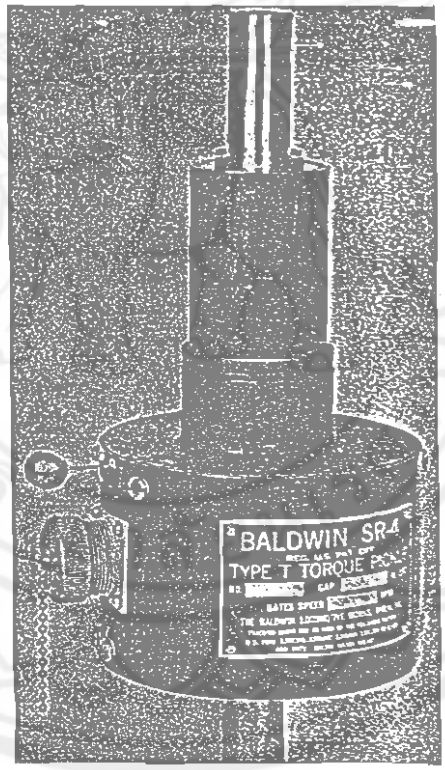
บทที่ 5
การประยุกต์ใช้สเตรนเกจร่วมกับสลิปริง (slip rings) และสวิตซ์คอนแทค (switch contacts)

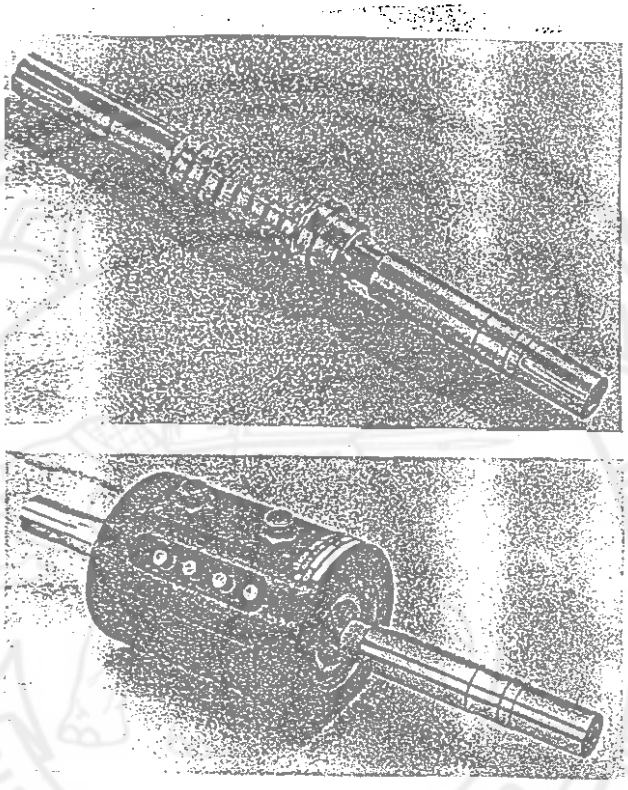
ในการวิเคราะห์หาความเครียดในงานทางวิศวกรรมนั้น สิ่งที่จำเป็นอีกประการหนึ่งคือการวัดความเครียดจากวัตถุหรือชิ้นส่วนที่มีการหมุนอยู่ตัวอย่างเช่น ต้องการวัดค่าทอร์กจากแกนหมุนของเครื่องจักร ซึ่งเป็นไปได้ค่อนข้างยากที่จะวัดด้วยไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เพราะเกิดการแกว่ง ดังนั้นสเตรนเกจทอร์กมิเตอร์ (strain gage torque meter) จึงได้ถูกนำมาใช้และเป็นวิธีการที่น่าพอใจมาก จากรูปที่ 5.1 เป็นรูปของ Commercial strain gage torque meter



รูปที่ 5.1 Commercial strain gage torque meter

ในครั้งหนึ่ง กระบวนการของการวัดความเครียดบนวัตถุที่หมุนอยู่ด้วยอิเล็กทริกสเตรนเกจ (electric strain gage) เป็นปัญหาที่หนักมากเนื่องจากเป็นการยากที่จะติดตั้งสเตรนเกจกับตัวของสปริง(slip rings) และเมื่อย้อนไปจะพบว่าค่าความต้านทานของสเตรนเกจเปลี่ยนไป 0.01 โอห์ม จะมีขนาดเทียบเท่ากับค่าความเค้น(stress) ในเหล็ก 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ถ้าการเปลี่ยนแปลง

ของความต้านทานในsliding connection ระหว่างบรัช(brush) และสปริง มีขนาดเท่ากัน (ซึ่งมักเกิดขึ้นได้ง่าย) จะทำให้ยากที่จะเห็นความแตกต่างของแหล่งที่มาของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทั้งสองได้ จึงมีการพัฒนาวงจรและเทคนิคต่างๆขึ้นมาเพื่อที่จะทำให้ปัญหาเหล่านี้หมดไปรูปที่ 5.2 เป็นรูป modern commercial slip ring assembly ซึ่งทำงานได้ 24000 รอบต่อนาที(rpm)

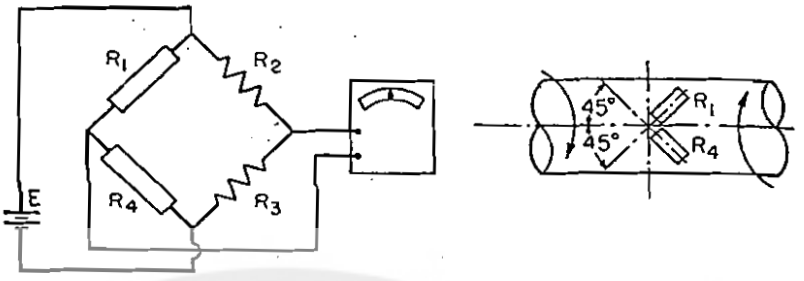


รูปที่ 5.2 Slip-rings (รูปบน) และ Slip-ring-brush assembly (รูปล่าง)

5.1 การติดตั้งสเตรนเกจ

เมื่อสเตรนเกจถูกใช้ในการหาความเค้นในวัตถุที่กำลังหมุนอยู่ ตำแหน่งและการกำหนดทิศทางของเกจนี้จะเป็นไปตามธรรมชาติคือขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุที่ถูกวิเคราะห์และพฤติกรรมของภาระที่มากระทำ ในวัตถุที่หมุนได้หลายๆชนิด เช่น ลูกบิด (impellers) และแกนข้อเหวี่ยง (crank shaft) บางที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนและจากการสังเกตจะพบว่าวัตถุเหล่านี้ เมื่อมีภาระกระทำมักจะอยู่ในตำแหน่งและทิศทางของ principal stress ที่มีค่ามากที่สุด ดังนั้น สเตรนเกจควรจะถูกติดตั้งให้เหมาะสม

จากกลศาสตร์วัสดุเบื้องต้นทำให้รู้ว่าแรงดึงสูงสุดและความเครียดแบบอัดของแท่งเพลาอันเนื่องมาจากแรงบิดจะวางตั้งในแนว 45 องศา เป็นเกลียวบนผิวของแท่งเพลา เพราะเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องติดสเตรนเกจกับแท่งเพลาในทิศทาง 45 องศา การติดตั้งที่ง่ายที่สุดจะแสดงในรูปที่ 5.3 ค่าโมเมนต์บิดที่ถูกกำหนด เกจ R1 จะถูกยืดจากแรงดึงและ R4 จะถูกกดจากแรงอัด

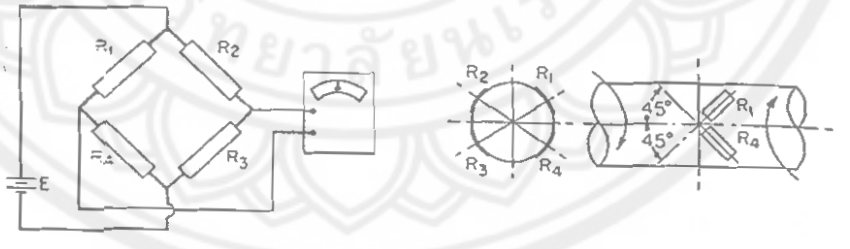


รูปที่ 5.3 พื้นฐานการติดตั้งของสเตรนเกจสำหรับการวัดแรงบิด

ถ้าเพลาถูกกระทำโดยโมเมนต์ดัด อย่างไรก็ตามความเค้นเนื่องจากแรงดัด ในเกจ R_1 และ R_4 จะไม่เหมือนเดิมทั้งขนาดและทิศทาง(เครื่องหมาย) ด้วยเหตุนี้จึงมีการติดตั้งเกจสำหรับแรงบิดและแรงดัด ดังรูปที่ 5.4 ผลลัพธ์ที่ได้ของระบบนี้จะชดเชยในเรื่องของอุณหภูมิสำหรับเกจทุกตัวไปโดยอัตโนมัติแล้ว จากสมมิฐานนี้ทำให้การติดตั้งสเตรนเกจมีตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอน สังเกตได้ว่าเพลาที่ถูกแรงบิดจะเป็นกรณีพิเศษของความเครียด 2 มิติ เพราะว่าไม่สามารถที่จะคำนวณความเค้นของเพลาโดยการคูณค่าความเครียดที่ได้ด้วยโมดูลัสยืดหยุ่น ซึ่งค่าที่ความเค้นที่ถูกต้องจริงๆ นั้นคำนวณจาก

$$\sigma = \frac{\in E}{\eta + \mu}$$

เมื่อ ε คือความเครียดของเกจ หรือหนึ่งในสี่ของบริดจ์เอาท์พุต เมื่อใช้เกจ 4 ตัว

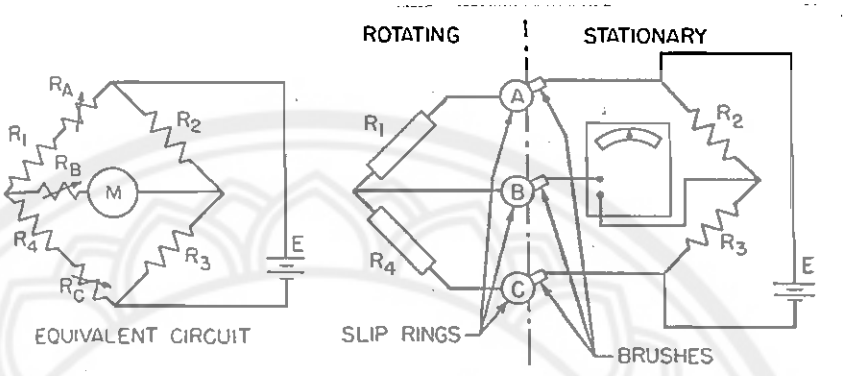


รูปที่ 5.4 การแก้ไขการติดตั้งของสเตรนเกจสำหรับการวัดแรงบิด

5.2 วงจรไฟฟ้า

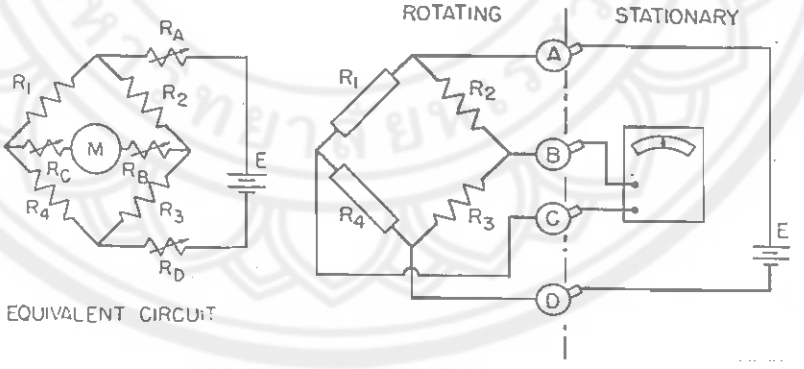
สลิปริงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานได้ง่าย เช่นเดียวกับความต้านทานที่เปลี่ยนในสเตรนเกจเมื่อเกิดความเครียดขึ้น ซึ่งปัญหานี้สามารถทำให้ลดน้อยลงได้โดยใช้เทคนิคทางไฟฟ้าและเครื่องกล ซึ่งวิธีทางไฟฟ้าจะแสดงในระบบดังรูปที่ 5.5 ถ้าความต้านทานที่จุดติดต่อของ brush-to-

slip-ring ที่จุด A เปลี่ยนไปเช่นเดียวกับที่จุด C บริดจ์จะไม่สมดุลอย่างเห็นได้ชัดเพราะว่าสลิปริงและบรัช ต่ออนุกรมกันอยู่กับสเตรนเกจ R_1 มิเตอร์จะให้ค่าที่ไม่ถูกต้องของการไม่สมดุลเช่นเดียวกับความเครียด ความคลาดเคลื่อนถาวรในระบบแบบนี้ค่อนข้างจะมีค่ามากและไม่สามารถควบคุมโดยวิธีทางเครื่องกลได้



รูปที่ 5.5 วงจรอย่างง่ายเพื่อใช้กับสเตรนเกจบนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

อีกหนึ่งวิธีที่ง่ายและปฏิบัติกันมากสำหรับการทำให้ผลกระทำของสปริงน้อยลง ทำโดยการถอดสปริงออกจากวงจรบริดจ์ และนำไปต่อกับอนุกรมกับมิเตอร์และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงไว้อย่างชัดเจน

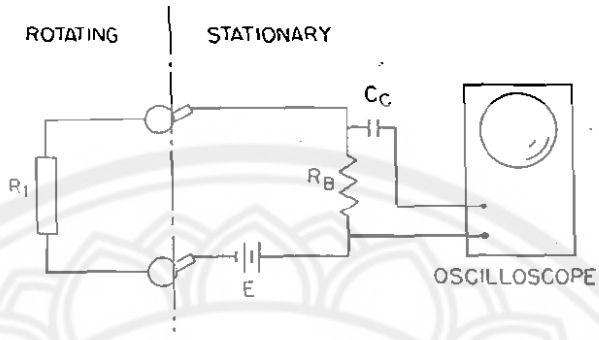


รูปที่ 5.6 วงจรที่มีการปรับปรุงเพื่อใช้กับสเตรนเกจบนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

ระบบนี้ต้องการสลิปริงเพิ่มจากรูปที่ 5.5 อีก 1 ตัว จากรูปที่ 5.6 นี้ การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของความต้านทานในบริเวณที่ติดต่อกับสลิปริงจะถือว่าเป็นผลกระทบเล็กๆน้อยๆในการอ่านค่าจากมิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่ไม่ได้ทำให้เกิดสมดุล

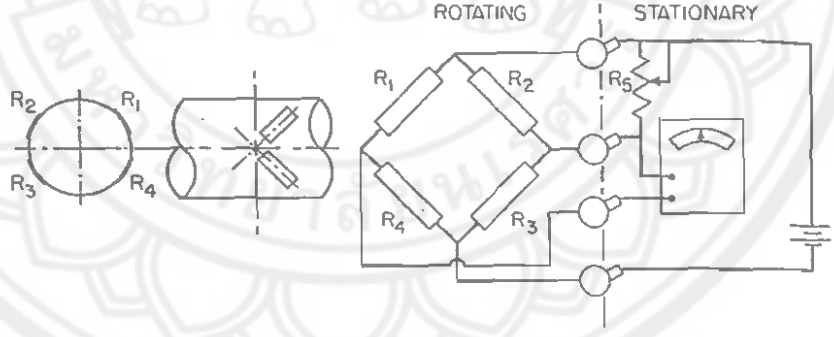
5.3 ความเครียดพลศาสตร์ (Dynamic Strain)

ในการวัดค่าความเค้นที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วบนวัตถุที่หมุนอยู่จะใช้วงจรpotentiometer ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.7



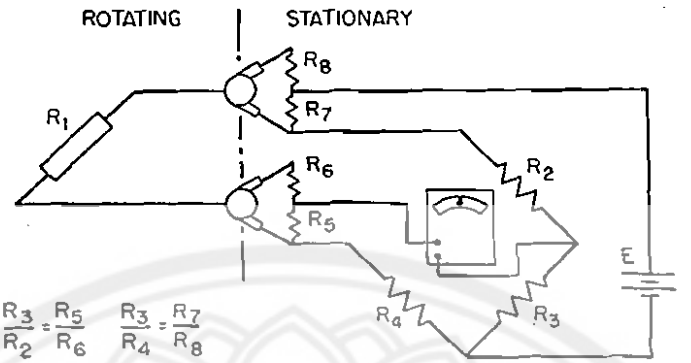
รูปที่ 5.7 Potentiometer-type slip-ring ใช้วัดค่า Dynamic strains บนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

วงจรนี้จะถูกนำมาต่ออนุกรมร่วมกับส่วนที่ติดต่อกับสลิปริงด้วยสเตรนเกจ เพราะเหตุนี้การวัดค่าความเครียดจึงไม่แน่นอนเมื่อต่อกับออสซิโลสโคป(Oscilloscope) จะพบสิ่งไม่พึงปรารถนา คือ สัญญาณรบกวน(noise) เมื่อวงจรนี้ถูกใช้จะต่อวงจรวีทสโตนบริดจ์ดังรูปที่ 5.8 กับสลิปริงภายนอก



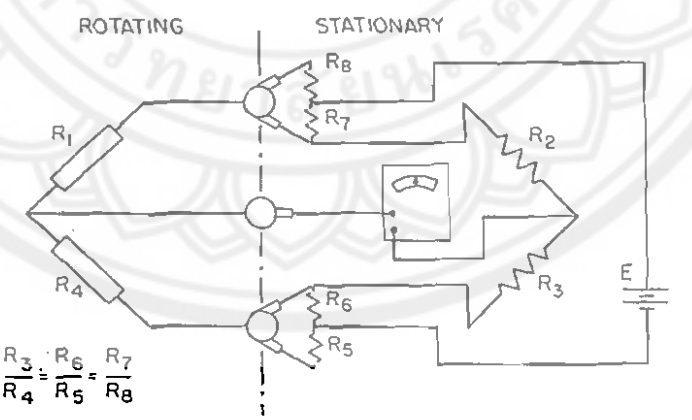
รูปที่ 5.8 การติดตั้งสเตรนเกจที่มีขา 4 ขา บนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

ถ้าในสถาณการณ์ที่สเตรนเกจหนึ่งตัวสามารถนำมาวางบนวัตถุหมุนสำหรับทุกๆวงจรวีสสโตนบริดจ์ ดังเช่นการวัดค่าสเตรนในใบพัดของกังหันได้แล้ววงจรในรูปที่ 5.9 จะถูกนำมาใช้



รูปที่ 5.9 วงจร NACA ใช้เมื่อมีสเตรนเกจเพียงตัวเดียวต่อกับวีสสโตนบริดจ์ ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ บนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

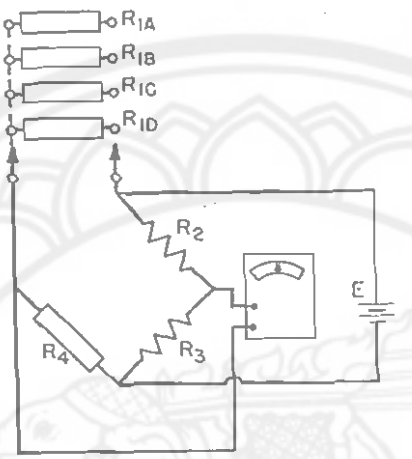
วงจรนี้จะถูกพัฒนาขึ้นมาโดย NACA (Courtesy of the Natoinal Advisory Committee for Aeronaution) ตัวต้านทาน R_5,R_6,R_7 และR_8 เป็นขาที่ต่อขึ้นมาช่วยในการลดค่าของผลกระทบที่จะเกิดกับรอยต่อของสลิปริงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ขนาดของความต้านทานสามารถหาได้จากอัตราส่วนของ $\frac{R3}{R2}=\frac{R5}{R4}$ และ $\frac{R3}{R4}=\frac{R7}{R8}$ ถ้าสามารถนำเกจ 2 ตัวต่อ1วงจรบริดจ์ มาวางบนชิ้นวัสดุทดสอบได้ ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 วงจร NACA ใช้เมื่อมีสเตรนเกจ 2 ตัวต่อกับ Wheatstone bridge ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ บนชิ้นส่วนที่มีการหมุน

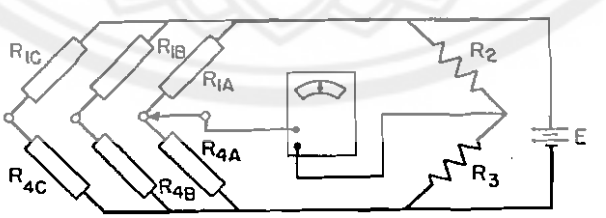
5.4 ความต้านทานของส่วนต่อสวิตช์

สิ่งที่มีผลต่อการทำงานของสลิปริงอีกประการหนึ่งคือ การแปรเปลี่ยนของความต้านทานของส่วนต่อสวิตช์ ปัญหาของสวิตช์นั้นง่ายกว่ากรณีของสลิปริงเพราะว่าไม่มีการเสียดสีกับวัตถุใด การใช้สวิตช์หลายๆตัวในการต่อวงจรขนานจะเห็นอยู่บ่อยๆสามารถแสดงดังวงจรในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 Multiple strain gage switching circuit ที่ใช้กับเกจที่มีการชดเชยอุณหภูมิโดยทั่วไปสำหรับเกจทั้งหมด

โดยการบัดกรีตะกั่วเข้ากับทุกๆเกจ อย่างไรก็ตามสวิตช์ไม่ควรจะต่ออนุกรมกับสเตรนเกจ วงจรที่แสดงในรูปที่ 5.12 นี้สำหรับสเตรนเกจหลายๆตัวที่นำมาติดตั้งเพื่อทำให้บรรลุผลตามเงื่อนไขดังกล่าวโดยการใช้การแยกเกจชดเชยสำหรับทุกๆเกจ และพบอีกว่าค่าความต้านทานที่แปรเปลี่ยนในสวิตช์นั้น จะลดลงไปได้มาก ถ้าใช้สวิตช์แบบ radio-type คุณภาพสูงในทุกๆวงจรของสเตรนเกจ



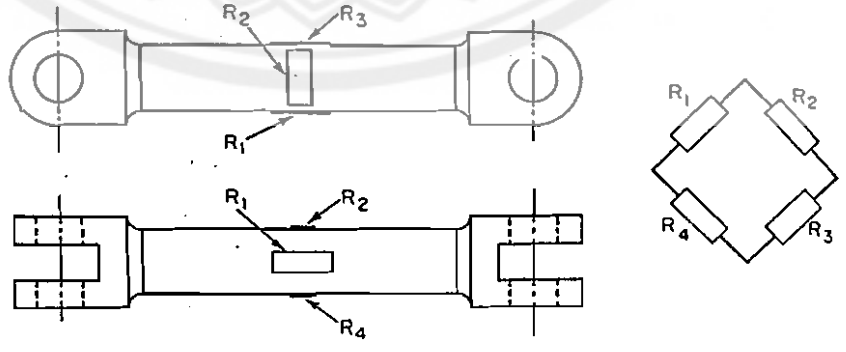
รูปที่ 5.12 Multiple strain gage switching circuit ที่ใช้กับเกจที่มีการชดเชยอุณหภูมิโดยทั่วไปสำหรับเกจบางตัว

5.5 การประยุกต์ใช้ทรานซดิวเซอร์ของสเตรนเกจ

สเตรนเกจชนิด bouded resistance นั้นถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการหาค่าของความเครียด ตัวอย่างการใช้สเตรนเกจในการวัด ภาระกระทำ ได้แก่ แรง แรงบิด ความดัน การกระจัด และอื่นๆ อุปกรณ์ต่างๆ สามารถเรียกได้ โดยรวมว่าทรานซดิวเซอร์(transducer) ตั้งแต่ค่าความเครียดได้ถูกวัดโดยสเตรนเกจ ทรานซดิวเซอร์ทุกตัวใช้สเตรนเกจในการสร้าง และสร้างขึ้นจากสเตรนเกจหลายๆตัว ดังเช่นการวัดค่าของความเครียดของแท่งตรงมีหน้าตัดสม่ำเสมอ เนื่องจากแรงตามแนวแกน ค่าของความเครียดนั้นหาได้จากอัตราส่วนของภาระกระทำค่าคงที่ของอัตราส่วนสามารถคำนวณได้ ถ้ารู้ค่าของโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าของพื้นที่หน้าตัด จะได้ค่าอัตราส่วนระหว่างภาระกระทำกับสเตรนเกจเป็นค่าคงที่และภาระกระทำไม่ควรทำให้ค่าของแท่งตรงเกินขีดจำกัด (proportional limit) เทคนิคพื้นฐานนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมากมายเหลือคณานับ ในวิธีที่แตกต่างกันออกไป เพื่อที่จะสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือใหม่ๆ สำหรับการศึกษา ปรากฏการณ์ทางกายภาพและทางกล ในขณะที่ชิ้นส่วนยืดหยุ่นช้างต้นถูกกระทำโดยแรงตามแนวแกน ก็สามารถใช้ทรานซดิวเซอร์ที่ใช้ในการหาแรงดัด แรงบิด และอื่นๆ ได้พร้อมๆกัน คุณสมบัติเฉพาะของวงจรวีทสโตนบริดจ์ที่ทำงานร่วมกับกฎของการกระจายความเค้นยืดหยุ่น สามารถทำให้เกิดวิธีในการวัดและการนำไปใช้ได้อีกหลายวิธี

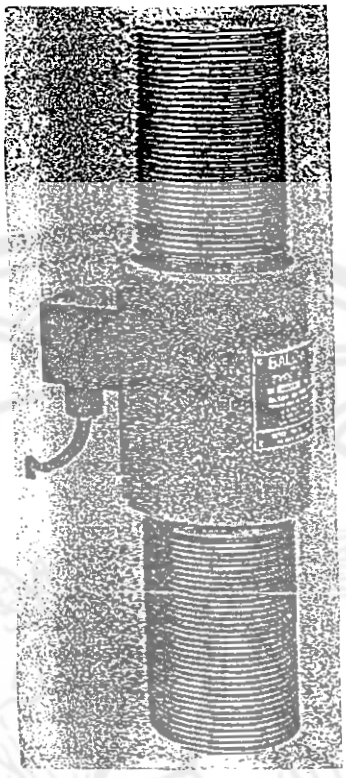
5.6 อุปกรณ์สำหรับการวัดแรงดึงและแรงอัด

ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดสำหรับการวัดแรงดึงคือ สเตรนเกจชนิดข้อต่อแรงดึง(tension link) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งข้อต่อนี้ทำจากห่วงกุญแจ ห่วงโซ่หรืออุปกรณ์ที่พ่วงต่อได้ทุกปลาย ซึ่งบรรจุสเตรนเกจไว้ 4 ตัวด้วยกัน จัดเรียงไว้ตามรูป เกจ R_1และR_3 วางอยู่ในลักษณะขนานกับแกนของข้อต่อ เกจ 2 ตัวนี้เป็นชิ้นส่วน primary sensing ส่วนเกจ R_2และR_4 จะถูกจัดวางอยู่ในส่วนของข้อต่อแรงดึง (tension link) ซึ่งมีเกจชดเชยอุณหภูมิอยู่ในตัวด้วย และทั้ง 4 ตัวนี้จะอยู่ตรงข้ามกันทุกผิวทุกด้านของข้อต่อและเพราะว่าเกจเหล่านี้จัดตัวในแบบของวีทสโตนบิดจ์ จะทำให้ไม่อยู่ในสมดุล



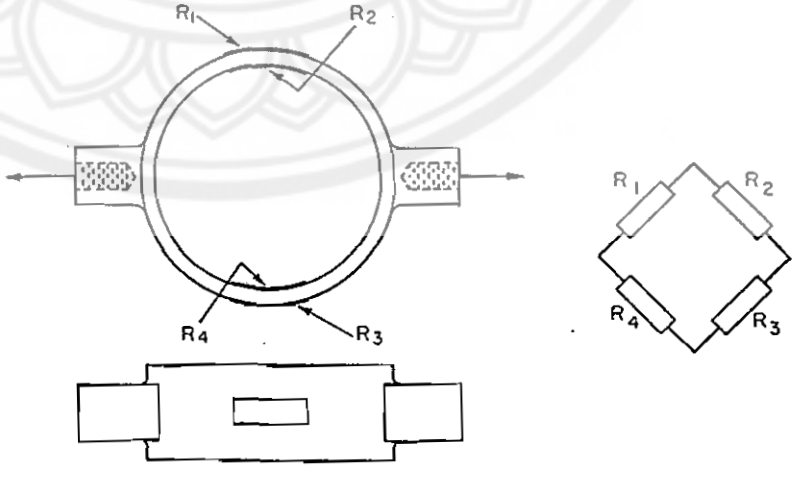
รูปที่ 5.13 แผนผังการเชื่อมจุดที่มีแรงดึงและการติดตั้งสเตรนเกจ

ข้อต่อแรงดึงควรจะปกป้องจากผลกระทบของความชันและปัจจัยทางธรรมชาติอื่นๆ รูปที่ 5.14 แสดง commercial strain gage tension link ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานคล้ายกับในรูปที่ 5.13



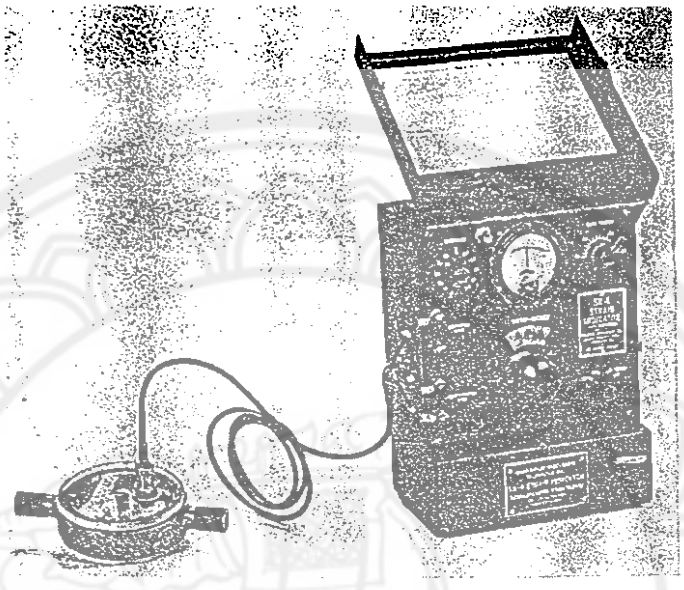
รูปที่ 5.14 Commercial strain gage tension link

ข้อต่อแรงดึงแบบอื่นๆ แสดงให้ดูในรูปที่ 5.15 เมื่อทำการดัดบริเวณใกล้ๆกับสเตรนเกจพบว่า ภายใต้แรงดึง เกจ R_1 และ R_3 จะมีความเครียดแบบอัด ในขณะที่ R_2 และ R_4 จะมีความเครียดแบบดึง

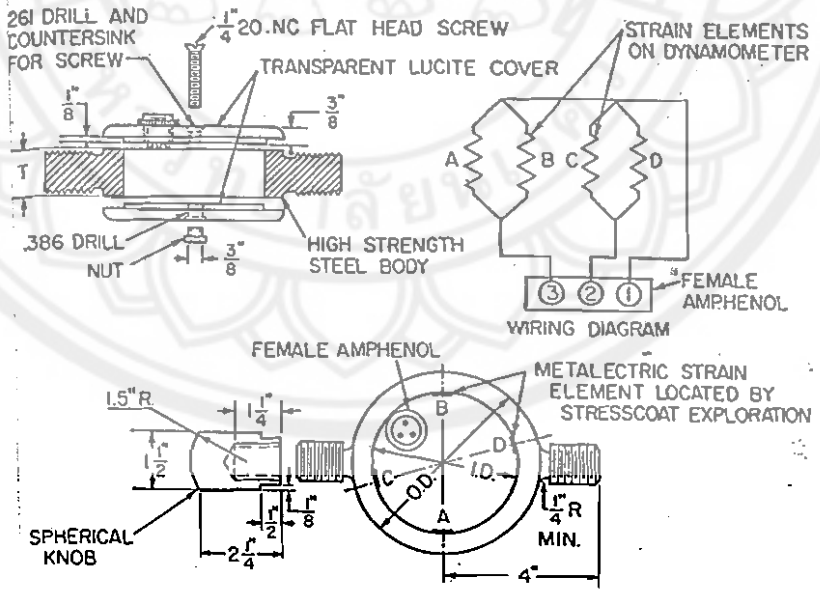


รูปที่ 5.15 Ring-type tension link

รูปที่ 5.16 เป็นตัวอย่างของ ring-dynameter ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย David Taylor Model Basin รายละเอียดในการออกแบบและส่วนประกอบของวัสดุข้อต่อแสดงในรูปที่ 5.17 ส่วนในรูปที่ 5.18 เป็นรูปของ Modify ring construction and strain gage placement for universal load cell

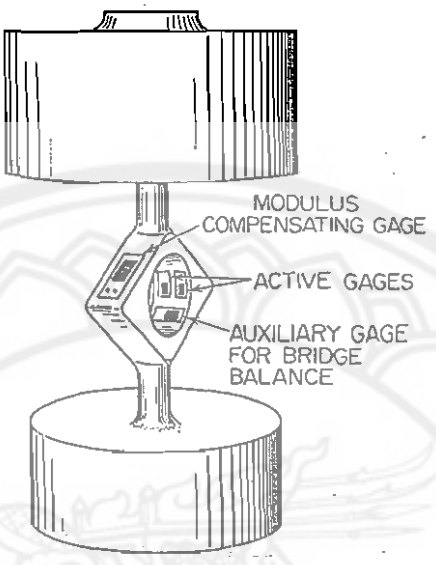


รูปที่ 5.16 ลักษณะของ DTMB (David Taylor Model Basin)



TMB DRAWING NO.	MAX LOAD	DIMENSION OF BODY			METALECTRIC STRAIN ELEMENT		SHANK THREAD SIZE
		I.D	O.D	T.	TYPE	RESISTANCE	
	KIPS	INCHES	INCHES	INCHES		OHMS	
S-3140	10	3.9	5	1.25	A-5	120	1-14 NF
S-5611	20	3.25	5	1.375	A-5	120	1-14 NF
S-3145	50	3.75	5.75	2.25	A-5	120	1½-18 NEF

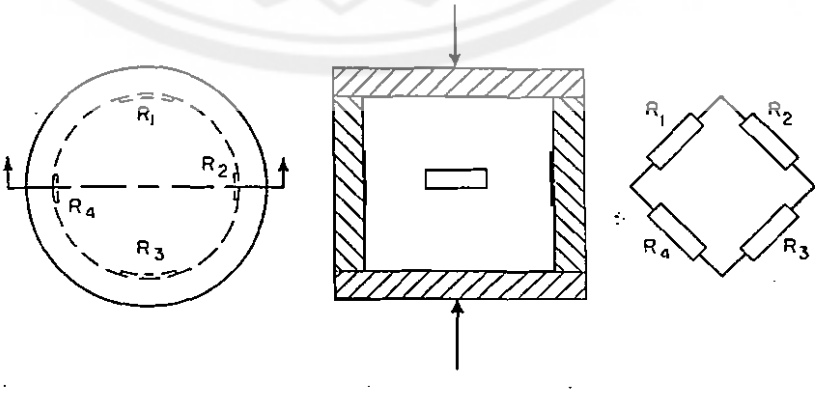
รูปที่ 5.17 การประกอบและข้อกำหนดของ DTMB



รูปที่ 5.18 Modified ring construction and strian gage placement for universal load

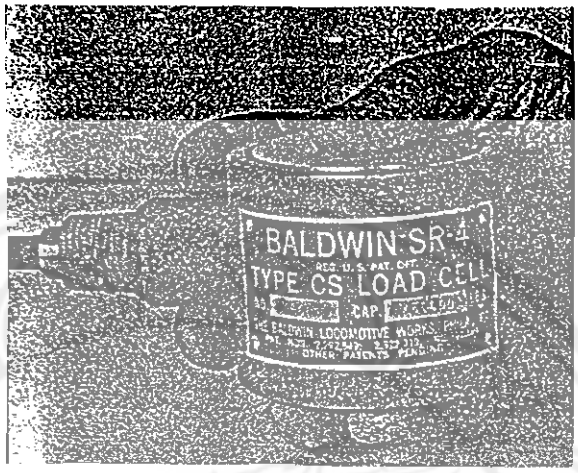
5.7 องค์อาคารรับแรงอัด (Compressive load member)

หลักการพื้นฐานของการใช้อุปกรณ์สำหรับการวัดแรงอัดก็คล้ายกับการวัดแรงดึง หลักปฏิบัติทั่วๆไปคือ การเลือกเสาที่มีอัตราส่วน l/r น้อยๆ เมื่อปราศจากปัญหาการbucking รูปที่ 5.19 เป็นตัวอย่างง่ายๆ ของ compression-force-measuring unit หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ "load cell" จากรูปตัวอย่างเป็น load cell จำเพาะซึ่งสร้างมาจากการใช้สเตรนเกจ 4 ตัว ฝังไว้ในผนังของหลอด หลังจากนั้นก็ปิดปลายทั้งสองแล้วนำลวดตะกั่วออกมาเพื่อการบันทึกหรือแสดงผล



รูปที่ 5.19 Compression-force-measuring unit, or load cell

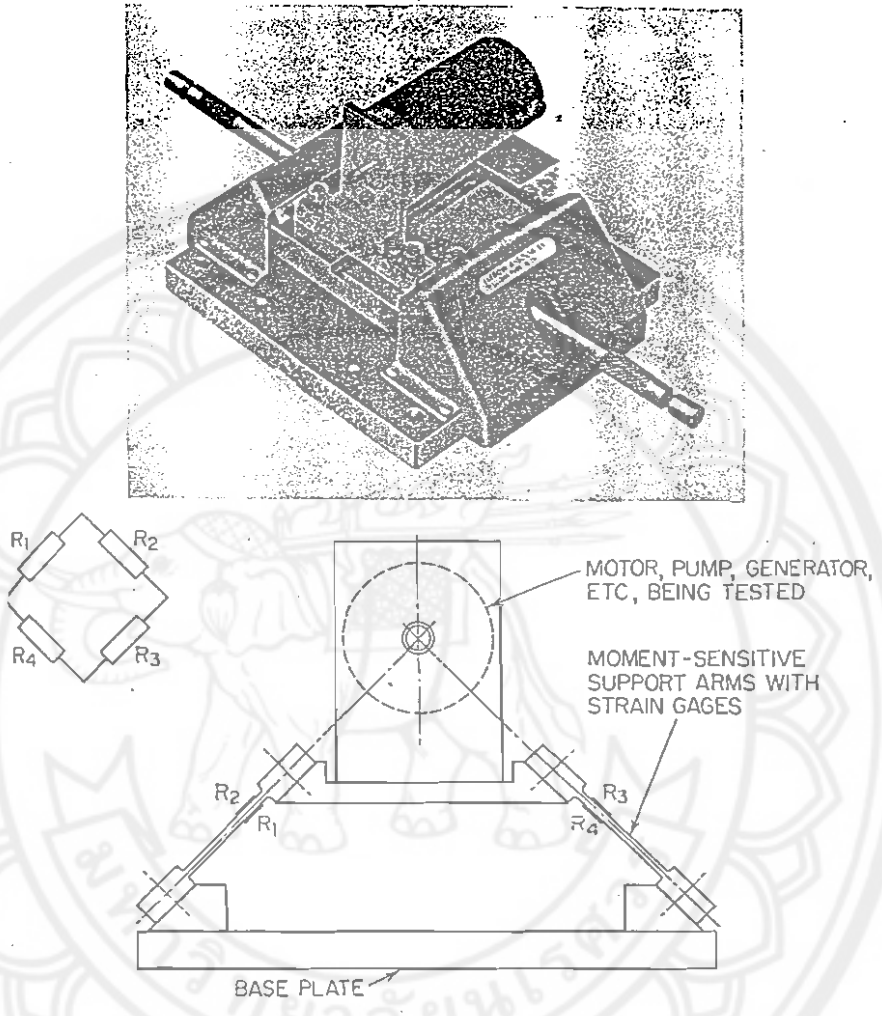
รูปที่ 5.20 แสดง A commercial strain gage load cell ซึ่งมีช่วงของความสามารถจาก 500 ปอนด์ถึง 20000 ปอนด์



รูปที่ 5.20 Commercial strain gage load cell

5.8 สเตรนเกจทอร์กมิเตอร์ (strain gage torque meters)

ในการใช้เทคนิคสำหรับประยุกต์เพื่อวัดสเรนเกจทอร์กมิเตอร์สามารถนำมาสร้างได้หลายรูปแบบ หนึ่งในนั้นคือรูปแบบที่นำมาใช้กับ load beam การตอบสนองของทอร์กซึ่งการวัดการตอบสนองของทอร์กจะได้เปรียบกว่าการใช้สลิปริงและจะไม่มีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนด้วย แต่เนื่องจากการทำทดสอบจะต้องเกิดการแกว่งจะทำให้ค่าที่ได้ไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง ในรูปที่ 5.21 เป็นตัวอย่างของ "torque table" ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lebow Associates เพื่อที่จะเอาชนะปัญหาของสลิปริง torque table บรรจุด้วยแผ่นรองรับเพื่อรองรับชิ้นส่วนทดสอบด้วยแขนเอียง 4 แกนของ torque table จะตัดกับแกนของการหมุน สเตรนเกจบนแขนทั้ง4 จะต่อกันดังรูป ในขณะที่ผลกระทบของแรงในแนวดิ่ง ซึ่งรวมน้ำหนักของเครื่องมือด้วยนั้นจะไม่นำมาคิด อุปกรณ์นี้ไม่จำกัดความเร็วของการหมุนในการทดสอบ และจะไม่มีแรงเสียดทาน เกจทั้ง 4 ตัวจะถูกติดไว้ในแนว 45 องศา บนเพลา

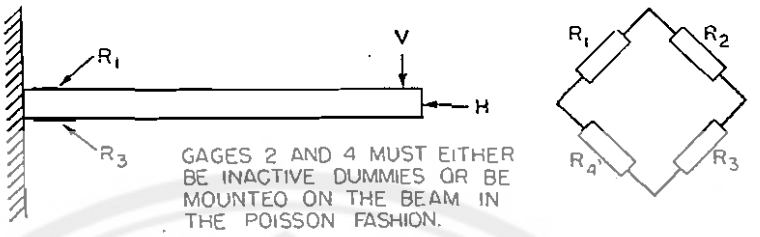


รูปที่ 5.21 Lebow "torque table" Transducer ใช้วัดแรงปฏิกิริยาของแรงบิดเพื่อขจัดแรงแบกทานและแรงเสียดทานที่มาจาก Slip-ring

5.9 การแยกแรงและโมเมนต์ด้วยสเตรนเกจ

จากรูปที่ 5.22 แสดงโครงสร้างที่มีแรงกระทำในแนวดิ่งและแนวราบ แต่สเตรนเกจที่ใช้วัดมีองค์ประกอบอยู่ในแนวราบเพียงแนวเดียว จากรูปนั้น แสดงให้เห็นสเตรนเกจ R_1และR_3 อยู่ด้านบนและด้าล่างของชิ้นส่วนตามลำดับ และอยู่ในจุดที่ต่อกันเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ ซึ่งการจัดเรียงสเตรนเกจแบบนี้จะทำให้เอาท์พุททางไฟฟ้า (electical output) ของเกจนั้นเพิ่มขึ้น ถ้าชิ้นส่วนรับ

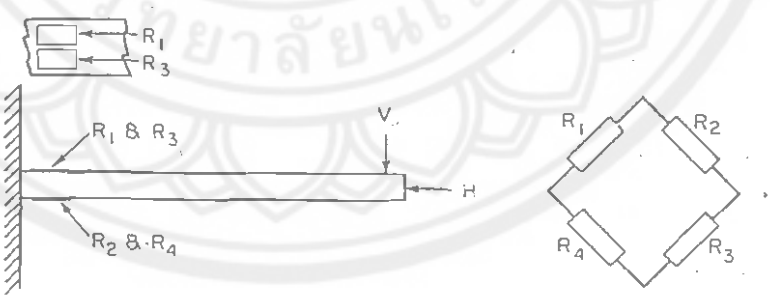
โมเมนต์ดัด เอาท์พุททางไฟฟ้าของเกจจะถือว่าไม่มี เพราะว่าเครื่องหมายของความเครียดนั้นแตกต่างกัน เกจR2และR4 ต้องใช้เป็น inactive dummy บนชิ้นส่วน separate unstrained ของโลหะ



รูปที่ 5.22 คานยื่นที่ติดตั้งสเตรนเกจเพื่อรับแรงในแนวราบและแรงในทิศทางตั้งฉาก

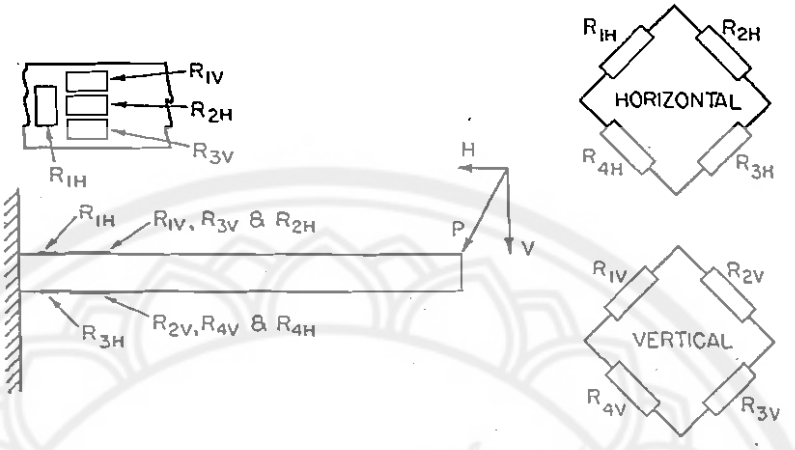
กรณีที่ตรงกันข้ามกันสามารถแสดงโดยโครงสร้างที่มีภาระกระทำแนวดิ่งแนวเดียว แสดงดังรูปที่ 5.23 โดยการคิดสเตรนเกจทั้ง 4 ตัวที่ปลายด้านยึดของชิ้นส่วน เกจ R_1 และR_3 จะทำให้ค่าความเครียดในขนาดเดียวกันแต่เครื่องหมายตรงข้าม บริดจ์เอาท์พุทที่ได้เป็นสัดส่วนกับภาระกระทำแนวดิ่ง ส่วนเอาท์พุทของเกจ R_2และR_4 ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้าม (แต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกับ R_1และR_3)นั้นจะทำให้บริดจ์เอาท์พุทของเกจ R_1และR_3 เพิ่มขึ้น

ถ้าภาระกระทำแนวระดับมากระทำกับชิ้นส่วน เกจ R_1,R_3,R_3 และR_4 จะมีขนาดของความเครียดเท่ากันและเครื่องหมายเดียวกัน และในภายหน้าบางที่อาจมีความต้องการที่จะวัดทั้งสองแบบพร้อมกัน และภาระกระทำในแนวดิ่งและแนวราบบนชิ้นส่วนออกจากกัน ด้วยเหตุนี้สามารถทำได้โดยการรวมรูปข้างต้นทั้งสอง เข้าด้วยกันจะได้รูปใหม่คือ รูปที่ 5.24



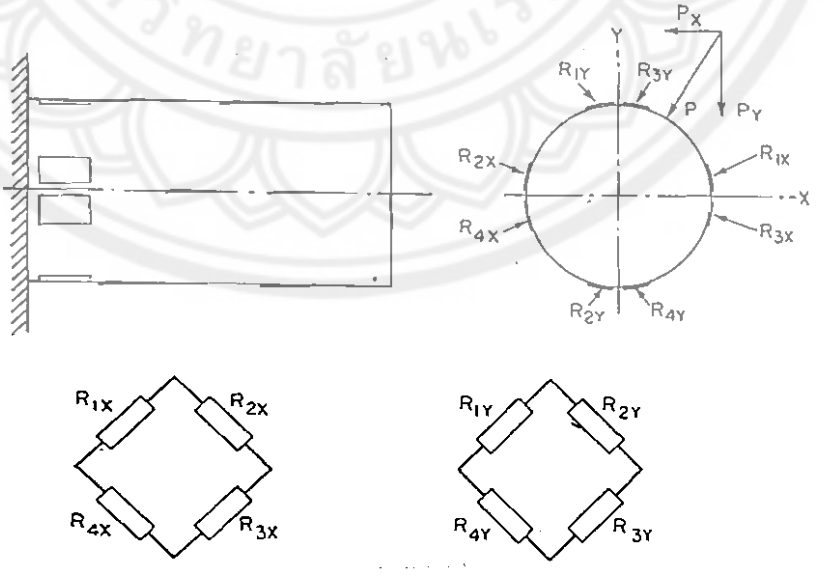
รูปที่ 5.23 คานยื่นที่ติดตั้งสเตรนเกจเพื่อรับแรงในแนวราบและแรงในทิศทางตั้งฉาก

สเตรนเกจ R_{1v},R_{3v},R_{3v}และR_{4v} จะถูกจัดบนชิ้นส่วนและในวีทสโตนบริดจ์ เหมือนกับรูปที่ 5.23 เกจ R_{2h}และR_{4h} จะถูกจัดให้เหมือนดังรูปที่ 5.22 ในกรณีนี้ การชดเชยผลของอุณหภูมิจะถูกใส่ไว้ในเกจ R_{1h} และR_{3h} ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.24



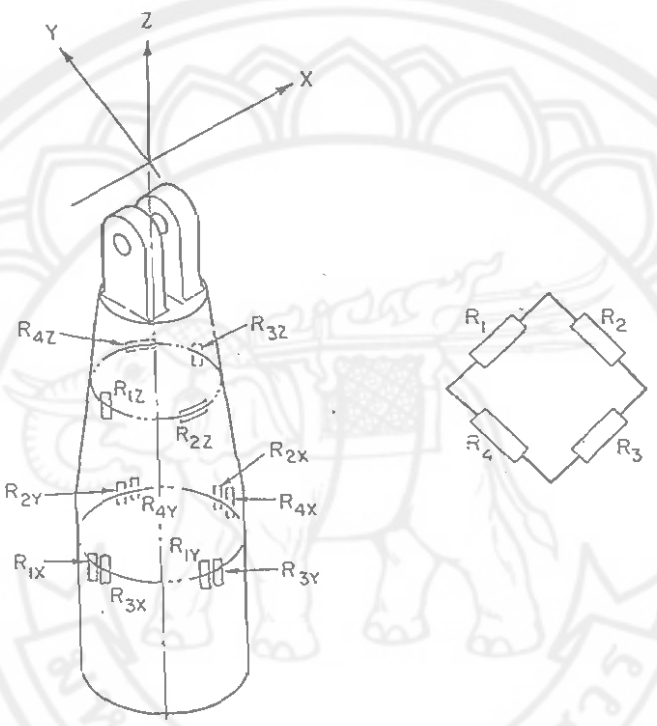
รูปที่ 5.24 คานยื่นที่ติดตั้งสเตรนเกจเพื่อรับแรงในแนวราบและแรงในทิศทางตั้งฉาก

เทคนิคอื่นๆสำหรับการวัดแรง 2 แนวของการกระทำนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5.25 อุปกรณ์นี้เป็นคานยื่นแบบทรงกระบอก ที่ปลายมีภาระกระทำไม่ทราบค่ามากระทำ มีสเตรนเกจ 4 ตัว R_{1y},R_{2y},R_{3y}และR_{4y} ถูกจัดไว้บนผิวทรงกระบอก จะใช้วัดค่าความเครียดที่ถูกสร้างโดยภาระกระทำในทิศทางแกน y ส่วนเกจ R_{1x},R_{2x} ,R_{3x}และR_{4x} จะสร้างสัดส่วนเอาท์พุทให้กับองค์ประกอบของภาระกระทำในแกน x และจะไม่สนองกับภาระอื่นๆ ระบบนี้ถูกใช้อีกครั้งเพื่อแยกวงจรวีทสโตนบริดจ์ 2 วงจร



รูปที่ 5.25 วิธีการในการระบุค่า x และ y ที่ประกอบด้วยแรงไม่ทราบค่า P กับสเตรนเกจที่ติดตั้งบนคานยื่นหน้าตัดวงกลม

ในรูปที่ 5.26 แสดงการใช้หลักการณ์โดย Anderson-Fluke Engineering Company เพื่อที่จะวัดแรงที่กระทำพร้อมกัน 3 องค์ประกอบบนเสาของเครื่องบิน ในเทคนิคแบบเดียวกันนี้ได้ถูกใช้โดย Cornell University ในการพัฒนาระบบ string-type balance สำหรับอุโมงค์ลมซูเปอร์โซนิค (supersonic wind tunnel)



รูปที่ 5.26 ชิ้นส่วนที่รับแรงทั้ง 3 แกน ต้องใช้สเตรนเกจ 12 ตัว และ Wheatstone bridges 3 ตัว