# รายการอ้างอิง


ภาษาไทย

กัญจนา ตระกูลดู. 2533. เทคโนโลยีโพลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2 เอ็กซ์เพรสมีเดีย. 304 หน้า.

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2527. เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 350 หน้า.

มณฑล ฉายอุดม. 2536. การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ. โรงพิมพ์เจริญธรรม. 205 หน้า

สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. " High Crystallinity Polypropylene PP รุ่นใหม่ได้เวลาเติบโต " วารสารพลาสติก. ปีที่ 8 ฉบับที่ 6 ( เมษายน 2535 ) หน้า 20 - 25.

เอกสารประกอบการสัมมนา. 2529. ความรู้เบื้องต้นปิโตรเคมี. บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด ( มหาชน ).

ภาษาอังกฤษ

American Society For Testing Material. 1991 Annual Book of ASTM Standards. Easton, ASTM : 1991.

Briley, A.W., Health, R.J. Plastics Materials Properties and Applications. Second Edition, Thomson Press ( India ) Ltd., New Delhi : 1988.

Bruce C. Wendle. What Every Engineer Should Know About Developing Plastic Products. Marcel Dekker, Inc., New York : 1993.

Chem Hayachi Company. Technical Information. Liaoning : 1993.

Fred, W.,Billmeyer, J.R. Textbook of Polymer Sceince. Third Edition. John Wiley & Sons. New York : 1994. 578 PP.

Gachter, Muller. Plastic Additives Handbook. Macmillan Publishing Company, New York : 1987. p. 671-683.

H.N. Beck. J.Appl Polymer Sci. 11 : 1967, p. 673.

James E. Mark William W. Graessing. Physical Properties of Polymers. American Chemical Society, Washington D.C. : 1984.

J.Brandrup, E.H. Immergut. Polymer Handbook. Interscience Publication, New York : 1975. p. v-24.

J.P. Mercier. J. Polym Eng and Sci. 30 : 1990, p. 270 - 278.

K.T.Collington. The Nucleation of Crystalline Olefins. Schering Ind. Chem., Cambridge UK : 1993.

L. Mandelkern. J. Acc. Chem. Res. 23 : 1990, p. 380 - 386.

Miller, M.L. The Structure of Polymers. Reinhold, New York : 1996.

Milliken Chemical. Product Data sheet . Blackburg SC : 1993.

Norman Grassie, Gerald scott. Polymer Degradation & Stabilization. Cambidge University Press, Cambridge : 1995 p. 103 - 105.

R.C. Miller. Moderm Plastics Encyclopedia. 44 : 1984, 67 - 70.

Tomasz Sterzynski, Morand Lambia, Adv. in Polym Tech. 13 : 1994, pp. 25 34.

Unichema International. Product Data. Unichema Australia Pty Ltd, Melbourne : 1993.

Vijay Desai. Plastic Compouding. 227 : 1993, 57 - 61.

Yong Chul Kim. J. Polym Eng Sci. 31 : 1991. p. 1009.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ก.

<u>การคำนวณค่าองศาของความเป็นผลึก</u> ( Xcr )

จากการทดลอง จะคำนวณค่าองศาของความเป็นผลึก จากค่าเอนธาลปีของการหลอมเหลว ( $\Delta Hm$ ) ซึ่งอ่านค่าได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

โดยใช้สมการ

$$\% Xcr = \frac{\Delta Hm \times 100}{\Delta Hm\ 100\%}$$

โดยที่ $\Delta Hm$ คือ เอนธาลปีของการหลอมเหลวของโพลิเมอร์

$\Delta Hm\ 100\%$ คือ เอนธาลปีของการหลอมเหลวที่เกิดผลึก 100% ของโพลิเมอร์

ค่า $\Delta Hm\ 100\%$ ของโพลีโพรพิลีน มีค่าเท่ากับ 209 J/g แต่เนื่องจากในการทดลองใช้โคโพเมอร์ ซึ่งมีเอทธิลีน เป็นโคโมโนเมอร์ ดังนั้น จึงต้องหักค่าปริมาณเอทธิลีนออก ดังนี้

1. แรนดัมโคโพลิเมอร์ ที่ใช้มีปริมาณเอทธิลีน 3%

ดังนั้น $\Delta Hm\ 100\% = 209 - \left( \frac{209 * 3}{100} \right) = 202.73$ J/g

2. บล็อคโคโพลิเมอร์ ที่ใช้มีปริมาณเอทธิลีน 11%

ดังนั้น $\Delta Hm\ 100\% = 209 - \left( \frac{209 * 11}{100} \right) = 186.01$ J/g

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ข

## การเลือกใช้ความเร็วฉีดและความดันฉีดแช่แบบเป็นขั้น

ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตเครื่องฉีดพลาสติกที่มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น โดยมีความเร็วในการฉีดหลายความเร็ว และความดันฉีดแช่หลายความดันให้เลือกใช้ในแต่ละครั้งของการฉีด เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานฉีดได้มากขึ้นกว่าเครื่องฉีดรุ่นเก่าที่มีความเร็วในการฉีดเพียงแต่ความเร็วเดียว และความดันฉีดแช่ก็มีแค่ความดันเดียวเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ในการเลือกใช้ความเร็วในการฉีด และความดันฉีดแช่ที่มีให้เลือกใช้อย่างมากมายนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้จักเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานที่จะทำการฉีดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ดีและมีคุณภาพมากที่สุด นอกเหนือจากคุณภาพที่สามารถมองหินได้ด้วยสายตา

การเลือกใช้ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) ก่อนที่จะเลือกใช้ความเร็วในการฉีดแบบเป็นขั้นได้อย่างถูกต้อง เช่น ควรจะทำการฉีดเร็วแล้วค่อยไปช้า หรือช้าก่อนแล้วค่อยปรับให้เร็วขึ้น ควรทำความเข้าใจกับความเร็วในการฉีดเสียก่อน โดยเมื่อพูดถึงความเร็วในการฉีด เรามักจะนึกถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของสกรูฉีด (เคลื่อนที่ไปยังหัวฉีด) เพื่อทำการอัดดันพลาสติกเหลวที่อยู่ปลายหน้าสกรูให้ไหลเข้าไปในม่พิมพ์ฉีด แต่ถ้ามองให้ดีจะเห็นได้ว่าถ้าเราใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกรูฉีดเท่าเดิมแต่เปลี่ยนขนาดของสกรูฉีดให้ใหญ่ขึ้น หรือเล็กลงนั้นจะทำให้อัตราการไหลของพลาสติกเหลวที่เข้าแม่พิมพ์ฉีดเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ สกรูที่มีขนาดโตขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของพลาสติกเหลวที่เข้าแม่พิมพ์ฉีดเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือสกรูที่มีขนาดโตขึ้นจะให้อัตาการไหลของพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์มากขึ้น

การเลือกใช้ความดันในการฉีดแช่ (Holding Pressure) ความดันในการฉีดแช่เป็นความดันที่เกิดขึ้นต่อจากความดันฉีด โดยความดันฉีดแช่จะทำหน้าที่เป็นตัวคอยเติมเนื้อพลาสติกให้กับชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์เมื่อเวลาที่ชิ้นงานเกิดการหดตัวฉะนั้นในเฟสของการฉีดแช่จะเป็นการทำให้ชิ้นงานพลาสติกมีความหนาแน่นที่ดี มีขนาดที่ถูกต้อง โดยดูง่ายๆ จากชิ้นงานฉีดเมื่อทำการฉีดโดยไม่มีความดันฉีดแช่ชิ้นงานจะเกิดรอยยุบแต่ถ้าใช้ความดันในการฉีดแช่เข้าไปช่วย รอยยุบที่เกิดขึ้นก็จะลดลงหรือหายไป แต่ถ้าเราใช้ความดันในการฉีดแช่สูงมากเกินไปชิ้นงานฉีดก็อาจเกิดการเสียหายได้ เนื่องจากมีความเค้นตกค้าง ด้วยเหตุนี้จึงมีคนสงสัยกันใกว่าจะเลือกใช้ขนาดของความดันฉีดแช่เป็นเท่าไรจึงจะดีที่สุด ตามปกติจะมีค่าแนะนำให้ใช้อยู่ในช่วงประมาณ 30-70% ของความดันฉีด (ความดันฉีดที่ปรับตั้งให้กับเครื่องฉีด) โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของ

ความหนืดของพลาสติกแต่ละตัว จากการทดลองของวิโรจน์ เตชะวิญญธรรมพบว่าควรจะเลือกใช้ค่าของความดันฉีดแช่ประมาณ 90 % ของความดันฉีดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง (สำหรับอะมอร์ฟัสเทอร์โม พลาสติก) และ 100% ของความดันฉีดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง (สำหรับคริสตัลไลน์เทอร์โมพลาสติก) โดยค่าความดันฉีดสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงจะต้องเป็นค่าความดันที่เกิดขึ้นเมื่อเราใช้ความเร็วในการฉีดเป็นแบบความเร็วเดียวตลอด โดยทำการปรับความเร็วในการฉีดให้มีค่าสูงสุดที่ทำให้ได้ชิ้นงานที่เต็มหรือเกือบเต็มแม่พิมพ์ และไม่เกิดข้อบกพร่องใดๆ นอกเหนือจากรอยยุบ (ไม่มีการใช้ความดันในการฉีดแช่) แล้วดูค่าความดันสูงสุดที่เกดขึ้นแล้วนำมาใช้เปรียบค่าอ้างอิงในการเลือกใช้ค่าความดันฉีดแช่ต่อไป

บทสรุปของการลือกใช้ความเร็วในการฉีดและความดันฉีดแช่แบบเป็นขั้นนั้นสามารถทำเป็นขั้นตอนง่ายๆ ได้ดังนี้

1. ทำการปรับตั้งความเร็วในการฉีดให้เป็นแบบความเร็วเดียวกันตลอด โดยใช้ค่าความเร็วที่สูงที่สุดที่ทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่สุด (เต็มและไม่เกิดครีบหรือข้อบกพร่องใดๆ ยกเว้นรอยยุบและการไม่ได้ขนาด) โดยปราศจากความดันในการฉีดแช่ แล้วจดจำค่าของความดันที่เกิดขึ้นจริงสูงสุดเอาไว้

2. ทำการปรับตั้งค่าของความเร็วในการฉีดใหม่ให้เป็นแบบปีนขั้น โดยเริ่มต้นด้วยความเร็วที่สูงที่สุดที่สามารถทำได้ (ชิ้นงานจะต้องสวยงาม) แล้วต่ำลงในช่วงสุดท้าย

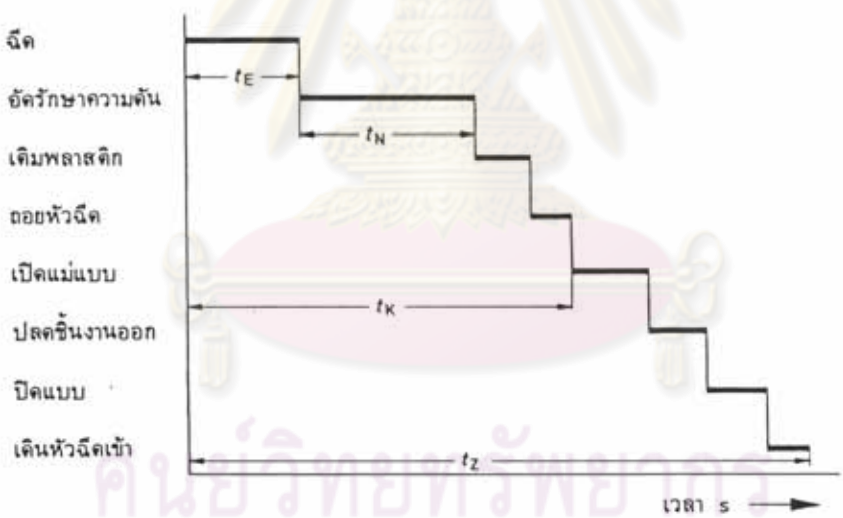
3. ทำการปรับตั้งค่าความดันในการฉีดแช่ให้เป็นขั้น โดยเริ่มจากสูงก่อนแล้วค่อยลดต่ำลง ซึ่งจะต้องคำนึงถึงค่าความดันที่เกิดขึ้นจริงสูงสุดด้วยว่าจะต้องอยู่ในช่วง 90-100% ของความดันฉีดที่เกิดขึ้นจริงที่จดเอาไว้จากขั้นตอนที่หนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ค.

**ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร**

วัฏจักร ( Cycle ) ของการฉีดพลาสติดจะเริ่มต้นจากการฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบครั้งหนึ่งไปจนถึงการฉีดพลาสติกเข้าแม่แบบครั้งต่อไป ซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ ทำการฉีด อัดรักษาความดันในแม่แบบในช่วงหล่อเย็น เติมพลาสติกเข้า ถอยหัวฉีดออก เปิดแบบ ปลดชิ้นงาน ปิดแบบ และเดินหัวฉีด เข้าหัวแม่แบบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนหนึ่งๆ จะเสียเวลาเป็นระยะ ๆ มากน้อยแตกต่างกัน ระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนรวมกันเข้าก็คือ ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักรดังแสดงในรูป ค.1




$t_E$ = เวลาฉีด
$t_N$ = เวลาอัดรักษาความดันในแบบ
$t_K$ = ระยะเวลาหล่อเย็น
$t_Z$ = ระยะเวลาต่อวัฏจักร

รูปที่ ค.1 ระยะเวลาในการฉีดต่อวัฏจักร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ช่วงเวลาฉีด**

เริ่มต้นตั้งแต่ลูกสูบหรือเกลียวหนอน ซึ่งขณะนี้ทำหน้าที่เป็นลูกสูบเริ่มอัดพลาสติกเข้าแม่แบบจนถึงระยะสุดด้านหน้า

**ช่วงเวลาของการรักษาความดัน**

เนื่องจากพลาสติกขณะฉีดเข้าแบบนั้นยังร้อนและเหลวอยู่ ถ้าไม่อัดรักษาความดันเอาไว้พลาสติกจะดันย้อนกลับออกจากแบบ และนอกจากนั้นขณะที่พลาสติกเย็นตัวจะมีการหดตัว จึงจำเป็นต้องรักษาความดันอัดเพิ่มเติมเอาไว้เพื่อให้พลาสติกเข้าไปชดเชยได้เต็มที่ ชั่วขณะหนึ่งจนกว่าพลาสติกจะคงตัว

**ช่วงเวลาเติมพลาสติก**

เมื่อพลาสติกในแม่แบบคงตัวแล้วก็จะลดความดันในกระบอกสูบ และแม่แบบได้ ในช่วงนี้จะหมุนเกลียวหนอนให้พลาสติกจากกรวยเติม เข้ามาในกระบอกสูบ ทำการหลอมเหลวเพื่อเตรียมฉีดในจังหวะต่อไป

**ช่วงเวลาถอยหัวฉีดกลับ**

เพื่อให้สะดวกแก่ปลดชิ้นงานและตัดชิ้นงานออก รวมไปถึงการป้องกันการสั่นสะเทือนในจังหวะ- เปิด - ปิดแม่แบบ จึงต้องถอยหัวฉีดหรือชุดฉีดทั้งชุดออกห่างแม่แบบ

**ช่วงเวลาเปิดแบบ**

ในการเปิดแบบออกเพื่อปลดชิ้นงานจะเริ่มทันทีที่ถอยหัวฉีดออกห่างแม่แบบ

**ช่วงเวลาปลดชิ้นงาน**

เมื่อแม่แบบเปิดออกจะต้องมีการทำงานปลดชิ้นงานด้วยระบบกลไกต่าง ๆ ผลักดันให้ชิ้นงานหลุดออกมา ระยะเวลาที่ใช้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปทรงของชิ้นงาน และการแยกขั้วชิ้นงานออก

**ช่วงเวลาเปิดแบบ**

เมื่อปลดชิ้นงานเรียบร้อยแล้วก็จะต้องเดินแม่แบบเข้าประกบกันเพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป ทั้งนี้ต้องระวังความเรียบร้อยภายในแบบ เช่น ต้องไม่มีเศษพลาสติกค้างอยู่ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ช่วงเวลาเดินหัวฉีดเข้า**

เมื่อแม่แบบปิดสนิทก็สามารถเดินหัวฉีดเข้าหาแม่แบบ เพื่อฉีดในจังหวะต่อไปได้ทันที

**ช่วงเวลาหล่อเย็น**

โดยปกติแม่แบบจะมีการหล่อเย็นอยู่แล้วอย่างต่อเนื่อง ในการรักษาอุณหภูมิแม่แบบให้พอดี ทันทีที่พลาสติกวิ่งเข้าแม่แบบ การระบายความร้อนออกจากพลาสติกก็จะเริ่มขึ้น และจะไปสุดสิ้นเอาเมื่อพลาสติกคงตัวพร้อมที่จะเปิดแบบปลดชิ้นงานได้

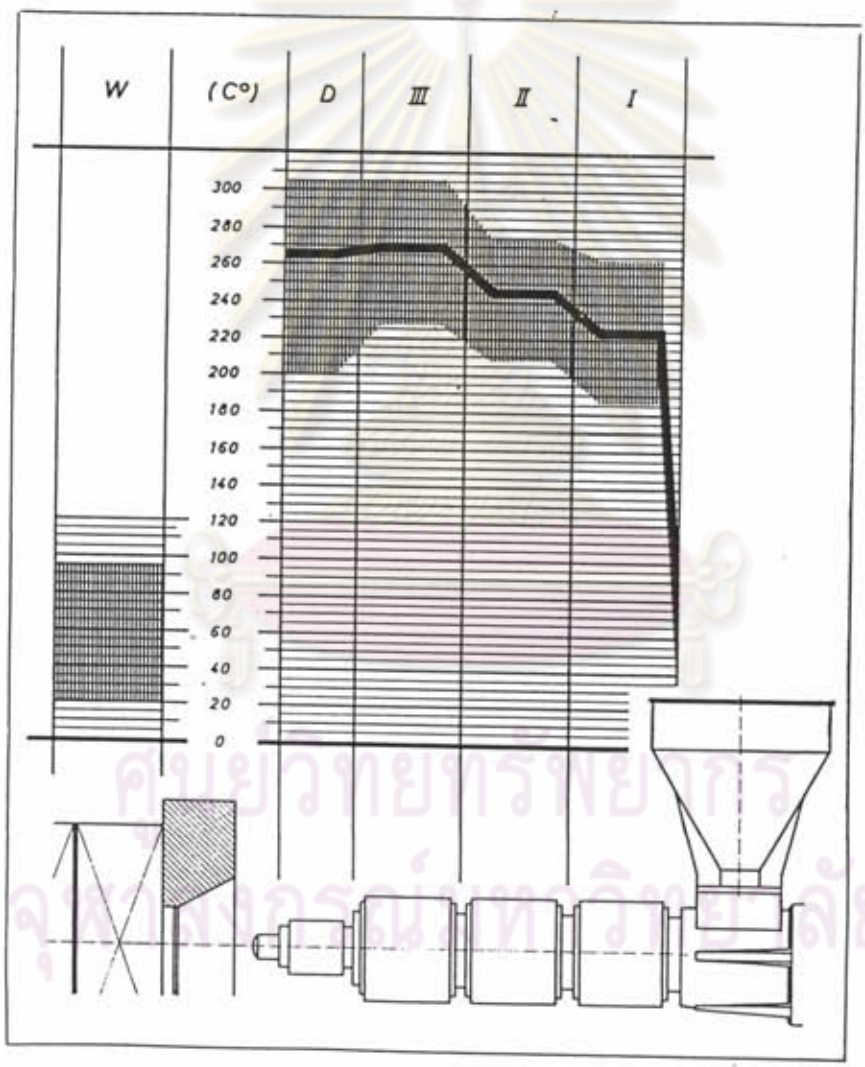
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ง.

ตารางที่ ง.1 อุณหภูมิในช่วงต่างๆ สำหรับการฉีดโพลีโพรพิลีน ( PP ) ที่แนะนำให้ใช้

W = แม่แบบ

D = หัวฉีด




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก จ.

ราคาของสารก่อตัวคริสตัลไลน์

| ประเภทของสารก่อตัวคริสตัลไลน์ | ราคา / กก. |
|---|---|
| Mineral | 80 - 100 บาท |
| Organic base | 1,000 - 1,200 บาท |
| Organic Metallic | 500 - 600 บาท |

ราคาของโพรพิลีนโคโพลิเมอร์

| โพรพิลีนโคโพลิเมอร์ | ราคา / กก. |
|---|---|
| แรนดัมโคโพลิเมอร์ | 29 - 30 บาท |
| บล็อคโคโพลิเมอร์ | 25 - 28 บาท |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ฉ.

ประมาณการปริมาณการผลิตโพลิโพรพิลีนในประเทศไทย ( หน่วย พันตัน/ปี)

| | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HMC | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| TPI | 100 | 100 | 170 | 220 | 220 | 220 | 470 | 470 | 470 |
| TPP | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| TOTAL | 200 | 300 | 370 | 420 | 420 | 700 | 950 | 950 | 950 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ประวัติผู้เขียน

นางสาว ดวงสุดา ธีรอนันต์ เกิดวันที่ 30 พฤศจิกายน 2510 กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2532 และทำงานอยู่ที่ บริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด ( มหาชน ) ตั้งแต่ปี 2536 จนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย