สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงการวิจัย

เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

FLUIDIZE BED FURNACE

หัวหน้าโครงการ ดร.อนิรุทธ ไชยจารุวาณิช

ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TH
7140
อ199ค

เลขหมู่.........
เลขทะเบียน 84519
วัน,เดือน,ปี 13 ต.ค. 255

b 11995496
i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสรุป

โครงการวิจัย
เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด
FLUIDIZE BED FURNACE

หัวหน้าโครงการ ดร.อนิรุท ไชยจารุวาณิช

ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ผู้รับผิดชอบโครงการ ดร.อนิรุท ไชยจารุวาณิช

วัตถุประสงค์โครงงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด
2) ศึกษาการนำคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเม็ดเล็กมาใช้ในกระบวนการอบชิ้นงานโลหะก่อนการชุบแข็ง
3) นำอุปกรณ์ควบคุมทางอิเล็คทรอนิคส์มาควบคุมการทำงานของเตาอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถใช้เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการเรียนการสอนและใช้ในการทดลองทางด้านความร้อนของโลหะ
2) สามารถนำเตาอบมาใช้ในกระบวนการอบชิ้นงานแบบต่อเนื่องได้
3) ได้แนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงเตาอบชิ้นงานโลหะให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมต่อไป

หลักการทำงานของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นเตาอบที่ใช้กำลังทางไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดความร้อนโดยผ่านขดลวดความต้านทานภายในบรรจุเม็ดของแข็งขนาดเล็กไว้จำนวนหนึ่ง (ในโครงงานนี้ใช้เม็ดทราย) รองรับด้วยแผ่นตะแกรง ในขณะทำงานจะมีการเป่าให้อากาศร้อนไหลผ่านจากด้านล่างของเตาผ่านชั้นของเม็ดของแข็ง เพื่อให้เม็ดของแข็งลอยตัวขึ้นเรียกว่าการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่น และด้านคุณสมบัติการเก็บความร้อนของเม็ดของแข็งรวมกับคุณสมบัติการพาความร้อนของอากาศร้อนที่ไหลอย่างต่อเนื่องกับเม็ดของแข็งที่ลอยตัวอยู่ภายในเตาอบตลอดเวลาการใช้งานจะมีผลทำให้มีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอภายในเตาอบ ส่วนอากาศร้อนเมื่อไหลผ่านขึ้นสู่ด้านบนของเตาอบแล้วบางส่วนก็จะถูกดูดกลับลงมาสู่ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเตาแล้วปล่อยให้ไหลวนเข้าไปภายในเตาอบต่อไปและบางส่วนก็จะถูกปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศ ซึ่งการทำงานจะถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอิเล็คทรอนิกส์เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบให้ดียิ่งขึ้น

คุณสมบัติของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ได้จากโครงงานวิจัย

1) เป็นเตาอบที่สร้างความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า
2) ใช้กระบวนการการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชั่นของเม็ดของแข็งช่วยในการพาและกระจายความร้อน
3) สามารถนำมาใช้อบชิ้นงานโลหะ ณ อุณหภูมิที่ต้องการก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการชุบแข็ง
4) อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถสร้างได้ประมาณ 850 องศาเซลเซียส

การวางแผนการดำเนินงาน

ในการดำเนินการสร้างเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด จะแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ และส่วนที่เป็นชุดวงจรควบคุมการทำงาน โดยมีการวางแผนการทำงานเป็นขั้นๆ ดังต่อไปนี้

1) ออกแบบส่วนต่างๆของเตาอบบนพื้นฐานของทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2) ดำเนินการกำหนดคุณสมบัติและคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่เหมาะสมต่อการสร้างเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด
3) ทำการจัดสร้างตัวเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดจนแล้วเสร็จ
4) ทำการประกอบชุดวงจรอิเล็คทรอนิกส์เพื่อใช้ควบคุมการทำงานเข้ากับตัวเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด
5) ทำการทดสอบการทำงานของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้
6) ปรับปรุงบางส่วนของเตาอบและชุดวงจรควบคุมเพื่อให้เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ

กระบวนการการจัดสร้างเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

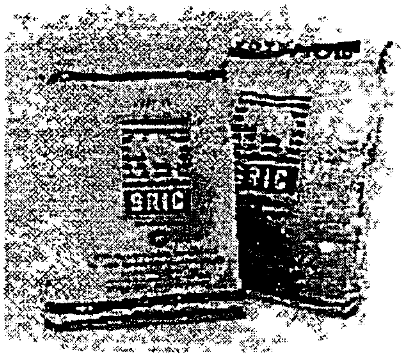
<u>ส่วนที่ 1 วัสดุที่นำมาใช้</u>

1. คอนกรีตทนไฟ CAST 13

คุณสมบัติ

- อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 1,300 องศาเซลเซียส
- ทนการเสียดสีจากของแข็งและของไหลได้ดี
- รับน้ำหนักได้ดี
- ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่อุณหภูมิสูง

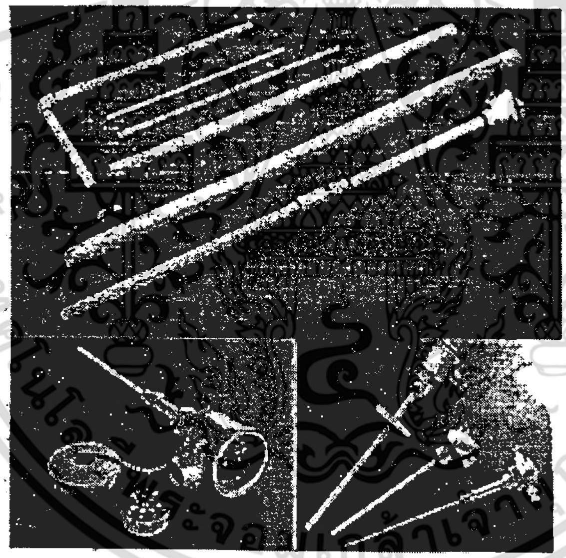
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 คอนกรีตทนไฟ CAST 13

2. เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลมีหลากหลากรูปแบบทั้งชนิด J, K, T, E, N, R และ S ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่ออุณหภูมิการใช้งานต่างกัน ในโครงงานวิจัยนี้เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -270 ถึง 1,372 องศาเซลเซียส และมีหลอดป้องกันแบบเซรามิคทนความร้อนได้ถึง 1,600 องศาเซลเซียส

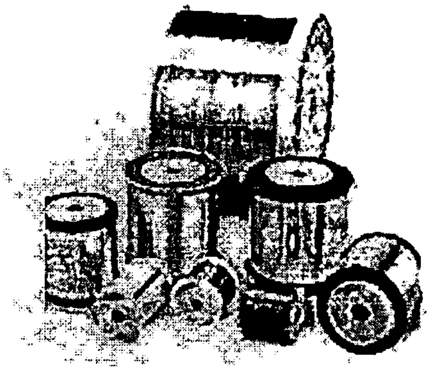


รูปที่ 2 เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

3. ลวดฮีตเตอร์

เป็นโลหะผสมของ Kanthal และ Nikrothal มีความแข็งแรงและความเหนียวสูงมาก นำมาใช้ในการขดให้เป็นขดลวดความร้อนภายในตัวเตาอบ โดยมีข้อควรระวังในการใช้งานคือห้ามให้สัมผัสกับวัสดุพวก Non-ferrous

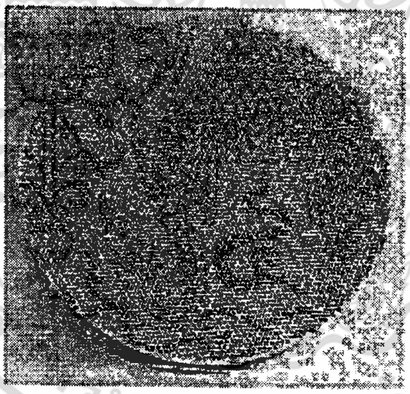
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ลวดฮีตเตอร์

4. แผ่นกระจายของไหล

เป็นแบบแผ่นอัด (Sintered plate) ทำจากเซรามิค เป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์ 170 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร รูพรุนทั่วทั้งหน้าตัดมีขนาด 1.3 มิลลิเมตร ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 1,300 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่รองรับเม็ดของแข็งที่บรรจุไว้ภายในห้องอบไม่ให้ร่วงลงสู่ด้านล่าง และใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยกระจายลมอากาศร้อนที่ถูกเป่าขึ้นมาจากด้านล่างห้องอบให้ลมอากาศร้อนไหลเข้าสู่ห้องอบด้วยอัตราเร็วที่เท่ากันตลอดหน้าตัด

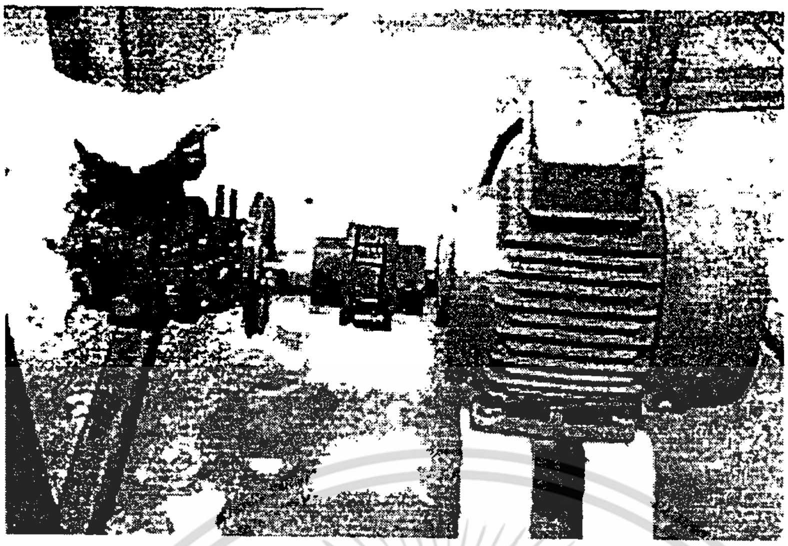


รูปที่ 4 แผ่นกระจายของไหล

5. โบลเวอร์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้อนลมอากาศเข้าสู่ห้องอบ ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า และใบพัดลมทำงานได้ทั้ง 2 ทาง คือ ใช้ดูดหรือเป่า ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 โบลเวอร์

6. เซรามิคไฟเบอร์ (ฉนวนความร้อน)

เป็นเซรามิคไฟเบอร์ชนิด ST BLOWN มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายแผ่นสักหลาด สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1,260 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 96 ถึง 128 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีขนาด 25 x 600 x 7,200 มิลลิเมตร มีสีขาว มีสภาพการนำความร้อน เท่ากับ 0.1 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส, 0.22 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ 0.27 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส

7. มานอมิเตอร์

ใช้วัดความแตกต่างของความดันภายในท่อระหว่างจุด 2 จุด มีลักษณะเป็นแท่งแก้วหรือพลาสติกโค้งงอก็ได้ ปลายข้างหนึ่งจะเสียบอยู่ที่ด้านล่างของแผ่นกระจายและปลายอีกข้างเสียบอยู่บนผิวด้านบนของเม็ดของแข็ง

8. โครงเตา

ใช้เหล็กท่อ APL 5L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ในการขึ้นรูป และใช้เหล็กแผ่นลายตีนเป็ดหนา 6 มิลลิเมตร ขนาด 1.2 x 2.4 เมตร ในการปิดผิว

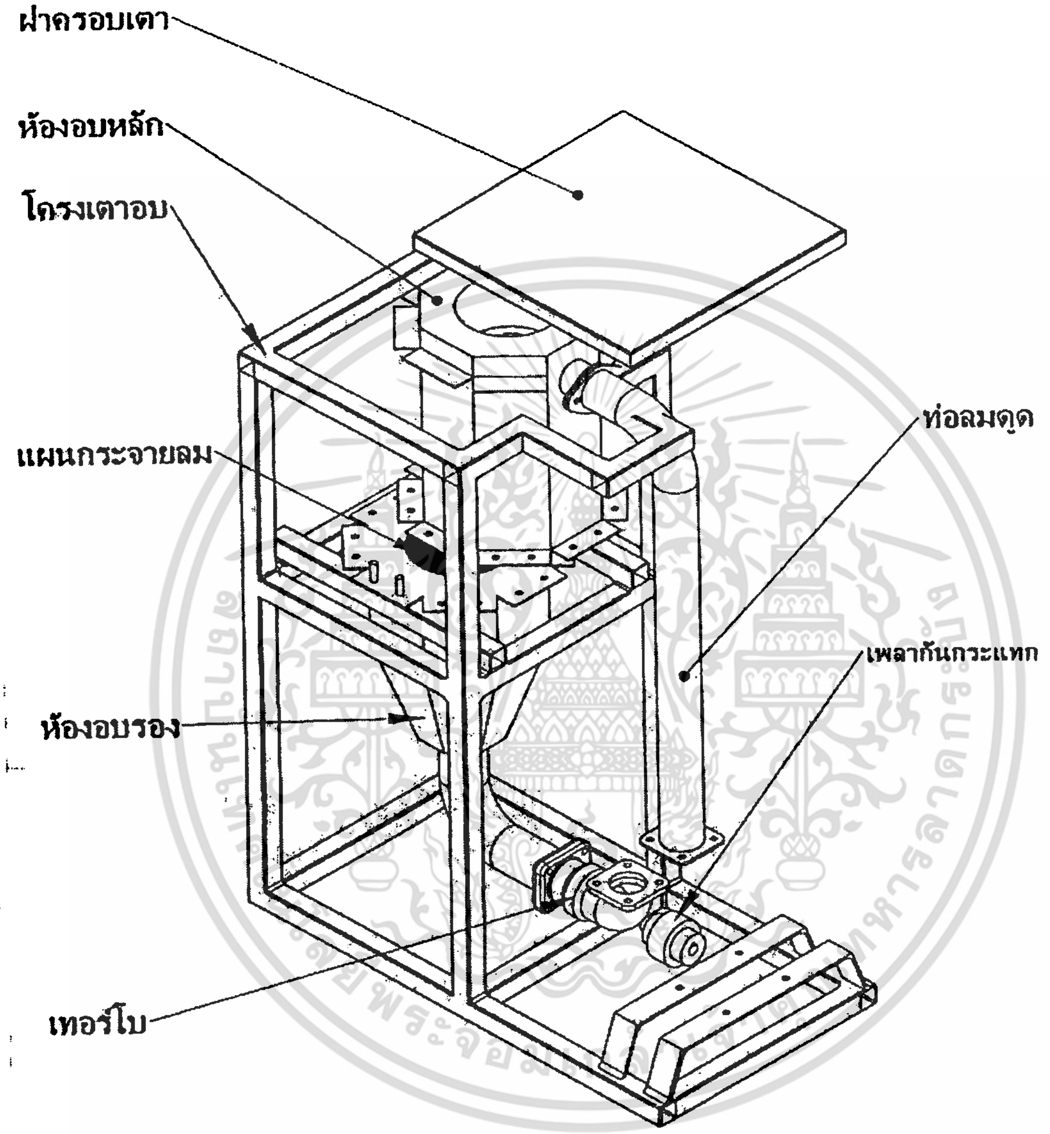
9. เม็ดของแข็ง ในที่นี้ใช้ทราย

10. ชุดวงจรควบคุมการทำงานและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 ส่วนต่างๆของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

1. ส่วนประกอบหลักต่างๆ จะเป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 6

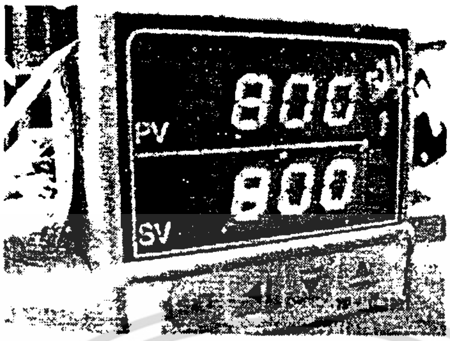


รูปที่ 6 ส่วนประกอบหลักของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

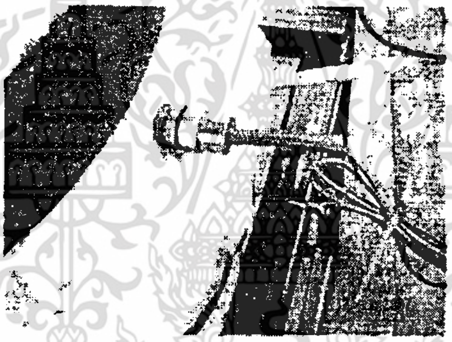
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชุดวงจรควบคุม

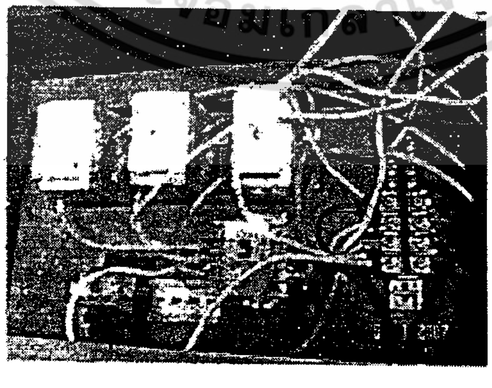
ประกอบด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล และชุดแมคเนติกคอนแทกเตอร์ ดังรูปที่ 7 – 9 ซึ่งจะนำมาประกอบขึ้นเป็นวงจรดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 7 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ



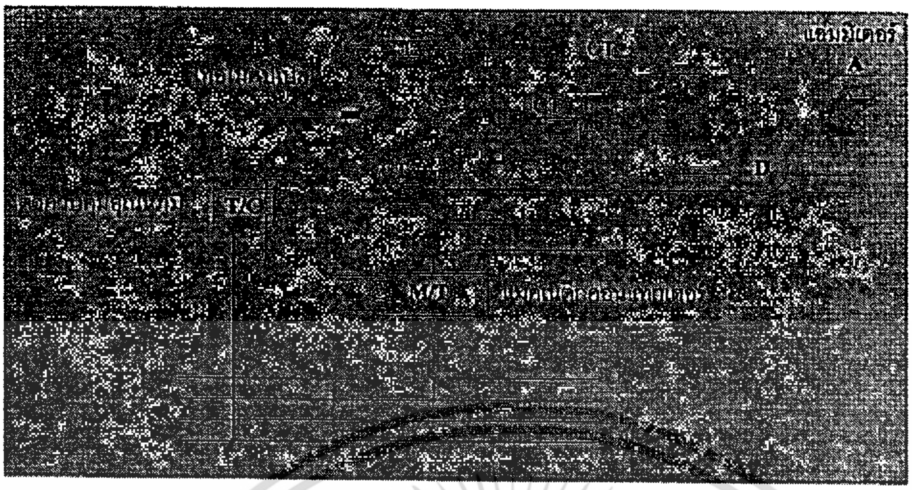
รูปที่ 8 เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 9 ชุดแมคเนติกคอนแทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 10 วงจรควบคุมการทำงาน

<u>ส่วนที่ 3 เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว</u>

เตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะมีขนาดกว้าง 48 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร โดยชุดตู้ควบคุมจะมีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร และหนา 18 เซนติเมตร

รูปที่ 11 เตาอบฟลูอิดไดซ์เบดพร้อมตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

84519

ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 1)

เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	27	217	54	402	81	587	108	769
1	44	28	223	55	409	82	594	109	776
2	50	29	230	56	416	83	601	110	783
3	57	30	244	57	423	84	608	111	790
4	63	31	251	58	429	85	614	112	797
5	70	32	258	59	436	86	621	113	802
6	77	33	265	60	443	87	628	114	810
7	85	34	272	61	450	88	635	115	817
8	91	35	279	62	457	89	642	116	823
9	98	36	283	63	464	90	649	117	831
10	105	37	289	64	471	91	656	118	838
11	114	38	296	65	477	92	662	119	845
12	118	39	303	66	484	93	669	120	852
13	124	40	308	67	491	94	676	121	847
14	132	41	315	68	498	95	682	122	843
15	137	42	322	69	505	96	689	123	839
16	144	43	329	70	512	97	696	124	832
17	150	44	335	71	518	98	702	125	827
18	157	45	342	72	525	99	709	126	824
19	163	46	347	73	532	100	716	127	820
20	170	47	354	74	539	101	723	128	815
21	178	48	361	75	546	102	730	129	808
22	185	49	368	76	553	103	737	130	802
23	191	50	375	77	560	104	743	131	800
24	198	51	381	78	566	105	748	132	798
25	204	52	389	79	573	106	755	133	801
26	209	53	395	80	580	107	762		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 2)

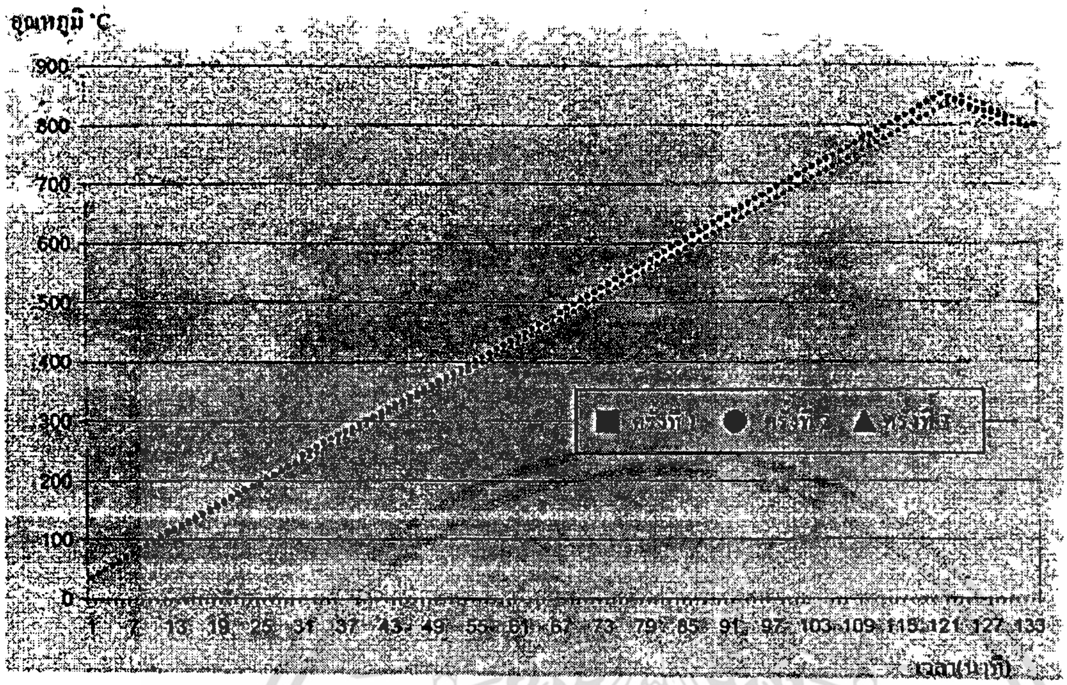
เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	27	219	54	403	81	586	108	769
1	43	28	226	55	409	82	592	109	775
2	49	29	231	56	416	83	599	110	782
3	56	30	241	57	423	84	606	111	789
4	65	31	252	58	430	85	613	112	796
5	70	32	258	59	437	86	620	113	802
6	78	33	267	60	443	87	626	114	809
7	85	34	272	61	450	88	633	115	816
8	92	35	276	62	457	89	640	116	823
9	98	36	282	63	464	90	647	117	830
10	107	37	287	64	470	91	653	118	836
11	113	38	296	65	477	92	660	119	843
12	119	39	301	66	484	93	667	120	850
13	125	40	306	67	491	94	674	121	844
14	132	41	312	68	498	95	681	122	839
15	139	42	319	69	504	96	687	123	833
16	146	43	325	70	511	97	694	124	825
17	153	44	334	71	518	98	701	125	821
18	160	45	341	72	525	99	708	126	813
19	167	46	347	73	531	100	714	127	809
20	173	47	355	74	538	101	721	128	801
21	179	48	362	75	545	102	728	129	800
22	186	49	369	76	552	103	735	130	802
23	193	50	375	77	559	104	741	131	801
24	199	51	382	78	565	105	748	132	800
25	205	52	389	79	572	106	755	133	800
26	212	53	396	80	579	107	762		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 3)

เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	27	218	54	394	81	573	108	751
1	44	28	223	55	400	82	579	109	758
2	50	29	229	56	407	83	586	110	764
3	57	30	235	57	414	84	592	111	771
4	62	31	242	58	420	85	599	112	778
5	72	32	249	59	427	86	606	113	784
6	78	33	255	60	434	87	612	114	791
7	85	34	262	61	440	88	619	115	798
8	91	35	268	62	447	89	625	116	804
9	96	36	275	63	453	90	632	117	811
10	104	37	282	64	460	91	639	118	817
11	110	38	288	65	467	92	645	119	824
12	116	39	295	66	473	93	652	120	831
13	121	40	302	67	480	94	659	121	837
14	128	41	308	68	487	95	665	122	844
15	134	42	315	69	493	96	672	123	850
16	141	43	322	70	500	97	678	124	845
17	148	44	328	71	506	98	685	125	841
18	156	45	334	72	513	99	692	126	836
19	163	46	342	73	520	100	698	127	828
20	169	47	348	74	526	101	705	128	824
21	178	48	354	75	533	102	712	129	818
22	184	49	361	76	539	103	718	130	814
23	189	50	369	77	546	104	725	131	808
24	196	51	374	78	553	105	731	132	802
25	203	52	381	79	559	106	738	133	800
26	210	53	387	80	566	107	745		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 1)

เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	29	227	58	416	87	605	116	796
1	43	30	233	59	422	88	611	117	803
2	50	31	240	60	429	89	618	118	809
3	57	32	246	61	436	90	625	119	816
4	63	33	253	62	442	91	631	120	822
5	68	34	260	63	449	92	638	121	829
6	75	35	266	64	455	93	644	122	835
7	81	36	273	65	463	94	651	123	842
8	86	37	280	66	469	95	657	124	849
9	94	38	287	67	476	96	664	125	856
10	102	39	293	68	481	97	670	126	863
11	109	40	300	69	488	98	677	127	869
12	116	41	305	70	495	99	684	128	876
13	123	42	312	71	501	100	690	129	882
14	128	43	319	72	508	101	697	130	889
15	134	44	325	73	514	102	703	131	895
16	141	45	332	74	521	103	710	132	902
17	147	46	338	75	527	104	718	133	900
18	154	47	345	76	533	105	725	134	895
19	160	48	350	77	539	106	731	135	889
20	167	49	357	78	546	107	738	136	883
21	173	50	363	79	553	108	745	137	879
22	180	51	370	80	559	109	751	138	873
23	186	52	377	81	566	110	758	139	870
24	193	53	383	82	572	111	764	140	864
25	201	54	390	83	579	112	771	141	858
26	207	55	396	84	585	113	777	142	854
27	214	56	403	85	592	114	783	143	850
28	220	57	409	86	598	115	789		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 2)

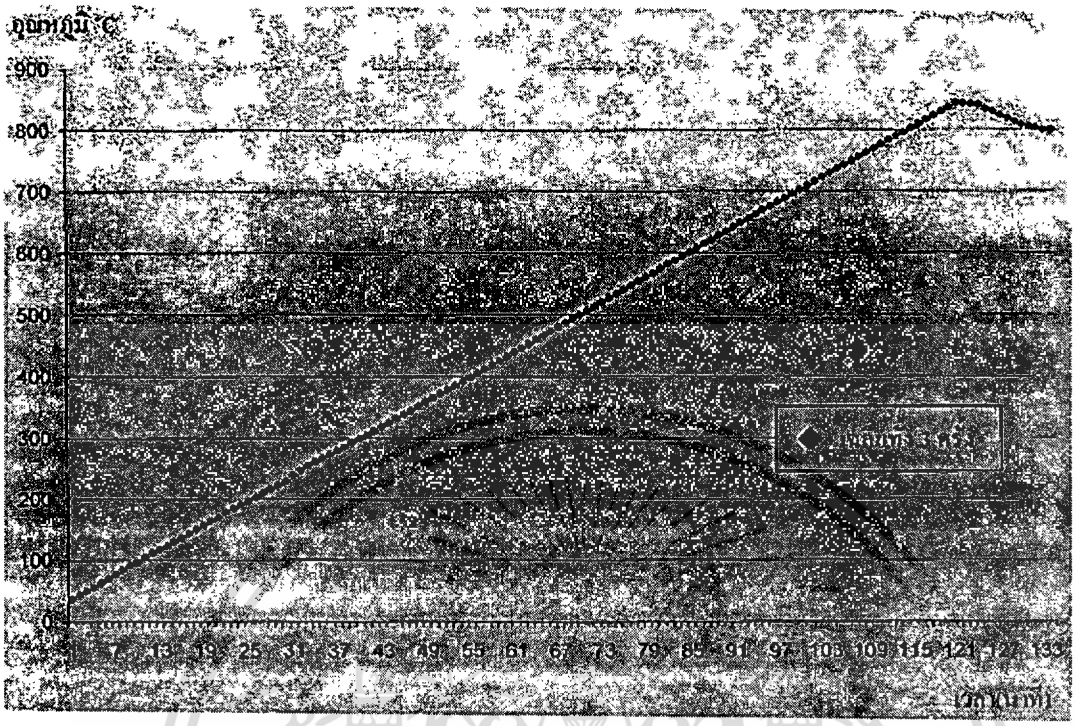
เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	29	235	58	432	87	631	116	831
1	44	30	242	59	439	88	638	117	838
2	51	31	249	60	446	89	645	118	844
3	58	32	255	61	452	90	652	119	851
4	64	33	262	62	459	91	659	120	858
5	72	34	269	63	466	92	666	121	865
6	79	35	275	64	473	93	672	122	872
7	86	36	282	65	481	94	679	123	879
8	93	37	289	66	488	95	686	124	887
9	99	38	296	67	494	96	693	125	893
10	105	39	303	68	501	97	700	126	900
11	113	40	310	69	508	98	707	127	898
12	119	41	316	70	515	99	713	128	895
13	126	42	323	71	522	100	720	129	891
14	133	43	330	72	529	101	727	130	887
15	140	44	337	73	535	102	734	131	883
16	146	45	344	74	542	103	741	132	879
17	153	46	351	75	549	104	750	133	875
18	160	47	358	76	556	105	756	134	871
19	167	48	363	77	563	106	763	135	867
20	174	49	370	78	570	107	770	136	863
21	181	50	377	79	577	108	777	137	859
22	187	51	384	80	583	109	784	138	855
23	194	52	391	81	590	110	791	139	851
24	201	53	398	82	597	111	798	140	850
25	208	54	404	83	604	112	804	141	851
26	215	55	411	84	611	113	811	142	850
27	222	56	418	85	618	114	817	143	849
28	229	57	425	86	624	115	824		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส (ทดสอบครั้งที่ 3)

เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)	เวลา (นาที)	T(°C)
0	37	29	234	58	430	87	629	116	829
1	44	30	241	59	437	88	636	117	835
2	50	31	248	60	443	89	643	118	842
3	56	32	255	61	450	90	650	119	849
4	63	33	261	62	457	91	657	120	856
5	71	34	268	63	464	92	663	121	863
6	77	35	274	64	471	93	670	122	870
7	85	36	281	65	479	94	677	123	876
8	91	37	288	66	486	95	684	124	884
9	98	38	295	67	492	96	691	125	891
10	105	39	302	68	499	97	698	126	898
11	112	40	309	69	506	98	704	127	905
12	119	41	315	70	513	99	711	128	900
13	125	42	322	71	520	100	718	129	897
14	132	43	329	72	527	101	725	130	894
15	139	44	336	73	533	102	732	131	891
16	145	45	343	74	540	103	739	132	888
17	152	46	350	75	547	104	748	133	885
18	159	47	357	76	554	105	754	134	882
19	166	48	363	77	561	106	761	135	879
20	173	49	370	78	568	107	768	136	876
21	180	50	376	79	574	108	775	137	873
22	186	51	384	80	581	109	782	138	870
23	193	52	390	81	588	110	789	139	867
24	200	53	396	82	595	111	795	140	864
25	207	54	402	83	602	112	802	141	851
26	214	55	409	84	609	113	809	142	851
27	221	56	416	85	616	114	815	143	850
28	228	57	423	86	622	115	822		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบสอบเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สร้างขึ้น ปรากฏว่าสามารถให้ความร้อนได้สูงสุดถึง 850 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาประมาณ 143 นาที สร้างความร้อนจากขดลวดฮีตเตอร์จำนวน 24 ขด โดยใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟส แรงเคลื่อนไฟฟ้า 380 โวลต์ กำลังไฟ 6 กิโลวัตต์ ตรวจจับอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลแบบ K ควบคุมการทำงานด้วยวงจรควบคุมดังแสดงไว้ในหัวข้อหลักการทำงานของเตาอบแบบฟลูอิดไดซ์เบด ส่วนที่ 2

อย่างไรก็ดีอุณหภูมิที่ได้ยังไม่สามารถควบคุมได้ดีนัก จากกราฟในรูปที่ 12 และ 13 จะเห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องอบขึ้นไปสูงถึงประมาณ 900 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะลดต่ำลงมาสู่อุณหภูมิที่กำหนดค่าไว้ที่ 800 หรือ 850 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบยังทำได้ไม่ดีนัก จึงควรที่จะใช้วงจรการควบคุมแบบโซลิทสเตชรีเลย์ที่สามารถส่งสัญญาณควบคุมออกมาแบบ Pulse ซึ่งจะช่วยให้การควบคุมอุณหภูมิเที่ยงตรงแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้