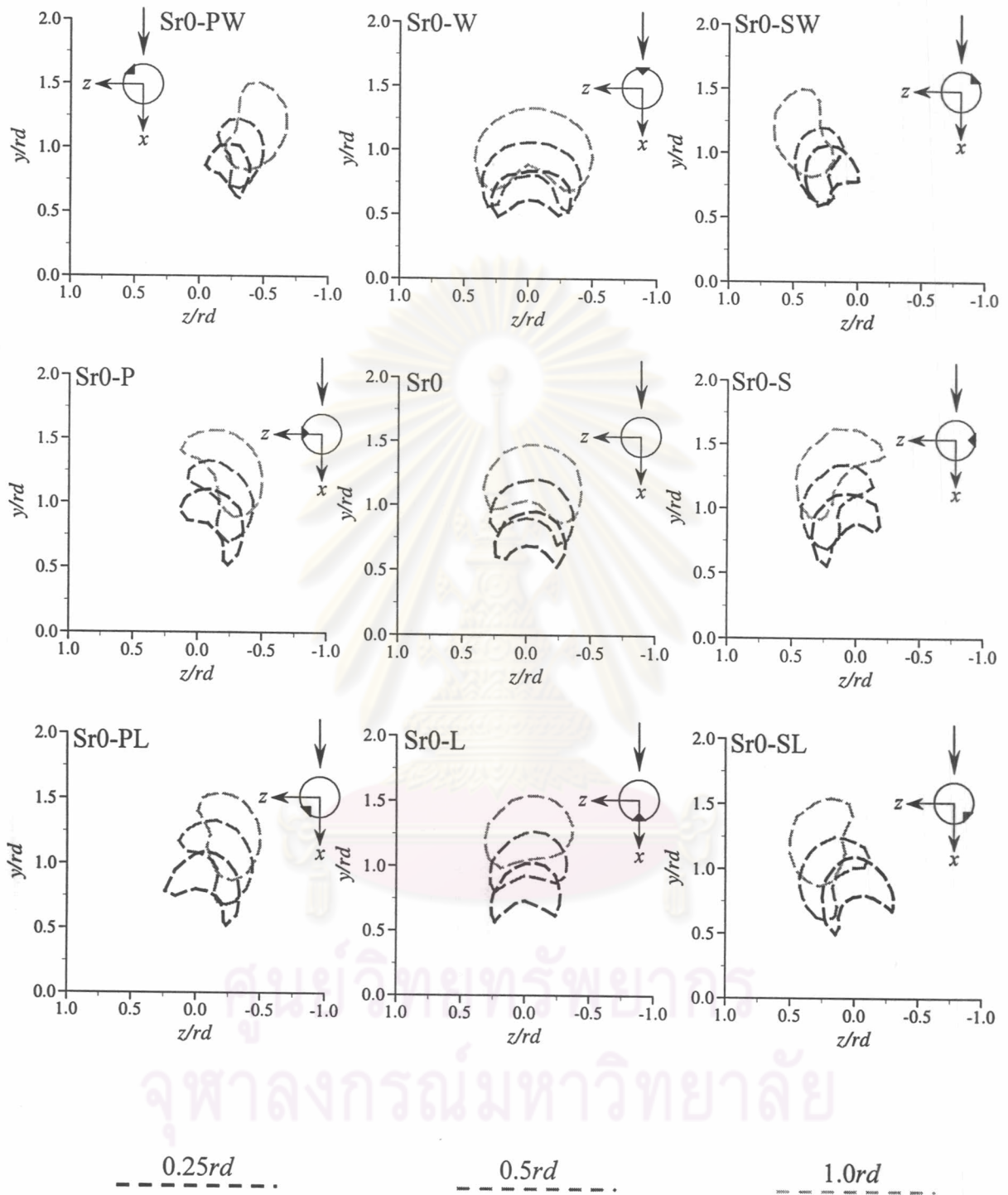
รูปที่ 3.13ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$



รูปที่ 3.13 ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/r_d = 0.5$



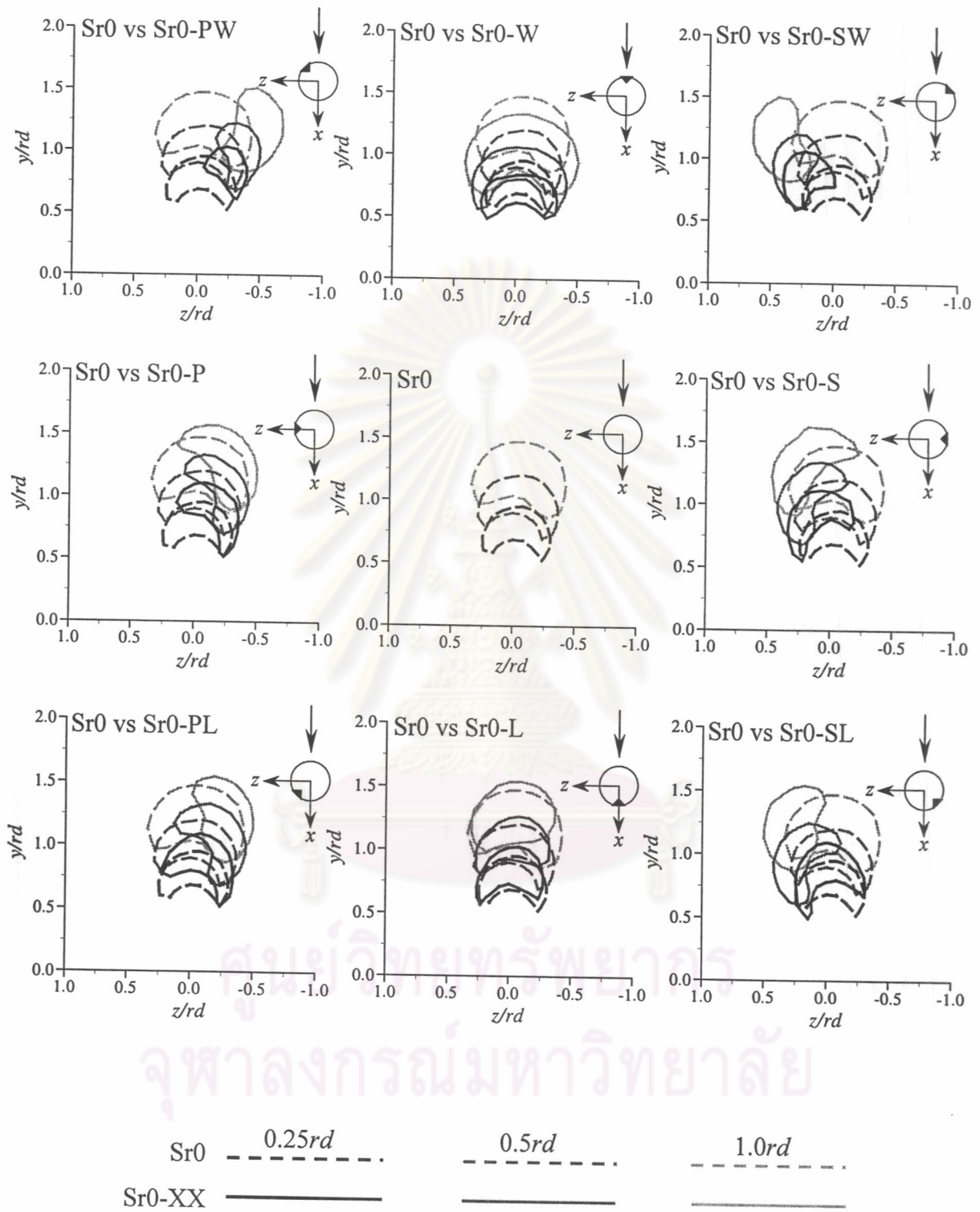
รูปที่ 3.13ค การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$



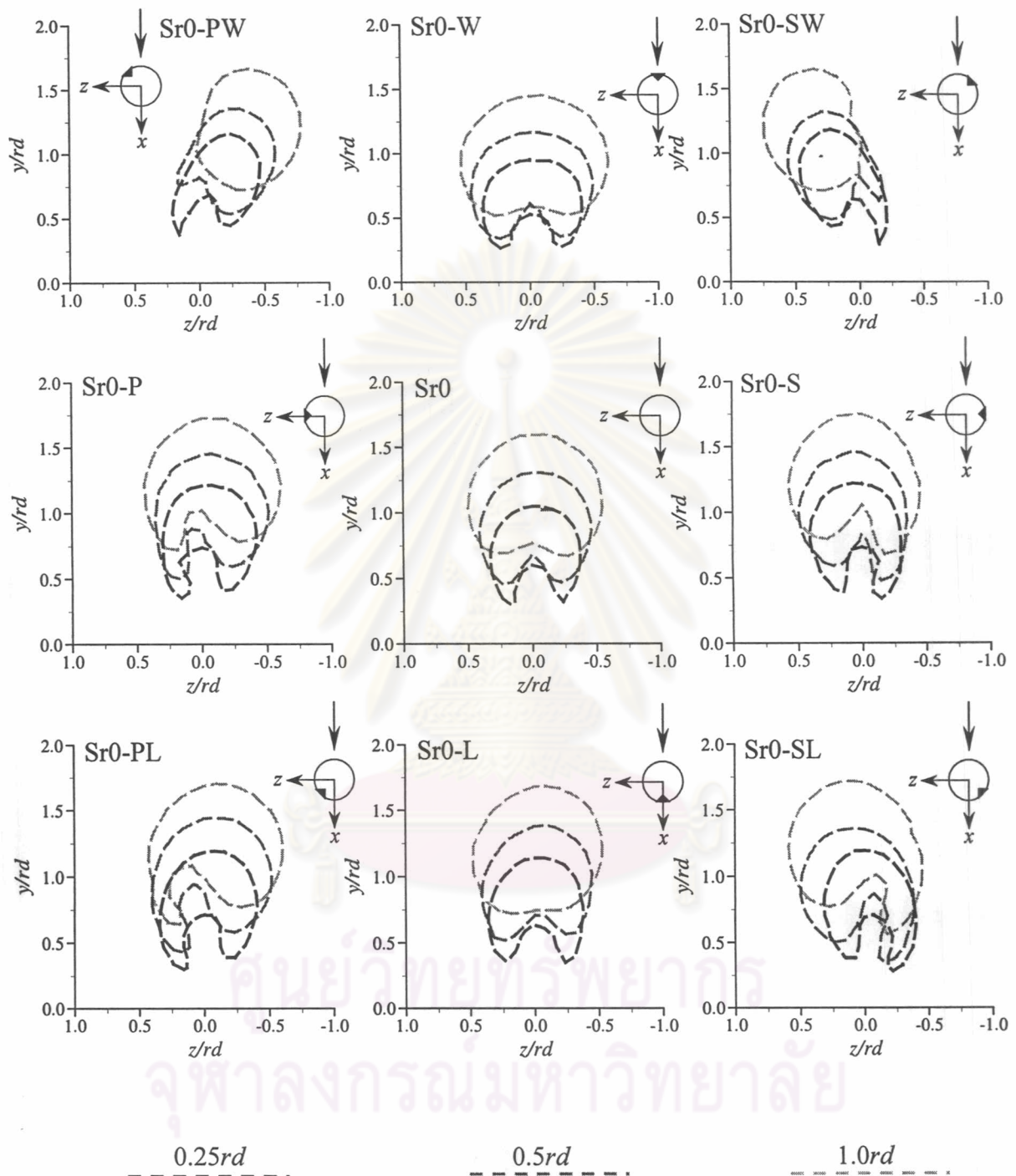
รูปที่ 3.14ก การพัฒนา Core ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream (x)

ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน

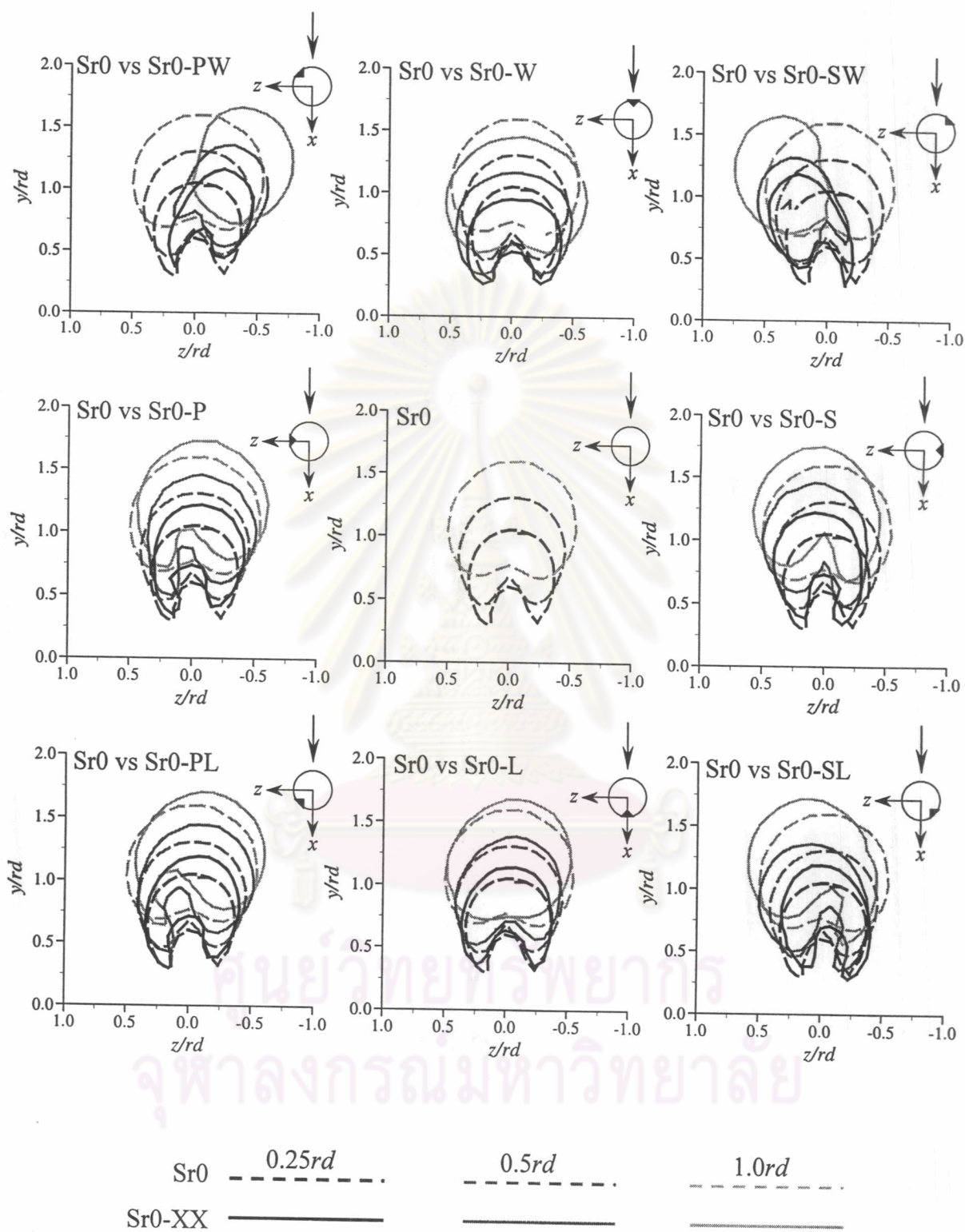




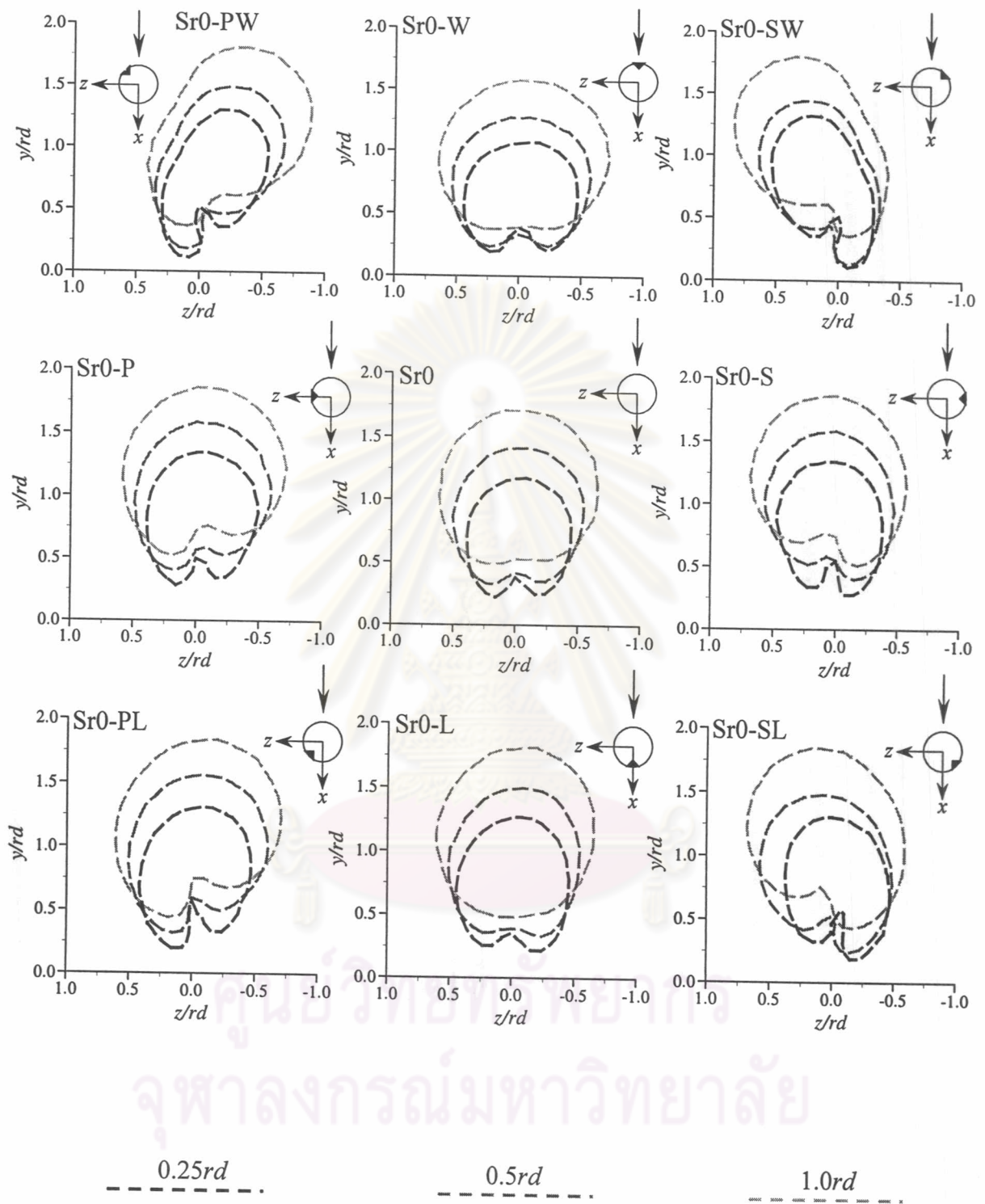
รูปที่ 3.14 ข การพัฒนา Core ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )  
 ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab



รูปที่ 3.14ค การพัฒนา Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )  
 ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน

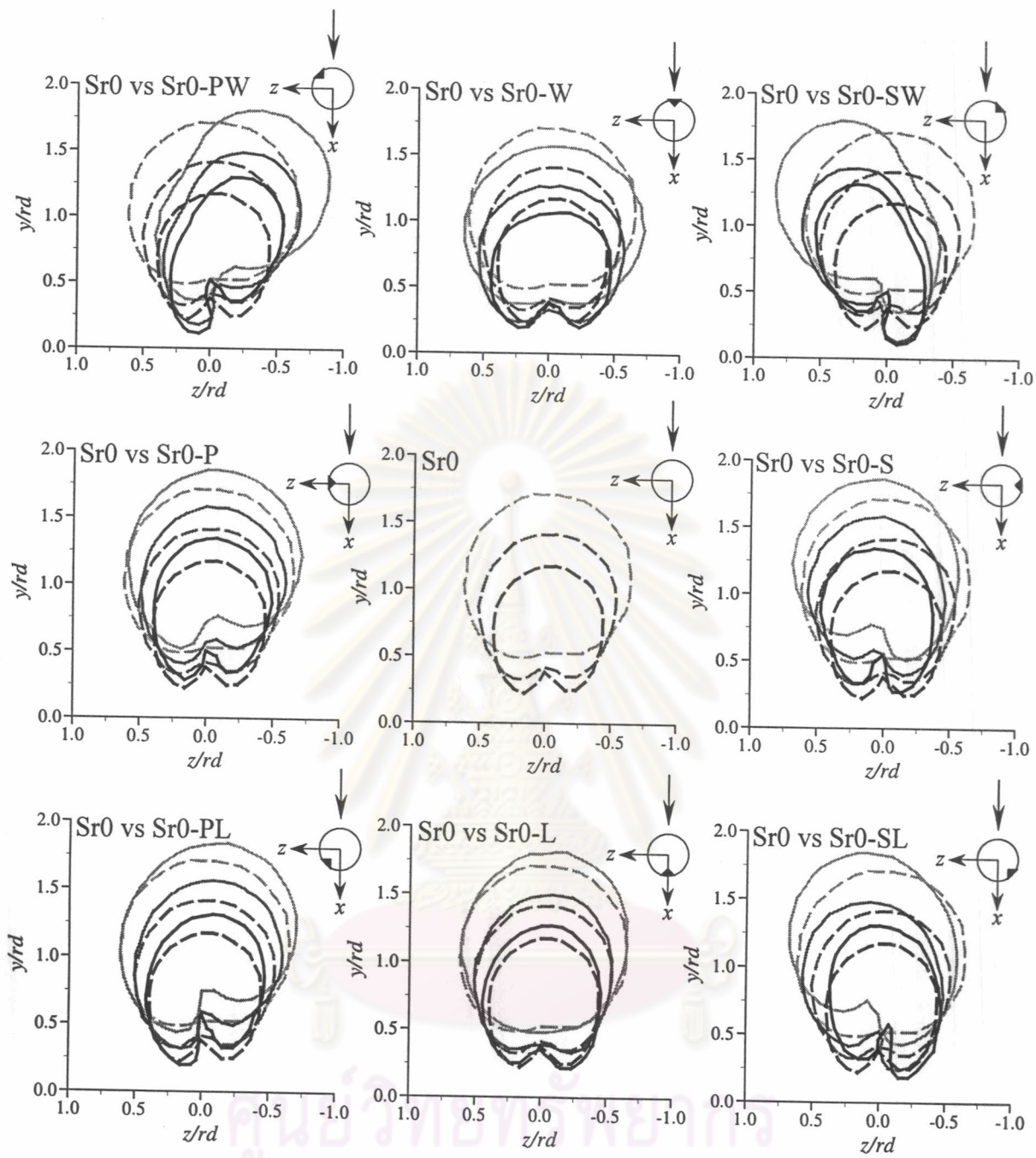


รูปที่ 3.14ง การพัฒนา Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )  
 ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab



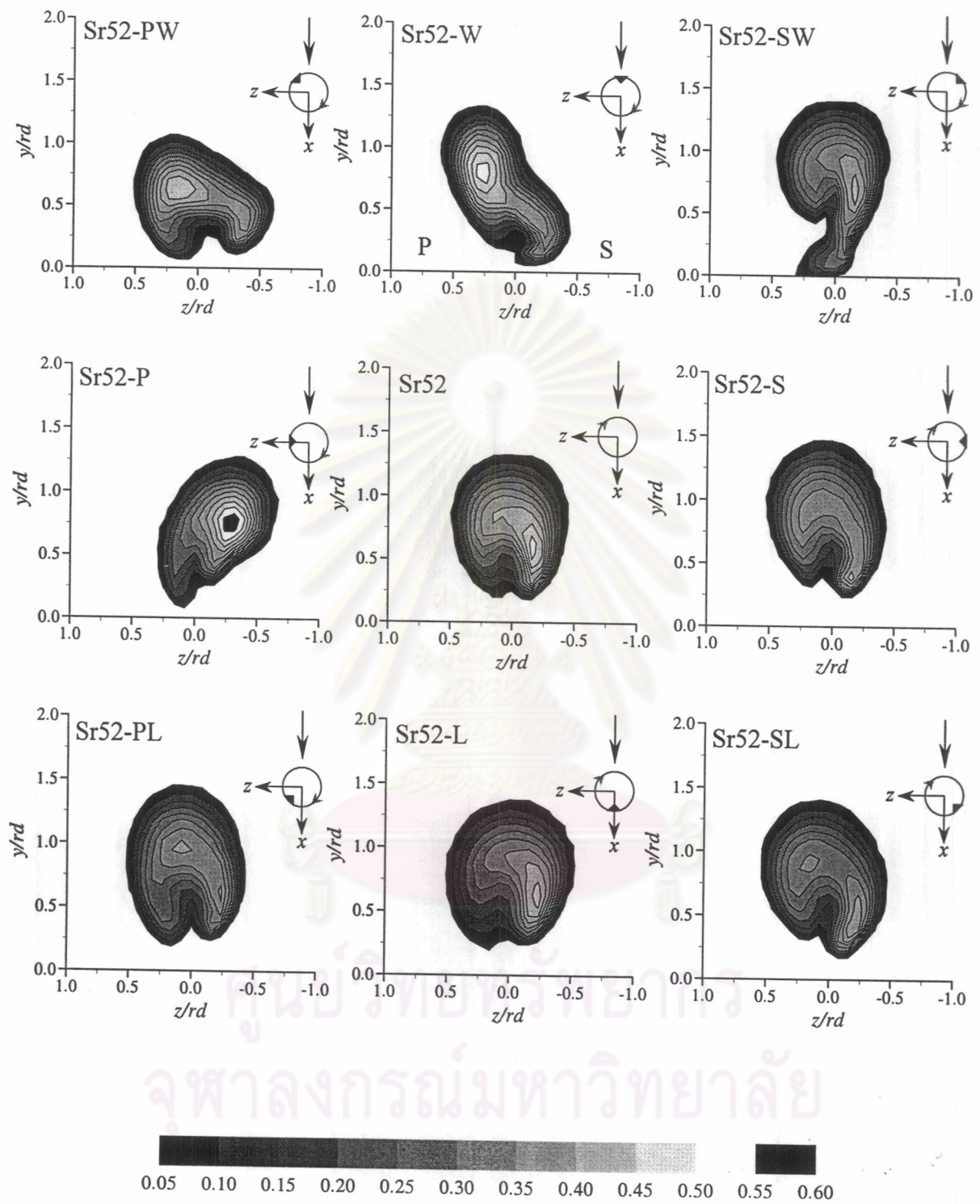
รูปที่ 3.14จ การพัฒนา Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )

ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน

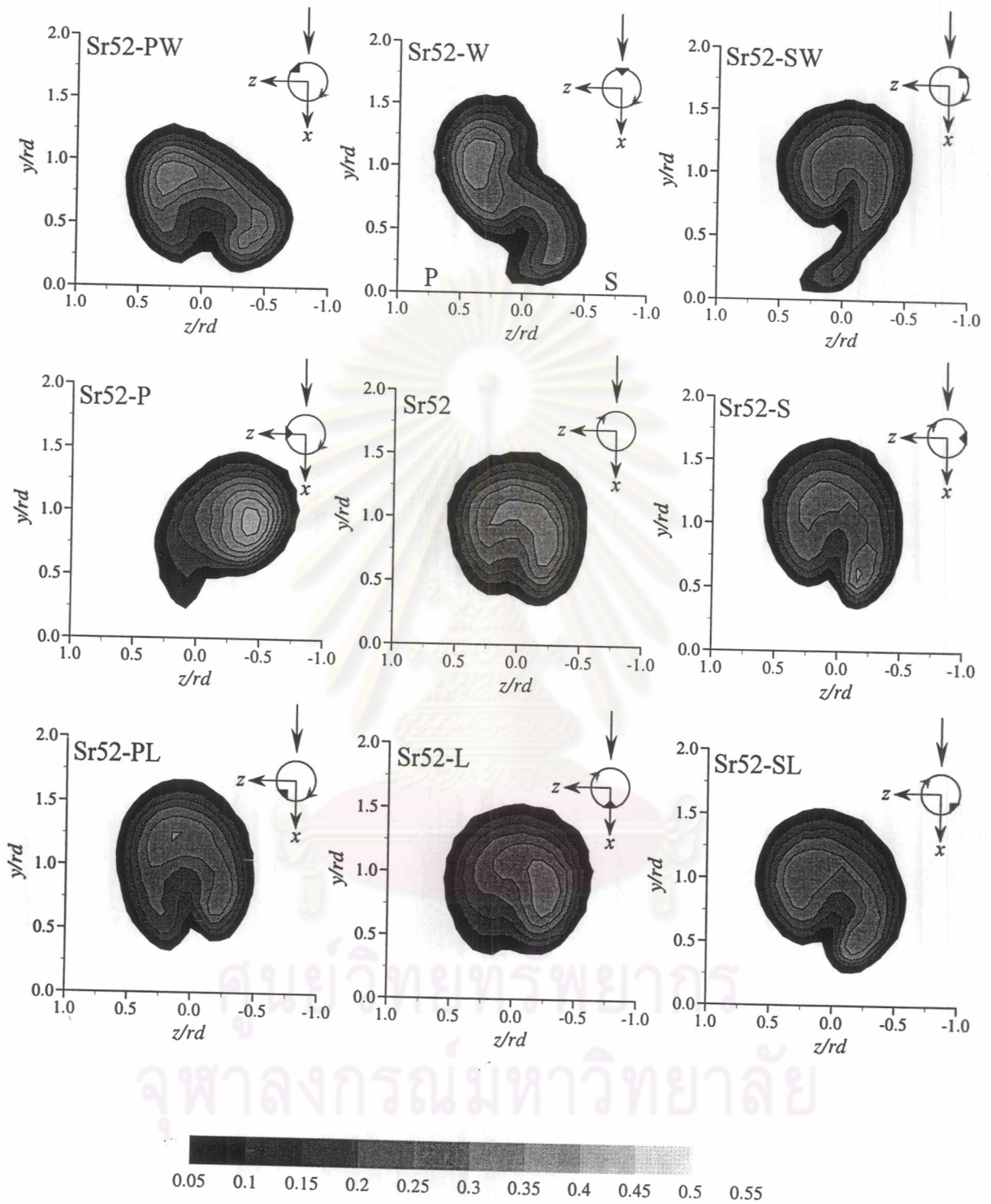


รูปที่ 3.14ด การพัฒนา Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )

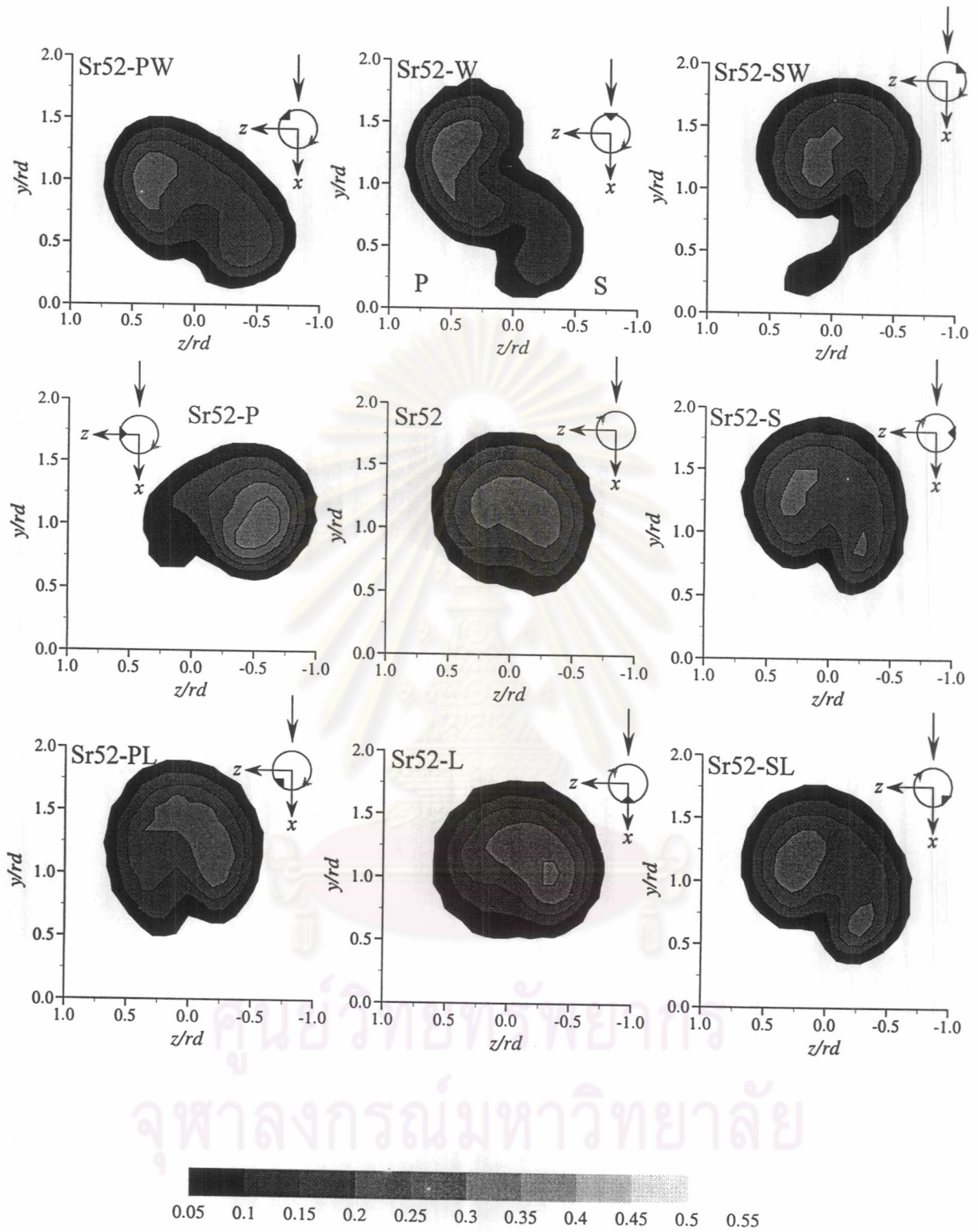
ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab



รูปที่ 3.15ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมวล ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$

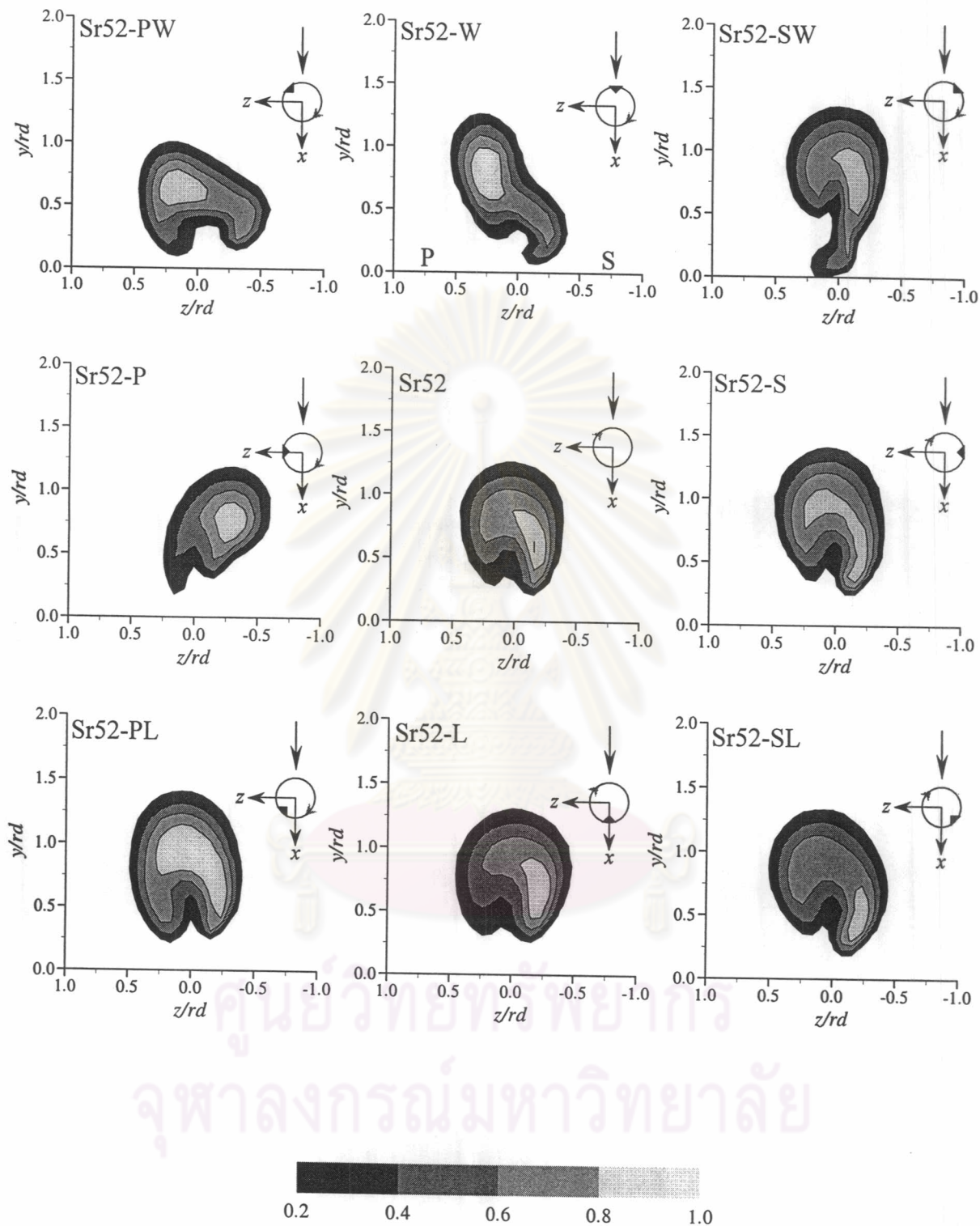


รูปที่ 3.15ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.5$

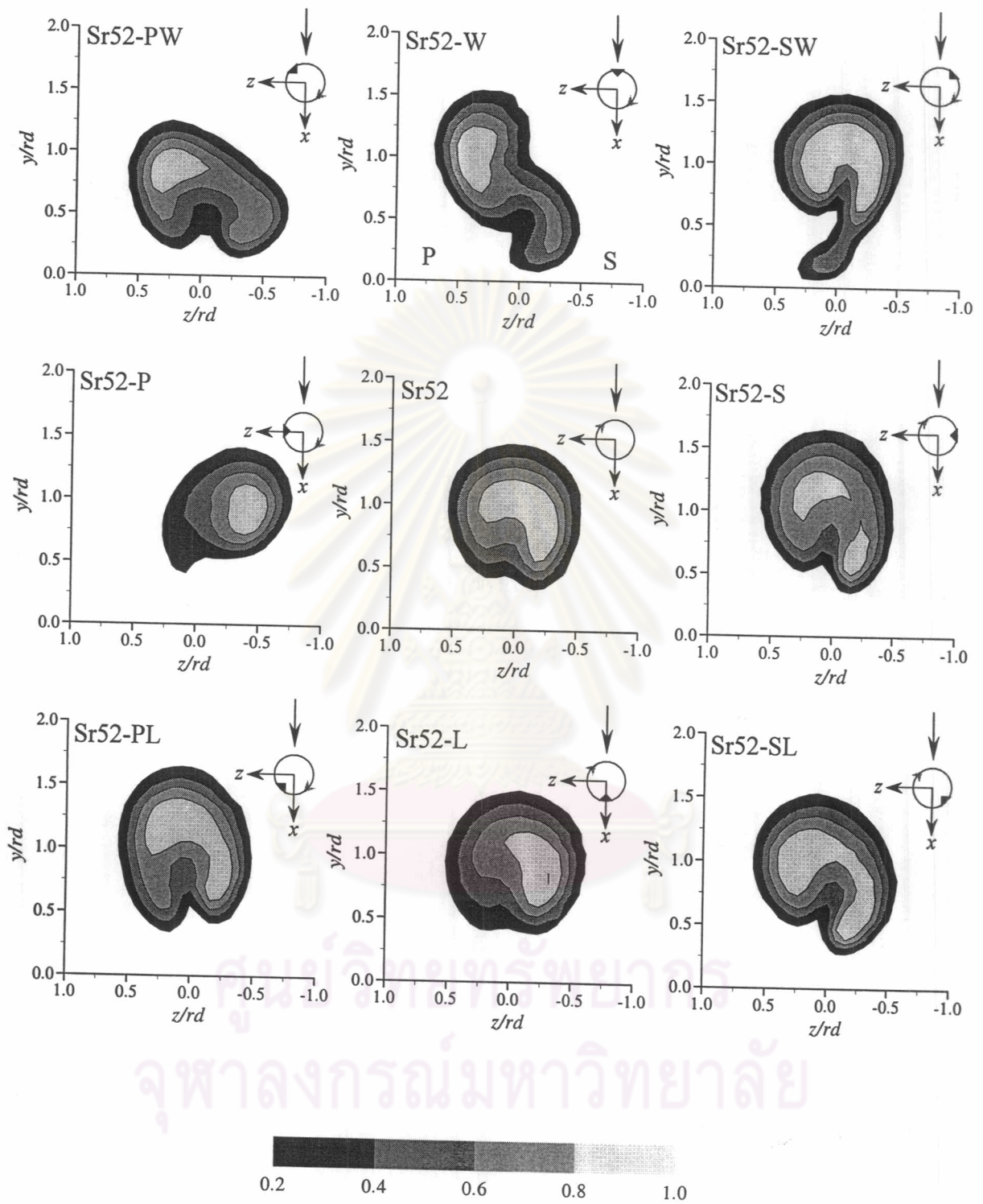


รูปที่ 3.15ค การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$

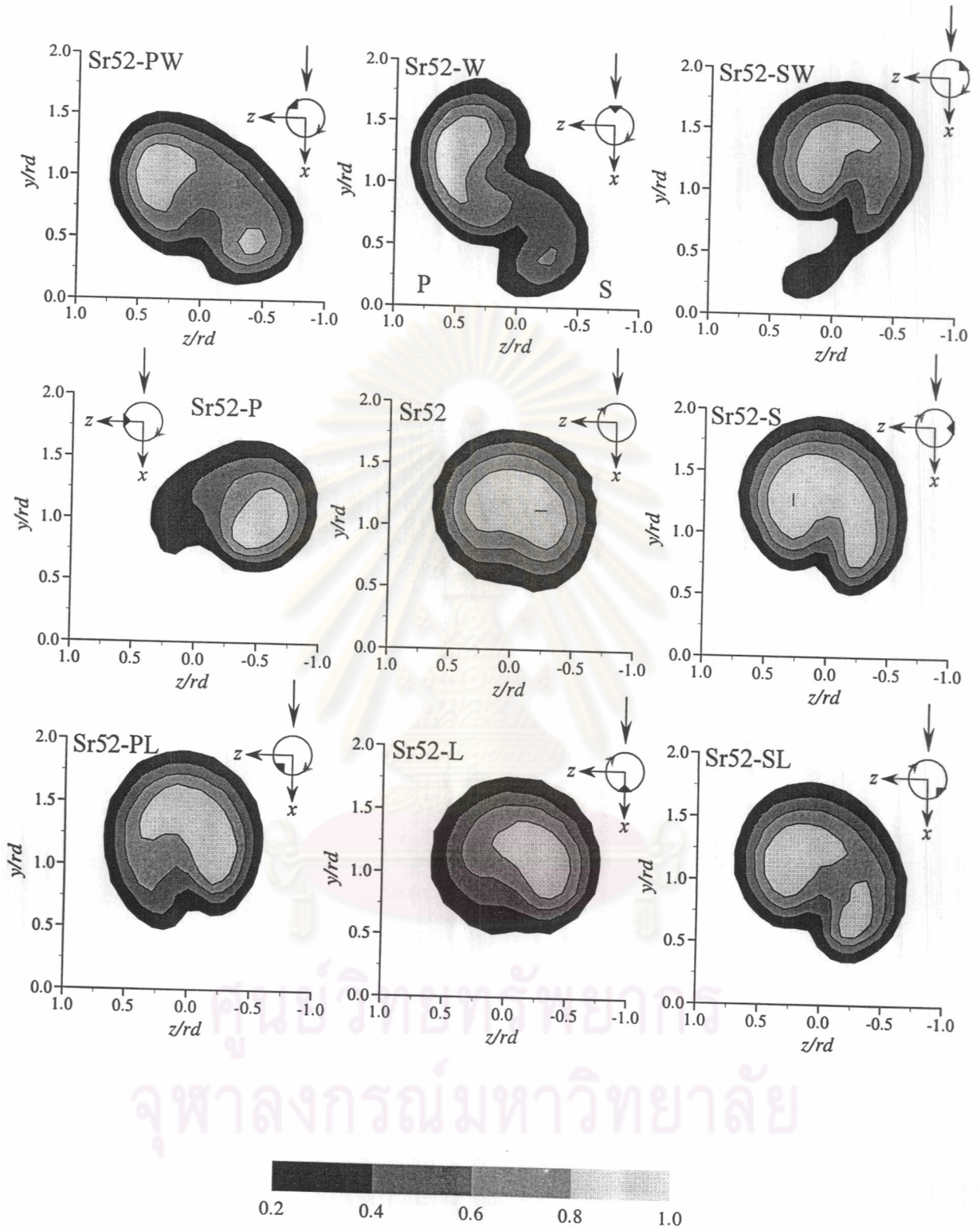




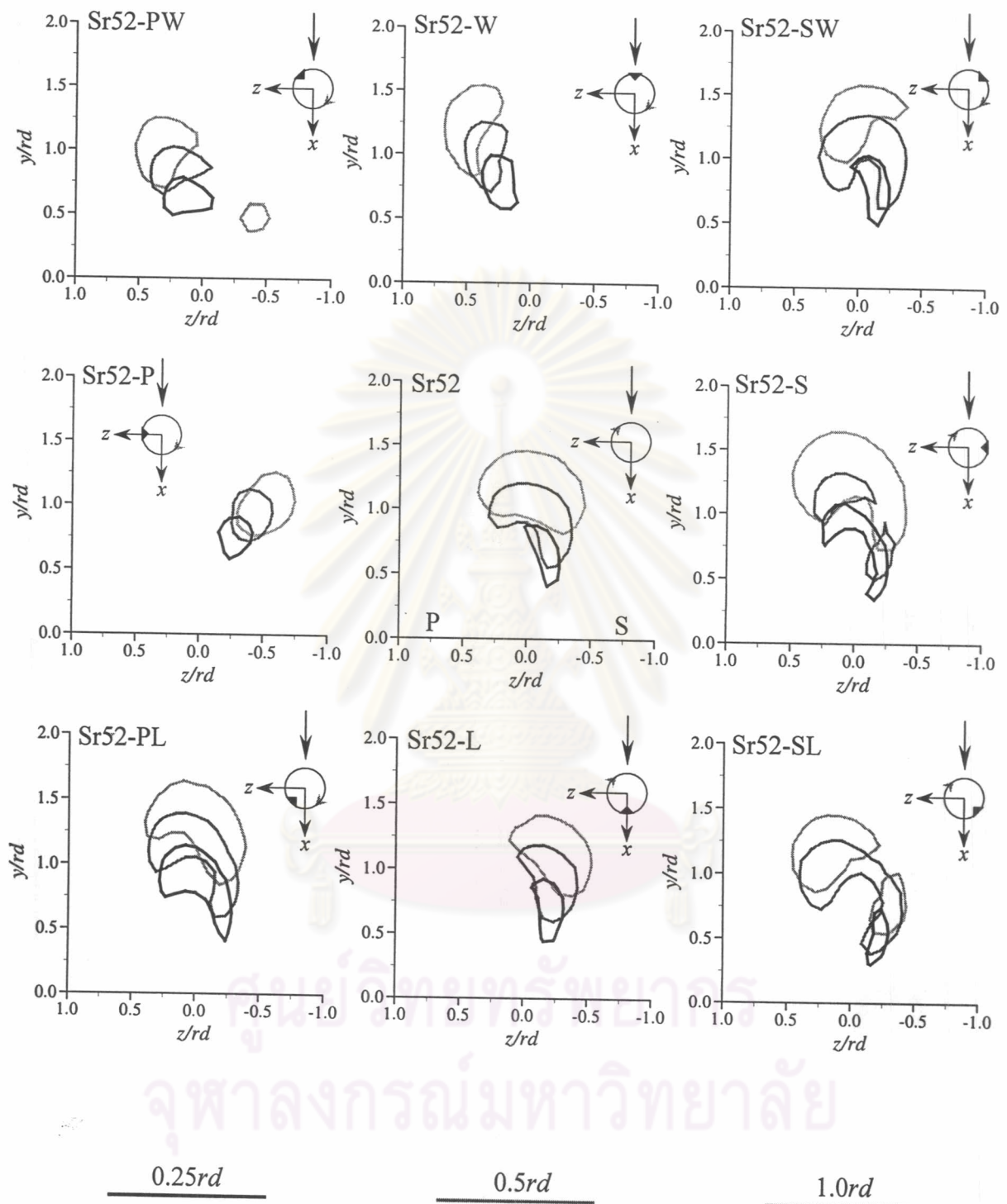
รูปที่ 3.16ก การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$



รูปที่ 3.16ข การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.5$

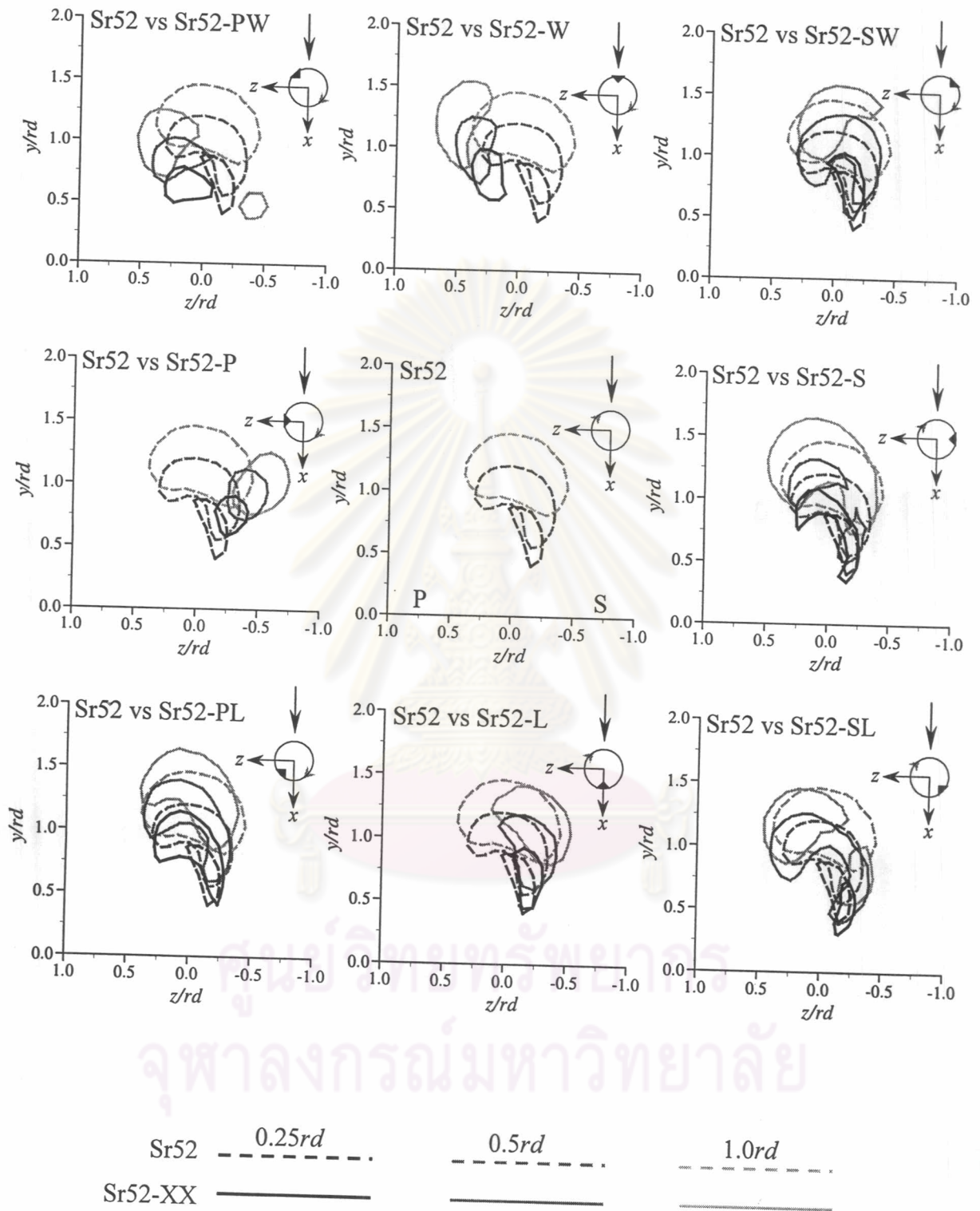


รูปที่ 3.16ค การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิจเฉพาะ ( $C_{TL}$ ) เปรียบเทียบกันเมื่อติด Tab บนตำแหน่งต่างๆในกรณีที่เกิดหมุนควง ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$

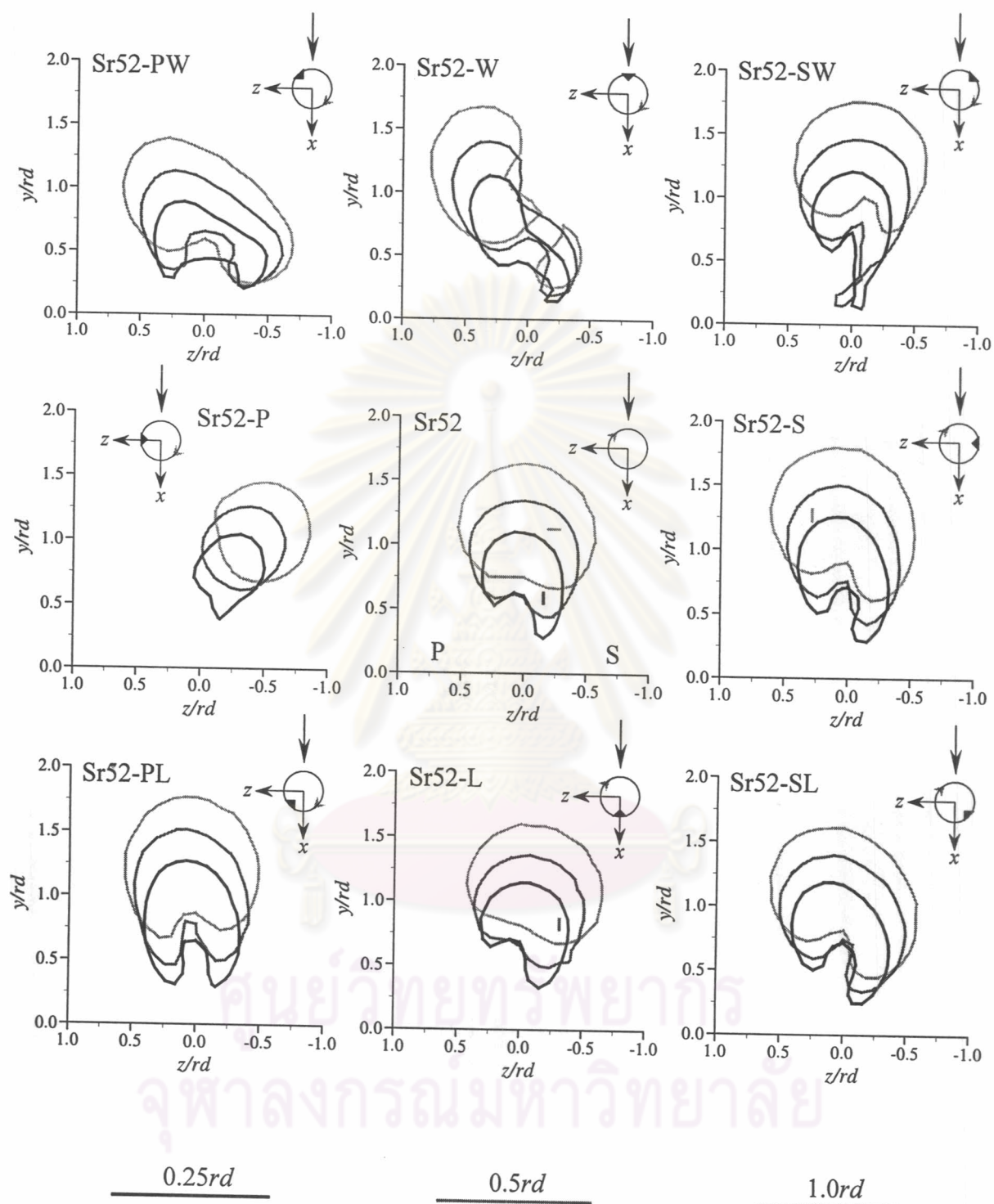


รูปที่ 3.17ก การพัฒนา Core ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )

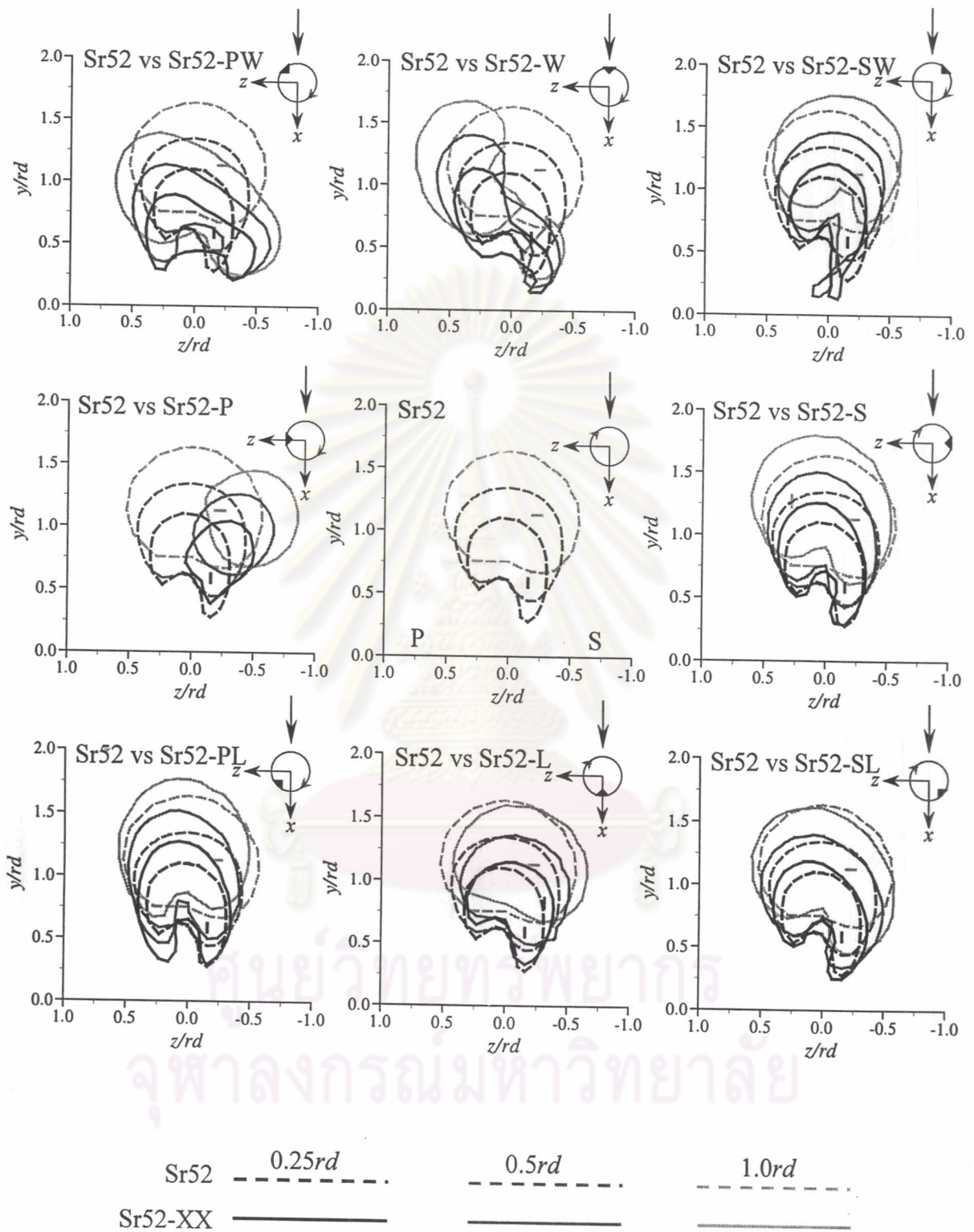
ในกรณีที่เจ็ตหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3.17 การพัฒนา Core ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ ) ในกรณีที่เจ็ตหมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab

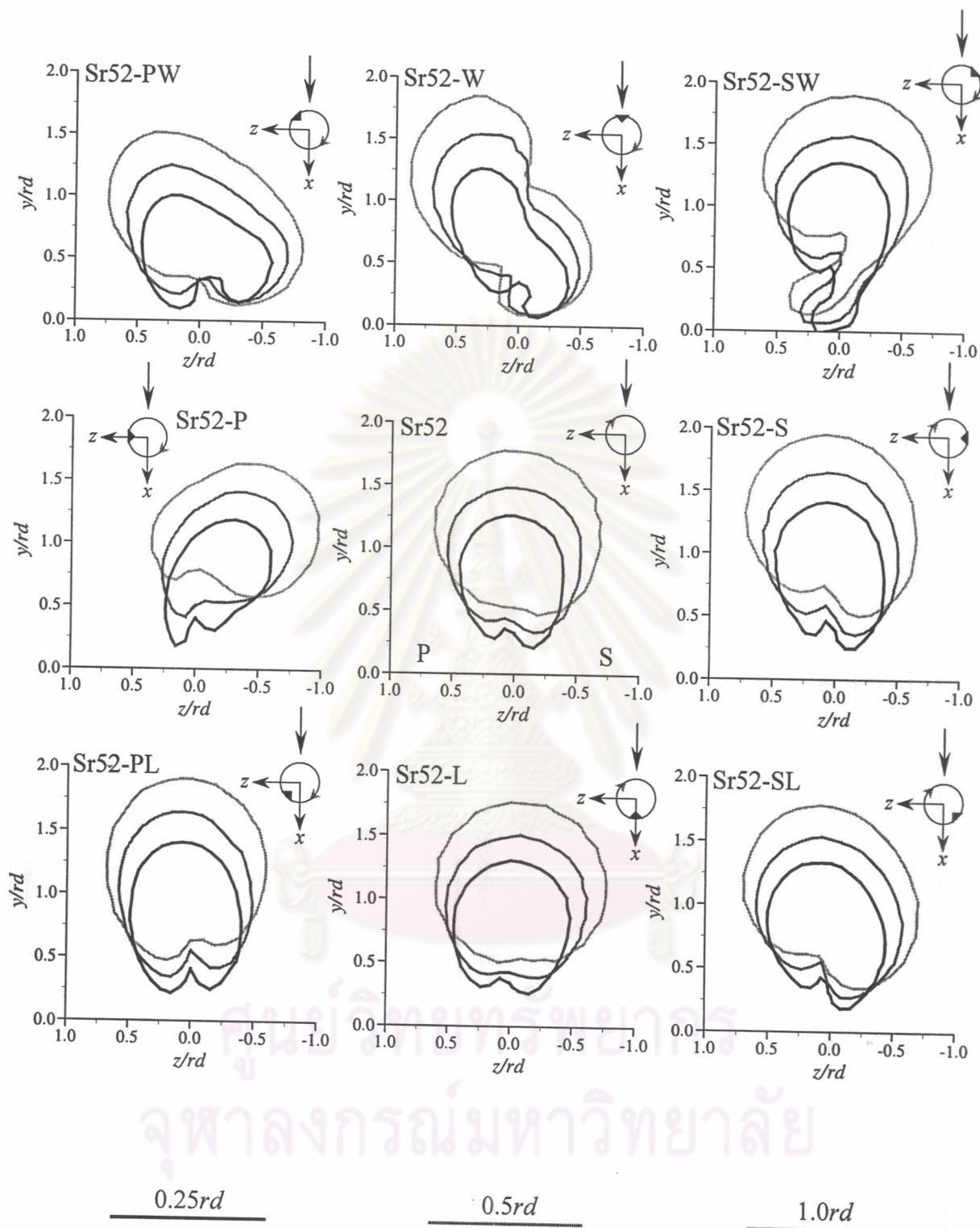


รูปที่ 3.17ค การพัฒนา Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )  
 ในกรณีนี้เจ็ตหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3.17ง การพัฒนา Body ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )

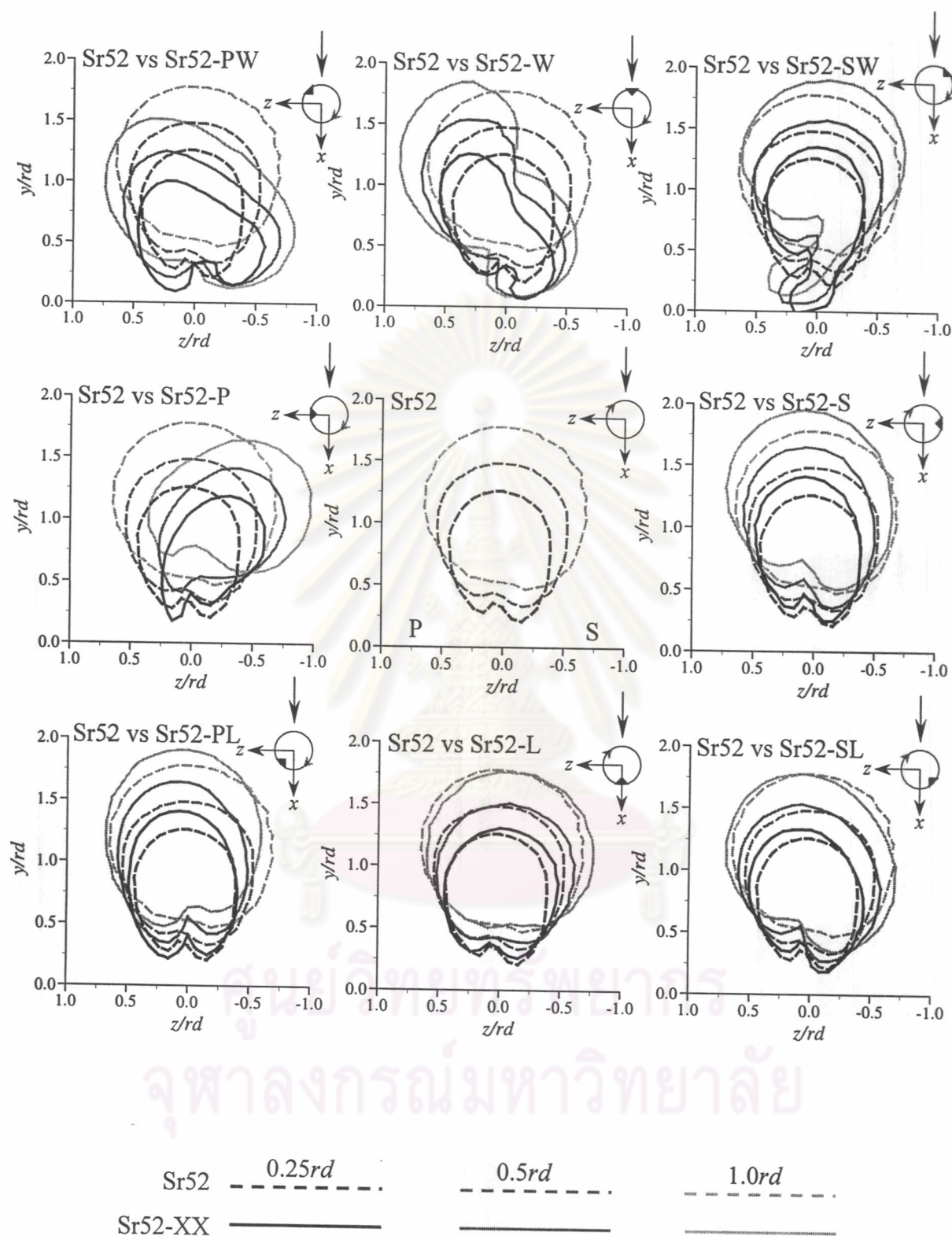
ในกรณีที่เจ็ตหมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติด Tab และ ไม่ติด Tab



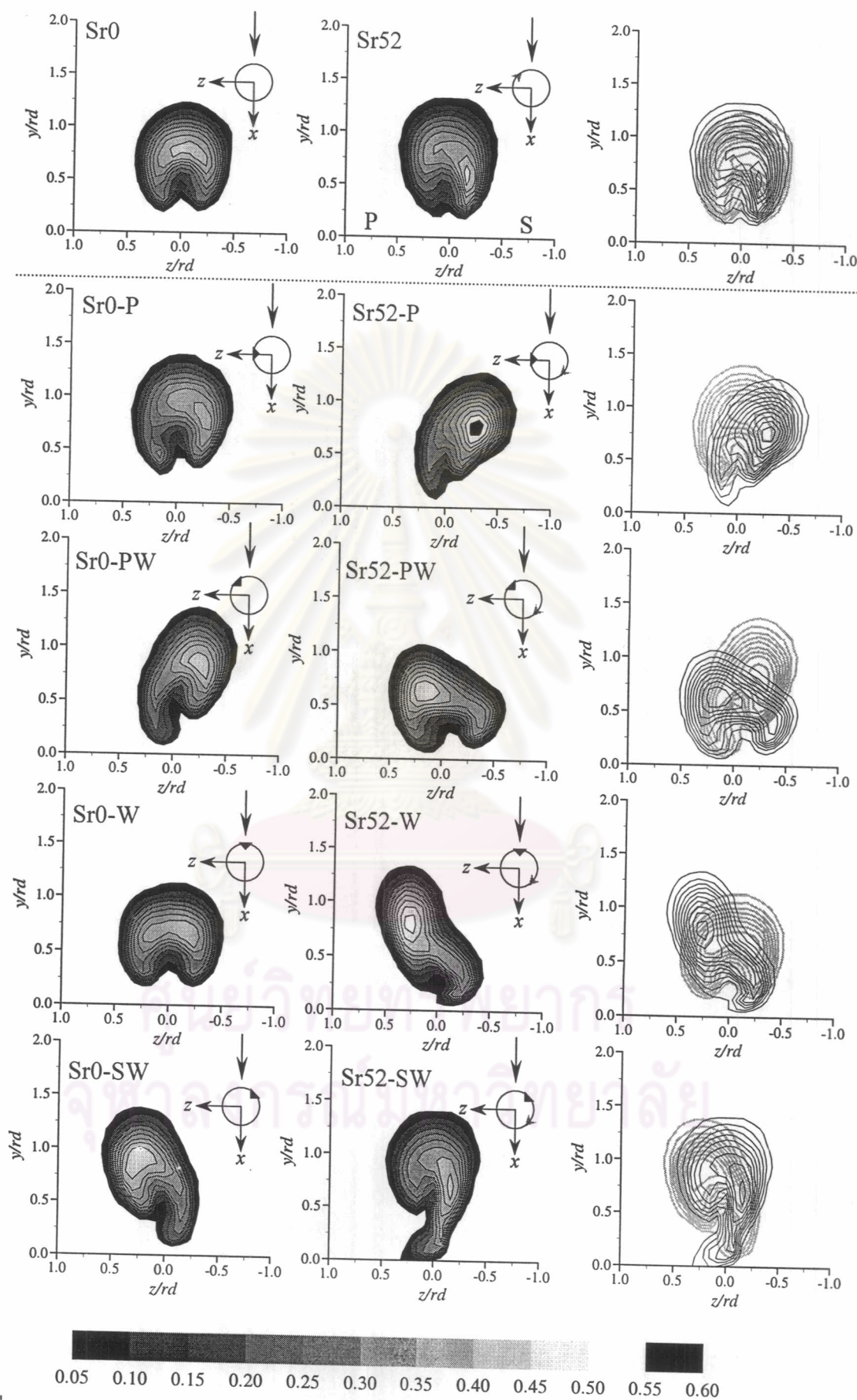
รูปที่ 3.17จ การพัฒนา Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )

ในกรณีนี้ที่เจ็ตหมุนควง โดยติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบกัน

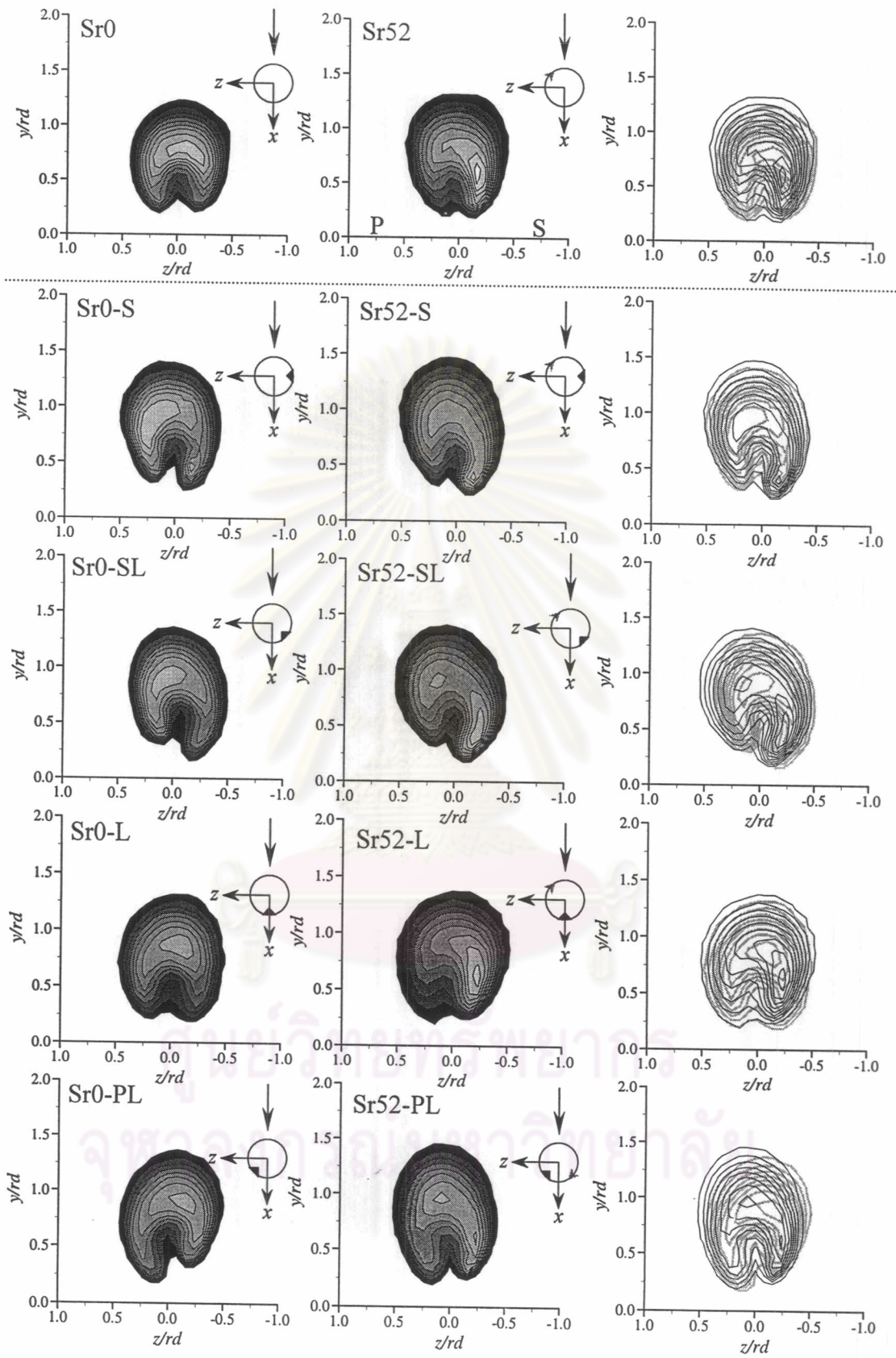




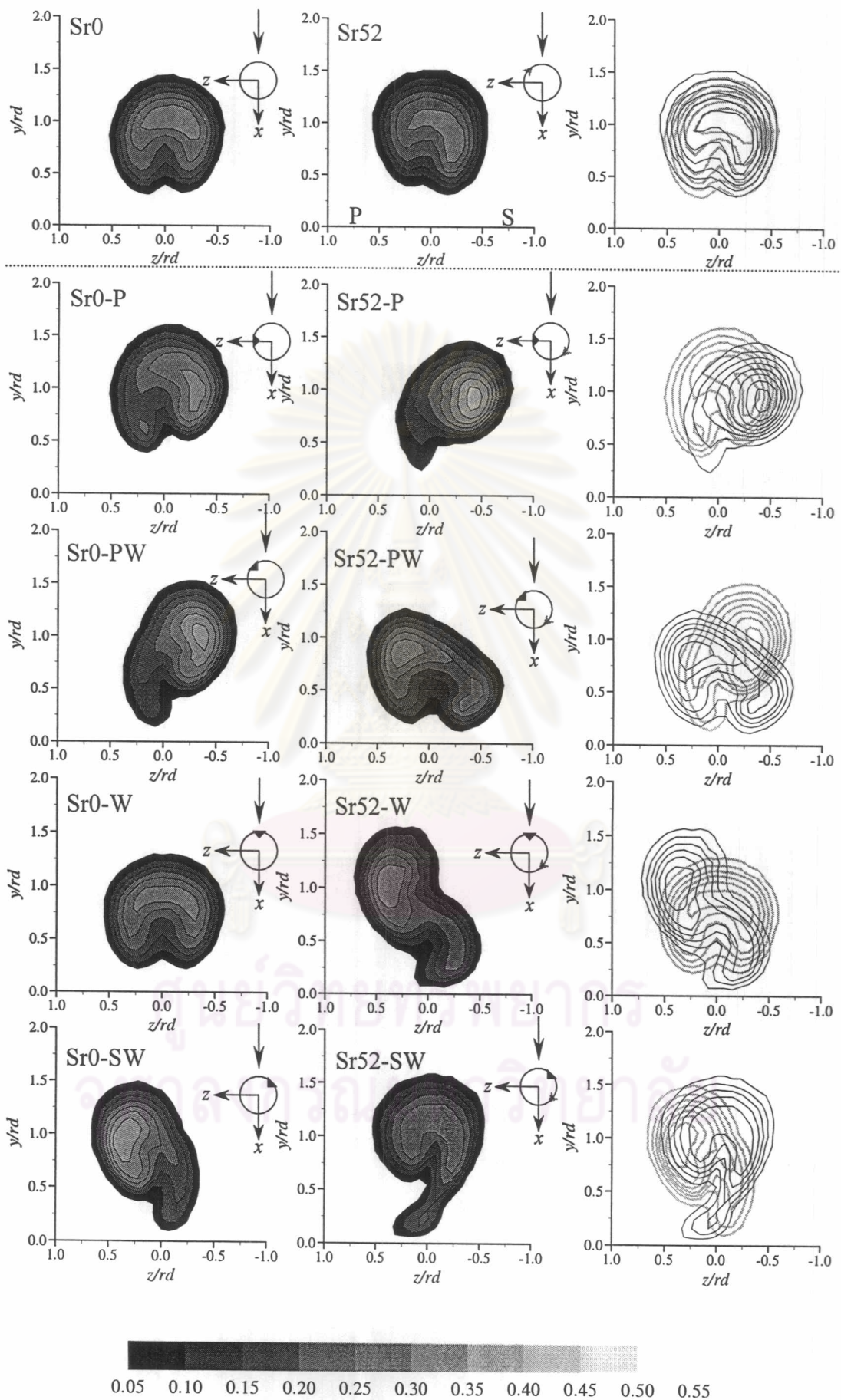
รูปที่ 3.17จ การพัฒนา Boundary ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตตามแนว Downstream ( $x$ )  
 ในกรณีที่เจ็ตหมุนควง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีติดตั้ง Tab และ ไม่ติดตั้ง Tab



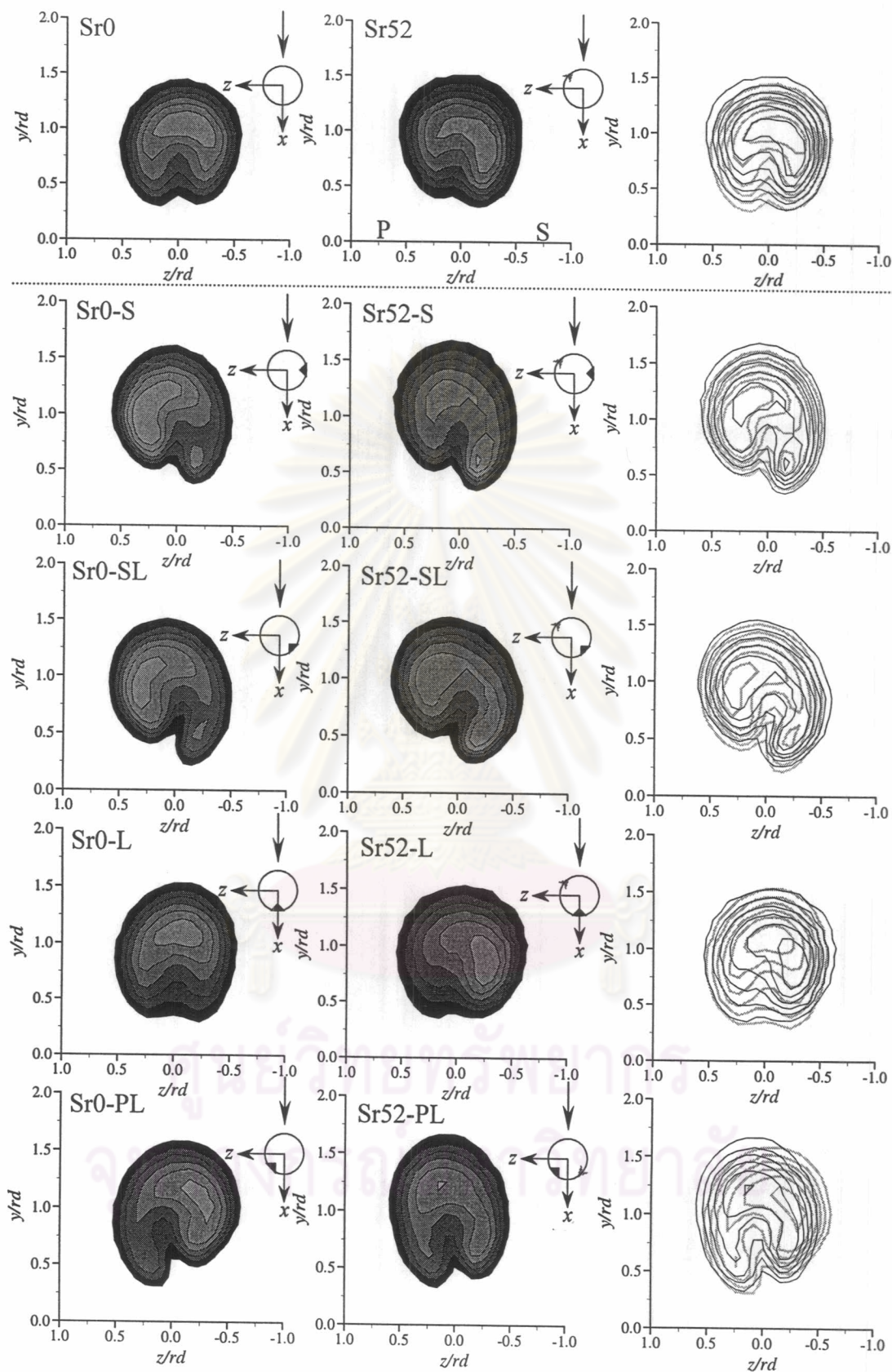
รูปที่ 3.18ก การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$



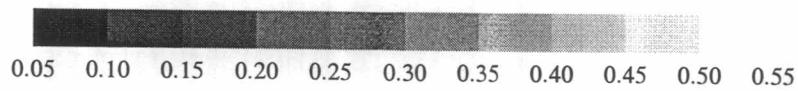
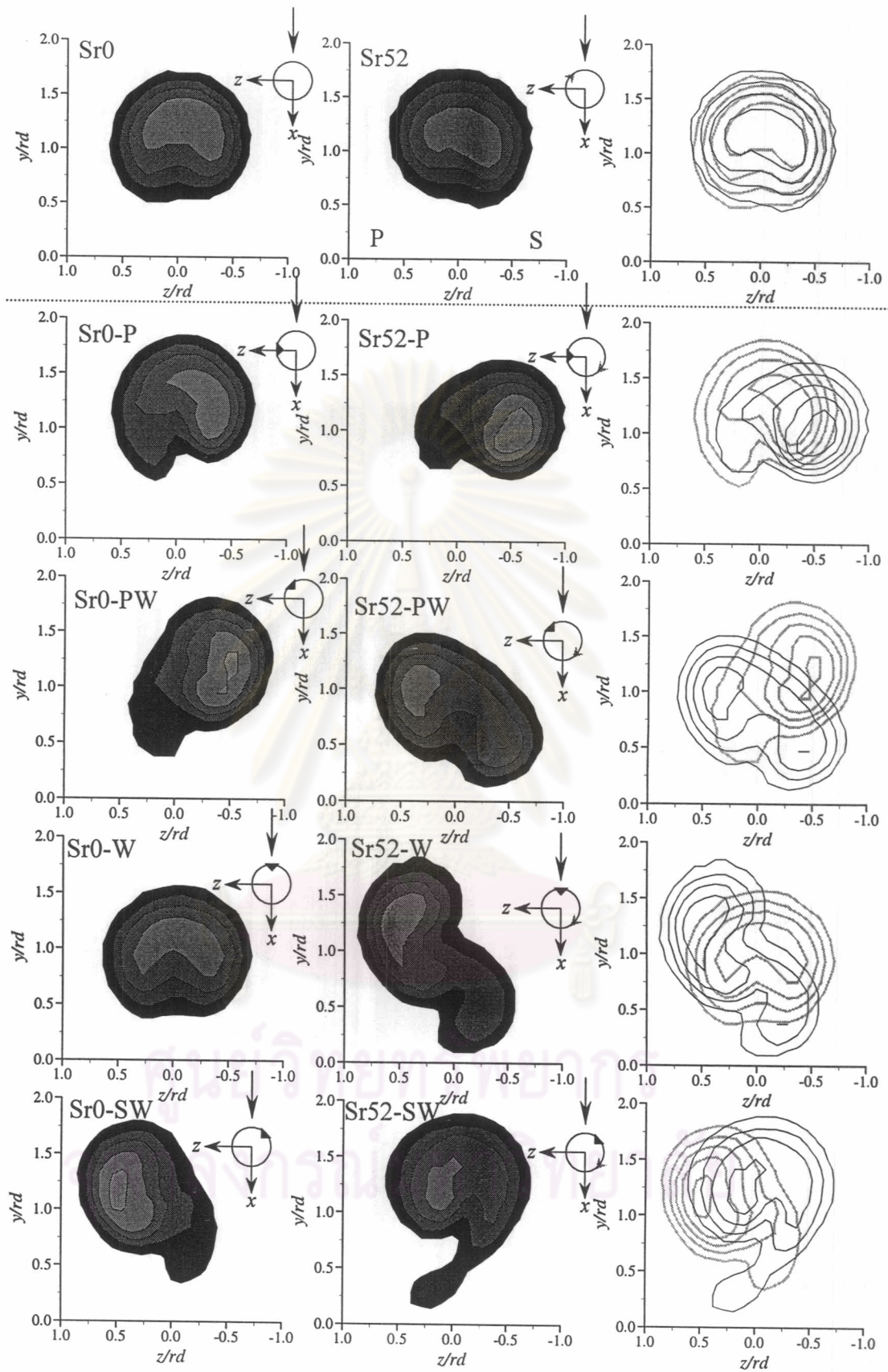
รูปที่ 3.18 การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.25$



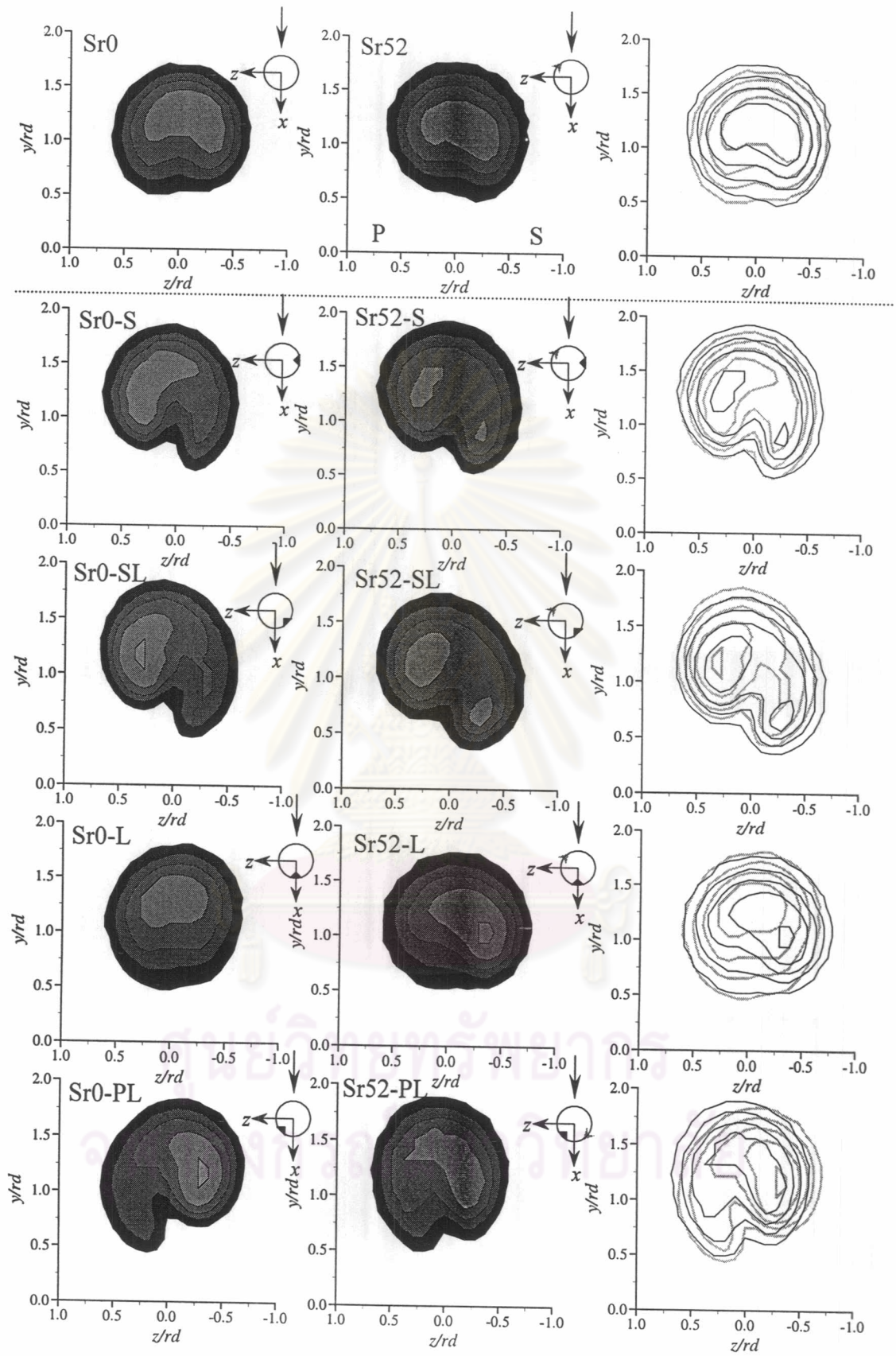
รูปที่ 3.19ก การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/r_d = 0.5$



รูปที่ 3.19 การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/rd = 0.5$

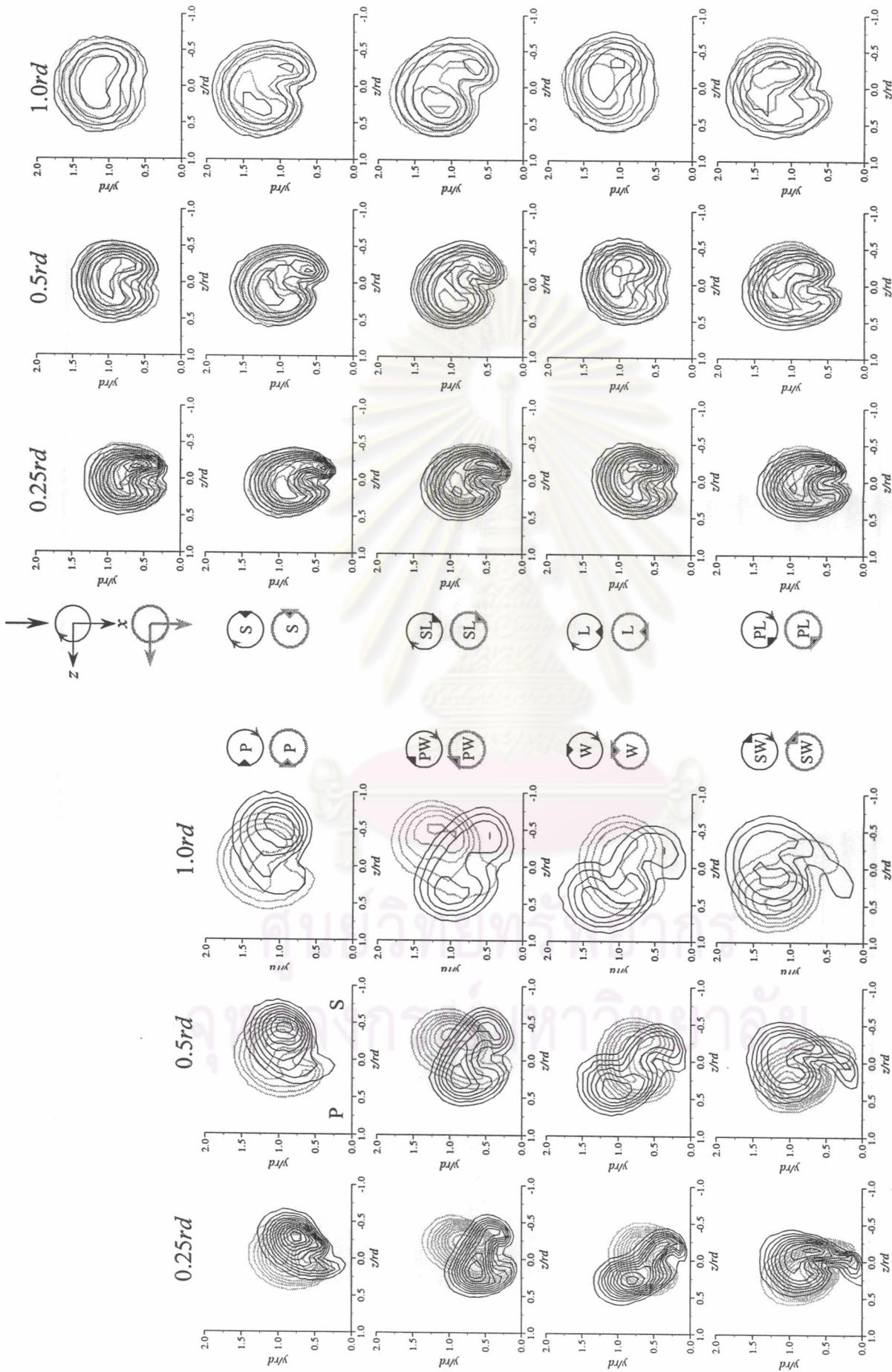


รูปที่ 3.20ก การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$



0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50 0.55

รูปที่ 3.20ข การเปรียบเทียบการกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ระหว่างกรณีเจ็ตที่ไม่หมุนควงและหมุนควง เมื่อติด Tab บนตำแหน่งเดียวกัน ที่หน้าตัด  $x/rd = 1.0$

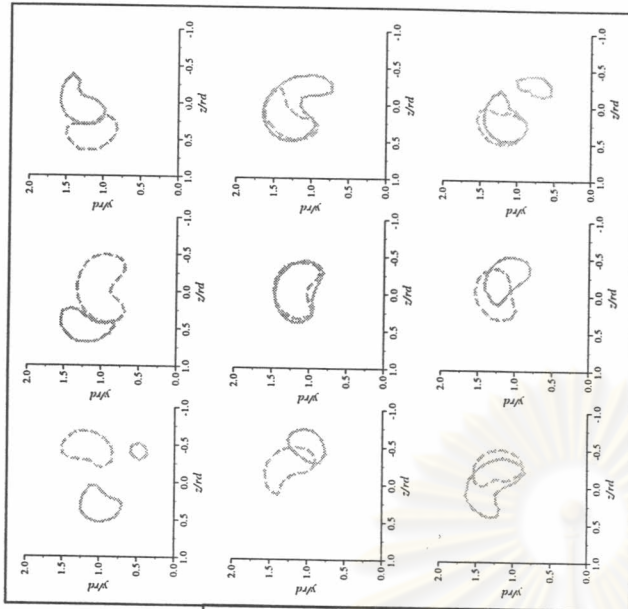


รูปที่ 3.21 การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างและการพัฒนาตัวของเจ็ตในกรณีไม่หมุนควงและหมุนควงซึ่งติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ

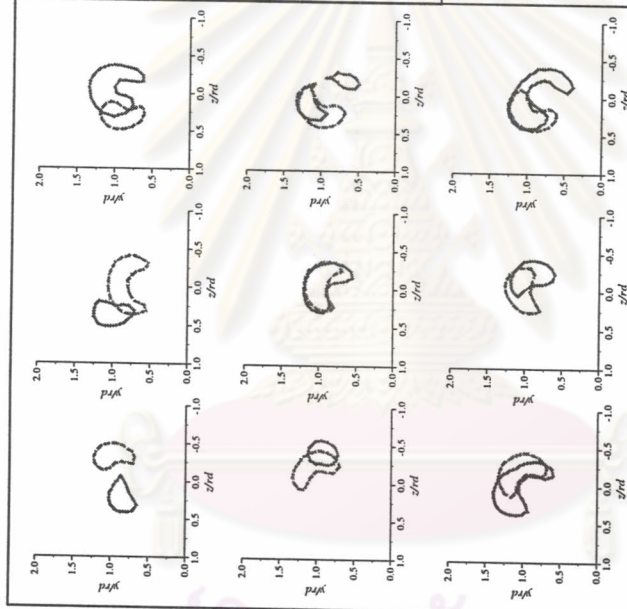
จากการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ( $C_{TG}$ ) ในแต่ละหน้าตัดตามแนว Downstream ( $x$ )



1.0rd

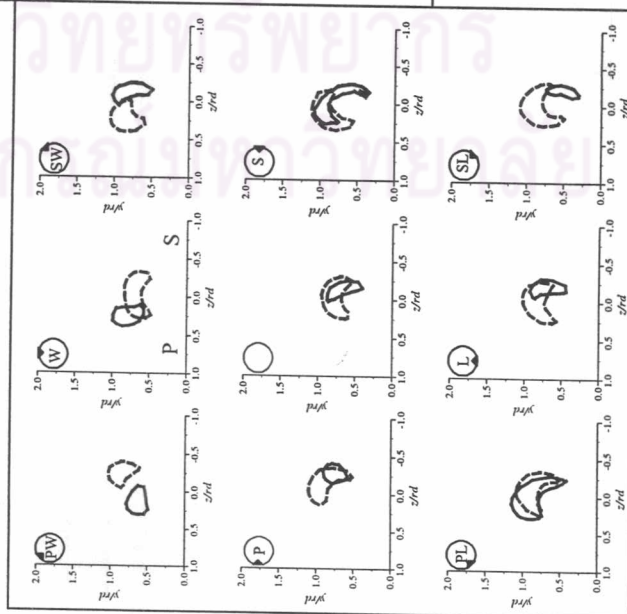


0.5rd



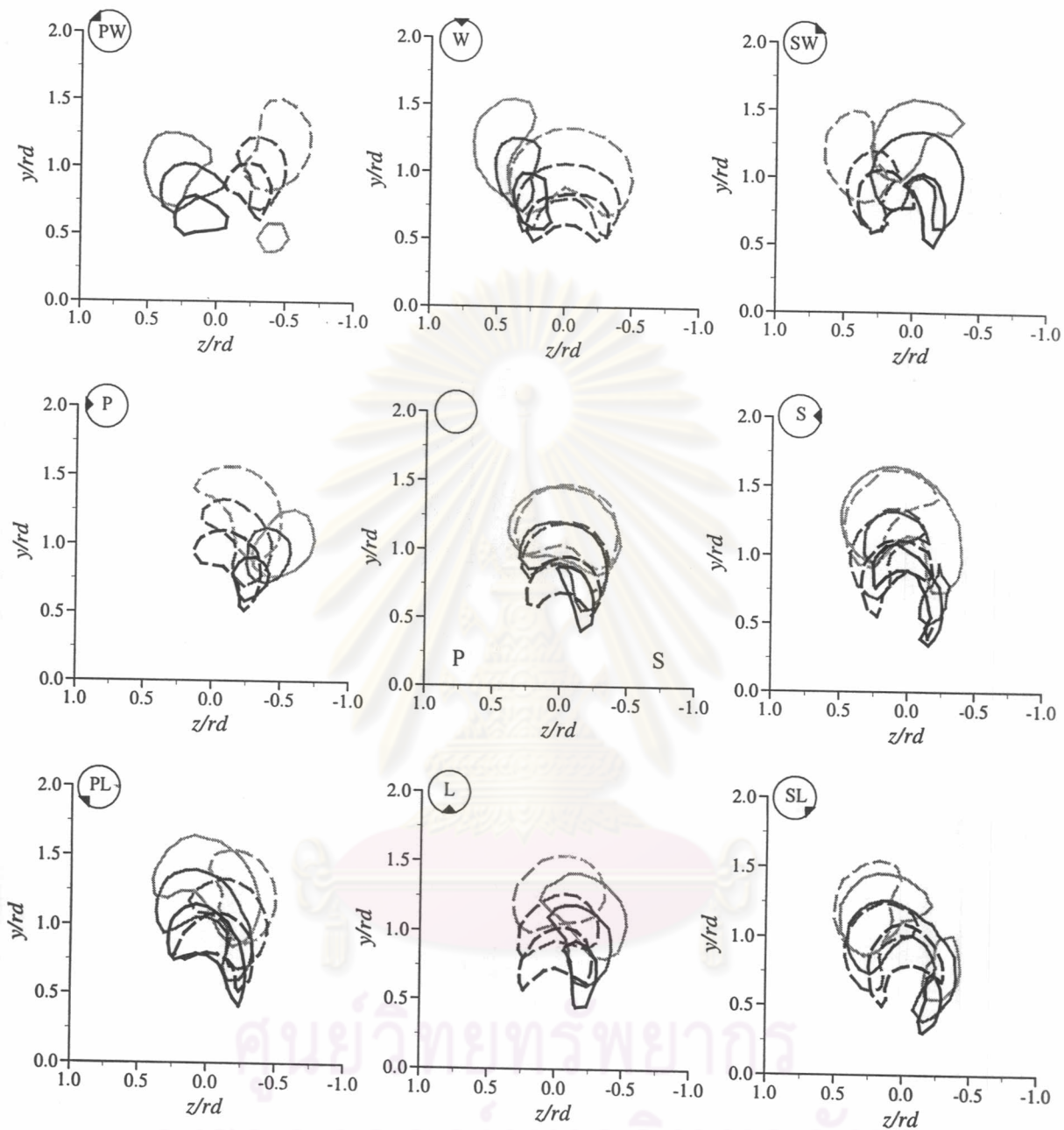
CORE ( $C_{TL} \geq 0.8$ )

0.25rd



- Sr52-0.25rd
- - - Sr0 -0.25rd
- Sr52-0.5rd
- - - Sr0 -0.5rd
- ..... Sr52-1.0rd
- ..... Sr0 -1.0rd

รูปที่ 3.22ก การเปรียบเทียบ CORE ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ดในกรณีที่เกิดไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด 0.25rd, 0.5rd และ 1.0rd

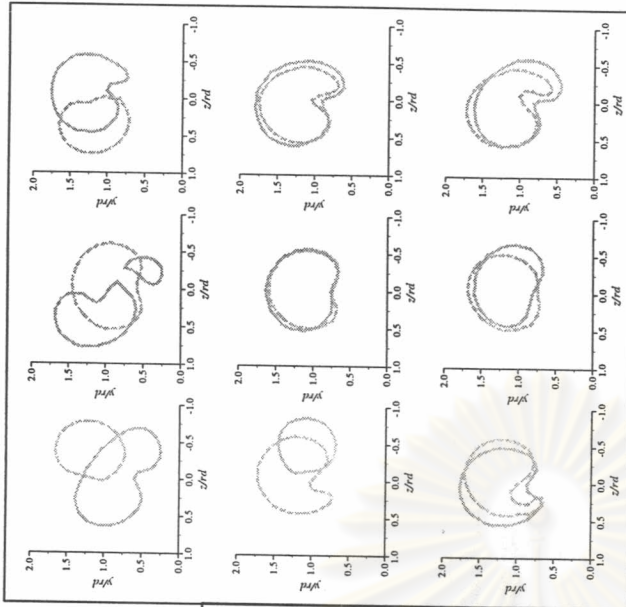


ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

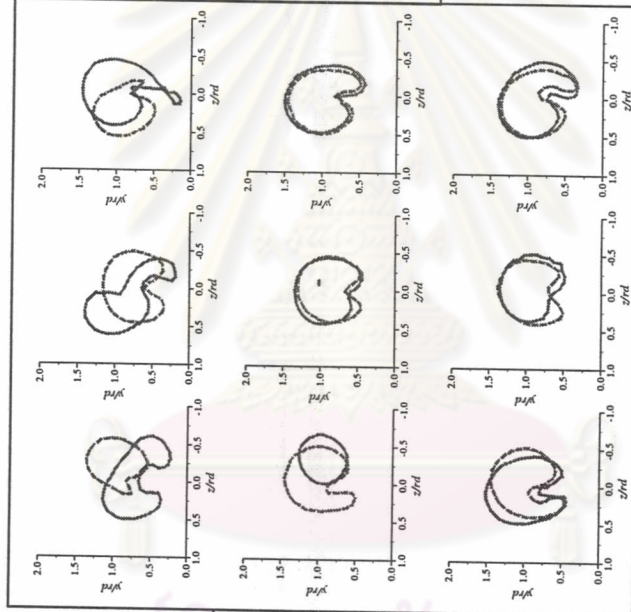
Sr0-XX    0.25rd    0.5rd    1.0rd  
 Sr52-XX    ————    ————    ————

รูปที่ 3.22ข การเปรียบเทียบการพัฒนา CORE ( $C_{TL} \geq 0.8$ ) ของเจ็ตในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง และหมุนควง ที่หน้าตัด  $0.25rd$ ,  $0.5rd$  และ  $1.0rd$  ตามลำดับ

1.0rd

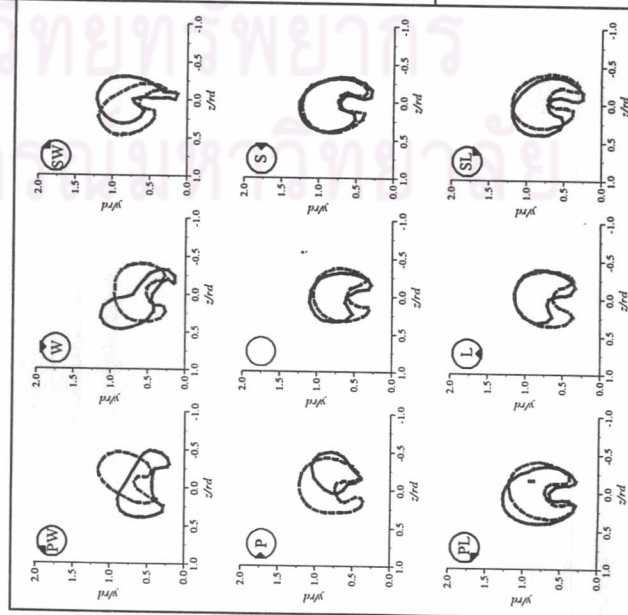


0.5rd



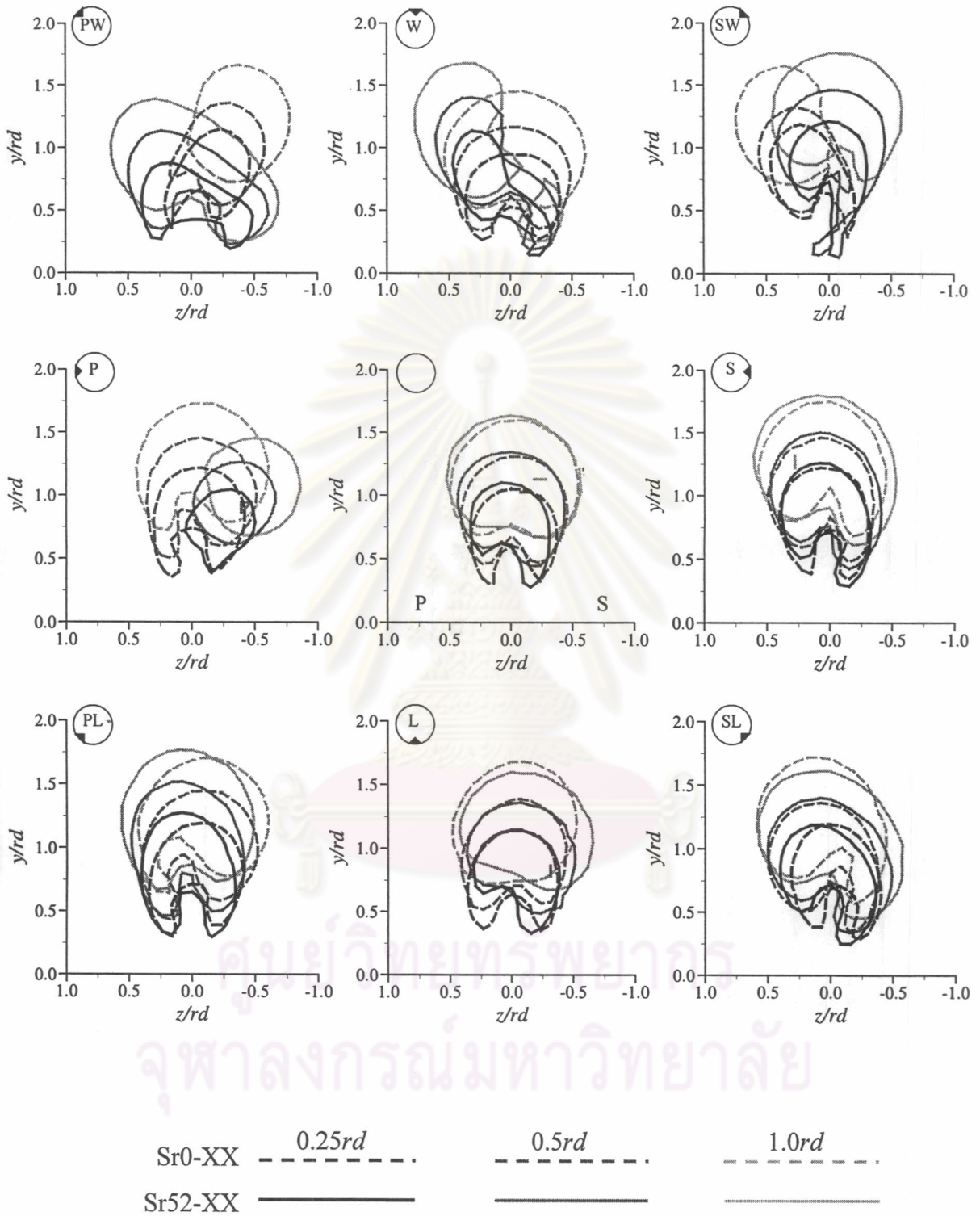
BODY ( $C_{TL} \geq 0.5$ )

0.25rd



- Sr52-0.25rd
- - - Sr0 -0.25rd
- Sr52-0.5rd
- - - Sr0 -0.5rd
- ⋯ Sr52-1.0rd
- ⋯ Sr0 -1.0rd

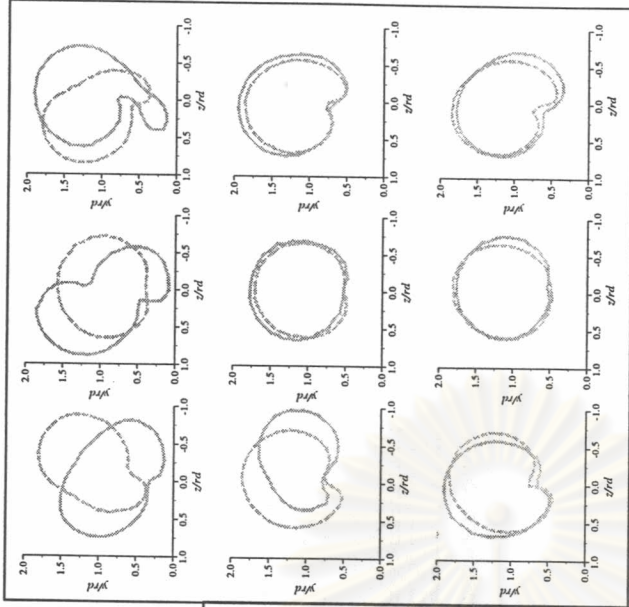
รูปที่ 3.23ก การเปรียบเทียบ BODY ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ดในกรณีที่เกิดไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด 0.25rd, 0.5rd และ 1.0rd



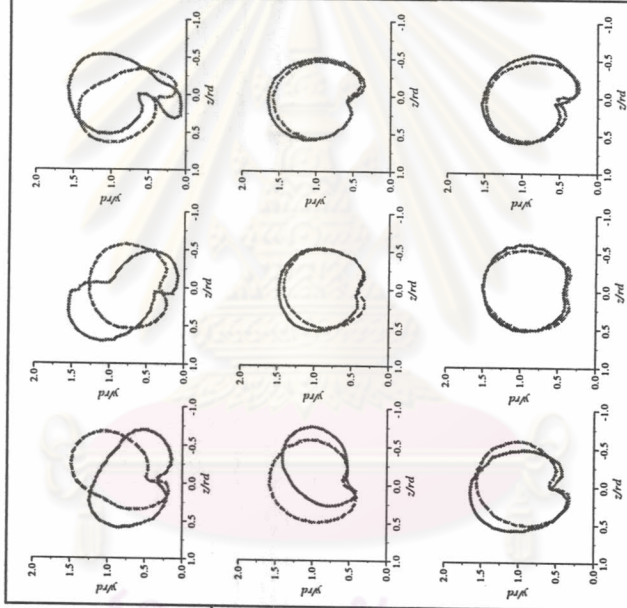
รูปที่ 3.23 ข การเปรียบเทียบการพัฒนา BODY ( $C_{TL} \geq 0.5$ ) ของเจ็ตในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควง และหมุนควง ที่หน้าตัด  $0.25rd$ ,  $0.5rd$  และ  $1.0rd$  ตามลำดับ

BOUNDARY ( $C_{TL} \geq 0.2$ )

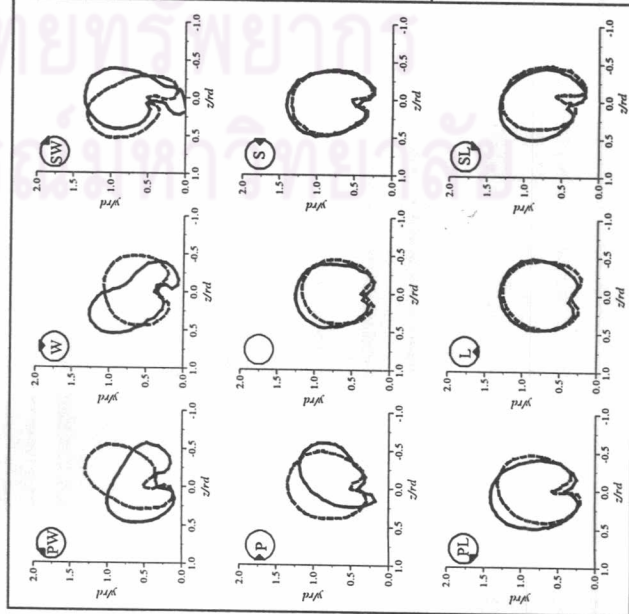
1.0rd



0.5rd

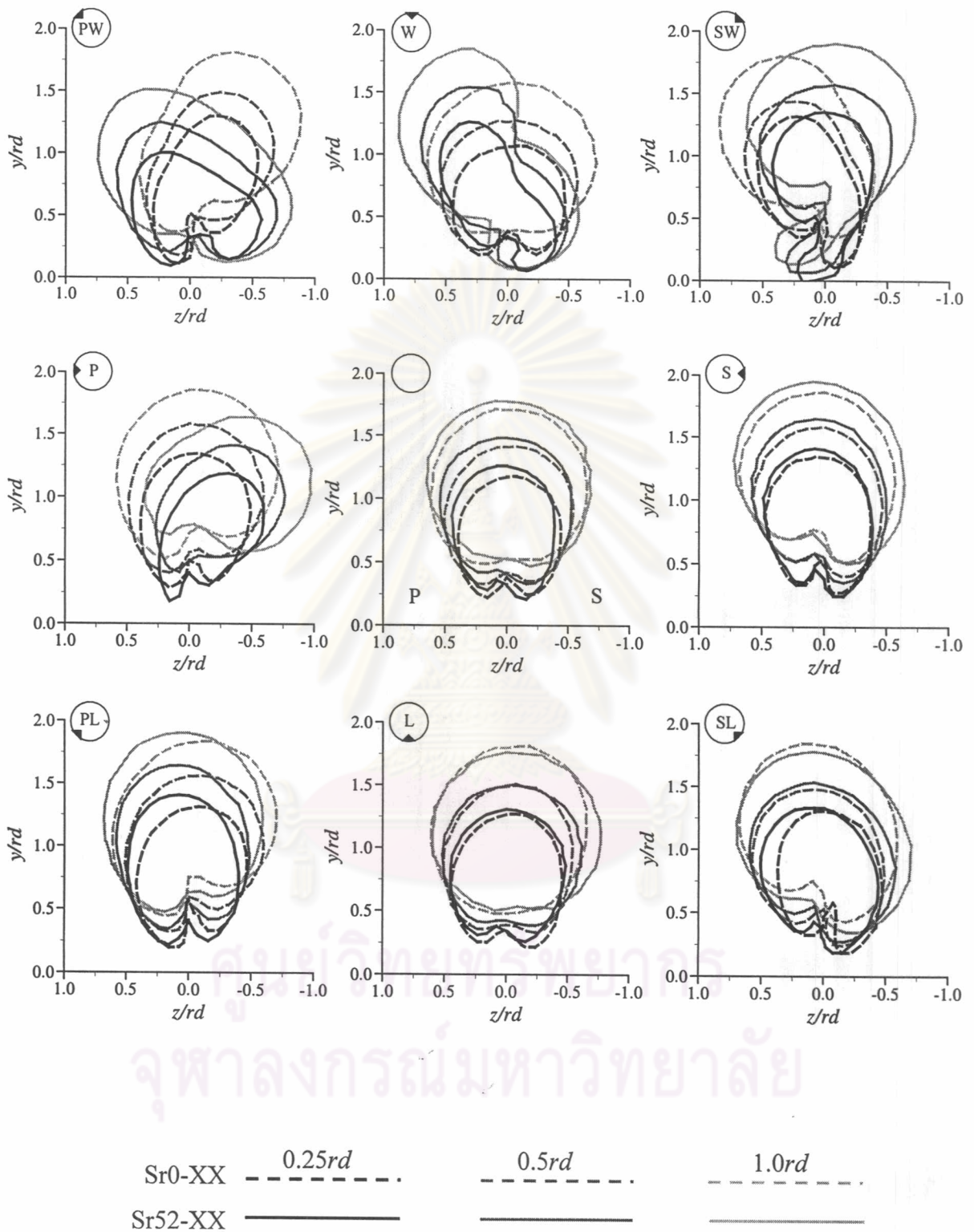


0.25rd



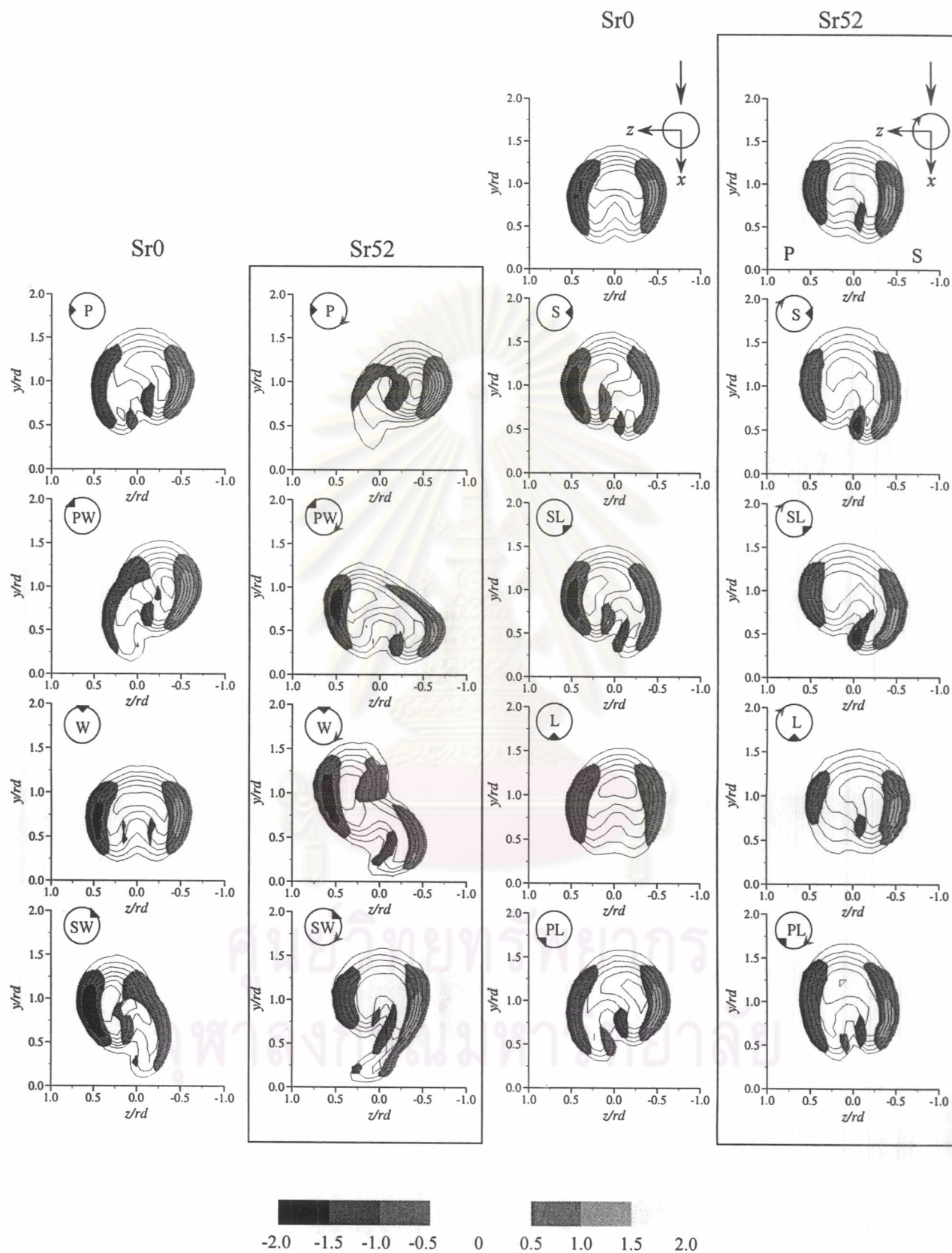
- Sr52-0.25rd
- - - Sr0 -0.25rd
- Sr52-0.5rd
- - - Sr0 -0.5rd
- Sr52-1.0rd
- - - Sr0 -1.0rd

รูปที่ 3.24k การเปรียบเทียบ BOUNDARY ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตในกรณีที่เกิดไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด 0.25rd, 0.5rd และ 1.0rd



รูปที่ 3.24 ข การเปรียบเทียบการพัฒนา BOUNDARY ( $C_{TL} \geq 0.2$ ) ของเจ็ตในกรณีที่เจ็ต  
ไม่หมุนควงและหมุนควง ที่หน้าตัด  $0.25rd$ ,  $0.5rd$  และ  $1.0rd$  ตามลำดับ



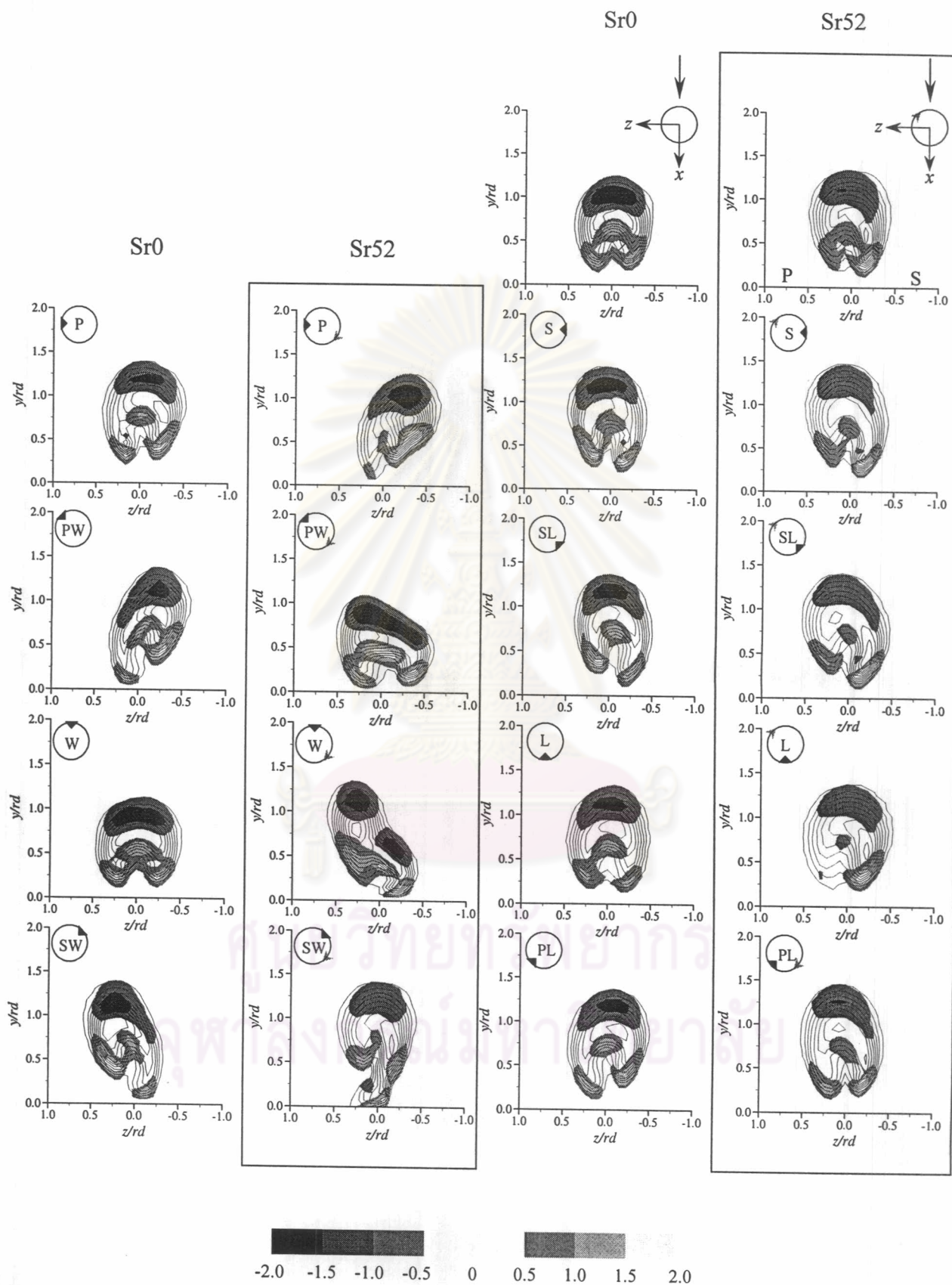


รูปที่ 3.25ข การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ตามแนวแกน z

$\frac{\partial C_{TG}}{\partial(z/r_d)}$  ในกรณีที่เจ็ดไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง  $x/r_d = 0.5$



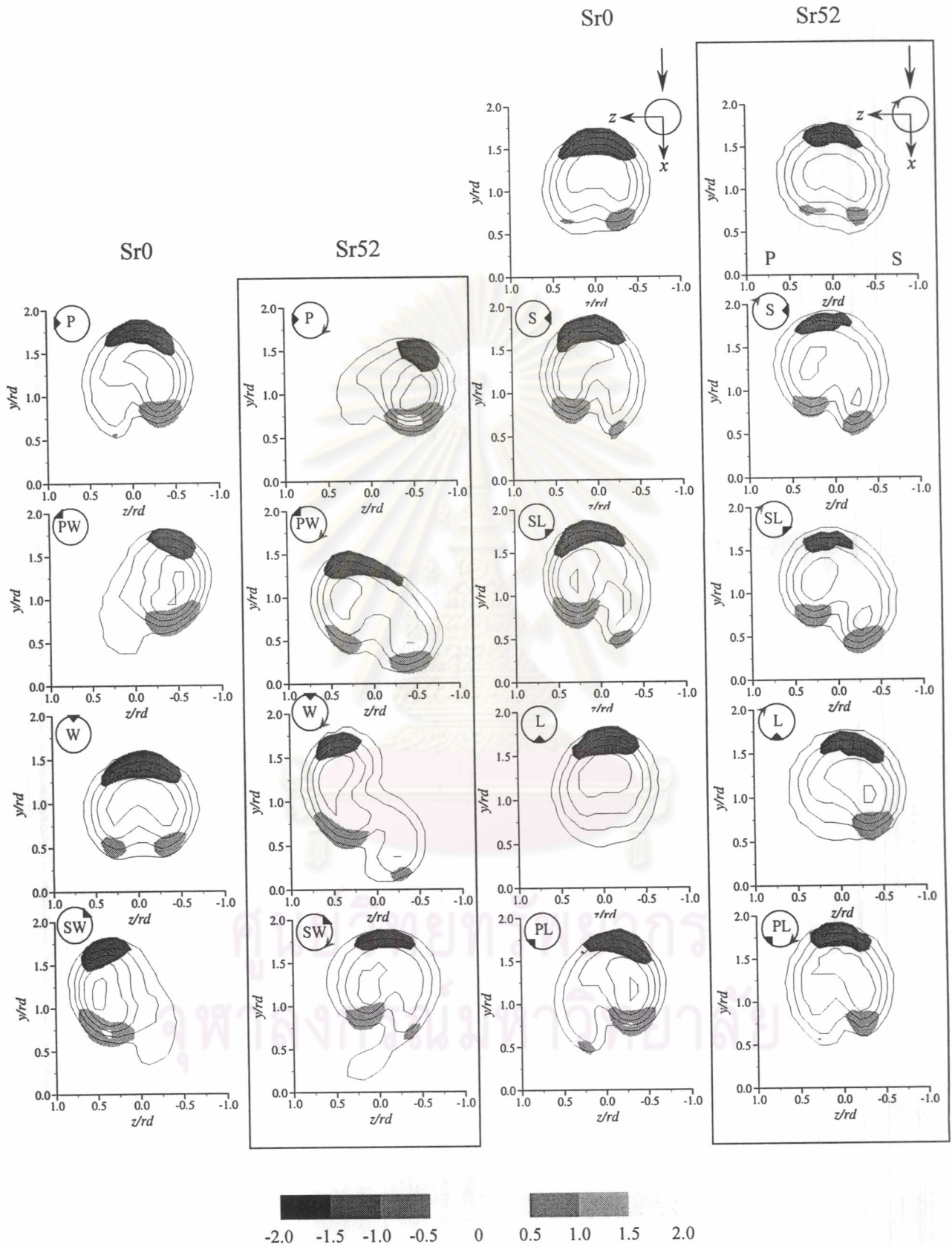




รูปที่ 3.26 การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ตามแนวแกน y

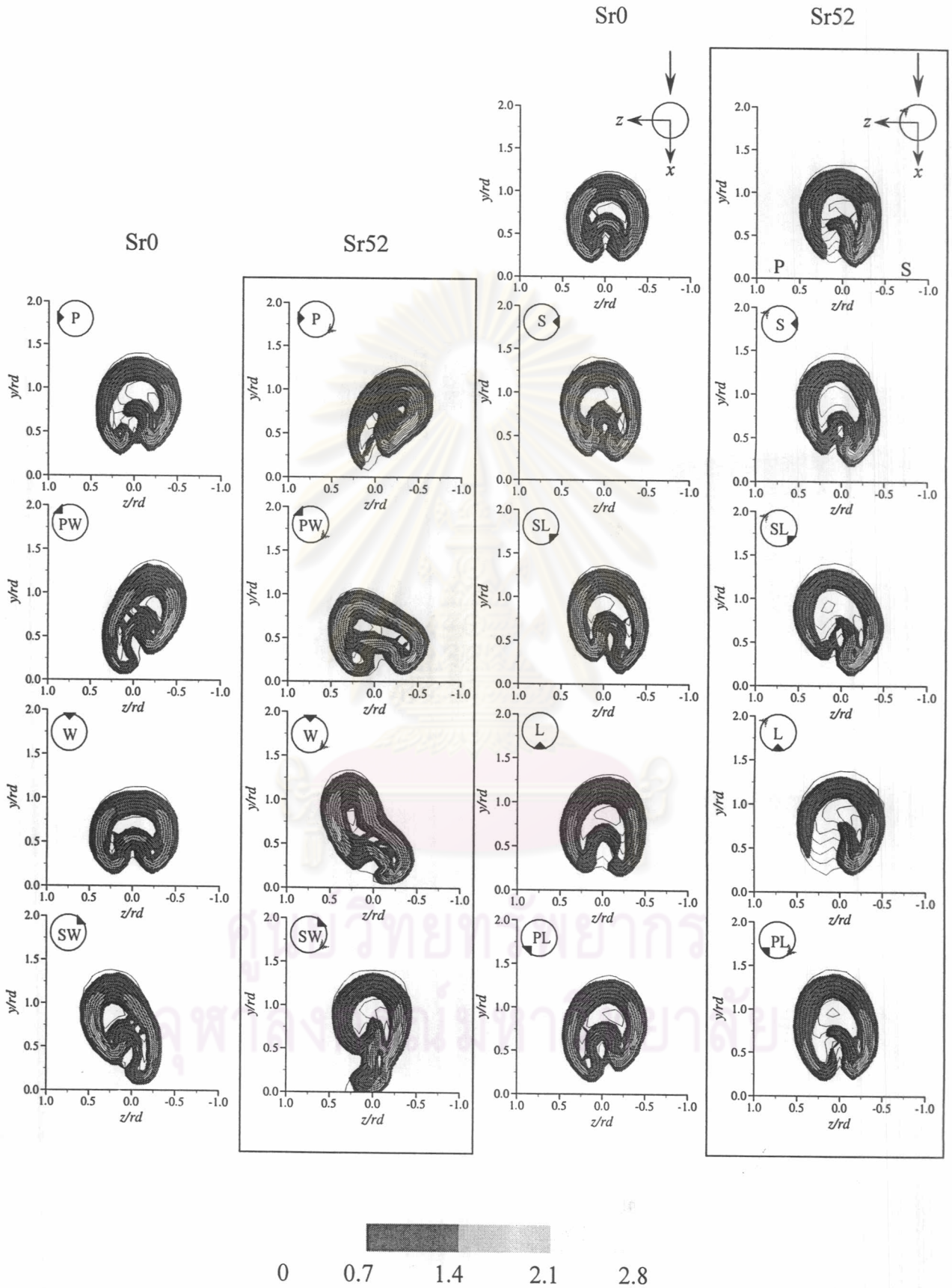
$\frac{\partial C_{TG}}{\partial (y/rd)}$  ในกรณีที่ไม่เจ็ดไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง  $x/rd = 0.25$





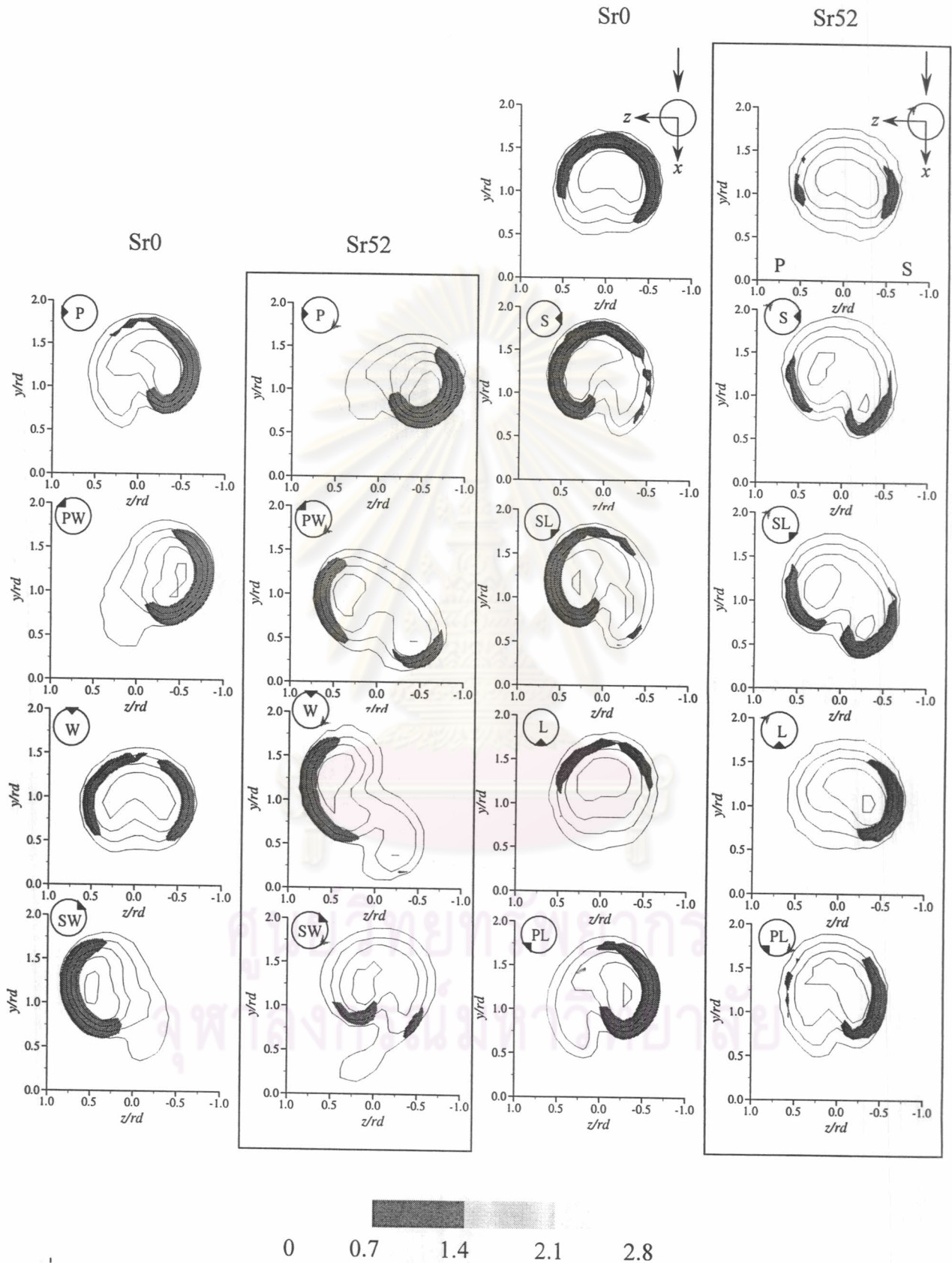
รูปที่ 3.26 ค การเปรียบเทียบการกระจาย Gradient ของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม ตามแนวแกน y

$\frac{\partial C_{TG}}{\partial (y/r_d)}$  ในกรณีที่เจ็ตไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง  $x/r_d = 1.0$

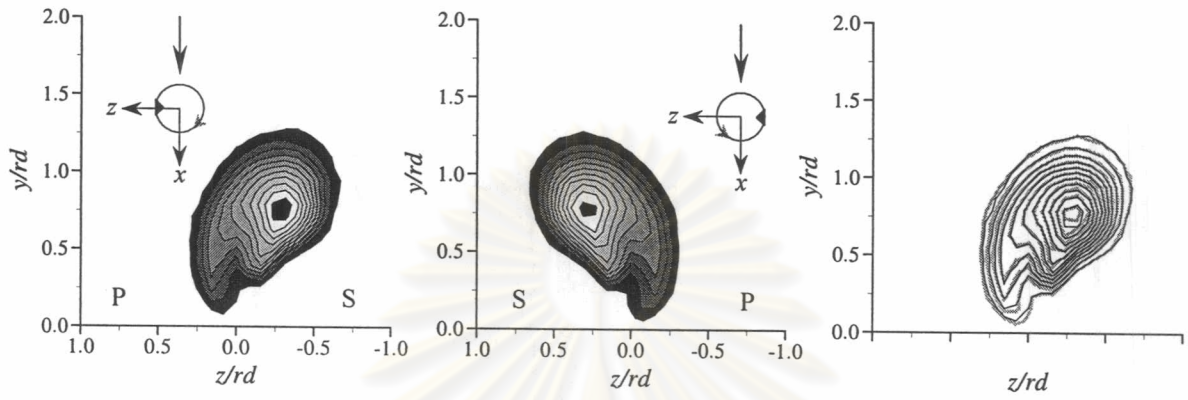


รูปที่ 3.27ก การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม  $\|\nabla C_{TG}\|$  ในกรณี ที่เจ็ตไม่หมุนควงและหมุนควง ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง  $x/rd = 0.25$

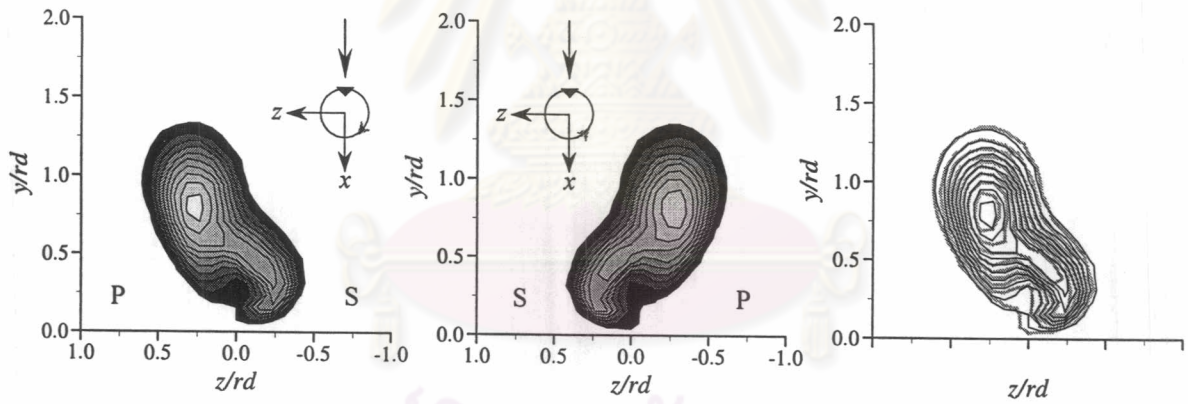




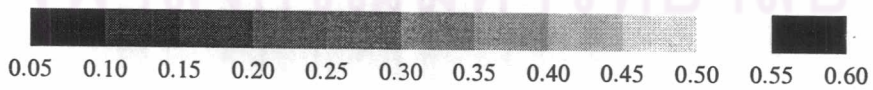
รูปที่ 3.27ค การเปรียบเทียบการกระจายขนาด Gradient ของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิรวม  $\|\nabla C_{TG}\|$  ในกรณี  
 ที่เจ็ตไม่หมุนควง (Sr0) และหมุนควง (Sr52) ทั้งไม่ติดและติด Tab ที่ตำแหน่ง  $x/rd = 1.0$



(ก) กรณี Sr52P ทิศทางการหมุน  $-y$  (ข) กรณี Sr52-P ทิศทางการหมุน  $+y$  (ค) เปรียบเทียบ(ก)และ(ข)

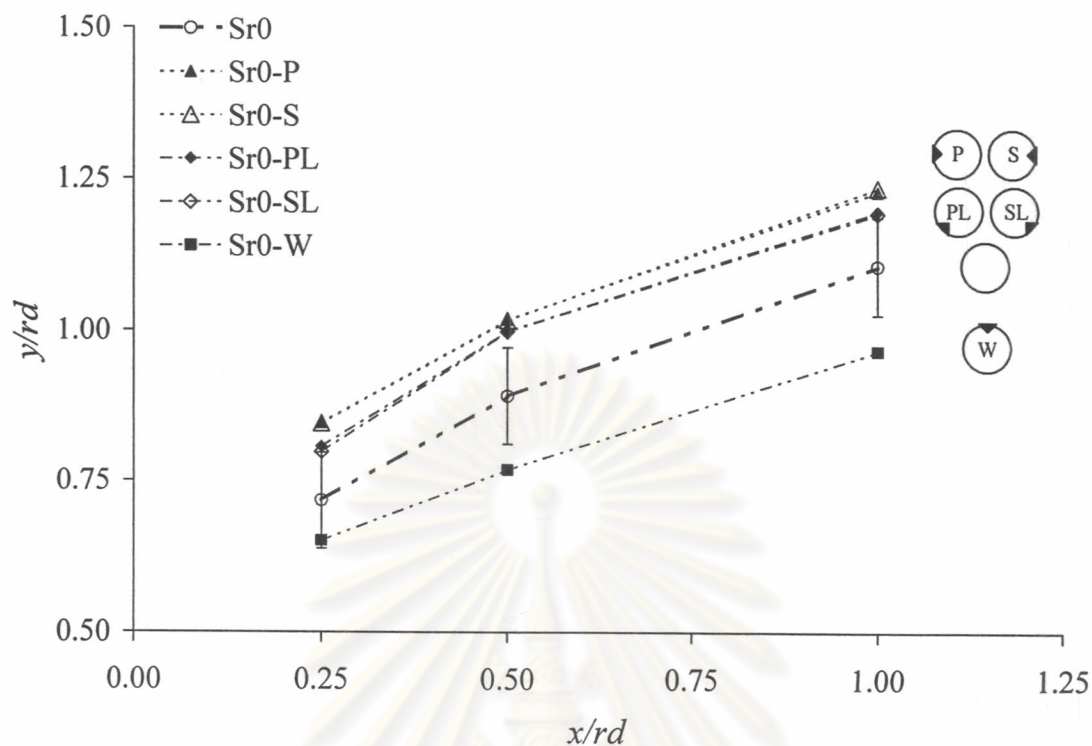


(ง) กรณี Sr52w ทิศทางการหมุน  $-y$  (จ) กรณี Sr52-w ทิศทางการหมุน  $+y$  (ฉ) เปรียบเทียบ(ง)และ(จ)

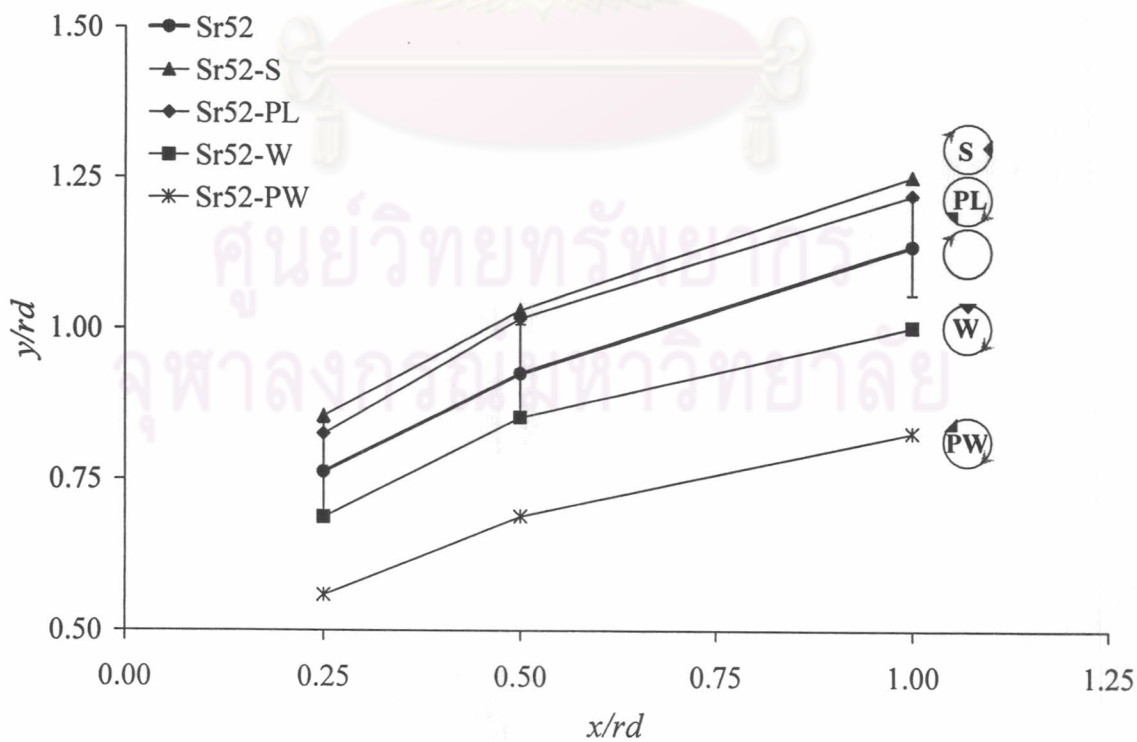


รูปที่ 3.28 การกระจายของสัมประสิทธิ์อุณหภูมิมรวม ( $C_{TG}$ ) โดยเปรียบเทียบทิศทางการหมุนของท่อเจ็ตในกรณี Sr52-P และ Sr52-W ที่  $x/rd = 0.25$

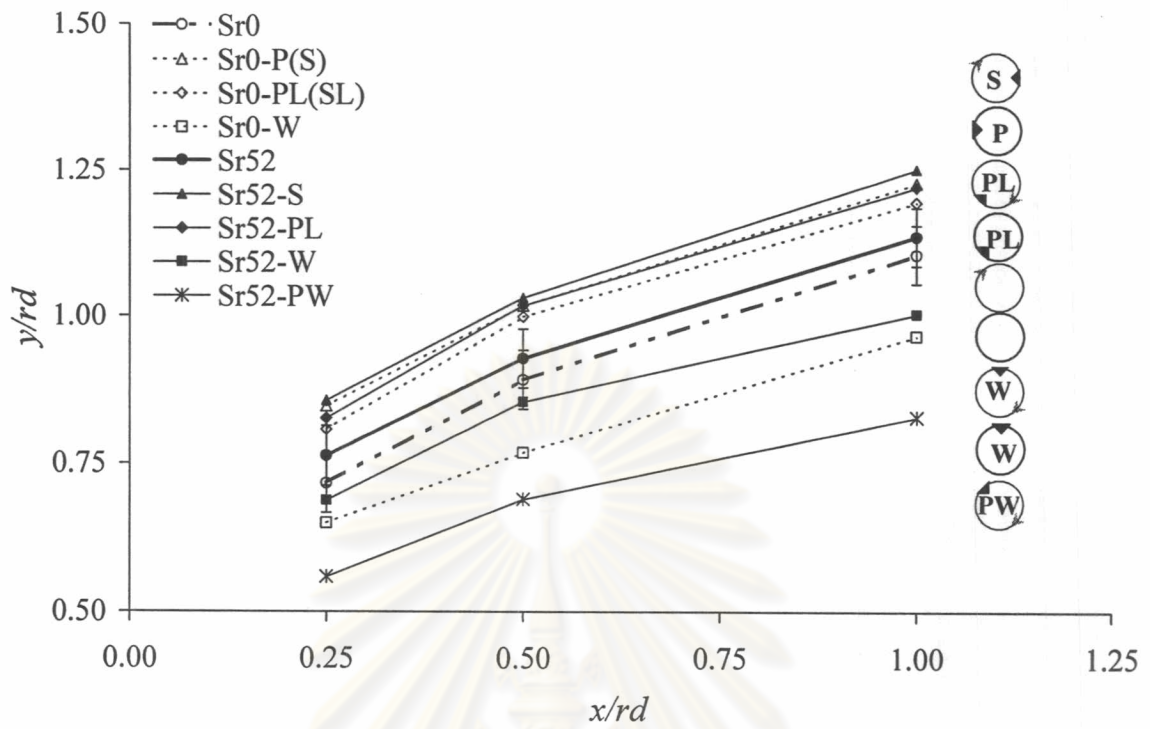




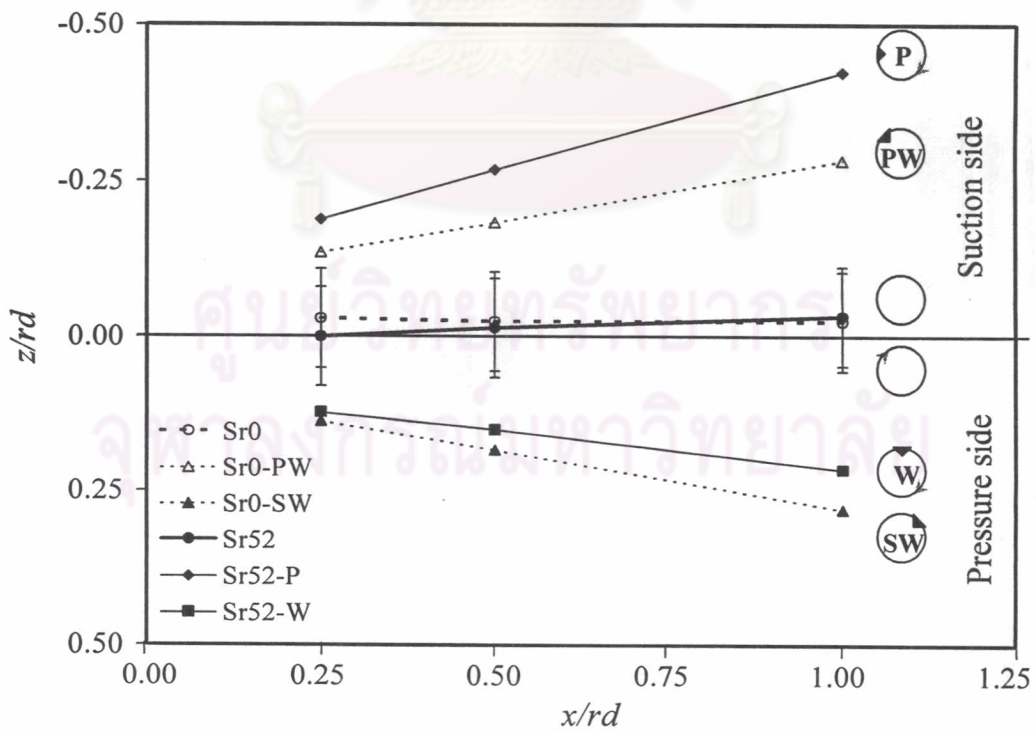
รูปที่ 3.29ก Centroid Trajectory ของอุณหภูมিবรรณาสสมมาตร ( $\bar{y}_r$ ) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ตไม่หมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



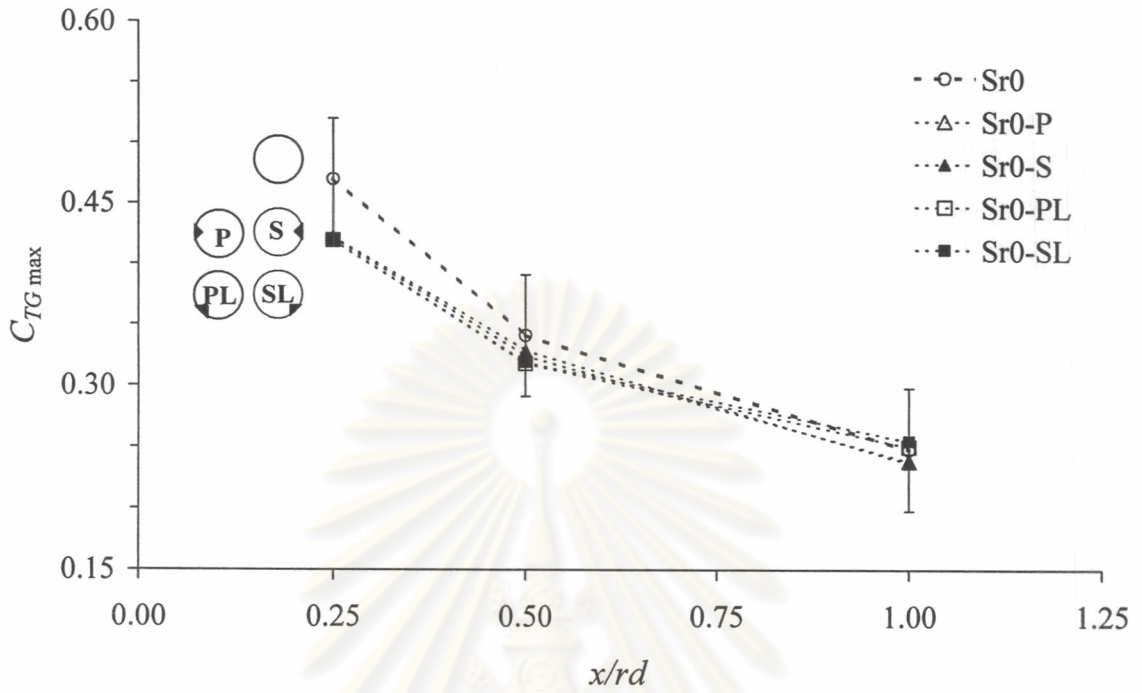
รูปที่ 3.29ข Centroid Trajectory ของอุณหภูมিবรรณาสสมมาตร ( $\bar{y}_r$ ) เปรียบเทียบกันในกรณีเจ็ตหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



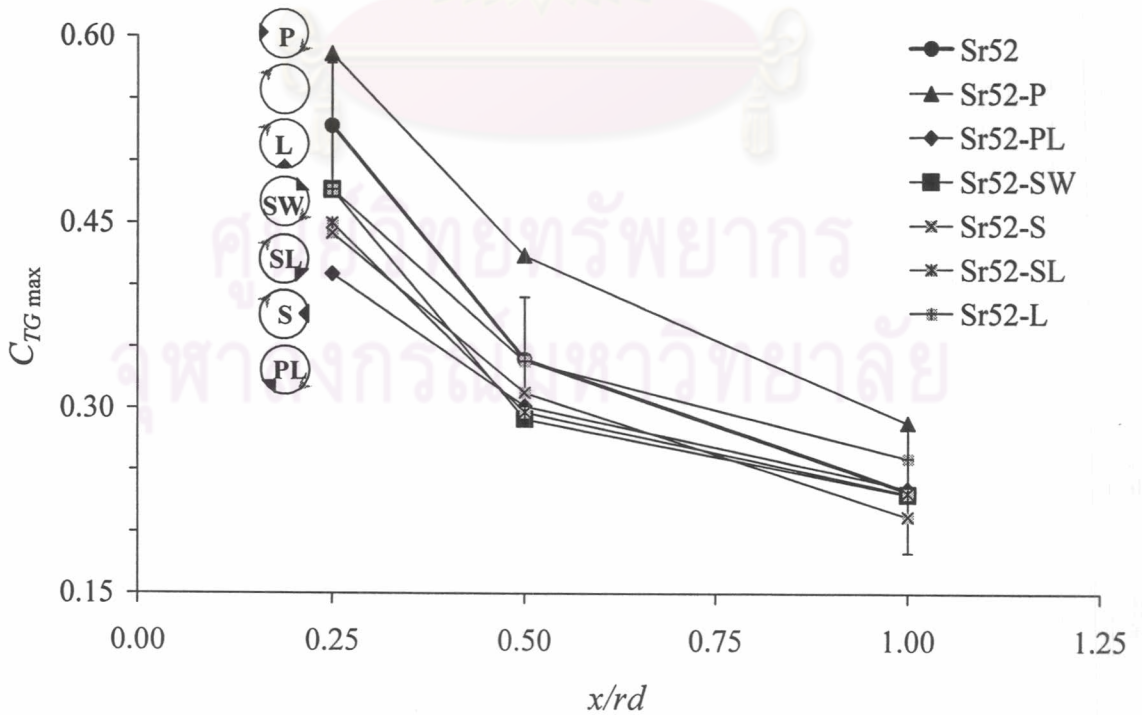
รูปที่ 3.29ค Centroid Trajectory ของอุณหภูมิมบระนาบสมมาตร ( $\bar{y}_T$ ) เปรียบเทียบกันในกลุ่มเจ็ตไม่หมุนควงและกรณีเจ็ตหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



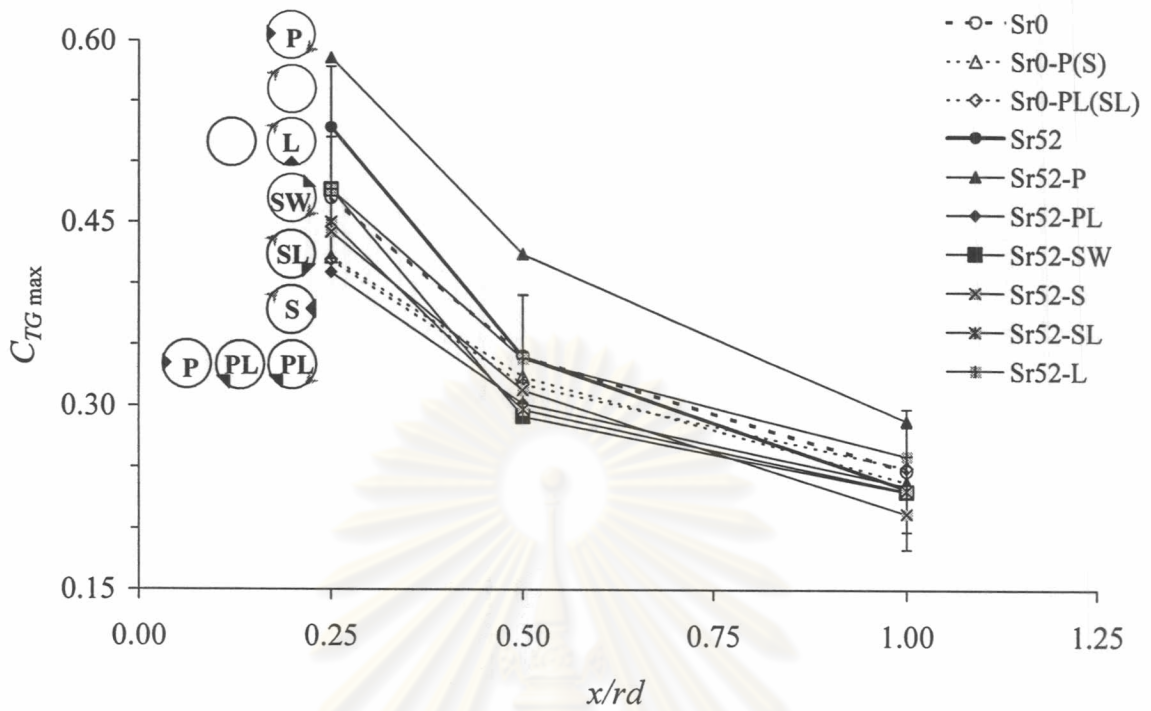
รูปที่ 3.29ง Centroid Trajectory ของอุณหภูมิมบระนาบนอน ( $\bar{z}_T$ ) เปรียบเทียบกันในกลุ่มเจ็ตไม่หมุนควงและกรณีเจ็ตหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 3.30ก Maximum decay ของ  $C_{TGmax}$  ตามแนว Downstream ( $x$ ) ในกรณีเจ็ตไม่หมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



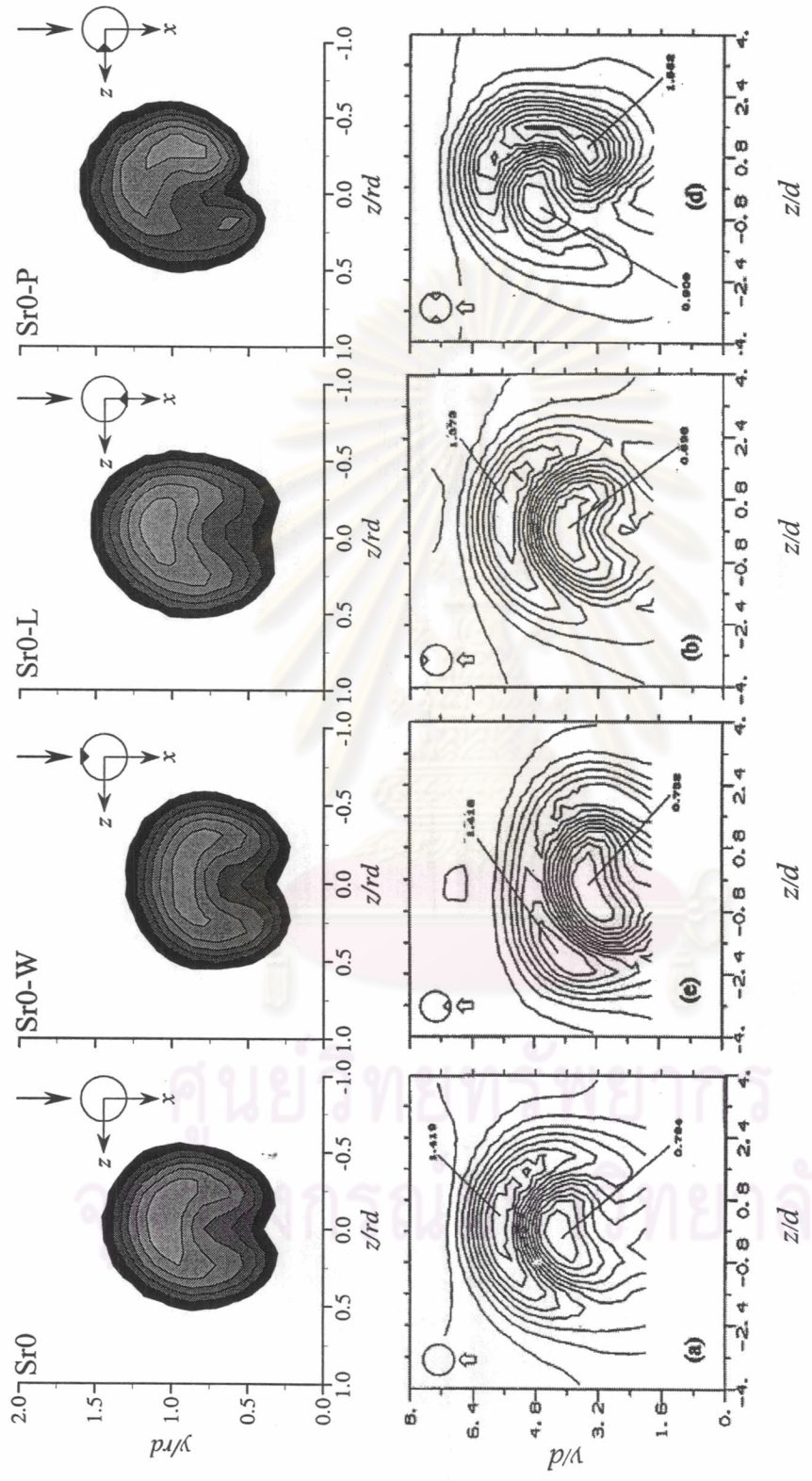
รูปที่ 3.30ข Maximum decay ของ  $C_{TGmax}$  ตามแนว Downstream ( $x$ ) ในกรณีเจ็ตหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ



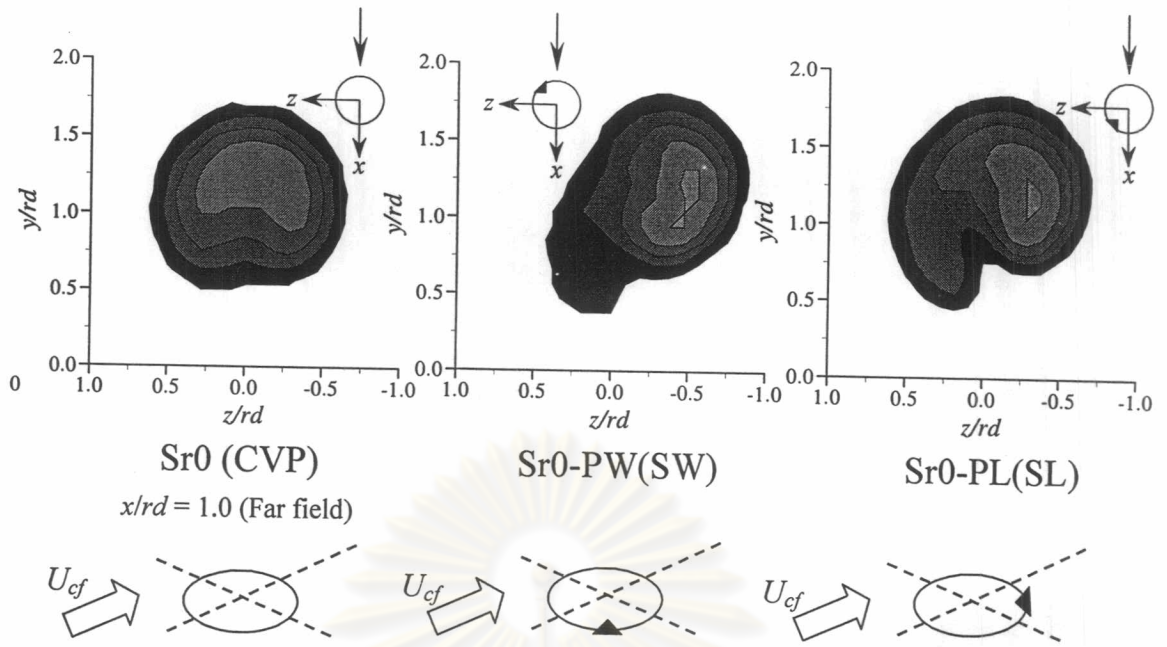
รูปที่ 3.30ค Maximum decay ของ  $C_{TG\max}$  ตามแนว Downstream ( $x$ )

ในกรณีเจ็ตไม่หมุนควงและกรณีเจ็ตหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ

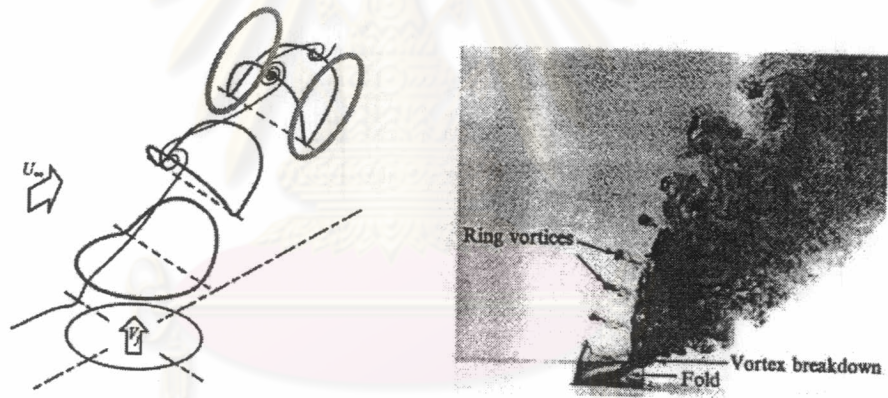
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง Contour แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ ( $C_{TG}$ ) และ Contour แสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยของ Zaman and Foss (1997) ในกรณีที่ไม่เกิดไม่หมุนควง

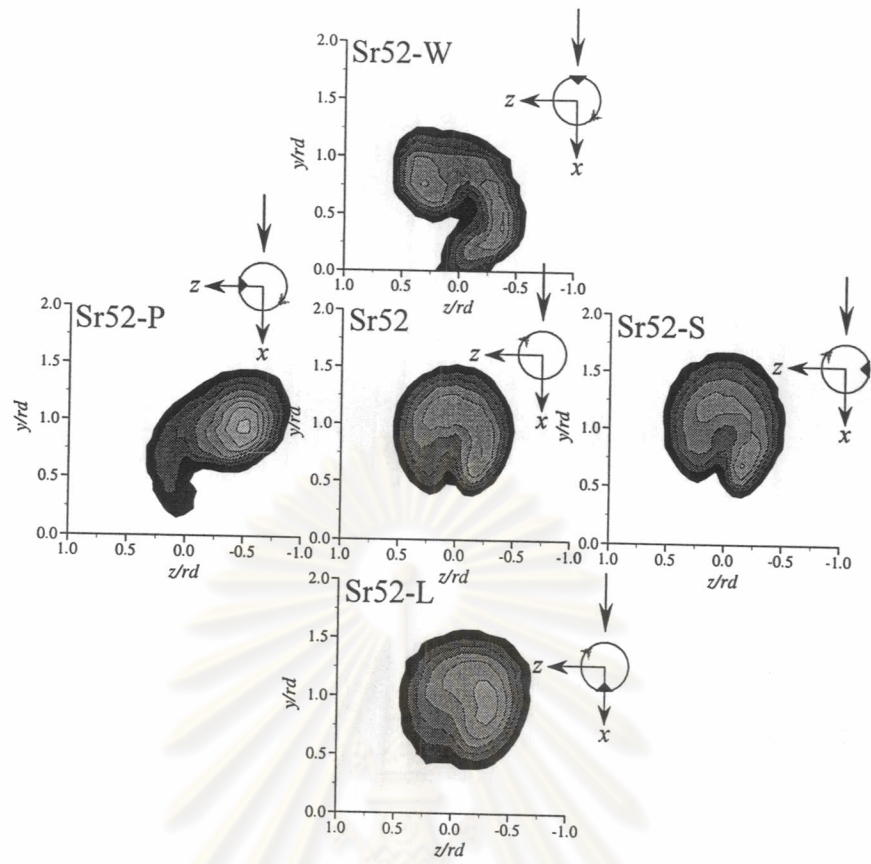


รูปการกระจายของอุณหภูมิ ( $C_{TG}$ ) ในกรณีเจ็ตไม่หมุนควบกรณีไม่ติด Tab และติด Tab ที่ตำแหน่ง PW(SW) และ PL(SL) ในงานวิจัยนี้

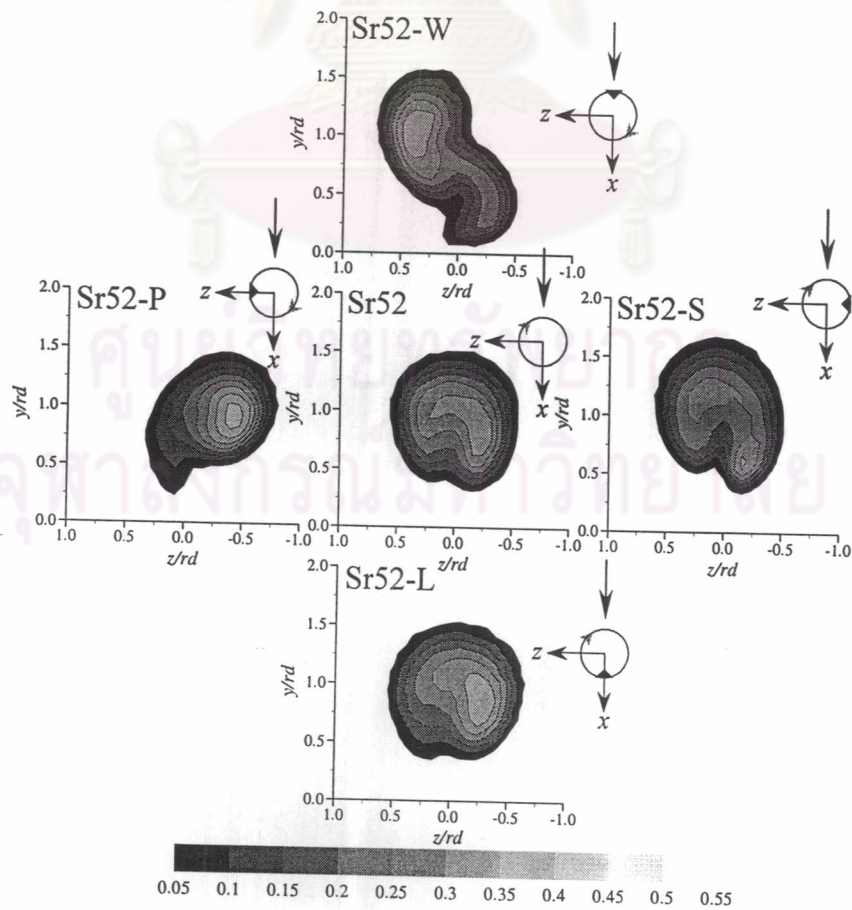


Kelso et al. (1996)

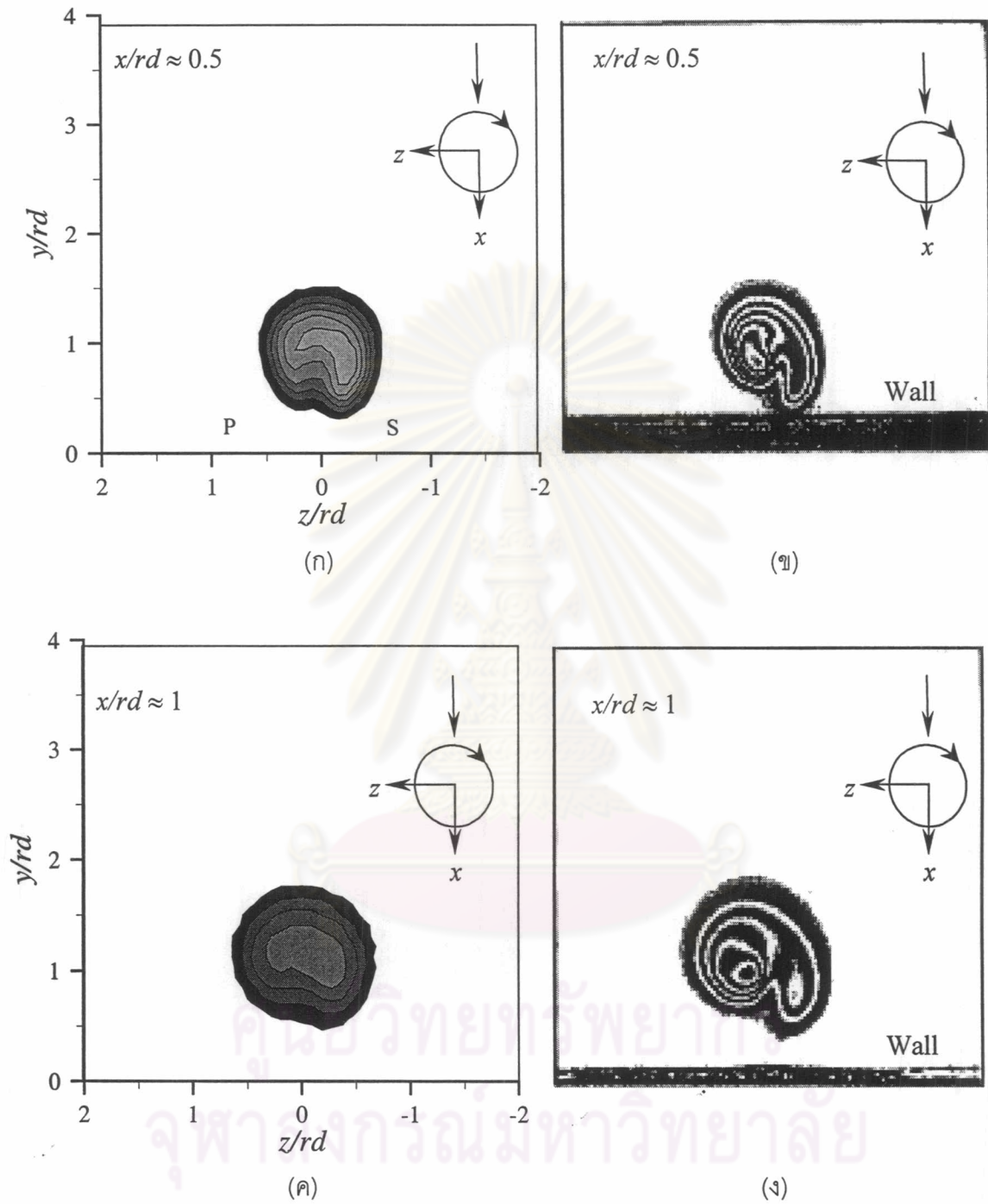
รูปที่ 4.2 อภิปรายแนวคิดบริเวณที่มีผลต่อการเกิด CVP เปรียบเทียบกับระหว่างงานวิจัยนี้ กับงานวิจัยของ Kelso et al. (1996)



รูปที่ 4.3ก ผลการกระจายของ  $C_{TG}$  กรณีที่เจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ ในการศึกษาเบื้องต้น



รูปที่ 4.3ข ผลการกระจายของ  $C_{TG}$  กรณีที่เจ็ทหมุนควง เมื่อติด Tab ที่ตำแหน่งต่างๆ ในการวิจัยนี้



รูปที่ 4.4 รูปร่าง Contour ของอุณหภูมิในงานวิจัยนี้ ที่ (ก)  $x/rd \approx 0.5$  และ (ค)  $x/rd \approx 1$  เปรียบเทียบกับ Contour ของปริมาณ Scalar concentration จาก Niederhaus et al. (1997) ที่ (ข)  $x/rd \approx 0.5$  และ (ง)  $x/rd \approx 1$  ที่ Swirl ratio (Sr) ประมาณ 0.52