การศึกษาผลของสภาวะแวดล้อมที่มีต่อความต้านแรงกระแทกของพลาสติก

A study of the effect of outdoor exposure on the impact strength of plastics

สิริวรรณ มิ่งบรรเจิดสุข[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงกระแทกเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมของพลาสติกจำนวนสองชนิด คือ พอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) และพอลิคาร์บอเนต โดยใช้สภาวะแวดล้อมจริงของกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ระยะเวลาในการศึกษาหนึ่งปี โดยทำการทดสอบเก็บข้อมูลทุกๆ สามเดือน พบว่าพลาสติกทั้งสองชนิดมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความต้านแรงกระแทกที่แตกต่างกัน โดยค่าความต้าน แรงกระแทกของพลาสติกชนิดพอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงด้วยอัตราที่สูงในช่วงสามเดือนแรก จากนั้นการลดลงเกิดด้วยอัตราที่ช้าลง เมื่อเวลาในการศึกษาผ่านไป 317 วัน ค่าความต้านแรงกระแทกมีค่าเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของค่าตั้งต้น ส่วนพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต ในช่วงหกเดือนแรกของการศึกษา การลดลงของค่าความต้านแรงกระแทกเกิดน้อยกว่าร้อยละ 10 ของค่าตั้งต้น เมื่อเวลาในการศึกษาผ่านไป 233 วัน ค่าความต้านแรงกระแทกมีค่าเหลือครึ่งหนึ่งของค่าตั้งต้น ตั้งแต่เดือนที่เก้าการเปลี่ยนแปลงลดลงเกิดสูงกว่าร้อยละ 80 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้นำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการทนสภาวะแวดล้อมของพลาสติกที่ศึกษาได้ว่า พอลิ (อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีกว่าพอลิคาร์บอเนต

Abstract

In this study, the changes in impact strength of two types of plastics due to natural outdoor exposure were investigated. Determinations of impact strength of the materials weathered at Bangkok, Thailand exposure site were performed every three months for a period of one year. It was found that each material had different patterns of the changes in their impact properties. Impact strength values of poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) decreased highly in the first three months and the decreases were gradually slow down afterward. At 317 days of exposure time, impact strength retention was 50%. Polycarbonate, another type of plastic, had the decreases in impact strength values less than 10% of the original value during the first 6 months of the whole exposure time. When the exposure time approached 233 days, impact strength was close to 50% of its original value. Starting from the ninth month, impact strength was lost more than 80%. By using the information obtained in this study, poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) could then be assessed as being a more durable material to outdoor environment exposure than polycarbonate.

คำสำคัญ : พลาสติก

Keywords : impact strength , outdoor exposure , plastic, polycarbonate , poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)

1*กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Email address: lsiriwan@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันได้มีการนำพลาสติกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อทดแทนวัสดุประเภทไม้และโลหะกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติของพลาสติกในแง่น้ำหนัก ราคา ความคงทนต่อสารเคมี ไปจนถึงการตอบสนองต่อการออกแบบที่ทันสมัยได้ดีกว่า ในจำนวนผลิตภัณฑ์เหล่านี้บางประเภทมุ่งเน้นการใช้งานภายนอกอาคารโดยเฉพาะ เช่น กันสาด ประตูหน้าต่าง เลนส์-โคม ไฟสัญญาณและป้ายจราจร ดังนั้นการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยแสงอาทิตย์ น้ำฝนและมลพิษ จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสมบัติของพลาสติก ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน เมื่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติกสั้นลง ปัญหาที่จะตามมาก็คือปัญหาขยะพลาสติกที่ยากต่อการกำจัด รวมไปถึงความไม่คุ้มค่าในการใช้พลังงานและวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างจำกัดบนโลก การศึกษาความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมของพลาสติกที่ดำเนินการโดยใช้เครื่องเร่งสภาวะในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเทียมและตู้จำลองสภาวะ มีข้อดีตรงที่ใช้เวลาในการทดลองสั้นกว่าการศึกษาทดลองในสภาวะแวดล้อมจริง (natural outdoor) แต่ผลที่ได้อาจไม่สัมพันธ์กับพฤติกรรมที่แท้จริงของวัสดุในการใช้งานถ้าเลือกใช้สภาวะในการเร่งไม่เหมาะสม ดังเช่นกรณีของพอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) หากใช้ความเข้มของแสงในการเร่งสภาวะสูงกว่าแสงในธรรมชาติมากเกินไป จะทำให้เกิดออกซิเดชั่นโดยแสงที่ผิวของชิ้นงานสูงมากตั้งแต่แรกและขัดขวางการเกิดออกซิเดชั่นที่ระดับลึกลงไปจากผิว ทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากผลที่เกิดขึ้นภายใต้แสงธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ใช้สภาวะแวดล้อมจริงในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงกระแทก ที่ระยะเวลาต่างๆ ในช่วงเวลา หนึ่งปีของพลาสติกจำนวนสองชนิด ได้แก่ พอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) และพอลิคาร์บอเนต เพื่อใช้ประเมินความทนต่อสภาวะแวดล้อมของวัสดุที่นำมาศึกษา

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1. พลาสติกชนิดพอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) (ABS) เกรด R

2.1.2. พลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต (PC) เกรดใช้งานทั่วไป

2.2 อุปกรณ์ เครื่องมือ

2.2.1. เครื่องทดสอบความต้านแรงกระแทกแบบค้อนเหวี่ยง (pendulum) รุ่น 7116 ของบริษัท Yasuda Seiki จำกัด

2.2.2. ฆ้อนขนาด 2 และ 11 จูล

2.2.3. เครื่องบากชิ้นทดสอบและใบมีดรูปตัว V รัศมี 0.25 มิลลิเมตร (type A)

2.2.4. เครื่องวัดมิติ - ไมโครมิเตอร์ (micrometer) และไดอัลเกจ (dial guage) ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

2.2.5. ตะแกรงสำหรับวางชิ้นทดสอบไว้กลางแจ้ง มีความลาดเอียง $3^{\circ}76'$ [1]

2.3 วิธีดำเนินการ

2.3.1. นำพลาสติกชนิดต่างๆ มาตัดเป็นชิ้นทดสอบพลาสติกรูปคาน ขนาดกว้าง x ยาว x หนา = 10 มิลลิเมตร x 80 มิลลิเมตร x 4 มิลลิเมตร [2] ทั้งหมดห้าชุด จำนวนชุดละสามชิ้น

2.3.2. บากชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลาง เป็นรูป V-notch ลึก 2 มิลลิเมตร

2.3.3. วัดความกว้างที่เหลือหลังการบาก และความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยใช้ไดอัลเกจและไมโคร มิเตอร์ตามลำดับ

2.3.4. นำชิ้นทดสอบหนึ่งชุดไปทดสอบความต้านแรงกระแทกแบบชาร์ปี [3] ที่อุณหภูมิ $23^{\circ}C$ โดยวางชิ้นทดสอบให้ด้านที่มีรอยบากหันเข้าหาฆ้อน (edgewise direction) คำนวณค่าความต้านแรงกระแทกในหน่วยกิโลจูลต่อตารางเมตร

2.3.5. ยึดชิ้นทดสอบอีกสี่ชุดที่เหลือไว้กับตะแกรงสำหรับวางชิ้นทดสอบที่ตั้งไว้กลางแจ้ง (บนดาดฟ้าอาคารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กรุงเทพมหานคร, ละติจูด $13^{\circ}73'$ N) โดยหันตะแกรงไปทางทิศใต้ ในตำแหน่งที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน ปราศจากเงาของอาคารหรือต้นไม้

2.3.6. ถอดชิ้นทดสอบพลาสติกออกจากอุปกรณ์ทีละชุด ทุกๆ สามเดือน บันทึกการเปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบแล้วดำเนินการตามข้อ 2.3.4 ทำซ้ำจนครบสี่ชุด

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบหาค่าความต้านแรงกระแทกของพลาสติกทั้งสองชนิด ที่ผ่านการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมเป็นระยะเวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 3-1 ถึง 3-2 จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าพลาสติกทั้งสองชนิดมีความต้านแรงกระแทกลดต่ำลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการทดสอบนานขึ้น อันเป็นผลจากการเสื่อมสภาพโดยแสง (photodegradation) และปัจจัยในสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ร่วมกัน ได้แก่ 1. อุณหภูมิ ซึ่งสามารถเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยแสงของพลาสติก (เช่น ออกซิเดชั่น) 2. ความชื้น ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของพลาสติก ส่งผลให้พลาสติกเกิดการหดและขยายตัว เป็นการเร่งให้เกิดริ้ว (crazing) และรอยแตก (cracking) 3. น้ำฝน ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพลาสติกชนิดพอลิเอไมด์ พอลิคาร์บอเนต และพลาสติกชนิดอื่นๆ และ 4. มลพิษในอากาศ ซึ่งทำลายชั้นโอโซนที่ทำหน้าที่กั้นรังสีจากดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ปริมาณของรังสีบนผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น

กระบวนการเสื่อมสภาพโดยแสงเริ่มจากส่วนที่ไวต่อแสงที่อยู่ภายในโมเลกุลของพลาสติกเอง ที่เรียกว่าโครโมฟอร์ (chro mophore) เช่น วงแหวนอะโรมาติก หมู่คาร์บอนิล (C=O) หมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และพันธะคู่ หรือจากภายนอก เช่น สารปนเปื้อนที่เป็นโลหะ และคะตะลิสต์ที่เหลือจากกระบวนการผลิต ดูดซับพลังงานจากแสง กลายเป็นโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นหรือแรดิคัลอิสระ (free radical) โดยแรดิคัลอิสระที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำให้เกิดแรดิคัลอิสระอื่นๆ อีก ไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้สารที่เฉื่อย กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับแรดิคัลอิสระ เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์โดยแสง (photo- physical process) หรือกระบวนการทางเคมีโดยแสง (photochemical process) ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพลาสติก ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ [4]

Table 3-1 Impact strength values of ABS

Exposure time (day)	Impact strength (KJ/m^2)	
	Mean	S.D.
0	15.9	0.7
90	11.7	0.2
182	10.0	0.2
273	8.3	0.6
365	7.5	0.3

Table 3-1 Impact strength values of PC

Exposure time (day)	Impact strength (KJ/m^2)	
	Mean	S.D.
0	92.7	4.5
90	90.9	3.9
182	85.3	1.1
273	16.2	0.6
365	8.8	6.4

3.1 **พลาสติกชนิด** ABS

จากการศึกษาพบว่าการลดลงของค่าความต้านแรงกระแทกของ ABS ในช่วงสามเดือนแรก เกิดด้วยอัตราที่สูงกว่าช่วงอื่นๆ หลังจากนั้นจะเกิดด้วยอัตราที่ช้าลง จากรูปที่ 3-1 ความต้านแรงกระแทกของพลาสติกชนิด ABS มีค่าเหลือร้อยละ 50 ของค่าตั้งต้น (ประมาณ 8 กิโลจูลต่อตารางเมตร) เมื่อเวลาที่ใช้ในการศึกษาผ่านไป 317 วัน นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของสีของชิ้นทดสอบ โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีเหลืองเข้ม

ABS เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยพอลิบิวทาไดอีนต่อกับอะคริโลไนไตรล์-สไตรีนโคพอลิเมอร์ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีที่นำไปสู่การลดลงของความต้านแรงกระแทก เริ่มจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยแสงในส่วนของพอลิบิวทาไดอีนก่อน เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนในส่วนของพอลิบิวทาไดอีนสูงกว่าในโครงสร้างส่วนอื่น [5] ได้เป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ [6,7] ซึ่งจะถูกกระตุ้นโดยแสงต่ออีก เกิดเป็นแรดิคัลอิสระที่เมื่อผ่านกระบวนการแตกพันธะ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือสารที่มีหมู่คาร์บอนิลจำพวกคาร์บอกซิลิกแอซิด แอนไฮไดร์ด r-แลคโทน เป็นต้น แรดิคัลอิสระที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของพอลิบิวทาไดอีนนี้เองที่เป็นตัวเริ่มต้นทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นโดยแสงในส่วนสไตรีนต่อไป [8] การเปลี่ยนสีของชิ้นทดสอบเป็นผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

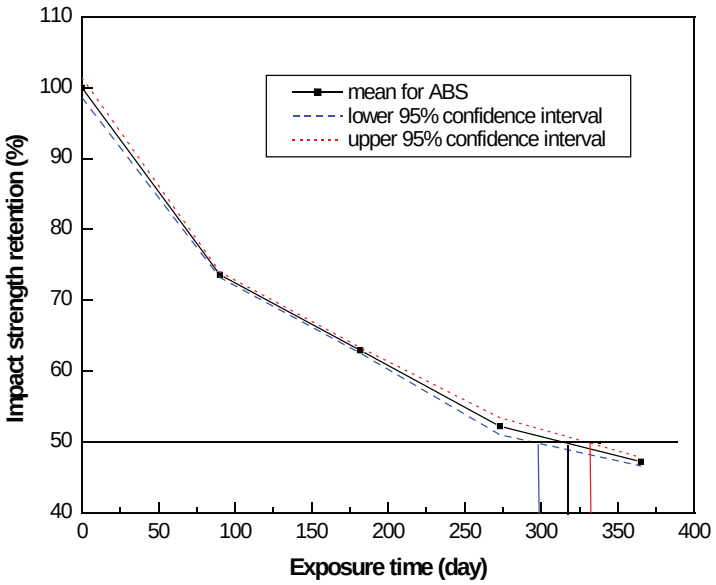

Figure 3-1 Exposure time at 50% of original impact strength value of ABS with tolerance interval

3.2 **พลาสติกชนิด** PC

เป็นพลาสติกที่มีค่าความต้านแรงกระแทกตั้งต้น (92.7 กิโลจูลต่อตารางเมตร) สูงกว่าของ ABS มากกว่าห้าเท่า พบว่าในช่วงหกเดือนแรกการลดลงของค่าความต้านแรงกระแทกของ PC เกิดต่ำกว่าร้อยละ 10 ของค่าตั้งต้น จากรูปที่ 3-2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการศึกษาผ่านไปเพียง 233 วัน ค่าความต้านแรงกระแทกของพลาสติกชนิดนี้มีค่าเหลือครึ่งหนึ่งของค่าตั้งต้น ตั้งแต่เดือนที่เก้าค่าความต้านแรงกระแทกเปลี่ยนแปลงลดลงมากกว่าร้อยละ 80 และสามารถสังเกตเห็นได้ว่าสีของชิ้นทดสอบเปลี่ยนจากใส ไม่มีสี เป็นสีเหลือง

PC มีบิสฟีนอลเอเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่ง จึงมีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล และวงแหวนอะโรมาติกที่ได้จากบิสฟีนอลเอซึ่งเป็นส่วนที่ไวต่อการถูกกระตุ้นโดยแสง การที่ค่าความต้านแรงกระแทกของ PC ในเดือนที่เก้าที่ทำการศึกษาซึ่งตรงกับเดือนพฤศจิกายนเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างมาก เนื่องมาจากชิ้นทดสอบได้ผ่านการเกิดทั้งปฏิกิริยาเคมีโดยแสงและปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยน้ำฝนตลอดช่วงฤดูฝน ส่วนปรากฏการณ์การเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง (yellowing) ของพลาสติกชนิด PC มีรายงานว่าเป็นผลจากการเกิดออกซิเดชั่นโดยแสงของหมู่เมทิลีนในบิสฟีนอลเอ [9]

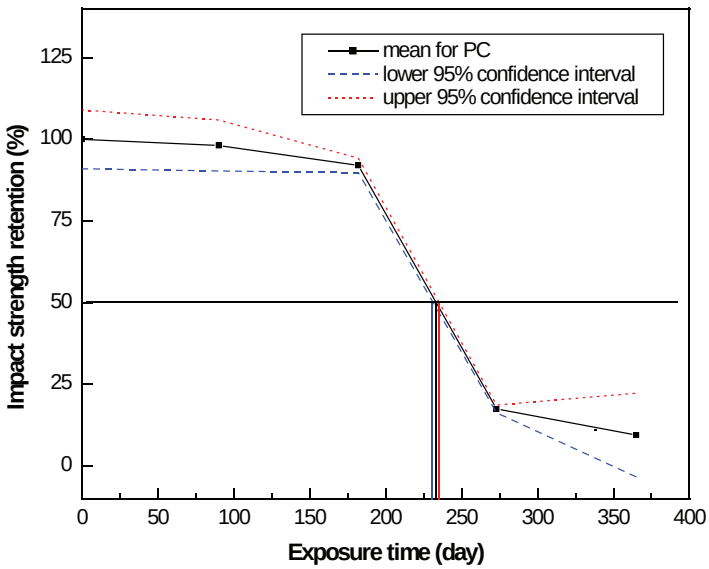

Figure 3-2 Exposure time at 50% of original impact strength value of PC with tolerance interval

4. สรุป (Conclusion)

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความต้านแรงกระแทกในระยะเวลาหนึ่งปีชี้ว่า พลาสติกชนิดพอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) มีความทนต่อสภาวะแวดล้อมมากกว่าพลาสติกชนิดพอลิคาร์บอเนต โดยความต้านแรงกระแทกของพลาสติกชนิดพอลิ(อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน) และพอลิคาร์บอเนตมีค่าเหลือร้อยละ 50 ของค่าตั้งต้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการศึกษาผ่านไป 317 และ 233 วัน ตามลำดับ ข้อมูลนี้ชี้ถึงความต้องการการป้องกันการเสื่อมสภาพของพลาสติกทั้งสองชนิดนี้หากต้องนำไปใช้งานภายนอกอาคาร ซึ่งอาจทำได้โดยการเติมสารดูดซับรังสียูวี (UV absorber) เช่น สารประกอบเบนโซฟีโนน (benzophenone) [10], สารประกอบเบนโซไตรอาโซล (benzotriazole) หรือสารคงสภาพ (stabilizer) เช่น HALS (hinderd amines light stabilizer) [11] หรือใช้วิธีเคลือบผิวด้วยวัสดุที่ทนต่อสภาวะเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ สำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการสมบัติด้านความโปร่งแสง คาร์บอนแบล็กอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เป็นสารดูดซับรังสียูวีที่มีราคาถูก [12]

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้เขียนขอขอบคุณ Japan Chemical Innovation and Inspection Institute (JCII) สำหรับวัตถุดิบและคำแนะนำด้านวิชาการ และขอขอบคุณบริษัทยามาโต เทวนตี้เฟิร์สท์เซนจูรี่ จำกัด สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] International Organization for Standardization. Plastics-Method of exposure to direct weathering, to weathering using glass-filtered daylight, and to intensified weathering by daylight using Fresnel mirrors. **ISO 877**, 1994, p.1-15.

[2] International Organization for Standardization. Plastics-Preparation test specimens by machining. **ISO 2818**, 1994, p.1-10.

[3] International Organization for Standardization. Plastics-Determining of Charpy impact properties-Part 1: Non –instrumented impact test. **ISO 179-1**, p.1-17.

[4] Wypych, George. **Handbook of material weathering.** 4th edition, Toronto : Chemtec Publishing, 2008, p.11.

[5] Getlicherman, M., Trojan, M., Daro, A. and David, C. "Degradation of polymer blends. Part VI : photo-oxidation of polyethylene containing SIS triblock copolymers." **Polym. Degrad. Stab.**, 1993, 39, 55-68.

[6] Gardette, J.L. "Heterogeneous photooxidation of solid polymers." **Angew. Makromol. Chem.**, 1995, 232, 85-103.

[7] Gardette, J.L., Mailhot, B. and Lemaire, J. "Photooxidation mechanism of styrenic polymers." **Polym.Degrad. Stab.**, 1995, 48(3), 457-470.

[8] Piton, M. and Rivaton, A. "Photooxidation of ABS at long wavelengths (a>300 nm)." **Polym. Degrad. Stab.**, 1997, 55(2), 147-157.

[9] Factor, A. "Search for the sources of color in thermally aged, weathered and r-ray irradiated bisphenol A polycarbonate." **Angew. Makromol. Chem.**, 1995, 232, 27-43.

[10] Pratt, G.J. and Smith, M.J.A. "Ultraviolet degradation and stabilization in poly(dian carbonate): dielectric measurements-II." **Polym. Degrad. Stab.**, 1997, 56(2),179-183.

[11] Motyakin, M.V., Gerlock, J.L. and Schlick, S. "Electron spin resonance imaging of degradation and stabilization processes : Behavior of a hindered amine stabilizer in UV-exposed poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) polymers." **Macromolecules.**, 1999, 32(16), 5463-5467.

[12] Belofsky, Harold. Plastics: **Product design and process engineering.** Ohio : Hanser/Gardner, 1995, p.178-179.