สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การศึกษาสารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบสำหรับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

T045682

นางสาวน้ำทิพย์ เมธีธารา
นางสาวปราณี แสงมณีพร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45682
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STUDY HALOGEN - FREE FLAME RETARDANT FOR POLYURETHANE RIGID FOAM

Miss Numtip Metheethara

Miss Pranee Sangmaneeporn

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladgrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| ปริญญานิพนธ์เรื่อง | การศึกษาสารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบสำหรับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง |
| โดย | นางสาวน้ำทิพย์ เมธีธารา<br>นางสาวปราณี แสงมณีพร |
| ภาควิชาวิศวกรรมเคมี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ |

---

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
( อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ )

..... กรรมการ
( ผศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ )

..... กรรมการ
( อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาสารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบสำหรับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

โดย นางสาวน้ำทิพย์ เมธีธารา

นางสาวปราณี แสงมณีพร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ที่ใช้สารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบประเภทต่างๆ ได้แก่ เมลามีน อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ ซิงค์ไฮดรอกซีสแตนเนต และซิงค์บอเรต โดยทำการปรับปริมาณสารถ่วงการติดไฟที่ใช้ ตามประสิทธิภาพในการถ่วงการติดไฟ ที่วิเคราะห์ได้จากผลการทดสอบการติดไฟตามมาตรฐาน UL-94 HB

จากผลการทดสอบพบว่า สำหรับการใช้สารถ่วงการติดไฟประเภทเมลามีน อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ และซิงค์ไฮดรอกซีสแตนเนต ต้องใช้ในปริมาณอย่างต่ำ 13.46 % 11.54 % และ 5.77 % ของน้ำหนักรวมสารตั้งต้นทั้งหมดตามลำดับ จึงจะสามารถผ่านการทดสอบการติดไฟได้ สำหรับการใช้ซิงค์บอเรต พบว่าไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟในช่วงปริมาณที่ทำการทดสอบ คือ 1-15.38 % ได้

การทดลองอีกตอนหนึ่งคือ การใช้สารเติมแต่งประเภทซิลิโคนชนิดหนึ่ง ร่วมกับสารถ่วงการติดไฟแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลองตอนแรก พบว่าการใช้ซิลิโคนชนิดนี้ไม่สามารถช่วยให้คุณสมบัติการถ่วงการติดไฟของสารถ่วงการติดไฟแต่ละประเภทดีขึ้น

ในด้านคุณสมบัติอื่นๆ ของโฟม ได้แก่ การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัด สำหรับการทดลองที่ใช้สารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบประเภทต่างๆ นี้ ไม่ทำให้คุณสมบัติดังกล่าวเปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเทียบกับโฟมที่ผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งใช้สารถ่วงการติดไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Report Title | Study halogen-free flame retardant for polyurethane rigid foam |
| By | Miss Numtip Metheethara |
| | Miss Pranee Sangmaneeporn |
| Advisor | Mr. Kriangsak Kriwattanawong |
| Report for | Bachelor Degree of Chemical Engineering, |
| | Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |


## Abstract


This project studies about polyurethane rigid foam that use halogen-free flame retardant such as melamine, aluminium trihydroxide, zinc hydroxy stannate, and zinc borate. Quantity of each flame retardant is varied by analyzing results from flammability test UL-94 HB

The results of experiment show that melamine, aluminium trihydroxide and zinc hydroxy stannate must be used at least 13.46 %, 11.54 %, and 5.77 % of total substance weight respectively for passing flammability test. And zinc borate in range of 1-15.38 % can not pass flammability test.

Another part of experiment is using a type of silicone (an additive) with various flame retardants. The results show that silicone can not improve efficiency of flame retardants.

Water absorption and compressive strength of polyurethane rigid foam using halogen-free flame retardant does not differ from the one using halogen flame retardant.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยแนะนำ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

คุณ สุชาดา ดุลยประพันธ์ บริษัท ตะวันออกโปลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

คุณโกมล ล้อมจันทราศิลป์ JJ-Degussa-Huls (T) Ltd. คุณอิสรีย์ คลังนาค VIV Interchem Co.,Ltd. คุณ สุขเกษม เหลืองทองคำ Behn Meyer & Co. (T) Ltd. คุณธัชนนท์ จิตมงคลทอง Crompton Specialties Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการทดลองและข้อมูลที่เป็นประโยชน์

และหากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวน้ำทิพย์ เมธีธารา
นางสาวปราณี แสงมณีพร

15 มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.2 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| บทที่ 2 พอลิยูรีเทน | 3 |
| 2.1 เคมีเบื้องต้นของพอลิยูรีเทน | 3 |
| 2.2 การถ่วงการติดไฟของโฟมพอลิยูรีเทน | 18 |
| บทที่ 3 สารถ่วงการติดไฟ | 23 |
| 3.1 ไฟและสารถ่วงการติดไฟ | 23 |
| 3.2 ทางเลือกสำหรับการใช้สารถ่วงการติดไฟ | 26 |
| บทที่ 4 การทดลอง | 33 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง | 38 |
| บทที่ 6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง | 42 |
| รายการอ้างอิง | 45 |
| ภาคผนวก | 46 |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลเกี่ยวกับ Melamine | 47 |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลเกี่ยวกับ Aluminium hydroxide | 52 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลเกี่ยวกับ Zinc Hydroxy Stannate | 67 |
| ภาคผนวก ง ข้อมูลเกี่ยวกับ Zinc Borate | 70 |
| ภาคผนวก จ ข้อมูลเกี่ยวกับ Niax Silicone L-600 | 73 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 3.1 ความร้อนจากการเผาไหม้ 23

รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบการกัดกร่อนของพอลิเอไมด์บน CrAlNi7 steel 30

รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบการเกิดควันของพอลิเอไมด์ (PA 66) ชนิดเสริมใยแก้ว 30

รูปที่ 4.1 ขนาดของชิ้นตัวอย่าง 34

รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบและการจัดเตรียมอุปกรณ์การทดสอบตามมาตรฐาน UL-94 HB 37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


หน้า

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการใช้ประโยชน์จากยูรีเทน 3

ตารางที่ 2.2 พอลิอีเทอร์ที่นิยมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน 6

ตารางที่ 2.3 ความว่องไวของอะมีนตติยภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาระหว่างเฟนิลไอโซไซยาเนตและบิวทานอล 9

ตารางที่ 2.4 ความว่องไวของตัวแร่งที่ใช้เตรียมยูรีเทนจากเฟนิลไอโซไซยาเนต 10

ตารางที่ 2.5 อิทธิพลของตัวทำละลายในการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีนไกลคอลและไดเฟนิลเมเทนได-ไอโซไซยาเนต 11

ตารางที่ 2.6 สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง 12

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้สารถ่วงการติดไฟประเภทต่างๆ 25

ตารางที่ 3.2 สารประกอบฮาโลเจนที่พบว่ามีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ร่วมกับแอนติโมนีออกไซด์ 32

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟมกรณีที่ใช้สารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด 39

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟมกรณีที่ใช้ซิลิโคนร่วมกับสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด 40

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟม กรณีที่ใช้ซิลิโคนร่วมกับ TCPP 41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

โฟมพอลิเมอร์สามารถนำไปใช้ในงานด้านต่างๆ ได้มากมาย ความต้องการของตลาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก และได้มีการนำโฟมพอลิเมอร์มาประยุกต์ใช้ในงานประเภทใหม่ๆ เสมอ ทำให้การใช้งานมีความหลากหลายยิ่งขึ้น โฟมพอลิเมอร์สามารถผลิตให้มีสมบัติต่างกันในช่วงกว้างมาก โดยมีตั้งแต่แข็งมาก กึ่งแข็ง และยืดหยุ่น (rigid, semi-rigid และ flexible) จึงเลือกประเภทที่จะนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

โฟมพอลิยูรีเทนเป็นโฟมพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สำคัญ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันสัดส่วนโฟมพอลิยูรีเทนในอุตสาหกรรมพลาสติกจะยังมีไม่มากนัก แต่เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ ยังสามารถวิจัยและพัฒนาได้อีกมาก ด้วยเหตุนี้ คุณสมบัติในด้านต่างๆ ของโฟมพอลิยูรีเทนจึงได้รับการพัฒนาให้มีความเหมาะสมมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้มีการนำโฟมพอลิยูรีเทนไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้นด้วย

โฟมพอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง จึงมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ทั่วๆ ไป คือ มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสามารถเผาไหม้ได้ ดังนั้นโฟมพอลิยูรีเทนจึงมักไม่ถูกเลือกให้ใช้ในงานที่ต้องสัมผัสอยู่กับเปลวไฟ เนื่องจากการใช้วัสดุทนไฟ เช่น เหล็ก อิฐทนไฟ คอนกรีต จะมีประสิทธิภาพดีกว่า แต่อย่างไรก็ตาม บางครั้งมีการเลือกใช้โฟมพอลิยูรีเทนแทนพวกวัสดุทนไฟดังกล่าวในบางสภาวะที่วัสดุทนไฟเหล่านั้นไม่สามารถใช้ได้ หรือใช้ในกรณีที่คุณสมบัติด้านอื่นๆ ของโฟมพอลิยูรีเทนเป็นที่ต้องการ และมีความสำคัญ

การใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยด้วย ดังนั้น คุณสมบัติด้านการติดไฟจึงถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะเป็นตัวจำกัดการใช้งานของโฟมพอลิยูรีเทน ในขณะที่มีการใช้โฟมพอลิยูรีเทนมากขึ้นเรื่อยๆ คุณสมบัติด้านการถ่วงการติดไฟจึงจำเป็นต้องก็ได้รับพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย

เป็นที่ทราบกันดีว่า สารถ่วงการติดไฟ (flame retardant) ประเภทสารประกอบฮาโลเจนมีประสิทธิภาพดีมาก กลไกการทำงาน คือ จะให้แรดิคอลฮาโลเจนซึ่งจะไปรบกวนจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นควันและเขม่าขึ้น ดังนั้น ระบบนี้จึงทำให้เกิดฝุ่นควัน ควันพิษ และการกัดกร่อนในระหว่างการเผาไหม้ ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยมากมายเพื่อหาแนวทางที่จะลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารถ่วงการติดไฟที่มีส่วนประกอบของฮาโลเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาสารถ่วงการติดไฟที่เหมาะสมมากขึ้นสำหรับใช้เติมในส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง (rigid foam) โดยอาจใช้สารประเภทอื่นที่ไม่มีส่วนประกอบของฮาโลเจนแทน หรือใช้วิธีลดปริมาณสารประกอบฮาโลเจนที่ใช้ เพื่อที่จะลดอันตรายจากการใช้งานโฟมพอลิยูรีเทน

**1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

เพื่อศึกษาหาสารถ่วงการติดไฟที่เหมาะสมมากขึ้น สำหรับใช้เติมในส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โดยพยายามหลีกเลี่ยงการใช้สารถ่วงการติดไฟที่มีสารประเภทฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบ

**1.2 ขอบเขตของงานวิจัย**

1.2.1 ศึกษา ค้นคว้า และทำการทดลอง เพื่อให้ได้สารถ่วงการติดไฟที่เหมาะสมมากขึ้นสำหรับใช้เติมในส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง โดยพยายามหลีกเลี่ยงการใช้สารถ่วงการติดไฟที่มีสารประเภทฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบ

1.2.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะนำสารถ่วงการติดไฟชนิดที่ศึกษา มาใช้ในกระบวนการผลิตจริง

**1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.3.1 สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการเลือกใช้สารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีสารประเภทฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบ หรือมีส่วนประกอบในปริมาณน้อยลง

1.3.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อศึกษา และพัฒนาคุณภาพของโฟมพอลิยูรีเทนในด้านอื่นๆ เพิ่มเติมต่อไป

**1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน**

1.4.1 ทำการศึกษาค้นคว้าด้านปัจจัยที่ทำให้โฟมพอลิยูรีเทนมีคุณสมบัติถ่วงการติดไฟที่ดี และคุณสมบัติสารถ่วงการติดไฟชนิดต่างๆ

1.4.2 จากข้อมูลที่ได้ จึงทำการเลือกสารถ่วงการติดไฟที่เหมาะสม

1.4.3 ทำการทดลองผลิตโฟมพอลิยูรีเทน (ในห้องปฏิบัติการ) โดยเติมสารถ่วงการติดไฟชนิดใหม่ที่ทำการศึกษา

1.4.4 นำโฟมพอลิยูรีเทนที่ได้ไปทำการทดสอบการติดไฟ (flammability test)

1.4.5 ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติการติดไฟของโฟมพอลิยูรีเทนที่เติมสารถ่วงการติดไฟชนิดใหม่ กับโฟมพอลิยูรีเทนที่เติมสารกันไฟชนิดที่ใช้อยู่

1.4.6 สรุปผลการทดลองที่ได้ และเขียนปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# พอลิยูรีเทน

## 2.1 เคมีเบื้องต้นของพอลิยูรีเทน [1]

พอลิยูรีเทนเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ที่เติบโตเร็วที่สุดส่วนหนึ่ง โดยสังเกตได้จากปริมาณการใช้พอลิยูรีเทนที่เพิ่มขึ้นจาก 8 ล้านปอนด์ในปี 1956 เป็นมากกว่า 600 ล้านปอนด์ในปี 1967 ลักษณะของพอลิยูรีเทนคือ การเชื่อมต่อยูรีเทนกับสารประกอบหมู่อื่นๆ เช่น อีเทอร์ เอส-เทอร์ ไบยูเรต อัลโลฟาเนต เอไมด์ และสารประกอบหมู่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากนี้อาจจะรวมอยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์นี้ได้

วิธีที่ใช้ในการเตรียมพอลิยูรีเทนที่นิยมใช้มาก คือ ปฏิกิริยาของไดฟังก์ชันนอล หรือพอลิ-ฟังก์ชันนอลของสารประกอบไฮดรอกซิล เช่น hydroxyl-terminated polyether/polyester กับไดฟังก์ชันนอลหรือพอลิฟังก์ชันนอลของไอโซไซยาเนต

**ตารางที่ 2.1** รูปแบบการใช้ประโยชน์ยูรีเทน [1]

| | ปริมาณการใช้ ( $x10^6$ ) ปอนด์ | |
|---|---|---|
| | 1966 | 1967 (โดยประมาณ) |
| โฟมแบบยืดหยุ่น | 350 | 385 |
| โฟมแบบแข็ง | 115 | 125 |
| สารเคลือบผิว | 40 | 44 |
| อีลาสโตเมอร์ | 15 | 18 |
| เส้นใย | 10 | 11 |
| อื่นๆ | 25 | 30 |
| รวม | 555 | 613 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 วัตถุดิบสำหรับพอลิยูรีเทน [9]

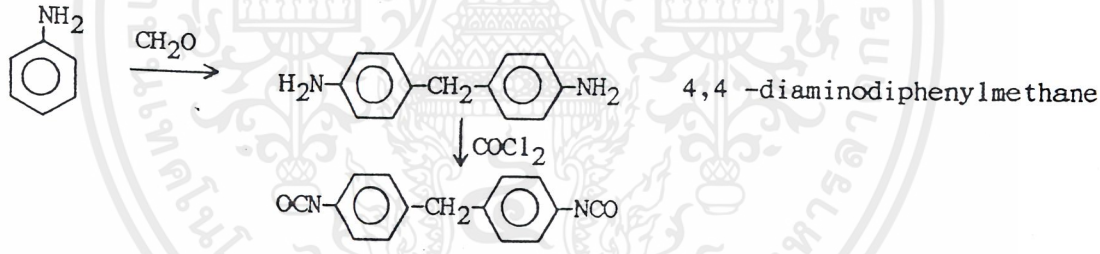
วัตถุดิบที่ใช้เตรียมพอลิยูรีเทนจะมีเพียงไดไอโซไซยาเนต และไดออล์ หรือพอลิ-ออล์ เนื่องจากการเตรียมพอลิยูรีเทนในทางอุตสาหกรรมจะมาจากปฏิกิริยาการควบแน่น ระหว่างไดไอโซไซยาเนต และไดออล์หรือพอลิออล์เท่านั้น

ก. ไดไอโซไซยาเนต (diisocyanates)

ไอโซไซยาเนตสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างอะมีนและฟอสจีนดังนี้

ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้ ได้แก่

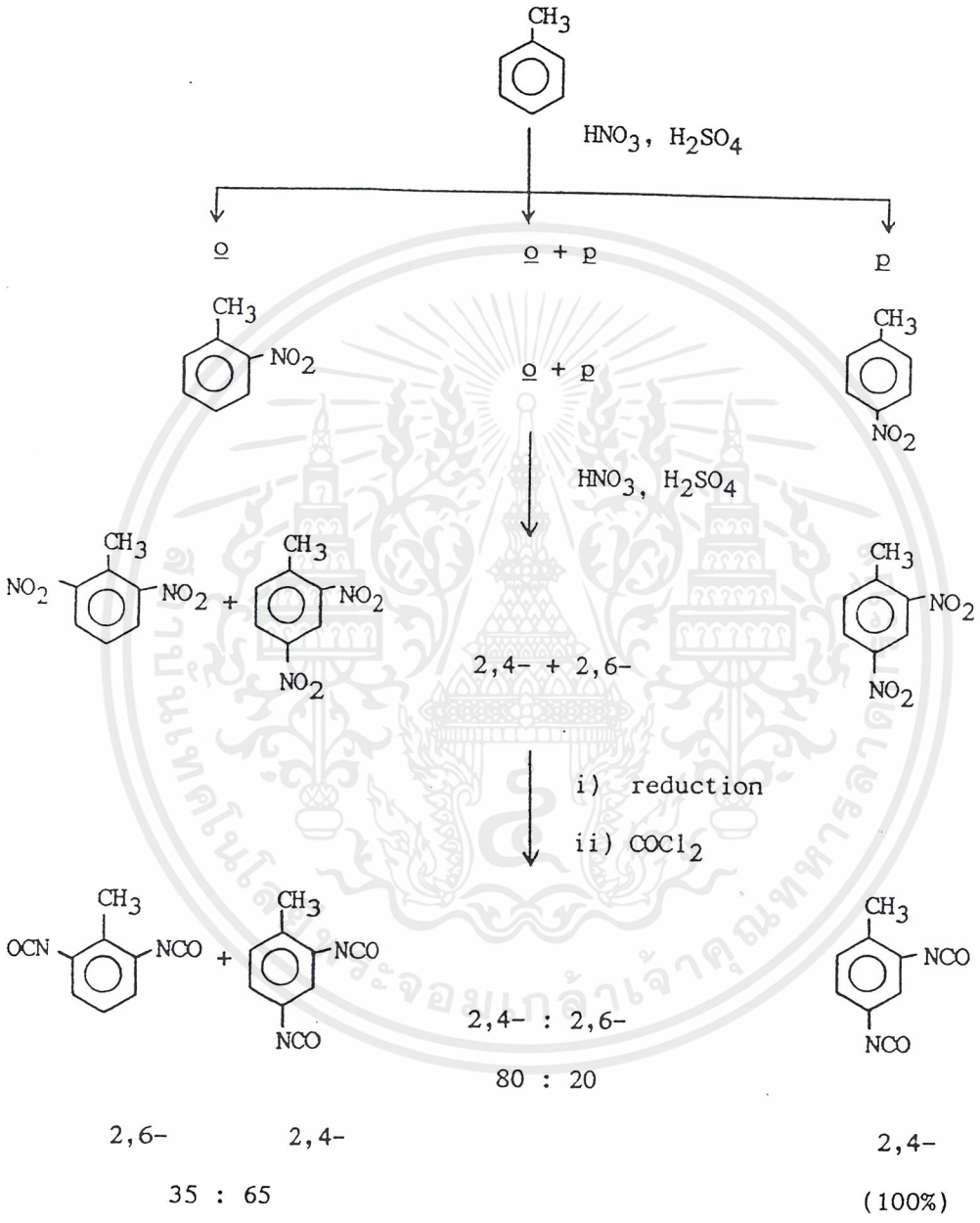
- ไดเฟนิลเมเทนไดไอโซไซยาเนต (diphenylmethane diisocyanate : MDI)




- เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (hexamethylene diisocyanate : HDI)

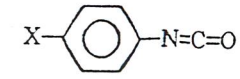
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต (toluene diisocyanate : TDI)

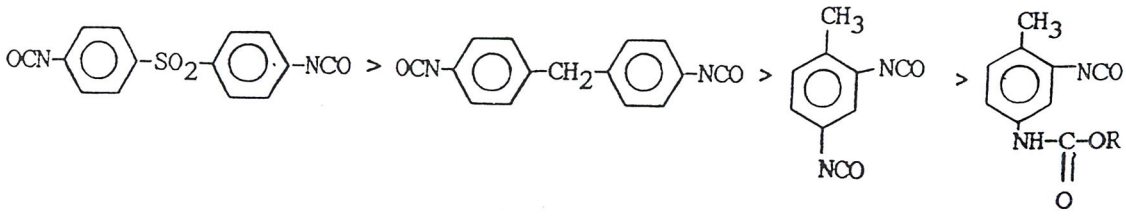



พบว่าไอโซไซยาเนตที่มีหมู่ดึงอิเล็กตรอน (electron withdrawing group) จะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วขึ้น ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(X = หมู่ดึงอิเล็กตรอน)

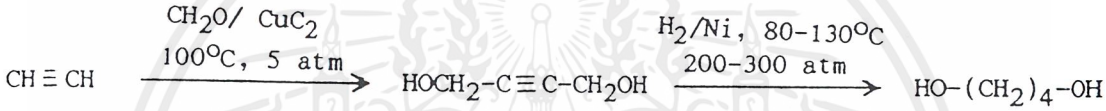



และอะโรมาติกไอโซไซยาเนต จะมีความว่องไวกว่าอะลิฟาติกไอโซไซยาเนต (aromatic –NCO >> aliphatic –NCO)

ข. ไดออล์และพอลิออล์ (diols and polyols)

ที่นิยมใช้ได้แก่

- 1,4 –บิวเทนไดออล์

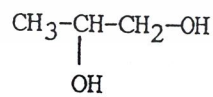
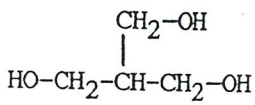
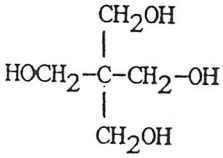
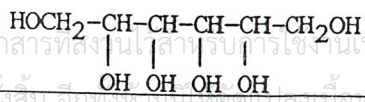



เพื่อใช้เตรียมเส้นใยจากพอลิยูรีเทน (fiber forming polyurethane) แต่ปัจจุบันไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะมีวัสดุอื่นมาทดแทน

- พอลิอีเทอร์ (polyethers)

พอลิอีเทอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซี H-(-OR-)$_n$-OH จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทนในปัจจุบัน (ตารางที่ 2.2 ) พอลิอีเทอร์ไตรออล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง (ประมาณ 3000) มักใช้ผลิตโฟมยืดหยุ่น (flexible foams) ในขณะที่พอลิออล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 500 มักจะใช้ผลิตโฟมแข็ง (rigid foams)

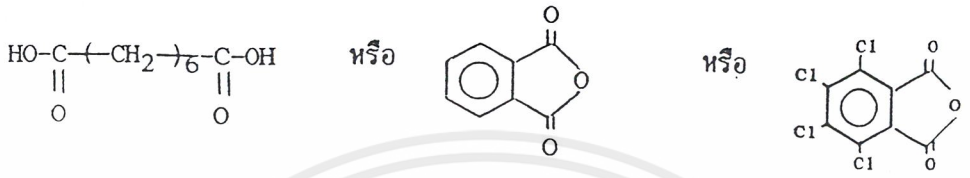
**ตารางที่ 2.2** พอลิอีเทอร์ที่นิยมใช้เตรียมพอลิยูรีเทน [9]

| โพลิออล์ | น้ำหนักโมเลกุลทั่ว ๆ ไป | หมู่ฟังก์ชัน |
|---|---|---|
|  | 400–4000 | 2 |
|  | 300–6000 | 3 |
|  | 400–600 | 4 |
|  | 350–750 | 6 |

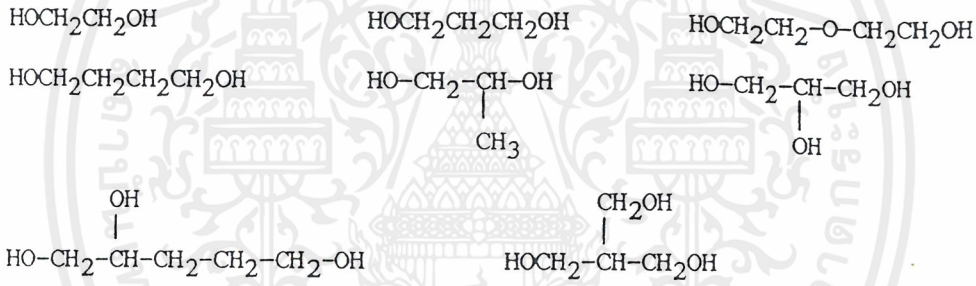
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอลิเอสเทอร์ (polyesters)

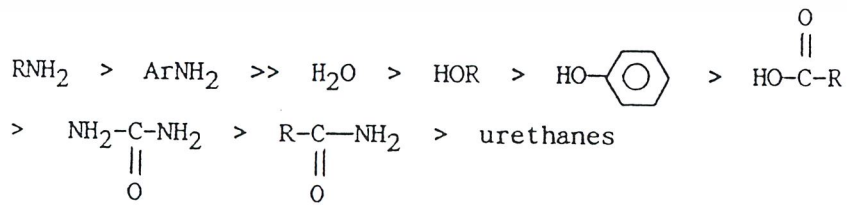
พอลิเอสเทอร์ที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซีก็เช่นเดียวกัน จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียมพอลิยูรีเทน เกิดจากการใช้ไดแอซิดทำปฏิกิริยากับไดออล์ที่มากเกินพอ (excess) น้ำหนักโมเลกุลที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 1000-4000 ตัวอย่างไดแอซิดที่ใช้ เช่น




และไดออล์ที่ใช้ เช่น

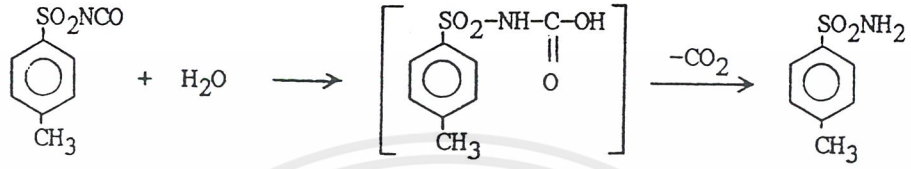


พบว่าโมเลกุลที่มีหมู่ไฮโดรเจนที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยา (active hydrogen molecules) ที่มีหมู่ให้อิเล็กตรอน (electron donating groups) จะทำให้อัตราการเกิดพอลิยูรีเทนได้เร็วกว่า ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นว่าน้ำจะมีความว่องไวกว่าแอลกอฮอล์ (หรือไดออล์) ดังนั้นจึงมักเติมสารที่ทำให้แห้ง (drying agent) หรือตัวที่เสถียร (stabilize) หรืออาจจะเรียกว่าตัวยับยั้ง (inhibitor) ลงไปด้วย เช่น

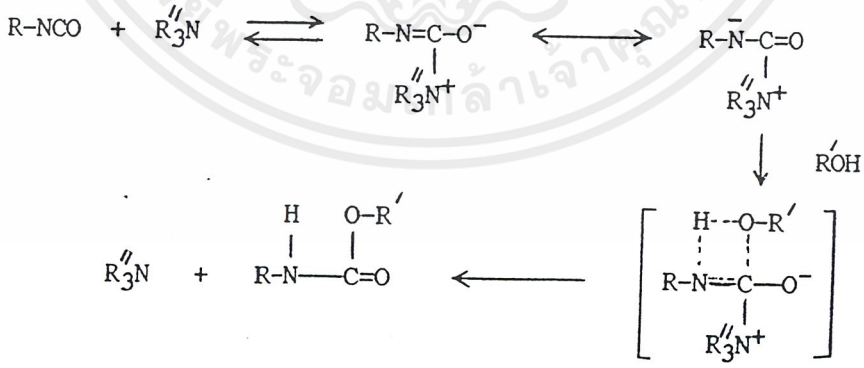


ไม่เช่นนั้นจะทำให้สูญเสีย –NCO เกิดเป็น R-$NH_2$ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อกับ –NCO ใหม่ได้

นอกจากวัตถุดิบแล้ว การเตรียมพอลิยูรีเทนยังต้องการสารประกอบอื่นๆ อีก เช่น

ค. ตัวเร่ง (catalysts)

ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิยูรีเทน (หรือไอโซไซยาเนต) ในทางอุตสาหกรรมมักต้องเติมตัวเร่งลงไปด้วย ตัวเร่งที่นิยมใช้คือ อะมีนตติยภูมิ (tertiary amine) หรือสารประกอบของโลหะบางชนิด โดยเฉพาะสารประกอบของโลหะดีบุก (Tin) กลไกการเกิดไอโซไซยาเนตโดยใช้อะมีน เป็นดังนี้



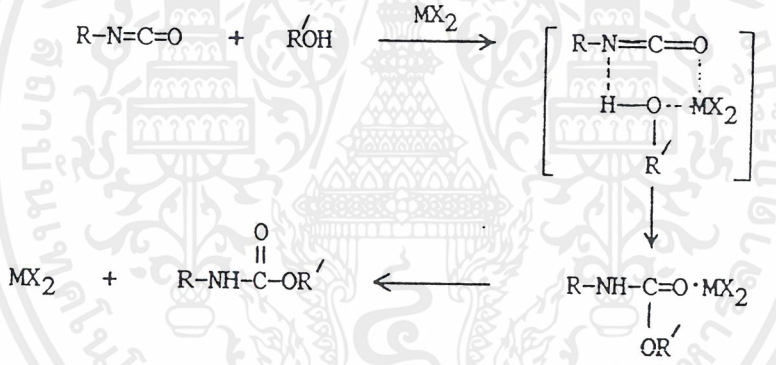
อะมีนตติยภูมิที่มีหมู่แทนที่ขนาดใหญ่ขึ้น (ซึ่งจะมีความแข็งแรงของความเป็นเบสเพิ่มขึ้น) เนื่องจากอิทธิพลของสเตียริก (steric) จะทำให้มีความว่องไวมากขึ้น (ตารางที่ 2.3 )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

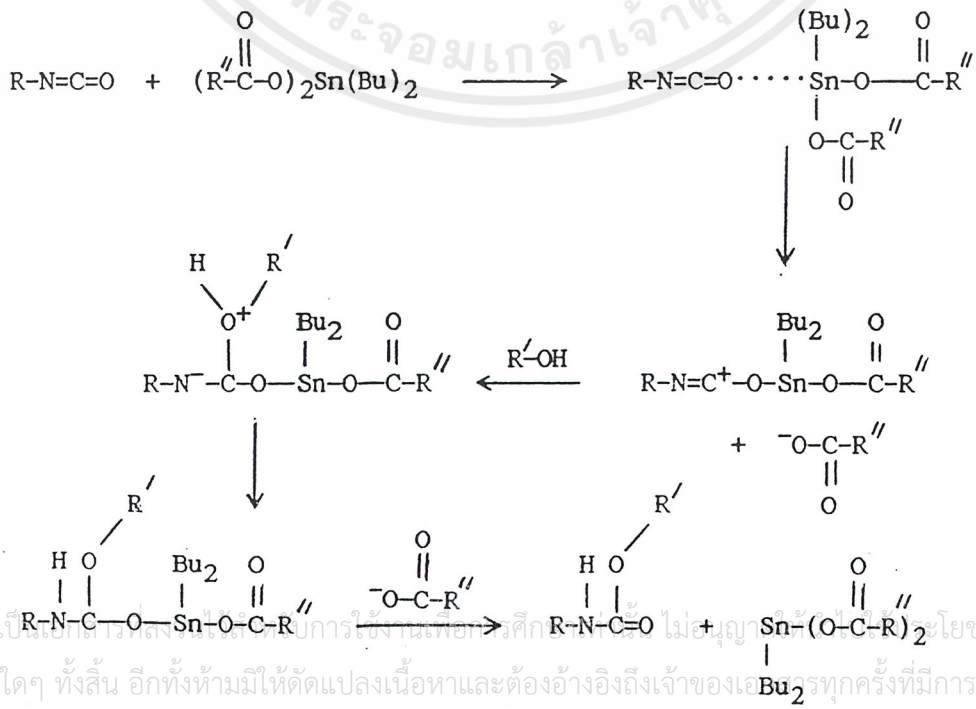
**ตารางที่ 2.3** ความว่องไวของอะมีนตติยภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาระหว่างเฟนิลไอโซไซยาเนต และบิว-ทานอล [9]

| อะมีน | base strength (pKa) | ความว่องไวสัมพันธ์ |
|---|---|---|
| Trimethylamine | 9.9 | 2.2 |
| Ethyldimethylamine | 10.2 | 1.6 |
| Diethylmethylamine | 10.4 | 1.0 |
| Triethylamine | 10.8 | 0.9 |
| Triethylenediamine | 8.2 | 3.3 |

สารประกอบของโลหะดีบุกที่นิยม เช่น สแตนเนียสออกโตเนต (stannous octonate)



หรือ ไดบิวทิลทินไดแอซิเตต (dibutyltin diacetate)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาการเตรียมไอโซไซยาเนตยังขึ้นอยู่กับตัวเร่งที่ใช้ด้วย ซึ่งพบว่าสารประกอบของโลหะดีบุกจะมีความว่องไวที่สุด (ตารางที่ 2.4 ) แต่กลับพบว่าสารประกอบของโลหะดีบุกมีความว่องไวในการเตรียมไอโซไซยาเนตแบบปฏิกิริยาการเติมด้วยตัวเอง (self-addition reactions) ได้น้อยกว่าอะมีนตติยภูมิ

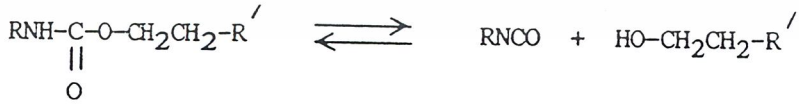
**ตารางที่ 2.4** ความว่องไวของตัวเร่งที่ใช้เตรียมยูรีเทนจากเฟนิลไอโซไซยาเนต [9]

| | อัตราเร็วสัมพันธ์ที่เกิดปฏิกิริยากับ | | |
|---|---|---|---|
| | n-บิวทานอล | น้ำ | ไดเฟนิลยูเรีย |
| ไม่มี | 1.0 | 1.1 | 2.2 |
| N-methylmorpholine | 40 | 25 | 10 |
| Triethylamine | 86 | 47 | 4 |
| Tetramethyl-1,3-butanediamine | 260 | 100 | 12 |
| Triethylenediamine | 1200 | 380 | 90 |
| Tributyltin acetate | 8000 | 14000 | 8000 |
| Dibutyltin diacetate | 600000 | 100000 | 120000 |

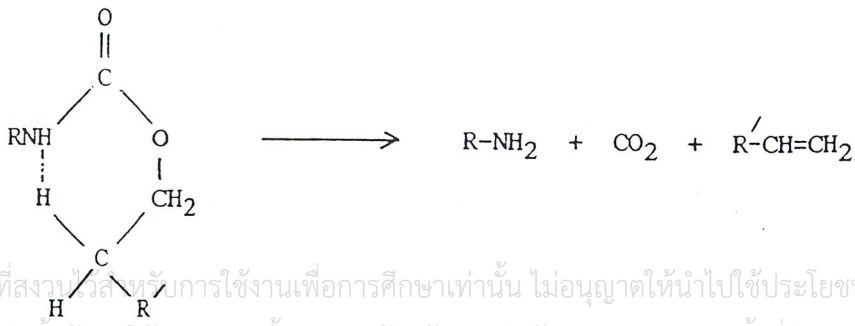
ง. ตัวทำละลาย (solvents)

พอลิยูรีเทนที่เตรียมได้หากมีจุดหลอมตัวมากกว่า 200°C จะยากแก่การเตรียมโดยวิธีการเกิดพอลิเมอร์แบบหลอมเหลว (melt polymerization) เพราะว่าพันธะยูรีเทนไม่เสถียรเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 220°C การสลายของยูรีเทนที่เกิดจากไอโซไซยาเนตกับแอลกอฮอล์ อาจเป็น

- แตกตัวกลับไปเป็นไอโซไซยาเนตและแอลกอฮอล์

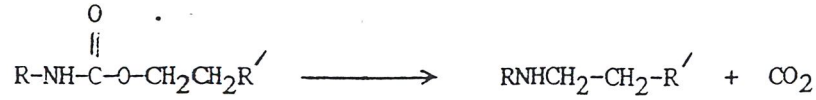


- แตกตัวกลายเป็นอะมีนปฐมภูมิ คาร์บอนไดออกไซด์และโอเลฟิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หรือแตกตัวกลายเป็นอะมีนทุติยภูมิและคาร์บอนไดออกไซด์



หรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หมู่ไอโซไซยาเนตอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ซึ่งจะทำให้เสียสมดุลไป เช่น อาจเกิดไตรเมอไรเซชันหรือเกิดอัลโลฟาเนต (allophanate) ได้

ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง จึงมักเตรียมพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก คือ น้อยกว่า 120°C และเป็นแบบการเกิดพอลิเมอร์แบบสารละลาย (solution polymerization) ซึ่งพบว่าการเลือกตัวทำละลาย มีความสำคัญมากในการเตรียมพอลิยูรีเทน (ตารางที่ 2.5) การที่จะได้พอลิยูรีเทนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักจะต้องเลือกใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิยูรีเทนที่เกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulfoxide) N- เมทิลไพโรลิโดน และซัลโฟเลน เป็นต้น

**ตารางที่ 2.5** อิทธิพลของตัวทำละลายในการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีนไกลคอล และไดเฟนิลเมเทนไดไอโซไซยาเนต [9]

| Solvent | Yield, % | $\eta_{inh}$ | Polymer solubility |
|---|---|---|---|
| Xylene | 33 | 0.06 | Precipitates at once |
| Perchloroethylene | 62 | 0.12 | Precipitates at once |
| Chlorobenzene | 100 | 0.17 | Precipitates at once |
| Methyl isobutyl ketone | 88 | 0.23 | Precipitates at once |
| *sym*-Tetrachloroethane | 100 | 0.36 | Precipitates slowly |
| Nitrobenzene | 81 | 0.35 | Precipitates after 30 min |
| Dimethyl sulfoxide | 98 | 0.69 | Soluble |
| Tetramethylene sulfone | 100 | 0.76 | Soluble |
| Dimethyl sulfoxide/methyl isobutyl ketone, 50/50 | 100 | 1.05 | Soluble |

จ. สารช่วยให้เกิดฟอง (blowing agent)

พอลิยูรีเทนมักนำไปใช้ทำโฟม ทั้งโฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็ง สารช่วยให้เกิดฟองจึงเป็นสารเติมแต่งที่สำคัญในการทำโฟม โดยสารช่วยให้เกิดฟองจะทำให้พอลิเมอร์เกิดรูพรุน (pores) ได้ สารช่วยให้เกิดฟองที่นิยมใช้ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ และของเหลวที่ระเหยง่าย (volatile liquids) ที่มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) สูงๆ แต่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น ฟลูออรีเนตอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (fluorinated aliphatic hydrocarbon) (ตารางที่ 2.6)

**ตารางที่ 2.6** สมบัติของสารช่วยให้เกิดฟอง [9]

| สารช่วยให้เกิดฟอง | น้ำหนักโมเลกุล | ความหนาแน่น ($g/cm^3$) | จุดเดือด ($^oC$) |
|---|---|---|---|
| Cyclohexane | 84.00 | 0.774 | 80.8 |
| Trichloroethylene | 131.40 | 1.466 | 87.2 |
| 1,2 Dichloroethane | 98.97 | 1.245 | 83.5 |
| 1,1,2-Trichlorotri-fluoroethane | 187.39 | 1.565 | 47.6 |
| Acetone | 58.08 | 0.785 | 56.2 |

การเกิดฟองในการเตรียมพอลิยูรีเทน มักอาศัยจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตและน้ำ หรือโดยการเติมสารช่วยให้เกิดฟองจำพวกฟลูออรีเนตไฮโดรคาร์บอน แต่เนื่องจากสารตัวนี้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศอย่างมาก ปัจจุบันจึงมักใช้สารหรือของเหลวระเหยง่ายอื่นๆ แทน

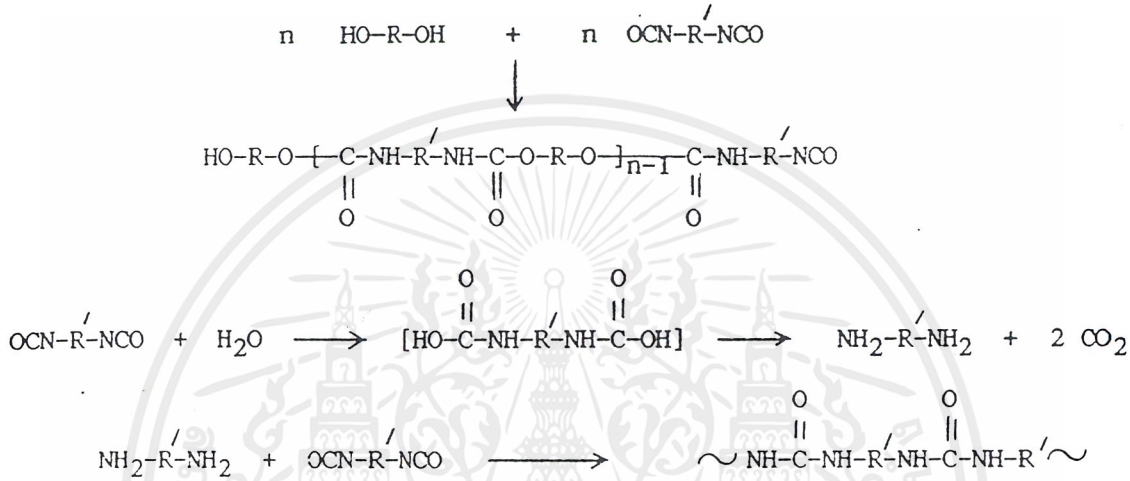
การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน ขั้นตอนการเกิดฟองหรือก๊าซ จะเกิดพร้อมกับการเกิดพอลิยูรีเทน (คือการพอลิเมอไรเซชัน) เลย ดังนั้นจะต้องให้ปฏิกิริยาทั้งสองสมดุลกัน คือต้องให้ฟองก๊าซติดอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์ (polymer matrix) ถ้าการเกิดฟองก๊าซเร็วเกินไป จะทำให้การพองตัวของโฟมไม่ถาวร คือจะยุบลงมาได้ เนื่องจากการพอลิเมอไรเซชันยังไม่ได้สร้างพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะกักก๊าซเหล่านี้ไว้ได้ แต่ถ้าให้พอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นเร็วเกินไป โฟมก็จะไม่เกิดการพองตัว บางครั้งจึงต้องเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เช่น ซิลิโคน-พอลิอัลคิลีนออกไซด์บล็อกโคพอลิเมอร์ (silicone-polyalkylene block copolymer) ด้วยเพื่อทำให้โฟมเสถียร (foam stabilizer) เมื่อพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ยังไม่แข็งแรง (weak) พอ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 โฟมยืดหยุ่นและโฟมแข็ง

ก. โฟมยืดหยุ่น (flexible foams)

การผลิตโฟมยืดหยุ่นจะประกอบด้วยการใช้ไดไอโซไซยาเนต พอลิออล์ และใช้น้ำเป็นสารช่วยให้เกิดฟอง



โดยจะให้พอลิออล์ทำปฏิกิริยากับไดไอโซไซยาเนตที่มากเกินพอ จนกระทั่งกลายเป็นพรีพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อน แล้วจึงเติมน้ำ ตัวเร่ง และสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไป ไดไอโซไซยาเนตที่นิยมใช้เตรียมโฟมยืดหยุ่น คือ โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต พอลิออล์ที่ใช้อาจเป็นพอลิอีเทอร์หรือพอลิเอสเทอร์ก็ได้ ส่วนใหญ่โดยประมาณ 80% ของโฟมยืดหยุ่นจะเตรียมจากพอลิอีเทอร์เพราะทนต่อการแตกตัวด้วยน้ำ (hydrolysis) ได้ดีกว่า แต่พอลิเอสเทอร์โฟมจะทนต่อตัวทำละลายต่างๆ ได้มากกว่า

ข. โฟมแข็ง (rigid foams)

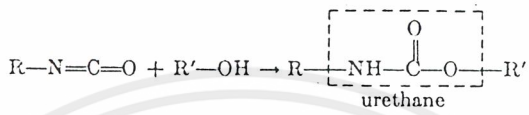
การผลิตโฟมแข็งก็เหมือนกับการผลิตโฟมยืดหยุ่นแต่จะแตกต่างกันตรงระดับการเชื่อมต่อ (degree of cross-linking) โฟมแข็งจะมีการเชื่อมต่อมากกว่าโฟมยืดหยุ่น และส่วนใหญ่จะเตรียมจากพอลิอีเทอร์ และมักจะเติมสารช่วยให้เกิดฟอง เช่น ฟลูออโรคาร์บอนและคลอโร-คาร์บอน เช่น เมทิลีนไดคลอไรด์

โฟมพอลิยูรีเทนมีข้อดีกว่าโฟมทั่วๆ ไป คือ มีสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ต่ำ ทนต่อความร้อน (thermal resistance) ดีมาก ไอซึมผ่าน (vapor permeability) ต่ำ น้ำหนักเบา และผลิตได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

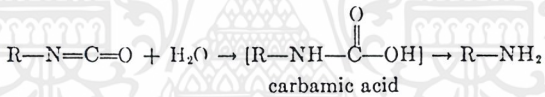
### 2.1.3 ปฏิกิริยาพื้นฐานในการเกิดพอลิยูรีเทน

ปฏิกิริยาในการเกิดพอลิเมอร์ยูรีเทนที่สำคัญมี 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนต และสารประกอบที่มีไฮดรอกซิลเป็นส่วนประกอบ และปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานสำหรับการเกิดหมู่ยูรีเทน และอาจพิจารณาได้จากปฏิกิริยาลูกโซ่ สำหรับปฏิกิริยาอย่างง่ายๆ ได้นำเสนอโดยสารประกอบแบบมอนอฟังก์ชันนอลดังสมการที่ 2.1



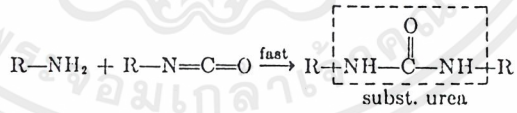

(2.1)

ปฏิกิริยาที่สองใช้สำหรับการเกิดโฟมของพอลิเมอร์ยูรีเทน ในการผลิตโฟมแบบยืดหยุ่นโดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกพร้อมกันกับการเกิดของหมู่ยูเรียที่ใช้แทนที่ ขั้นตอนแรกของปฏิกิริยานี้เป็นการเกิดกรดคาร์บามิกที่ไม่เสถียร (unstable carbamic acid) ที่แตกตัวเพื่อก่อตัวเป็นเอมีน และคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการที่ 2.2



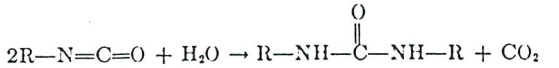

(2.2)

เอมีนจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตที่เติมลงไปเพื่อก่อตัวเป็นยูเรียที่ใช้แทนที่ ตามสมการที่ 2.3 ปฏิกิริยาโดยรวมนำเสนอโดย

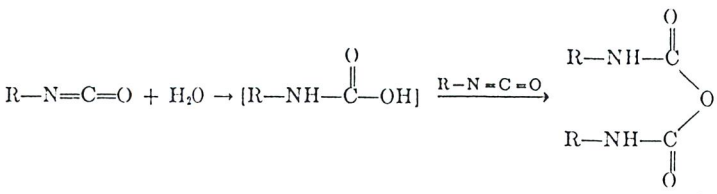



(2.3)

สมการที่ 2.4 แสดงกลไกของการเปลี่ยนแปลง ที่ให้การก่อตัวของกรดคาร์บามิกแอนไฮไดรด์ตามด้วยการแตกตัวไปเป็นยูเรียที่ใช้แทนที่ และคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการที่ 2.5-2.6

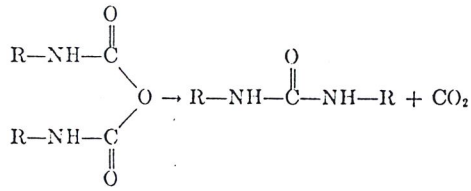



(2.4)



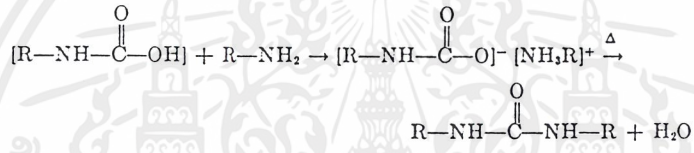

(2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(2.6)

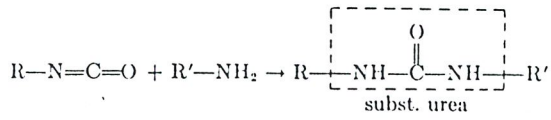
ปฏิกิริยาอีกหนึ่งปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นในบางขอบเขต คือ การเกิดเกลือของเอไมด์ของกรดคาร์บามิกที่แตกตัวภายใต้ความร้อนเพื่อให้น้ำ และยูเรีย ตามสมการที่ 2.7



(2.7)

ปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการแก้ไขความชื้นของสารเคลือบไอโซไซยาเนตชนิดหนึ่งส่วน (one-component isocyanate-terminated coating) นอกจากนี้ ยังดึงจุดที่สำคัญของการใช้งานส่วนประกอบที่แห้งอย่างสมบูรณ์แบบในการเกิดของสารเคลือบผิว อีลาสโตเมอร์ที่เป็นของแข็ง และสารเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยหมู่ที่ไม่มีไอโซไซยาเนต นำมาใช้ในการหลีกเลี่ยงการเกิดฟองที่ไม่ต้องการที่มาจากคาร์บอนไดออกไซด์

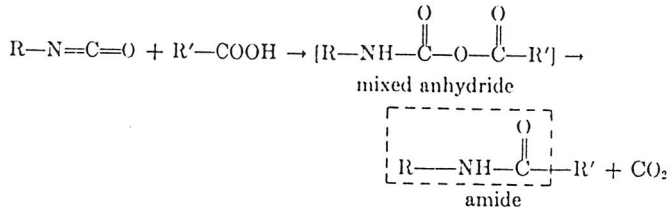
อีกปฏิกิริยาหนึ่ง จะเกิดขึ้นระหว่างไอโซไซยาเนต และหมู่ฟังก์ชันที่มีไฮโดรเจนประกอบอยู่ ซึ่งได้มีการนำเสนอเป็นวัตถุดิบของยูรีเทนบางชนิด ตามปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.8 นี้ โดยปฏิกิริยานี้เป็นของค่าเฉพาะ (particular value) ในการแผ่ขยายของโซ่ออกไปของ isocyanate-terminated prepolymer เพื่อที่จะก่อตัวเป็นอีลาสโตเมอร์ของยูรีเทน-ยูเรีย




(2.8)

ปฏิกิริยาของไอโซไซยาเนตกับกรดคาร์บอกซิลิก มักจะดำเนินไปกับการเกิดของแอนไฮไดรด์ผสม (mixed anhydride) ตามด้วยการแตกตัวให้กรดเอไมด์ ที่สอดคล้องกับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ตามสมการที่ 2.9

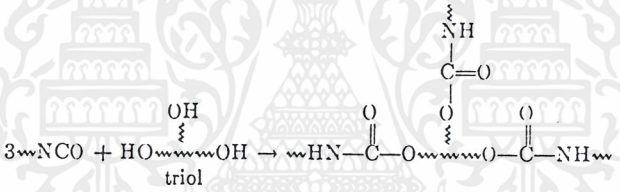
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




(2.9)

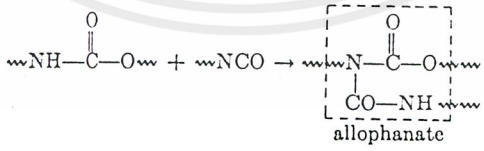
นอกจากนี้ ปฏิกิริยาเหล่านี้อาจจะมีการแทนที่ของจำนวนของปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามพันธะ (crosslinking reaction) ได้

ปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามพันธะที่ธรรมดาที่สุด มาจากการใช้พอลิออลที่มีค่าฟังก์ชันนอลลิตี้เป็น 3 หรือมากกว่า การก่อตัวของพันธะเชื่อมข้ามของยูรีเทน (urethane crosslink) ในปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตเป็นไปตามตัวอย่าง ในสมการที่ 2.10

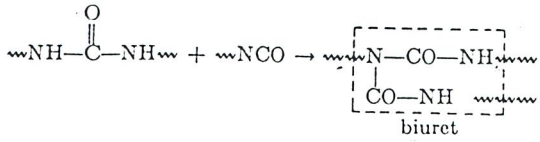



(2.10)

ที่ elevated temperature ( 100 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า) หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าในการที่จะมีหมู่ยูรีเทนที่แน่นอนที่ทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตในปริมาณมาก เพื่อก่อตัวเป็นร่างแหอัลโลฟาเนต (allophanate linkage) ตามสมการที่ 2.11 ในทำนองเดียวกัน หมู่ยูเรียก็ทำปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยาเนต เพื่อให้ผลเป็นร่างแหไบยูเรต (biuret linkage) ตามสมการที่ 2.12




(2.11)



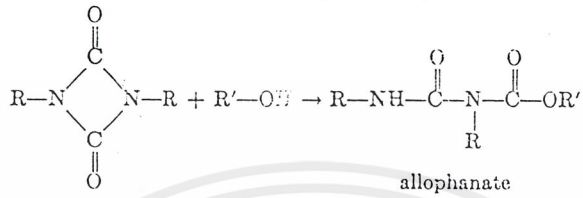

(2.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

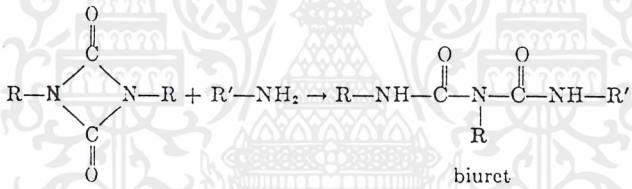


อัลโลฟาเนตอาจเกิดการก่อตัวขึ้นในปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ กับไดเมอร์ของอะโรแมติกไอโซไซยาเนตตามสมการที่ 2.13 ถึงแม้ว่าปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปอย่างช้า แต่ก็สามารถเพิ่มขึ้นเป็น 1000 เท่าได้โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ไตรเอทิลเอมีน



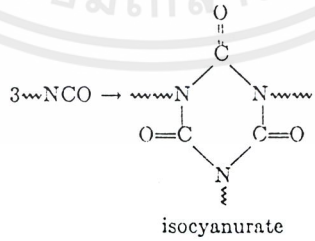

(2.13)

ไอโซไซยาเนตไดเมอร์ทำปฏิกิริยากับเอมีน จะให้ไบยูเรตที่สอดคล้องกัน ตามสมการที่ 2.14




(2.14)

ปฏิกิริยาการเชื่อมข้ามพันธะอีกปฏิกิริยาหนึ่ง คือ การเกิดไตรเมอร์ ที่นำไปสู่การเกิดวงแหวนของไอโซไซยาเนต คือ ปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.15




(2.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45682

## 2.2 การถ่วงการติดไฟของโฟมพอลิยูรีเทน [1]

### 2.2.1 กระบวนการเผาไหม้

การเผาไหม้ของโฟมพอลิยูรีเทนอาจจะพิจารณาได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

- **ขั้นตอนที่ 1**

เมื่อโฟมพอลิยูรีเทนได้รับความร้อนจากแหล่งกำเนิดภายนอก จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากโฟมพอลิยูรีเทนมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทำให้บริเวณผิวที่สัมผัสกับความร้อนโดยตรงจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความร้อนสามารถส่งผ่านไปยังชั้นที่อยู่ต่ำลงไปของโฟมได้ไม่มาก โฟมที่มีความหนาแน่นสูงจะร้อนช้ากว่าโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ เพราะมีค่าความร้อนจำเพาะต่อหน่วยปริมาตรมากกว่า และกระจายความร้อนออกไปได้เร็วกว่า

- **ขั้นตอนที่ 2**

เมื่ออุณหภูมิของโฟมพอลิยูรีเทนสูงถึงจุดที่เริ่มแตกตัว จะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ 4 ประเภท ได้แก่ ก๊าซที่ลุกติดไฟได้ ก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ อนุภาคของแข็ง (ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์) และ carbonaceous char

สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวจะเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของพอลิเมอร์ ระดับอุณหภูมิ อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การดูดความร้อน การคายความร้อน และองค์ประกอบที่ระเหยได้ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ differential thermal analysis, thermo-gravimetric-analysis และ time-of-flight mass spectrometer analysis ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยขององค์ประกอบทางเคมี อุณหภูมิ และอัตราความร้อน มีผลต่อสารผลิตภัณฑ์ที่ได้อย่างมาก

ก๊าซที่ลุกติดไฟได้ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ กรดอินทรีย์ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนฮาไลด์ การเผาไหม้ของพอลิเอสเทอร์จะทำให้เกิดอะซิตาลดีไฮด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ การเผาไหม้ของพอลิอีเทอร์จะทำให้เกิดอะซิตาลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพีน และไดโพรพิลอีเทอร์ เนื่องจากพอลิเอสเทอร์ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนต่ำ และอัตราส่วนระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนสูงกว่า คือมักจะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ ดังนั้นโฟมพอลิเอสเทอร์-ยูรีเทน(polyester-urethane foam) จึงมีความต้านทานไฟและหยุดการติดไฟได้ด้วยตัวเองมากกว่าโฟมพอลิอีเทอร์-ยูรีเทน (polyether-urethane foam) อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนของอะโรแมติกไอโซไซยาเนตทำให้เกิดก๊าซที่ลุกติดไฟได้ในปริมาณน้อย และความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ต่ำ จึงช่วยให้มีคุณสมบัติความต้านทานไฟที่ดี

พอลิเมอริกพอลิอะริลไอโซไซยาเนต (Polymeric polyaryl isocyanate) มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดส่วนที่เป็น carbonaceous residue มากกว่าโทลูอีนไดไอโซไซยาเนตซึ่งระเหยเป็นไอได้ง่าย ดังนั้นการใช้พอลิเมอริกพอลิอะริลไอโซไซยาเนตจึงช่วยให้มีคุณสมบัติความต้านทานไฟที่ดี

- **ขั้นตอนที่ 3**

เกิดการลุกติดไฟของก๊าซที่ลุกติดไฟได้โดยที่มีออกซิเจนหรือตัวออกซิไดซ์ สภาวะของการลุกติดไฟขึ้นกับแหล่งการจุดติดไฟภายนอก อุณหภูมิ และองค์ประกอบของก๊าซ

- **ขั้นตอนที่ 4**

ความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนมากขึ้น และการที่ก๊าซร้อนขยายตัวทำให้มีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนมากขึ้น และเมื่อส่วนที่เป็นของแข็งได้รับความร้อนก็จะเกิดการเปล่งแสงของวัตถุที่ร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีด้วย

- **ขั้นตอนที่ 5**

ความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ไปยังส่วนที่อยู่ถัดไป ทำให้เกิดการแตกตัวและการจุดติดไฟต่อๆ ไป เปลวไฟจึงแพร่กระจายออกไป

### 2.2.2 สารถ่วงการติดไฟ (Flame retardants)

การถ่วงการติดไฟจะทำได้โดยใช้กลไกต่างๆ เพื่อขัดขวางกระบวนการเผาไหม้ ในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือในหลายขั้นตอน

อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในขั้นตอนที่ 1 สามารถลดได้โดยการเติมสารเติมแต่งซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะสูง หรืออาจใช้การเคลือบ เพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของโฟมจะต้องคำนึงถึงสมบัติของโฟม เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะที่เปลี่ยนไปด้วย การดูดความร้อนในระหว่างการเผาไหม้สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการเติมสารประเภทไฮเดรตอนินทรีย์ (inorganic hydrate) ซึ่งต้องใช้พลังงานในการดีไฮเดรชัน หรืออาจใช้สารประเภทอื่นซึ่งมีคุณสมบัติดูดความร้อนในระหว่างการแตกตัว สารจำพวก aromatic-based พบว่า มีการจุดติดไฟได้ยากกว่าสารจำพวก carbohydrate-based

ในขั้นตอนที่ 2 ของการเผาไหม้จะต้องพยายามให้เกิด char และก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ อาจทำได้โดยการใช้พอลิเมอริกพอลิอะริลไอโซไซยาเนตหรือใช้พอลิเอสเทอร์มากกว่าที่จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิอีเทอร์ หรือเพิ่มจำนวนของไฮดรอกซิลเพื่อให้มีปริมาณการใช้อะโรมาติกไอโซไซยาเนตมากขึ้น

การปรับปรุงการถ่วงการติดไฟในระหว่างขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการเผาไหม้ โดยทั่วไป จะทำได้โดยใช้สารถ่วงการติดไฟ ได้แก่ สารประกอบฟอสฟอรัส - ฮาโลเจน สารประกอบโบรอน - แอนติโมนีก็ใช้เป็นสารถ่วงการติดไฟเช่นกัน แต่ไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก อาจเป็นเพราะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า และมักจะอยู่ในรูปที่ nonreactive (ปกติจะอยู่ในรูปของแข็ง) ในขณะที่สารประกอบฟอสฟอรัส - ฮาโลเจนสามารถผสมเป็นสารในรูปของเหลวได้

สารประกอบฟอสฟอรัสทำให้เกิดส่วนของ char มากขึ้น โดยเร่งปฏิกิริยาการเกิดคาร์บอน สารประกอบฮาโลเจนจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (free-radical) ในการแตกตัวของพอลิเมอร์ไปเป็นก๊าซที่ลุกติดไฟได้ นอกจากนั้น ยังเกิดเป็นไฮโดรเจนฮาไลด์ซึ่งไม่สามารถลุกติดไฟได้เป็นตัวช่วยเจือจางในวัฏภาคก๊าซ

ในขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการเผาไหม้มีการเกิดขึ้นของวัฏภาคก๊าซ พฤติกรรมในขั้นตอนที่ 3 จึงขึ้นอยู่กับขั้นตอนที่ 2 แอมโมเนียมคาร์บอเนตเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของสารเติมแต่งซึ่งมีหน้าที่ในการทำให้เกิดก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ ถ้าสามารถจำกัดปริมาณก๊าซที่ลุกติดไฟได้ให้ต่ำกว่าจุดที่จะทำให้เกิดการลุกติดไฟจนกระทั่งมีการเจือจางไปในบรรยากาศและเย็นลง การจุดติดไฟก็จะไม่เกิดขึ้น การยับยั้งการเกิดไอ เช่น การใช้การเคลือบ ปกคลุม หรือการเกิดของ char สามารถลดโอกาสที่จะเกิดการจุดติดไฟได้

พฤติกรรมในขั้นตอนที่ 4 ก็ขึ้นอยู่กับขั้นตอนที่ 2 เช่นเดียวกัน เนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้ขึ้นกับก๊าซที่เกิดขึ้น ก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ที่เกิดขึ้นจะช่วยลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยการดูดซึมความร้อนไว้ ความร้อนที่จะทำให้เกิดการแพร่ของเปลวไฟจึงลดลง การเร่งปฏิกิริยาของการเกิดคาร์บอนในรูปของแข็ง (เขม่า) จะช่วยลดความร้อนจากการเผาไหม้ และการเผาไหม้ได้คาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความร้อนจากการเผาไหม้ลดลง ไฮโดรเจนฮาไลด์มีผลกระทบกับวัฏภาคก๊าซในปฏิกิริยาการเผาไหม้ และยังช่วยเป็นตัวช่วยเจือจางและดูดซึมความร้อนไว้

เปลวไฟแพร่กระจายออกไปเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนในขั้นตอนที่ 5 ของกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เกิดการแตกตัวและการจุดติดไฟต่อๆไป การใช้การปกคลุมหรือการเกิดชั้นฉนวนของ carbonaceous residue สามารถกันความร้อนที่จะผ่านลงไปถึงเนื้อโฟมที่อยู่ถัดไป สารประกอบโบรมีนจะทำให้เกิดชั้นก๊าซที่เป็นฉนวนระหว่างเนื้อโฟมกับบริเวณที่เกิดการเผาไหม้

สารถ่วงการติดไฟที่ใช้กับโฟมพอลิยูรีเทนโดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ reactive และ nonreactive สารถ่วงการติดไฟประเภท reactive จะมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการเกิดโฟมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นส่วนหนึ่งของพอลิเมอร์ โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นของเหลว ฟอสฟอรัสปกติจะอยู่ในรูปฟอสเฟต ฟอสไฟต์ หรือฟอสโฟเนตพอลิออล และฮาโลเจนจะอยู่ในรูปของอนุพันธ์ของโบรมีนหรือคลอรีน มีการผลิตพอลิออลที่มีส่วนผสมของรีแอคทีฟฟอสฟอรัสเพื่อการค้า เช่น hexa funtional phosphorus-containing polyol ของยูเนียนคาร์ไบด์คอร์เปอร์เรชันภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Niax Polyol RO-350 สารถ่วงการติดไฟประเภท nonreactive จะไม่มีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการเกิดโฟม และปกติจะใช้ปริมาณของสารมากกว่าประเภท reactive ตัวอย่างหนึ่งของสารประเภท nonreactive ได้แก่ tris (2-chloroethyl) phosphate โบรอน แอนติโมนีเป็นสารถ่วงการติดไฟประเภท nonreactive ซึ่งยากที่จะทำให้อยู่ในรูปสารที่เกิดเป็นพอลิเมอร์ได้

มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการถ่วงการติดไฟในโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งมากกว่าชนิดยืดหยุ่น การใช้สารถ่วงการติดไฟในโฟมพอลิยูรีเทนทั้ง 2 แบบต่างมีผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของโฟม การใช้สารถ่วงการติดไฟในโฟมชนิดยืดหยุ่นก่อให้เกิดผลเสียต่อ indentaton load deflection (ILD) และคุณสมบัติด้านการกดอัด การใช้สารหน่วงการติดไฟในโฟมชนิดแข็งทำให้ความเสถียรทางมิติและความเสถียรทางทางอุณหภูมิลดลง

ประสิทธิภาพของสารถ่วงการติดไฟขึ้นอยู่กับรูปแบบของสาร และองค์ประกอบของพอลิเมอร์ แต่ได้มีการศึกษาวิจัยโดยทดสอบสำหรับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งทั่วไป การใช้ฟอสฟอรัสจะมีประสิทธิภาพดีจนถึง 1.0-1.5 % โดยน้ำหนักในสูตรรวม การเพิ่มปริมาณการใช้มากกว่านี้จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 1% ของฟอสฟอรัสจะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับ 5-7% ของโบรมีน หรือ 7-8% ของคลอรีนในกรณีที่ไม่มีพันธะแบบอะโรแมติก สารประกอบคลอรีนประเภทอะโรแมติกจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารประกอบอื่นๆ ที่มีปริมาณคลอรีนเท่ากัน

### 2.2.3 แนวทางในการพิจารณาคุณสมบัติการติดไฟ

การติดไฟของโฟมพอลิยูรีเทนอาจมองได้ใน 3 แง่คือ

- **อันตรายจากไฟ** คือ การที่ไฟได้ทำลายชีวิตและทรัพย์สิน
- **ความเสียหายจากไฟ** คือ การก่อเกิดความสูญเสียทางด้านการเงิน
- **การป้องกันไฟ** คือ การลดความอันตราย ความเสียหายต่อวัสดุอื่นๆ ในระบบ

กรณีตัวอย่างที่ได้พิจารณาถึงแง่คิดทั้ง 3 นี้ เช่น กรณีการใช้โฟมพอลิยูรีเทนเป็นฉนวนของอุปกรณ์ในหน่วยผลิตสารเคมี ในแง่ของอันตรายจากไฟ ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยจะพิจารณาว่าวัสดุนั้นจุดติดไฟได้ง่ายหรือไม่ แพร่กระจายเปลวไฟไปสู่ส่วนอื่นหรือหน่วยอื่นๆ หรือไม่ ทำให้เกิดเชื้อเพลิงแก่เปลวไฟหรือไม่ ทำให้เกิดควันซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการดับไฟหรือไม่ และทำให้เกิดสารที่เป็นอันตราย เช่น ของเหลวที่ลุกไหม้หรือก๊าซพิษหรือไม่ ในแง่ของความเสียหายจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟ จะต้องพิจารณาว่าจะต้องใช้งบประมาณเท่าใดในการจัดเก็บวัสดุส่วนที่ถูกทำลาย ติดตั้งวัสดุใหม่แทน และค่าความเสียหายเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไป ในแง่ของการป้องกันไฟ วิศวกรจะทำการพิจารณาว่าจะต้องใช้วัสดุมากเท่าใด เพื่อที่จะสามารถลดความอันตราย ความเสียหายต่ออุปกรณ์และวัสดุนั้นสามารถชะลอหรือป้องกันไฟและความร้อนที่จะเข้าไปถึงอุปกรณ์ได้หรือไม่

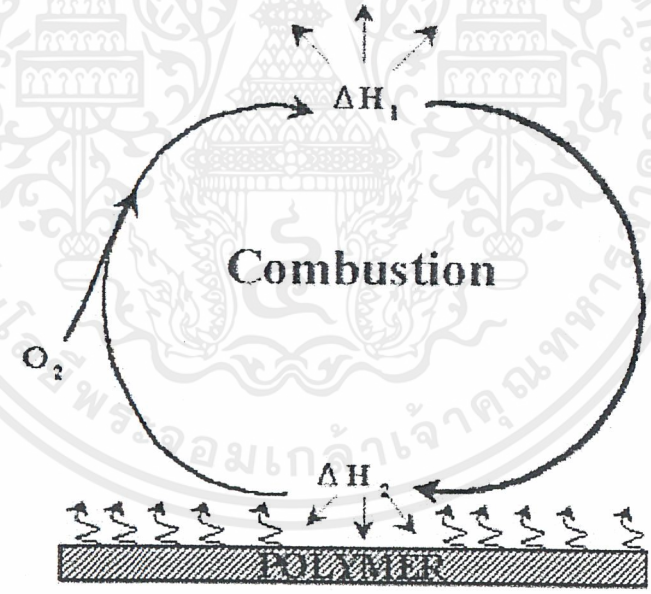
บางครั้งคำถามเกี่ยวกับโฟมพอลิยูรีเทนเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดความต้องการที่ขัดแย้งกัน aromatic-based polyether สามารถลดความง่ายต่อการจุดติดไฟได้ แต่ทำให้เกิดควันมากขึ้น พอลิเมอริกพอลิอะริลไอโซไซยาเนตทำให้เกิด char มากขึ้น แต่ทำให้เกิดควันมากกว่าโทลูอีนไดไอโซไซยาเนต สารถ่วงการติดไฟจำพวกฟอสฟอรัส และฮาโลเจนจะช่วยลดการแพร่กระจายของเปลวไฟที่ผิวแต่จะลดความต้านทานต่ออุณหภูมิสูง และก่อให้เกิดควันและสารพิษ การใช้การเคลือบสามารถช่วยป้องกันไฟให้กับเนื้อวัสดุที่อยู่ถัดลงไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# สารถ่วงการติดไฟ

## 3.1 ไฟและสารถ่วงการติดไฟ [2]

องค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการที่จะทำให้พอลิเมอร์เกิดการลุกไหม้ได้นั้น ได้แก่ ความร้อน เชื้อเพลิง และออกซิเจน ความร้อนก่อให้เกิดก๊าซที่สามารถลุกติดไฟได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิเมอร์ อัตราส่วนที่พอเหมาะระหว่างก๊าซเหล่านี้กับออกซิเจนนำไปสู่การลุกติดไฟของพอลิเมอร์ การเผาไหม้ก่อให้เกิดความร้อนซึ่งส่วนหนึ่งแผ่ออกไป ($\Delta H_1$) และอีกส่วน




**รูปที่ 3.1** ความร้อนจากการเผาไหม้

หนึ่งย้อนกลับเข้ามา($\Delta H_2$) ความร้อนส่วนที่ย้อนกลับเข้ามาจะทำให้พอลิเมอร์แตกตัวและเกิดการเผาไหม้ต่อไปอีก เพื่อที่จะกำจัดวัฏจักรของการเผาไหม้นี้ องค์ประกอบหนึ่งหรือหลายๆ องค์ประกอบของวัฏจักรจึงต้องถูกขจัดออกไป สารถ่วงการติดไฟ (flame retardant) จะทำหน้าที่ยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือขัดขวางกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งอาจทำในขั้นตอนใดๆ หรือในหลายๆ ขั้นตอน เช่น การได้รับความร้อน การแตกตัว การลุกติดไฟ การแพร่ของเปลวไฟ การเกิดควัน ฯลฯ

สารเติมแต่ง(additive) สามารถทำให้เกิดเป็นชั้นป้องกันที่มีการนำความร้อนต่ำ ซึ่งจะช่วยลดการนำความร้อน ($\Delta H_2$) จากแหล่งความร้อนไปสู่วัสดุ ทำให้ลดอัตราการแตกตัวของพอลิเมอร์ และทำให้เชื้อเพลิงของเปลวไฟลดลงด้วย ซึ่งเป็นหลักการของสารเติมแต่งประเภทอินทูเมสเซนส์ (intumescence) สารเติมแต่งจำพวกฟอสฟอรัสก็ทำงานในลักษณะเดียวกันนี้ คือการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้เกิดเป็นชั้นของสารประกอบพอลิฟอสฟอริก ซึ่งมีความเสถียรต่ออุณหภูมิ

ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารเติมแต่งสามารถแตกตัวแบบดูดความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าที่จะสามารถเกิดกระบวนการเผาไหม้ต่อไปได้ สารเติมแต่งที่ทำงานโดยใช้หลักการดังกล่าว ได้แก่ สารประเภทเมทัลไฮดรอกไซด์ (metalhydroxide) ต่างๆ ซึ่งประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ในพอลิเมอร์

การใช้สารประกอบบางประเภททำให้เกิดก๊าซเฉื่อย ซึ่งจะเป็นตัวเจือจางเชื้อเพลิงในวัฏภากของแข็งและก๊าซ ดังนั้นการจุดติดไฟจึงถูกหน่วงให้ช้าลง

มีปฏิกิริยาอยู่ 3 ประเภทที่สามารถเกิดขึ้นได้ใน condensed phase ได้แก่

- สารถ่วงการติดไฟสามารถเร่งการแตกสลายของพอลิเมอร์ เกิดการไหลของพอลิเมอร์และถูกแยกออกไปจากเปลวไฟ
- สารถ่วงการติดไฟสามารถทำให้เกิดชั้นคาร์บอน (charring) บนผิวของพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของสารถ่วงการติดไฟทำให้เกิดพันธะคู่ในพอลิเมอร์ ปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดชั้นคาร์บอนขึ้น
- อาจใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารเติมแต่งด้วยกันเอง แทนที่จะใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารถ่วงการติดไฟกับพอลิเมอร์เป็นตัวทำให้เกิดเป็นชั้นป้องกันขึ้น

การทำงานสารถ่วงการติดไฟหรือสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของสารเหล่านี้ในวัฏภาคก๊าซได้ ได้แก่ การขัดขวางกลไกแรดิคอลของกระบวนการเผาไหม้ซึ่งเกิดขึ้นในวัฏภาคก๊าซ กระบวนการคายความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในเปลวไฟก็จะหยุดลง ระบบจะเย็นลง ก๊าซที่สามารถลุกติดไฟได้ก็จะลดลงและในที่สุดก็จะหมดไป $HO\cdot$ และ $H\cdot$ ซึ่งเป็นแรดิคอลที่มีความไวสูง (high reactive radical) สามารถทำปฏิกิริยากับแรดิคอลอื่นๆ ในวัฏภาคก๊าซ เช่น ฮาโลเจนแรดิคอล $X\cdot$ ซึ่งได้จากการแตกตัวของสารถ่วงการติดไฟ เกิดเป็นแรดิคอลที่ไม่มีความไว (less reactive radical) ซึ่งเป็นการรบกวนจลนศาสตร์ของการเผาไหม้

$$\begin{aligned} R\text{-}X + P\text{-}H &\rightarrow H\text{-}X + R\text{-}P \\ H\text{-}X + H\cdot &\rightarrow H_2 + X\cdot \\ H\text{-}X + OH\cdot &\rightarrow H_2O + X\cdot \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาวิจัย พบว่าประสิทธิภาพลดลงตามลำดับดังนี้ HI > HBr > HCl > HF ส่วนมากมักใช้โบรมีนและคลอรีน เนื่องจากไอโอดีนไม่เสถียรที่อุณหภูมิของกระบวนการ และประสิทธิภาพของฟลูออรีนก็ต่ำเกินไป การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ และต้องคำนึงถึงคุณสมบัติ (ความเสถียร การหลอมละลาย การกระจายตัว ฯลฯ) ของสารถ่วงการติดไฟในสภาวะของกระบวนการ ผลกระทบต่อคุณสมบัติ และความเสถียรในระยะยาวของวัสดุด้วย และสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึง คือ ต้องใช้สารเติมแต่งซึ่งสามารถให้ฮาไลด์ออกมาสู่เปลวไปได้ในช่วงอุณหภูมิเดียวกับที่พอลิเมอร์แตกตัวออกเป็นสารผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถลุกติดไฟได้

วัสดุพอลิเมอร์ซึ่งมีคุณสมบัติถ่วงการติดไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ พอลิเมอร์ประเภทที่ฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ ( PVC, CPVC, FEP, PVDF, ...) และสารเติมแต่งต่างๆ (CP, TBBA, DECA, BEOs, ...) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่วงการติดไฟให้ดียิ่งขึ้น การที่จลนศาสตร์ของการเผาไหม้ได้ถูกรบกวนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

กระบวนการ Diels-Alder cyclisation ทำให้ได้อะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของควันและเขม่า จากผลดังกล่าวจึงเป็นที่ทราบกันดีว่าระบบเหล่านี้ทำให้เกิดการกัดกร่อน ฝุ่นควัน ควันพิษ ระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะลดหรือหลีกเลี่ยงการใช้สารถ่วงการติดไฟซึ่งมีส่วนประกอบของสารประเภทฮาโลเจน ในปัจจุบัน มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารถ่วงการติดไฟชนิดที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบกันอย่างกว้างขวาง เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในประเทศแถบยุโรป

**ตารางที่ 3.1** ปริมาณการใช้สารถ่วงการติดไฟประเภทต่างๆ [2]

| สารถ่วงการติดไฟ | อเมริกาเหนือ | ยุโรป | ญี่ปุ่น | เอเชีย | ปริมาตรรวม ($10^3$ ตัน) |
|---|---|---|---|---|---|
| สารประกอบฮาโลเจน | 79 | 73 | 45 | 49 | 246 (27.1%) |
| สารประกอบฟอสฟอรัส | 46 | 59 | 11 | 17 | 133 (14.7%) |
| แอนติโมนีออกไซด์ | 23 | 20 | 16 | 13 | 72 (8%) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.1** ปริมาณการใช้สารถ่วงการติดไฟประเภทต่างๆ [2] (ต่อ)

| สารถ่วงการติดไฟ | อเมริกาเหนือ | ยุโรป | ญี่ปุ่น | เอเชีย | ปริมาตรรวม ($10^3$ ตัน) |
|---|---|---|---|---|---|
| อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ | 232 | 120 | 42 | 8 | 402 (44.3%) |
| เมทัลไฮดรอกไซด์ | 6 | 11 | 5 | 2 | 24 (2.6%) |
| อื่นๆ | 19 | 6 | 4 | 1 | 30 (3.3%) |
| รวม | 405 | 289 | 123 | 90 | 907 |

## 3.2 ทางเลือกสำหรับการใช้สารถ่วงการติดไฟ [3]

### 3.2.1 สารอินทรีย์

**อลูมิเนียมไตรไฮเดรต (ATH)** : รู้จักในนาม hydrated alumina มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง คือเป็น 43 % โดยปริมาตรของสารเคมีถ่วงการติดไฟทั้งหมด (แต่เป็นเพียง 29 % เมื่อคิดเป็นมูลค่า) มีคุณสมบัติถ่วงการติดไฟได้ดี และยับยั้งควันที่จะเกิดขึ้น ในเปลวไฟจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) แบบดูดความร้อน ซึ่งจะดำเนินการ 2 อย่างไปพร้อมๆ กัน คือ จะดูดซับพลังงานความร้อน และให้ไอน้ำออกมา ซึ่งจะไปเจือจางก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ และไอที่เป็นพิษ โดยทั่วไปแล้ว จะใช้กับพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัวในอุตสาหกรรมการก่อสร้างและในวัสดุหุ้มสายเคเบิล

**อลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์** : สารเคมีนี้จะเริ่มแตกตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 °C ในปฏิกิริยาดูดความร้อนที่ดูดซับพลังงาน 2 kJ/g มีผลให้เกิดการลดลงของอัตราความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ เวลาในการลุกติดไฟ รวมทั้งการแผ่กระจายเปลวไฟที่ผิวด้วย และเป็นตัวยั้งควันที่ดีมาก

**แอนติโมนีไตรออกไซด์** : สารนี้สามารถใช้ร่วมกับสารถ่วงการติดไฟประเภทฮาโลเจนส่วนใหญ่ ไม่เหมาะที่จะใช้ในกรณีที่ต้องการคุณสมบัติความโปร่งแสง งานวิจัยพบว่า ไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์** : มีความสามารถในการถ่วงการติดไฟและยับยั้งการเกิดควัน เสถียรที่อุณหภูมิ 332 °C จึงใช้ได้กับกรณีเทอร์โมพลาสติกต่างๆ ซึ่งอลูมิเนียมไตรไฮเดรตไม่เสถียร อัตราการเกิดควันจะต่ำกว่าสารประเภทที่มีฮาโลเจน ใช้ประโยชน์ในงานปลอกหุ้มสายไฟ พอลิโพรพิลีน พอลิเอไมด์ มีการใช้งานแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์กันอย่างแพร่หลาย ในยุโรปและอเมริกา อาจมีการใช้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์แทนผลิตภัณฑ์จำพวกอลูมิเนียม ถ้าหากราคาอลูมิเนียมสูงขึ้น

**สารประกอบฟอสฟอรัส** : สารประกอบที่มีฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบนั้นมีมากมาย มีทั้งประเภทที่มีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบ และประเภทที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบ โดยสารประกอบประเภทที่มีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อลดปริมาณฮาโลเจนโดยรวม สำหรับประเภทที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบมักจะพบในรูป ฟอสฟอรัสแดง (red phosphorus) ฟอสเฟตอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble inorganic phosphate) แอมโมเนียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble ammonium phosphate) และพอลิฟอสเฟต ออแกโนฟอสเฟต ฟอสฟอเนต และฟอสฟีนออกไซด์

สารประเภทนี้จะถ่วงการติดไฟโดยใช้หลักการอินทูเมสเซนท์ (intumescent principle) ยับยั้งการลุกไหม้ต่อไปของพอลิเมอร์ โดยการช่วยป้องกันความร้อนหรือเปลวไฟ และเป็นฉนวนที่ดีให้แก่พอลิเมอร์

### 3.2.2 สารประกอบฮาโลเจน

ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบประเภทคลอรีนหรือโบรมีน มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่เนื่องจากก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม การใช้สารประกอบประเภทคลอรีนเป็นสารถ่วงการติดไฟจึงลดลงอย่างรวดเร็ว และหันมาใช้สารประกอบประเภทโบรมีนซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางกว่าคลอรีน เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ด้วยสาเหตุที่โบรมีนหนักกว่าและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวระเหยได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง มีการพัฒนาเพื่อใช้งานกับพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง พอลิโอเลฟิน และพลาสติกวิศวกรรม เรซินพอลิสไตรีนที่ใช้การผสมระหว่างสารถ่วงการติดไฟประเภทโบรมีน และแอนติโมนีไตรออกไซด์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ได้อย่างปลอดภัย ฮาโลเจนฟอสเฟตเอสเทอร์ (halogen phosphate ester) เหมาะสำหรับพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน เทอร์โมเซตติงเรซิน ในปัจจุบัน มีการใช้สารประเภทโบรมีนเพิ่มมากขึ้นในพลาสติกทั่วไปและในงานแผงวงจรไฟฟ้า

**สารประกอบพอลิโบรมิเนเตดไดฟีนิลออกไซด์ (PBDO)** : เหมาะสำหรับใช้กับพลาสติกส่วนใหญ่ยกเว้นโฟมพอลิสไตรีน แต่ในอนาคตอาจจะไม่ใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะต่ออากาศจากการเผาขยะพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ไดโบรโมนีโอเพนทิลไกลคอล (DBNPG)** : เป็นสารถ่วงการติดไฟที่ประกอบด้วยอะลิฟาติกโบรมีน (aliphatic bromine) 60 % เรซินที่มี DBNPG จะมีความต้านทานต่อสารเคมีและเปลวไฟสูง การเปลี่ยนสีเนื่องจากอุณหภูมิน้อย และมีความเสถียรต่อแสงที่ดีมาก มักจะใช้กับโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

**ไดโบรโมสไตรีน และอนุพันธ์** : ใช้กับโคพอลิเมอร์ของพอลิโพรพิลีนโดยเฉพาะอะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีน (ABS) และ สไตรีน พลาสติกวิศวกรรมประเภทเทอร์โมพลาสติก เรซินพอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว และโฟมพอลิยูรีเทน ไม่เหมาะที่จะใช้กับพอลิไวนิลคลอไรด์ โฟมพอลิสไตรีน และโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง

**เฮกซะโบรโมไซโคลโดเดเคน (Hexabromocyclododecane)** : ใช้กับพอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง และพอลิโอเลฟิน รวมทั้งโฟมพอลิสไตรีน

**เพนตะโบรโมเบนซิล** : สามารถพอลิเมอไรซ์หรือโคพอลิเมอไรซ์ในเครื่องอัดรีด (extruder) ได้ ผ่านการทดสอบการติดไฟในแนวตั้งตามมาตรฐาน UL-94 V-0 โดยปราศจากการสูญเสียคุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางกลของเรซิน เช่น ไนลอน 6 และ 66, PBT และพอลิคาร์บอเนต

**เตตระโบรโมบิสฟีนอลเอ** : ใช้สำหรับเรซินทั่วไป ยกเว้นพอลิเอไมด์ พอลิไวนิลคลอไรด์ โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งและชนิดยืดหยุ่น

**เตตระโบรโมพาทาลิกแอนไฮไดรด์ และอนุพันธ์** : โดยหลักๆ จะใช้กับเทอร์โมเซตติงเรซินและพอลิยูรีเทน รวมทั้งพอลิไวนิลคลอไรด์ และวัสดุยืดหยุ่นประเภทเทอร์โมพลาสติกด้วย

**เตตระโบรโมนีโอเพนทิลแอลกอฮอล์ (TBNPA)** : ประกอบด้วยอะลิฟาติกโบรมีนมากกว่า 70 % มีความเสถียรดี โดยเฉพาะในด้านอุณหภูมิ น้ำ และแสง ละลายได้ดีในพอลิอีเทอร์พอลิออล เหมาะที่จะใช้กับพอลิยูรีเทน

**ไตรโบรโมฟีนอล และอนุพันธ์** : ใช้กับอะคริโลไนไตรล์-บิวตะไดอีน-สไตรีน สไตรีน พอลิคาร์บอเนต พอลิเอไมด์ โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน และเทอร์โมเซตติงเรซิน แต่ไม่เหมาะกับพอลิโอเลฟินและพอลิไวนิลคลอไรด์

### 3.2.3 ซิงค์บอเรต (Zinc borate)

เสถียรทางอุณหภูมิถึง 290 °C เหมาะสำหรับเรซินพอลิเอสเทอร์ประเภทมีฮาโลเจนเป็นส่วนประกอบที่ทึบแสง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการติดไฟโดยยังคงลักษณะความใส

### 3.2.4 เคมีพื้นผิว (Surface Chemistry) [4]

เคมีพื้นผิว เป็นการใช้สารเติมแต่งเคลือบที่ผิวของพอลิเมอร์ เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนและปกคลุมพื้นผิว ไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาในกระบวนการเผาไหม้ รวมทั้งจะช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยับยั้งควัน และเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ด้วย สารเติมแต่งที่นิยมใช้ ได้แก่ ไซเลน (silane) ไททาเนต (titanate) สเตียเรต (stearate) ซิงค์สแตนเนต (zinc stannate) ซิงค์ไฮดรอกซี (zinc hydroxy) ซิงค์บอเรต (zinc borate) แคลเซียมอะลูมิเนต (calcium aluminate) และแคลเซียมหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต (calcium/magnesium carbonate)

### 3.2.5 เมลามีน (Melamine) [5]

เมลามีนไซยานูเรต (melamine cyanurate : MC) ส่วนมากจะใช้ในโฟมพอลิยูรีเทน DSM ซึ่งเป็นผู้ผลิตเมลามีนรายสำคัญ ผลิตเมลามีนภายใต้ชื่อทางการค้าว่า "Melapur"

เนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการของกระบวนการเผาไหม้ คือ ความร้อน เชื้อ-เพลิง และออกซิเจน สารถ่วงการติดไฟส่วนใหญ่จะทำการขัดขวางองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง แต่ MC จะทำการขัดขวางทั้ง 3 องค์ประกอบโดย ในขั้นแรกจะทำการดูดความร้อน และแตกตัวออกเป็นไอเมลามีน และการเผาไหม้จะทำให้เกิดก๊าซเฉื่อยไนโตรเจนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเจือจางในวัฏภาคก๊าซ และสุดท้ายจะเกิดชั้นคาร์บอน ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันพอลิเมอร์จากการแพร่กระจายของเปลวไฟ

**ข้อเปรียบเทียบระหว่าง เมลามีนและฮาโลเจน [8]**

- **กลไกการทำงานที่แตกต่างกันของสารถ่วงการติดไฟประเภทเมลามีนและฮาโลเจน**

- ฮาโลเจน จะทำงานโดยผ่านทางปฏิกิริยาในวัฏภาคก๊าซ โดยให้แรดิคอล (radical) ของคลอรีนหรือโบรมีนออกมา
- เมลามีน สามารถลดอุณหภูมิของเปลวไฟโดยใช้กลไก Heat sink mechanism การเกิดก๊าซที่ไม่สามารถลุกติดไฟได้ ปฏิกิริยาจำเพาะที่ก่อให้เกิดชั้นป้องกันตามหลักการ Intumescent principle

Heat sink mechanism

กลไกนี้ต้องการดูดซึมพลังงานผ่านทางกระบวนการหลอมละลาย การกลายเป็นไอ และการแตกตัวขององค์ประกอบในสารถ่วงการติดไฟ

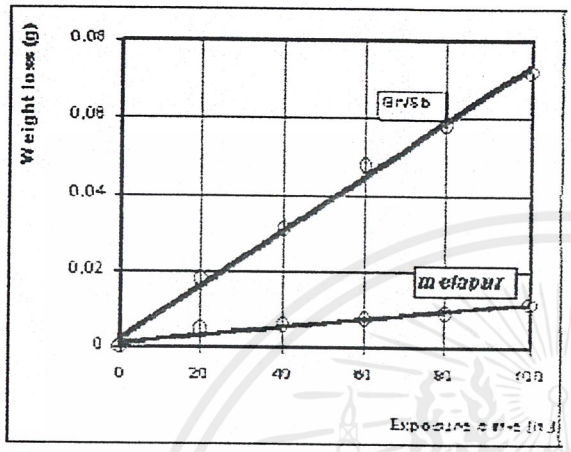
Intumescent principle

สารถ่วงการติดไฟและพอลิเมอร์จะเกิดเป็นชั้นคาร์บอน ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันพอลิเมอร์จากการแพร่กระจายของเปลวไฟ และจะช่วยยับยั้งการแตกตัวของพอลิเมอร์เป็นสารผลิตภัณฑ์ในวัฏ-ภาคก๊าซ และช่วยลดการเกิดควัน

- **พิจารณาใช้สารถ่วงการติดไฟประเภทเมลามีนเมื่อ**

- ต้องการหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนในระหว่างกระบวนการ
- ต้องการหลีกเลี่ยงสภาวะที่เกิดควันหนาแน่นเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**การกัดกร่อน**

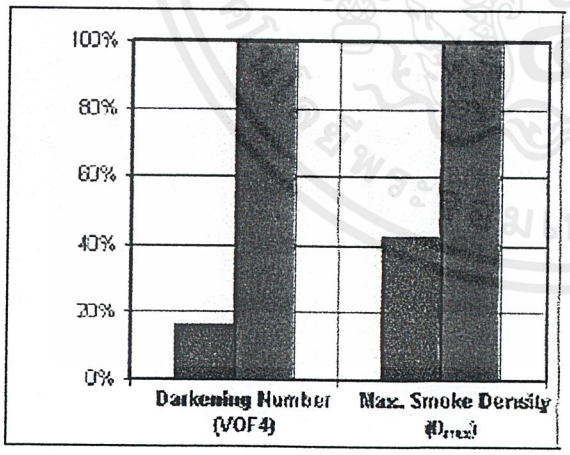
กราฟนี้ได้เปรียบเทียบการกัดกร่อน* ของพอลิเอไมด์ (PA ) บน CrAlNi7 steel สำหรับ :

สารถ่วงการติดไฟประเภทฮาโลเจน (Br/Sb)

สารถ่วงการติดไฟประเภทเมลามีน (melapur)

* ในวัฏภาคหลอมละลาย ที่ 300 °C

**รูปที่ 3.2** การเปรียบเทียบการกัดกร่อนของพอลิเอไมด์บน CrAlNi7 steel




**ระดับการเกิดควัน**

กราฟนี้ได้เปรียบเทียบการเกิดควัน ของพอลิเอไมด์ (PA 66) ชนิดเสริมใยแก้ว

**รูปที่ 3.3** การเปรียบเทียบการเกิดควันของพอลิเอไมด์ (PA 66) ชนิดเสริมใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 แกรไฟต์แบบขยายตัวได้ (expandable graphite) [6]

การที่แกรไฟต์ขยายตัวมากกว่า 100 เท่าของความหนาเดิม ทำให้ชั้นของแกรไฟต์กลายเป็นชั้นฉนวนในลักษณะเดียวกับอินทูเมสเซนท์ ผลึกแกรไฟต์จะประกอบไปด้วยชั้นของระนาบอะตอมคาร์บอน และเนื่องจากไม่มีพันธะโควาเลนต์ระหว่างระนาบ โมเลกุลอื่นจึงสามารถแทรกอยู่ระหว่างระนาบได้ เมื่อแกรไฟต์ที่มีโมเลกุลอื่นแทรกอยู่นี้ (ปกติในทางการค้าจะใช้กรดซัลฟูริกหรือกรดไนตริก) สัมผัสกับความร้อนหรือเปลวไฟ โมเลกุลที่แทรกอยู่จะแตกตัวให้ก๊าซออกมา ชั้นแกรไฟต์ก็จะถูกดันทั้งจากก๊าซและจากการขยายตัวของแกรไฟต์เอง แกรไฟต์ที่ขยายตัวนี้จะมีความหนาแน่นต่ำ ไม่ติดไฟ และเป็นฉนวนกันความร้อน

แกรไฟต์ประเภทนี้สามารถนำไปใช้กับเรซินเทอร์โมพลาสติกและเรซินเทอร์โมเซตติงซึ่งให้คุณสมบัติถ่วงการติดไฟที่ดี ด้วยปริมาณการใช้ไม่มาก ส่วนใหญ่จะใช้กับพอลิเมอร์ประเภทโฟม โดยเฉพาะโฟมพอลิยูรีเทน ข้อจำกัดในการใช้คือ มีสีดำ และนำไฟฟ้า

### 3.2.7 สารประกอบซิลิโคน [6]

สารประเภทนี้จะผลิตชั้นเคลือบป้องกันผิวระหว่างการเผาไหม้ ทำให้อัตราความร้อนที่ปล่อยออกมาลดลง ชั้นเคลือบจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน ป้องกันพลังงานที่จะย้อนกลับสู่พอลิเมอร์ ปริมาณเพียงเล็กน้อยของซิลิคอนในพอลิเมอร์อินทรีย์สามารถรับปรุงประสิทธิภาพ Limitting Oxygen Index (LOI) และทดสอบการติดไฟตามมาตรฐาน UL-94 ของพอลิเมอร์ได้ จากการศึกษาพอลิยูรีเทนที่ถูกปรับปรุงโดยใช้ซิลิโคนจะพบการลดลงอย่างเห็นได้ชัดของอัตราความร้อนที่ปล่อยออกมา

### 3.2.8 สารเติมแต่งแบบใช้ร่วม [7]

การใช้ร่วม (synergy) หมายถึง การรวมส่วนประกอบ 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดแล้วได้ผลที่มากกว่าผลรวมที่คำนวณได้ มีประโยชน์คือ สารเติมแต่งหรือสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิดมีหลักการทำงานที่อาจเหมือนกัน หรือแตกต่างกัน ในการขัดขวางองค์ประกอบที่สนับสนุนกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งได้แก่ ความร้อน เชื้อเพลิง และออกซิเจน เมื่อทำการรวมสารเติมแต่งหรือสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิดเข้าด้วยกันก็จะทำให้กระบวนการเผาไหม้เป็นไปได้ลำบากยิ่งขึ้น สารบางชนิดอาจจะทำการขัดขวางกระบวนการเผาไหม้โดยการปล่อยน้ำออกมา เพื่อลดอุณหภูมิของแหล่งความร้อน หรือปล่อยก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจนออกมาเพื่อทำให้ขาดออกซิเจน หรือโดยการเกิดชั้นฉนวนกันความร้อนบนวัสดุพอลิเมอร์ หรือสารบางชนิดก็อาจจะทำหน้าที่หลากหลายในการขัดขวางกระบวนการเผาไหม้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อนำสาร 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดมาทำการรวมกันก็จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดียิ่งขึ้น และบางครั้งอาจทำการรวมเพื่อลดปริมาณของสารบางชนิดที่มีราคาแพงหรือมีอันตรายมากก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการใช้ร่วมกันของสารถ่วงการติดไฟที่มีส่วนประกอบของฮาโลเจน กับแอนติโม-ออกไซด์เพื่อใช้กับพลาสติกมาเป็นเวลาหลายปีแล้ว ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีมากในการใช้กับพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ส่วนในระบบอื่นๆ ผลของการใช้ร่วมกันได้ถูกรวบรวมไว้ดังแสดงในตาราง

**ตารางที่ 3.2** สารประกอบฮาโลเจนที่พบว่ามีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ร่วมกับแอนติโมนีออกไซด์ [7]

| ประเภท | พอลิเมอร์ | การประยุกต์ใช้งาน และข้อจำกัด |
|---|---|---|
| Solid chlorinated paraffins | พอลิโอเลฟินส์, อีพอกซี, พอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว | ฟิล์ม LDPE แบบเป่า |
| ดีคาโบรโมไดฟีนิลออกไซด์ (Decabromodiphenyl oxide) | พอลิโอเลฟินส์, พอลิสไตรีน, ABS, อีพอกซี, พอลิเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว | เป็นสารเติมแต่งทั่วไป, มีส่วนประกอบของโบรมีนมาก |
| ออกทาโบรโมไดฟีนิลออกไซด์ (Octabromodiphenyl oxide) | พอลิสไตรีน, ABS | - |
| เฮกซะโบรโมไซโคลเดเคน (Hexabromocyclodecane) | พอลิสไตรีน | - |
| บีส-ไตรโบรโมฟีนอกซีอีเทน (Bis-tribromophenoxyethane) | พอลิสไตรีน, ABS | - |
| เตตระโบรโมบีสฟีนอล A (Tetrabromobisphenol A) | ABS | - |
| เอทิลีน บีส-เตตระโบรโมพาทาไลไมด์ (Ethylene bis-tetrabromophthalimide) | พอลิโอเลฟินส์ | อุณหภูมิของกระบวนการสูง, มีความเสถียรต่อรังสียูวีที่ดี |
| บิส (2,3-ไดโบรโมโพรพิลอีเทอร์) ของเตตระโบรโมบิสฟีนอลเอ (Bis (2,3-dibromopropyl ether) of tetrabromo-bisphenol A) | พอลิโอเลฟินส์ | ผสมได้ขณะหลอมเหลวเพื่อให้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี |
| สารประกอบอะลิไซคลิกคลอรีน (Alicyclic chlorine compounds) | อีพอกซี | - |
| เพนตะโบรโมไดฟีนิล (Pentabromodiphenyl) | อีพอกซีออกไซด์, พอลิเอสเทอร์ | - |

ที่มา : Anzon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# การทดลอง

**1. การขึ้นรูปโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง**

- สารเคมี
  1. พอลิออล
  2. ไอโซไซยาเนต
  3. สารถ่วงการติดไฟ
  4. ไข

- อุปกรณ์
  1. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
  2. กระป๋อง ขนาด 1000 มิลลิลิตร
  3. ถุงพลาสติก ขนาด 6x8 นิ้ว
  4. ชุดเครื่องปั่นกวน
  5. แม่แบบ

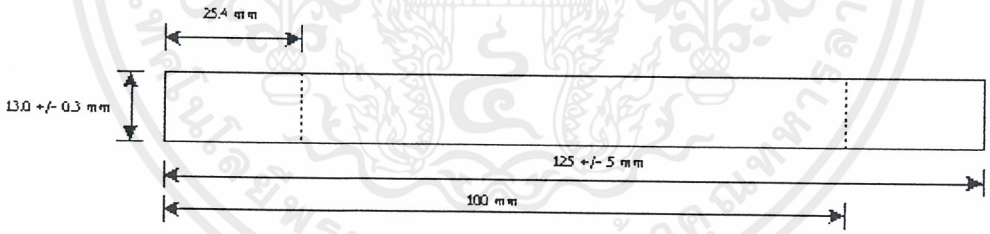
- วิธีการขึ้นรูป
  1. ทาไขให้ทั่วแม่แบบ
  2. ชั่งสารเคมี พอลิออล ไอโซไซยาเนต สารถ่วงการติดไฟ
  3. เทสารถ่วงการติดไฟลงในพอลิออล แล้วนำไปปั่นกวนด้วยชุดเครื่องกวน จนกระทั่งสารทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทไอโซไซยาเนตลงไป ทำการปั่นกวนจนกระทั่งสารผสมเข้ากัน
  4. นำสารผสมออกจากชุดเครื่องปั่นกวน แล้วเทลงในแม่แบบขึ้นรูปให้ทั่วถึง ปิดแม่แบบให้สนิท ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
  5. นำโฟมพอลิยูรีเทนแข็งออกจากแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. การทดสอบการติดไฟในแนวนอนตามมาตรฐาน UL-94 HB**

- อุปกรณ์
  1. Horizontal Vertical Flame Chamber
  2. Humidity Chamber
  3. แผ่นมาตรฐานวัดความสูงของเปลวไฟ
  4. นาฬิกาจับเวลา
  5. อุปกรณ์จุดไฟ
  6. เทปกาว
  7. ไม้บรรทัด
  8. หน้ากากกันสารเคมี

- วิธีการทดสอบ
  1. เตรียมตัวอย่างขนาด 13 x 125 x 13 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้นทดสอบต่อ 1 ตัวอย่าง แล้ววัดความยาวจากส่วนปลายของชิ้นทดสอบด้านใดด้านหนึ่ง ให้ได้ความยาวประมาณ 25.4 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งที่ 1 จากนั้นวัดต่อไปอีก แสดงเครื่องหมายที่ 100 มิลลิเมตร เป็นตำแหน่งที่ 2 ตามรูปที่ 4.1




รูปที่ 4.1 ขนาดของชิ้นตัวอย่าง

  2. ควบคุมสภาวะของตัวอย่างใน Humidity Chamber ที่ 23 ± 2 °C, 50 ± 5 %RH เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
  3. จัดเตรียมอุปกรณ์การทดสอบซึ่งประกอบด้วย specimen support และ clamp
  4. เปิด Power Switch ไปที่ตำแหน่ง ON เปิดวาล์วที่ถังแก๊ส
  5. กดปุ่ม GAS ON รอสักครู่ให้แก๊สไหลเข้าเครื่องแล้วจุดตะเกียงด้วยอุปกรณ์จุดไฟ
  6. ปรับเปลวไฟให้มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือ เปลวไฟสีน้ำเงินสูงน้ำเงินสูงประมาณ 20 มิลลิเมตร โดยใช้แผ่นมาตรฐานวัดความสูงของเปลวไฟ แล้วปรับตะเกียงให้ทำมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ติดตัวอย่างด้วยเทปกาว 2 หน้าบน specimen support
8. ปรับตำแหน่งของตัวอย่างให้เหมาะสม แล้วเลื่อนตะเกียงเข้าหาตัวอย่างเป็นเวลา 30 วินาที แล้วดึงตะเกียงออก โดยขณะเผาไม่ต้องเปิด Exhaust Fan และต้องปิดบานกระจกทุกครั้ง
9. บันทึกเวลาหลังจากดึงเปลวไฟออกจากตัวอย่างจนกระทั่งไฟดับ (หากดึงเปลวไฟออกมาแล้วดับทันทีให้บันทึกเวลาเป็น 0 วินาที)
10. หากขณะเผามีเปลวไฟลามเลยขีดตำแหน่งที่ 1 ก่อนเวลา 30 วินาที ให้เลื่อนตะเกียงออกจนกระทั่งเปลวไฟดับลง บันทึกเวลาที่ใช้เป็นวินาที
11. เปิด Exhaust Fan เพื่อดูดควันหรือแก๊สที่ระเหยออกมาขณะเผาออก นำตัวอย่างออกจาก specimen support แล้ววัดระยะความยาวของตัวอย่างที่ถูกเผาจากตำแหน่งที่ไฟดับ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
12. ทำซ้ำจากข้อ 9-13 จนครบทุกชิ้นทดสอบ

**3. การทดสอบการดูดซึมน้ำ**

- อุปกรณ์
  1. Vacuum Oven
  2. นาฬิกาจับเวลา
  3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  4. ตะแกรงเหล็กสำหรับกดตัวอย่าง
  5. ภาชนะบรรจุน้ำขนาด 25.5 x 42 x 14 เซนติเมตร
  6. กระดาษทิชชูหรือผ้าสำหรับซับน้ำ

- วิธีการทดสอบ
  1. นำภาชนะบรรจุน้ำใส่ตู้ Vacuum Oven แล้วเติมน้ำใส่ภาชนะ โดยให้ระดับน้ำต่ำกว่าขอบภาชนะด้านบนประมาณ 1-2 เซนติเมตร จากนั้นเสียบปลั๊ก Vacuum Control
  2. ตัดตัวอย่างขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1 นิ้ว (ความหนาเท่ากับความหนาเดิมของโฟมเมื่อออกจากแม่แบบ) โดยตัด 4 ชิ้นทดสอบต่อ 1 ตัวอย่าง
  3. ใช้ปากกาเขียนรายละเอียดของตัวอย่างกำกับที่ตัวอย่าง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าที่ได้เป็น $W_1$
  4. เปิดฝาตู้ Vacuum Oven แล้วนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ภาชนะซึ่งบรรจุน้ำไว้แล้ว (ใส่ไม่เกิน 8 ชิ้นทดสอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้ตะแกรงกดตัวอย่างให้จมน้ำ (กรณีตัวอย่างดันตะแกรงให้ลอยขึ้นเหนือน้ำ ให้นำวัสดุหรืออุปกรณ์ เช่น Beaker ใส่น้ำมาวางทับตะแกรงให้จมน้ำ)
6. ปิดฝาตู้ Vacuum Oven และหมุนปุ่มปิด Air Control และ Gas Control
7. หมุนปุ่มเปิด Vacuum Control เมื่อ Vacuum Guage แสดงค่าความดันได้ประมาณ 170 มิลลิบาร์ ให้หมุนปุ่มปิด Vacuum Control และใช้นาฬิกาจับเวลาจนครบ 3 นาที จากนั้นหมุนปุ่มเปิด Air Control รอจน Vacuum Guage หมุนกลับไปที่จุดเริ่มต้น (ประมาณ 1000 มิลลิบาร์) และใช้นาฬิกาจับเวลาจนครบ 3 นาที
8. เปิดฝาตู้ Vacuum Oven นำตัวอย่างมาซับน้ำออกเบาๆ ด้วยกระดาษทิชชูหรือผ้าสำหรับซับน้ำ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งบันทึกค่าที่ได้เป็น $W_2$ จนครบทุกชิ้นทดสอบ
9. ในการทดสอบตัวอย่างครั้งต่อไป ให้ดำเนินการตามข้อ 2-7
10. คำนวณหา % water absorption ดังนี้

$$\% \text{ water absorption} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

**4. การทดสอบ Compressive Strength**

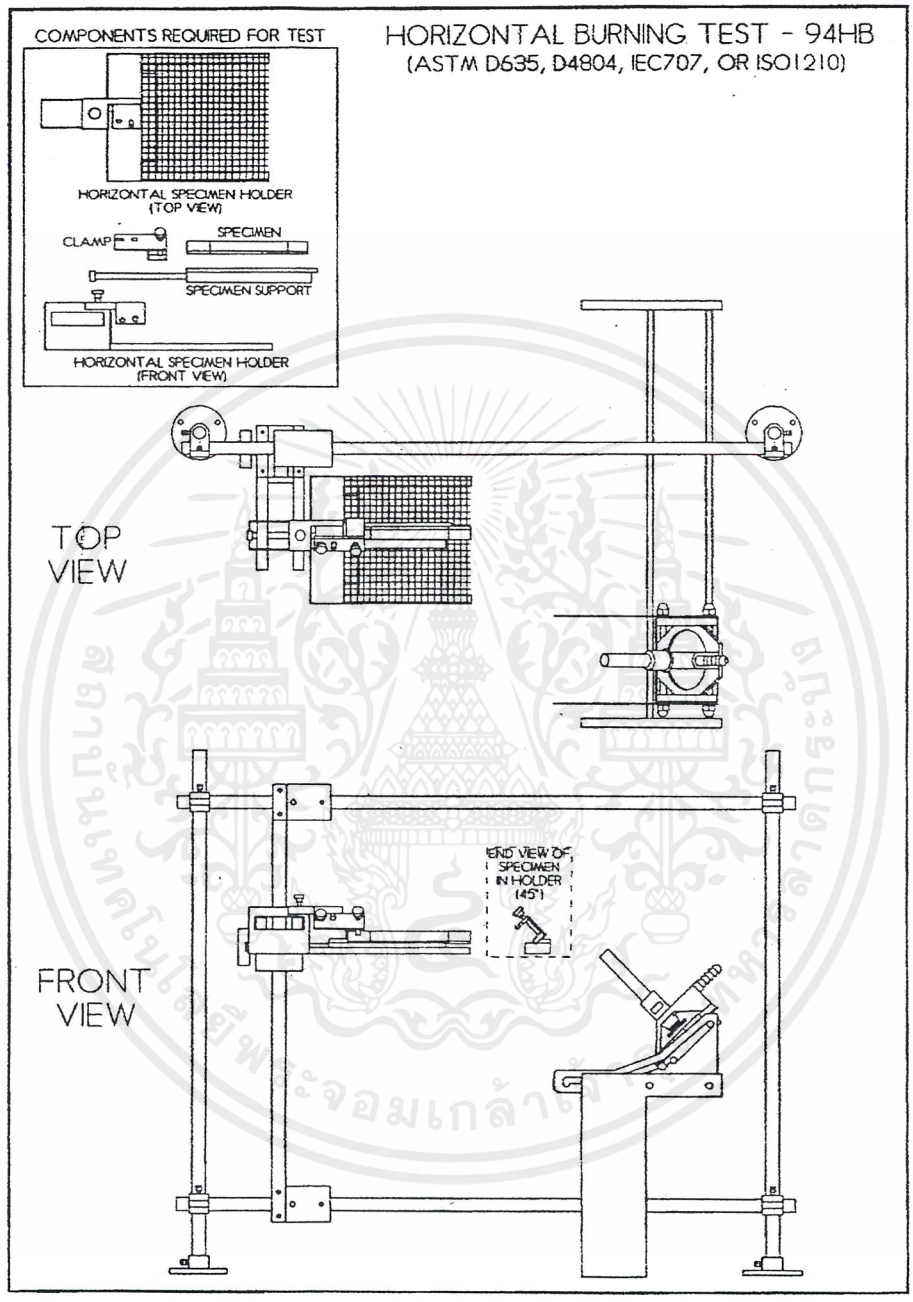
- อุปกรณ์

1. Universal Testing Machine
2. Computer Set
3. Load Cell 10000 N
4. Compression plate

- วิธีการทดสอบ

1. ประกอบ Load Cell และ Compression Plate เข้ากับเครื่อง
2. เปิดคอมพิวเตอร์ และเข้าสู่โปรแกรม Console
3. เปิดเครื่อง Universal Testing Machine และเลือกการทำงานให้เป็นแบบ remote control
4. วางชิ้นทดสอบระหว่าง Compression Plate โดยให้สัมผัสผิวพอดี
5. ตั้งค่า load และ distance เป็น 0 และคลิกเริ่มการทดสอบ
6. ในการทดสอบตัวอย่างครั้งต่อไป ให้ดำเนินการตามข้อ 4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบ และการจัดเตรียมอุปกรณ์การทดสอบตามมาตรฐาน UL-94HB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

# ผลการทดลอง

**ตอนที่ 1** หาสัดส่วนการใช้สารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด ที่ทำให้โฟมผ่านการทดสอบการติดไฟ ตามมาตรฐาน UL-94 HB

ในการขึ้นรูปโฟมแต่ละชิ้น น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นที่ใช้จะคงที่ เพื่อให้โฟมมีความหนาแน่นคงที่ (ปริมาตรภายในแม่แบบคงที่) เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อคุณสมบัติของโฟม

TCPP : Tri (2-chloroisopropyl) phosphate เป็นสารถ่วงการติดไฟประเภทมีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการถ่วงการติดไฟดีมาก ในการทดลองนี้ได้นำโฟมซึ่งใช้ TCPP เป็นสารถ่วงการติดไฟ มาทดสอบการติดไฟ การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัด เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบกับสารถ่วงการติดไฟชนิดอื่นๆ ใช้ปริมาณเท่ากับ 7.69 % เทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นทั้งหมด ซึ่งเท่ากับสัดส่วนที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง

Melamine ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณ 11.54 % (1.5 เท่าของปริมาณ TCPP ปกติที่ใช้) พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ จึงเพิ่มปริมาณเป็น 13.46 % และ 15.38 % (1.75 เท่า และ 2 เท่า) พบว่าผ่านการทดสอบการติดไฟ

Apyrol 2E เป็นสารถ่วงการติดไฟประเภทอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ มีขนาดอนุภาคประมาณ 22 ไมโครเมตร ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณ 11.54 % (1.5 เท่า) พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ จึงเพิ่มปริมาณเป็น 13.46 %, 15.38 % และ 17.30 % (1.75 เท่า 2 เท่า และ 2.25 เท่า) พบว่ายังคงไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ

Apyrol 60D เป็นสารถ่วงการติดไฟประเภทอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า Apyrol 2E คือประมาณ 1.2 ไมโครเมตร ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณ 11.54 % (1.5 เท่า) พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ จึงเพิ่มปริมาณเป็น 13.46 % และ 15.38 % (1.75 เท่า และ 2 เท่า) พบว่าผ่านการทดสอบการติดไฟ

ZHS : Zinc Hydroxy Stannate ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณเพียง 2 % เนื่องจากในข้อมูลผลิตภัณฑ์ ZHS กล่าวว่า โดยปกติจะใช้เติมในปริมาณ 2-7 % พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟ จึงเพิ่มปริมาณเป็น 5.77 % และ 7.69 % (0.75 เท่า และ 1 เท่า) พบว่าผ่านการทดสอบการติดไฟ

ZB : Zinc Borate ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณเพียง 2 % เนื่องจากในข้อมูลผลิตภัณฑ์ ZB กล่าวว่าโดยปกติจะใช้เติมในปริมาณ 2-15 % พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ จึงเพิ่มปริมาณเป็น 7.69 % และ 15.38 % (1 เท่า และ 2 เท่า) พบว่ายังคงไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ

นอกจากจะทดสอบการติดไฟแล้ว ยังได้ทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆ ด้วย ได้แก่ การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัด และพบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากกรณีที่ใช้ TCPP มากนัก แสดงให้เห็นว่าการใช้สารถ่วงการติดไฟชนิดต่างๆ ในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญของโฟม

**ตารางที่ 5.1** เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟม กรณีที่ใช้สารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด

| สารถ่วงการติดไฟ | ปริมาณสารถ่วงการติดไฟ | การทดสอบการติดไฟ | การดูดซึมน้ำ (%) | ความแข็งแรงต่อการกดอัด($kgf/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| TCPP | 7.69 % | ผ่าน | 7.50 | 34.0 |
| TCPP | 7.69 % | ผ่าน | 5.27 | 36.7 |
| Melamine | 11.54% | ไม่ผ่าน | 3.52 | 41.0 |
| Melamine | 13.46% | ผ่าน | 3.31 | 41.0 |
| Melamine | 15.38% | ผ่าน | 6.46 | 37.5 |
| Apyrol 2E | 11.54% | ไม่ผ่าน | 4.07 | 40.0 |
| Apyrol 2E | 13.46% | ไม่ผ่าน | 9.09 | 37.3 |
| Apyrol 2E | 15.38% | ไม่ผ่าน | 3.94 | 37.5 |
| Apyrol 2E | 17.30% | ไม่ผ่าน | 7.80 | 42.0 |
| Apyrol 60D | 11.54% | ไม่ผ่าน | 4.68 | 40.3 |
| Apyrol 60D | 13.46% | ผ่าน | 4.12 | 39.0 |
| Apyrol 60D | 15.38% | ผ่าน | 7.84 | 37.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| สารถ่วงการติดไฟ | ปริมาณสารถ่วงการติดไฟ | การทดสอบการติดไฟ | การดูดซึมน้ำ (%) | ความแข็งแรงต่อการกดอัด($kgf/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| ZHS | 2.00% | ไม่ผ่าน | 4.77 | 45.3 |
| ZHS | 5.77% | ผ่าน | 5.39 | 37.0 |
| ZHS | 7.69% | ผ่าน | 5.70 | 36.0 |
| ZB | 2.00% | ไม่ผ่าน | 6.79 | 38.3 |
| ZB | 7.69% | ไม่ผ่าน | 8.96 | 36.6 |
| ZB | 15.38% | ไม่ผ่าน | 10.98 | 36.8 |

**ตอนที่ 2** ทดลองใช้ซิลิโคนร่วมกับสารถ่วงการติดไฟชนิดต่างๆ

ทำการขึ้นรูปโฟม โดยเติมซิลิโคนเป็นสารเติมแต่งในปริมาณ 2 % โดยใช้ร่วมกับสารถ่วงการติดไฟชนิดต่างๆ ในปริมาณ 7.69 % ซึ่งเท่ากับสัดส่วน TCPP ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ แสดงให้เห็นว่าซิลิโคนชนิดนี้ไม่ช่วยให้คุณสมบัติการถ่วงการติดไฟของสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิดที่ทำการทดสอบดีขึ้น

และจากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า การใช้ซิลิโคนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัดของโฟม

**ตารางที่ 5.2** เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟม กรณีที่ใช้ซิลิโคนร่วมกับสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด

| ปริมาณซิลิโคน | สารถ่วงการติดไฟ | ปริมาณสารถ่วงการติดไฟ | การทดสอบการติดไฟ | การดูดซับน้ำ (%) | ความแข็งแรงต่อการกดอัด (kgf/cm2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 % | TCPP | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 4.07 | 35.8 |
| 2 % | Melamine | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 2.57 | 40.0 |
| 2 % | Apyrol 2E | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 8.12 | 41.0 |
| 2 % | Apyrol 60D | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 3.12 | 37.5 |
| 2 % | ZHS | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 4.47 | 37.5 |
| 2 % | ZB | 7.69 % | ไม่ผ่าน | 5.33 | 36.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 3** ทดลองใช้ซิลิโคนร่วมกับสารถ่วงการติดไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ

ทำการขึ้นรูปโฟม โดยเติมซิลิโคนเป็นสารเติมแต่งในปริมาณ 3-5 % โดยใช้ร่วมกับ TCPP ปริมาณรวมของ TCPP และซิลิโคนเท่ากับ 7.69 % ซึ่งเท่ากับสัดส่วน TCPP ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง วัตถุประสงค์ของการทดลองในตอนนี้คือ ต้องการลดปริมาณสารถ่วงการติดไฟที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ แต่พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการติดไฟ แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ซิลิโคนเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ TCPP ได้ เนื่องจากการเติมซิลิโคนทำให้คุณสมบัติการถ่วงการติดไฟของโฟมไม่ดีพอที่จะผ่านการทดสอบการติดไฟได้

และจากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าการใช้ซิลิโคนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัดของโฟม

**ตารางที่ 5.3** เปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟม กรณีที่ใช้ซิลิโคนร่วมกับ TCPP

| ปริมาณซิลิโคน | สารถ่วงการติดไฟ | การทดสอบการติดไฟ | การดูดซึมน้ำ (%) | ความแข็งแรงต่อการกดอัด ($kgf/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 3 % | TCPP | ไม่ผ่าน | 4.24 | 34.3 |
| 4 % | TCPP | ไม่ผ่าน | 4.03 | 38.8 |
| 5 % | TCPP | ไม่ผ่าน | 4.37 | 41.7 |

หมายเหตุ : ปริมาณ % คิดเทียบกับน้ำหนักรวมของสารตั้งต้นทั้งหมด

: ในตารางที่ 5.3 ปริมาณรวมของสารถ่วงการติดไฟ และซิลิโคนเท่ากับ 7.69 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

**สรุปผลการทดลอง**

ตอนที่ 1

- ต้องใช้ Melamine ในปริมาณอย่างต่ำ 13.46 % จึงจะผ่านการทดสอบการติดไฟ
- ต้องใช้ Apyrol 60D ในปริมาณอย่างต่ำ 13.46 % จึงจะผ่านการทดสอบการติดไฟ
- ต้องใช้ ZHS ในปริมาณอย่างต่ำ 5.77 % จึงจะผ่านการทดสอบการติดไฟ
- การใช้ Apyrol 2E ไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟ ในช่วงปริมาณที่ทำการทดสอบ (11.54-17.30 %) ได้
- การใช้ ZB ไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟ ในช่วงปริมาณที่ทำการทดสอบ (2-15.38 %) ได้

ตอนที่ 2

- เมื่อใช้ซิลิโคนปริมาณ 2 % ร่วมกับสารถ่วงการติดไฟแต่ละชนิด ได้แก่ TCPP Melamine Apyrol 2E Apyrol 60D ZHS และ ZB ไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟ

ตอนที่ 3

- เมื่อใช้ซิลิโคนปริมาณ 3-5 % ร่วมกับ TCPP ไม่สามารถผ่านการทดสอบการติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิเคราะห์ผลการทดลอง**

1. ปริมาณอย่างต่ำสารถ่วงการติดไฟที่ต้องใช้ เพื่อให้ผ่านการทดสอบการติดไฟ เรียงลำดับได้ดังนี้

$$ZHS < TCPP < Melamine = Apyrol\ 60D$$

2. ราคารวมต่อโมลด์ของสารตั้งต้นทั้งหมด เมื่อใช้สารถ่วงการติดไฟในปริมาณอย่างต่ำที่ต้องใช้เพื่อให้ผ่านการทดสอบการติดไฟ

| สารถ่วงการติดไฟ | ราคาพอลิออล | ราคาไอโซไซยาเนต | ราคาสารถ่วงการติดไฟ | ราคาต่อโมลด์ |
|---|---|---|---|---|
| TCPP 7.69% | 30.84 บาท | 25.36 บาท | 5.54 บาท | 61.74 บาท |
| Melamine 13.46% | 28.91 บาท | 23.77 บาท | 6.00 บาท | 58.68 บาท |
| Apyrol 60D 13.46% | 28.91 บาท | 23.77 บาท | 6.00 บาท | 58.68 บาท |
| ZHS 5.77% | 31.48 บาท | 25.89 บาท | 21.42 บาท | 78.79 บาท |

$$Melamine = Apyrol\ 60D < TCPP < ZHS$$

จากตารางจะเห็นได้ว่า ราคาต่อโมลด์ในกรณีที่ใช้ Melamine และ Apyrol 60D น้อยกว่ากรณีที่ใช้ TCPP ซึ่งเป็นสารถ่วงการติดไฟประเภทมีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบที่ใช้อยู่เดิม จึงนับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในการใช้ Melamine และ Apyrol 60D ซึ่งเป็นสารถ่วงการติดไฟประเภทไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ แทนการใช้ TCPP แต่การใช้สารทั้งสองก็มีข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพในการถ่วงการติดไฟน้อยกว่า TCPP (ในการทดสอบการติดไฟ อัตราการเผาไหม้ในกรณีที่ใช้ TCPP ต่ำกว่ากรณีที่ใช้สารถ่วงการติดไฟอื่นๆ มาก)

3. Melamine Apyrol 60D และ ZHS มีลักษณะเป็นผง ดังนั้น จึงกระจายตัวในเนื้อโฟมได้ไม่ดีเท่ากับ TCPP ซึ่งเป็นของเหลว ยิ่งใช้สารถ่วงการติดไฟซึ่งมีลักษณะเป็นผงนี้มาก ก็จะยิ่งทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวมากขึ้น ดังนั้น เมื่อพิจารณาระหว่างสารที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบแต่ละชนิด และไม่คำนึงถึงด้านราคา ZHS จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เนื่องจากใช้ปริมาณน้อยที่สุด (จาก ข้อ 1) เป็นการลดปัญหาในด้านการกระจายตัวในเนื้อโฟม
4. การเติมสารถ่วงการติดไฟหรือสารเติมแต่งใดๆ ในขั้นตอนการขึ้นรูปโฟม ควรผสมโดยลงในพอลิออล และปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน จึงจะเติมไอโซไซยาเนตลงไปผสมได้ เนื่องจากในสารเติมแต่งอาจมีสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนตซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้สารถ่วงการติดไฟที่ไม่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบต่างๆนี้ ไม่ส่งผลทำให้คุณสมบัติในด้านการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อการกดอัดของโฟมเปลี่ยนแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# รายการอ้างอิง


1. Paul F. Bruins. Polyurethane Technology. Polytechnic Institute of Brooklyn,. Interscience Publishers, New York,1969.

2. Halogen - free fire retardancy : Overview and new approaches (Part I). www.specialchem.com

3. Burning issues - choosing the right flame retardant. www.specialchem.com

4. Flame retardants : some new developments. www.specialchem.com

5. Fame retardants: trends and new developments. www.specialchem.com

6. Halogen - free fire retardancy : Overview and new approaches (Part II). www.special.chem.com

7. Are your additives in synergy? (When 1 + 1 = 3). www.specialchem.com

8. When should you consider to use advanced flame retardants like melapur? www.special.chem.com

9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชลธิชา นุ่มหอม, "โพลิเมอร์", ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MATERIAL SAFETY DATA SHEET

1. PRODUCT & COMPANY IDENTIFICATION

(PRODUCT NAME)

MELAMINE

(COMPANY IDENTIFICATE)

SUPPLIER

Name :

Address :

Telephone :

EMERGENCY CONTACT

Please call the telephone number listed above.

MANUFACTURER

Name : Mitsubishi Chemical Corporation

Address : 5-2, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

Telephone : 81-3-3283-5551

Facsimile : 81-3-3283-6678

2. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Melamine CAS RN : 108-78-1

EINECS : 203-615-4

3. HAZARD IDENTIFICATION

No special hazard

4. FIRST-AID MEASURES

* EYE CONTACT Immediately flush eyes with plenty of water.
* SKIN CONTACT Wash with water and soap.
* INHALATION Remove to fresh air.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

* ENTINGUISHING MEDIA : Water, dry chemical
* SPECIFIC HAZARDS WITH REGARD TO FIRE-FIGHTING MEASURES: None

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Sweep up and place in suitable container.

Prevent spills from entering sewers or waterway.

7. HANDLING & STORAGE

Avoid excessive dust formation.

Avoid breathing dust.

Avoid contact with eyes.

8. EXPOSURE CONTROL/PERSONAL PROTECTION

* OCCUPATIONAL EXPOSURES LIMIT : ACGIH 10 $mg/m^3$
* ENGINEERING MEASURES : No special measures required.
* PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT :
  - RESPIRATORY PROTECTION : Dust respirator.
  - EYE AND SKIN PROTECTION : goggles

9. PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

* APPEARIANCE AND ODOR : White crystalline
* DENSITY : 1.57 (14°C)
* VAPOR DENSITY : Not applicable
* EVAPORATION RATE : Not applicable (n-Butyl Acetate=1)
* BOILING POINT :
* MELTING POINT : 345°C
* VAPOR PRESSURE : Not applicable
* SOLUBILITY IN WATER : 0.32g/100g (20°C)
* SOLUBILITY IN OTHER SOLVENT :
* FLASH POINT : None

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* AUTOIGNITION TEMPERATURE : No information

* FLAMMABLE LIMITS : No information

## 10. STABILITY & REACTIVITY

* STABILITY & REACTIVITY

Stable, hazardous polymerization will not occur.

* MATERIALS TO AVOID : Strong oxidizing agents, strong bases and strong acids.

* HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS : Oxides of carbon and nitrogen on burning.

## 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

* ACUTE TOXICITY : oral rat $LD_{50}$ = 3160mg/kg (male), 3850mg/kg (female)

* SKIN IRRITATION : Mild

* EYE IRRITATION : Mild

* MUTAGENICITY : Negative

* SENSITIZING : Negative

* CHRONIC TOXICITY : cause bladder stone under the extremely high doses

## 12. ECOLOGICAL INFORMATION

* BIODEGRADABILITY : not degradable

* BIOACCUMULATION : not accumulable

* ECOTOXICITY : guppy 96hr $LC_{50}$ > 4,400mg/L

## 13. DISPOSAL CONSIDERATION

Burn in a chemical incinerater equipped with an afterburner and scrubber.

## 14. TRANSPORT INFORMATION

UN Haz, Class : not dangerous UN Number : none

Not dangerous by any mode of international transport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. REGULATORY INFORMATION

LABELLING ACCORDING TO EEC DIRECTIVES : not required

Internations inventory status

Japan (NITI) : Listed (5-1024)

U.S.A. (TSCA) : Listed (CAS 108-78-1)

E.U. (EINECS) : Listed (203-615-4)

Kores : Listed (3-2801)

16. OTHER INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

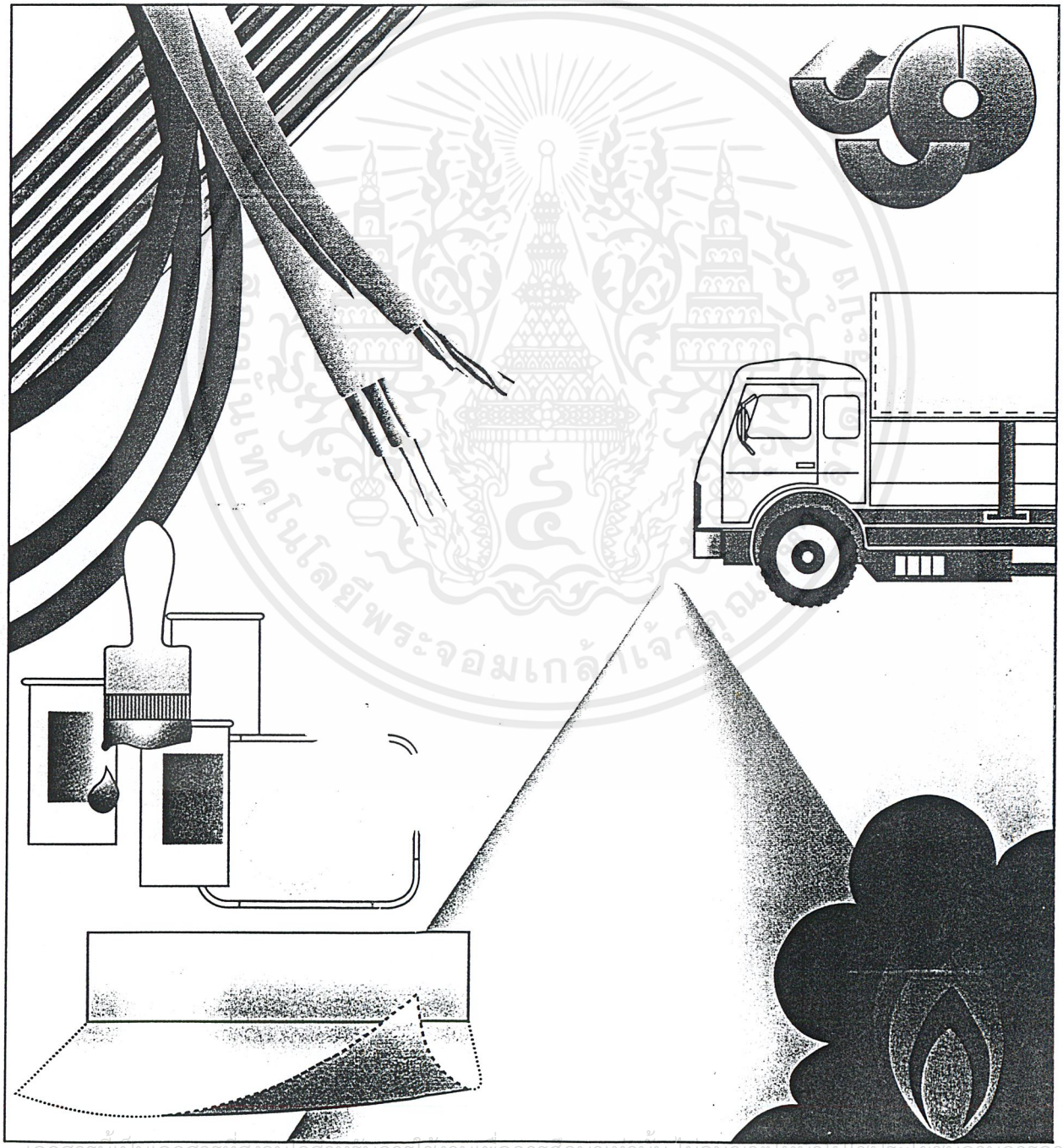
# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APYRAL®**

***The flame-retardant filler***

Nabaltec



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Nabaltec**

*Nabwerk Aluminiumhydroxid Technologie GmbH*



All data listed are reference values subject to production-related tolerances and may be altered without prior notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***Contents***


*General Items* **page 4**

*Principal Considerations on Flame Retardancy* **page 5**

***APYRAL®** – the Flame-Retardant Filler* **page 6**

***APYRAL®** – Average Chemical Analysis* **page 7 - 9**

*Survey of **APYRAL®**-Grades* **page 10**

*General Guidelines for the Application of **APYRAL®*** **page 11**

*Methods of Application for **APYRAL®***
*Quality Grades* **page 12 - 13**

*Technical Service and Development* **page 14**

*Quality Assurance* **page 14 - 15**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *General Items*

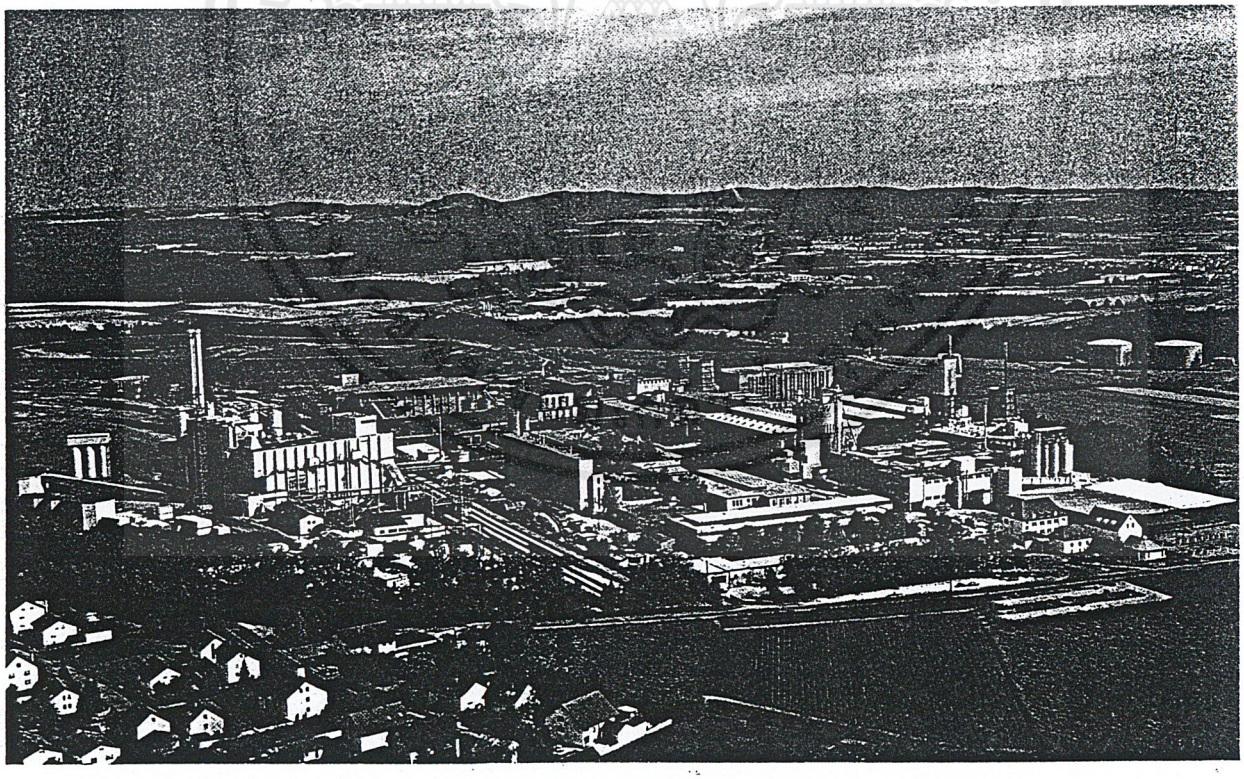
*Reports on major fires involving both personal injury and property damage often appear as a headline in the new media. Certain modern building materials don't meet the up-to-date technical requirements in terms of flame retardancy and, therefore, mean a potential hazard for people and technical installations.*

*In a tunnel situation, poison gases caused by a fire are a greater threat to human health than the flames themselves.*

*The reason for this is the formation of aggressive acidic vapour due to the exposure of conventional fire retardants to high temperatures.*

*With aluminiumhydroxide* ***APYRAL®*** ***Nabal****tec Aluminiumhydroxid Technologie GmbH offers the solution to many a problem.*

*This brochure informs on preventive fire protection by the usage of* ***APYRAL®*** *, the combination of flame retardant and filler.*



*General view on the Nabwerk*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *Principal Considerations on Flame Retardancy*

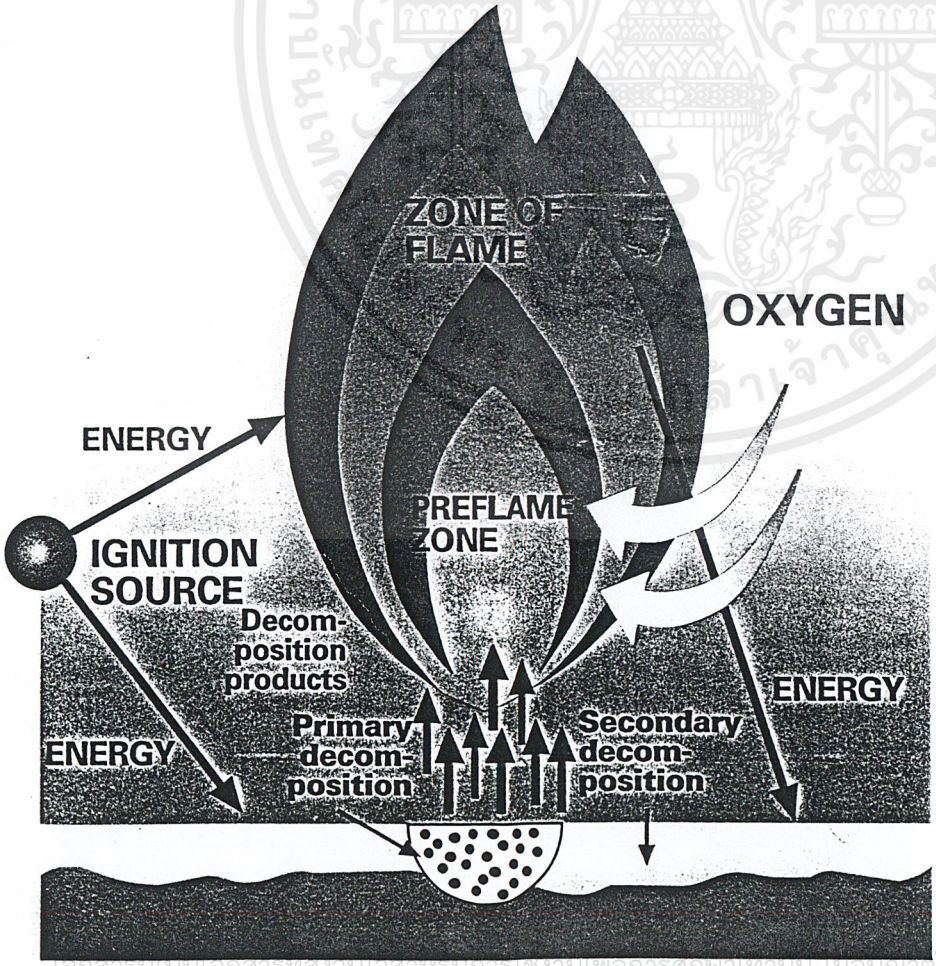
*How can a flammable organic substance be modified so that it does not contribute to any further spread of fire?*

*One method of flame retardancy is the mixture of substances into the construction materials which, at elevated temperature, evaporate or transform into gas, and interfere in the mechanism of the chain reaction of radicals in the oxidation and burning process.*

*Various halogenated hydrocarbons are often used for this purpose in combination with antimony trioxide as an inorganic filler, which produces volatile antimony chloride.*

*The halogen atoms split off from the molecules as radicals and suppress the burning process.*
*By destroying organic radicals, the halogen atoms interfere with the combustion.*
*The radicals recombine to larger molecules and aggregates: soot is formed which does not burn.*

*Certainly aluminiumhydroxide is one of the environment protective and most effective flame retardants.*




***APYRAL®***
***– the Flame-Retardant Filler has the following advantages:***

- ***halogen free***
- ***ecologically acceptable***
- ***non-hazardous***
- ***significant decrease of smoke density***
- ***reduction of consequential damages***
- ***inert filler and flame retardant all in one***
- ***inexpensive***

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *APYRAL® – the Flame-Retardant Filler*

### *Fire Protection by the Filler*

*APYRAL®, with the chemical formula Al $(OH)_3$, is inert in the pH-range 4 to 10. Therefore, APYRAL® is well suitable as filler for many kinds of synthetic materials.*

*Due to industrial-scale production APYRAL® is available in large quantities, inexpensive and the optimal choice for various applications.*

*By a high filling ratio of APYRAL® the combustible organic material is diluted, thus reducing the amount of organic substance that can decompose under the influence of a source of ignition.*

### *Protection by Reduced Smoke Density*

*All over the world damages directly related to burning are decreasing. Contrary to this damages caused by toxic smoke and fumes are increasing.*

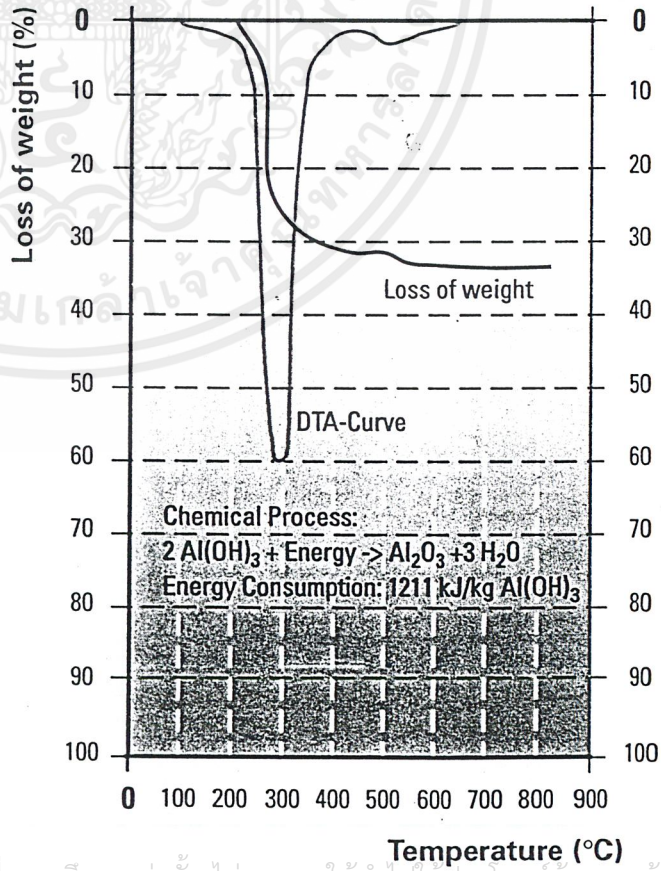
*APYRAL® significantly reduces smoke density.*

*In the actual case of a fire that could well decide on life and death, in a building on fire, an emergency exit visible for a few minutes longer, allows people to save their lives.*

### *Fire Protection by Phase Transition*

*At temperatures exceeding approx. 200 °C APYRAL® is subject to an endothermic phase transition. This process is almost completed by the time the temperature reaches 400°C.*
*Endothermic processes consume energy by absorption. Thus, the temperature of the filled compound is kept low for a limited time; consequently, further decomposition reactions which would produce flame-promoting gases are delayed.*
*During this phase transition APYRAL® separates its chemically bound water.*

*The water vapour set free by energy lowers the specific oxygen content of the atmosphere surrounding the combustible material. Both effects combined imply a flame-retardant behaviour for synthetic materials filled with APYRAL® . This is the most important moment in the strategy of fire prevention.*




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

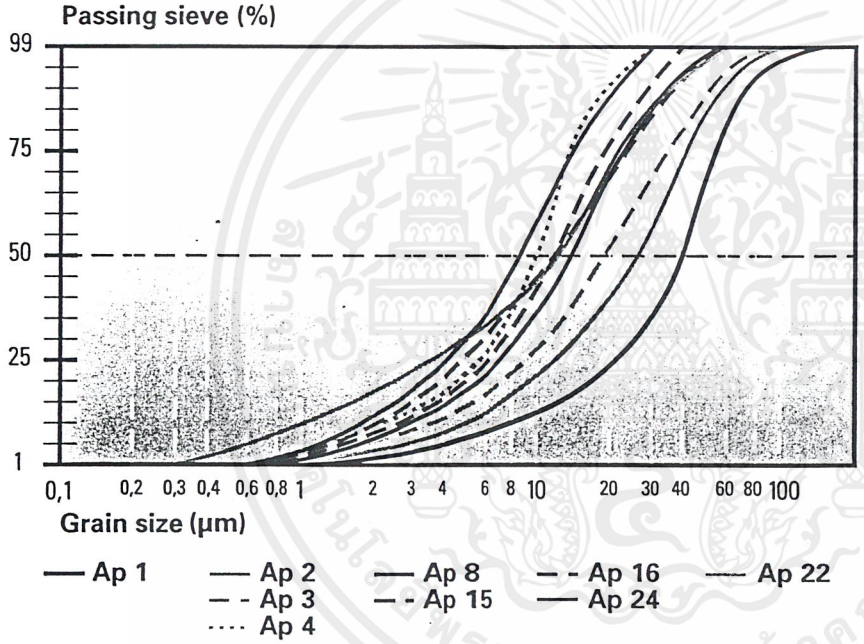
## *APYRAL® – Average Chemical Analysis*

***Nabal**tec offers a wide variety of **APYRAL®** products to cover the different requirements of the plastics processing industry.*

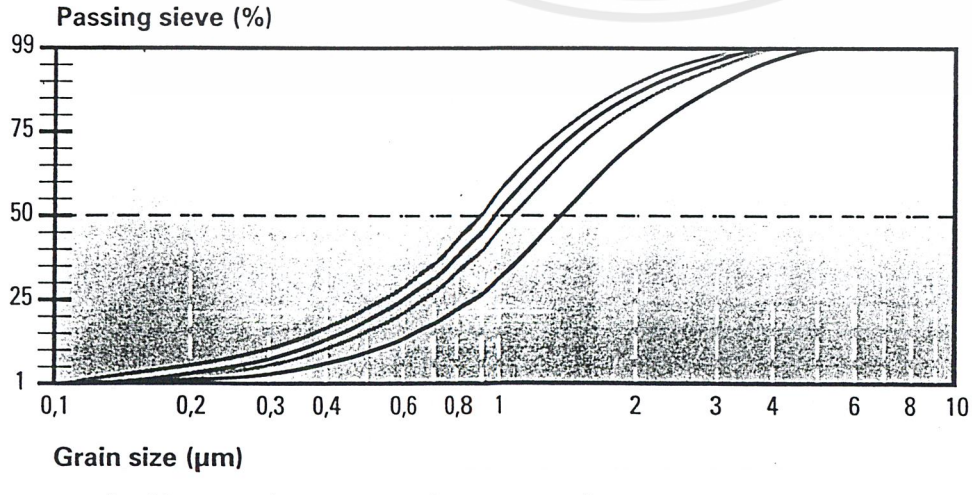
| | ***APYRAL®* 1 - 24** | ***APYRAL®* 40 -120** |
|---|---|---|
| $Al(OH)_3$ | 99,7 % | 99,4 % |
| $Fe_2O_3$ | 0,01 % | 0,01 % |
| $SiO_2$ | 0,03 % | 0,01 % |
| Total $Na_2O$ | 0,2 % | 0,5 % |
| Loss on ignition [110 °C - 1100 °C] | 34,6 % | |
| Crystal phase | gibbsite | |
| Density | 2,4 g/cm³ | |
| pH | 9 | |

**Test methods:**
Chemical analysis as per ICP/OES,
loss on ignition as per ISO 806,
density as per ISO 901,
pH as per DIN/ISO 787 T9,
specific surface as per DIN 66132,
sieve analysis as per DIN 66165T2,
whiteness as per DIN 53145 T1,
particle size analysis as per laser-granulometric,
bulk density as per DIN/ISO 903,
moisture acc. to DIN/ISO 787 T2.

**Grain size distribution of coarse cryst. Apyral**




**Grain size distribution Apyral 40 to 120**

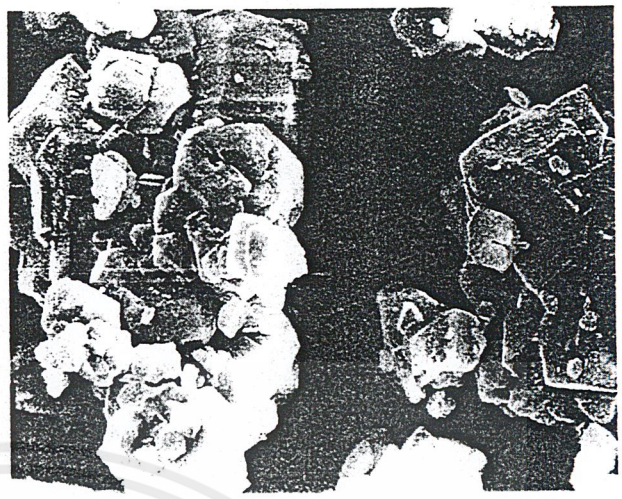



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *Types of APYRAL®*

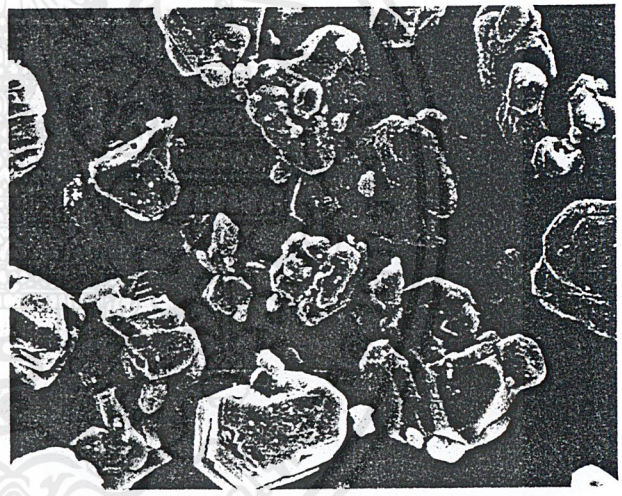
| Standard-quality | *APYRAL®* 1 |
|---|---|
| Mean particle size (µm) | 40 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 0,1 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 1000 |
| Moisture (%) | 0,1 |

*APYRAL®* 1 (enlargement 1000-ply)



| Chemically post-treated qualities | *APYRAL®* 2 | *APYRAL®* 3 | *APYRAL®* 4 |
|---|---|---|---|
| Mean particle size (µm) | 22 | 18 | 10 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 900 | 800 | 600 |
| Moisture (%) | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

*APYRAL®* 3 (enlargement 1000-ply)

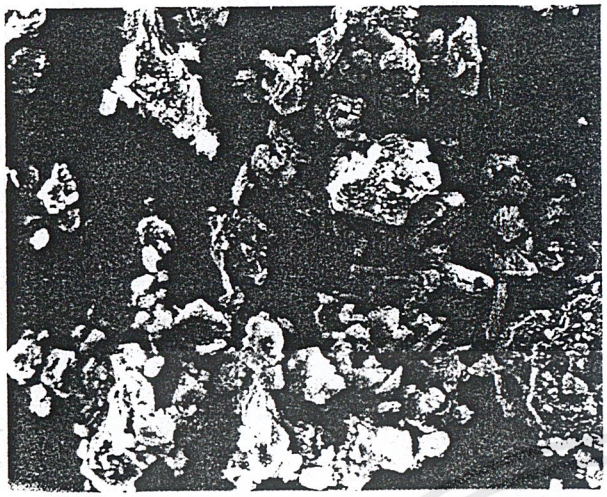


| Ground qualities | *APYRAL®* 8 | *APYRAL®* 15 |
|---|---|---|
| Mean particle size (µm) | 15 | 12 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 0,8 | 1,5 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 700 | 600 |
| Moisture (%) | 0,2 | 0,2 |

*APYRAL®* 15 (enlargement 1000-ply)

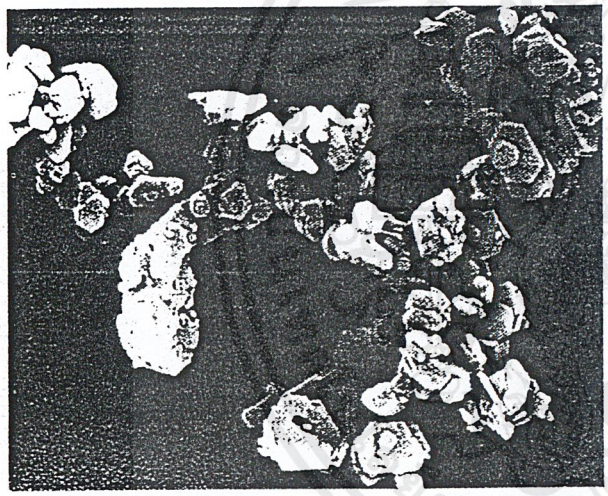
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*APYRAL*® 24 (enlargement 1000-ply)



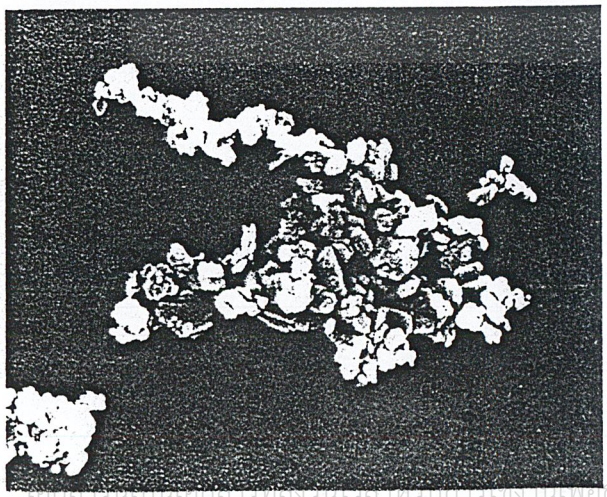
| Ground, viscosity-optimized qualities | *APYRAL*® 16 | *APYRAL*® 24 | *APYRAL*® 22 |
|---|---|---|---|
| Mean particle size (µm) | 12 | 8 | 12 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 1,6 | 2,4 | 2,2 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 800 | 600 | 600 |
| Moisture (%) | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

*APYRAL*® 40 (enlargement 7500-ply)



| Fine crystallized qualities | *APYRAL*® 40 | *APYRAL*® 60 |
|---|---|---|
| Mean particle size (µm) | 1,5 | 1,2 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 4 | 6 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 250 | 225 |
| Moisture (%) | 0,4 | 0,4 |

*APYRAL*® 120 (enlargement 7500-ply)



| Fine crystallized qualities | *APYRAL*® 90 | *APYRAL*® 120 |
|---|---|---|
| Mean particle size (µm) | 1,0 | 0,9 |
| Specific surface (BET) ($m^2/g$) | 9 | 12 |
| Bulk density ($kg/m^3$) | 200 | 200 |
| Moisture (%) | 0,4 | 0,4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *The APYRAL®- Grades*

*Due to different production process or property profiles our* ***APYRAL®****- quality-grades can be subdivided into four groups:*

- ***standard product and chemically post-treated qualities;***
- ***ground qualities;***
- ***ground and viscosity-optimized qualities;***
- ***fine-crystallized quality-grades.***

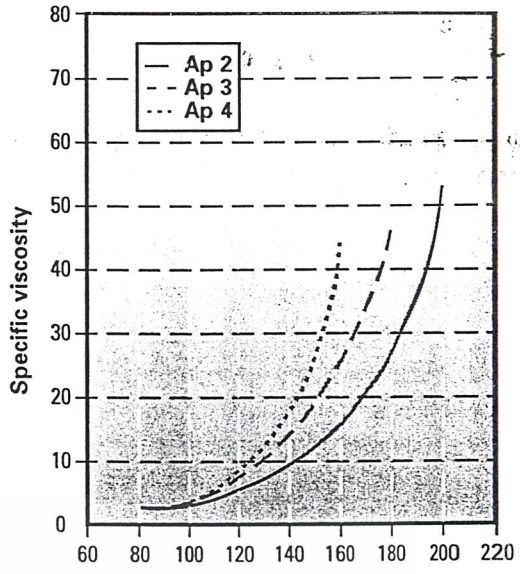
*Our standard quality* ***APYRAL® 1*** *has the highest mean grain size diameter (approx. 40 µm) of all our* ***APYRAL®****-types. The usually sharp-edged crystallites can easily be recognized by Scanning Electron Microscopy (SEM).* ***APYRAL®****- quality-grades* **2, 3** *and* **4** *are produced as a result of a chemical post-treatment of* ***APYRAL® 1*** *and mainly consist of scarcely agglomerated, rounded particles. In comparison to* ***APYRAL® 1*** *these product-types have a considerably reduced mean grain size and thus are free from fines.*

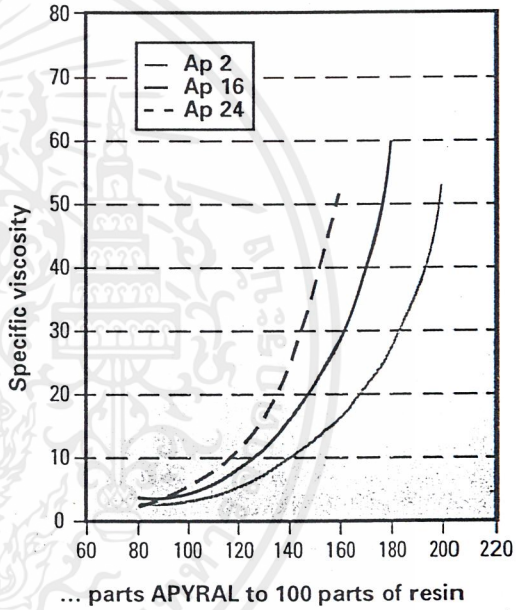
***APYRAL® 8*** *and* **15** *(see line 2) are produced by an additional grinding process of our standard quality; splint-like particles and a rather dense grain size distribution are significant properties.*

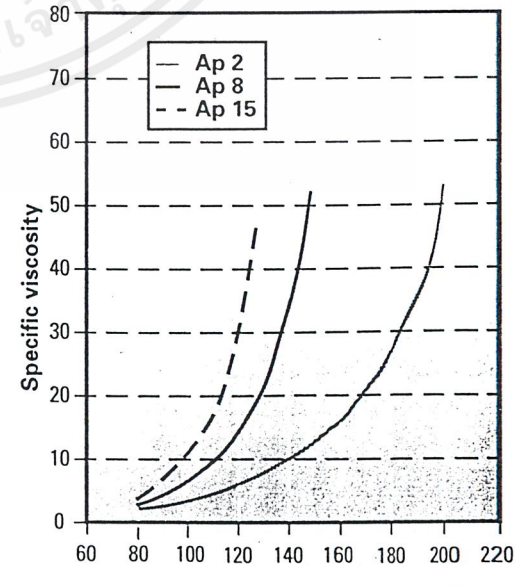
*By application of a special grinding process the ground qualities (see line 3) are produced, namely the viscosity-optimized quality-types* ***APYRAL® 16*** *and* **24**. *Contrary to* ***APYRAL®*** **8** *and* **15** *both these quality-types show very few splint-like particles, but have a comparatively wider grain size distribution.*

*By application of a very particular process* ***APYRAL® 22*** *is produced, offering an extremely wide but at the same time well-defined grain size distribution. This product-type is specifically suitable for achieving high packing densities in the finished parts.*

*Due to a special precipitation process the* ***APYRAL®****-qualities (see line 4) are fine-crystallized and have a mean grain size between 0,9 and 1,5 .*




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *General Guidelines for the Application of APYRAL®*

*The basic rule is: The finer the used filler, the smaller influence on the mechanical parameters by filled polymers! In the fields of application where preforms with good mechanical properties have to be additionally equipped with flame retardancy our fine-crystallized quality-grades* ***APYRAL®*** **40** *and* **120** *are mainly used, i. e. in the rigid elastomer- and cable industries. Furthermore, by application of these products the surface finish of the preforms can be considerably improved.*

*On the other hand the coarse-crystallized quality-grades have a greater advantage when a high filling ratio and at the same time low viscosities are aimed at. Thus, a very important section for application of* ***APYRAL®*** **2** *and* **3** *is in carpet backings.*

*With regard to the variety of applications of our* ***APYRAL®****- quality-grades, the actual level of* ***APYRAL®*** *used is subject to the degree of flame retardancy required, coupled with the cost of the mix. Since the use of the relatively inexpensive* ***APYRAL®****- types as flame-retardant filler in comparison to the more expensive components in plastics brings about a certain price reduction, the final costing should be very advantageous.*

***Application***

*The wide variety of our* ***APYRAL®****- quality-grades are listed in the table mentioned below.*

| | | *APYRAL®* | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Field of Application** | **Application** | **1** | **2** | **3** | **4** | **8** | **15** | **16** | **24** | **22** | **40** | **60** | **90** | **120** |
| Latices | carpet backing | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | | |
| | needle felt | | | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | coatings of PUR-foam | | | | | | | | | | | | | |
| | rubberized hair | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | ■ | | |
| Polyester resins | SMC | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | BMC/DMC | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | pultrusion | | | | | | | | | ■ | | | | |
| | laminates | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| Epoxy resins | casting resins | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | |
| Acrylic resins | composites | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | | |
| Cross-linked | conveyor belts | | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| elastomers | cables | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | mouldings | | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | |
| | flooring | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | | |
| Polyvinylchlorides | flexible PVC | | ■ | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | |
| | flexible PVC-foam | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| | rigid PVC | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |
| | rigid PVC-foam | | | | | | | ■ | ■ | | ■ | ■ | | |
| Thermoplastics | polypropylene (PP) | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| | polyethylene (PE), copolymeres | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| | ethyl vinyl acetate (EVA) | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Aqueous dispersions | water-based paint | | | | | | | | | | | | | |
| (paint, etc.) | plasters, primers | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ |
| Polyurethanes | flexible PUR-foam | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | |
| | rigid PUR-foam | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | |
| | casting compounds | | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | | | ■ | | |
| | lacquers | | | | | | | ■ | ■ | | | ■ | | |
| | elastomeres | | | | | | | ■ | ■ | | | ■ | | |
| Urea and phenolic resins | chipboard | | | | | ■ | | | | | | | | |

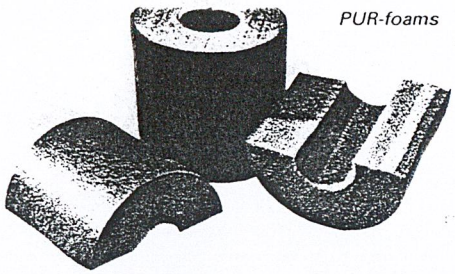
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Methods of Application for APYRAL®-Quality Grades

### APYRAL® in Synthetic Resins

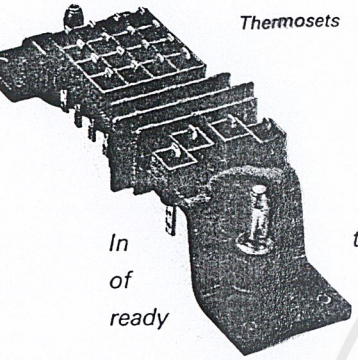
*In order to guarantee a satisfactory flame retardancy in thermosets (unsaturated polyester resins, epoxy resins etc.) at least 1 to 1,5 parts* ***APYRAL®*** *for each part of resin are recommended. Correct choice of the* ***APYRAL®****-type will control the increase in the specific viscosity of the resin and filler mix.*

PUR-foams



*With regard to the second option, finer* ***APYRAL®****-grades disperse faster and give good impregnation of the foam. The qualities* ***APYRAL® 15, 16*** *and* ***24*** *are the recommended choice. PUR-foam with very fine porosity may require* ***APYRAL® 60*** *.*

Thermosets



*In the field of UP-resins the usage of* ***APYRAL® 16*** *and* ***24*** *has already been well-established. Using* ***APYRAL® 22*** *even higher filling levels can be realized despite the high degree of fines.* ***APYRAL® 22*** *demonstrates excellent benefits in both SMC and BMC and especially in the DMC/RTM-technologies and pultrusion. In epoxy resins* ***APYRAL® 2, 3*** *and* ***4*** *are mainly used.*

Cable Coating

### APYRAL® in Elastomers

*In certain sensitive fields of application such as aviation, mining and subway tunnels elastomers have to show a high degree of flame retardancy. This is often coupled by the need to reduce smoke and toxic combustion gases. The mechanical properties of the flexible part will be influenced less when using finer* ***APYRAL®*** *-grades.*

*The specific grain size distribution of* ***APYRAL® 16*** *and* ***24*** *guarantees good results and recently there has been steady growth in the use of the fine-crystallized product types .*

***APYRAL®*** *is used as a flame-retardant filler for the manufacture of halogenfree cable sheath and insulations. All elastomers normally used in cables, i. e. NBR, EPDM or EVA etc. are highly combustible. Although halogens decrease the flammability, they also promote the generation of toxic products.*

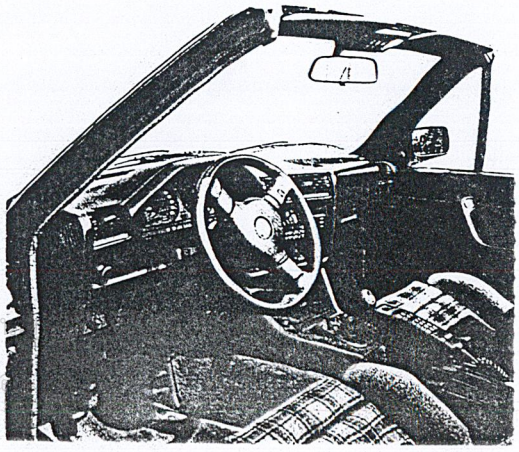
*Fine-crystallized* ***APYRAL®****-qualities are recommended for cable materials since coarser fillers strongly influence the mechanical properties, e. g. the tensile strength.* ***APYRAL® 60*** *has proven satisfactory results.*

### APYRAL® in Polyurethane Foams

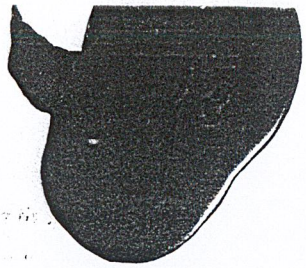
*Since all inorganic fillers have a negative impact on the physical properties of polyurethane foams, the actual level of* ***APYRAL®*** *used is determined by the amount of decrease in these characteristics that can be tolerated in the end product. The lowest influence is observed with rigid polyurethane foams of high density. In order to reduce the increase of viscosity* ***APYRAL® 2, 3*** *and* ***APYRAL® 16*** *are recommended.*

*There are two methods of applying fillers in flexible high resilience HR-foams. The first approach is similar to the processing of rigid PUR-foams. The filler can be mixed into the polyol before foaming and this mixture can be worked.*

*The second way would be a subsequent impregnation of the PUR-foam with a latex-* ***APYRAL®****-suspension; Polychloroprene or PUR-latices are typical examples. At high levels of filling these impregnated PUR-foams qualify for the B1 (DIN 4102) fire classification.*



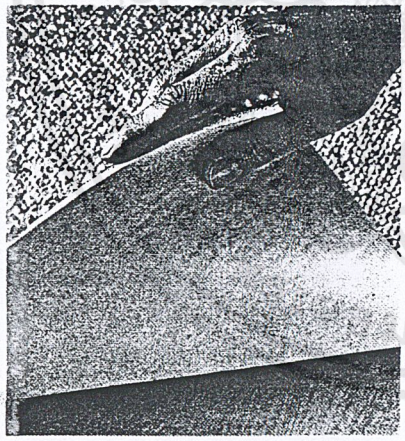
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าข



### APYRAL® in Paints

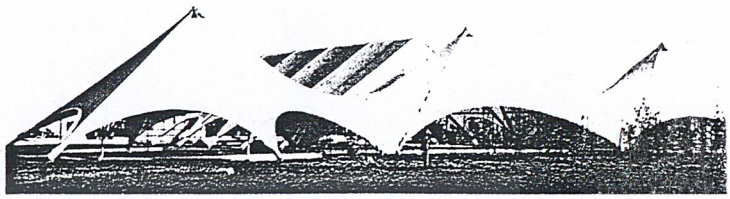
Plastic latex paints based on PVA or acrylics can be manufactured to comply with DIN 4102 B1 classification without unfavourably influencing the properties of the paint. In these mixes **APYRAL®** can operate as filler, pigment and flame retardant. Blends of **APYRAL® 15** and **60** are commonly used, the ratio of the **APYRAL®** blend varying between 1:1 and 1:4 depending on the dispersion. These blends guarantee a good dispersion and stable viscosity and prevent separation of dispersion by sedimentation.

### APYRAL® in Carpet Backing



In order to satisfy the fire regulations in the construction industry, especially in public contracting, carpet backings have to be flame-retardant. In this field of application **APYRAL®** has proved to be excellent.
**APYRAL® 1** and **2** are recommended for pre-coating; filler levels up to 300 % based on dry latex can be processed. For latex foam backing, finer product-types are necessary, so as to avoid a degeneration of the physical properties of the foam.
**APYRAL® 2**, **8**, **16** or even a finer **APYRAL®**-quality-grade are suitable.

For the impregnation of needle felt, the finer grades can be directly added to the latex suspension.
As with the foam, for this application **APYRAL® 2, 8, 16** or even finer grades should be used.



### APYRAL® in Thermoplastics

Provided that the processing-temperature does not exceed 200°C, **APYRAL®** is an effective flame-retardant filler in thermoplastics.
A 50 - 60 % loading of **APYRAL®** in PS, PE and PP results in self-extinguishing ratings by UL-94. Particularly effective in thermoplastics are the fine-crystallized grades **APYRAL® 40** to **120**.

Flexible PVC contains a high proportion of flammable ingredients such as plasticizers, slip additives and stabilizers. Since PVC itself is not very combustible, the flammability of the treated PVC is mainly determined by the aids applied. Consequently, the type and level of the **APYRAL®**-quality-grade to be used depends upon the recipe, – and once again the fine-crystallized grades of **APYRAL® 40** to **120** are best suited.

**APYRAL® 2** offers a great advantage in the application of PVC-plastisols. If there is an additional request on the surface quality of the finished products, **APYRAL® 4** or **15** show even better results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# *Nabwerk Aluminiumhydroxid Technologie GmbH*

***Aluminium-Hydroxide*** *for the production of :*

- *Aluminium Salts*
- *Refractory Products*
- *Glass*
- *Catalysts*
- *Cryolite*
- *Sodium Aluminate*
- *Sodium Aluminium Silicate (Zeolite)*
- *Pigments*

***APYRAL®*** *as flame retardant filler in:*

- *Plastic Components*
- *Carpet Backings*
- *Rubber and Cables*
- *Foam Plastics*

***PAPYRAL®*** *as filler and pigment for the paper production*

***NABALOX®*** *for the production of:*

- *Ceramic and Refractory Products*
- *Catalysts*
- *Polishing and Grinding Media*
- *Fused Alumina*
- *Glass*

***Synthetic Sintered Mullite*** *for the production of Refractory Products*

***Ceramic Bodies*** *for the production of Engineering Ceramics*

*For further information, please, contact:*

***Nabal****tec GmbH*
*P. O. Box 18 60 · D-92409 Schwandorf*
*Telephone (0) 94 31/53-0 · Telefax (0) 94 31/6 15 57*

***Sales Dept./Fillers***
*Telephone (0) 94 31/53-4 64/4 58*

***Sales Dept./Ceramic Raw Materials***
*Telephone (0) 94 31/53-4 57/2 34*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STORFLAM ZHS / ZS

# Joseph Storey
## & COMPANY LIMITED

## STORFLAM ZHS

ZINC HYDROXY STANNATE
$ZnSn(OH)_6$

## STORFLAM ZS

ZINC STANNATE
$ZnSnOH_3$

**Joseph Storey & Co. Ltd have been instrumental in the introduction of these non toxic flame retardants, which were first registered in the inventory for New Chemical Substances in May 1992. The products are being used in a number of Plastic, Rubber and Paint applications and they can completely replace Antimony Trioxide in formulations. Storflam ZHS / ZS are also capable of improving smoke performances in both halogen containing and halogen free systems.**

In **Halogen Containing** polymers, Storflam ZHS is the closest non-toxic alternative to antimony trioxide with the added benefits of:-

- Reduced smoke emissions
- Reduced toxic gas emissions
- Production of a clear or translucent polymer systems

In **Halogen Free** polymers, Storflam ZHS improves the performance of Alumina Trihydrate/ Magnesium Hydroxide systems to give:-

- Reduced smoke emissions
- Reduced toxic gas emission
- Lower filler loading
- Better physical properties
- Higher flame retardant specifications eg. Temperature Index

Storflam ZHS and Storflam ZS are analogous products, and we would recommend Storflam ZS for higher temperature applications i.e. for processing above 200°C. Addition levels for both products are typically in the range of 2% to 7%.

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION AREAS

Application areas in which Storflam ZHS could be of interest are:

1) Unsaturated Polyesters (Cone Calorimeter data available)

2) PVC
   a) Cables – Low Smoke
   b) Plastisols
   c) Cellular

3) Halogen Free Cables
   a) Vamac G (Ethylene Acrylic)
   b) PE/EVA

4) Halogen Free Polypropylene

5) Halogen Free Natural Rubber

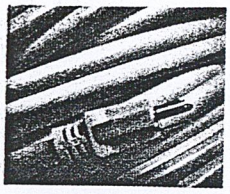
6) Polychloroprene

7) Paint

We have data available for the above applications and would be pleased to provide further information.

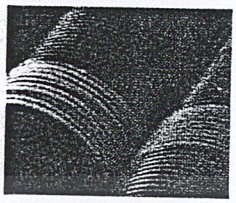
We are also keen to discuss and advise on other possible applications for our products

## MECHANISM



Storflam ZHS / ZS can operate either by a vapour or char phase mechanism depending on the type and level of halogen present. In halogen free systems, the Stannate charring ability results in a complimentary action to the water release and endothermic effect of Alumina/Magnesium Hydroxide.

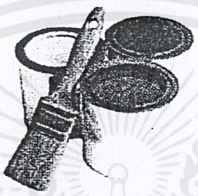
**Dehydration**



At 180°C the loss of 3 moles water or 19.1% of its weight occurs. This is accompanied by a large absorption of heat.

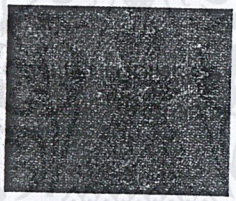
I.e. $ZnSn(OH)_6 \longrightarrow ZnSnO_3 + 3H_2O$

Condensed Vapour Phase Action



It would appear that the tin compound promotes a thermally stable, cross linked char in preference to volatile and flammable products. Restriction of the supply of fuel to the flame occurs with a reduction in smoke and toxic gas emission.

Residual Char Yields and Extent of Volatilisation



| Sample | Char (%) | Elemental Volatilisation (%) | Primary Phase of Action |
|---|---|---|---|
| 2phr $ZnSn(OH)_6$ | 38.8 | Sn 63.8<br>Zn 24.2<br>Br 77.6 | Condensed + Vapour |
| No Additive | 19.7 | 95.9 | |

## STORFLAM ZHS

**Composition**

Zinc Hydroxystannate
$ZnSn(OH)_6$
Molecular Weight 286.12
C.A.S.Number 12027-96-2

**Specification**

| | |
|---|---|
| Appearance | Free Flowing White Powder |
| Sn Content | 41.0% Typical |
| Zn Content | 22.0% Typical |
| Volatile loss 1 hour @ 105°C | 1.5% max |
| Sieve Analysis (200 Mesh) | 0.1% max |
| Mean Particle Size | 1-2 microns |
| Decomposition Temperature | ~200°C |

## STORFLAM ZS

**Composition**

Zinc Stannate
$ZnSnOH_3$
Molecular Weight 232.07
C.A.S. Number 12036-37-2

**Provisional Specification**

| | |
|---|---|
| Appearance | White powder |
| Sn Content | 51.0% Typical |
| Zn Content | 28.0% Typical |
| Volatile loss 1 hour @ 105°C | 1.0% max |
| Sieve Analysis (200 Mesh) | 0.1% max |
| Mean Particle Size | 1-2 microns |
| Decomposition Temperature (To $Zn_2SnO_4 + SnO_2$) | >570°C |

Joseph Storey & COMPANY LIMITED

**Joseph Storey & Co. Ltd**, Heron Chemical Works, Moor Lane Lancaster LA1 1QQ
**Telephone: +44(0)1524 63252** Fax: +44(0)1524 381805 www.bannerchemicals.co.uk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STORFLAM ZB GRADES 223 AND 2335

# Joseph Storey & COMPANY LIMITED

## STORFLAM ZB 223

ZINC METABORATE

$2ZnO.2B_2O_3.3H_2O$

## STORFLAM ZB 2335

ZINC BORATE

$2ZnO.3B_2O_3.3.5H_2O$

**Joseph Storey's Storflam ZB grades 223 and 2335 are effective flame retardant additives in many polymer and rubber applications. In particular, Storflam ZB shows synergy when used in the presence of Halogens, Antimony Trioxide and/or Alumina Trihydrate.**

Addition levels range from 2% to 15% depending on the requirements of each formulation, and this can replace 50% to 70% of the Antimony Trioxide used in the original formulation. This can often result in a reduced cost formulation with the added technical benefits that ZB offers;

- Smoke Reduction
- Afterglow Suppression
- Char Formation
- Low Toxicity ($LD_{50}$ (rats) > 10g/kg body weight)

Similarly, Storflam ZB can partially replace Alumina Trihydrate in formulations. As well as the flame retardant properties offered by the addition of Storflam ZB, the resulting lower filler loadings offer technical performance benefits.

Our main product grade, is Storflam 223, and this is used in the majority of polymer and rubber applications. Grade 2335 finds use where higher temperature stability is required, i.e. above 220°C because of its ability to retain water of hydration.

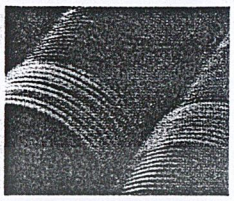
เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION AREAS

Application areas in which Storflam ZB could be of interest are:

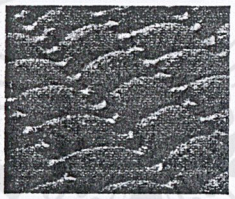
1) Flexible PVC for
   a) Wiring compounds
   b) Cable compounds
   c) Plastisols

2) Halogen Free Cable Compounds
   a) Ethylene Vinyl Acetate
   b) EPDM



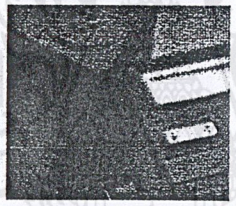
3) Conveyor Belting
   a) Neoprene/SBR blend
   b) Neoprene

4) Nylon
   a) Glass Reinforced Nylon 6.6/ Nylon 6 Copolymer
   b) Nylon 6.6
   c) Nylon 6



5) Glass Reinforced Polyester
   a) Brominated
   b) Chlorinated
   c) Halogen-free

6) Epoxy



7) Carpet Backing – PVC and Latex

8) General Rubber

9) Cotton Fabric Treatment

## MECHANISM

The mechanism by which Storflam ZB operates is considered to be in both the condensed and vapour phases as follows:

1) Storflam ZB acts in the condensed phase by redirecting the decomposition process in favour of carbon formation rather than CO or $CO_2$.

2) The addition of Storflam ZB to a formulation results in the formation of a surface layer of protective char which prevents the oxidation of carbon by limiting the accessible oxygen.

3) With chlorinated polymers such as PVC, the addition of Storflam ZB results in an endothermic (heat absorbing) reaction and the formation of Zinc Chloride and Zinc Oxychloride. These products can absorb free radicals thus reducing the temperature and flames.

4) Boric Acid is also released as a result of (3) and it fuses and forms a protective effect.

5) Water Vapour is released from the water of hydration assisting in helping to reduce the temperature.

## STORFLAM ZB223

**Composition**

Zinc Metaborate
$2Zn(BO_2)_2.3H_2O$

**Specification**

| | |
|---|---|
| Appearance | White amorphous powder |
| Volatile loss 1 hour @ 105°C | 1.5% max |
| 165°C | 3.0% max |
| pH on filtrate of 20% aqueous | 7.0 - 8.0 |
| Sieve Residue (200 mesh 75 micron) | 0.2% max |
| Ignition Loss (950°C) | 15.0% max |
| ZnO content | 46.0% min |
| $B_2O_3$ content | 39.0% min |

## STORFLAM ZB2335

**Composition**

Zinc Borate
$2ZnO.3B_2O_3.3.5H_2O$

**Specification**

| | |
|---|---|
| Appearance | White amorphous powder |
| Volatile loss 1 hour @ 105°C | 1.5% max |
| Bulk Density | 0.3-0.5 gm/cc |
| pH on filtrate of 20% aqueous | 7.0 - 8.0 |
| Sieve Residue (200 mesh 75 micron) | 0.2% max |
| Ignition Loss (950°C) | 15.5% max |
| ZnO content | 37.0% min |
| $B_2O_3$ content | 47.0% min |

Joseph Storey & COMPANY LIMITED

**Joseph Storey & Co. Ltd**, Heron Chemical Works, Moor Lane Lancaster LA1 1QQ
**Telephone: +44(0)1524 63252** Fax: +44(0)1524 381805 www.bannerchemicals.co.uk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MATERIAL SAFETY DATA SHEET

**Product name: Niax silicone L-600**
MSDS Number: 910000001620 Revision: 1.3 12/13/2000 

## 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

**Product name:** Niax silicone L-600

**Chemical name:** Siloxane Polyalkyleneoxide Copolymer

**Supplier:**
Crompton Corporation
One American Lane
Greenwich, CT 06831-2559, USA

**Emergency telephone number:**
CHEMTREC (24 hours) 800-424-9300
Crompton Corporation Emergency Response (24 hours) 800-809-9998
Crompton Corporation Emergency Response (24 hours) 304-926-8418

**For MSDS, Product Safety, or regulatory inquiries, call:** Mr. Dana Dalrymple 304-652-8446 / (fax) 304-652-1478

**Customer Service:** 800-523-5862

## 2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

| COMPONENT | CAS# | CONCENTRATION |
|---|---|---|
| Siloxane Polyalkyleneoxide Copolymer | Trade secret | > 45.0 % |
| Polyalkylene glycol | Trade secret | < 45.0 % |
| Polyalkylene oxide | Trade secret | < 15.0 % |

Note(s): See Section 15 for chemicals appearing on Federal or State Right-To-Know lists.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. HAZARDS IDENTIFICATION

### APPEARANCE

| | |
|---|---|
| **Physical state** | Clear liquid |
| **Color** | Straw colored |
| **Odor** | Mild |

### EMERGENCY OVERVIEW

WARNING!

CAUSES EYE IRRITATION.

### POTENTIAL HEALTH EFFECTS

#### Swallowing
**Acute effects**
Slightly toxic.
May cause the following effects:
- abdominal discomfort
- nausea
- vomiting

#### Skin absorption
**Acute effects**
No evidence of harmful effects from available information.

#### Inhalation
**Acute effects**
Short-term harmful health effects are not expected from vapor generated at ambient temperature.

#### Skin contact
**Acute effects**
No evidence of harmful effects from available information.

#### Eye contact
**Acute effects**
Causes irritation.
Causes the following effects:
- stinging
- discomfort
- pain

May cause the following effects:
- excess redness of the conjunctivae
- swelling of the conjunctivae

#### Medical conditions aggravated by overexposure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A knowledge of the available toxicology information and of the physical and chemical properties of the material suggests that overexposure is unlikely to aggravate existing medical conditions.

### Other effects of overexposure

Vapor generated at high temperatures may cause:
- eye irritation
- respiratory tract irritation
- dizziness
- nausea
- inhalation of harmful amounts of material

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS

All available ecological data have been taken into account for the development of the hazard and precautionary information contained in this Safety Data Sheet.

## 4. FIRST AID MEASURES

**Swallowing**
If patient is fully conscious, give two glasses of water. Induce vomiting. Obtain medical attention.

**Skin**
Wash skin with soap and water.

**Inhalation**
No emergency care anticipated.

**Eye contact**
Immediately flush eyes with water and continue washing for several minutes. Obtain medical attention.

**Notes to physician**
There is no specific antidote. Treatment of overexposure should be directed at the control of symptoms and the clinical condition of the patient.

## 5. FIRE-FIGHTING MEASURES

**Flash point:** 110 °C (230 °F)

**Flammable limits**
Lower limit: Not available
Upper limit: Not avaiiable

**Special fire fighting procedures**
None.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special protective equipment for firefighters**
Self-contained breathing apparatus. Protective clothing.

**Extinguishing media**
Suitable: Large fires:
- alcohol-type foam or universal-type foams
Small fires:
- CO2
- dry chemical

Unsuitable: None.

**Unusual fire and explosion hazards**
None known.

## 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

**Personal precautions**
Wear suitable protective equipment.

**Environmental precautions**
Prevent runoff.

**Methods for cleaning up**
Cover with absorbent or contain.
Collect for disposal.
Observe government regulations.

## 7. HANDLING AND STORAGE

### HANDLING

**Handling precautions**
Avoid contact with eyes. Wash thoroughly after handling.

## 8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

### PERSONAL PROTECTION

**Respiratory protection**
None expected to be needed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Hand protection / protective gloves**
Recommended order of use:
4H
Butyl
Neoprene
Nitrile (NBR)
PVC-coated

**Eye protection**
Monogoggles

**Other protective equipment**
Eye bath
Safety shower

### ENGINEERING CONTROLS

**Ventilation**
General (mechanical) room ventilation is satisfactory for normal handling.
In a foaming operation, the special ventilation required to control isocyanates at safe levels should also be satisfactory for this product.

### EXPOSURE LIMITS

No exposure limits have been established

## 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

### APPEARANCE

| | |
|---|---|
| **Physical state** | Clear liquid |
| **Color** | Straw colored |
| **Odor** | Mild |

### OTHER PROPERTIES

| | |
|---|---|
| **Boiling point** | > 150 °C at STP unless specified below.<br>Copolymer |
| **Melting point** | < 0 °C at STP unless specified below. |
| **pH** | Not available |
| **Specific gravity (H2O=1)** | 1.0306 at 25 °C ( 1,013 hPa) |
| **Vapor pressure** | < 1.33 hPa (1.00 mmHg) at 20 °C |
| **Vapor density (air=1)** | Heavier than air |
| **Solubility in water** | Dispersible |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Evaporation rate (Butyl Acetate=1)** | < 1 |
| **Flash point** | 110 °C (230 °F)<br>Method: Pensky-Martens closed cup ASTM D 93 |
| **Upper explosion limits** | Not available |
| **Lower explosion limits** | Not available |
| **Percent volatiles** | Not determined |
| **Molecular weight** | Copolymer |

## 10. STABILITY AND REACTIVITY

**Stability:** Stable.

**Stability - Conditions to avoid**
None known.

**Incompatible materials**
Aqueous acids.

**Hazardous combustion products**
Burning can produce the following combustion products:
Oxides of carbon.
Oxides of silicon.
Carbon monoxide is highly toxic if inhaled; carbon dioxide in sufficient concentrations can act as an asphyxiant.
Acute overexposure to the products of combustion may result in irritation of the respiratory tract.

**Hazardous polymerization:** Will not occur.

**Hazardous polymerization - Conditions to avoid**
None known.

## 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

### SIGNIFICANT DATA WITH POSSIBLE RELEVANCE TO HUMAN HEALTH

No information relevant to human health hazard evaluation is currently available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 12. ECOLOGICAL INFORMATION

All available ecological data have been taken into account for the development of the hazard and precautionary information contained in this Safety Data Sheet.

## 13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

General: Incinerate in a furnace where permitted under appropriate Federal, State, and local regulations.

## 14. TRANSPORT INFORMATION

### DOT Classification

This product is not regulated by DOT.
Freight description road: OIL, O/T PETROLEUM, LUBRICATING, NOIBN

### IMDG Classification

This product is not regulated by IMDG.

### ICAO Classification

This product is not regulated by ICAO.

## 15. REGULATORY INFORMATION

**Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act of 1980 (CERCLA) requires notification of the National Response Center of release of quantities of hazardous substances equal to or greater than the reportable quantities (RQ's) in 40CFR302.4.**
Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:
**** NONE ****

**Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA) Title III requires emergency planning based on Threshold Planning Quantities (TPQ's) and release reporting based on Reportable Quantities (RQ's) in 40CFR355 (used for SARA 302 and 304).**
Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:
**** NONE ****

**Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA) Title III requires submission of annual reports of release of toxic chemicals that appear in 40CFR372 (for SARA 313). This information must be included in MSDS's that are copied and distributed for this material.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:
**** NONE ****

**Massachusetts Right-To-Know Substance List (MSL)--Hazardous Substances and Extraordinarily Hazardous Substances on the MSL must be identified when present in products.**
Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:
**** NONE ****

**Pennsylvania Right-To-Know Hazardous Substance List--Hazardous Substances and Special Hazardous Substances on the list must be identified when present in products.**
Components present in this product at a level which could require reporting under the statute are:

| Chemical name | CAS# | Max weight % |
|---|---|---|
| Polyalkylene glycol | Trade secret | < 45.00 |

**New Jersey Worker and Community Right-To-Know Act (Labeling Requirements)**

| Chemical name | CAS# | New Jersey TS Number |
|---|---|---|
| Siloxane Polyalkyleneoxide Copolymer | Trade secret | NJ Reg# 26175-24289A |
| Polyalkylene oxide | Trade secret | NJ Reg# 26175-24289B, -24289C |
| Polyalkylene glycol | Trade secret | NJ Reg# 26175-24289D |

**EPA Hazard Categories (SARA 311, 312):** Immediate Health Hazard

**California Proposition 65**
This product contains no levels of listed substances, which the State of California has found to cause cancer, birth defects or other reproductive harm, which would require a warning under the statute.

**California SCAQMD Rule 443.1 VOC's**
Volatile Organic Components (VOC's) = Substances with vapor pressure of => 0.5 mmHg at 104'C (219.2'F).
This product contains 390 g/liter VOC's.

## CHEMICAL INVENTORY

United States: The ingredients of this product are listed on the TSCA inventory or are exempt.

## 16. OTHER INFORMATION

**RECOMMENDED USES AND RESTRICTIONS**
Please consult the product and/or application information bulletins for this product.

**HMIS RATING**

| Health: 1 | Flammability: 1 | Reactivity: 0 | PPI: X |
|---|---|---|---|

**LEGEND**

| | |
|---|---|
| STP | Standard temperature and pressure |
| W/W | Weight/Weight |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| 0 (HMIS) | Minimal hazard |
| 1 (HMIS) | Slight hazard |
| 2 (HMIS) | Moderate hazard |
| 3 (HMIS) | Serious hazard |
| 4 (HMIS) | Severe hazard |
| X (HMIS) | Personal protection rating to be supplied by user depending on use conditions |

Niax is a registered trademark of OSi Specialties
Copyright 2000 Crompton Corporation

The opinions expressed herein are those of qualified experts within Crompton Corporation. We believe that the information contained herein is current as of the date of this Safety Data Sheet. Since the use of this information and of these opinions and the conditions of use of this product are not within the control of Crompton Corporation, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้