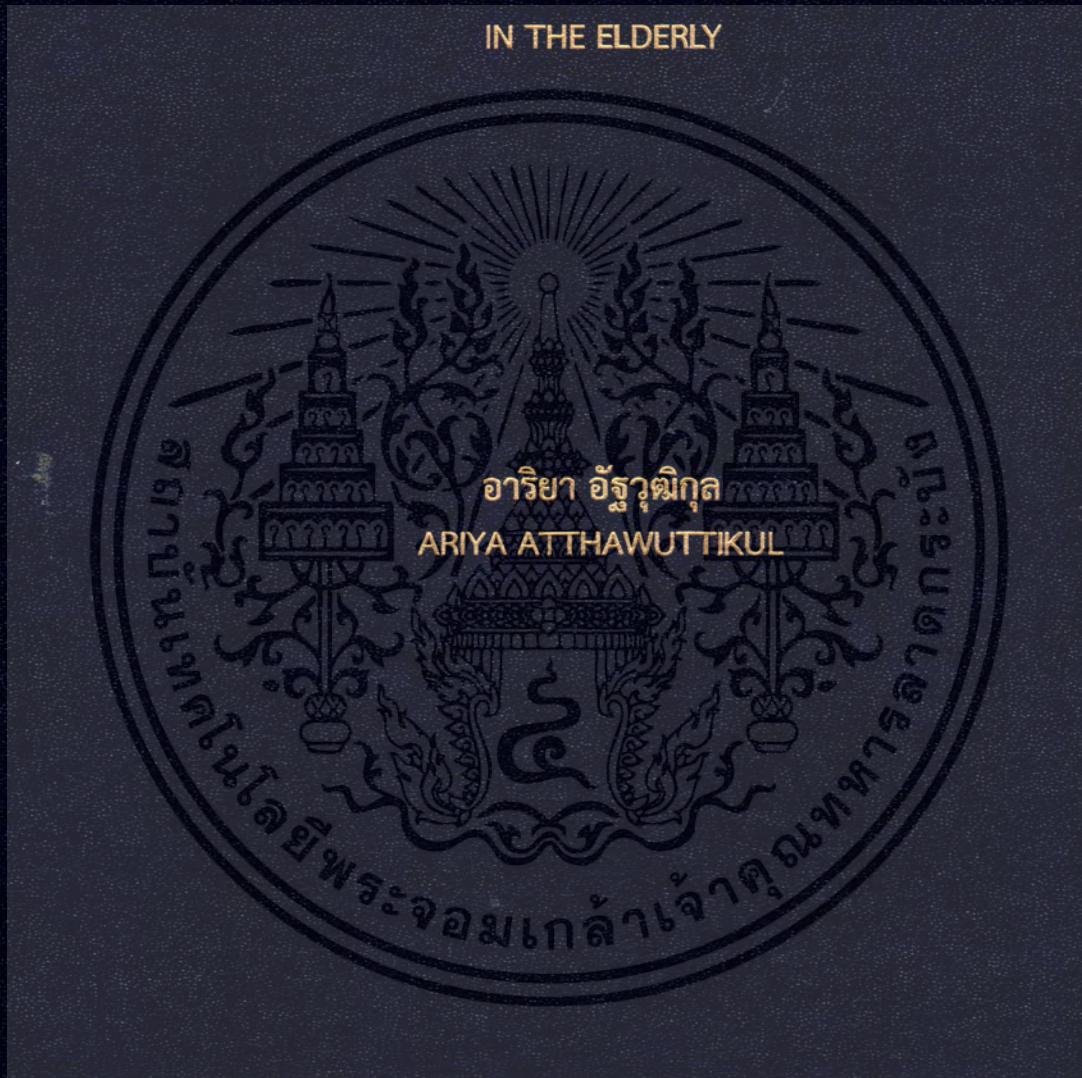


ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อ
การดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุ

THE EFFECT OF SUBUNIT FORMS OF STRUCTURAL LAYER IN PADS ON
SHOCK ABSORPTION TO PREVENT HIP INJURIES FROM SLIPPING
IN THE ELDERLY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-AR-D-007-054

ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อ
การดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุ

THE EFFECT OF SUBUNIT FORMS OF STRUCTURAL LAYER IN PADS ON
SHOCK ABSORPTION TO PREVENT HIP INJURIES FROM SLIPPING
IN THE ELDERLY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-AR-D-007-054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EFFECT OF SUBUNIT FORMS OF STRUCTURAL LAYER IN PADS ON
SHOCK ABSORPTION TO PREVENT HIP INJURIES FROM SLIPPING
IN THE ELDERLY



ARIYA ATTHAWUTTIKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ARCHITECTURE PROGRAM IN MULTIDISCIPLINARY DESIGN RESEARCH
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-AR-D-007-054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทก
จากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานโปกของผู้สูงอายุ
THE EFFECT OF SUBUNIT FORMS OF STRUCTURAL LAYER IN PADS ON
SHOCK ABSORPTION TO PREVENT HIP INJURIES FROM SLIPPING IN THE
ELDERLY

นักศึกษา

นางสาวอารียา อัฐวุฒิกุล

รหัสประจำตัว

55621554

ปริญญา

สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา






สหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาดา ชวาลกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

-

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนธิ วงษา	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาดา ชวาลกุล	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมรัชมี วิจิตรกุลเกษม	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อันธิกา สวัสดิ์ศรี	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณินทร์ รังวงศ์วาน	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 11 ธันวาคม 2561

สถานที่สอบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อันธิกา สวัสดิ์ศรี)

คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

วันที่ 11 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการ
ดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของ
ผู้สูงอายุ

นักศึกษา

นางสาวอารียา อัฐวุฒิกุล

รหัสนักศึกษา

55621554

ปริญญา

สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา

สหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ

พ.ศ.

2561

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร. ญาดา ชวาลกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้นพบว่ารูปร่างหน้าตัดและด้านข้างของรูปทรงหน่วยย่อยชั้น
โครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทก ยังไม่มีการศึกษารูปร่างหน้าตัดและด้านข้างอย่างไรจึง
เพิ่มการดูดซับแรงกระแทก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วย
ย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะพานจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยใช้
รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองจำลองสถานการณ์การลื่นหกล้มเสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป
ด้านวิศวกรรม จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น สรุปปัจจัยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วย
ย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะพานจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ
คือ (1) หน้าตัด (2) ด้านข้าง (3) การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ และ (4) ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วย
ย่อย ผู้วิจัยนำปัจจัยข้างต้นมาใช้ในการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจำนวน 129 แบบ
โดยกำหนดแรงกระแทกบริเวณสะพาน 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที และทดสอบสมมติฐานการวิจัยย่อย
5 ข้อ พบว่า 1) จำนวนชั้นแผ่นพื้น 2 ชั้นดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่า 1 และ 3 ชั้น 2) จุดเชื่อมต่อ
ระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นไม่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทก 3) หน้าตัดสามเหลี่ยมส่งผลต่อการดูดซับ
แรงกระแทกได้มากกว่าหน้าตัดวงกลม หน้าตัดสี่เหลี่ยม หน้าตัดหกเหลี่ยม หน้าตัดเจ็ดเหลี่ยม และหน้า
ตัดแปดเหลี่ยม 4) ลอนด้านข้าง 3 ลอนส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่า 1 2 และ 4 ลอน และ
5) หน้าตัดของรูปทรงหน่วยย่อยส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าหน้าตัดของรูปทรงหน่วย
ย่อยอื่น ผลการวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อนักออกแบบแผ่นพื้นเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหน้าตัดและด้านข้าง
ของรูปทรงหน่วยย่อยที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะพานจากการลื่นหกล้ม

Thesis	The Effect of Subunit Forms of Structural Layer in Pads on Shock Absorption to Prevent Hip Injuries from Slipping in the Elderly
Student	Miss Ariya Atthawuttikul
Student ID.	55621554
Degree	Doctor of Architecture
Program	Multidisciplinary Design Research
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Yada Chavalkul

ABSTRACT

Previous studies on padded floor mat have found that the shapes of the cross-section and edges of the mat's subunits strongly affected force absorption. However, there has been no study to date on how such shapes can improve the mat's force absorption. The objective of this study was to investigate and analyze the effect of such shapes on the absorption of force acting on elderly hips from their slipping and falling. This study was a quasi-experimental research study of simulation of the impact force involved in elderly's fall on their hip with an engineering ANSYS simulation program. A literature review informed us that the magnitude of the force on the hip was 4.050 Newton-meter/second and the design factors of shapes of subunits to consider were the following: 1) cross-section of subunits, 2) edges of subunits, 3) dimensional arrangement of subunits and 4) dimensions of subunits. We used these factors as parameters for constructing 129 models. A number of these models were used to test each of the five hypotheses, and the findings were as follows: 1) two structural layers of subunits were able to withstand an impact force better than 1 or 3 layers; 2) the links between joints of the structural layers did not significantly affect the mat's shock absorption capacity; 3) a triangular cross-section of subunits was able to withstand such impact force better than those with a circular cross-section, square cross-section, pentagonal cross-section, hexagonal cross-section, and heptagonal cross-section; 4) edges of subunits with 3 lobes were able to withstand such impact force better than those with 1, 2, and 4 lobes; and 5) concave cross-section of subunits were more able to withstand such impact force than convex cross-section. These findings should benefit floor mat designers in their design of the shapes of cross-section and edges of a padded floor mat for it to better absorb the force from elderly's fall on their hip.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความเมตตา ความกรุณา และความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ญาดา ขวาลกุล ผู้มีความตั้งใจถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ และโอกาสแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ภายใต้แผนพัฒนาศักราชภาพบัณฑิตวิจัยรุ่นใหม่ ระดับปริญญาเอก ประจำปีงบประมาณ 2561

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สนิท วงษา อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ผศ.ดร.ฐิตะพล หุชนะนันท์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อันธิกา สวัสดิ์ศรี คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และ ผศ.ดร.เกษมรัสมิ์ วิจิตรกุลเกษม อาจารย์ประจำภาควิชาศิลปอุตสาหกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น และ รศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ แนะนำ และสนับสนุนผู้วิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ผศ.ดร.พัชรี คุณคำชู อาจารย์ประจำภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และ น.พ.ปิติ ฉลองวิริยะเลิศ แผนกกระดูกและข้อ โรงพยาบาลลาดกระบัง ที่คอยให้คำแนะนำและประเมินต้นแบบให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ไพโรจน์ จิตรธรรม และอาจารย์เสฏฐวรธ สัจจิตภวัตสกุล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) คุณศิริระ มีศฤงคาร ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง (RTEC) มหาวิทยาลัยมหิดล และคุณอดุล ฦ วิเชียร ศูนย์ควบคุมยางฉะเชิงเทรา ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และวิเคราะห์ผลยางให้แก่ผู้วิจัย

Thank you so much Prof. Shigeru FUKUSHIMA, Ph.D. Vice President, Director of International Affairs Office, and Faculty of Urban Science; for assistance, commendation of guidance and give a good experience at Meijo University.

ขอบคุณรุ่นพี่ ป.เอก สาขาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ และรุ่นน้อง ป.โท สาขาการออกแบบอุตสาหกรรมทุกท่านที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยอย่างดีเสมอ

คุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากดัชนีฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ รศ.ดร. นพดล สหชัยเสรี อาจารย์ผู้มอบโอกาสการเรียนรู้ในระดับดุษฎีบัณฑิตให้แก่ผู้วิจัย บิดา มารดา พี่สาว น้องชาย น้องสาว และญาติพี่น้องเอกปริญญาดู ผู้เป็นที่เคารพรัก ตลอดจนครอบครัวอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามาตลอดจนถึงทุกวันนี้

อาริยา อัฐวุฒิกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 คำถามของการวิจัย.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.4 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.5 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.7 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
1.9 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
1.10 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 การลื่นหกล้มในผู้สูงอายุ.....	9
2.1.1 สาเหตุการลื่นหกล้ม.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.1.1 ลักษณะทางด้านกายภาพ.....	10
2.1.1.2 ลักษณะทางด้านสภาพแวดล้อม.....	12
2.1.2 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัว.....	12
2.1.3 ผลกระทบต่อการลื่นหกล้ม.....	14
2.1.3.1 ด้านร่างกาย.....	14
2.1.3.2 ด้านจิตใจ.....	15
2.1.3.3 ด้านเศรษฐกิจ.....	15
2.2 แผ่นพื้น.....	15
2.2.1 ส่วนประกอบของแผ่นพื้น.....	15
2.2.2 กระบวนการและขั้นตอนการผลิตแผ่นพื้น.....	16
2.2.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้น.....	18
2.3 การดูดซับแรงกระแทกของแผ่นพื้น.....	20
2.3.1 ความหมายการดูดซับแรงกระแทก.....	20
2.3.2 คุณลักษณะของการดูดซับแรงกระแทก.....	20
2.3.3 ผลผลิตแผ่นพื้นที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแรงกระแทก.....	20
2.4 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.4.1 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ.....	23
2.4.2 แนวคิดระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง.....	24
2.4.3 การรับและส่งแรงโครงสร้างทางด้านวิศวกรรม.....	30
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.5.1 งานวิจัยในประเทศ.....	30
2.5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 ข้อเสนอแนะวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 การออกแบบวิธีการวิจัย.....	33
3.2 รูปแบบและขั้นตอนการวิจัย.....	34
3.3 ขอบเขตที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	43
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	44
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
3.7 การสรุปผล และอภิปรายผลการวิจัย.....	45
3.8 ความน่าเชื่อถือของงานวิจัย.....	45
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	46
4.1 การวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น.....	46
4.2 ผลกระทบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณ สะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ.....	48
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 อภิปรายผล.....	56
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	57
5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้.....	57
5.3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ.....	72
ภาคผนวก ข รายนามผู้เชี่ยวชาญ.....	74
ภาคผนวก ค ตัวอย่างแบบประเมินและแบบบันทึกต้นแบบแผนฟื้นฟู.....	76
ภาคผนวก ง หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูล.....	80
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบวัสดุอย่างสังเคราะห์.....	86
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบการจำลองสถานการณ์.....	101
ภาคผนวก ช ผลงานตีพิมพ์ในวารสาร (ระดับนานาชาติ).....	141
ประวัติผู้เขียน.....	173

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ.....	31
3.1 ขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ.....	39
3.2 การแปลงตัวแปรด้านมิติศาสตร์ให้เป็นตัวแปรเชิงปฏิบัติการ.....	42
3.3 ตัวอย่างแบบประเมินต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	43
3.4 ตัวอย่างแบบบันทึกต้นแบบสำหรับผู้วิจัย.....	44
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น 7 แบบ.....	46
4.2 ผลการตรวจสอบจากผู้วิจัย.....	47
4.3 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ.....	48
4.4 การทดสอบหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้ง.....	49
4.5 การทดสอบแผ่นพื้นด้านล่าง.....	49
4.6 การทดสอบจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างของแผ่นพื้น.....	50
4.7 การทดสอบจำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อย.....	51
4.8 การทดสอบจำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อย.....	52
4.9 การทดสอบหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อยเว้า-นูน.....	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 องค์ประกอบของแผ่นพื้น.....	2
1.2 รูปร่างหน้าตัดแนวขวาง.....	3
1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.4 หน้าตัดแนวขวาง.....	7
1.5 หน้าตัดแนวตั้ง.....	7
2.1 ช่วงการเดินที่บริเวณเท้าสัมผัสกับพื้น.....	9
2.2 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวไปด้านหลัง.....	12
2.3 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวไปด้านหน้า.....	13
2.4 ท่าทางการเคลื่อนไหว ระดับความสูงของผู้สูงอายุ และองศาจากการลื่นหกล้ม.....	13
2.5 (a) และ (b) การบาดเจ็บกล้ามเนื้อบริเวณสะโพก (c) การกระแทกพื้นจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้ม (d) การบาดเจ็บกระดูกและข้อต่อบริเวณสะโพก.....	14
2.6 ส่วนประกอบของแผ่นพื้น.....	16
2.7 กระบวนการและขั้นตอนการสร้างแผ่นพื้น.....	17
2.8 เครื่องกวดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic machine).....	18
2.9 แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression moulding).....	18
2.10 เครื่องรีดยาง (Rolling tires).....	19
2.11 แผ่นพื้นภายในโรงงานอุตสาหกรรม สนามบิน ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และบ้านพักคนชรา.....	21
2.12 พรอมปูพื้นสำหรับยานพาหนะทางทหารเพื่อบรรเทาอาการบาดเจ็บจากการระเบิดในสนามรบ.....	21
2.13 ระบบพื้นเพื่อลดอาการบาดเจ็บจากการหกล้มของผู้สูงอายุ.....	22
2.14 แผ่นพื้นสำหรับรองรับแรงกระแทกภายในบ้านพักคนชรา.....	22
2.15 พรอมปูพื้นเพื่อรองรับแรงกระแทกภายในเรือกู้ภัย.....	23
2.16 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ.....	24

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.17 การแบ่งเอลิเมนต์.....	25
2.18 การแบ่งเอลิเมนต์ภายในวัสดุ.....	26
2.19 เอลิเมนต์สามมิติ.....	27
2.20 เอลิเมนต์หลายมิติ.....	27
2.21 การแบ่งชิ้นส่วนของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	28
2.22 การแบ่งชิ้นส่วนของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม.....	28
2.23 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะโค้งออกเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	29
2.24 การขยายขนาดของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	29
3.1 แบบแผนการทดลอง.....	34
3.2 แสดงขั้นตอนการวิจัย.....	37
4.1 การทดสอบต้นแบบจากการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุกับรูปทรงหน่วยย่อย ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่มีหน้าตัดและด้านข้างเว้า.....	53
5.1 รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจากการทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อย.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถิติการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สมนึก กุลสถิตพร. 2549) การลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมีสาเหตุจาก 1) ปัจจัยภายในคือความเสื่อมถอยของสภาพร่างกาย และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง (Lockhart. 2009) และ 2) ปัจจัยภายนอกคือสภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการลื่นหกล้ม เช่น ห้องน้ำมีพื้นผิวลื่นภายในบ้านพักของผู้สูงอายุ สถานสงเคราะห์ และโรงพยาบาลมีความเปียกชื้นตลอดเวลา (Sherrington and Menz. 2003) ผู้สูงอายุที่มีประวัติเคยลื่นหกล้มในครั้งแรก มีแนวโน้มลื่นหกล้มในครั้งต่อไปเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผู้สูงอายุที่ไม่เคยมีประวัติการลื่นหกล้มมาก่อน ร้อยละ 95 ของผู้สูงอายุที่มีประวัติการลื่นหกล้มและกระดูกบริเวณสะโพกหัก (สุทธิชัย จิตะพันธ์กุล และคณะ. 2545) ผู้สูงอายุที่กระดูกสะโพกหักมีแนวโน้มเสียชีวิตภายในระยะเวลาหนึ่งปี

ผู้สูงอายุไม่สามารถเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายใน เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้าได้ (Woollacott et al. 1995) อันเนื่องมาจากความเสื่อมสภาพของร่างกายตามวัย ผู้วิจัยจึงเห็นว่าการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่ผู้สูงอายุอาศัยอยู่ หรือปัจจัยภายนอกช่วยบรรเทาอาการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการลื่นหกล้มได้มากกว่าการฟื้นฟูสภาพร่างกายของผู้สูงอายุ

ผลิตภัณฑ์สำหรับบรรเทาอาการบาดเจ็บจากการลื่นหกล้มแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการลื่นหกล้ม ได้แก่ แผ่นพื้นและอุปกรณ์ราวจับกันลื่น 2) ผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยเหลือหลังจากการลื่นหกล้ม คือ อุปกรณ์การเตือนภัยอิเล็กทรอนิกส์ และ 3) ผลิตภัณฑ์เพื่อบรรเทาอาการบาดเจ็บหลังจากการลื่นหกล้ม คือ กางเกงซับในกันกระแทกบริเวณสะโพก แต่ผู้สูงอายุไม่นิยมสวมใส่กางเกงซับในกันกระแทกบริเวณสะโพก เนื่องจากเกิดความรำคาญและรู้สึกอึดอัดเมื่อสวมใส่ (อารยา เอกปริญา. 2554) ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสร้างความมั่นใจในการเคลื่อนไหวสำหรับผู้สูงอายุ แต่เมื่อผู้สูงอายุลื่นหกล้มอาจเกิดอาการบาดเจ็บรุนแรงถึงแก่ชีวิต (สุพัฒน์ หมอยาดี. 2546) ผู้วิจัยจึงเห็นว่าสาเหตุของกระดูกสะโพกหักคือการกระแทกพื้นอย่างรุนแรง หากพื้นสามารถดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ จะช่วยลดแรงกระแทกและความรุนแรงจากการบาดเจ็บได้

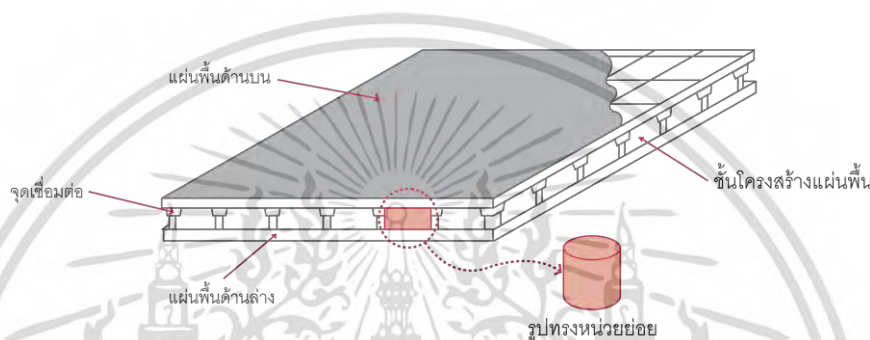
การศึกษาระบุว่า แผ่นพื้นสามารถรับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้ (Drahota et al. 2007) และ Jokela-Maki et al. (2002) กล่าวว่าหลายงานวิจัยมีการพัฒนาพรมปูพื้นเพื่อรองรับแรงกระแทกของผู้สูงอายุ แต่ยังไม่มียี่ห้อระบุว่าแผ่นพื้นที่สามารถรองรับและดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุควรมีลักษณะอย่างไร

ผู้วิจัยแบ่งประเภทของแผ่นพื้นตามการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) แผ่นพื้นเพื่อรองรับแรงกระแทก ช่วยบรรเทาอาการเมื่อยล้าภายในสนามบิน โรงงานอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และบ้านพักคนชรา (Drahota et al. 2007) และ 2) แผ่นพื้นเพื่อดูดซับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแทกใช้งานภายในยานพาหนะทางทหาร และเรือกู้ภัย (Ensign et al. 2014) การรองรับแรงกระแทกคือการรับแรงในระดับพื้นผิวด้านบน แต่การดูดซับแรงกระแทกคือการรองรับแรงกระแทกในระดับชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

การดูดซับแรงกระแทกแบ่งส่วนประกอบของแผ่นพื้นออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) แผ่นพื้นด้านบนและจุดเชื่อมต่อของแผ่นพื้นมีคุณสมบัติช่วยลดแรงเสียดทานขณะเดิน (Newell et al. 2013) (2) แผ่นพื้นด้านล่างมีคุณสมบัติยึดติดบริเวณพื้น (Casalena et al. 1998) และ (3) ส่วนของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นมีคุณสมบัติในการรองรับและดูดซับแรงกระแทก (Ensign et al. 2014) ซึ่งผู้วิจัยแสดงองค์ประกอบของแผ่นพื้นดังปรากฏในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 องค์ประกอบของแผ่นพื้น

กราฟิกโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล, 2559

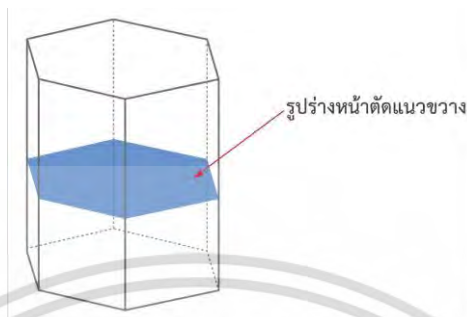
ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นประกอบด้วย 1) การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ และ 2) หน่วยย่อย ได้แก่ รูปทรงและขนาดสัดส่วน ดังนี้

Casalena et al. (1998) ระบุว่าชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณกระดูกสะโพกจากการลื่นหกล้ม และ Okan and Kleiven (2015) อธิบายว่าการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าการจัดเรียงตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ คือ การจัดเรียงของหน่วยย่อยที่มีรูปทรงเดียวกัน ขนาดสัดส่วนเท่ากัน ในระยะห่างเท่ากัน และรูปแบบทิศทางเดียวกัน เช่น โครงสร้างตาราง โครงสร้างแบบสลับ และโครงสร้างแบบเส้นขนาน Drahota et al. (2007) เสนอแนะว่าควรศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดเรียงตัวแต่ละแบบ

Knoefel et al. (2008) กล่าวว่าวัสดุแผ่นพื้นควรมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเพื่อการดูดซับแรงกระแทก ได้แก่ ยางสังเคราะห์ ยางโฟม และพลาสติก ซึ่งวัสดุยางสังเคราะห์มีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกรุนแรงและดูดซับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุประเภทอื่น

ผู้วิจัยพบว่าแต่ละงานวิจัยมีการศึกษารูปทรงแผ่นพื้นเพียงแบบเดียว ได้แก่ รูปทรงสามเหลี่ยม รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงกระบอก และรูปทรงนาฬิกาทราย (Ensign et al. 2004) จึงยังไม่มีข้อสรุปว่ารูปทรงใดมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากนี้ Ostré et al. (2014) แนะนำว่าลอนของเอกสารนี้รูปทรงหน่วยย่อยช่วยดูดซับแรงกระแทกเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leopold (2006) ระบุว่า 1) พื้นที่หน้าตัดแนวขวางของรูปทรงมากับแรงได้ดีกว่า พื้นที่หน้าตัดแนวขวางของรูปทรงน้อย และ 2) ขนาดของรูปร่างหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อยส่งผลต่อการรับแรง (ดังแสดงภาพที่ 1.2)



ภาพที่ 1.2 รูปร่างหน้าตัดแนวขวาง

วาดโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล. 2561

Ensign et al. (2004) และ Voranavin et al. (2013) ระบุว่ารูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นยังไม่มีการศึกษาเพิ่มเติม ผู้วิจัยสนใจวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบจากการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุต่อรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น โดยใช้ทฤษฎีโครงสร้างการรับและส่งแรงทางด้านวิศวกรรม (สุนิติ สุภาพ และคณะ. 2561) เพื่อวิเคราะห์การดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย และหลักการทางด้านการแพทย์เพื่อการกำหนดค่าแรงกระแทกในการจำลองสถานการณ์การลื่นหกล้มของผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเป็นประโยชน์ต่อนักออกแบบแผ่นพื้นสำหรับการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

1.2 คำถามของการวิจัย

หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ควรมีลักษณะอย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์การดูดซับแรงกระแทกหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น

1.3.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

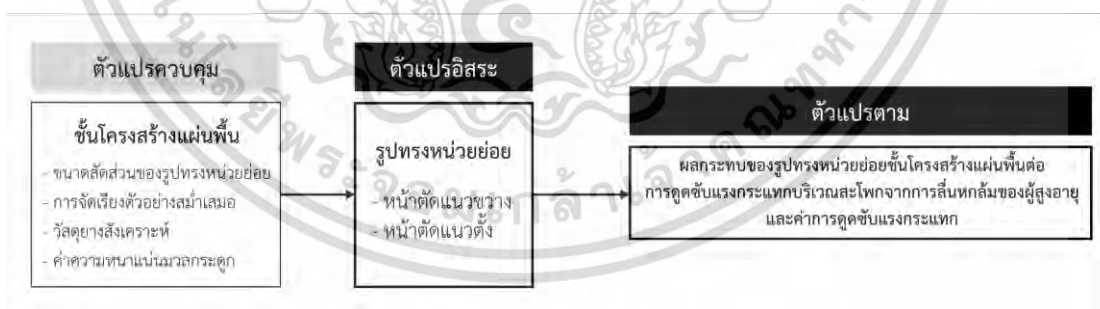
1.4 สมมติฐานของการวิจัย

1.4.1 สมมติฐานหลัก คือ หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นโค้งดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นตรง

1.4.1 สมมติฐานย่อย 5 ข้อ ได้แก่

- 1) สมมติฐานย่อยข้อ 1 คือ มีแผ่นพื้นด้านล่างดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าไม่มี
- 2) สมมติฐานย่อยข้อ 2 คือ มีจุดเชื่อมระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าไม่มี
- 3) สมมติฐานย่อยข้อ 3 คือ จำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางมากดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าจำนวนเหล็มน้อย
- 4) สมมติฐานย่อยข้อ 4 คือ จำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งมากดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าจำนวนลอนด้านข้างน้อย
- 5) สมมติฐานย่อยข้อ 5 คือ หน้าตัดแนวขวางนูนดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางเว้า

1.5 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วาดโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล, 2561

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1.6.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นมากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที

1.6.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ค่าคุณสมบัติของวัสดุอย่างสังเคราะห์ ค่าการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม ค่าความหนาแน่นมวลกระดูก ทฤษฎีโครงสร้างการรับและส่งแรงทางด้านวิศวกรรม และหลักการทางการแพทย์

1.6.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ตัวแปรตาม คือ ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุที่ส่งผลกระทบต่อรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ค่าคุณสมบัติของวัสดุอย่างสังเคราะห์ และค่าความหนาแน่นของมวลกระดูก

1.6.3 รูปแบบการวิจัย

ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยนำหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นไปทดสอบค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.6.4.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (3ds Max and ANSYS Simulation Program)

1.6.4.2 ต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น (Model study) ในงานวิจัยชิ้นนี้ คือ รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ผลิตจากวัสดุอย่างสังเคราะห์

1.7 ขั้นตอนการวิจัย

1.7.1 การวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

การรวบรวมข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น เพื่อทราบถึงตัวแปรด้านแนวคิด (Conceptualization) ไปสู่ตัวแปรเชิงปฏิบัติการ (Operationalization)

1.7.2 การศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.2.1 การหาค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการหกล้มในผู้สูงอายุ

1.7.2.2 การหาค่าความหนาแน่นของมวลกระดูกในผู้สูงอายุจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยด้านการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะการสูญเสียแคลเซียมของมวลกระดูก

1.7.2.3 การทดสอบวัสดุอย่างสังเคราะห์ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM D5289) ณ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง (RTEC) มหาวิทยาลัยมหิดล

1.7.2.4 ผู้วิจัยสร้างต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ และการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ จำนวน 126 แบบ (ดังรายละเอียดในบทที่ 3)

1.7.3 การวิเคราะห์การทดสอบหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.8.1 หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นเพื่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

1.8.2 ข้อมูลการออกแบบรูปทรงหน่วยย่อยที่เป็นประโยชน์สำหรับนักออกแบบแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้ม

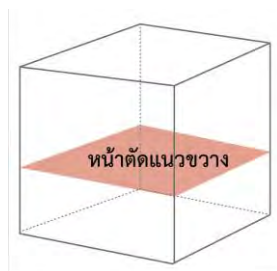
1.9 ข้อตกลงเบื้องต้น

การศึกษานี้ผู้วิจัยเลือกต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นผ่านการทดสอบจากการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปด้วยค่าการดูดซับแรงกระแทกมากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที และรูปทรงหน่วยย่อยมีขนาดสัดส่วน 28 x 25 x 25 x 5 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูงxระยะห่างระหว่างหน่วย)

1.10 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.10.1 หน้าตัดแนวขวาง หมายถึง ภาพตัดขวางแนวนอนจากด้านบนสุดจรดฐานด้านล่างของรูปทรง (แสดงดังภาพที่ 1.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.4 หน้าตัดแนวขวาง

วาดโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล. 2561

1.10.2 หน้าตัดแนวนอน หมายถึง ภาพตัดขวางแนวตั้งจากด้านซ้ายไปด้านขวาของรูปทรง (แสดงดังภาพที่ 1.4)



ภาพที่ 1.5 หน้าตัดแนวตั้ง

วาดโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล. 2561

1.10.3 การจำลองสถานการณ์ หมายถึง การสร้างสถานการณ์การสั่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้สูงอายุด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปแทนการหกล้มจริง

1.10.4 ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นจากการดูดซับแรงกระแทก หมายถึง ค่าการดูดซับแรงกระแทกจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การลื่นหกล้มในผู้สูงอายุ

2.1.1 สาเหตุการลื่นหกล้ม

2.1.1.1 ลักษณะทางด้านกายภาพ

2.1.1.2 ลักษณะทางด้านสภาพแวดล้อม

2.1.2 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัว

2.1.3 ผลกระทบจากการลื่นหกล้ม

2.1.3.1 ด้านร่างกาย

2.1.3.2 ด้านจิตใจ

2.1.3.3 ด้านเศรษฐกิจ

2.2 แผ่นพื้น

2.2.1 ส่วนประกอบของแผ่นพื้น

2.2.1.1 แผ่นพื้นด้านบน

2.2.1.2 โครงสร้างของแผ่นพื้น

2.2.1.3 แผ่นพื้นด้านล่าง

2.2.2 กระบวนการและขั้นตอนการผลิตแผ่นพื้น

2.2.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้น

2.3 การดูดซับแรงกระแทกของแผ่นพื้น

2.3.1 ความหมายการดูดซับแรงกระแทก

2.3.2 คุณลักษณะของการดูดซับแรงกระแทก

2.3.3 ผลกระทบแผ่นพื้นที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแรงกระแทก

2.4 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ

2.4.2 แนวคิดระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง

2.4.2.1 ชนิดของเอลิเมนต์

2.4.2.2 การแบ่งชิ้นส่วนของเอลิเมนต์ย่อย

2.4.3 การรับและส่งแรงโครงสร้างทางด้านวิศวกรรม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยในประเทศ

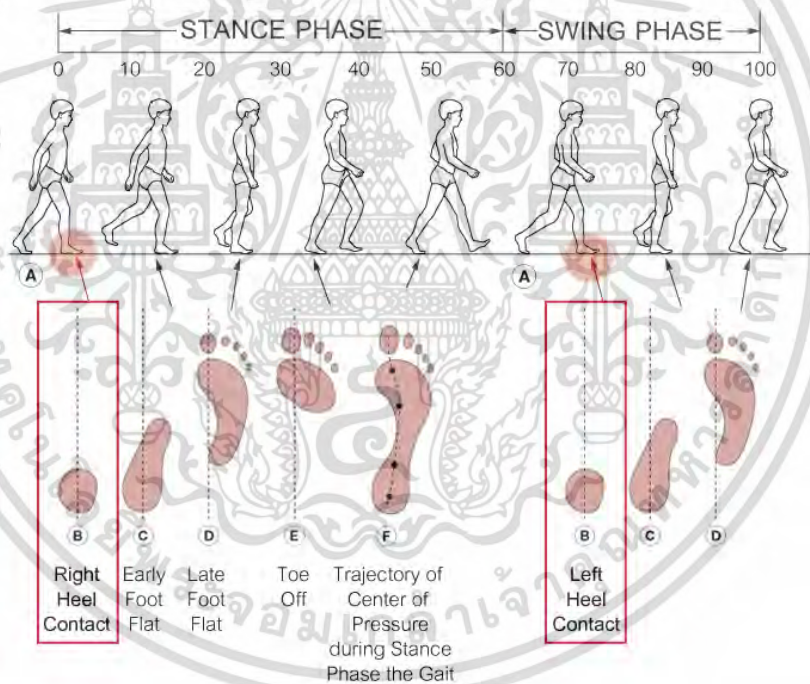
2.5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ข้อสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลื่นหกล้มในผู้สูงอายุ

การเดินคือการเคลื่อนไหวของมนุษย์มากที่สุดในแต่ละวัน สุธี สุทัศน์ ณ อยุธยา (2553) กล่าวว่า การเดินเป็นการเคลื่อนไหวของขา 2 ข้างสลับกันอย่างเป็นจังหวะตามลำดับ เพื่อเกิดจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายระหว่างการเคลื่อนไหวตัวไปข้างหน้า วงจรการเดินแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ (1) ช่วงที่เท้ายังอยู่กับพื้น (Stance phase) คิดเป็นร้อยละ 60 และ (2) ช่วงที่เท้าลอยอยู่ในอากาศ (Swing phase) คิดเป็นร้อยละ 40 ระหว่างวงจรการเดินจากการลื่นหกล้มมักเกิดขึ้นระหว่างการเดินช่วงที่เอาส้นเท้าวางไว้ด้านหน้าลำตัว (Left and Right Heel contact) (Lehtola et al. 2011) ดังนั้น ช่วงระหว่างการเดินดังกล่าวสัมผัสกับพื้นเป็นบริเวณน้อยกว่าการเดินในช่วงอื่น การเคลื่อนไหวของสะโพกต่อการรับน้ำหนักตัว ขา และเท้าของผู้สูงอายุขณะเดินทำให้ผู้สูงอายุลื่นหกล้มได้ง่าย (ดังปรากฏในภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ช่วงการเดินที่บริเวณเท้าสัมผัสกับพื้น
ที่มา: Lehtola et al. (2011)

เท้าเป็นอวัยวะสำหรับรองรับน้ำหนักร่างกาย เมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุมักมีปัญหาเรื่องเท้าแบน (Flat foot) มีลักษณะอุ้งเท้าน้อยทำให้ข้อเท้าและหัวเข่ารับแรงกระแทกขณะเดินมากกว่าที่ควร ส่งผลให้เสียจังหวะการเดิน การทรงตัวขณะเดิน และการหกล้มก่อให้เกิดปัญหาการเคลื่อนไหวและอาการบาดเจ็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

American Geriatrics Society (2011) พบว่าสถิติการล้มของคนสูงวัยจากทั่วโลกคิดเป็นร้อยละ 40 ในจำนวนนี้เสียชีวิตหลังจากการล้มร้อยละ 70 จัดเป็นกลุ่มอาการบาดเจ็บและเสียชีวิตมากเป็นอันดับหนึ่ง ในประเทศไทย ประเสริฐ อัสสันตชัย (2554) พบว่าอุบัติเหตุการล้มในผู้สูงอายุมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 เท่าเฉลี่ยร้อยละ 20 จากจำนวนผู้สูงอายุที่เกิดอุบัติเหตุทั้งหมด ผู้สูงอายุที่เข้ารับการรักษาภายในโรงพยาบาลหลังจากได้รับบาดเจ็บจากการล้มต้องพักฟื้นเป็นระยะเวลานาน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง สาเหตุการล้มของคนสูงวัยเกิดได้ทั้งจากสภาพร่างกายของผู้สูงอายุที่เสื่อมถอยและสภาพแวดล้อมดังนี้

2.1.1 สาเหตุการล้ม

สาเหตุการล้มของคนสูงวัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ลักษณะทางด้านกายภาพ และลักษณะทางด้านสภาพแวดล้อม

2.1.1.1 ลักษณะทางด้านกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงลักษณะกายภาพทำของผู้สูงอายุ ได้แก่ ความเสื่อมของเนื้อเยื่อไขมัน บริเวณเท้า การบิดเอียงของนิ้วหัวแม่เท้า การเกิดตาปลา การหนาของผิวหนังบริเวณฝ่าเท้า และการเกิดบาดแผลบริเวณเท้ามีดังนี้

- (1) การเสื่อมของเนื้อเยื่อไขมันบริเวณหลังเท้าและผิวหนังแห้ง ปรากฏรอยแตกบริเวณสันเท้าก่อให้เกิดอาการเจ็บปวดสันเท้า
- (2) การบิดเอียงของนิ้วหัวแม่เท้าผิดรูปจากการใส่รองเท้าที่กดบีบเท้ามากเกินไป
- (3) การเกิดตาปลาเป็นผลมาจากรองเท้ากดลงไปบนข้อนิ้วเท้า เมื่อผิวหนังบริเวณนั้นถูกกดจึงทำให้ผิวหนังแข็งตัวและเกิดอาการเจ็บปวดหรือเดินได้ลำบาก
- (4) การหนาของผิวหนังบริเวณฝ่าเท้า บริเวณสันเท้า และข้อนิ้วเท้าที่ถูกับหนังของรองเท้าทำให้เกิดอาการเจ็บปวดเวลาเดิน
- (5) การเกิดบาดแผลบริเวณเท้าจากโรคเบาหวานในผู้สูงอายุ ทำให้การรับรู้ปลายประสาทของผู้สูงอายุบกพร่อง (อารีรัตน์ สุพุทธิธาดา และสมพล สงวนรังศิริกุล. 2552) เท้าจึงเป็นอวัยวะที่ใช้งานหนักตลอดเวลาในการรองรับน้ำหนักตัวขณะเดิน หากผู้สูงอายุขาดการดูแลสุขภาพ อาจก่อให้เกิดการล้มในสภาพแวดล้อมที่มีพื้นเปียกได้ง่าย

ระบบประสาทของผู้สูงอายุเสื่อม ได้แก่ ระบบประสาทการมองเห็น ระบบประสาทการได้ยิน ระบบผิวหนัง ระบบกล้ามเนื้อและกระดูกมีดังนี้

- (1) ระบบประสาทการมองเห็น ได้แก่ ลักษณะเลนส์ตาหนา ตาขุ่นมัว และลานสายตาแคบ การมองเห็นภาพไม่ชัดเจนและไม่สามารถแยกภาพสีพื้นและวัตถุ
- (2) ระบบประสาทการได้ยิน ได้แก่ การได้ยินเสียงลดลงเกิดอาการหูตึง ไม่สามารถรับเสียงความถี่สูง
- (3) ระบบผิวหนัง ได้แก่ การสูญเสียไขมันใต้ผิวหนัง การขาดน้ำใต้ผิวหนัง การขาดความยืดหยุ่น
- (4) ระบบกล้ามเนื้อและกระดูก ได้แก่ การหดตัว การยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อลดลง การสูญเสียน้ำออกจากร่างกายกล้ามเนื้อจึงอ่อนแรง (ศรีนวล สถิตวิทยานันท์. 2553) เกิดการเคลื่อนไหวและการตอบสนองต่อระบบประสาทช้าลง ทำให้การเคลื่อนไหวและการทรงตัวไม่มีความสมดุลอาจส่งผลต่อการล้มได้ง่ายกว่าวัยอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสื่อมทางกายภาพของผู้สูงอายุ ได้แก่ ความบกพร่องทางการมองเห็น ความถดถอยของกล้ามเนื้อ ความเสื่อมของกระดูกและข้อต่อ และความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อดังนี้

(1) ความบกพร่องทางการมองเห็นของผู้สูงอายุ ได้แก่ สายตายาว ลานสายตาแคบ มองเห็นภาพไม่ชัดเจน ความไวในการมองภาพลดลง และการคะเนระยะภาพผิดพลาด ทำให้ผู้สูงอายุมองระยะทางไม่ชัดเจน หากขาดความระมัดระวังอาจเสี่ยงต่อการลื่นหกล้มได้ง่าย

(2) ความถดถอยของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความเสื่อมของกล้ามเนื้อและข้อต่อ ความเร็วในการตอบสนองต่อกล้ามเนื้อลดลง และการฝ่อลีบของกล้ามเนื้อบริเวณต้นขาส่งผลต่อการเดินไม่สามารถยกเท้าได้สูงเท่าที่เคยทำได้ เนื่องจากการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กับการทำงานของระบบประสาทของข้อต่อ จึงทำให้การทรงตัวลดลงเป็นสาเหตุให้เกิดการลื่นหกล้ม (คณะพยาบาลศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545)

(3) ความเสื่อมของกระดูกและข้อต่อ ได้แก่ การขาดวิตามินดีทำให้กระดูกพรุน การลดลงของมวลกระดูก และการเสื่อมสลายของแคลเซียมทำให้กระดูกและข้อต่อหักง่าย ไม่ควรให้ผู้สูงอายุกระแทกหรือลื่นหกล้ม เนื่องจากอาจส่งผลต่อภาวะกระดูกหักได้ (สมนึก กุลสถิตพร. 2549)

(4) ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อลดลง การสูญเสียน้ำออกจากร่างกายในปริมาณมาก (ศิริพร จิรวัดน์กุล. 2537) และการทำลายของเนื้อเยื่อกระดูกส่งผลให้ผู้สูงอายุลื่นหกล้มได้ง่ายกว่าวัยอื่น

โรคที่มากับความบกพร่องทางร่างกายและการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผู้สูงอายุมีดังนี้

(1) โรคระบบหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง เป็นโรคที่เกิดจากการเสื่อมของผนังหลอดเลือดที่ทำหน้าที่เลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้ผนังของหลอดเลือดมีความหนา ความยืดหยุ่นลดลง และหลอดเลือดตีบแคบ จึงไม่สามารถส่งเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจได้เพียงพอเกิดอาการเจ็บหน้าอก (Reick and Junlapeeya. 2004sn)

(2) โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย เกิดจากภาวะลิ่มเลือดอุดตันในหลอดเลือดหัวใจเฉียบพลัน มักมีอาการแน่นหน้าอกและอาการปวดร้าวที่กรามหรือไหล่

(3) โรคเบาหวาน เป็นโรคที่เกิดจากระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติเรื้อรัง เป็นผลมาจากความบกพร่องในการหลั่งอินซูลิน ผู้ป่วยไม่สามารถผลิตอินซูลินได้เพียงพอเกิดอาการสายตาดูไม่ชัด ปลายมือปลายเท้าชา ปัสสาวะบ่อย และเกิดแผลเรื้อรังบริเวณเท้า (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ. 2004) การเกิดโรคในผู้สูงอายุบางรายส่งผลต่ออาการข้างเคียง อาทิ เช่น หน้ามืด เวียนหัว และอาการปวดเมื่อยตามร่างกายส่งผลต่อการทรงตัวไม่มั่นคงขณะเดิน

การใช้ยาในผู้สูงอายุเป็นสิ่งที่ช่วยรักษาความผิดปกติของร่างกาย ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุมีดังนี้

(1) ยารักษาความดันโลหิต เป็นสาเหตุของความดันโลหิตต่ำขณะเปลี่ยนอิริยาบถเพื่อระมัดระวังการเกิดภาวะความดันโลหิตต่ำในการดำเนินชีวิตประจำวัน

(2) ยาระงับประสาท เป็นสาเหตุให้เกิดอาการมึนงง หลงลืม และรบกวนระบบการทรงตัวขณะเคลื่อนไหว

(3) ยาเบาหวาน เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำเป็นลมหมดสติ ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลื่นหกล้มในผู้สูงอายุได้ (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. 2559) อาจทำให้ผู้สูงอายุเกิดอาการมีหน้ามืด และเป็นลมหมดสติ ทำให้เกิดอุบัติเหตุการลื่นหกล้มในเวลาต่อมา

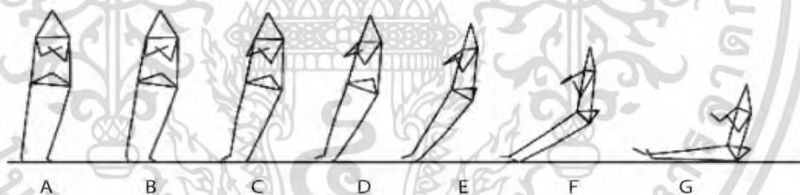
2.1.1.2 ลักษณะทางด้านสภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุ ได้แก่ บริเวณห้องน้ำ บริเวณบันได และ บริเวณทางต่างระดับ (แดนเนาวรัตน์ จามรจันทร์และคณะ. 2548) การศึกษาเรื่องการทรงตัวและการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุไทยพบว่า บริเวณห้องน้ำเกิดการลื่นหกล้มร้อยละ 49 (ประเสริฐ อัสสันตชัย. 2552) มีลักษณะพื้นเปียก ผู้สูงอายุเกิดการลื่นหกล้มขณะประกอบกิจวัตรประจำวันภายในห้องน้ำได้ง่ายกว่า บริเวณอื่น

2.1.2 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัว

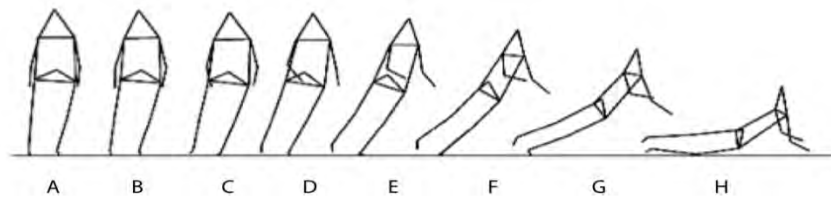
Robinovith et al. (2003) พบว่าการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวคิดเป็นร้อยละ 90 ได้รับบาดเจ็บกระดูกบริเวณสะโพกมากกว่า 6 เท่าเมื่อเทียบกับกระดูกสันหลัง บริเวณสะโพกหักเพิ่มสูงขึ้นถึง 30 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระดูกสันหลังบริเวณอื่นในร่างกาย

การลื่นหกล้มเริ่มจากการเปลี่ยนท่าทางการเคลื่อนไหวโดยการเดินหลังค่อม และการวางสันเท้าไปด้านหลังลำตัว (Robinovitch. 2014) กล้ามเนื้อบริเวณหัวเข่าถูกกระตุ้นให้เกิดการหดตัวขณะกระดกเท้า หลังจากการตอบสนองกระดูกข้อเท้าเกิดการเสียสมดุล (Tang and Wollacott. 1998) ทำให้เกิดการลื่นหกล้มและได้รับบาดเจ็บในผู้สูงอายุ โดยแสดงภาพประกอบการเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัว (ดังปรากฏในภาพที่ 2.2-2.3)



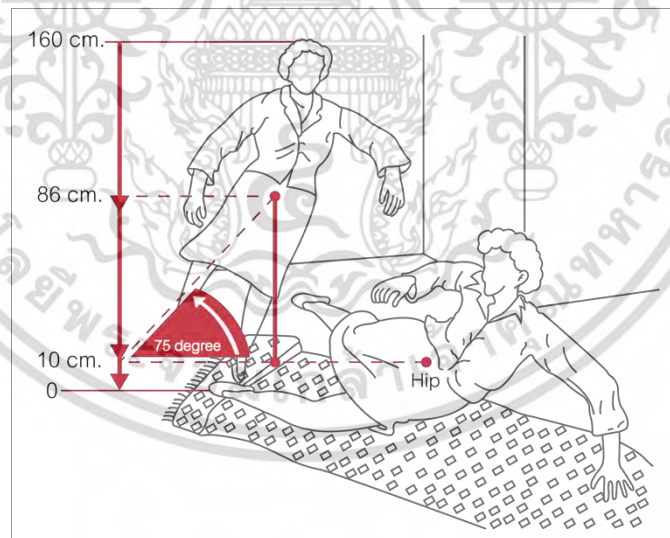
ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนไหวระหว่างการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวไปด้านหลัง
ที่มา: Robinovitch et al. (2003)

จากภาพที่ 2.2 การลื่นหกล้มแบบเอนลำตัวไปด้านหลัง จากจุด A-C ผู้สูงอายุเดินตามปกติ และเริ่มเอนลำตัวไปด้านหลัง จุด D ผู้สูงอายุเดินเอนและเอียงลำตัวไปด้านหลังมากขึ้น จุด E ผู้สูงอายุเสียการทรงตัวลำตัวเอียงไปด้านหลังและขาข้างหนึ่งยกเหนือพื้น จุด E ผู้สูงอายุเอนลำตัวไปด้านหลังมากกว่าเดิมและขาข้างหนึ่งยกเหนือพื้น จุด F ผู้สูงอายุลำตัวเอนไปด้านหลังอยู่ในท่ากึ่งนั่งและขาข้างหนึ่งยกเหนือพื้น และจุด G ผู้สูงอายุลงไปนั่งหลังกับพื้นและบริเวณสะโพกกระทะกลงบนพื้น



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนไหวระหว่างการล้มด้านหลังด้านข้างลำตัวไปด้านหน้า
ที่มา: Robinovitch et al. (2003)

จากภาพที่ 2.3 การล้มด้านหลังแบบเอนลำตัวไปด้านหน้า จากจุด C-A ผู้สูงอายุเดินตามปกติ และเริ่มเอนลำตัวไปด้านข้าง จุด D ผู้สูงอายุเดินเอนลำตัวไปด้านข้างมากขึ้น จุด E ผู้สูงอายุเสียการทรงตัวล้มตัวเอนไปด้านหน้าและขาข้างหนึ่งยกเหนือพื้น จุด F ผู้สูงอายุเอนลำตัวไปด้านหน้ามากขึ้นและขาทั้งสองข้างยกเหนือพื้น จุด G ผู้สูงอายุถลาลำตัวไปด้านหน้า และจุด H ผู้สูงอายุลงไปนอนคว่ำกับพื้น บริเวณสะโพกและหัวเข่ากระทบลงบนพื้น ดังนั้น การศึกษาเรื่องการเคลื่อนไหวระหว่างการล้มด้านหลังด้านข้างลำตัวแสดงให้เห็นว่าผู้สูงอายุเกิดการเสียสมดุลระหว่างการเคลื่อนไหว และความเสื่อมทางร่างกายส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาท ทำให้ผู้สูงอายุเกิดอุบัติเหตุการล้มล้มระหว่างการทำกิจวัตรประจำวัน



ภาพที่ 2.4 ท่าทางการเคลื่อนไหว ระดับความสูงของผู้สูงอายุ และองศาจากการล้ม
ที่มา: Robinovitch (2014)

จากภาพที่ 2.4 ท่าทางการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ ความสูงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 160 เซนติเมตร และน้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 60 กิโลกรัม เมื่อผู้สูงอายุเกิดอุบัติเหตุบริเวณสะโพกจากการล้มล้ม ระดับความสูงจากจุดที่ผู้สูงอายุยืนจนถึงบริเวณสะโพกที่ผู้สูงอายุเกิดการล้มล้มเท่ากับ 10 เซนติเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

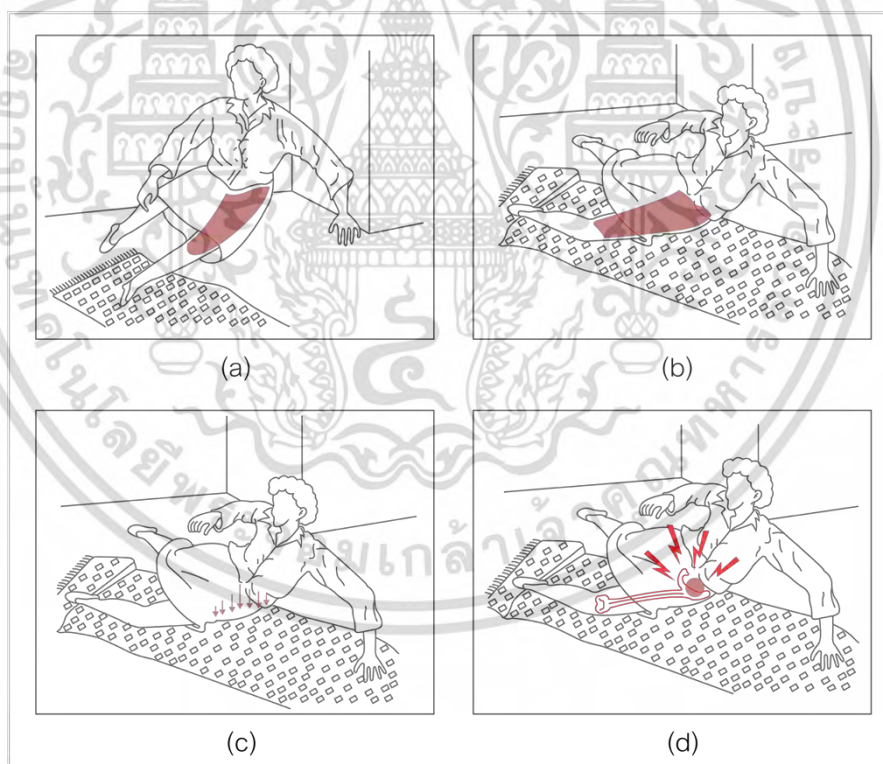
เซนติเมตร และระดับความสูงจากพื้นจนถึงบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุเท่ากับ 86 เซนติเมตร โดยมีองศาจากจุดที่ผู้สูงอายุยืนก่อนการขึ้นหกล้มจนกระทั่งถึงบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุขณะขึ้นหกล้มลงบนพื้นเท่ากับ 75 องศา ซึ่งส่งผลให้ผู้สูงอายุได้รับบาดเจ็บบริเวณสะโพกจากการกระแทกลงบนพื้น

2.1.3 ผลกระทบต่อการขึ้นหกล้ม

การขึ้นหกล้มของผู้สูงอายุส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวัน การรักษาตัวภายในโรงพยาบาล ความพิการ และการเกิดภาวะทุพพลภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านร่างกาย ด้านจิตใจ และด้านเศรษฐกิจ ดังนี้

2.1.3.1 ด้านร่างกาย

การขึ้นหกล้มของผู้สูงอายุได้รับบาดเจ็บรุนแรงร้อยละ 44.6 กระดูกบริเวณสะโพกหักคิดเป็นร้อยละ 95 ต้องรับการผ่าตัดและนอนรักษาตัวภายในโรงพยาบาลเป็นระยะเวลานาน ผู้สูงอายุบางรายเกิดความพิการและการเสียชีวิต (Honeycutt et al. 2002) ส่วนใหญ่ผู้สูงอายุที่ได้รับการบาดเจ็บไม่สามารถกลับไปใช้ชีวิตตามปกติ เนื่องจากอาการบาดเจ็บกล้ามเนื้อและกระดูกบริเวณสะโพก การวิจัยนี้การขึ้นหกล้มส่งผลกระทบต่อผู้สูงอายุได้รับบาดเจ็บรุนแรงกระดูกบริเวณสะโพก โดยแสดงภาพประกอบการบาดเจ็บบริเวณสะโพกจากการขึ้นหกล้ม (ดังปรากฏในภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 (a) และ (b) การบาดเจ็บกล้ามเนื้อบริเวณสะโพก (c) การกระแทกพื้นจากบริเวณสะโพกจากการขึ้นหกล้ม (d) การบาดเจ็บกระดูกและข้อต่อบริเวณสะโพก
ที่มา: Robinovitch (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kannus et al. (2000) พบว่าการบรรเทาอาการบาดเจ็บกระดูกบริเวณสะโพกหักได้ ทำการศึกษาในมิติที่หลากหลาย แต่การรองรับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ การลื่นหกล้มและได้รับบาดเจ็บกระดูกสะโพกหักกลับเพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากสาเหตุของความพิการและการเสียชีวิต อย่างไรก็ตาม การเกิดอุบัติเหตุลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวของผู้สูงอายุส่งผลกระทบต่ออาการบาดเจ็บ ได้แก่ บริเวณกระดูกเชิงกราน ข้อต่อระหว่างกระดูกบริเวณสะโพกและต้นขา เป็นต้น

2.1.3.2 ด้านจิตใจ

ผู้สูงอายุมีประสบการณ์ลื่นหกล้มมักเกิดความกลัวและไม่มั่นใจในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวัน (Hadjistavropoulos et al. 2010) อาการบาดเจ็บรุนแรงต้องได้รับการรักษาตัวภายในโรงพยาบาล เป็นระยะเวลาเวลานาน หลังจากรักษาเกิดอาการวิตกกังวล การขาดความมั่นใจ การเกิดภาวะซึมเศร้า และความเครียดต่อการดำเนินชีวิต ผู้สูงอายุคิดว่าการพึ่งพาบุคคลอื่นในการดำเนินชีวิต และกลัวการลื่นหกล้มซ้ำส่งผลให้ผู้สูงอายุแยกตัวออกจากสังคม (Suzuki et al. 2001) การลื่นหกล้มของผู้สูงอายุส่งผลกระทบต่ออาการขาดความมั่นใจในการดำเนินชีวิตประจำวัน

2.1.3.3 ด้านเศรษฐกิจ

การลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมีผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ การเสียค่ารักษาพยาบาล การเสียเวลาในการทำงาน และการสูญเสียรายได้ในระยะยาวเมื่อเกิดความพิการ การศึกษาการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุในฮ่องกงพบว่า ผู้สูงอายุและญาติสูญเสียเงินจำนวน 71 ล้านเหรียญต่อปี (Chu et al. 2008) และงานวิจัยการลื่นหกล้มในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้สูงอายุที่เสียชีวิตจากการลื่นหกล้มมีจำนวน 10,300 คน สูญเสียค่ารักษาพยาบาล 200 ล้านเหรียญสหรัฐ และผู้สูงอายุที่ได้รับบาดเจ็บจากการลื่นหกล้มแต่ไม่เสียชีวิตมีจำนวน 2.6 ล้านคน ต้องสูญเสียค่ารักษาพยาบาลเป็นจำนวน 19,000 ล้านเหรียญสหรัฐ (Steven et al. 2006) เป็นจำนวนเงินสูงมากต่อค่ารักษาพยาบาลอาการบาดเจ็บจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุส่งผลกระทบต่อค่ารักษาพยาบาล ค่าใช้จ่ายจากการรักษาอาการบาดเจ็บของผู้สูงอายุ และการสูญเสียรายได้ระหว่างการรักษาตัวภายในโรงพยาบาลสำหรับผู้ดูแลผู้สูงอายุ

2.2 แผ่นพื้น

2.2.1 ส่วนประกอบของแผ่นพื้น

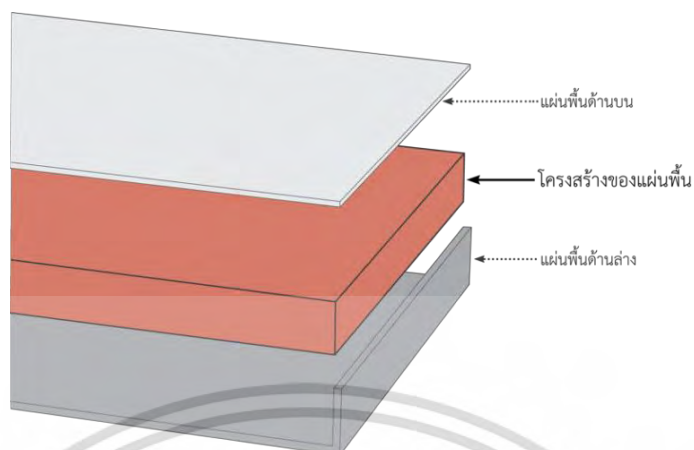
Casalena et al. (1998) ระบุว่าแผ่นพื้นเพื่อดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม ประกอบด้วย พื้นผิว ชั้นโครงสร้าง และแผ่นพื้นเพื่อยึดเกาะ และ Newell et al. (2013) กล่าวว่าพรมปูพื้นสำหรับยานพาหนะทางทหารแบ่งส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

2.2.1.1 แผ่นพื้นด้านบนควรมีคุณสมบัติช่วยลดแรงเสียดทานบริเวณฝ่าเท้า ช่วยบรรเทาอาการเมื่อยล้า และช่วยคงความสมดุลของร่างกายขณะเดิน

2.2.1.2 โครงสร้างของแผ่นพื้นต้องสามารถลดแรงกระแทกหรือการดูดซับแรงกดระหว่างการเคลื่อนไหว ซึ่งควรใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นและคงรูป

2.2.1.3 แผ่นพื้นด้านล่างมีคุณสมบัติยึดติดกับพื้นและระบายอากาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการศึกษาส่วนของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น เพื่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ซึ่งมีการแบ่งส่วนประกอบของแผ่นพื้น (ดังปรากฏในภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของแผ่นพื้น

ที่มา: Newell et al. (2013)

2.2.2 กระบวนการและขั้นตอนการผลิตแผ่นพื้น

ศุภชัย แก้วจิ่ง (2552) กล่าวว่ากระบวนการขึ้นรูปแผ่นพื้น คือ การนำยางที่ได้จากการผสมมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นพื้น ที่มีรูปร่างตามต้องการ ก่อนนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการคงรูปแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

- (1) การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding)
- (2) การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านครายโดยใช้เครื่องเอ็กซทรูด (Extrusion)
- (3) การขึ้นรูปด้วยแบบเครื่องคาเลนเดอร์ (Calendering)

การขึ้นรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์ คือ กระบวนการผลิตที่เกิดทั้งการขึ้นรูป (Forming) และการคงรูป (Vulcanization) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งอาศัยความร้อนและแรงอัด เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ หลังจากนั้นจึงนำยางไปใส่ลงในเบ้าของพิมพ์ เมื่อยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์ ความร้อนจากแม่พิมพ์ทำให้เกิดปฏิกิริยาคงรูป โดยมีกระบวนการและขั้นตอนการสร้างแผ่นพื้น (ดังปรากฏในภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 กระบวนการและขั้นตอนการสร้างแผ่นพื้น
ที่มา: ศุภชัย แก้วจิ่ง (2552)

การขึ้นรูปและการคงรูปยางโดยใช้แม่พิมพ์ในระบบอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

- (1) แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold)
- (2) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer mold)
- (3) แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold)

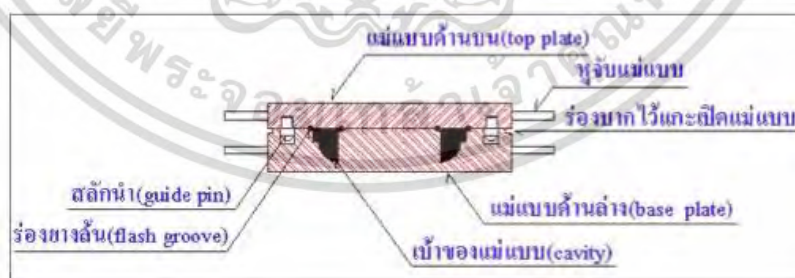
กระบวนการผลิตแผ่นพื้นเพื่อต้องการคุณสมบัติการดูดซับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผลิตแผ่นพื้นที่ใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดสามารถคงคุณสมบัติความยืดหยุ่น และการคงรูปของวัสดุได้ดีกว่าการใช้แม่พิมพ์แบบอื่น

แม่พิมพ์แบบกดอัด คือ การขึ้นรูปยางโดยใช้เครื่องจักรระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วยแผ่นกดอัด จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่น ซึ่งแผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงโดยใช้ระบบไฮดรอลิก (ดังปรากฏในภาพที่ 2.8) เพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่เบ้าของแม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัด เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิกสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างกระบวนการผลิตชิ้นงาน



ภาพที่ 2.8 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic machine)
ที่มา: อารยา เอกปริญญา (2554)

วราภรณ์ ขจรไชยกูล (2554) ระบุว่าส่วนของแม่พิมพ์แบบกดอัดประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ด้านบน (Top plate) และแม่พิมพ์ด้านล่าง (Base plate) โดยแม่พิมพ์ด้านล่างมีช่องว่างเป็นรูปทรงของชิ้นงานเรียกว่า เบ้าของแม่พิมพ์ (Cavity) สามารถใส่ยางที่จะขึ้นรูป หลังจากนั้นนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับสลักนำ (Guide pin) ซึ่งติดอยู่กับแม่พิมพ์ด้านบน (ดังปรากฏในภาพที่ 2.9) ดังนั้น แม่พิมพ์จึงช่วยให้ยางไม่เกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบของแม่พิมพ์ขณะรับแรงกดอัดจากเครื่องระบบไฮดรอลิก เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิและความร้อน ยางจะถูกบังคับให้ไหลจนเต็มเบ้าของแม่พิมพ์ ความร้อนจากแม่พิมพ์ทำใหยางเกิดการขึ้นรูปและการคงรูป ยางที่ล้นออกมาจากแม่พิมพ์ออกมาทางร่องยางล้น (Flash groove) หลังจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการตกแต่งชิ้นงาน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด ได้แก่ กระเบื้องยาง ยางรองแท่นเครื่องจักร พื้นรองเท้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 แม่พิมพ์แบบกดอัด (moulding Compression)
ที่มา: ศุภชัย แก้วจิ่ง (2552)

2.2.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้น

ปัจจุบันการออกแบบผลิตภัณฑ์มีการใช้วัสดุหลากหลายชนิด แต่วัสดุที่มีคุณสมบัติด้านการรองรับแรงกระแทกและการรองรับแรงกด (วิเชษฐ์ เจริญธีรบุรณ และคณะ. 2550) ยางสังเคราะห์มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการรองรับแรงกระแทกและการรองรับแรงกดจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยเลือกใช้ยางสังเคราะห์ในการศึกษาเรื่องผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) ยางสังเคราะห์หรือยางเทียมมีคุณสมบัติคล้ายคลึงยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีมีข้อดีอยู่ ได้แก่ ไม่ทนต่อโอโซน ความร้อน แสงแดด น้ำมัน และสารเคมี ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายชนิดของมอนอเมอร์ที่เข้าทำปฏิกิริยา (สถาบันพลาสติก. 2557) ซึ่งการใช้ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเด่นเมื่อรองรับแรงกระแทกจากภายนอกยางจะกลับคืนสู่รูปทรงและขนาดเดิมอย่างรวดเร็ว แต่มีคุณสมบัติด้อยเมื่ออุณหภูมิสูงยางมีลักษณะอ่อนตัว ขณะที่เมื่ออุณหภูมิต่ำยางมีลักษณะแข็งเปราะ ดังนั้น การใช้วัสดุยางในการผลิตชิ้นงานจำเป็นต้องมีการสมยงกับสารเคมี เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งหลังจากการบดผสมโดยใช้เครื่องรีดยาง (ดังปรากฏในภาพที่ 2.10) ยางที่ได้หลังจากการบดผสมจะนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ ภายใต้ความร้อนและแรงดันมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและลักษณะเชิงกลมีประสิทธิภาพดีขึ้น



ภาพที่ 2.10 เครื่องรีดยาง (Rolling tires)
ที่มา: อารยา เอกปริญญา (2554)

2.2.3.2 สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) สารที่ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงกันทางโครงสร้างเคมี เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชัน ยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความยืดหยุ่นสูง และมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิห้อง

2.2.3.3 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้ยางวัลคาไนซ์เร็วขึ้น ลดระยะเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ และยางวัลคาไนซ์มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและมีคุณลักษณะทางกายภาพดีขึ้น ซึ่งการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวัลคาไนซ์

2.2.3.4 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) สารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้สารตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดียิ่งขึ้น สารกระตุ้นปฏิกิริยาสำหรับการวัลคาไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.5 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) สารเคมีที่เติมลงไปในสูตรเคมีเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ สารป้องกันการเสื่อมสภาพเปลี่ยนสีอย่างรุนแรงมีประสิทธิภาพในการป้องกันอย่างสูงกว่าสารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ไม่เปลี่ยนสี

2.2.3.6 สารตัวเติม (Filler) องค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยาง เช่น เสริมแรงให้ยางมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เพื่อให้ยางเหมาะสมกับกระบวนการผลิตหรือลดต้นทุน สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารตัวเติมเสริมแรง และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง

2.2.3.7 สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizers and Processing aids) สารทำให้ยางนิ่มหรือพลาสติกไซเซอร์ คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดียิ่งขึ้นหรือมีความเหนียวต่ำลง ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ช่วยลดความเหนียวของยาง สารทำให้ยางนิ่มยังช่วยปรับปรุงความเหนียวติด ทำให้สารเติมเต็มกระจายตัวในยาง และช่วยปรับปรุงการหักงอที่อุณหภูมิต่ำของยางให้ดีขึ้น

2.2.3.8 สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants) สารหน่วงไฟ คือ สารเคมีที่ช่วยหน่วงการติดไฟของผลิตภัณฑ์ โดยสารเคมีนี้จะสลายตัวเป็นแก๊สหรือสารที่ไม่ติดไฟเมื่อได้รับความร้อน

2.3 การดูดซับแรงกระแทกของแผ่นพื้น

2.3.1 ความหมายการดูดซับแรงกระแทก

Voranavin et al. (2013) ระบุว่า การดูดซับแรงกระแทก คือ การทดสอบทางด้านการผลิตและทางด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน วรุฒม์ จันทระนตร และคณะ (2549) กล่าวว่า การดูดซับแรงกระแทก คือ การป้องกันชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เพื่อลดการเกิดความเสียหายระหว่างการขนส่ง แผ่นพื้นควรดูดซับแรงกระแทกแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มด้านข้างลำตัวไปด้านหน้าและด้านหลังมากกว่าแรงกระแทก 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที

2.3.2 ลักษณะของการดูดซับแรงกระแทก

Hakim (2010) ระบุว่า รูปทรงหน่วยย่อยใช้ในการออกแบบชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้น เพื่อการดูดซับแรงกระแทกได้ ขณะที่ Heung-sook (2002) กล่าวว่า การออกแบบหน้าตัดของรูปทรงสนับสนุนให้ชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นเกิดรูปแบบที่หลากหลายต่อการรองรับแรง Toksoy (2010) กล่าวว่า รูปทรงหน่วยย่อยของชิ้นโครงสร้างควรมีการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อรองรับการดูดซับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.3 ผลิตภัณฑ์แผ่นพื้นที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแรงกระแทก

(1) แผ่นพื้นภายในโรงงานอุตสาหกรรม สนามบิน ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และบ้านพักคนชรา มีลักษณะรูปทรงหน่วยย่อยทรงกระบอกภายในชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นหน้าตัดโค้งรูปทรงกลม และด้านข้างโค้งรูปร่างสี่เหลี่ยม (Knoefel et al. 2008; Casalena et al. 1998) (ดังปรากฏในภาพที่ 2.11)



ภาพที่ 2.11 แผ่นพื้นภายในโรงงานอุตสาหกรรม สนามบิน ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ และ บ้านพักคนชรา

ที่มา: Knoefel et al. (2008); Casalena et al. (1998); Casalena et al. (1998)

(2) พรหมปูพื้นสำหรับยานพาหนะทางทหารเพื่อบรรเทาอาการบาดเจ็บจากการระเบิดในสนามรบ ใช้วัสดุยางสังเคราะห์ (ดังปรากฏในภาพที่ 2.12) แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ พื้นผิวด้านบนมีคุณสมบัติบรรเทาอาการเมื่อยล้า พื้นผิวชั้นกลางมีคุณสมบัติบรรเทาแรงกระแทกขณะยานพาหนะเคลื่อนที่ และพื้นผิวด้านล่างมีคุณสมบัติยึดติดกับพื้นภายในห้องโดยสารของยานพาหนะ (Newell et al. 2013)



ภาพที่ 2.12 พรหมปูพื้นสำหรับยานพาหนะทางทหารเพื่อบรรเทาอาการบาดเจ็บจากการระเบิดในสนามรบ

ที่มา: Newell et al. (2013)

(3) ระบบพื้นเพื่อลดอาการบาดเจ็บจากการหกล้มของผู้สูงอายุ รูปทรงหน่วยย่อยสามารถรองรับและดูดซับแรงกระแทกบริเวณฝ่าเท้าสำหรับผู้สูงอายุได้



ภาพที่ 2.13 ระบบพื้นเพื่อลดอาการบาดเจ็บจากการหกล้มของผู้สูงอายุ

ที่มา: Dahlgren and Kleiven (2014)

(4) แผ่นพื้นสำหรับรองรับแรงกระแทกภายในบ้านพักคนชรา แผ่นพื้นใช้วัสดุโฟมยาง และแผ่นพื้นเป็นผืนเดียวกัน (ดังปรากฏในภาพที่ 2.14) การเลือกใช้วัสดุเพื่อการดูดซับแรงกระแทก (Okan and Kleiven. 2015) ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรเลือกใช้วัสดุประเภทยางสังเคราะห์หรือโฟมยาง เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับแรงกระแทก



ภาพที่ 2.14 แผ่นพื้นสำหรับรองรับแรงกระแทกภายในบ้านพักคนชรา

ที่มา: Okan and Kleiven (2015)

(5) พรมปูพื้นเพื่อรองรับแรงกระแทกภายในเรือกู้ภัยมีรูปทรงหน่วยย่อยนาฬิกาทรายภายใต้การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ หน้าตัดโค้งรูปทรงกลม และด้านข้างโค้งรูปทรงครึ่งวงกลมคว่ำเข้าหากันลักษณะรูปนาฬิกาทรายรองรับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ensign et al. 2015) (ดังปรากฏในภาพที่ 2.15)



ภาพที่ 2.15 พรหมปูพื้นเพื่อรองรับแรงกระแทกภายในเรือกู้ภัย

ที่มา: Ensign et al. (2015)

ผู้วิจัยวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นปูพื้นควรมีคุณลักษณะ คือ รูปทรงหน่วยย่อยภายในพื้นผิวชั้นกลางหรือชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นมีคุณลักษณะดูดซับแรงกระแทก รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นควรมีการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ และใช้วัสดุอย่างสังเคราะห์ในการผลิต

2.4 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ

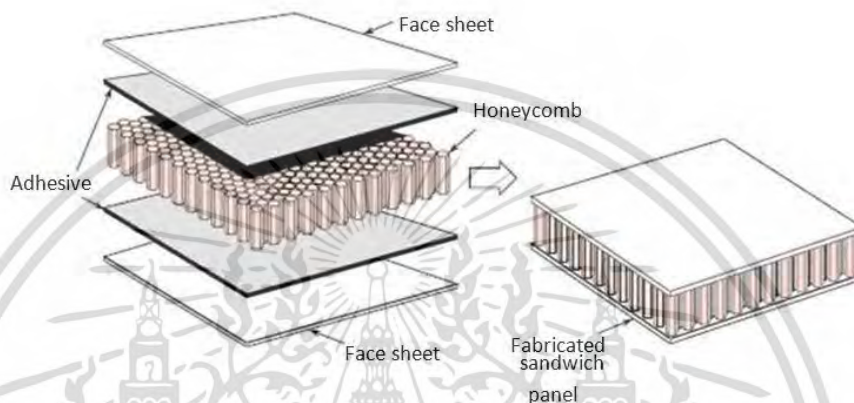
การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นการออกแบบเทคโนโลยีโครงสร้างแซนวิชรังผึ้ง (Honey Sandwich Structure Design Technology) หมายถึง ส่วนประกอบของแผ่นพื้นทั้ง 2 ด้านประกบกับชั้นโครงสร้างของแผ่นพื้น โดยใช้ตัวเชื่อมประสานระหว่างผิวหน้ากับแกนกลาง หลักการของโครงสร้างแซนวิชรังผึ้งคือการนำชั้นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันมาประกบกัน เพื่อใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเด่นของแต่ละชั้น ซึ่งสามารถพบโครงสร้างแซนวิชรังผึ้งได้ในโครงสร้างที่ต้องการน้ำหนักเบา เช่น ดาวเทียม อากาศยาน เรือ รถยนต์ และรถราง นอกจากนี้ถูกใช้ในโครงสร้างวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ สะพาน พื้น หลังคา และผนังอาคาร เป็นต้น โครงสร้างแซนวิชรังผึ้งมีความแข็งแรงสูง สะดวกต่อการติดตั้งและการขนย้าย ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม การออกแบบโครงสร้างแซนวิชรังผึ้งมีความยุ่งยากและความซับซ้อน จึงใช้เวลาในการก่อสร้างและการคำนวณเป็นระยะเวลานาน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ การคำนวณ และการออกแบบ ทำให้เกิดความถูกต้องแม่นยำและลดระยะเวลาในการออกแบบ

The American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้ให้คำนิยามการออกแบบเทคโนโลยีโครงสร้างแซนวิชรังผึ้ง คือ การรวมกันของชั้นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน นำมารวมกันและสลักกันโดยยึดชั้นหนึ่งไว้กับอีกชั้นหนึ่ง โครงสร้างแบบแซนวิชรังผึ้งเป็นรูปแบบพิเศษ เมื่อนำชั้นโครงสร้างมารวมกัน เพื่อให้ได้โครงสร้างที่สามารถใช้ประโยชน์หรือคุณสมบัติเด่นแต่ละส่วนประกอบอย่างมีประสิทธิภาพทางโครงสร้างสูงสุด ส่วนของโครงสร้างแบบแซนวิชผิวหน้าเปรียบเหมือนปีกทำหน้าที่ต้านทานแรงภายนอกและต้านทานการโก่งตัวของผิวหน้า และส่วนแกนกลางเปรียบเหมือนรังผึ้งแนวตั้งทำหน้าที่ต้านทานแรงเค้นเฉือน ซึ่งเกิดจากแรงภายนอกและการต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการยื่นของชั้นโครงสร้างในด้านการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวหน้าและแกนกลางต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงต้านทานความเค้นเฉือน และส่วนเชื่อมประสานเกิดขึ้นจากการเชื่อมรอยต่อในสภาพแวดล้อมของการทำงานของแต่ละพื้นที่ใช้สอย

องค์ประกอบของโครงสร้างแซนด์วิชรังผึ้งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) ผิวหน้า (Face) (2) แกนกลาง (Core) และ (3) ส่วนเชื่อมประสาน (Adhesive) โดยแสดงลักษณะและรูปทรงภายใต้การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอของแผ่นพื้น (ดังปรากฏในภาพที่ 2.16)



ภาพที่ 2.16 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ
ที่มา: Zenkert and Bitzer (1997)

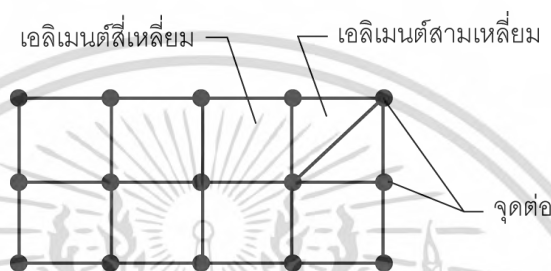
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาด้านข้างและหน้าตัดของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ส่งผลกระทบต่อภาวะดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม ด้านข้างและหน้าตัดของรูปทรงภายใต้ขนาดและสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

2.4.2 แนวคิดระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง

ผู้วิจัยได้เข้าร่วมอบรมและสอบถามผู้เชี่ยวชาญทางด้านการวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำจากยางด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis (FEA) บริษัท ซิกมา โซลูชันส์ จำกัด คือ ดร.ไพโรจน์ จิตรธรรม และคุณเสกฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล จากศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย (RDCTRI) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2559 กล่าวว่าผู้สูงอายุเสี่ยงต่อการลื่นหกล้มอย่างรุนแรงควรทำการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปแทนการหกล้มในสถานการณ์จริง โปรแกรมดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการหกล้มภายในสถานการณ์จริงร้อยละ 80 ผู้วิจัยจึงนำการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปมาใช้ในการทดสอบการดูดซับแรงกระแทกจากการเกิดอุบัติเหตุลื่นหกล้มลงบนต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ผู้วิจัยออกแบบ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบ สามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาเรื่องการดูดซับแรงกระแทก ทั้งทางด้านสถิติศาสตร์และทางด้านการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ คือการแบ่งวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นส่วนย่อยเรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) ซึ่งอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม (ดังปรากฏในภาพที่ 2.17) ที่จุดตัด (Node) ของเส้นกรอบเอลิเมนต์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาคำตอบ ความเร็ว ความเค้น ความเครียด การรับแรง ฯลฯ ณ จุดตัดเหล่านั้นพร้อมกัน โดยอาศัยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ แทนการทดลองในสถานการณ์จริงจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ

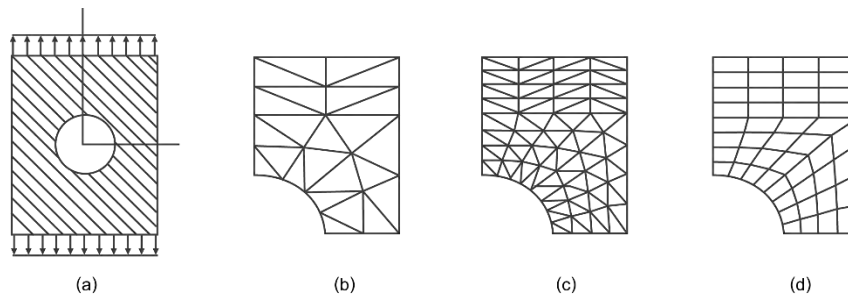


ภาพที่ 2.17 การแบ่งเอลิเมนต์

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสฏฐวรราช (2560)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการจัดเรียงตัวของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น และโครงสร้างที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์อยู่ในสภาพยืดหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยืดตัว (Plastic) ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านสถิติศาสตร์ได้ การวิเคราะห์ปัญหาทางการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง เช่น การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง และการรองรับแรงกระแทก เป็นต้น

โครงสร้างชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จำนวนมากมีลักษณะรูปทรงที่ซับซ้อนประกอบด้วยส่วนเว้าและส่วนโค้ง ทำให้บริเวณหน้าตัดของรูปทรงไม่สม่ำเสมอ และบางบริเวณของรูปทรงมีการเปลี่ยนแปลงแรงกระแทกอย่างฉับพลัน ทำให้หาค่าเฉลี่ยจากการดูดซับแรงกระแทกได้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณค่าแรงกดด้วยการแก้ไขปัญหาชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยเรียกว่า "เมนต์เอลิ" (ดังปรากฏในภาพที่ 2.18) ผลวิเคราะห์ที่ได้รับเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากจุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์ การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไม่ได้วิเคราะห์ปัญหาที่เดียวทั้งระบบ แต่การวิเคราะห์ปัญหาแต่ละเอลิเมนต์นำมารวมกัน เช่น ระบบโครงสร้างและความเค้นของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างของชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ของปัญหาดังกล่าว ประกอบด้วยตัวแปร คือ รูปทรงหน่วยย่อย ความกว้าง ความยาว และความหนาต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวเลขจากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 2.18 การแบ่งเอลิเมนต์ภายในวัสดุ

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสฏฐวรรธ (2560)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในแต่ละชั้นมีความสอดคล้องกับรูปทรงหน่วยย่อยที่ต้องการต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์บนพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่จัดกระทำ หลังจากนั้นนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน ความหมายทางกายภาพคล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบกัน ทำให้เกิดลักษณะรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นทั้งหมดด้วยการแก้ไขปัญหาอย่างแท้จริง หลังจากการกำหนดเงื่อนไขหรือขอบเขตของชิ้นงานดังกล่าวก่อให้เกิดผลการทดสอบเรื่องการดูดซับแรงกระแทกที่ต้องการ ณ ปัญหาในตำแหน่งหรือจุดต่อของชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์นั้น ดังนั้นการศึกษาความหมายและชนิดของเอลิเมนต์มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น

2.4.2.1 ชนิดของเอลิเมนต์

ชนิดของเอลิเมนต์ออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) เอลิเมนต์สำหรับปัญหามิติเดียว (2) เอลิเมนต์สำหรับปัญหาสองมิติ (3) เอลิเมนต์สำหรับปัญหาสามมิติ และ (4) เอลิเมนต์สำหรับปัญหาหลายมิติ งานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น จึงเลือกใช้การแก้ไขปัญหาสำหรับเอลิเมนต์สามมิติ และเอลิเมนต์สำหรับปัญหาหลายมิติ เพื่อทดสอบการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

เอลิเมนต์สำหรับปัญหาสามมิติ คือ รูปทรงสมมาตรมีด้านข้างเป็นเส้นตรง โดยมีระนาบของพื้นผิวเป็นรูปทรงสามมิติ

เอลิเมนต์หลายมิติ คือ รูปทรงสมมาตรมีด้านข้างเป็นเส้นโค้ง โดยมีระนาบของพื้นผิวหลายมิติ

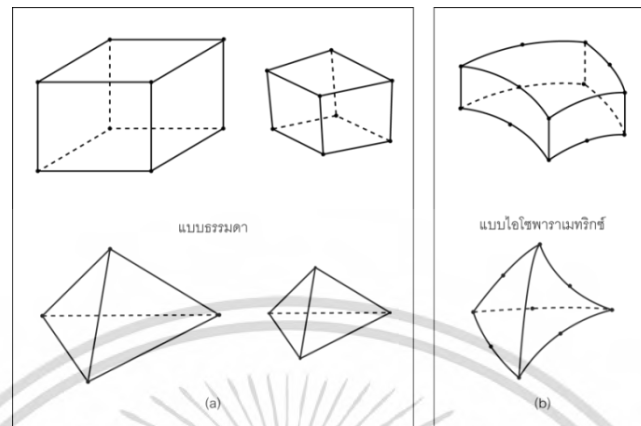
การวิเคราะห์เอลิเมนต์ของรูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปทรงสามเหลี่ยม (ดังปรากฏในภาพที่ 2.19 a และ b ตามลำดับ) ภาพ 2.19 (a) แสดงเอลิเมนต์หกเหลี่ยม (Hexahedron) ส่วนภาพที่ 2.19 (b) และแสดงเอลิเมนต์สามมิติทรง 4 หน้า (Tetrahedral) ชนิดด้านตรง 4 จุดต่อตามลำดับ

นอกจากเอลิเมนต์สามมิติดังกล่าวมาแล้วข้างต้น การวิเคราะห์ปัญหาของเอลิเมนต์รูปทรงกระบอก (Cylinder) ภาพที่ 2.20 (a) ลักษณะเป็นแผ่นโค้ง (Shell) ภาพที่ 2.20 (b) เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปทรงกระบอกแบบสมมาตร เป็นเอลิเมนต์ชนิดสามเหลี่ยมสมมาตร และภาพที่

2.20 (c) มีเอลิเมนต์ที่มีจุดเชื่อมต่อจำนวนมาก จึงส่งผลการวิเคราะห์และการคำนวณต่อชิ้นงาน

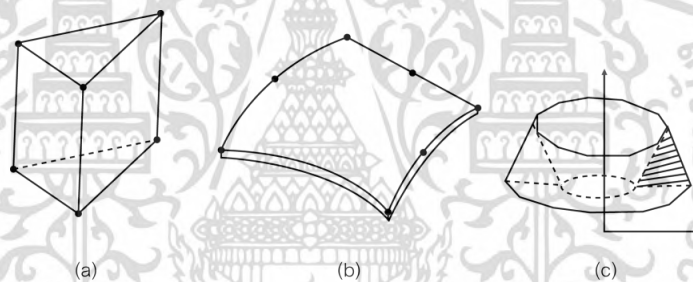
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องใช้ระยะเวลาานาน (ดังปรากฏในภาพที่ 2.19 และ 2.20)



ภาพที่ 2.19 เอลิเมนต์สามมิติ

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสกฐรรุทธ (2560)

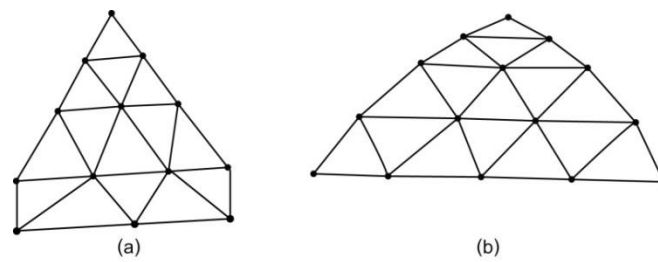


ภาพที่ 2.20 เอลิเมนต์หลายมิติ

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสกฐรรุทธ (2560)

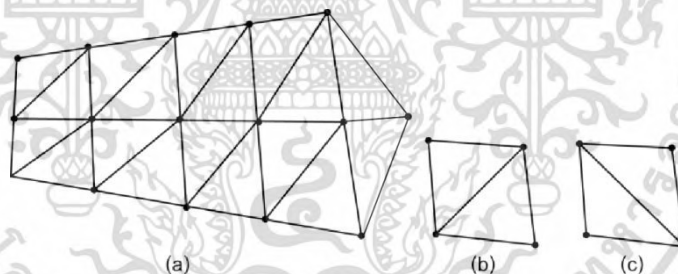
2.4.2.2 การแบ่งชิ้นส่วนของเอลิเมนต์ย่อย

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบ่งชิ้นส่วนเป็นเอลิเมนต์ย่อยโดยการเชื่อมโยงด้วยจุดต่อ เพื่อความสะดวกสามารถพิจารณาแก้ไขปัญหาชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์สามมิติได้ โดยการเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านตรงประกอบด้วย 3 จุดต่อ และการแก้ไขปัญหาชิ้นส่วนสามมิติสามารถใช้หลักการแบ่งชิ้นส่วนย่อย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงในการทดสอบรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการล้มหกล้มของผู้สูงอายุได้ (ดังปรากฏในภาพที่ 2.21 a และ b)



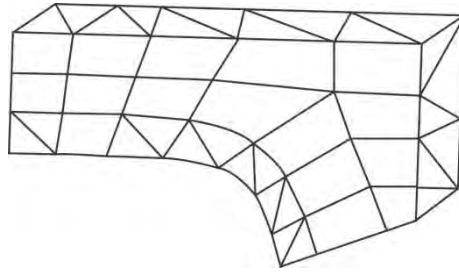
ภาพที่ 2.21 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม
ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสฏฐสุวรรณ (2560)

การแบ่งชิ้นส่วนเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม ภาพที่ 2.22 (a) คือ การกำหนดจุดต่อแต่ละด้านของสี่เหลี่ยม ลากเส้นระหว่างจุดต่อที่อยู่ตรงข้ามจุดตัดของแต่ละเส้นภายในชิ้นงาน และแบ่งเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมย่อย โดยลากเส้นทแยงมุมของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม การลากเส้นทแยงมุมควรเลือกเส้นทแยงมุมสั้นที่สุด เนื่องจากทำให้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมมีสัดส่วนใกล้เคียงเอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านเท่ามากที่สุด (ดังปรากฏในภาพที่ 2.22 b และ c) กรณีเลือกใช้เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสัดส่วนด้านยาวและด้านสั้นของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมควรจะทำกับ 1 จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับค่าแม่นยำ ความถูกต้อง และการทดสอบอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.22 การแบ่งชิ้นส่วนของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม
ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสฏฐสุวรรณ (2560)

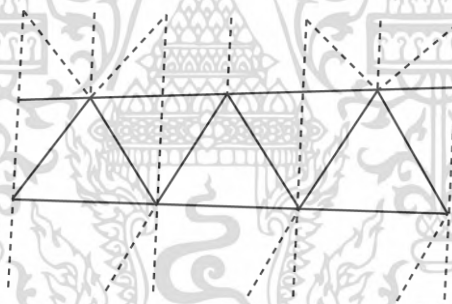
การกำหนดจำนวนจุดต่อเอลิเมนต์ของชิ้นงานอาจแตกต่างกันในแต่ละขนาดของชิ้นงานนั้น ยกเว้นการลดหรือขยายขนาดของเอลิเมนต์ในแต่ละระยะห่างระหว่างจุดต่อ ซึ่งอาจแตกต่างกันทำให้เอลิเมนต์มีขนาดเล็กและใหญ่ตามต้องการของจำนวนจุดต่อบนชิ้นงานนั้น (ดังปรากฏในภาพที่ 2.23) ดังนั้น การทดสอบผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการล้มหกล้มสำหรับผู้สูงอายุ จึงขึ้นอยู่กับขนาดและสัดส่วนของพื้นที่ของรูปทรงหน่วยย่อย



ภาพที่ 2.23 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะโค้งออกเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสถียรธรรม (2560)

ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555) และ ปราโมทย์และเสถียรธรรม (2560) ระบุว่า การแบ่งชิ้นส่วนย่อยให้มีขนาดเล็กที่สุด เพื่อให้เอลิเมนต์ส่วนย่อยที่มีขนาดเล็กของชิ้นงานจะทำให้แบบจำลองสามารถเทียบเคียงกับชิ้นส่วนจริงได้มากที่สุด โดยปกติไม่นิยมแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเท่ากันและมีรูปร่างเหมือนกันตลอดชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณที่มีค่าความเค้นสูงหรือบริเวณที่มีค่าความแตกต่างของการโค้งงอ ควรแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็นขนาดเล็ก ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปควรแบ่งเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ (ดังปรากฏในภาพที่ 2.24)



ภาพที่ 2.24 การขยายขนาดของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

ที่มา: ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555); ปราโมทย์และเสถียรธรรม (2560)

จากการศึกษาเรื่องแนวคิดระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลค่าพารามิเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ หน้าตัด ด้านข้าง การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ และขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้น และ (2) ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ค่าคุณสมบัติของวัสดุอย่างสังเคราะห์ ได้แก่ ค่าความยืดหยุ่น ค่าแรงดึง และค่าแรงฉีกขาด ฯลฯ เพื่อการทดสอบต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยการประเมินผลด้วยการคำนวณสมการเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การรับและส่งแรงของโครงสร้างทางด้านวิศวกรรม

การวิเคราะห์ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น คือ การวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น โดยการวิเคราะห์แรงกระทำในแนวดิ่ง (สถิตยศาสตร์ และคณ. 2561) การกระจายแรงกระทำจากแผ่นปูพื้นไปสู่ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่มีการส่งแรงกระทำไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีแผ่นพื้นด้านบนและชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นเป็นส่วนรับแรงกระทำและจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นรอบแผ่นเป็นตัวกระจายแรงจากแผ่นพื้นด้านบนลงสู่รูปทรงหน่วยย่อยของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยในประเทศ

สุรศักดิ์ เทพทอง (2555) พบว่าแผ่นปูพื้นสนามตะกร้อจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำน้ำยางผสมสารเคมีปมเร่งเป็นระยะเวลา 32-48 ชั่วโมง สามารถขึ้นรูปแผ่นปูพื้นปูพื้นสนามตะกร้อ เมื่อทดสอบคุณสมบัติโดยนำน้ำยางธรรมชาติผสมกับยางบดจากล้อรถยนต์มีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้นต่อสัดส่วนของน้ำยางพารา ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นค่าความต้านทานต่อแรงดึงความสามารถในการยืดจนขาด ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอ และค่าความต้านทานต่อแรงอัดลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราลดลง แต่พบว่าประสิทธิภาพแผ่นปูพื้นสนามตะกร้อจากน้ำยางธรรมชาติผสมยางบดจากล้อรถยนต์คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้แก่ ค่าความแข็งแรง ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาด ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอ และค่าความต้านทานต่อแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยการผสมยางบดจากล้อรถยนต์ 60 phr และค่าการยุบตัวลดลงร้อยละ 40 ขณะที่ทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ

Voranavin et al. (2013) พบว่าการคิดค้นและออกแบบชุดทดสอบกล่องโครงสร้างกันกระแทก ได้แก่ แบบสี่เหลี่ยม แบบลูกฟูก และแบบรังผึ้ง ทำการทดสอบทางกายภาพต่อการดูดซับพลังงาน โครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูกสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าแบบรังผึ้งร้อยละ 28 และแบบสี่เหลี่ยมร้อยละ 59 เนื่องจากโครงสร้างกล่องลูกฟูกสามารถรับแรงได้ต่อเนื่องมากกว่ารูปแบบอื่น ทำให้ส่งผลต่อการดูดซับพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดสอบแบบพลวัตสถิต และรูปแบบโครงสร้างนี้สามารถนำไปสู่กระบวนการผลิตในปัจจุบันได้จริง

อุกฤษฏ์ นาจำปา (2558) พบว่าศึกษาวิธีผลิตวัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพาราแผ่นทดสอบกันชนหน้ารถยนต์ที่ระดับความสูง 1 เมตร โดยทำการขึ้นรูปแม่พิมพ์โลหะขนาด $20 \times 25 \times 3.2$ ซม. (กว้างxยาวxสูง:เซนติเมตร) โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าการดูดซับพลังงานตามมาตรฐานสากล ได้แก่ ค่าการรับแรงกระทำที่สามารถดูดซับได้ 3.2737 J และ 2.7612 J โดยสามารถรับแรงกระทำได้ 0.0463 k.Nm ค่าความยืดหยุ่นสามารถต้านทานแรงดึงเท่ากับ 73.23 MPa และค่าการทนต่อความร้อนผิวสัมผัสไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ข้อสรุปงานวิจัยในประเทศ แผ่นปูพื้นควรผลิตจากวัสดุยางกันกระแทก ควรมีชั้นโครงสร้างเพื่อช่วยในการรับแรงกระทำขณะใช้งาน และรูปทรงหน่วยย่อยควรออกแบบด้วยรูปทรงรังผึ้งจึงสามารถรับและดูดซับแรงกระทำได้ดี

2.5.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้นเพื่อการรองรับและดูดซับแรง

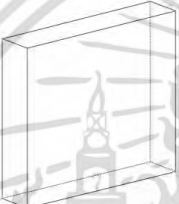
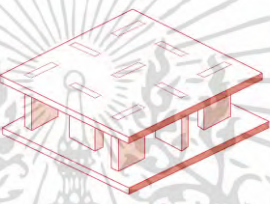

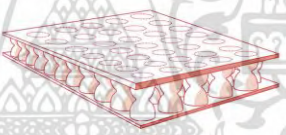

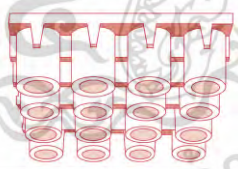
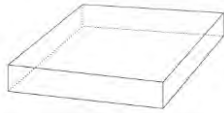
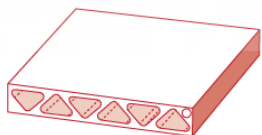
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแทก (ดังแสดงในหัวข้อ 2.2 การดูดซับแรงกระแทกของแผ่นพื้น)

2.5.3 ข้อสรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง


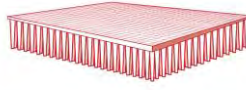

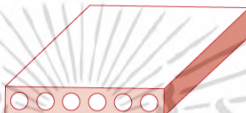

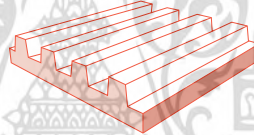
ผู้วิจัยสรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น ได้แก่ ประเภทของวัสดุ รูปทรงหน่วยย่อย ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น และข้อสรุปผลการวิจัย (ดังปรากฏในตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการล้มหกล้มของผู้สูงอายุ

วัสดุ (Materials)	รูปทรงหน่วยย่อย (Form of subunits)	ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น (Structural Layers)	อ้างอิง (Reference)	ข้อสรุป (Summary)
Congrats	 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	 การจัดเรียงตัวแบบไขว้	Casalena et al. 1998	รูปทรงสี่เหลี่ยมไม่ สามารถรับแรง
Rubber foam	 รูปทรงครึ่งวงกลมคว่ำเข้า หากัน	 การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ	Ensign et al. 2004	รูปทรงนาฬิกาทราย สามารถดูดซับแรงขณะ ชนผู้ป่วย
Mix-rubber	 รูปทรงกระบอก	 การจัดเรียงตัวแบบตาราง	Knoefel et al. 2008	รูปทรงกระบอกจากการ จัดเรียงตัวอย่าง สม่ำเสมอภายในชั้น โครงสร้างแผ่นพื้น สามารถดูดซับแรง กระแทกขณะยืนทำงาน เป็นระยะเวลานาน
Mix-rubber	 ผืนพรมสี่เหลี่ยมผืนผ้า	 การจัดเรียงแบบเส้นตรง	Newell et al. 2013	การจัดเรียงตัวแบบ เส้นตรงของรูปทรงหน่วย ย่อยสามารถขณะนั่งและ ยืนเป็นระยะเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากบริเวณสะโพกจากการล้มของผู้นั่งอายุ

วัสดุ (Materials)	รูปทรงหน่วยย่อย (Form of subunits)	ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น (Structural Layers)	อ้างอิง (Reference)	ข้อสรุป (Summary)
Polyvinyl Chloride (PVC)	 รูปทรงกรวย	 การจัดเรียงตัวแบบตาราง	Dahlgren and Kleiven. 2014	รูปทรงกรวยขนาดเล็กสามารถรองรับแรงกระแทกไม่รุนแรง
Wood-Plastic	 รูปทรงกระบอก	 การจัดเรียงแบบเส้นตรง	Zhang et al. 2015	การออกแบบแผ่นพื้นโดยใช้วัสดุพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถลดการใช้พลังงาน
Steel	 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู	 การจัดเรียงแบบเส้นตรง	Kim et al. 2015	การออกแบบที่กันรถยนต์บริเวณถนนโดยใช้การจัดเรียงตัวแบบเส้นตรงสามารถรองรับแรงกระแทกได้

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้นข้างต้น ผู้วิจัยสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น 5 ด้าน ได้แก่ หน้าตัด ด้านข้าง การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ขนาดสัดส่วน และประเภทวัสดุอย่างสังเคราะห์ของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น โดยมีค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกเท่ากับ 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย

3.1 การออกแบบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีคำถามที่ใช้ในการวิจัยว่าหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่สามารถดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุควรมีลักษณะอย่างไร

กระบวนทัศน์ (Paradigm) เป็นตัวกำหนดเกี่ยวกับความจริงของสิ่งที่ศึกษา ความรู้ในการศึกษากระบวนทัศน์และการออกแบบวิธีการวิจัย ช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจเหตุและผลในการใช้ระเบียบวิธีวิจัยและออกแบบการวิจัยได้อย่างถูกต้อง โดยการวิจัยขึ้นอยู่กับพื้นฐานกระบวนทัศน์ปฏิฐานนิยม (Positivism Paradigm) มุ่งแสวงหาความจริง โดยใช้กระบวนการเชิงสาเหตุและผลลัพธ์ ประกอบเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ (Empirical evidence) ที่ได้จากการสังเกต การสำรวจ และการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปรากฏการณ์ที่สนใจ การเก็บข้อมูลอย่างเป็นขั้นตอน และการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (Creswell, 2009: 7) งานวิจัยนี้เกิดจากการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และการสังเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปใหม่ และต้องการพิสูจน์สมมติฐานตามแนวคิดปฏิฐานนิยม โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ว่ารูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นแบบใดที่สามารถดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุได้ โดยใช้การจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เน้นหาคำตอบการวิจัยเพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อต้องการพิสูจน์ว่าหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นโค้งดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นตรง

แนวคิดปฏิฐานนิยมในแง่สาขาปรัชญาแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ 1) ภาววิทยา (Ontology) 2) ญาณวิทยา (Epistemology) และ 3) วิธีวิทยา (Methodology) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ภาววิทยา คือ ความจริงหรือความรู้มีตัวตนจับต้องได้ ซึ่งเป็นอิสระจากผู้รู้มีความเป็นวัตถุวิสัย (Objective) มีคุณสมบัติเป็นกฎทั่วไปและมีหนึ่งเดียว ความจริงที่ถูกค้นพบผ่านการพิสูจน์อย่างเป็นระบบด้วยวิธีการทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงภายใต้แนวคิดของปฏิฐานนิยม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรเหตุหรือตัวแปรต้น คือ หน้าตัดแนวขวางแนวนอนและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อย ทำให้เกิดตัวแปรผลหรือตัวแปรตาม คือ ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

(2) ญาณวิทยา คือ ความสัมพันธ์ของผู้วิจัยกับสิ่งที่ศึกษา แนวคิดปฏิฐานนิยมเชื่อว่าผู้วิจัยเป็นอิสระจากสิ่งที่ศึกษา งานวิจัยขั้นนี้ผู้วิจัยไม่ได้มีส่วนร่วมกับสิ่งที่ศึกษาหรือประชากรที่ใช้ในการศึกษา เนื่องจากใช้การจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยไม่ส่วนในการประเมินผลหรือตีความ

(3) วิธีวิทยา คือ วิธีการที่นักวิจัยสามารถควบคุมหรือจัดกระทำกับสิ่งที่ศึกษา แนวคิดปฏิฐานนิยมเชื่อว่าการแสวงหาความจริงด้วยวิธีการกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental method) จำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยงานวิจัยนี้หน้าตัดแนวขวางแนวนอนและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นแบบใดสามารถดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้

3.2 รูปแบบและขั้นตอนการวิจัย

3.2.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นกระบวนการวิจัยกึ่งทดลองระหว่างสาเหตุหรือตัวแปรอิสระ ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางแนวนอนและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อย และผลหรือตัวแปรตาม คือ ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

3.2.1.1 สมมติฐานหลัก: หน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นโค้งดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นตรง

X_L	O_L
X_C	O_C

X_L = หน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นตรง

X_C = หน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นโค้ง

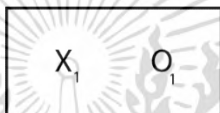
O_L = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุของแผ่นพื้นตรง

O_C = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุของแผ่นพื้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากไม่ปฏิบัติตามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 สมมติฐานย่อย 5 ข้อ: 1) แผ่นพื้นด้านล่าง 2) จุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น
3) จำนวนเหลี่ยม/มุมหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อย 4) จำนวนลอนหน้าตัดแนวขวางแนวตั้ง
ของรูปทรงหน่วยย่อย และ 5) การเว้า-นูนหน้าตัดแนวขวางแนวนอนและแนวตั้งของรูปทรงหน่วย
ย่อย

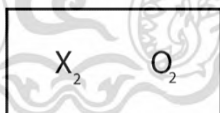
(1) การทดสอบแผ่นพื้นด้านล่าง 6 แบบ



X_1 = จำนวนชั้นแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

O_1 = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

(2) การทดสอบจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจำนวน 48 แบบ

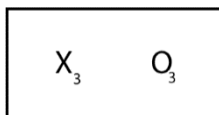


X_2 = จุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่น
หกล้ม

O_2 = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

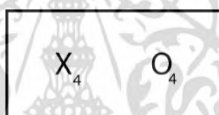
(3) การทดสอบจำนวนเหลี่ยม/มุมของหน้าตัดแนวขวางจำนวน 24 แบบ



X_3 = จำนวนมุมของหน้าตัดแนวขวางที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

O_3 = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

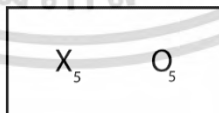
(4) การทดสอบจำนวนลอนของหน้าตัดแนวขวางแนวตั้ง 24 แบบ



X_4 = จำนวนลอนของหน้าตัดแนวขวางแนวตั้งที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

O_4 = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

(5) การทดสอบการเว้า-นูนของหน้าตัดแนวขวาง 24 แบบ

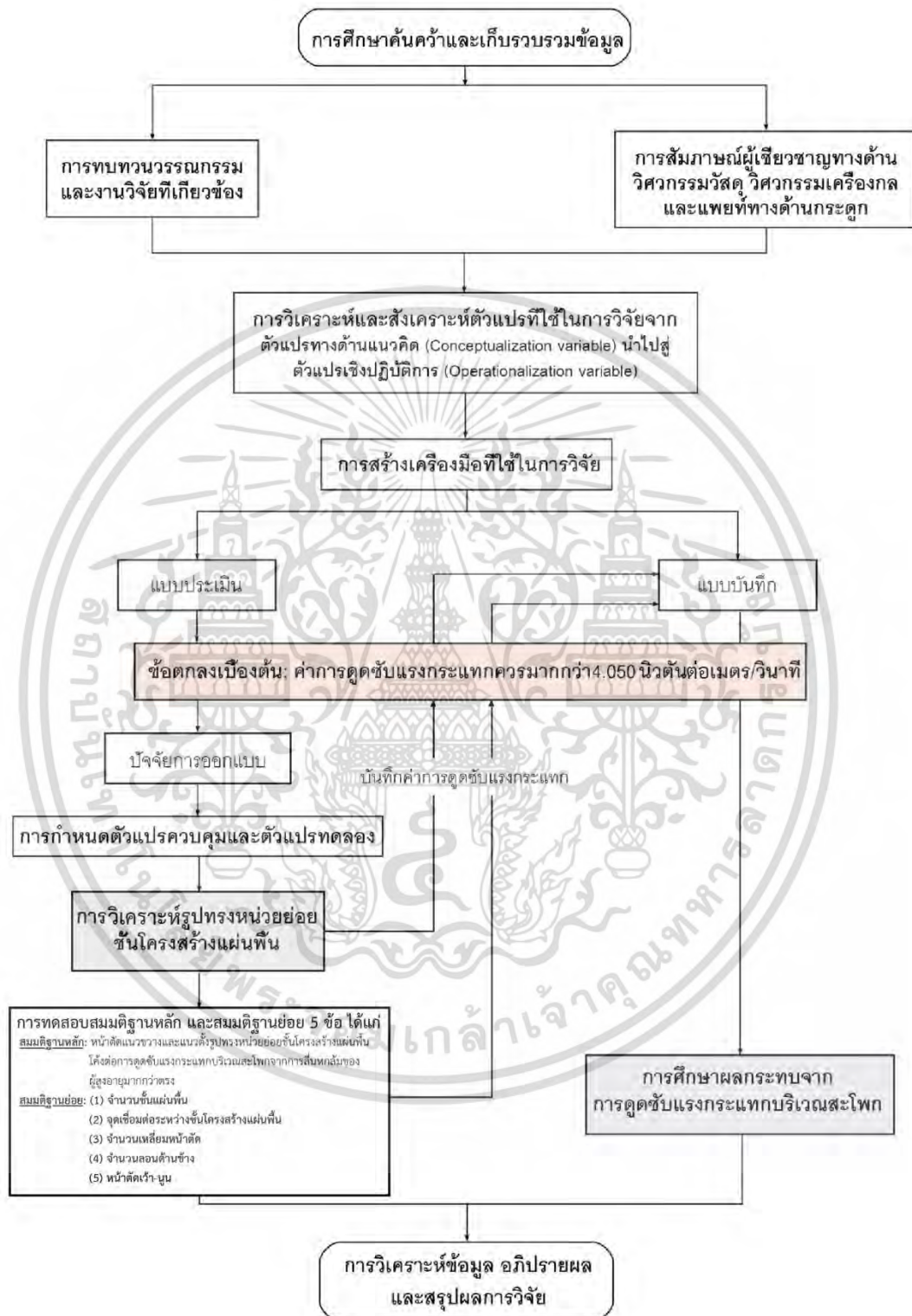


X_5 = การเว้า-นูนของหน้าตัดแนวขวางที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

O_5 = ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

ภาพที่ 3.1 แบบแผนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการวิจัย

วัตถุประสงค์ข้อ 1 การวิเคราะห์การดูดซับแรงกระแทกหน้าตัดแนวขวาง แนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นดังนี้

(1) การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้นจำนวน 7 แบบ ถึงปัจจัยเพื่อการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อย

(2) การสร้างรูปทรงหน่วยย่อยจากปัจจัยที่ได้จากข้อ 1

(3) การทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อยที่ได้จากข้อ 2

(4) การตรวจสอบผลค่าดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มจากการทดสอบในข้อ 3









(4.1) ตรวจสอบโดยผู้วิจัย 2 รอบ

(4.2) ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

วัตถุประสงค์ข้อ 2 การศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุดังนี้

(1) การนำปัจจัยจากวัตถุประสงค์ข้อ 1 มาสร้างรูปทรงหน่วยย่อยเพื่อพิสูจน์สมมติฐานการวิจัยหลักและย่อย (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

ขั้นตอนการวิจัย	รูปทรงหน่วยย่อย																ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น					ข้อสรุปผลที่ดีที่สุด	
	หน้าตัดแนวขวาง			หน้าตัดแนวขวางแนวตั้ง		เหลี่ยม/มุม						ลอน				หน้าตัดแนวขวาง (โค้ง)		จำนวนชั้นแผ่นพื้น			จุดเชื่อมต่อ		
				ตรง	โค้ง	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4			1	2	3	มี		ไม่มี
สมมติฐานหลัก	*	*	*	*	*																*	*	โค้ง
สมมติฐานย่อย 1	*	*	*	*	*													*	*	*	*	*	2 ชั้น
สมมติฐานย่อย 2	*	*	*	*	*														*		*	*	ไม่มี
สมมติฐานย่อย 3				*		*	*	*	*	*	*								*			*	
สมมติฐานย่อย 4				*		*					*	*	*	*					*			*	
สมมติฐานย่อย 5				*		*								*	*	*	*	*			*	*	

หมายเหตุ: การทดสอบขั้นตอนที่ 2: จำนวนชั้นแผ่นพื้นแบบ 2 ชั้น ผู้วิจัยทดสอบแผ่นพื้นแบบหลายในลักษณะการพลิกจากด้านล่างขึ้นด้านบนพบว่า ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมีค่ามากกว่าแผ่นพื้นแบบคว่ำ ดังนั้น ผู้วิจัยใช้การทดสอบต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแบบหลาย

- (2) การทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อยที่ได้จากข้อ 1
- (3) การนำรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่มีค่าดูดซับแรงกระแทกมากที่สุดไปทดสอบกับชิ้นส่วนกระดูกสะโพกจำลองการกระแทกพื้น
- (4) การวิเคราะห์ปัจจัยจากรูปทรงหน่วยย่อยที่ผลกระทบต่อ การดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการล้มของผู้สูงอายุ

3.3 ขอบเขตที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นมากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที

3.3.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ค่าคุณสมบัติของวัสดุอย่างสังเคราะห์ ค่าการดูดซับแรงกระแทกจากการล้ม ทหล้ม ค่าความหนาแน่นมวลกระดูก ทฤษฎีโครงสร้างการรับและส่งแรงทางด้านวิศวกรรม และหลักการทางการแพทย์

3.3.1.3 ข้อมูลจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

(1) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการล้มทหล้ม ได้แก่ 1) ผศ.ดร.ฐิตะพล หุยนันท์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล 2) คุณณิวัฒน์ ภูเจริญ สำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้เชี่ยวชาญด้านการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และ 3) รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ผู้เชี่ยวชาญด้านการจำลองสถานการณ์ด้วยการใช้หุ่นจำลองทางการแพทย์

(2) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ ได้แก่ 1) ดร.ไพโรจน์ จิตรธรรม และอาจารย์เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ผู้เชี่ยวชาญด้านการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปจากวัสดุยาง และ 2) คุณศิระ มีศฤงคาร ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง (RTEC) มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์วัสดุยาง

(3) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านกระดูกและข้อในผู้สูงอายุ ได้แก่ 1) ผศ.ดร.พัชรี คุณคำชู อาจารย์ประจำภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้เชี่ยวชาญด้านกายภาพของผู้สูงอายุ และ 2) น.พ.ปิติ ฉลองวิริยะเลิศ แผนกกระดูกและข้อ
โรงพยาบาลลาดกระบัง ผู้เชี่ยวชาญด้านกระดูกและข้อ

3.3.2 ตัวแปรของการวิจัย

3.3.2.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรง
หน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ตัวแปรตาม คือ ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของ
ผู้สูงอายุที่ส่งผลต่อรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น
การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ ค่าคุณสมบัติของวัสดุอย่างสังเคราะห์ และค่าความหนาแน่นของมวล
กระดูก

3.3.2.2 ตัวแปรเชิงปฏิบัติการ

(1) วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 (ตัวแปรด้านโน้ตสน์) เพื่อกำหนดปัจจัยเพื่อการ
วิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลกระทบต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณ
สะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ 5 ปัจจัย คือ 1) หน้าตัดแนวขวาง 2) หน้าตัดแนวตั้ง 3) การ
จัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ 4) ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย และ 5) ค่าวัสดุสังเคราะห์
(ปรากฏในภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย)

(2) วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 (ตัวแปรด้านปฏิบัติการ) เพื่อกำหนดลักษณะของ
รูปทรงหน่วยย่อยที่นำไปใช้ในการทดสอบค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้ม
ของผู้สูงอายุ (แสดงดังตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 การแปลงตัวแปรด้านมโนทัศน์ให้เป็นตัวแปรเชิงปฏิบัติการ

ตัวแปรด้านมโนทัศน์ (Conceptual variable)	ตัวแปรด้านปฏิบัติการ (Operation variable)	ลำดับ	การวิเคราะห์ รูปทรงหน่วยย่อย
1. หน้าตัดแนวขวาง	1. เหลี่ยม	1.	เหลี่ยม
2. จำนวนเหลี่ยม	1. สามเหลี่ยม	2.	สามเหลี่ยม
	2. สี่เหลี่ยม	3.	สี่เหลี่ยม
	3. ห้าเหลี่ยม	4.	ห้าเหลี่ยม
	4. หกเหลี่ยม	5.	หกเหลี่ยม
	5. เจ็ดเหลี่ยม	6.	เจ็ดเหลี่ยม
	6. แปดเหลี่ยม	7.	แปดเหลี่ยม
3. หน้าตัดแนวขวางแนวตั้ง	1. เหลี่ยม	8.	เหลี่ยม
4. จำนวนลอน	1. จำนวน 1 ลอน	9.	1 ลอน
	2. จำนวน 2 ลอน	10.	2 ลอน
	3. จำนวน 3 ลอน	11.	3 ลอน
	4. จำนวน 4 ลอน	12.	4 ลอน
5. ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย	กว้าง 25 มิลลิเมตร	13.	กว้าง 25 มิลลิเมตร
	ยาว 25 มิลลิเมตร		ยาว 25 มิลลิเมตร
	หนา 28 มิลลิเมตร		หนา 28 มิลลิเมตร
	ระยะห่าง 5 มิลลิเมตร		ระยะห่าง 5 มิลลิเมตร
6. การจัดเรียงตัวของรูปทรงหน่วยย่อย	1. แบบสมมาตร	14.	แบบสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีทั้งหมด 2 เครื่องมือ ดังนี้

3.4.1 แบบประเมินต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย ผู้วิจัยสร้างแบบประเมินจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้นและสมมติฐานหลักที่ใช้ในการวิจัย หลังจากนั้นผู้วิจัยตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ โดยการนำแบบประเมินไปทดสอบกับกลุ่มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ผู้วิจัยสนใจ โดยแบบประเมินต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ และส่วนที่ 2 ปัจจัยที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์การดูดซับแรงกระแทกหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น (ดังปรากฏในตารางที่ 3.3)

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างแบบประเมินต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

วัน/เดือน/ปี ที่ประเมิน.....เวลา.....

ชื่อ - นามสกุล.....

ตำแหน่ง.....

หน่วยงานที่สังกัด.....



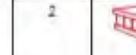















ตอนที่ 2 การประเมินเพื่อคัดเลือกต้นแบบชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่สอดคล้องกับองค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้น

ชุดที่	รายละเอียดการประเมิน						ลักษณะชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น	
	องค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้น						แบบที่ 1	แบบที่ 2
	โครงสร้าง	ต้นแบบ	หน้าตัดของรูปทรง		ด้านข้างของรูปทรง			
		เหลี่ยม	โค้ง	เหลี่ยม	โค้ง			
1				✓		✓		
2			✓		✓			

3.4.2 แบบบันทึกค่าการดูดซับแรงกระแทกจากรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น ผู้วิจัยสร้างแบบบันทึกปัจจัยการสร้างรูปทรงหน่วยย่อย โดยอ้างอิงจากสมมติฐานการวิจัยย่อยในแต่ละขั้นตอน (ดังปรากฏในตารางที่ 3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างแบบบันทึกต้นแบบสำหรับผู้วิจัย

ต้นแบบที่	รายละเอียดการบันทึก						ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 N.m/s)
	ปัจจัยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น						
	ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น	ต้นแบบ	พัวลัด		ด้านข้าง		
เหลี่ยม			โค้ง	เหลี่ยม	โค้ง		
1				✓		✓	
2			✓		✓		
3			✓		✓		
4				✓		✓	
5			✓		✓		
6			✓		✓		
7				✓		✓	
8			✓		✓		
9			✓		✓		

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และ 2

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 วัตถุประสงค์ 1 ผู้วิจัยวิเคราะห์ 1) ปัจจัยเพื่อการสร้างรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (ANSYS Simulation Program)

3.6.2 วัตถุประสงค์ 2 ผู้วิจัยวิเคราะห์ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการสั่นหกล้มของผู้สูงอายุที่ส่งผลต่อรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นควรมากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การสรุปผล และอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยอย่างสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ คือ วิเคราะห์และศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ นำเสนอในรูปแบบของการอธิบายความประกอบตาราง และแผนภาพ แสดงกลุ่มข้อมูลในการวิเคราะห์การดูดซับแรงกระแทกหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจากนั้นอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและการทำวิจัยครั้งต่อไป

3.8 ความน่าเชื่อถือของงานวิจัย

การประกันคุณภาพงานวิจัย ประกอบด้วย ความเที่ยงตรง (Validity) และความเชื่อมั่น (Reliability) ของงานวิจัย สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ในวงกว้าง (Generalization) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเลือกประชากรที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความเที่ยงตรง คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลและการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย (เกษมรัสมิ์ วิจิตรกุลเกษม. 2559) งานวิจัยนี้ทำการทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อยของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพก เพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัย ผู้วิจัยตรวจสอบผลค่าดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม 2 รอบ และให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบ

ความเชื่อมั่น คือ ความคงเส้นคงวาของผลที่ได้รับเรื่องหนึ่งให้ผลสอดคล้องกัน คล้ายกันหรือเหมือนกัน ผลการวิจัยนั้นมีความเชื่อมั่นสามารถนำมาวัดหรือทดสอบหลายครั้ง ผู้วิจัยยังได้คำตอบเหมือนเดิม (เกษมรัสมิ์ วิจิตรกุลเกษม. 2559) ผู้วิจัยใช้ ANSYS Simulation Program ทดสอบค่าการดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย ซึ่งมีความแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการลื่นหกล้มภายในสถานการณ์จริงร้อยละ 80

การนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ในวงกว้าง คือ ผลการศึกษารณหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง สามารถนำไปใช้ในกรณีอื่นและเวลาอื่นได้ ผลการวิจัยจึงไม่ถูกจำกัดด้วยเวลาและบริบทที่สามารถใช้ได้ทั่วไป (เกษมรัสมิ์ วิจิตรกุลเกษม. 2559) ผู้วิจัยทำการกำหนดตารางตัวแปรเชิงมนทัศน์และตัวแปรปฏิบัติการ พร้อมทั้งระบุจำนวนไว้อย่างชัดเจนในแต่ละขั้นตอน เพื่อครอบคลุมตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมด

บทที่ 4

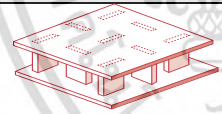



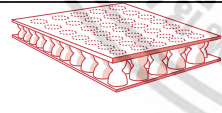


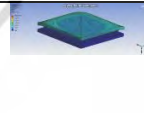
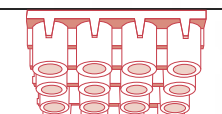



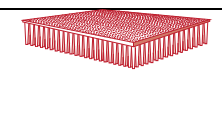

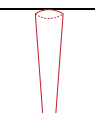

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยอธิบายผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์และสมมติฐานที่ใช้ในการวิจัยเพื่อวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการล้มหกล้มของผู้สูงอายุ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

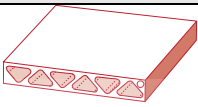


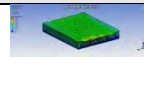
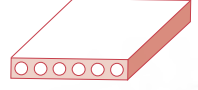


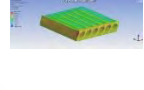
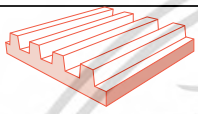



4.1.1 ผู้วิจัยทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น 7 แบบ และวิเคราะห์ปัจจัยของรูปทรงหน่วยย่อย (Model study) ได้แก่ 1) หน้าตัดแนวขวาง 2) หน้าตัดแนวตั้ง 3) การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ 4) ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย และ 5) ค่าวัสดุยางสังเคราะห์ (แสดงดังตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น 7 แบบ

ลำดับ	ภาพมุม 45 องศา	หน้าตัดแนวขวาง	หน้าตัดแนวตั้ง	การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ	ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย (กว้างxยาวxสูงxระยะห่าง: ซม.)	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก
1				แบบสลับ	28x25x25x8		1.1190
2				แบบตาราง	28x25x25x5		6.4900
3				แบบตาราง	28x25x25x5		4.0262
4				แบบตาราง	5x5x28x1		1.2391

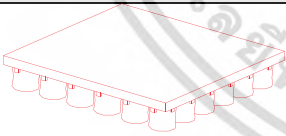
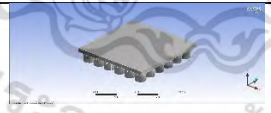
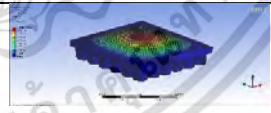
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) สรุปผลการวิเคราะห์การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นพื้น 7 แบบ

ลำดับ	ภาพมุม 45 องศา	หน้าตัด แนวขวาง	หน้าตัด แนวตั้ง	การจัดเรียง ตัวอย่าง สม่ำเสมอ	ขนาดสัดส่วนของ รูปทรงหน่วยย่อย (กว้างxยาวxสูงx ระยะห่าง: ซม.)	Simulation results	ค่าการ ดัดรับ แรง กระแทก
5				แบบเส้น ขนาน	28x20.3x25x3		2.6003
6				แบบเส้น ขนาน	28x20.3x25x3		8.2280
7				แบบเส้น ขนาน	25x20.3x25x8		6.0476

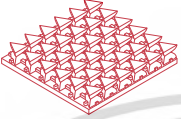
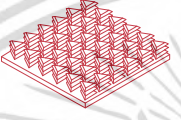
4.1.2 ผลการตรวจสอบจากผู้วิจัย 2 รอบ ได้ค่าดัดรับแรงกระแทกของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจากการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ANSYS Simulation Program เท่ากันทั้ง 2 รอบ

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบจากผู้วิจัย

ต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อย ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น	การตรวจสอบ		ผลการจำลอง สถานการณ์เสมือน จริง
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	
			1.2191

4.1.3 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการดัดรับแรงกระแทก 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ และ 3) ผู้เชี่ยวชาญด้านกระดุกและข้อในผู้สูงอายุ ประเมินต้นแบบมีความเห็นตรงกัน (แสดงดังตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ

ชุดที่	รายละเอียดการประเมิน					ลักษณะชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น	
	องค์ประกอบการวิเคราะห์แผ่นพื้น					แบบที่ 1	แบบที่ 2
	โครงสร้าง	ต้นแบบ	หน้าตัดของรูปทรง	ด้านข้างของรูปทรง			
1	การจัดเรียงตัวอย่าง		✓		✓	✓	
2	สม่ำเสมอแบบตาราง		✓		✓		✓

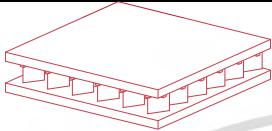

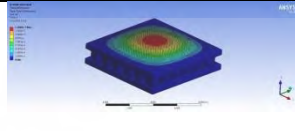
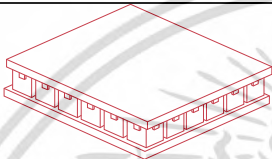


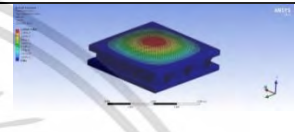
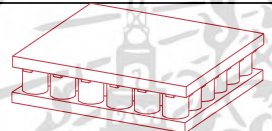

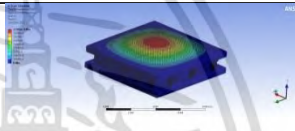
4.2 ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

ผลการทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานการวิจัยย่อยของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุ

สมมติฐานหลัก: หน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นโค้งดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางแนวขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นตรง

ผู้วิจัยทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย 3 แบบ ได้แก่ กระบอก ปริซึม และคิวบิก ดังตารางที่ 4.4 แสดงค่าดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรงกระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

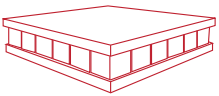

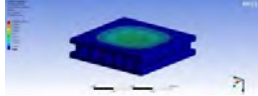
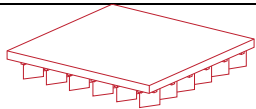


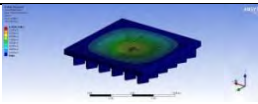
ตารางที่ 4.4 การทดสอบหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้ง

อันดับ (หน้าตัด แนวขวาง โค้งและ ตรง)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัด แนวขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					1.3016
2					1.2903
3					1.2868

สมมติฐานย่อยข้อที่ 1: มีแผ่นพื้นด้านล่างดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าไม่มี

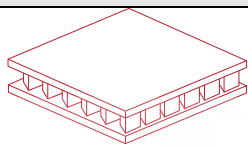

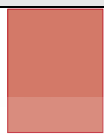
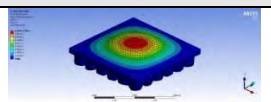
ผู้วิจัยทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย 2 แบบ ได้แก่ มีแผ่นพื้นด้านล่าง และไม่มีแผ่นพื้นด้านล่าง แต่ละรูปทรงแบ่งเป็นมีและไม่มีแผ่นพื้นด้านล่าง รวมทั้งหมด 3 แบบ ดัง ตารางที่ 4.5 แสดงค่าดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรง กระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.5 การทดสอบแผ่นพื้นด้านล่าง

อันดับ (มี-ไม่มีแผ่น พื้นล่าง)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัด แนวขวาง	หน้าตัดแนว ขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					1.2743
2					1.2719

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

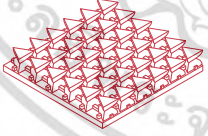

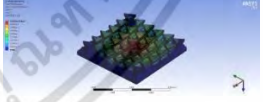
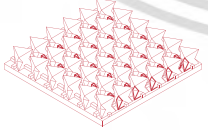

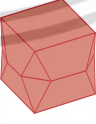
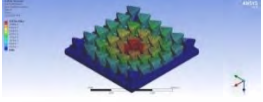
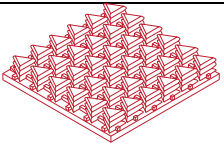

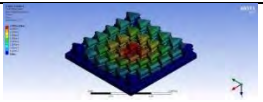
ตารางที่ 4.5 (ต่อ) การทดสอบแผ่นพื้นด้านล่าง

อันดับ (มี-ไม่มีแผ่น พื้นล่าง)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัด แนวขวาง	หน้าตัดแนว ขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
3					1.2640

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2: มีจุดเชื่อมระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าไม่มี

ผู้วิจัยทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย 2 แบบ ได้แก่ มีจุดเชื่อมต่อและไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น แต่ละรูปทรงแบ่งเป็นมีและไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น รวมทั้งหมด 3 แบบ ดังตารางที่ 4.6 แสดงค่าดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรงกระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.6 การทดสอบจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างของแผ่นพื้น

อันดับ (จุดเชื่อม แผ่นพื้น)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัด แนว ขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					5.0218
2					4.4874
3					4.7822

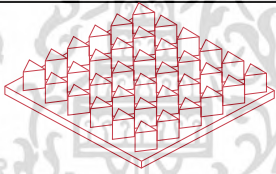


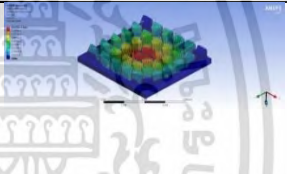
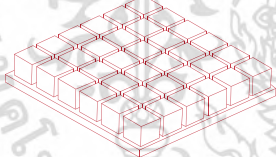


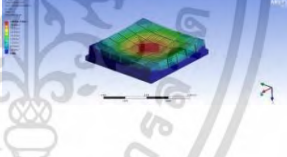
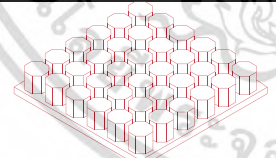


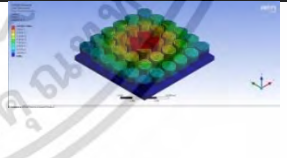
*หมายเหตุ: การทดสอบแผ่นพื้นแบบ 2 ชั้น ผู้วิจัยทำการทดสอบแผ่นพื้นแบบหยายขึ้นในลักษณะการพลิกจากด้านล่างขึ้นด้านบน พบว่าค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมีค่ามากกว่าแผ่นพื้นแบบคว่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานย่อยข้อที่ 3: จำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางแนวขวางมากดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าจำนวนเหล็มน้อย

ผู้วิจัยทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย 6 แบบ ได้แก่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม หกเหลี่ยม เจ็ดเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม รวมทั้งหมด 3 แบบ ดังตารางที่ 4.7 แสดงค่าดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรงกระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

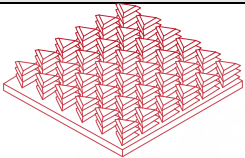
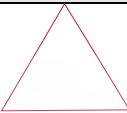
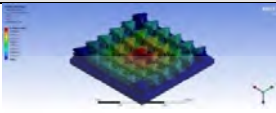
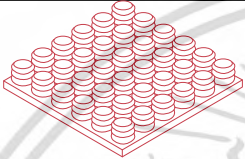


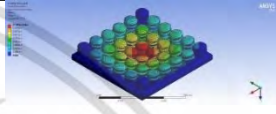
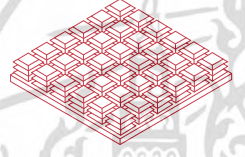

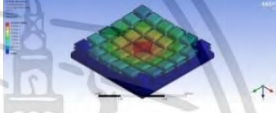
ตารางที่ 4.7 การทดสอบจำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อย

อันดับ (เหลี่ยม หน้าตัด แนวขวาง)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัด แนว ขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					8.0199
2					1.8454
3					1.6526

สมมติฐานย่อยข้อที่ 4: จำนวนลอนหน้าตัดแนวขวางแนวตั้งมากดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าจำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งน้อย

ผู้วิจัยทดสอบค่าดูดซับแรงกระแทกของรูปทรงหน่วยย่อย 4 แบบ ได้แก่ 1 2 3 และ 4 ลอน รวมทั้งหมด 3 แบบ ดังตารางที่ 4.8 แสดงค่าดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรงกระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.8 การทดสอบจำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อย

อันดับ (ลอนหน้า ตัด แนวตั้ง)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัดแนว ขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					9.1096
2					8.5465
3					6.6519

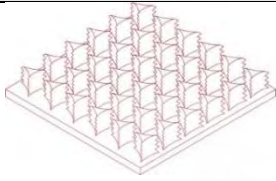
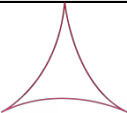
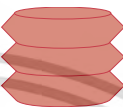
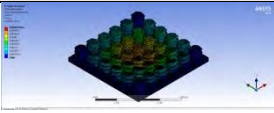
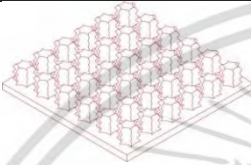

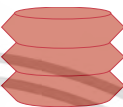
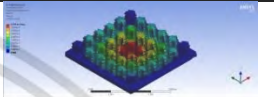
สมมติฐานย่อยข้อที่ 5: หน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อย 2 แบบ ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางเว้าและนูน รวมทั้งหมด 3 แบบ ดังตารางที่ 4.9 แสดงค่าการดูดซับแรงกระแทกเรียง 3 อันดับจากมากไปน้อย เพื่อทราบถึงค่าการดูดซับแรงกระแทกที่ดีที่สุด (หน่วย: นิวตันต่อเมตร/วินาที) ต้นแบบอื่นที่ทำการทดสอบ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.9 การทดสอบหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อยเว้า-นูน

อันดับ (เว้า-นูน)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัดแนว ขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
1					9.6145

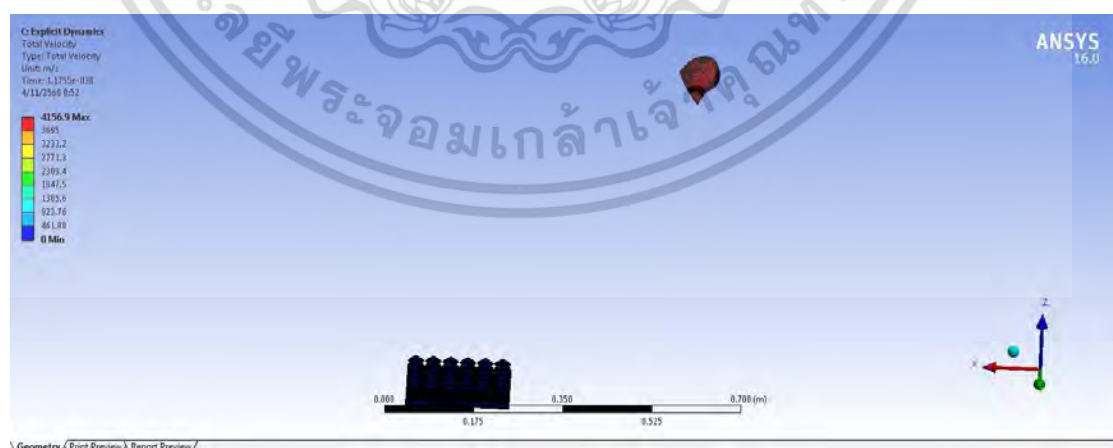
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) การทดสอบหน้าตัดแนวขวางของรูปทรงหน่วยย่อยเว้า-นูน

อันดับ (เว้า-นูน)	รูปทรงหน่วยย่อย	หน้าตัดแนว ขวาง	หน้าตัด แนวขวาง แนวตั้ง	Simulation results	ค่าการดูด ซับแรง กระแทก
2					9.5640
3					8.9094

การวิเคราะห์ปัจจัย: รูปทรงหน่วยย่อยที่ผลกระทบต่อ การดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพก จากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

ผู้วิจัยดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 โดยนำแบบประเมินต้นแบบของรูปทรงหน่วยย่อย ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมาใช้ในการควบคุมตัวแปรย่อยที่ใช้ในข้อคำถาม ได้แก่ 1) ตัวแปรย่อย ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางและหน้าตัดแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น และ 2) ค่าการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุ นำมาวิเคราะห์ด้วยการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงระหว่างต้นแบบหน้าตัดแนวขวางและหน้าตัดแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยเว้ากับกระดูกบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุ ดังแสดงภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การทดสอบต้นแบบจากการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกของผู้สูงอายุกับรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่มีหน้าตัดแนวขวางและหน้าตัดแนวตั้งเว้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุพบว่า หน้าตัดแนวขวางและหน้าตัดแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยหน้าตัดแนวขวางจะสามารถดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกได้ 9.6145 นิวตันต่อเมตร/วินาที และกระดูกบริเวณสะโพก อาจบรรเทาความรุนแรงลงเพียงกระดูกบริเวณสะโพกร้าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 การวิเคราะห์ของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ปัจจัยเพื่อการสร้างรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น คือ 1) รูปทรงหน่วยย่อย ได้แก่ หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้ง 2) การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ 3) ขนาดของรูปทรงหน่วยย่อย ได้แก่ ความกว้าง 28 มิลลิเมตร ความยาว 28 มิลลิเมตร ความหนา 25 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างรูปทรงหน่วยย่อย 5 มิลลิเมตร และ 4) ค่าวัสดุยางสังเคราะห์

5.1.2 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

สมมติฐานหลัก: หน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งโค้ง (วงกลม) ของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งตรง (สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม)

สมมติฐานย่อยข้อที่ 1: รูปทรงที่ไม่มีแผ่นพื้นด้านล่างดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าไม่มี

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2: ไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น แบบมี-ไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น จากการวิเคราะห์ค่าการดูดซับแรงกระแทก

สมมติฐานย่อยข้อที่ 3: จำนวนสามเหลี่ยมหน้าตัดของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยหน้าตัดสี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม หกเหลี่ยม เจ็ดเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม จากการวิเคราะห์ค่าการดูดซับแรงกระแทก

สมมติฐานย่อยข้อที่ 4: จำนวน 3 ลอนด้านข้างของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยด้านข้าง 1 2 และ 4 ลอน จากการวิเคราะห์ค่าการดูดซับแรงกระแทก

สมมติฐานย่อยข้อที่ 5: หน้าตัดเว้าของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ โดยการวิเคราะห์รูปทรงหน่วยย่อยหน้าตัดนูน จากการวิเคราะห์ค่าการดูดซับแรงกระแทก

ผู้วิจัยทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อยข้างต้น จึงนำข้อมูลในแต่ละสมมติฐานมาประกอบเป็นรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น (ดังปรากฏในภาพที่ 5.1)

ภาพที่ 5.1 รูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นจากการทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานย่อย
วาดโดย: อาริยา อัฐวุฒิกุล, 2561

5.2 อภิปรายผล

ผู้วิจัยนำเสนอการอภิปรายผลผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยที่ส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณกระดูกสะโพกของผู้สูงอายุ

1) วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อสร้างรูปทรงหน่วยย่อย

ปัจจัยเพื่อสร้างรูปทรงหน่วยย่อย 5 ข้อ ได้แก่ 1) หน้าตัดแนวขวาง 2) หน้าตัดแนวตั้ง 3) การจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ 4) ขนาดสัดส่วนของรูปทรงหน่วยย่อย และ 5) ค่าวัสดุยางสังเคราะห์ ของรูปทรงหน่วยย่อยยังสรุปไม่ได้ ผู้วิจัยจึงไปหาข้อสรุปในวัตถุประสงค์ที่ 2 ในขั้นตอนต่อไป

จากการวิเคราะห์พบว่าการจัดเรียงตัวแบบตาราง สอดคล้อง .. แต่แตกต่าง ...

2) วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 การศึกษาผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกจากการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

จากสมมติฐานหลัก ผลการวิจัยพบว่าหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งตรงดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้ง แตกต่างจาก Leopold (2006) ระบุว่าพื้นที่หน้าตัดแนวขวางมากส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าพื้นที่หน้าตัดแนวขวางน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานย่อยข้อที่ 1 ผลการวิจัยพบว่าไม่มีแผ่นพื้นด้านล่างดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่ามีแผ่นพื้นด้านล่าง แตกต่างกับ Casalena et al. (1998) กล่าวว่าโครงสร้างแผ่นปูพื้นควรมีแผ่นพื้นด้านล่าง เพื่อคุณสมบัติในการยึดเกาะกับพื้นและช่วยเพิ่มคุณสมบัติของแผ่นพื้นในการดูดซับแรงกระแทก

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2 ไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่ามีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น แตกต่างกับ Knoefel et al. 2008 ระบุว่าจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นคือส่วนเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแรงกระแทกของแผ่นพื้น

สมมติฐานย่อยข้อที่ 3 จำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางน้อยดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าจำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางมาก แตกต่างจาก Ensign et al. (2004) พบว่าจำนวนเหลี่ยมหน้าตัดแนวขวางมากส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทก เนื่องจากรูปร่างหน้าตัดแนวขวางมีพื้นที่มากทำให้รองรับและดูดซับแรงกระแทก (Leopold. 2006) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมมติฐานย่อยข้อที่ 4 จำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งมากดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าจำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งน้อย สอดคล้องกับ Ensign et al. (2004) ให้เหตุผลว่าจำนวนลอนหน้าตัดแนวตั้งมีจำนวนมากส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกมากกว่าลอนหน้าตัดแนวตั้งน้อย

สมมติฐานย่อยข้อที่ 5 หน้าตัดแนวขวางเว้าดูดซับแรงกระแทกได้มากกว่าหน้าตัดแนวขวางนูน แตกต่างกับ Voranavin et al. (2013) พบว่าพื้นที่หน้าตัดแนวขวางนูนดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าพื้นที่หน้าตัดแนวขวางเว้า เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดที่แตกต่างกันอย่างมากทำให้การดูดซับแรงกระแทกลดลง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยเสนอผลการวิจัยนำไปใช้ในประเด็นของงานวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผู้วิจัยเสนอแนะว่าการนำผลการวิจัยเรื่องปัจจัยการวิเคราะห์ของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นไปใช้ในการออกแบบสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง ได้แก่ เบาะรองนั่งภายในรถยนต์ แผ่นปูพื้นภายในศูนย์กีฬาหรือบริเวณที่ต้องการดูดซับแรงกระแทกจากผู้ใช้งานเป็นประจำ

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1) ควรศึกษาหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้งที่ส่งผลต่อรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่ระดับความเว้าและนูนแตกต่างกัน เช่น ขนาดสัดส่วนความเว้าและนูนจากแนวระนาบหน้าตัดแนว

ขวางและแนวตั้งของรูปทรงหน่วยย่อยอาจส่งผลต่อการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกมี ประสิทธิภาพต่างกัน

2) ควรใช้หุ่นจำลองทางการแพทย์ที่มีขนาดสัดส่วนเทียบเท่ากับผู้สูงอายุ และใช้วัสดุจริงสร้าง ผลิตภัณฑ์รูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้น เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพภายใน ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ จะได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

3) ควรมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อขยายผลในวงกว้างกับกลุ่มผู้มีอาการกล้ามเนื้อ อ่อนแรง และผู้พิการที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยพยุง เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อ การลื่นหกล้ม อาจได้รับบาดเจ็บบริเวณสะโพกเช่นเดียวกับกลุ่มผู้สูงอายุ

4) ควรศึกษาค่าแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณอื่นของร่างกาย อาทิเช่น ศีรษะ หลัง และข้อมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กมลฉัตร อภิวัฒน์กุล. 2560. “การออกแบบและวิเคราะห์อุปกรณ์พยางหลังโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์”. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2545. การใช้ SPSS for Window ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษมรัสมิ์ วิจิตรกุลเกษม. 2559. เอกสารประกอบการสอน รายวิชา 02278101ระเบียบวิธีวิจัยเชิงพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ (Social and Behavioral Research Methodology). หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมการวิจัย เพื่อการออกแบบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. เอกสารอัดสำเนา.
- คณะกรรมการส่งเสริมและประสานงานผู้สูงอายุแห่งชาติ สำนักงานรัฐมนตรี .2545 .แผนผู้สูงอายุ ฉบับที่ 2พ.ศ .2564-2545 .เอกสารอัดสำเนา.
- จารุวัตร เจริญสุข และจิตตะพล หุยะนันท์ ให้สัมภาษณ์, 13 สิงหาคม 2559. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การทดสอบการดูดซับแรงกระแทกจากการล้มล้มบริเวณสะโพกสำหรับผู้สูงอายุ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์. 2554. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา ส่วนประกอบของอาคาร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. เอกสารอัดสำเนา
- แดนเนาวรัตน์ จามรจันทร์ และคณะ. 2548. การศึกษาเรื่องการทรงตัวและหกล้มในผู้สูงอายุไทย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์พลัส เพลส. เอกสารอัดสำเนา.
- จิตตะพล หุยะนันท์ ให้สัมภาษณ์, 18 กุมภาพันธ์ 2560. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขึ้นส่วนทางวิศวกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- น้อมจิตต์ นवलเนตร์. 2543. “การทรงตัวในผู้สูงอายุ.” วารสารพัฒนาวิทยาและเวชศาสตร์ผู้สูงอายุ. 1(3): 46-50.
- นารินทร์ จิตรมนตรี และคณะ. 2541. “การศึกษาสภาพแวดล้อมในบ้านที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุหกล้มในผู้สูงอายุ.” วารสารพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 16 (สิงหาคม-กันยายน): 34-45.
- นิวัฒน์ ภูเจริญ ให้สัมภาษณ์, 18 สิงหาคม 2558. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงภายในคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์การรองรับแรงกระแทกจากการออกแบบต้นแบบพื้นผิวเพื่อรองรับแรงกระแทกสำหรับผู้สูงอายุ. สำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- เบญจจา ยอดดำเนิน-แอ๊ดตึก. 2549. อุบัติเหตุที่ป้องกันได้ของผู้สูงอายุ.
- ปิติ ฉลองวิริยะเลิศ และทวี ทรงพัฒนาศิลป์ ให้สัมภาษณ์, 26 ธันวาคม 2561. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การเลือกใช้ค่าความหนาแน่นมวลกระดูกของผู้สูงอายุจากบทความวิจัยของประเทศจีนและญี่ปุ่นแทนการใช้ของประเทศไทย. ศูนย์เอร์วีน สำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร.
- ประเสริฐ อัสสันตชัย. 2554. ปัญหาสุขภาพที่พบบ่อยในผู้สูงอายุและการป้องกัน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ. 2555. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม Finite Element Method in Engineering. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ และเสกฐรรุทธ สุจริตภวัตกุล. 2560. การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโต๊ะช่างแอนซิส Finite Element Analysis with ANSYS Workbench. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประกาศิต พรแก้ว. 2551. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โปรแกรม วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่าง “เพื่อเป็นเครื่องมือทดสอบการไหลของอากาศในอาคารแทนโต๊ะน้ำ ”ง่าย. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงษ์ธร แซ่ฮ้อย .2547 .ยาง :ชนิด สมบัติและการใช้งาน .กรุงเทพฯ :ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- ไพโรจน์ จิตรธรรม และเสกฐรรุทธ สุจริตภวัตกุล. ให้สัมภาษณ์, 25 มีนาคม 2559. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำจากยางด้วยวิธีFinite Element Analysis .(FEA) บริษัท ชิกมา โซลูชั่นส์ จำกัด.
- ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ. ให้สัมภาษณ์, 31 มกราคม 2560. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ ANSYS ในการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงเพื่อทดสอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มนัสชนก จงประสิทธิ์พร ให้สัมภาษณ์, 20 มกราคม 2559. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการล้มล้มและการยศาสตร์สำหรับผู้สูงอายุ .คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- มนตรี ชัยชาญยุทธ์ ให้สัมภาษณ์, 23 กุมภาพันธ์ 2560. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การจำลองสถานการณ์เสมือนจริงในการทดสอบรูปรูทรวงหน่วยย่อยโครงสร้างแผ่นพื้นจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานโกลกสำหรับผู้สูงอายุ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. 2552. สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2552. มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.) คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ กองทุนผู้สูงอายุ. กรุงเทพฯ: บริษัท ทีคิวพี จำกัด.
- วรุตม์ จันทรเนตร และคณะ. 2549. การออกแบบชิ้นส่วนรองรับแรงกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิเชษฐ์ เจริญธีรบุรณ และคณะ. 2550. วัสดุจากยางพาราเพื่อป้องกันความเสียหายของหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินจากพายุลูกเห็บ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ. หน้า 245-255.
- ศรีนวล สติวิทยานันท์. 2553. หน่วยที่ 8: การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุที่มีความผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อ. พิมพ์ครั้งที่ 10 เอกสารการสอนชุดวิชาการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ศุภชัย แก้วจิ้ง. 2552. การพัฒนาบล็อกปูพื้นที่ทำจากยางธรรมชาติและ EPDM. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สถาบันพลาสติก. 2557. โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางคอมพาวด์เพื่อยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องมือแพทย์. เอกสารอัดสำเนา.
- สมจินตนา เอี่ยมสรรพางค์. 2558. การหกล้มในผู้สูงอายุ. หนังสือพิมพ์ข่าวสด วันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2558 ปีที่ 25 ฉบับที่ 8813.
- สมนึก กุลสถิตพร. 2549. กายภาพบำบัดในผู้สูงอายุ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักงานกฤษฎมนตรี. 2546. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา. ราชกิจจานุเบกษา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สำนักงานสำรวจสุขภาพประชาชนไทย. 2552. รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทย โดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2551-2552. สำนักงานสำรวจสุขภาพประชาชนไทย. นนทบุรี: บริษัท เดอะ กราฟิโก ซิสเต็มส์ จำกัด
- สุทธิชัย จิตะพันธ์กุล และคณะ. 2542. ปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุไทย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัย สาธารณสุขไทย มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ.
- สุทธิชัย จิตะพันธ์กุล และคณะ. 2545. ผู้สูงอายุในประเทศไทย รายงานการทบทวนองค์ความรู้และสถานการณ์ในปัจจุบัน ตลอดจนข้อเสนอแนะทางนโยบายและการวิจัย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนิติ สุภาพ, อาทิตย์ เพชรศศิธร, ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด, และอมร พิमानมาศ. 2561. บทที่ 1 กลศาสตร์และการวิเคราะห์โครงสร้าง. กรุงเทพฯ : สภาวิศวกร. 1-23. เอกสารอัดสำเนา.
- สุพันธ์ ตั้งจิตกุศลมั่น. ให้สัมภาษณ์, 26 มกราคม 2560. อาริยา อัฐวุฒิกุล ผู้สัมภาษณ์. การเลือกใช้โปรแกรมสำหรับการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงภายในคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ การดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะโพกสำหรับผู้สูงอายุ. อาคารสำนักงานอธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุพัฒน์ หมอยาดี. 2546. “คนแก่หกล้มอาจถึงตาย.” นิตยสารใกล้หมอ. 27(6). 13-15.
- สุธี สุทัศน์ ณ อยุธยา. 2533. กายวิภาคศาสตร์: ระบบการเคลื่อนไหว (Anatomy of the Locomotors System). พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- องค์การอนามัยโลก. 2553. รายงานสถานการณ์การบาดเจ็บรุนแรงและเสียชีวิตจากสาเหตุภายนอก พ.ศ. 2548-2553. กลุ่มพัฒนาระบบเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาการบาดเจ็บ สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนดดีไซน์.
- อนุชา เศรษฐเสถียร และดาวเรือง ช่มเมืองปักข์. 2552. ปัจจัยเสี่ยงต่อการล้มแล้วกระดูกสะโพกหักของผู้สูงอายุที่รักษาในโรงพยาบาลอุดรธานี. กลุ่มศัลยกรรมออร์โธปิดิกส์ โรงพยาบาลอุดรธานี. เอกสารอัดสำเนา
- อารยา เอกปริญญา. 2554. “รูปแบบพื้นผิวกันกระแทกภายในห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุภายในศูนย์พัฒนาการจัดสวัสดิการสังคมบ้านบางแค 1 กรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาศิลปอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- อารีรัตน์ สุพุทธิธาดา และคณะ. 2552. การพัฒนาความสามารถในการเดินและการป้องกันการล้มของผู้สูงอายุและผู้ป่วยพาร์กินสัน. ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เอกสารอัดสำเนา
- อุกฤษฏ์ นาจำปา. 2558. **วัสดุกันกระแทกจากไฟเบอร์กลาสผสมยางพารา (Cushioning Material From Fiberglass Rubber Mixing)**. โครงการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- ADSfabrix. 2014. "Designing from Natural Forms." Abington Decorating Supplies; 22 May 2014, (<http://blog.adsfabrix.co.uk/designing-from-natural-forms>).
- American Geriatrics Society. 2011. **Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons.** Journal of American Geriatric Society 2011 Jan;59(1). pp.148-157.
- Anderson, T. 2013. **Research Paradigms: Ontology's, Epistemologies & Methods.** Universitat Oberta de Catalunya; eLEARN CENTER, Spain (2013). pp.1-56.
- Anne-Marie H., Norman A.F., Michael F.A. 2000. **Energy absorption of foam-filled circular tubes with braided composite walls.** Sscientifiques et médicales 2000; 19:31-50. [https://doi.org/10.1016/S0997-7538\(00\)00158-3](https://doi.org/10.1016/S0997-7538(00)00158-3).
- Atthawuttikul, A. 2015. Suitable Impact Absorbent Surface in the Bathroom for Thai Elderly Slip Falls. "International Association of Societies of Design Research Conference 2015." IASDR 2015 Congress Brisbane, Australia. November 2-5, 2015. pp.78-85.
- Atthawuttikul, A. 2016. **Bathroom Impact Absorbing Mat for Elderly People: A Review.** Humanities and Social Sciences Review 2016; 5(1): 279-286.
- Atthawuttikul, A and Sahachaisaeree, N. (2016). **Comparison of Elderly People's Perception of Homely Feeling towards Room Environment in Their Own Home and Two Nursing Homes in Thailand.** International Journal of Social Science and Humanity. 6(11). pp. 865-868. <http://www.ijssh.org/vol6/763-SH0006.pdf>. [doi: 10.18178/ijssh.2016.6.11.763]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Barnett, R.L. 2002. **“Slip and Fall” Theory-Extreme Order Statistics**. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 2002; 8(2): 135-158.
<http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2002.11076521>.
- Cameron, I.D. Cumming, R.G. Kurrle, S.E. Quine, S. Lockwood, K. Salkeld, G. and Finnegan, T. 2003. **A randomized trial of hip protector uses by frail older women living in their own homes**. Injury Prevention 2003; 9:138-141.
- Casalena, J.A., Ovaert T.C., Cavanagh P.R., Streit D. A. 1998. **The Penn State State safety floor: Part I- Design Parameters Associated with walking deflections**. J. Biomech. Eng. 1998; 120:518-525.
- Casalena, J.A., Badre-Alam, A., Ovaert, T.C., Cavanagh, P.R., Streit, D.A. 1998. **The Penn State safety floor: Part II—reduction of fall-related peak impact forces on the femur**. J. Biomech. Eng. 1998; 120:527–532.
- Catherine, S. and Menz, B.H. 2003. **“An evaluation of footwear worn at the time of fall-related hip fracture.”** Age and Ageing 2003; 32: 310-314. British Geriatric Society.
- Cornell, J. 2012. **"Art and the Spiritual Path."** Sunfire Weblog; 6 November 2012, (<https://sunfiresblog.wordpress.com/tag/painting>).
- Creswell, J.W., 1998. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Traditions**. Thousand Oaks: Sage: p.7.
- Creswell, J.W., 2007. **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among Five Traditions 2nd ed**. Thousand Oaks. CA: Sage.
- Creswell, J.W., 2009. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches 3rd ed**. Thousand Oaks. CA: Sage.
- Cryer, C. Knox, A. Martin, D. and Barlow, J. 2002. **Hip Protetor Compliance Among Older People Living in Residential Care Homes**. Injury Prevention 2002; 8:202-206.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Dahlgren, S. and Kleiven, S. 2014. **“Evaluation of a Flooring System to Help Reduce Fall-Related Injuries among Elderly”**. Master of Science Thesis in Medical Engineering of KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Dewey, J. 1998. **Experience and Education: The 60th Anniversary Edition**. Indiana: Kappa Delta Pi International Headquarters. 1998.
- Drahota, A., Gal, D. and Windsor, J. 2007. **“Flooring as an intervention to reduce injuries from falls in healthcare settings: an overview.”** Quality in Ageing- Policy practice and research 8:1: 3-9.
<http://dx.doi.org/10.1108/14717794200700002>.
- Ensign, W., Hodgdon, J.A. Prusaczyk, W.K., Shapiro, D., and Lipton, M. 2004. **“A survey of self-reported injuries among special boat operators”**. Naval Health Research Center: San Diego, C.A. (U.S.A.). No. 00-48.
- Fay, B.H. 2006. **“Postural Orientation and Equilibrium: What do we need to know about neural control of Balance to prevent falls?”**. Oxford University. Age and Ageing 2006; 35: S2: ii7-ii11. <https://academic.oup.com/ageing/article-lookup/doi/10.1093/ageing/afl077>.
- Feldman, F. 2011. **Health Authority Approach to Falls and Injury Prevention: Moving from Research to Practice**. Fraser Health. pp.1-56.
- Feldman, F. 2013. **CIHR Team Grant: Technology for Injury Prevention in Seniors (TIPS)**. Centre of Hip Health and Mobility. pp.1-25.
- Finlay O. and Beringer T. 2007. **Effects of floor coverings on measurement of gait and plantar pressure**. Physiotherapy 2007; 93: 144-150.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physio.2006.11.014>.
- Gardner, T.N. Simpson, A.H.R.W. Booth, C. Sprukkelhorst, P. Evans, M. and Wright, J.K. 1998. **Measurement of impact force, simulation of fall and hip fracture**. Med Eng Phys 1998; 20:57-65.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gok, K., and Inal, S. 2015. **Biomechanical comparison using finite element analysis of different screw configurations in the fixation of femoral neck fractures.** The Journal Mechanical Sciences 2015; 173-179.
- Gotaro, K. 2016. **Frailty as a predictor of fractures among community-dwelling older people: A systematic review and meta-analysis.** Bone 90 (2016): 116-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bone.2016.06.009>.
- Hakim, S.S.A. 2010. **Energy absorption characteristics and crashing parameters of filament glass fiber/epoxy composite tubes.** European Journal of scientific research. 2010;39(1): 111-121.
- Hedge, A. 2003. **“Ergonomic Design Issues and Carpet: A Review.”** International EJournal of Flooring Sciences, (<http://www.flooringsciences.org/ejournal/0407/index.cfm>).
- Honeycutt H.P., et al. 2002. **Factors contributing to falls in elderly men living in the community.** Geriatric Nursing. September-October 2002;23(5): pp. 250-257.
- Ian, J.H. 2004. **Limping and Back Pain. Discussion paper prepared for The Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal.** Ontario: University of Toronto. pp.1-17.
- Jiayao Ma. 2011. **“Thin-Walled Tubes with Pre-folded Origami Patterns as Energy Absorption Devices”.** Doctor of Philosophy in Engineering Science at the University of Oxford.
- James, W. 1974. **Will to Believe, Essays on Faith and Morals.** Massachusetts USA: New American Library. pp.32-62.
- Kannus, P. Parkkari, J. Niemi, S. Pasanen, M. Palvanen, M. Jarvinen, M. and Vuori, L. 2000. **“Prevention of Hip Fracture in Elderly People with use of a Hip Protector.”** The New England Journal of Medicine 2000; 343:21. 1506-1513. Massachusetts Medical Society.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Kim, H.S. 2002. **New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorption and weight efficiency: Thin-Walled Structures.** 2002;40(4): 311-327.
- Knoefel, F., Mousseau, M., and Berry, M. 2008. **Pilot Study to Assess Mobility Safety on a Dual-Stiffness Floor.** Canadian Journal of Geriatrics 2009; 11(2):110-112.
- Laing, C.A. 2008. **Biomechanical Testing of Hip Protectors and Energy Absorbing Floor for the Prevention of Fall-related Hip Fractures.** School of Kinesiology of Faculty of Applied Sciences. Simon Fraser University. Doctoral of Philosophy. Summer 2008. pp.87-122.
- Laing, C.A. Tootoonchi Iman, Hulme A. Paul, and Robinovitch N. Stephen. 2006. **“Effect of Compliant Flooring on Impact Force during Falls on the Hip”.** Journal of Orthopaedic Research July 2006; 10:1405-1411.
- Laurence, Z.R. 2006. **Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention.** Age and Ageing 2006;35-S2: ii37-ii41.
- Lehtola, C.J. Brown, C.M. and Becker, W.J. 2009. **“Preventing Injuries form Slips, Trips, and Falls.”** The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). August 2009, University of Florida. CIR869: 1-8.
- Lehtola, V.V. Virtanen, J.P. Kukko, A. Kaartinen, H. and Hyypä, H. 2011. **Localization of mobile laser scanner using classical mechanics.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 99, 25-29.
- Leopold, C. 2006. Geometry concepts in architectural design. **“12th International conference on geometry and graphics.”** Salvador, Brazil, August 6-10, 2006. pp.1-9.
- Mansouri, N. and Goher, K. 2016. **“Walking Aids for Older Adults: Review of End-User Needs.”** Canadian Center of Science and Education 2016;12(12):109-119. <http://dx.doi.org/10.5539/ass.v12n12p109>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Maki, B.E. and Fernie, G.R. 1990. **“Impact attenuation of floor coverings in simulated falling accidents.”** Apply Ergonomics 1990; 21: 107-114.
- Maurice de Saumarez. 1964. **“Basic design: the dynamics of visual form.** New York: Van Nostrand Reinhold.
- Minns, R. J. Nabhani, F. and Bamford, J. 2004. **“Can Flooring and Underlay Materials Reduce the Number of Hip Fractures in the Elderly?”**. Nurse. Older People. 2004; 16:16–20.
- Nakasawa, Y. Tamura, K. and Yoshida, M. 2005. **Development of Crash-box for Passenger Car with high Capability for Energy Absorption.** JSAE Annual Congress (2005). pp.1-4.
- Newell, N. Masouros, S.D. and Bull, A.M.J. 2013. **“A comparison of MiL-Lx and Hybrid-III Responses in Seated and Standing Postures with Blast Mats in Simulated Under-Vehicle Explosion”.** International Research Council on the Biomechanics of Injury Conference 2013: 135-144.
- Nuraini A.A., Siti Marhainis A.M., Azmah Hanim M.A., and Sahari B.B. 2014. **Axial Crushing of Origami Pattern Metal and Polymer Composite Thin-Walled Structures Using Finite Element Method.** Advances in Environmental Biology 2014; 8(8):3325-3329.
- Okan, J. and Kleiven, S. 2015. **“Development of a Fall-Injury Reducing Flooring System in Geriatric Care”.** Master of Science Thesis in Medical Engineering of KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Ostré, B., Bouvet, C., Lachaud, F., Minot, C, and Aboissiére, J. 2014. **Edge impact damage scenario on stiffened composite structure.** Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO) 2014; 1-42.
- Prescilla C.A., Amir R.A.G., Mohd A.O., Ahmad M.A.Z. 2016. **Axial Crushing Behavior of Aluminum Square Tube with Origami Pattern.** Modern Applied Science 2016;10(2):90-108.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Rensis, L. 1967. **Reading in Attitude Theory and Measurement. The Method of Constructing and Attitude Scale.** Fishbein, Martin, Ed. New York: Wiley & Son.
- Resnick, N. and Junlapeeya, P. 2004. **Falls in a community of older adults: Findings and implications for practice.** Applied Nursing Research. 2004; 17:81-91.
- Robinovitch, S.N. and Laing, C.A. 2009. **Compliant flooring for fracture prevention in high-risk environments: effects on fall severity, mobility, and balance.** CEMFIA Residential Care Summit: “Fall & Injury Prevention Research to Action”. November 5, 2009. pp.1-15.
- Robinovitch, S.N. 2014. **How is my resident falling? Lessons from videos capture on the cause and prevention of falls and fall-related injuries in older adults in long-term care.** Fall National Call. March 21, 2014. pp. 1-48.
- Robinovitch, S.N. 2015. **Falls Detection and Description: How We Monitor and What Can We Learn? Part: Video capture technology.** EU Falls Festival. March 24, 2015. pp. 1-37.
- Robinovitch, S.N., Hayes, W. C., and McMahon, T. A. 1995. **“Force Attenuation in Trochanteric Soft Tissues During Impact from a Fall”.** Journal of Orthopaedic Research; 13:956-962. Orthopaedic Research Society.
- Santosa S, Wierzbicki T. 1998. **Crash behavior of box columns filled with aluminum honeycomb or foam.** Computers & Structures 1998; 68:343-367.
- Simson, A.H.R.W. Lamb, S. Roberts, P.J. Gardner, T.N. and Grimley, J.E. 2004. **“Does the type of flooring affect the risk of hip fracture?”** Age and Ageing 2004;33: 242-246. British Geriatric Society.
- Steven, J.A. Corso, P.S. Finkelstein, E.A. and Miller, T.R. 2006. **The cost of fetal and non-fetal falls among older adults.** Injury Prevention 2006; 12:290–295.
- Stevens, J.A. and Olson, S. 2000. **Reducing Falls and Resulting Hip Fractures among Older Women.** Home Care Provider. vol. 49, no. RR-2. pp.134-141.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Tang, P.F. and Woollacott, M.H. 1998. **Inefficient postural responses to unexpected slips during walking in older adults.** J Gerontol. 1998;53:M471-M480.
- Thurmon, E.L. Jeffrey, C. Woldstad, J. Smith, L. and Jerry, D.R. 2009. **“Effects of age related sensory degradation on perception of floor slipperiness and associated slip parameters.”** National Institute of Health.
- Toksoy A.K., and Güden M. 2010. **Partial Al foam filling of commercil 1050H14 Al crash boxes: The effect of box column thickness and foam relative density on evergy absorption: Thin-Walled Structures.** 2010;48(7): 482-494.
- Voranavin, V. Suwantaroj, K. Boonyala, P. and Lakkam, S. 2013. **A Study of Crash Boxes Referred to Energy Absorption.** KKU Research Journal. 2013;18(3): 435-448.
- Wright, A.D. And Laing, A.C. 2012. **Evaluating the protective capacity of novel compliant flooring systems during simulated head impacts using a surrogate human headform.** Medical Engineering and Physics. Oct 2012, Vol. 34: 1071-1078.
- Zenkert, D. and Bitzer, T. 1997. **An Introduction to Sandwich Construction.** Emas Publishing, London (1997). BITZER, T. Honeycomb Technology, Chapman & Hall, London (1997). pp.1-28.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

1. รศ.ดร. มนต์ สัจวงศิลป์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
2. ผศ.ดร. พชร คุณคำชู อาจารย์ประจำภาควิชากายภาพบำบัด คณะสห
เวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
3. นพ. ปิติ ฉลองวิริยะเลิศ แผนกกระดูกและข้อ โรงพยาบาลลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

1. ผศ.ดร. ฐิตะพล หุยนันทน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2. คุณนิวัฒน์ ภูเจริญ สำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ผศ.ดร. มนต์รี ไชยชาญยุทธ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
4. อาจารย์เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล นักวิจัยยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)
5. คุณศิริระ มีศฤงคาร ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

ภาคผนวก ค ตัวอย่างแบบประเมินและแบบบันทึกต้นแบบแผนฟื้นฟู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบประเมินต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นเพื่อการดูดซับแรงกระแทกจาก
การลื่นหกล้มบริเวณสะพานของของผู้สูงอายุ

แบบประเมินการคัดเลือกต้นแบบชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ประกอบงานวิจัยเรื่อง ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

บริเวณสะพานของผู้สูงอายุ

หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมการวิจัยเพื่อการออกแบบ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย นางสาวอารียา อัฐวุฒิ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ญาดา ชวาลกุล

วัตถุประสงค์ เพื่อคัดเลือกต้นแบบชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่สุดคล้องกับองค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้นเพื่อนำมาสร้าง
ต้นแบบแผ่นพื้นและทดสอบการดูดซับแรงกระแทกบริเวณสะพานของผู้สูงอายุ

คำชี้แจง : ลักษณะแบบประเมิน ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการประเมินเพื่อคัดเลือกต้นแบบ

คำอธิบาย ผู้วิจัยได้ออกแบบองค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้นเพื่อทดสอบแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้
สูงอายุทั้งหมด 15 แบบ แต่ละชุดประกอบด้วย 2 แบบ จึงขอความกรุณาผู้เชี่ยวชาญเลือกแบบชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นเพียง 1
แบบ ต่อ 1 ชุด ที่สอดคล้องกับตัวแปรในแต่ละข้ออย่างมากที่สุด โดยพิจารณาจากการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในแต่ละ
แบบของชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

วัน/เดือน/ปี ที่ประเมิน..... เวลา.....

ชื่อ - นามสกุล.....















ตำแหน่ง.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ตอนที่ 2 การประเมินเพื่อคัดเลือกต้นแบบชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นที่สอดคล้องกับองค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้น

ชุด ที่	รายละเอียดการประเมิน						ลักษณะชั้นโครงสร้าง แผ่นพื้น	
	โครงสร้าง	ต้นแบบ	หน้าตัดของรูปทรง		ด้านข้างของรูปทรง		แบบที่ 1	แบบที่ 2
			เหลี่ยม	โค้ง	เหลี่ยม	โค้ง		
1				✓		✓		
2			✓		✓			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด ที่	รายละเอียดการประเมิน						ลักษณะชั้นโครงสร้าง แผ่นพื้น	
	องค์ประกอบการออกแบบแผ่นพื้น						แบบที่ 1	แบบที่ 2
	โครงสร้าง	ต้นแบบ	หน้าตัดของรูปทรง		ด้านข้างของรูปทรง			
เหลี่ยม			โค้ง	เหลี่ยม	โค้ง			
3			✓		✓			
4				✓		✓		
5			✓		✓			
6			✓		✓			
7			✓		✓			
8			✓		✓			
9			✓		✓			
10				✓		✓		
11			✓		✓			
12			✓		✓			
13				✓		✓		
14				✓		✓		
15				✓		✓		

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงในการประเมินต้นแบบครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบบันทึกต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นเพื่อการดูดซับแรงกระแทกจากการ
 ลื่นหกล้มบริเวณสะพานโพกของผู้สูงอายุ

แบบบันทึกต้นแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น

ประกอบงานวิจัยเรื่องผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้ม

บริเวณสะพานโพกของผู้สูงอายุ

หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมการวิจัยเพื่อการออกแบบ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย นางสาวอารียา อธิวุฒิกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐภาณุ นวลกุล

รูปแบบที่	รายละเอียดการบันทึก						ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 N.m/s)
	ปัจจัยการออกแบบรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น						
	ชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น	พื้นแบบ	ทิวาลัด		ส่วนข้าง		
			เหลี่ยม	โค้ง	เหลี่ยม	โค้ง	
1				✓		✓	
2			✓		✓		
3			✓		✓		
4				✓		✓	
5				✓		✓	
6			✓		✓		
7				✓		✓	
8			✓		✓		
9			✓		✓		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

ภาคผนวก ง หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.03/ 2214



คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๑ พฤษภาคม 2560

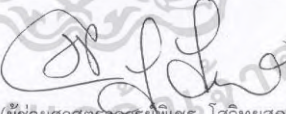
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ส่วนผสมยาง

เรียน คุณอดุลย์ ณ วิเชียร ศูนย์ควบคุมยางอะเซทเรนา ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

ด้วย นางสาวอาริยา อัฐพิบูล นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์ส่วนผสมยางธรรมชาติและสารเคมีในการผสมยางคอมพาวด์ ได้แก่ STR 52 จำนวน 1,500 กรัม Wing Stay-L จำนวน 10 กรัม และ DPG จำนวน 10 กรัม เพื่อนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์รูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการสั่นทกล้มบริเวณสะพานของ ผู้สูงอายุ เพื่อนำข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชิ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการสั่นทกล้มบริเวณสะพานของผู้สูงอายุ” ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากมีข้อขัดข้องด้วยประการใดโปรดติดต่อกับนักศึกษาโดยตรง ที่ 08-8307-2383

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ เพื่อประโยชน์ทางการศึกษา และขอขอบคุณ
มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชวู โสวิทย์สกุล)
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

งานทะเบียนและบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3536

โทรสาร 0-2329-8365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.03/ ๖๖๑๑



คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

1 พฤศจิกายน 2560

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ

เรียน คุณเกรียงไกร ตั้งจิตรมณีสักดา ผู้อำนวยการโรงพยาบาลลาดกระบัง

ด้วย นางสาวอารียา อัฐวุฒิกุล นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญ คุณปิติ ฉลองวิริยะเลิศ บุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเพื่อการพัฒนาปรับปรุงหน่วยงานย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผูสูงอายุที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น เพื่อนำข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยขึ้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผูสูงอายุ” ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากมีข้อขัดข้องด้วยประการใดโปรดติดต่อกับนักศึกษาโดยตรง ที่ 08-8307-2383

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตให้ คุณปิติ ฉลองวิริยะเลิศ เป็นผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อประโยชน์ทางการศึกษา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเศษ ไสวีย์สกุล)

คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

งานทะเบียนและบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3536
โทรสาร 0-2329-8365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.03/ ๒๖๐๐



คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

1 พฤศจิกายน 2560

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ

เรียน คณบดีคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ด้วย นางสาวอาริยา อัฐวุฒิกุล นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรี คุณคำชู บุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเพื่อการพัฒนาปรับปรุงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้อยู่อาศัยที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น เพื่อนำข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้อยู่อาศัย" ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากมีข้อขัดข้องด้วยประการใดโปรดติดต่อกับนักศึกษาโดยตรง ที่ 08-8307-2383

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตให้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรี คุณคำชู เป็นผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อประโยชน์ทางการศึกษา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรี โสวิทย์สกุล)
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

งานทะเบียนและบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3536
โทรสาร 0-2329-8365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ศธ 0524.03/ 002

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

3 มกราคม 2561

เรื่อง ขอรียนเชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ด้วย นางสาวอารียา อัฐวุฒิกล นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ไชยชาญยุทธ์ บุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเพื่อการพัฒนาหลักสูตรหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น ต่อการดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้อยู่อาศัยที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น เพื่อนำข้อมูล ประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลกระทบของรูปทรงหน่วยย่อยชั้นโครงสร้างแผ่นพื้นต่อการดูดซับแรง กระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้อยู่อาศัย” ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากมี ข้อขัดข้องด้วยประการใดโปรดติดต่อกับนักศึกษาโดยตรง ที่ 08-8307-2383

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตให้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ไชยชาญยุทธ์ เป็น ผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อประโยชน์ทางการศึกษา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ


 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณิชา ชุมสาย ณ อยุธยา)
 รองคณบดี
 ปฏิบัติการแทนคณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

งานทะเบียนและบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3536
โทรสาร 0-2329-8365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.03/ ๐๐๖



คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

๖ มกราคม 2561

เรื่อง ขอร้องเรียนเชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ

เรียน รองศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย ทองแป้น คณะวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ด้วย นางสาวอาริยา อัฐวุฒิกุล นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์เรียนเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ บุคลากรในสังกัดเป็นผู้ทรงคุณวุฒิประเมินเพื่อการพัฒนาปรับปรุงหน่วยงานย่อยขึ้นโครงสร้างแผนผังอาคารดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้สูงอายุที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น เพื่อนำข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลกระทบของรูปทรงหน่วยงานย่อยขึ้นโครงสร้างแผนผังอาคารดูดซับแรงกระแทกจากการลื่นหกล้มบริเวณสะพานของผู้สูงอายุ” ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากมีข้อขัดข้องด้วยประการใดโปรดติดต่อกลับนักศึกษาโดยตรง ที่ 08-8307-2383

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตให้ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส สังวรศิลป์ เป็นผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อประโยชน์ทางการศึกษา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรายุ ชุ่มสาย ณ อยุธยา)

รองคณบดี

ปฏิบัติการแทนคณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

งานทะเบียนและบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3536

โทรสาร 0-2329-8365

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บริการวิชาการยางมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 1-708-2560

หน้า 2 จาก 2

ผลทดสอบ :

ชื่อตัวอย่าง	Maximum torque, M_H (dN.m)	Minimum torque, M_L (dN.m)	Scorch time, t_{s1} (min)	Optimum cure time, t_{c90} (min)
Green rubber	2.16 ± 0.02	0.50 ± 0.01	8.15 ± 0.29	11.92 ± 0.52

ทดสอบโดย

(นายสุวัฒน์ เจริญศิลป์)

รายงานโดย

(นายสุวัฒน์ เจริญศิลป์)

รับรองผลการทดสอบ

(นางสาวขวัญใจ อนุจารวัฒน์)

รับรองผลการทดสอบ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต สิริสิงห์)

ออกให้เมื่อ : 6 มิถุนายน 2560

- หมายเหตุ
1. ศูนย์ฯ ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไข เพิ่มเติม ตัดต่อ เปลี่ยนแปลงรายงานหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของรายงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากศูนย์ฯ ก่อน
 2. ศูนย์ฯ ไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อม ในกรณีที่มีการนำข้อมูล ผลการวิเคราะห์ข้อสรุป หรือข้อเสนอแนะในเอกสารฉบับนี้ไปเพื่อใช้ในการออกแบบ การผลิต หรือจุดประสงค์อื่นใดก็ตาม
 3. ผลทดสอบนี้เป็นจริงเฉพาะกับชิ้นงานที่นำมาทดสอบเท่านั้น

F. 004 REV.0/2559

999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/otec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บริการวิชาการยางมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 1-708-2560

หน้า 1 จาก 2

รายงานผลทดสอบ

ออกให้แก่ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

วันที่รับตัวอย่าง : 23 พฤษภาคม 2560

ลักษณะตัวอย่างที่ได้รับ : ยางและสารเคมี

ชื่อตัวอย่าง : Green rubber

วันที่ทดสอบ : 29-31 พฤษภาคม 2560

การทดสอบ : วัดลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์ ตามมาตรฐาน ASTM D5289 โดยใช้
เครื่อง Moving Die Rheometer (TECHPRO, rheoTECH MD+) ที่อุณหภูมิ 150°C



F. 004 REV.0/2559

999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/rtec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บริการวิชาการ양งมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 1 จาก 12

รายงานผลทดสอบ

ออกให้แก่ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

วันที่รับตัวอย่าง : 3 พฤษภาคม 2560

ลักษณะตัวอย่างที่ได้รับ : ยางคอมพาวด์ 1 สูตร สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

1. ยางผ่านการทำให้คงรูป (ตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนด) ด้วยกระบวนการกดอัดขึ้นรูป (Compression) ตัดเป็นรูป Dumbbell (ASTM D412 Die C) สำหรับการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (Uniaxial tension) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ จำนวน 1 ตัวอย่าง (5 ชิ้นทดสอบ)

2. ยางผ่านการทำให้คงรูป มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (ตามมาตรฐาน ASTM D575) สำหรับการทดสอบสมบัติการรับแรงกดอัดแบบขจัดแรงเสียดทาน (Frictionless compression) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ จำนวน 1 ตัวอย่าง (5 ชิ้นทดสอบ)

3. ยางผ่านการทำให้คงรูป มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนาด ยาว 150 มม. กว้าง 20 มม. และหนา 2 มม.) สำหรับการทดสอบสมบัติการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ (Planar shear) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ จำนวน 1 ตัวอย่าง (5 ชิ้นทดสอบ)

ชื่อตัวอย่าง : Sample1

วันที่ทดสอบ : 12 มิถุนายน 2560

การทดสอบ : โดยใช้เครื่อง Universal testing machine (INSTRON 5566) ทำการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว (Uniaxial tension) ที่ 100 % ความเครียดทางวิศวกรรม สมบัติการรับแรงกดอัดแบบขจัดแรงเสียดทาน (Frictionless compression) ที่ 50 % ความเครียดทางวิศวกรรม และสมบัติการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ (Planar shear) ที่ 40 % ความเครียดทางวิศวกรรมด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (INSTRON 5566) เพื่อที่จะนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดทางวิศวกรรมไปหาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยาง (Elastic constants) สำหรับในการทดสอบนั้นจะต้องทำการขจัดผลของเหลวหนืด (Viscous Effect) ให้หมดไป โดยดึงตัวอย่างซ้ำ 10 รอบ ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติของยางอยู่ในภาวะสมดุล





บริการวิชาการ양มหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 2 จาก 12

- เงื่อนไขการทดสอบ : การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว
- Crosshead Speed : 50 mm/min
 - Extensometer : Video extensometer (AVE type)
- การทดสอบสมบัติการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ
- Crosshead Speed : 50 mm/min
 - Extensometer : Video extensometer (AVE type)
- การทดสอบสมบัติการรับแรงกดอัดแบบชนิดแรงเสียดทาน
- Crosshead Speed : 12 mm/min
 - Extension strain : Extension



F. 004 REV.0/2559

999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/rtec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

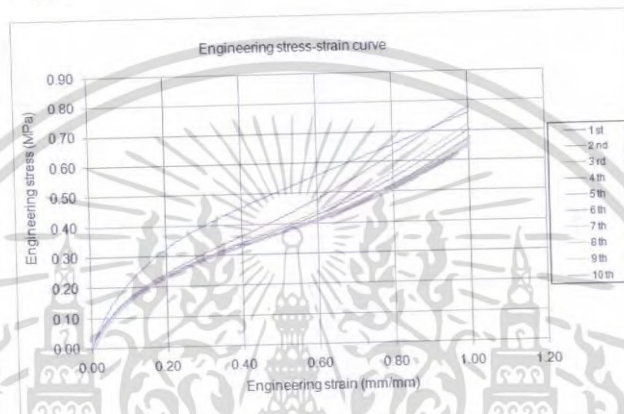


บริการวิชาการอย่างมีขีด
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

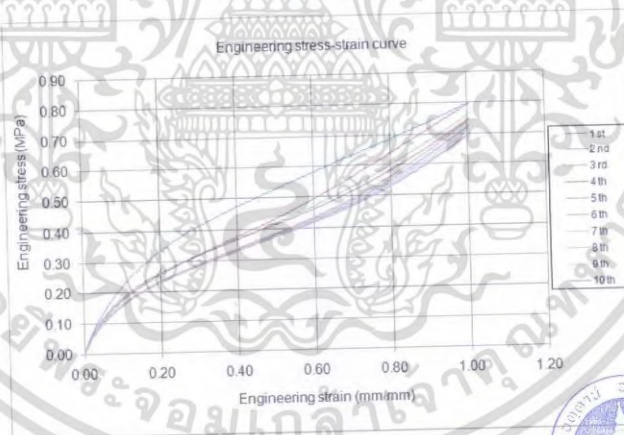
เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 3 จาก 12

ผลทดสอบ : การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว
ตัวอย่างที่ 1 : Sample1



ชั้นทดสอบที่ 1



ชั้นทดสอบที่ 2



F. 004 REV.0/2559

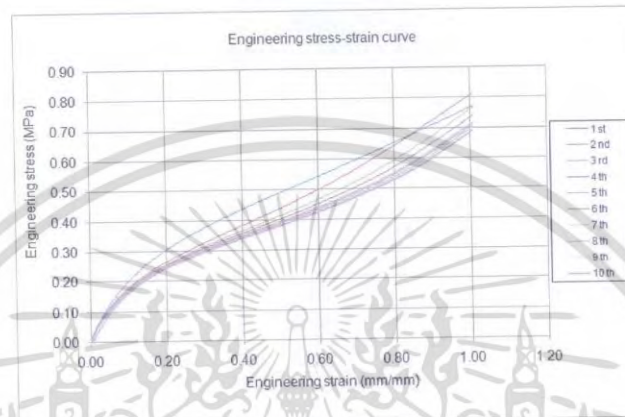
999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมงคลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/rtec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

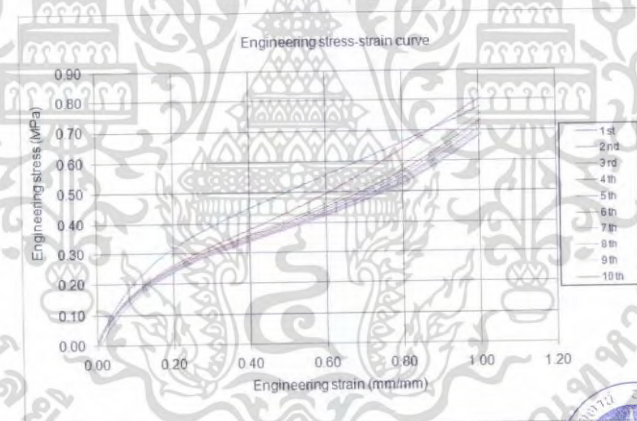


บริการวิชาการอย่างมีจิตต
ศูนยวิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 4 จาก 12



ขั้นทดสอบที่ 3



ขั้นทดสอบที่ 4



F. 004 REV.0/2559

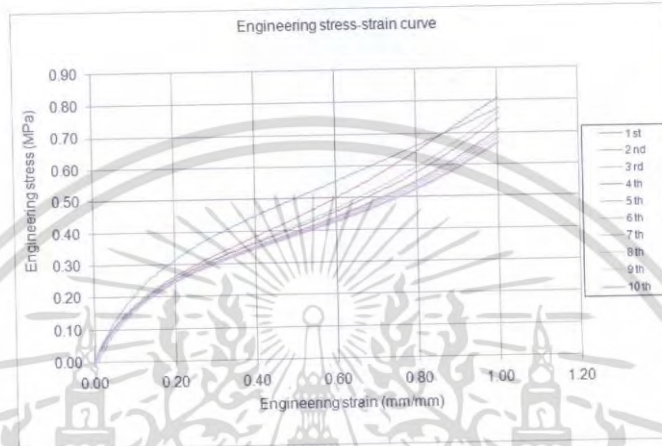
999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมนชลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมนชล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/rtec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

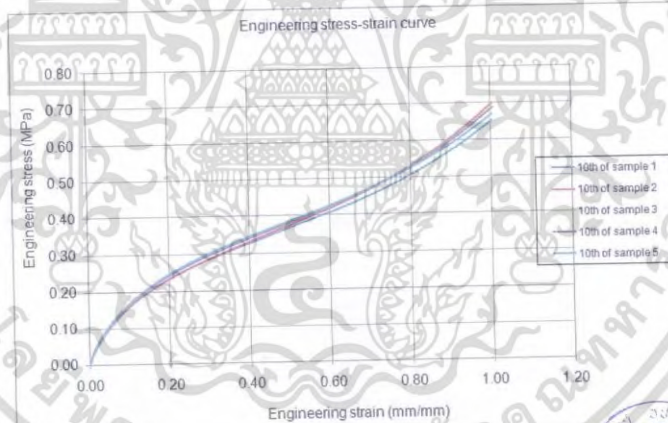


บริการวิชาการยางมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 5 จาก 12



ชั้นทดสอบที่ 5



กราฟความเค้น-ความเครียดวิศวกรรมของการทดสอบสมบัติการรับแรงดึงในแนวแกนเดียว ในรอบที่ 10 ของแต่ละชั้นทดสอบ



F. 004 REV.0/2559

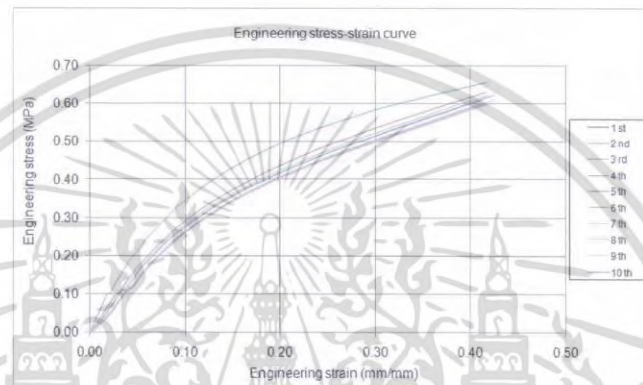
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



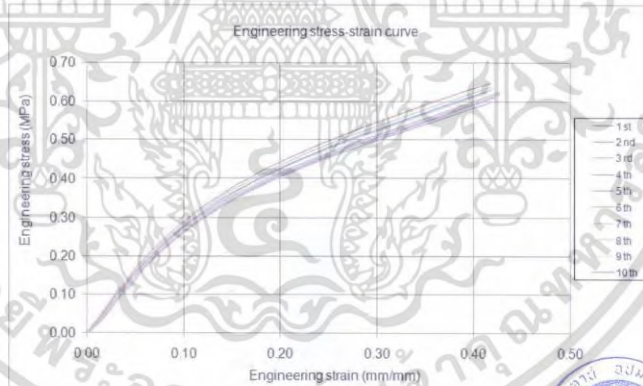
บริการวิชาการยางมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 6 จาก 12

ผลการทดสอบ : การทดสอบสมบัติการรับแรงเค้นในแนวระนาบ
ตัวอย่างที่ 1 : Sample 1



ขั้นตอนที่ 1



ขั้นตอนที่ 2



F. 004 REV.0/2559

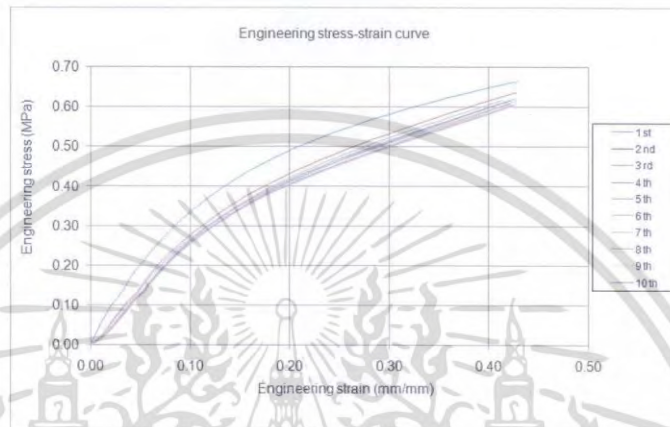
999 อาคารวิทยาศาสตร์ 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถ.พุทธมนต์หลาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 0511, 0 2441 9816-20 ต่อ 1115, 080 771 7098 โทรสาร 0 2441 9378 เว็บไซต์: <http://www.sc.mahidol.ac.th/rtec>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

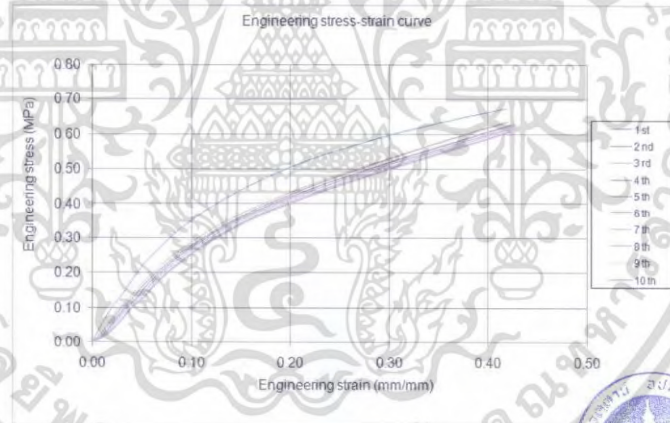


บริการวิชาการ양งมหิดล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 7 จาก 12



ขั้นตอนที่ 3



ขั้นตอนที่ 4



F. 004 REV.0/2559

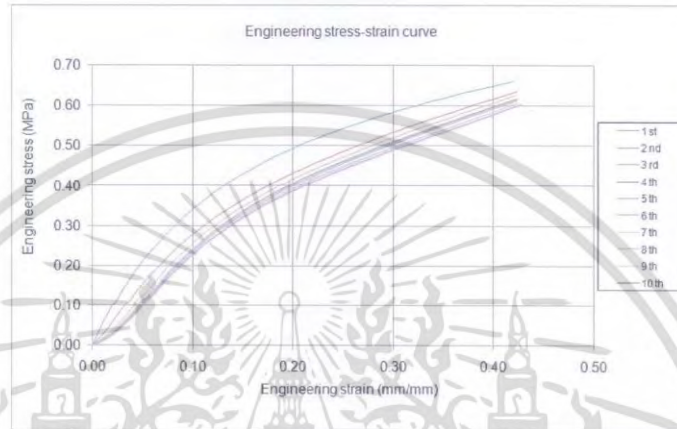
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



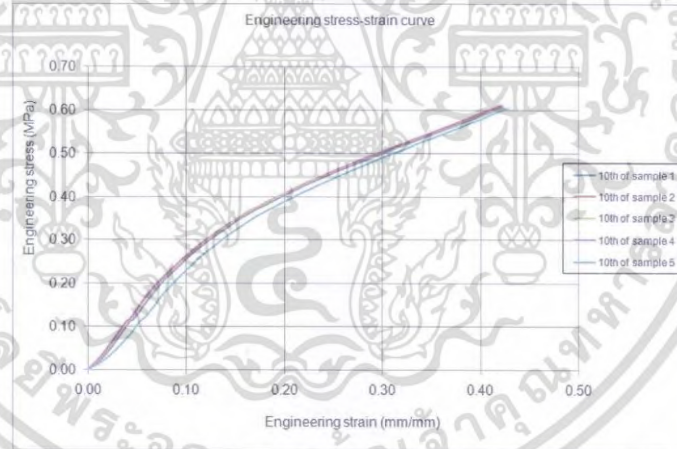
บริการวิชาการอย่างมีขีด
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 8 จาก 12



ขั้นตอนที่ 5



กราฟความเค้น-ความเครียดวิศวกรรมของการทดสอบสมบัติการรับแรงเฉือนในแนวระนาบ ในรอบที่ 10 ของแต่ละขั้นตอนทดสอบ



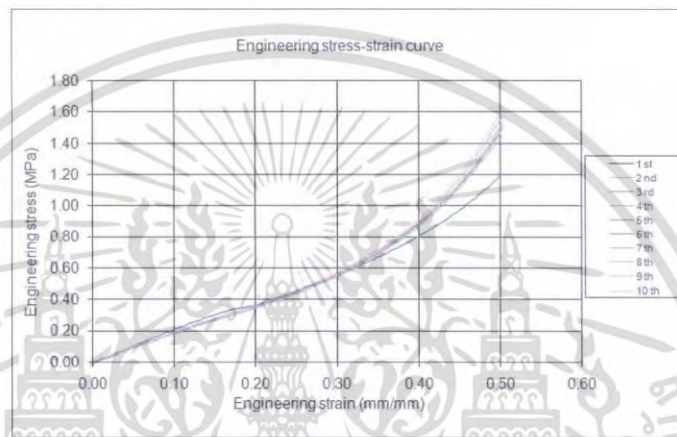
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



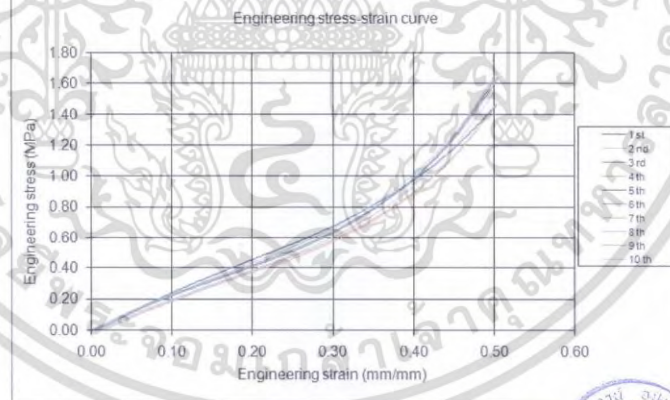
บริการวิชาการ양มทิศ
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560
หน้า 9 จาก 12

ผลการทดสอบ : การทดสอบสมบัติการรับแรงกดอัดแบบขจัดแรงเสียดทาน
ตัวอย่างที่ 1 : Sample 1



ชนิดทดสอบที่ 1



ชนิดทดสอบที่ 2



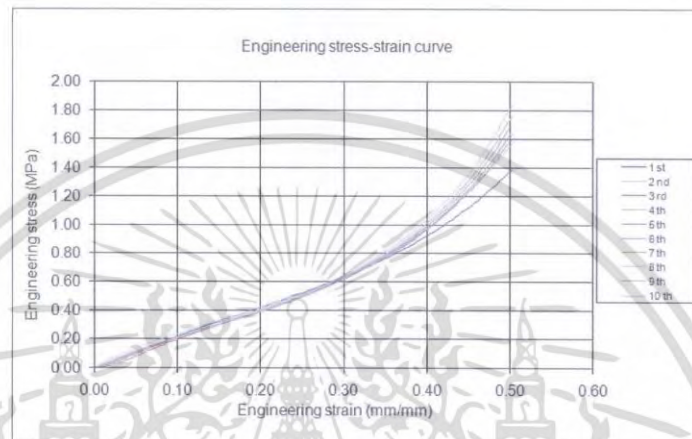
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



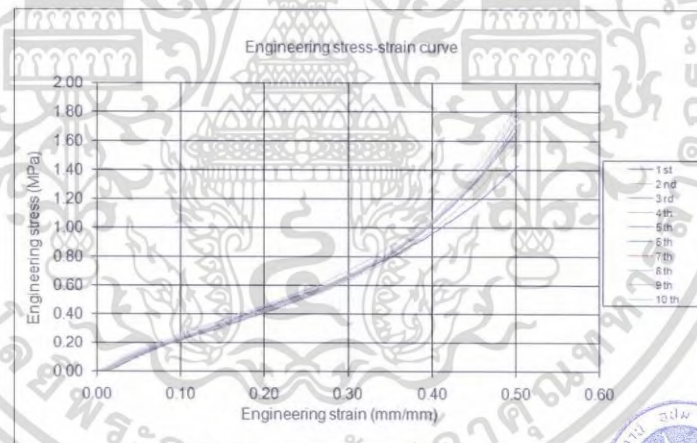
บริการวิชาการทางมหิตล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 10 จาก 12



ชิ้นทดสอบที่ 3



ชิ้นทดสอบที่ 4



F. 004 REV.0/2559

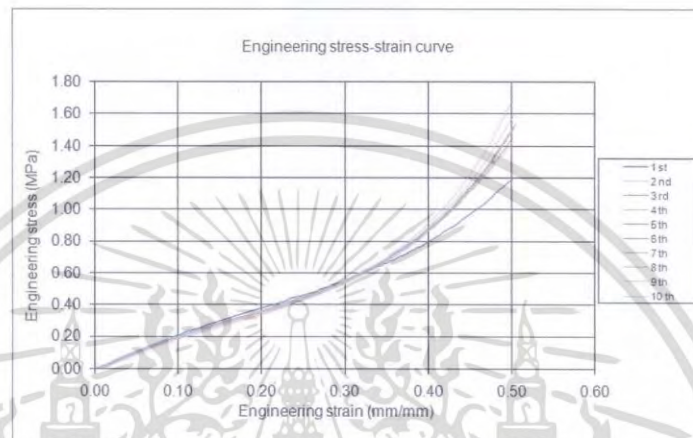
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



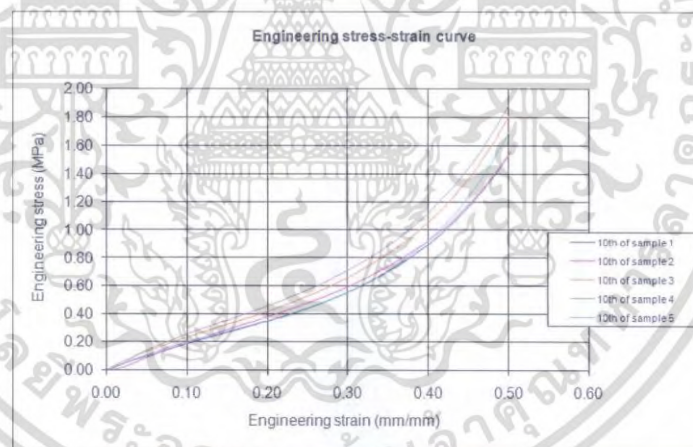
บริการวิชาการยางมัตถิล
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 11 จาก 12



ขั้นตอนที่ 5



กราฟความเค้น-ความเครียดวิศวกรรมของการทดสอบสมบัติการรับแรงกดอัดแบบซัดแรงเสียดทาน ในรอบที่ 10 ของแต่ละขั้นตอนทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บริการวิชาการอย่างมีขีด
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง

เลขที่ : 3-5-2560

หน้า 12 จาก 12

สิ่งที่แนบมาด้วย : CD-Rom ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม เพื่อนำไป
หาค่าคงที่ความยืดหยุ่นของยาง (Elastic constant)

ทดสอบโดย

รายงานโดย

(นายศิระ มีศฤงคาร)

(นายศิระ มีศฤงคาร)

รับรองผลการทดสอบ

รับรองผลการทดสอบ

(ดร.ไพโรจน์ จิตรธรรม)

(รศ.ดร. ชاکริต สิริสิงห)

ออกให้เมื่อ

: 18 กรกฎาคม 2560

- หมายเหตุ 1. ศูนย์ฯ ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไข เพิ่มเติม ตัดต่อ เปลี่ยนแปลงรายงานหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของรายงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากศูนย์ฯ ก่อน
2. ศูนย์ฯ ไม่รับผิดชอบความเสียหายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อม ในกรณีที่มีการนำข้อมูล ผลการวิเคราะห์ข้อมูล หรือข้อเสนอแนะนำไปเอกสารฉบับนี้ไปใช้ในการออกแบบ การผลิต หรือจุดประสงค์อื่นใดก็ตาม
3. ผลการทดสอบนี้เป็นจริงเฉพาะกับชิ้นงานที่นำมาทดสอบเท่านั้น



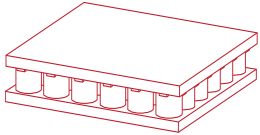


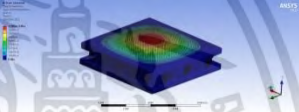
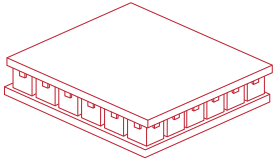


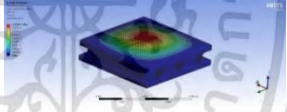
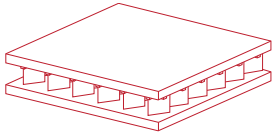


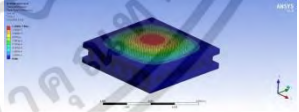
F. 004 REV.0/2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

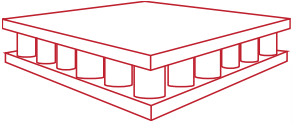


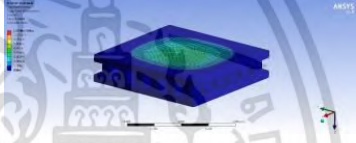
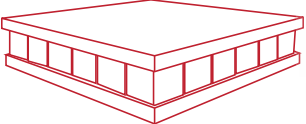


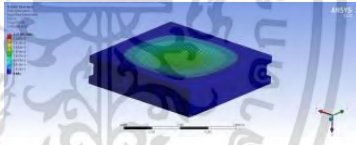
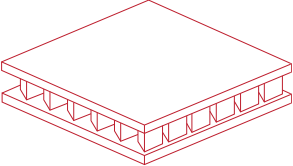


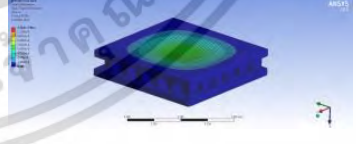


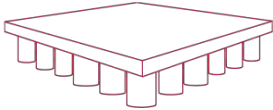


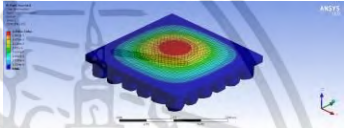


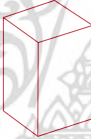
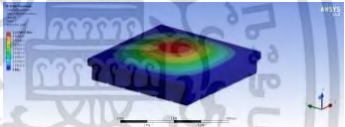
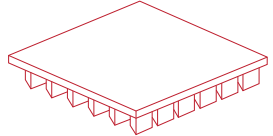


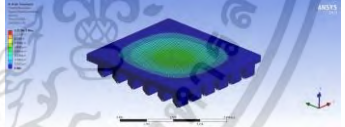
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานหลัก: การทดสอบหน้าตัดแนวขวางและแนวตั้ง จำนวน 3 แบบ

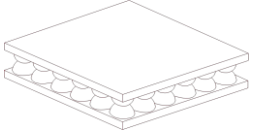

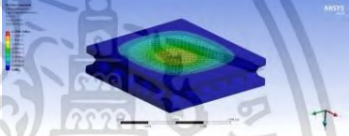
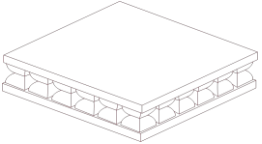


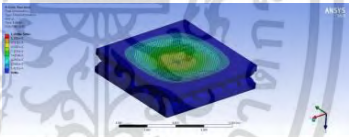
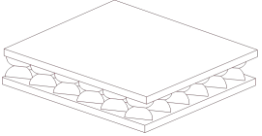

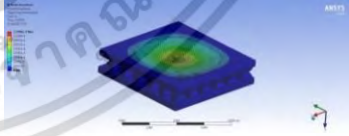
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
0.1.1 				1.2868
0.1.2 				1.2903
0.1.3 				1.3016

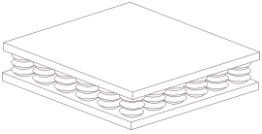

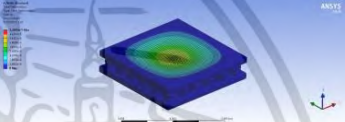
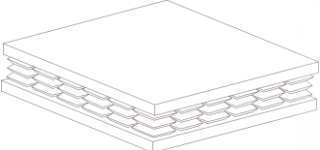


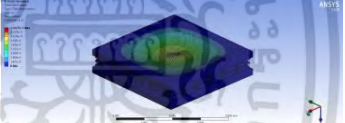
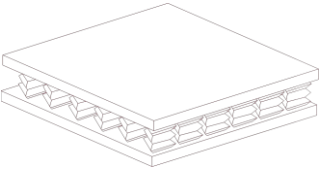

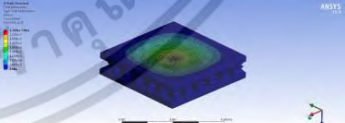
สมมติฐานย่อยข้อที่ 1 การทดสอบแผ่นพื้นด้านล่าง จำนวน 6 แบบ

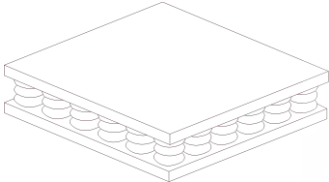


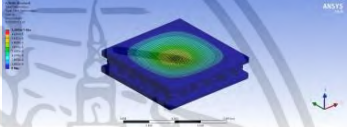
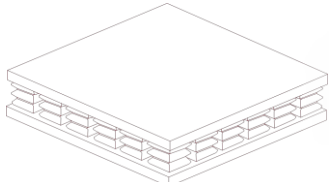


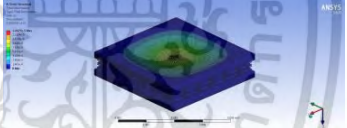
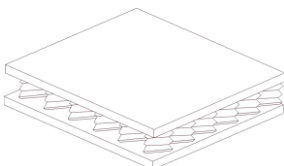


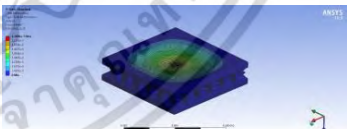
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>1.1.1</p> 				1.2546
<p>1.1.2</p> 				1.2743
<p>1.1.3</p> 				1.2640

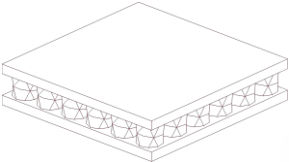


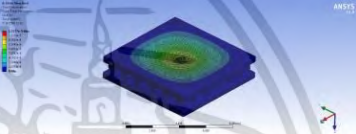
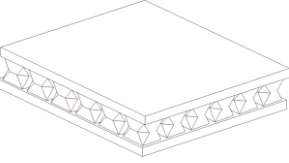


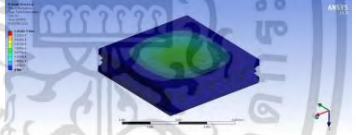
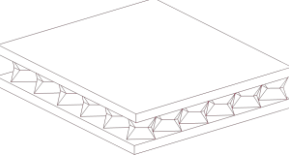

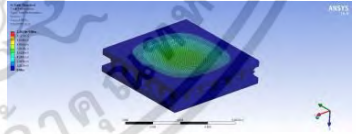
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
1.2.1 				1.2181
1.2.2 				1.2476
1.2.3 				1.2529

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2.1 การทดสอบไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น จำนวน 24 แบบ

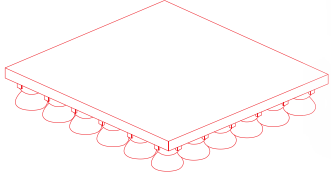


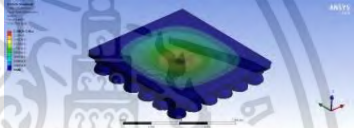
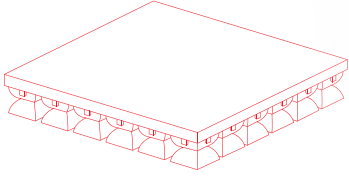


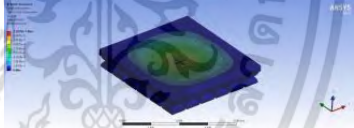
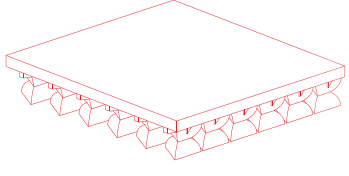


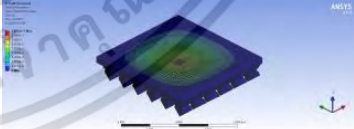
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.1.1</p> 				1.2590
<p>2.1.2</p> 				1.2808
<p>2.1.3</p> 				1.2708

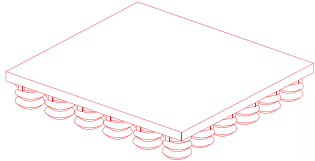

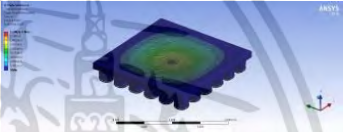
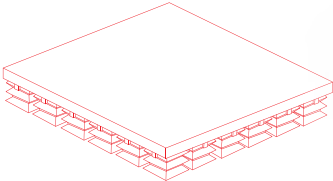


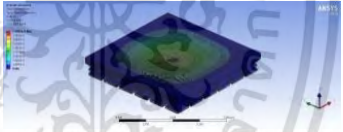
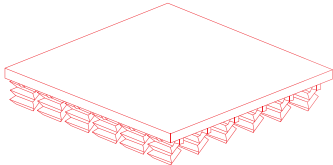

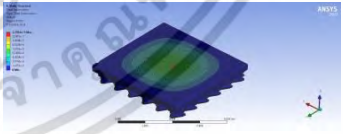
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.1.4 				1.2615
2.1.5 				1.2627
2.1.6 				1.2691

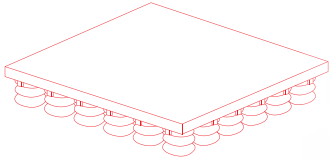


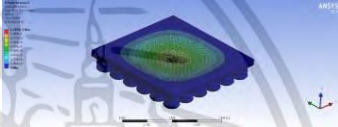
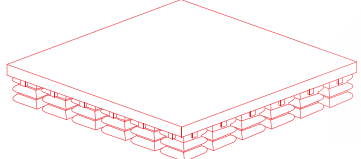


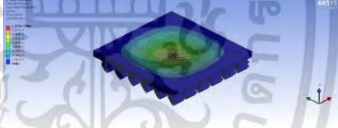
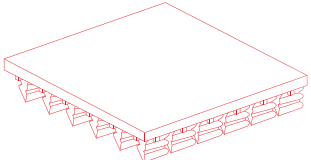

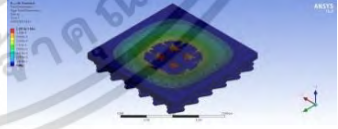
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.1.7 				1.2577
2.1.8 				1.2618
2.1.9 				1.2624

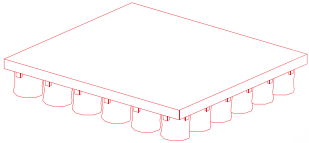


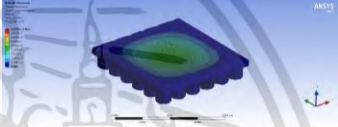
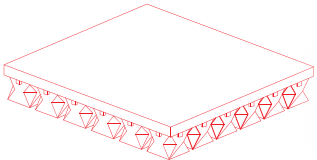


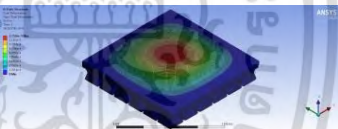
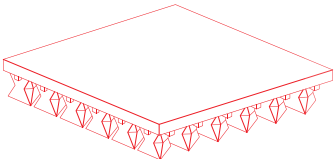

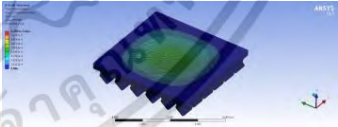
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.1.10 				1.2473
2.1.11 				1.2729
2.1.12 				1.2648

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2.2 การทดสอบมีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น จำนวน 24 แบบ

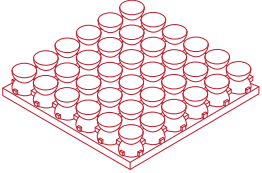


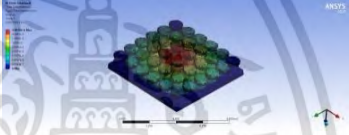
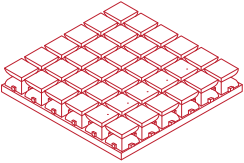


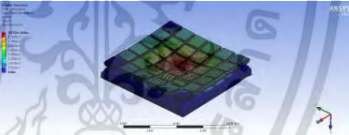
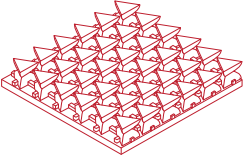

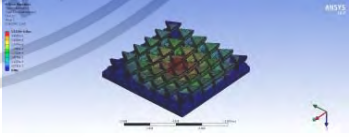
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.2.1</p> 				1.2802
<p>2.2.2</p> 				1.2878
<p>2.2.3</p> 				1.2921

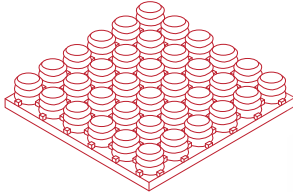


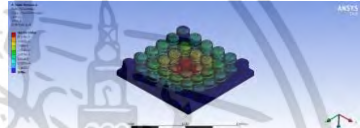
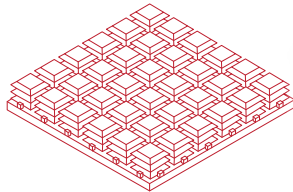


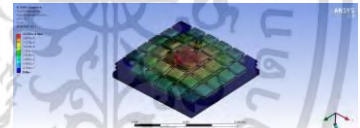
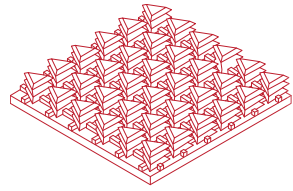

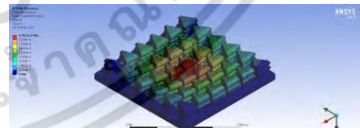
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.2.4 				1.2882
2.2.5 				1.2865
2.2.6 				1.2916

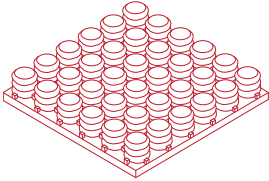

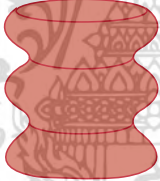
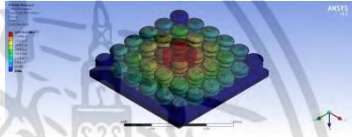
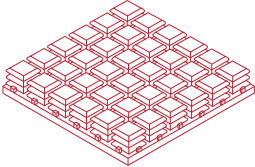

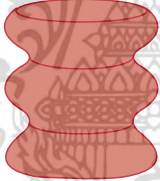
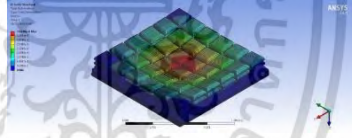
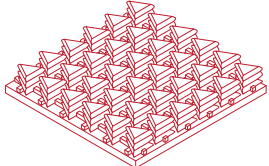

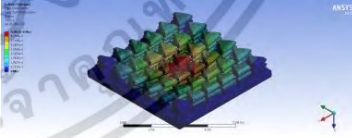
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.2.7</p> 				1.2118
<p>2.2.8</p> 				1.2529
<p>2.2.9</p> 				1.2814

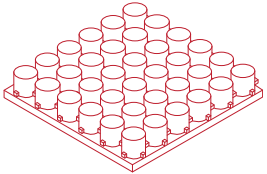

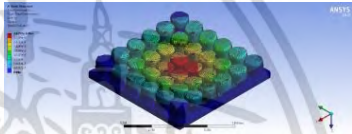
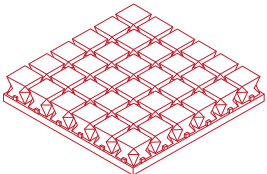


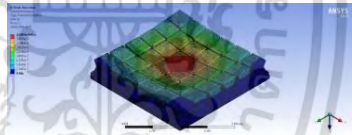
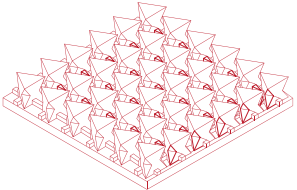

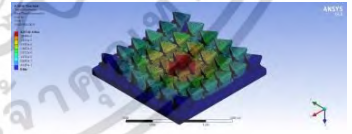
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.2.10 				1.2147
2.2.11 				1.2556
2.2.12 				1.2709

สมมติฐานย่อยข้อที่ 2 (1) การทดสอบไม่มีจุดเชื่อมต่อระหว่างชั้นโครงสร้างแผ่นพื้น จำนวน 24 แบบ

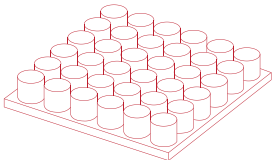

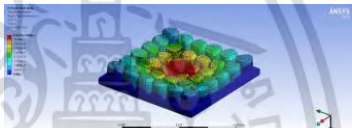
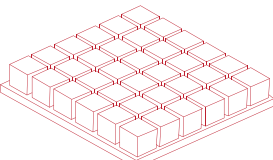


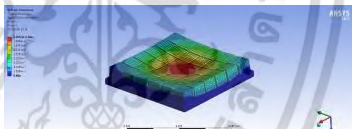
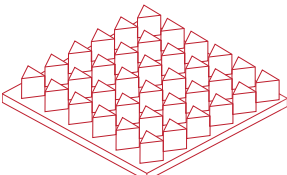

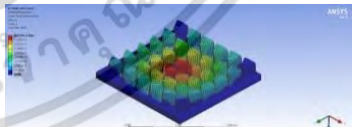
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.3.1</p> 				4.5076
<p>2.3.2</p> 				3.5252
<p>2.3.3</p> 				5.0218

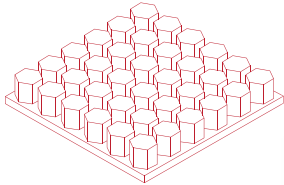


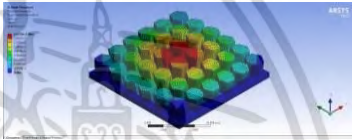
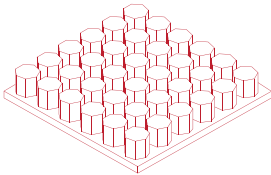


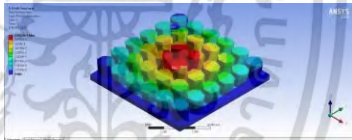
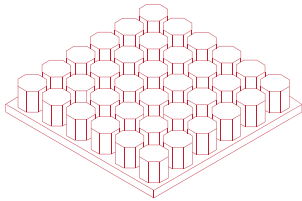

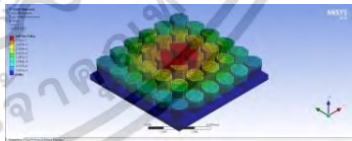
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.3.4</p> 				4.6290
<p>2.3.5</p> 				4.2787
<p>2.3.6</p> 				4.7821

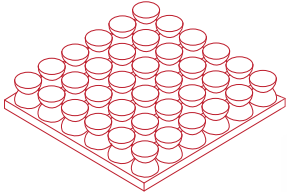


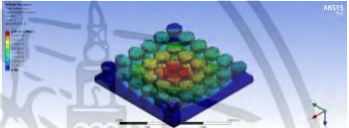
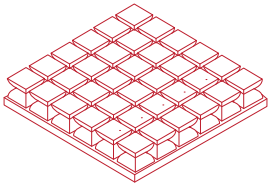


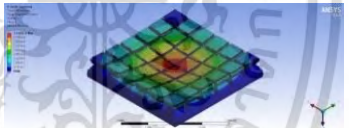
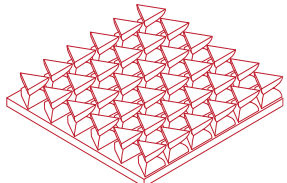

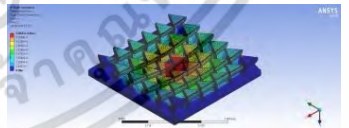
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>2.3.7</p> 				4.2574
<p>2.3.8</p> 				3.8248
<p>2.3.9</p> 				4.7822

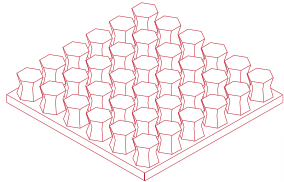

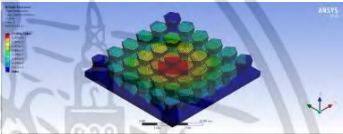
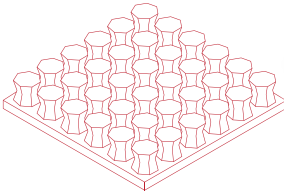


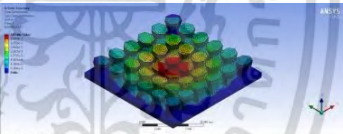
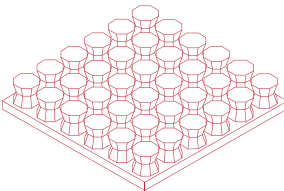

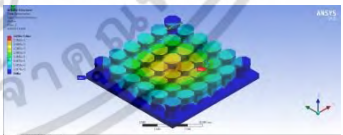
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
2.3.10 				3.6299
2.3.11 				2.4383
2.3.12 				4.4874

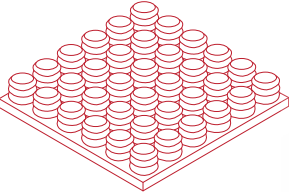


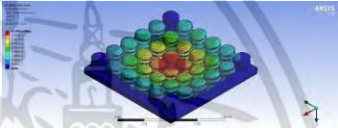
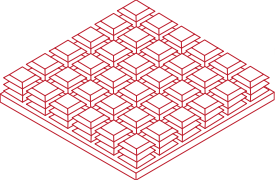


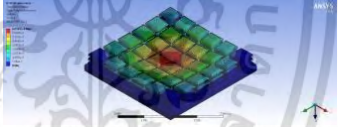
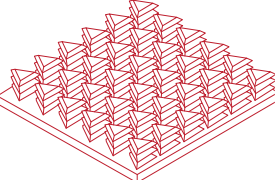

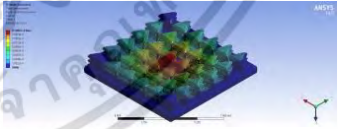
สมมติฐานย่อยข้อที่ 3 และ 4 การทดสอบจำนวนเหลี่ยมหน้าตัดของรูปทรงหน่วยย่อย จำนวน 48 แบบ

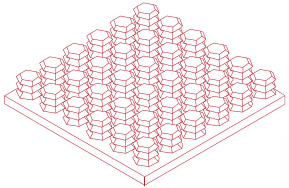

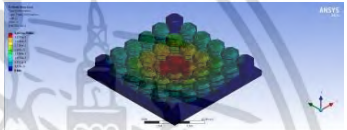
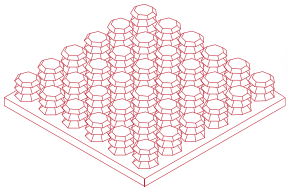


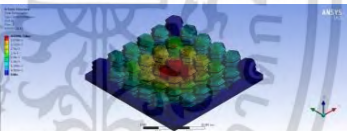
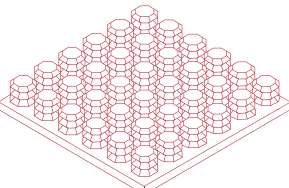

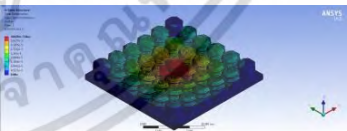
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 N.m/s)
<p>3.1.1</p> 				<p>5.1127</p>
<p>3.1.2</p> 				<p>1.8454</p>
<p>3.1.3</p> 				<p>8.0199</p>

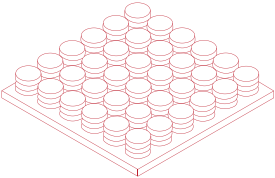


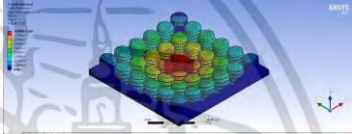
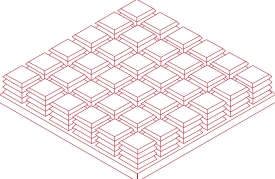


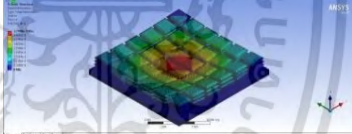
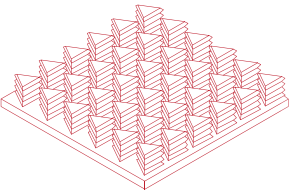

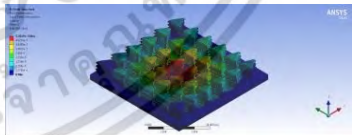
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.1.4 				1.7733
3.1.5 				2.5160
3.1.6 				1.6526

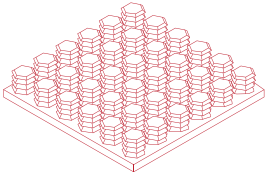


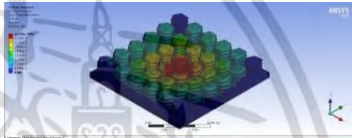
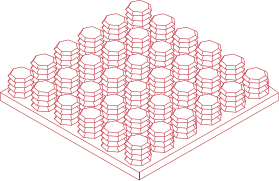


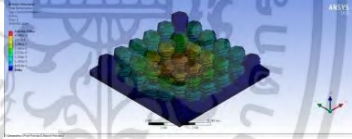
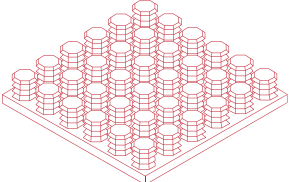


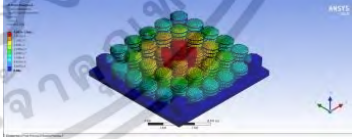
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.2.1 				4.8022
3.2.2 				3.3418
3.2.3 				5.8043

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.2.4 				2.5309
3.2.5 				2.8748
3.2.6 				2.2212

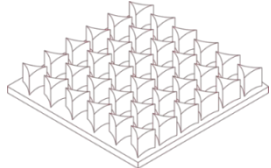

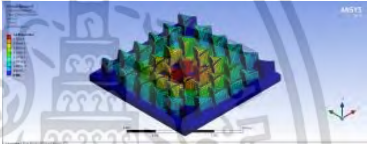
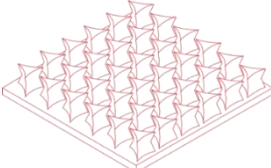


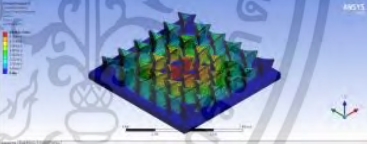
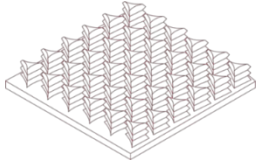

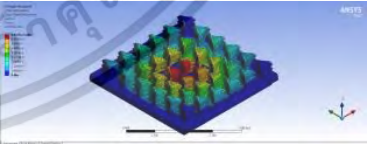
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.3.1 				8.5465
3.3.2 				6.6519
3.3.3 				9.1096

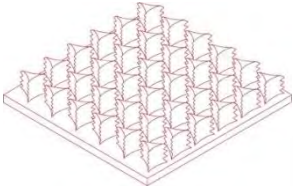
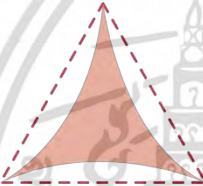

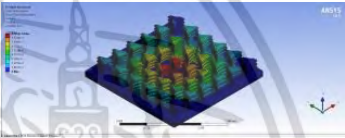
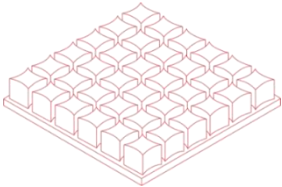


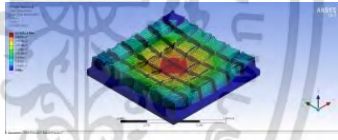
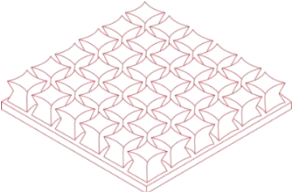


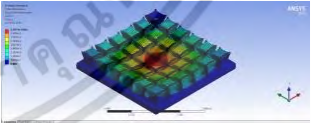
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.3.4 				4.0734
3.3.5 				4.1399
3.3.6 				4.0699

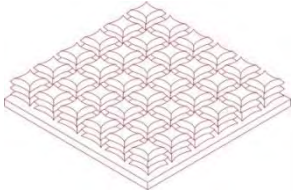


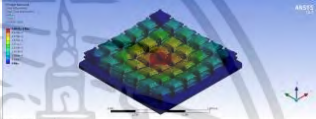
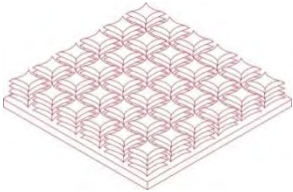
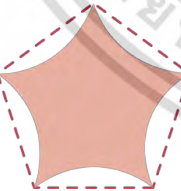

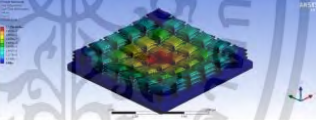
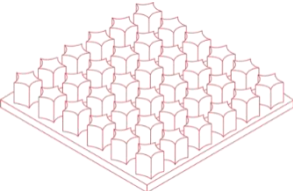
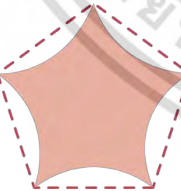

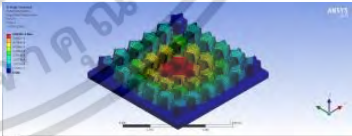
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.4.1 				4.6498
3.4.2 				2.7988
3.4.3 				5.2019

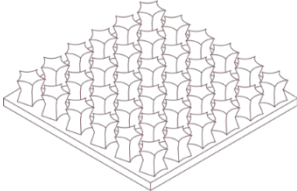

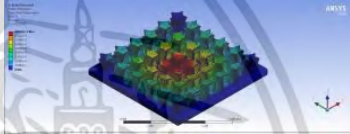
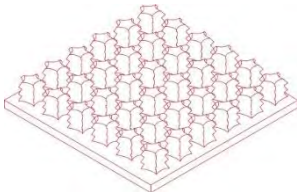

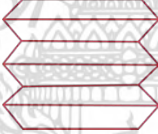
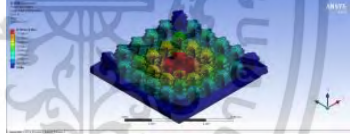
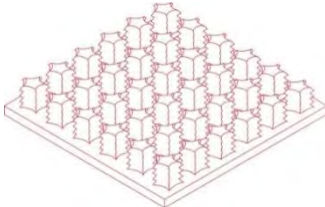

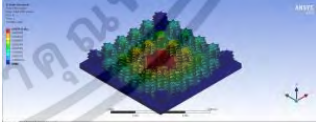
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
3.4.4 				4.1398
3.4.5 				5.1132
3.4.6 				4.0470

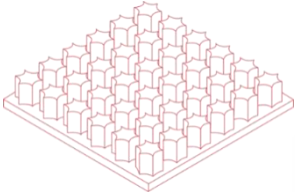

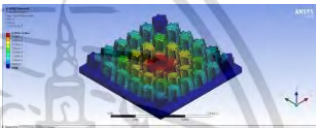
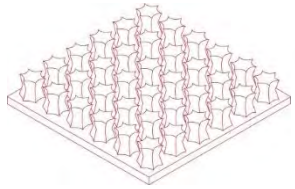



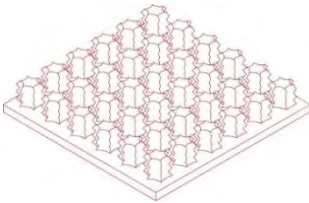

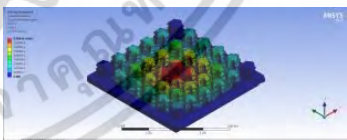
สมมติฐานย่อยข้อที่ 5.1 การทดสอบเว้าหน้าตัดและด้านข้างของรูปทรงหน่วยย่อย จำนวน 24 แบบ

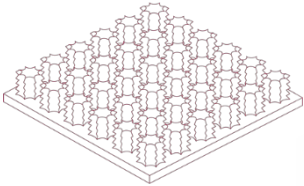
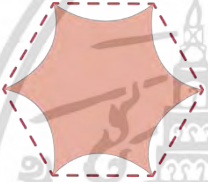

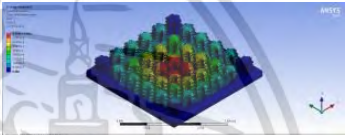
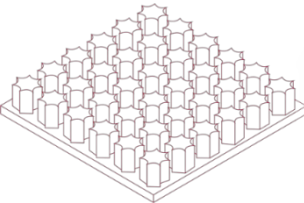


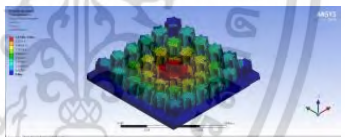
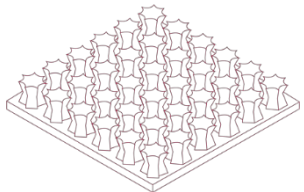


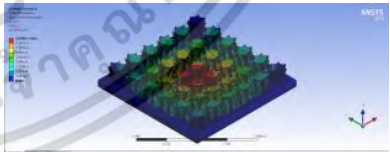
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
<p>C 5.1.1</p> 				7.6353
<p>C 5.1.2</p> 				8.0162
<p>C 5.1.3</p> 				9.6145

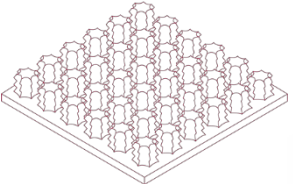


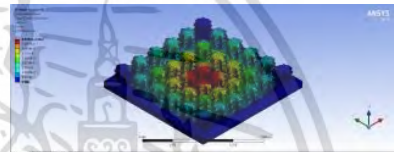
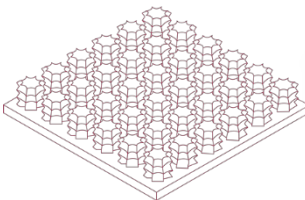

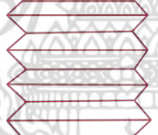
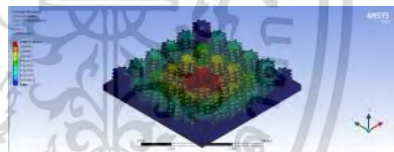
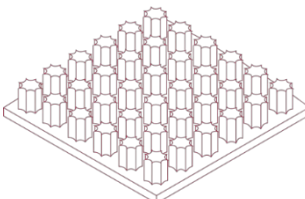


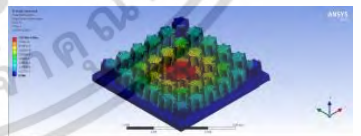
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.1.4 				9.5640
C 5.2.1 				2.2762
C 5.2.2 				3.3073



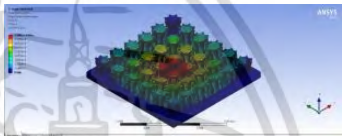
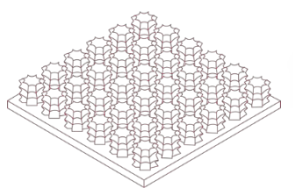


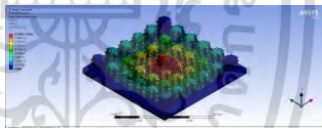
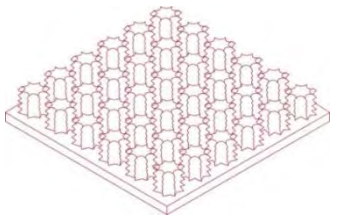

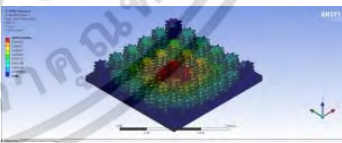
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.2.3 				5.8878
C 5.2.4 				5.5250
C 5.3.1 				6.0819

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.3.2 				6.8763
C 5.3.3 				8.7062
C 5.3.4 				6.0063

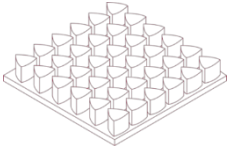

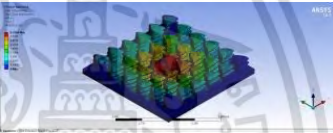
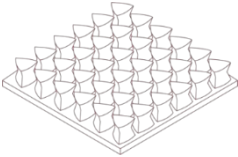


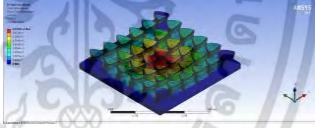
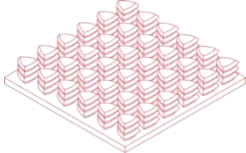

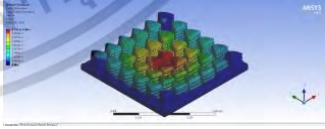
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.4.1 				6.3557
C 5.4.2 				7.0115
C 5.4.3 				8.9094

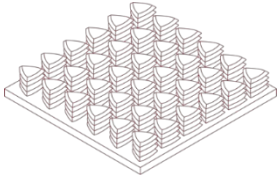


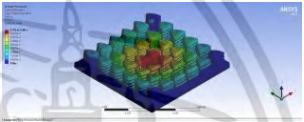
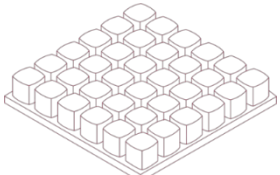


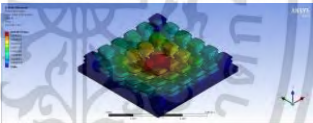
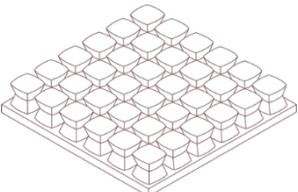


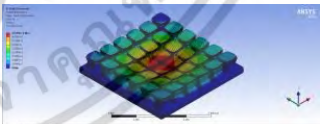
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.4.4 				6.0052
C 5.5.1 				6.5735
C 5.5.2 				7.0115

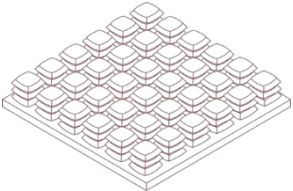

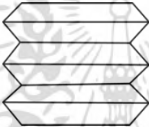
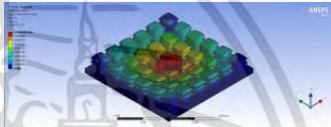
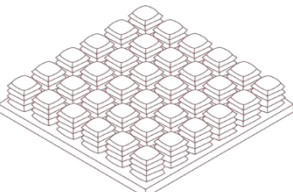

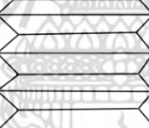
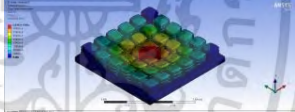
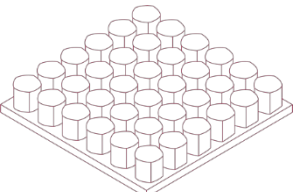
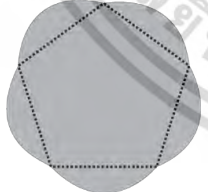

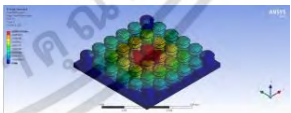
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.5.3 				8.5981
C 5.5.4 				6.0059
C 5.6.1 				5.8748

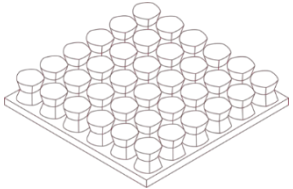


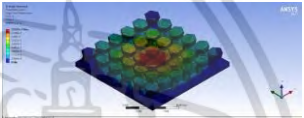
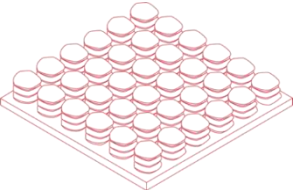

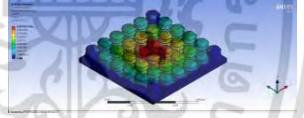
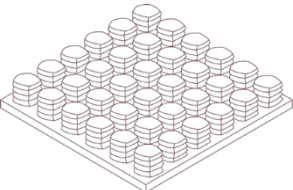

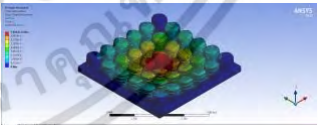
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
C 5.6.2 				5.9802
C 5.6.3 				8.7641
C 5.6.4 				8.0954

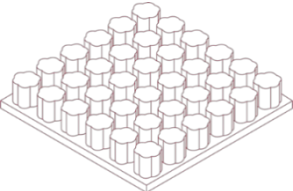

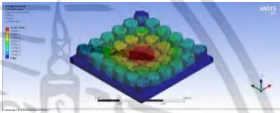
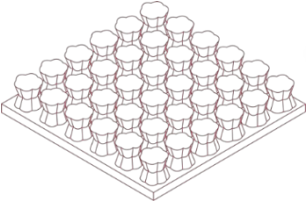


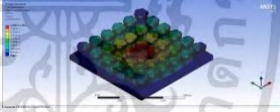
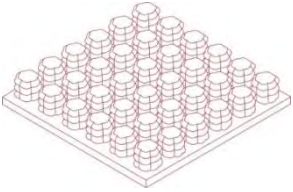

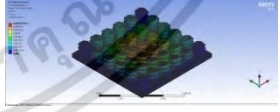
สมมติฐานย่อยข้อที่ 5.2 การทดสอบบนหน้าตัดและด้านข้างของรูปทรงหน่วยย่อย จำนวน 24 แบบ

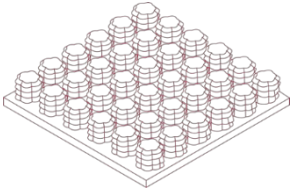


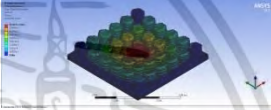
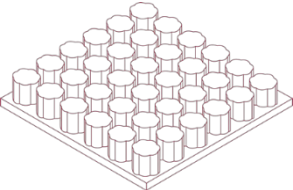


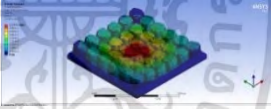
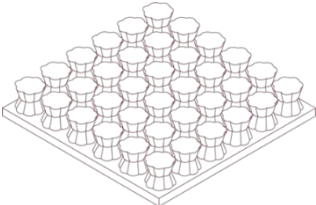



Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.1.1 				6.2117
V 5.1.2 				6.8769
V 5.1.3 				8.7013

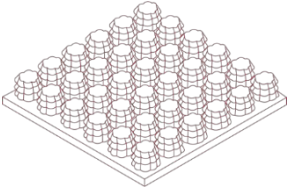


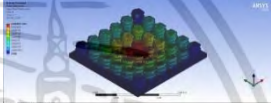
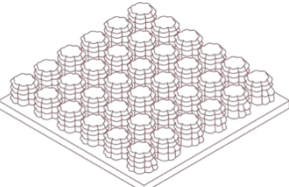


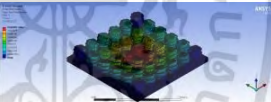
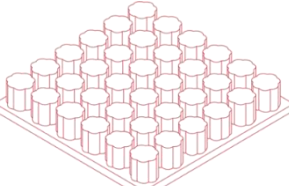


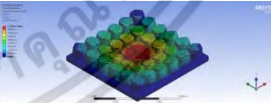
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.1.4 				6.2969
V 5.2.1 				3.1446
V 5.2.2 				4.5435

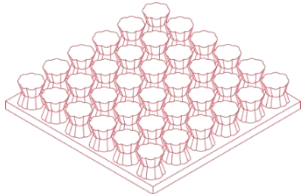

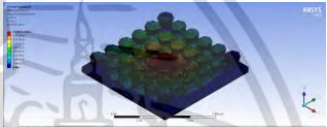
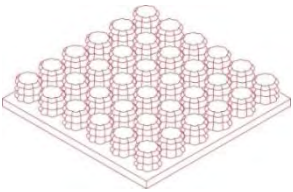


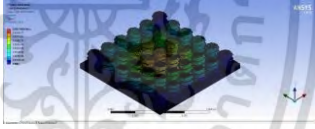
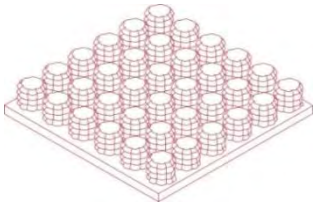

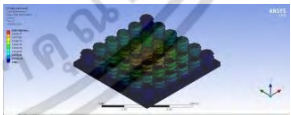
Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.2.3 				6.8442
V 5.2.4 				5.0049
V 5.3.1 				5.5526

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.3.2 				5.9315
V 5.3.3 				8.0059
V 5.3.4 				7.8564

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.4.1 				5.1310
V 5.4.2 				6.0807
V 5.4.3 				8.9060

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.4.4 				8.1497
V 5.5.1 				5.1775
V 5.5.2 				6.0466

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.5.3 				8.3529
V 5.5.4 				6.9385
V 5.6.1 				5.5559

Model studies	หน้าตัด	ด้านข้าง	Simulation results	ค่าการดูดซับแรงกระแทก (มากกว่า 4.050 นิวตันต่อเมตร/วินาที)
V 5.6.2 				6.3417
V 5.6.3 				7.0139
V 5.6.4 				6.8457

ภาคผนวก

ภาคผนวก ช ผลงานตีพิมพ์ในวารสาร (ระดับนานาชาติ)

- “Suitable Impact Absorbent Surface in Bathroom for Thai Elderly People” International Association of Societies of Design Research Conference (IASDR) 2-5 November 2015, Brisbane, Australia. pp. 78-85.
- “Bathroom Impact Absorbing Mat for Elderly People: A Review” International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS) 18-21 January 2016, Chiang Mai, Thailand. pp. 279-285.
- “Comparison of Elderly People’s Perception of Homely feeling towards room environment in their own home and in two nursing home in Thailand” International Conference on Social Science and Humanities (ICSSH) 11-12 April 2016, Osaka, Japan. pp. 865-868.
- “The Effect of Form Factors of Shock Absorption Mat’s Subunits on Attenuation of Force from Elderly’s Fall” The Open Construction and Building Technology Journal 2018:12, pp. 350-361.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IASDR2015 Congress
2-5 November 2015
Brisbane, Australia
www.iasdr2015.com



Suitable Impact Absorbent Surface in the Bathroom for Thai Elderly Slip Falls

Ariya Atthawuttikul, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Thailand, atthawuttikulariya@gmail.com

Yada Chavalkul, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, apphd_yada@yahoo.com

Abstract

The objective of this applied research is to study the suitable impact absorbent surface in the elderly bathroom at the Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older persons in Bangkok (BSWDC) by observing the bathroom utilization behaviors, daily activities and movements of the elderly in their bathroom as well as the survey of condition and characteristics of the bathroom at BSWDC Piboonsook and Sooksan buildings Social Development and Welfare for Older Persons. In-depth interviews were performed with 32 elderly persons and 37 caring staffs participated in the study. The researcher analyzed the data obtained from interviews and questionnaires using Mean, Percent, S.D., Maximum, Minimum and the qualitative analysis on the preferred characteristics of impact absorbent surface in the elderly bathroom. This is in order to take the collected data on factors that affect impact absorbent surface in the elderly bathroom. In order to analyse and most suitable impact absorbent surface in the elderly bathroom, data on the factors affecting impact absorbent surface in the elderly bathroom BSWDC were collected. The researcher brought the design sketches that were validated by the experts to ask the construction material dealers and purchasers for their opinion and satisfaction, followed by a series of tests in compliance with the Thai Industry Standard (TIS) as well as the impact test.

elderly people; bathroom; floor; surface; bathroom tile surface; type of bathroom tile surface; tile surfaces against impact

Falling is an accident that the elderly often experience because they have deteriorating physical condition and muscle strength, particularly around the areas of the hip, knee, and

IASDR2015 Congress | 2-5 November 2015 | Brisbane, Australia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ankle joints, leading to problems with their balance control. A study on the balance and falling of the elderly Thai by showed that this frequently occurring problem could cause acute injury, especially fractures of the hip or wrist joints. Furthermore, contributing factors were reported to include cardiovascular diseases, neural diseases, falling from fainting, or loss of balance equilibrium resulting from illness or aging.

Each year, more than 20 percent of the elderly experience falling, and up to 95 percent are found to be caused by hip joint injury. Conversely, falling leads to the loss of their bodily movement ability. This weakens their health and results in complications such as hip joint fractures and ankle sprains, worsening their quality of life. Moreover, their worries about falling can cause them to lose confidence in carrying out daily activities and thus move less. Consequently, they may become weaker or even die. The rapid increase in the number of the elderly has elevated the statistics of falling, especially in the bathroom. Therefore, there is a need to conduct research on preventing and reducing bathroom accidents among people in this group.

Survey interviews with social workers at BSWDC of indicated that the elderly often had bathroom accidents, accounting for 25 percent of those they experienced. Such accidents are caused by two primary factors. First, rough floor surfaces as well as multi-level or slippery or damp floors make falling more likely. Second, the elderly have deficient physical condition and sensory abilities. Most bathroom accidents result in injury from colliding with the floor, wall, or bathroom facilities such as toilet bowls and bathtubs. Although efforts have been made to solve these problems by fitting a handrail in the bathroom or laying the floor with quarry tiles, the elderly are not effectively saved during falling. That is, once they start to fall, they are not able to seize the handrail. Quarry tiles are not very helpful either because they can prevent slips only to a certain extent. As with other types of tiles, when the elderly fall, they are still injured and suffer bruises, sprains, or fractures. The researcher believes that since injury from bathroom accidents results mainly from the features of the bathroom floor, one way to reduce such a problem is to develop a slip-free, impact-cushion surface.

Objectives

To examine and design of develop an impact-cushion bathroom surface suitable for the elderly at Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC).

Theoretical Concepts

This study on impact-cushion bathroom surfaces for the elderly at BSWDC of conformed to the policies and regulations regarding environmental design for this group of people. The researcher applied the principles of designing residences for the elderly, the principles of environmental and facility design for all, and industrial design principles and then devised a conceptual framework pertaining to the physical factors of the elderly and the bathroom as

well as the utility factors of the types of impact-cushion surfaces in the bathroom for the elderly.

Research Methodology

This is applied research that integrated observations of the movements of the elderly in the bathroom as well as interviews with the elderly and their caretakers. The data collection instruments consisted of a survey form, an interview form, a questionnaire, a satisfaction assessment form, and a satisfaction questionnaire. The data obtained were analyzed, synthesized, and discussed in relation to the types of impact-cushion bathroom surfaces for the elderly at BSWDC, focusing on their properties and utility. The sample groups comprised the following: 1) 37 caretakers at BSWDC, consisting of social workers, social development workers, psychologists, professional physiotherapists, practical physiotherapists, professional nurses, practical nurses, and care staff; 2) 32 elderly females aged above 60 at BSWDC who were able to take care of themselves well and who had lived at the Phiboonsuk Building and the Suksan Building for at least 6 months; 3) 3 experts who evaluated the impact-cushion bathroom surface prototype for the elderly; and 4) 30 construction material distributors and buyers who rated their satisfaction with the impact-cushion surface.

The data collection consisted of the following. First, the movements of the elderly in the bathroom were observed. Second, the features of the bathrooms at the Phiboonsuk Building and the Suksan Building were examined. Third, the elderly at the two buildings were interviewed. Fourth, the elderly responded to items in the questionnaire. Fifth, the experts evaluated the impact-cushion bathroom surface prototype developed for the elderly. Sixth, the construction material distributors and buyers rated their satisfaction with the impact-cushion surface. Finally, the impact-cushion surface was tested according to the relevant measures of the Thai Industrial Standards Institute and in terms of its properties in cushioning impact.

Results

This research aimed to examine a suitable impact absorbent surface for the elderly at BSWDC, Bangkok. The data were gathered from observations of the movements of the elderly in the bathroom, explorations of the bathrooms at the Phiboonsuk and Suksan Buildings, interviews with the elderly at the two buildings and their caretakers, assessment of the experts' satisfaction with the impact-cushion surface prototype, and the construction material distributors' and buyers' ratings pertaining to their satisfaction with the impact-cushion surface. The findings were as follows.

Observations of the movements of the elderly in the bathroom

The movements of the elderly in the bathroom were observed for 15 minutes, and the bathing steps and aspects related to equipment and toiletries can be summarized as follows. The elderly were in standing postures during bathing and occasionally in sitting postures. The standing postures were observed while they were cleaning their face, nape, and chest, and the sitting postures during body and leg cleaning. While bathing, the elderly were found to bend, turn, or stretch out a hand to pick up bathing equipment or toiletries. They also bent forward to clean their ankles. All this, together with the damp floor, could lead to loss of balance and thus an increased risk of falling.

Features of the bathrooms at the Phiboonsuk Building and the Suksan Building

BSWDC had two buildings for elderly females, namely the Phiboonsuk Building and the Suksan Building. The bathrooms at both buildings were shared. Each had a heater and two handrails, one fitted at the door and the other near the shower. The differences between the two buildings were also found as follows. The Phiboonsuk Building had 4 1.75 X 1.85 m bathrooms. Each had a bucket with a bowl, and a stool for sitting while bathing. The bathrooms at this building were relatively far from the entrance towards the inside of the toilet. In contrast, the Suksan Building had 2 bathrooms, each 1 X 1.5 m in size, situated near the entrance of the toilet. They had a brick-laid seat for sitting during bathing. The features of the bathrooms at the two buildings are illustrated in Figures 1 and 2.



Figure 1: Features of the bathrooms at the Phiboonsuk Building

The floors of the bathrooms at the Suksan Building were wet and slippery all day long. The floors and walls were laid with rough glossy tiles. Several types of equipment were provided for the convenience of the elderly. For example, in each bathroom, a bucket was prepared together with a towel placed on the handrail. Also, a permanent seat had been constructed, which differed from the plastic stools provided at the Phiboonsuk Building, as shown in Figures 2 and 3.

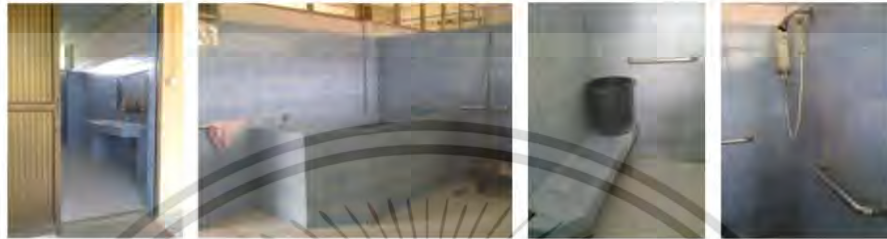


Figure 2: Features of the bathrooms at the Suksan Building



Figure 3: Features of the bathroom at the Phiboonsuk Building (left) and at the Suksan Building (right)

Elderly at the Phiboonsuk Building and the Suksan Building at BSWDC

The majority of the elderly felt that a suitable impact absorbent surface in bathroom, surface had to be a soft seamless rubber sheet with 1-1.5 cm alto-relievocool-tone nature prints. Also, it had to have such features as slip prevention, fast drying, promoting good runoff, and allowing permanent fitting.

Caretakers at Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC)

Most of the caretakers believed that a suitable impact absorbent surface in bathroom for the elderly was supposed to be a soft seamless rubber sheet with 0.5 cm bosso-relievo cool-tone nature prints. Additionally, it had to have several features such as slip prevention, promoting good runoff, and allowing permanent fitting.

Experts' opinions on the impact-cushion bathroom surface prototype for the elderly

The experts asserted that the design, features, pattern, and utility of a suitable impact absorbent surface in bathroom should take into consideration its slope and the preparation of sewerage underneath the surface. Also, the invention of a raw material from used rubber slippers for the production of the surface was an interesting idea worth further design development.

Construction material distributors' and buyers' satisfaction with the suitable impact absorbent surface

The construction material distributors and buyers were highly satisfied with the design, features, and utility of the suitable impact absorbent surface in bathroom developed for the elderly. It was also found that the majority had the highest level of satisfaction pertaining to the utility and properties of the new raw material made from used rubber slippers.

Tests according to the Thai Industrial Standards Institute's measures (TISI 2377-2551) and in terms of impact cushioning

The prototype was tested according to the Thai Industrial Standards Institute's (TISI) industrial product standard regulations (TISI 2377-2551) at the Rubber Research Institute of Thailand, the Department of Agriculture. It was also tested in terms of its properties in cushioning impact at the Department of Science Service, the Ministry of Science and Technology. The prototype passed both tests.

Discussion

Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC) should pay attention to the following areas of environmental design. First, the bathroom should have a sliding door. One with a panel door should be equipped with a handle to reduce the energy required for opening or closing it. Also, the handle should be installed both on the inside and on the outside of the door to ease opening and closing. Second, although the door is locked or barred from the inside, unlocking from the outside should be possible in case of emergency. Third, the bathroom should have a sufficient space of at least 1.5 m in diameter for the elderly using a wheelchair. Fourth, the floor in the bathroom should be at the same level as that outside it. If not, a slope should be constructed. Fifth, a durable movable bathing stool or a bathing stool permanently fixed to the wall should be provided. Finally, a slip-prevention rug should be available for the elderly to dry their feet after their use of the bathroom.

Recommendations

Recommendations regarding bathroom surfaces for the elderly

The findings of the present study can be used to make recommendations regarding the features, design, and utility of the suitable impact absorbent surface in bathroom for the elderly at Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC) as follows. The surface should be a soft seamless rubber sheet with 6-9 mm bosso-relievo cool-tone nature prints. It should also prevent slips, dry quickly, and promote good runoff. Finally, the surface should be fitted permanently in the bathroom.

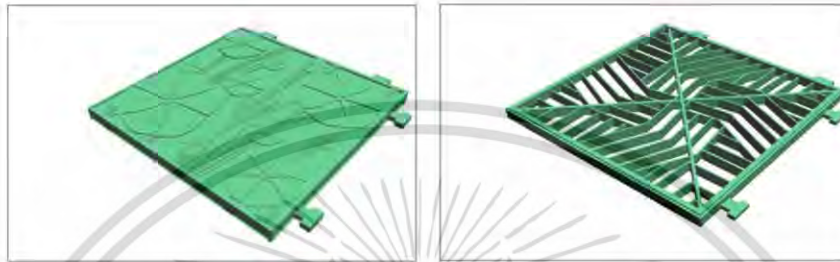


Figure 4: Designs of the impact-cushion bathroom surface proposed for use at Ban Bangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC)

Recommendations for further research

1. This study examining suitable impact absorbent surface in bathroom for the elderly employed interviews with the elderly and caretakers regarding the former's use of the bathroom, thus relying mainly on information from the opinions of the elderly. Thus, it is recommended that data should also be gathered from physicians, nurses, and physiotherapists to enable the development and verification of a comprehensive impact-cushion bathroom surface design for the elderly.
2. Further studies examining the effects of the elderly falling in the bathroom for designing a suitable impact absorbent surface should pay attention to possible causes of falling other than slips such as the handrail or the facilities as the present research focused only on slips.
3. More research is needed on suitable impact absorbent surface in bathroom for other environments such as stairways, gardens, parks, or glossy floors. Data from studies along this line can be compared and contrasted to develop a product that is more responsive to variable needs.
4. The main limitation of this study is that the data pertaining to falling were collected from actual incidents or their simulation. Thus, the findings may not be sufficiently strong in terms of impact cushioning in an actual incident of falling among the elderly.
5. Although the features, design, and utility of suitable impact absorbent surface for the elderly were examined in this study, the design aspect was not predominant. Hence, it can be emphasized in additional research

References

- Dannawarat Jamonjan and respectively. (2005). The study of a balance and fall among the elderly in Thailand. Report of the research institute for aging research and development of health Bangkok: The Thailand Research fund and Thai Health Promotion Foundation.

- Somneak Sateedporn. (2009). Physical Therapy in the elderly. Allied Health Sciences Faculty at Chulalongkorn University 2nd edition Bangkok: Chulalongkorn University Book Center.
- Boonpar Jeenpaew to interview, 23 July 2009. (2009). Araya Ekparinya to interviewer. Use of Life Older People at Banbangkhae Social Welfare Development Center, Bangkok. Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons.
- Benja Yoddumnern-Attig. (2009). Preventable accident among the elderly. People and Development. Institute for Population and Social Research, Mahidol University.
- Office of the National Economic and Social Development Board, The Prime Minister's Office. (2003). National Economic and Social Development Plan No. 10 (2010- 2014 bc.). Government Gazette.
- Siriporn Chirawatkul. (1994). Health status and health of the elderly. Report on the Literature Review Nursing Faculty at Khonkaen University. Reproduce the document.
- Woollacott, M.H. and Tang, P.F. (1995). Balance control during walking in the older adult: Research and its implications. Physical Therapy.
- Krusuma Dhamma-damrong. (2010). Architectural design to respond to the elderly and disabled. Seminar on architecture documentation for the elderly and the disabled, 27 January 2010 bc.
- Trirat Jarutach and respectively. (2010). Minimum standards for housing and environment of the elderly. Result of the study by The Thailand Research fund, Thai Health Promotion Foundation and National Health Foundation: Thailand.
- Udomsak Saribut. (2009). Technology of Industrial Product. Bangkok: Odieanstone Printer: Thailand.
- Bureau of Empowerment of Older Persons. (2003). Enactment 2003 bc. Thailand.

Author Biographies

Ariya Atthawuttikul

Ariya Atthawuttikul is doctoral researcher at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Her design practice and research areas are in product, packaging, and graphic design. Ariya's master degree research related to the suitable impact absorbent surface in the bathroom for elderly people at Banbangkhae Social Development Center 1, Bangkok. This paper, drawn from her doctoral research, focused on the design of a shock-absorbing surface for cushioning a senior's fall.

Yada Chavalkul

Yada Chavalkul is Director of Industrial Design Department, and Multidisciplinary Design Research Program, Faculty of Architecture at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Her research interests of packaging design, graphic design and design research for older people. She supervises Doctoral and Masters students.

BATHROOM IMPACT ABSORBING MAT FOR ELDERLY PEOPLE: A REVIEW

Ariya Athawuttikul, Sompit Fusakul and Yada Chavankul

King Mongkut's Institute of Technology, Thailand

The objective of this applied research is to study the suitable impact absorbent surface in the elderly bathroom at the Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older persons (BSWDC) in Bangkok by observing the bathroom utilization behaviors, daily activities and movements of the elderly in their bathroom as well as the survey of condition and characteristics of the bathroom at Phiboonsook and Sooksan buildings BSWDC. In-depth interviews were performed elderly persons and caring staffs participated in the study. The researcher analyzed the data obtained from interviews and questionnaires using Mean, Percent, S.D., Maximum, Minimum and the qualitative analysis on the preferred characteristics of impact absorbent surface in the bathroom. This is in order to take the collected data on factors that affect impact absorbent surface in bathroom. In order to analyze and most suitable impact absorbent surface in the elderly bathroom, data on the factors affecting impact absorbent surface in bathroom at BSWDC were collected

Keywords: Elderly people, Bathroom, floor, Surface, Bathroom tile surface, Type of bathroom tile surface.

Introduction

Falling is an accident that the elderly often experience because they have deteriorating physical condition and muscle strength, particularly around the areas of the hip, knee, and ankle joints, leading to problems with their balance control. A study on the balance and falling of the Thai elderly showed that this frequently occurring problem could cause acute injury especially fractures of the hip or wrist joints. Furthermore, contributing factors were reported to include cardiovascular diseases, neural diseases, falling from fainting, or loss of balance equilibrium resulting from illness or aging. Each year, more than 20 percent of the elderly experience falling, and up to 95 percent are found to be caused by hip joint injury. Conversely, falling leads to the loss of their bodily movement ability. This weakens their health and results in complications such as hip joint fractures and ankle sprains, worsening their quality of life. Moreover, their worries about falling can cause them to lose confidence in carrying out daily activities and thus move less. Consequently, they may become weaker or even die. The rapid increase in the number of the elderly has elevated the statistics of falling, especially in the bathroom. Therefore, there is a need to conduct research on preventing and reducing bathroom accidents among people in this group.

Survey interviews with social workers at Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons of indicated that the elderly often had bathroom accidents, accounting for 25 percent of

those they experienced. Such accidents are caused by two primary factors. First, rough floor surfaces as well as multi-level or slippery or damp floors make falling more likely. Second, the elderly have deficient physical condition and sensory abilities. Most bathroom accidents result in injury from colliding with the floor, wall, or bathroom facilities such as toilet bowls and bathtubs. Although efforts have been made to solve these problems by fitting a handrail in the bathroom or laying the floor with quarry tiles, the elderly are not effectively saved during falling. That is, once they start to fall, they are not able to seize the handrail. Quarry tiles are not very helpful either because they can prevent slips only to a certain extent. As with other types of tiles, when the elderly fall, they are still injured and suffer bruises, sprains, or fractures. The researcher believes that since injury from bathroom accidents results mainly from the features of the bathroom floor, one way to reduce such a problem is to develop a slip-free, impact-cushion surface.

Movements of the Elderly in the Bathroom for Thai Elderly People

The movements of the elderly in the bathroom were observed for 15 minutes, and the bathing steps and aspects related to equipment and toiletries can be summarized as follows. The elderly were in standing postures during bathing and occasionally in sitting postures. The standing postures were observed while they were cleaning their face, nape, and chest, and the sitting postures during body and leg cleaning. While bathing, the elderly were found to bend, turn, or stretch out a hand to pick up bathing equipment or toiletries. They also bent forward to clean their ankles. All this, together with the damp floor, could lead to loss of balance and thus an increased risk of falling.

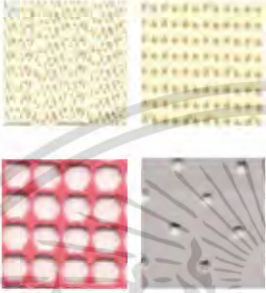

Survey of Bathroom Interior Surface for Slip and Impact Prevention Currently in Use and Available on the General Market

Slip and impact prevention surfaces for bathrooms sold on the market come in a wide variety of types. The researcher has categorized these into the following two types Figure 1–7.


1. Vinyl Sheets or Tiles

Bathroom Slip and Impact Prevention Surface Sample	Bathroom Surface Texture
 <p>Figure 1. Slip Prevention Surface Sticker</p>	<p>The surface of the sticker is rough like sandpaper and covered in numerous sand grains. The bottom side contains glue to allow usage in the same manner as adhesive tapes, as shown in Figure 1.</p>
 <p>Figure 2. Slip Prevention Surface Adhesive Tape</p>	<p>The slip prevention adhesive tape is similar to the slip prevention sticker, but the material is a long strip of coiled adhesive tape, as shown in Figure 2.</p>


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bathroom Slip and Impact Prevention Surface Sample	Bathroom Surface Texture
 <p data-bbox="480 880 820 925">Figure 3. Surface Samples of Slip Prevention Rubber Padding</p>	<p data-bbox="876 546 1246 674">Slip prevention rubber padding used for the most part as a floor mat to prevent slipping in the bathroom. It is made from rubber or PVC and is soft, light and punctured for ventilation, as shown in Figure 3.</p>
 <p data-bbox="485 1137 815 1160">Figure 4. Impact Prevention Surface Sticker</p>	<p data-bbox="876 972 1246 1048">Impact prevention stickers are soft and have slip prevention grooves along the width and length of the material. The material is approximately 0.5 millimeters thick, as shown in Figure 4.</p>

2. Mats/Sheets

Bathroom Slip and Impact Prevention Surface Sample	Bathroom Surface Texture
 <p data-bbox="517 1648 783 1671">Figure 5. Slip Prevention PVC Mat</p>	<p data-bbox="876 1328 1246 1357">5 Slip prevention PVC sheets/mats, flexible and foldable, shown in Figure 5.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>Figure 6. Slip Prevention Mat with Floor Suction Cups</p>	<p>Slip prevention mat with floor suction cups; wave decorations, made from PVC, has suction cups to adhere to the bathroom floor, shown in Figure 6.</p>
--	---

3. Sprays

Bathroom Slip and Impact Prevention Surface Sample	Bathroom Surface Texture
 <p>Figure 7. Slip Prevention Spray Surface</p>	<p>Slip prevention spray - when sprayed, the spray material is similar to numerous sand grains; floor sprayed with this are rough, but usage life is only 2-3 weeks, shown in Figure 7.</p>

According to the survey on bathroom slip and impact prevention surfaces currently available on the market, the material most frequently used is PVC plastic manufactured by mold injection with mean thickness ranging between 0.1-2.0 cm. The surfaces are low convexes or slightly rough, and some have suction cups for bathroom floor attachment to prevent movement or peeling. These are properties popularly selected by consumers in their use to prevent the elderly from slipping in the bathroom. However, the primary purpose of these slip prevention mats does not include impact protection after falls occurring in bathrooms. For the most part, they prevent slips rather than support or alleviate injuries caused by slips occurring inside bathrooms. The aforementioned idea should lead to designing products to further studies on impact prevention surfaces for use in bathrooms for the elderly in the future.

a. The bathrooms at the Phiboonsuk Building and the Suksan Building in Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Person (BSWDC) in Bangkok of Thailand

Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older persons (BSWDC) in Bangkok had two buildings for elderly females, namely the Phiboonsuk Building and the Suksan Building. The bathrooms at both buildings were shared. Each had a heater and two handrails, one fitted at the door and the other near the shower. The differences between the two buildings were also found as follows. The Phiboonsuk Building had 4 1.75 X 1.85 m, bathrooms. Each had a bucket with a bowl, and a stool for sitting while bathing. The bathrooms at this building were relatively far from the entrance towards the inside of the toilet. In contrast, the Suksan Building had 2 bathrooms, each 1 X 1.5 m in size, situated near the entrance of the toilet. They had a brick-laid seat for sitting during bathing. The floors of the bathrooms at the Suksan Building were wet and slippery all day long. The floors and walls were laid with rough glossy tiles. Several types of equipment were provided for the convenience of the elderly. For example, in each bathroom, a bucket was prepared together with a towel placed on the handrail. Also, a permanent seat had been constructed, which differed from the plastic stools provided at the Phiboonsuk Building, as shown in Figures 8.



Figure 8. Features of the bathroom at the Phiboonsuk Building (left) and at the Suksan Building (right)

b. Influencing Factors on the Shape of Impact Prevention Surfaces in Bathrooms for the Elderly

Physiological changes in the bone and muscle structure occurring due to increased age in a manner that makes the elderly vulnerable to falls are increased age, history of falls, chronic illnesses, medications, e.g., tranquilizers; balance and mobility issues, deficient nervous system on senses, including blurred vision, dizziness, decreased perception, abnormal environmental learning and understanding, cardiovascular abnormalities, problems to the nervous systems and muscles, bones, feet, etc.

All of the aforementioned changes are correlated with falls in the elderly. This study on the correlation between age and level of muscle function when balance is lost while standing. According to the findings, muscles initially contract at the ankles, followed by upper muscles. Elderly ankle muscle flexing has also been found to respond more slowly than youths when losing forward balance, while the upper leg muscles function before lower leg muscles, especially in the elderly with central nervous system disorders. Furthermore, simultaneous joint muscle control on both sides has been found to be more than less in the elderly. It is clear that the knee and ankle joints of the elderly become tighter than younger people in maintaining balance subsequent to disturbances in balance.

For elderly whose pathology involves the ankles, the muscles controlling the ankles are either weak or have lost their senses at the periphery of the ankles. The elderly will use their hips more than their ankles to maintain balance. Furthermore, the hip muscles become strained when slipping on slippery or wet floors because greater force is required to maintain balance, and muscular changes affect the effectiveness of human function in movements. It was found that muscles weaken more quickly with decreasing sensitivity and contractions. Additionally, increased age also has impact via changes in the body's nervous and muscular systems more than other changes in the body. Therefore, data used to measure the proportions of the elderly is relevant to environmental designs. The proportions of the elderly are shown in Tables 1 and 2 below.

Table 1. Increased Body Size of Thai Elderly from Ordinary Thais (17-49 years); Unit: Cm.

Body Part Measured	Thailand Research Fund 60-75 Years Old and Over*	Thai Industrial Standard Institute 17-49 Years Old and Over**	Increase	%
Chest Circumference	87.591	86.25	1.341	1.6%
Waist Circumference	85.121	75.525	9.596	12.7%
Abdominal Circumference	88.642	78.675	9.967	12.7%
Hip Circumference	89.509	88.25	1.259	1.4%
Shoulder Width	43.375	42.45	0.925	2.2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

284 Bathroom Impact Absorbing Mat for Elderly People: A Review

Hip Width	35.366	32.575	2.791	8.6%
Hand Width	9.166	8.25	0.916	11.1%
Foot Circumference	24.449	24.375	0.074	0.3%
Height from Floor-Knee from the Front	47.891	44.45	3.441	7.7%

Table 2. Decreased Body Size of Thai Elderly from Ordinary Thais (17-49 years); Unit: Cm.

Body Part Measured	Thailand Research Fund*	Thai Industrial Standard Institute**	Decrease	%
Height from Sitting Position Floor-Head	82.906	87.5	-4.594	-5.3%
Height from Sitting Position Floor-Eye Level	71.678	75.75	-4.072	-5.4%
Height from Sitting Position Floor-Shoulder Tubercle	54.683	58.175	-3.492	-6.0%
Height from Sitting Position Floor-Elbow	22.081	22.975	-0.894	-3.9%
Height from Sitting Position Floor-Thigh	12.547	14.65	-2.103	-14.4%
Height from Floor-Upper Knee	49.881	52.875	-2.994	-5.7%
Height from Floor-Lower Calf	32.546	34.525	-1.979	-5.7%
Distance from anterior knee-buttocks tangent	54.295	58	-3.705	-6.4%
Heel Length-Upper Foot Fold	17.648	18.225	-0.577	-3.2%
Height from Floor-Head	161.432	166.25	-4.818	-2.9%
Height from Floor-Eye Level	149.947	155	-5.053	-3.3%
Height from Floor-Shoulder Tubercle	132.114	137	-4.886	-3.6%
Height from Floor-Back Armpit Line	121.028	125.25	-4.222	-3.4%
Height from Floor-Elbow	98.981	103.75	-4.769	-4.6%

Discussion

Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC) in Bangkok should pay attention to the following areas of environmental design. First, the bathroom should have a sliding door. One with a panel door should be equipped with a handle to reduce the energy required for opening or closing it. Also, the handle should be installed both on the inside and on the outside of the door to ease opening and closing. Second, although the door is locked or barred from the inside, unlocking from the outside should be possible in case of emergency. Third, the bathroom should have a sufficient space of at least 1.5 m in diameter for the elderly using a wheelchair. Fourth, the floor in the bathroom should be at the same level as that outside it. If not, a slope should be constructed. Fifth, a durable movable bathing stool or a bathing stool permanently fixed to the wall should be provided. Finally, a slip-prevention rug should be available for the elderly to dry their feet after their use of the bathroom.

Conclusion

The findings of the present study can be used to make recommendations regarding the features, design, and utility of the suitable impact absorbent surface in bathroom for the elderly at Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC) as follows. The surface should be a soft seamless rubber sheet with 0.6-0.9 mm bosso-relievo cool-tone nature prints. It should also prevent slips,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dry quickly, and promote good runoff. Finally, the surface should be fitted permanently in the bathroom, as shown in Figure 9.

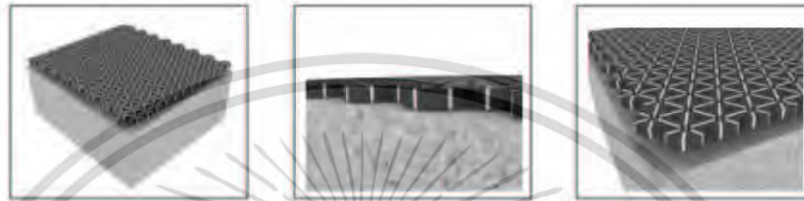


Figure 9. Designs of the impact-cushion bathroom surface proposed for use at Ban Bangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons (BSWDC)

References

1. Dhamma-damrong Jamonchantet and respectively. (2005). *The study of a balance and fall among the elderly in Thailand*. Report of the research institute for aging research and development of health Bangkok: The Thailand Research fund and Thai Health Promotion Foundation.
2. Somneak Satributr. (2009). *Physical Therapy in the elderly*. Allied Health Sciences Faculty at Chulalongkorn University 2nd edition Bangkok: Chulalongkorn University Book Center.
3. Boonpar Jeenpaew to interview. 23 July 2009. (2009). Araya Ekparinya to interviewer. *Use of Life Older People at Banbangkhae Social Welfare Development Center, Bangkok*. Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons.
4. Benja Yoddumnern-Attig. (2009). *Preventable accident among the elderly*. People and Development, Institute for Population and Social Research, Mahidol University.
5. Office of the National Economic and Social Development Board, The Prime Minister's Office. (2003) *National Economic and Social Development Plan No. 10 (2010-2014 bc.)*. Government Gazette.
6. Office of the National Economic and Social Development Board, The Prime Minister's Office. (2003). *National Economic and Social Development Plan No. 10 (2010-2014 bc.)*. Government Gazette.
7. Siriporn Chirawatkul. (1994). *Health status and health of the elderly*. Report on the Literature Review Nursing Faculty at Khonkaen University. Reproduce the document.
8. Woollacott, M.H. and Tang, P.F. (1995). *Balance control during walking in the older adult: Research and its implications*. Physical Theory.
9. Krumma Dhamma-damrong. (2010). *Architectural design to respond to the elderly and disabled*. Seminar on architecture documentation for the elderly and the disabled, 27 January 2010 bc.
10. Trirat Jarutach and respectively. (2010). *Minimum standards for housing and environment of the elderly*. Result of the study by The Thailand Research fund, Thai Health Promotion Foundation and National Health Foundation: Thailand.
11. Udomsak Saribut. (2009). *Technology of Industrial Product*. Bangkok: Odjeanstone Printer: Thailand.
12. Bureau of Empowerment of Older Persons. (2003). *Enactment 2003 bc*. Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Elderly People's Perception of Homely Feeling towards Room Environment in Their Own Home and in Two Nursing Homes in Thailand

Ariya Athawattikul and Nopadon Sahachaisaeree

Abstract—They responded this study compared the elderly people's perception of the room environment in their own home with those in two nursing homes whether the environment conveyed a homely feeling to a different extent or not. The two nursing homes were Sawangkanivet nursing home and BanBangkhae social welfare development center for older persons. The room environment in focus included the size and ceiling height of the room and the furniture and house ware arrangement. The sample group consisted of 60 elderly people, 30 from each nursing home, with an average age of 75 years. They responded to items in a questionnaire regarding the degree of their following feelings towards or evoked by the room environment general positive and negative feelings; feeling of privacy; and feeling of freedom. Their responses were analyzed statistically, by t-test and ANOVA, to compare the extent of the homely feeling they experienced in their own home with those in the two nursing homes. The results of the analysis indicated that, overall, the elderly people experienced significantly more homely feeling in their own home compared to what they experienced in the two nursing home. The findings from this study can be useful for designing better nursing home and new government policy on nursing home.

Index Terms—Perception of room environment, home, Nursing home, elderly people.

I. INTRODUCTION

Thailand's elderly population is increasing rapidly and is expected to reach 25 percent by 2020 to make Thailand a full-fledged aged society. The fact that the elderly are living longer with a larger proportion of elderly women than men, the worker-age population supporting the elderly is diminishing. Moreover, changing lifestyles in urban society will lead to risks and health problems, especially chronic diseases, because the elderly experience physical, mental, economic and social degeneration. The aforementioned population structure reflects of the importance and necessity of service improvements on health and society facilitating the elderly in being able to engage in self-care and live long, quality lives when the elderly have difficulty caring or are unable to care for themselves [1] (Siripanich, 2010).

At present, public and private agencies have created many housing services such as developed housing projects, residences and condominiums in order to provide proper

accommodation for the elderly. [2] (Thamthamrong, 2007) However, although such optional residences for the elderly might respond to the physical needs of the elderly, the emotional factors of living in a new place with someone else who is not a relative or having to living in a different environment from their old homes and their backgrounds might cause them to encounter some problems and affect their physical and mental health. [3] (Chaluthat, 2008)

The present research was aimed at studying the physical factors creating home-like feelings in nursing homes for the elderly by studying nursing homes for the elderly with varying physical conditions in order to learn and compare perceptions on issues that communicate home-like feelings in the elderly at each facility. The researcher selected Sawangkanivet Nursing Home and Banbangkhae Social Welfare Development Center for Older Persons as case studies for the present research because both facilities provide nursing home services to two groups of elderly with differences in many dimensions physically and environmentally, services for the elderly, living condition and characteristics of elderly living in the aforementioned nursing homes, which provides clear comparison of each of the aforementioned aspects.

II. ENVIRONMENTAL PERCEPTION THEORY

Environment can be summarily defined in two types, presentational meaning and responsive meaning as shown in Fig. 1. Environment was presented on two sides, namely presentational side, which communicates visible aspects, and representational side, which acts to communicate to facility users to understand the benefits of the utilization of such facilities, e.g., behaviors at the facility, and communication of the suitability of the facility, including its values. As for responsive meaning, it acts to lead to action, such as affective feelings, e.g., whether the facility is preferred or otherwise when first visited, evaluative, which communicates the degree of preference and prescriptive, which leads users to action, e.g., sitting in a chair that appears comfortable, etc. [4] (Hershberger *et al.*, 1974)

A good environment design should communicate the meaning presented by the environment as well as responsive meaning. Different environments are all products of factors from previous experience among persons utilizing the environment and factors on the properties and objectives of the user of the facility. Therefore, a design research generally

Manuscript received November 13, 2015; revised February 20, 2016.

The authors are with the Department of Multidisciplinary Design Research, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand (e-mail: athawattikulariya@gmail.com, ksnopadon@gmail.com).

doi: 10.18178/ijssh.2016.6.11.763

865

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

involves studies on responsive meaning processes in comparison with the qualities of facility users, and perception of facility users is an important part in studying the perception of behaviors that influence behaviors and environment according to the chart in Fig. 2. [5] (Sahachaiseree, 2003).



Fig. 1. Types of meaning in architecture.

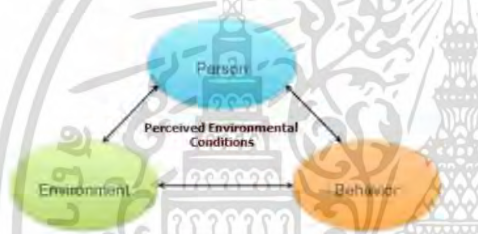


Fig. 2. Relationships between person, environment and behavior.

Factors influencing a sense of birthplace by affecting conscience were divided into two factors: personal factors and environmental factors. Architectural work affects behavior and alters the behaviors of the person along with the characteristics of the environment and affecting the mental state of the human being. The user of a building is considered a recipient of a message, that is to say, the user is the receiver of information expressed by the designer in architectural work. Humans can perceive and interpret surrounding environment and information through sensory organs. As in Fig. 2, each person can perceive differently, and so architectural work interpretation is different, whether in terms of emotions, aptitude, behavior, ability, attitude, needs, taste, or habit differences.[6] (Horayangkoon, 1998)

III. PERCEPTION OF THE MEANING OF “HOME”

Communicating the meaning of home in tangible angles possibly mean boundaries put in place family members. The home serves to protect family members from the sun, wind and rain as well as serving to support activities happening in the home. In addition, homes come in different shapes and sizes. On another hand, however, homes are not the only areas of possession or venues for holding events but also have cultural, sociological, political and economical meanings. It might be said that a home is not only a “place” but is what can make people perceive the unique qualities of the inhabitants of the home. Three dimensions for the meaning of home are

mentioned as follows:

A. Cultural Dimensions

Home reflects cultural and social values. These values are expressed in living characteristics and behaviors, e.g., race and lineage, and the roles of family members can be indicated from the arrangement of utilized areas inside the home.

B. Socio-Demographic Dimensions

Indicators about each relationship between the inhabitants of the same home include family structure, gender, age, religious beliefs, culture and tradition, all of which influence perceptions and use of home interior areas. For example, people with good status in a household tend to have their own person areas as a means of displaying their superior status over other household inhabitants, or elderly people who have similar daily routines every day as compared to younger family members do not like changes in their homes such as decorations or the use of furniture, etc.

C. Psychological Dimensions

The home serves to communicate the identity of the inhabitant to others, including fellow inhabitants. This might be expressed through decorations as a show of taste, unity of member groups, or reflection of self-esteem. Each dimension is made up of sub-factors as shown in Fig. 3. [7] (Lawrence, 1987)



Fig. 3. Meaning of home in different dimensions.

Apart from the aforementioned dimensions, research on the perception of elderly on the meaning of home in elderly nursing homes. [8] (Marsden, 1999) had given importance to the aforementioned perception on the ability to control privacy and having a boundary under their control. Furthermore, the present research was focused on familiarity to new residences in comparison to original homes. The aforementioned familiarity was divided into three types: 1) feelings of warmth and safety, having an enclosed space with clear divisions between public and private sections, 2) physical ratio: relationship between the changed physical characteristics of the elderly due to age and the environment in order to perform normal daily activities and 3) naturalness of the surroundings.

IV. RESIDENCES OR HOMES FOR THE ELDERLY

Nursing homes for the elderly are considered an important factor that affects the living conditions of the elderly, which

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

will help provide the elderly with good emotional well-being and physical health. Shown in Fig. 4, these are Activity of Daily Living. Nursing homes for the elderly have to be designed to respond to the Activity of Daily Living (ADL) requirements of the elderly and provide a homely environment using six factors: 1) Privacy, 2), Dignity, 3) Choice, 4) Independence, 5) Individuality and 6) Homelike Surroundings. [4] (Hershberger *et al.*, 1974)

Hershberger *et al.* (1974) [4] expanded on nursing homes for the elderly, asserting the need for living conveniences for the elderly in addition to the six factors by Wilson *et al.* (2002) [9] above such as in terms of uncomplicated directions and path finding, high degree of safety in accessing utility areas, which must be easily accessible, sight and familiarity with local lifestyle, attraction and arrangement of utility areas, so inhabitants can place and arrange personal belongings and suitable alterations of the environment to suit the individual personality of each inhabitant.

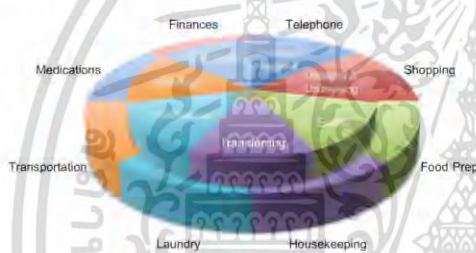


Fig. 4. Activity of daily living (ADL).

V. RESEARCH METHODOLOGY

The population and sample group for the this research was composed of 30 elderly residing at Sawangkaniwet Nursing Home for the Elderly and 30 elderly residing at Banbangkhae Social Development Welfare for Older Persons, making a total of 60 subjects. The researcher created the research instrumentation, which was divided into the following two parts: The Physical Characteristics Survey Form for the residences of the elderly in both of the two aforementioned facilities for studying the internal and external physical characteristics of Sawangkaniwet Building and Banbangkhae Social Welfare Development Center and the Elderly Opinion Level Assessment Questionnaire on living at the nursing homes divided into the following five parts: 1) demographic data of the sample group; 2) information on the original homes of the sample group; 3) opinion data on physical characteristics affection that communicated privacy; 4) opinion data on physical characteristics that affected positive thinking and 5) opinion data on independence from the interior environment of the nursing homes. Scoring ranged from 1 to 5 rating points. (Likert, 1967) [10] from Most Agree to Least Agree respectively. In addition, inquiries on other data are open-ended questions for in-depth data inquiries, e.g., why elderly moved to the nursing home, death of a family member or abandonment by family, etc.

VI. RESEARCH FINDING

The present research found that, there are environmental conditions on physical characteristics and perception that communicated homeliness were found in that the interior environment of both nursing homes for the elderly, namely, Sawangkaniwet Nursing Home for the Elderly and Banbangkhae Social Welfare Development Center affected perception that communicated home-like feelings with no variances. The aforementioned finding might be due to the fact that the elderly had lived in the aforementioned nursing homes for a long period of time and some elderly had willingly moved to live in the nursing homes based on their own decisions. However, there were differences in the factors reflecting the background of the elderly, which were very significant. The present research found that are reinforcing factors for the elderly to feel that nursing homes and shelters for the elderly had perception of products conveying home-like feelings such as the fact that the elderly can choose furniture or furnishings to decorate their own rooms. In addition personal private space is provided for the elderly to perform some personal activities, and the fact that the elderly were living at the nursing homes or shelters willingly improved the perception of products that conveyed a sense of home. The aforementioned finding concurred with data obtained from Wilson *et al.* (2002) [9] that stated that nursing homes for the elderly are considered an important factor that affected the living conditions of the elderly, that will help the elderly have good mental and physical health, that designs are needed to accommodate daily living activities and create a home-like environment such as living privacy, dignity, choice, independence and individuality. In addition, the aforementioned concurred with the research by Lawrence (1987) [7] on perception of homeliness in cultural, social and psychological dimensions.

REFERENCES

- [1] B. Siripanich, *Annual Report on the Situation of Thai Elderly*, Bangkok, Thailand: TQP Printing Press, 2010, pp. 9-25.
- [2] K. Thamthamrong, "Architectural design for all," *Journal of Architectural and Planning Research and Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 94-105, 2002.
- [3] T. Charuthat, *Environmental Design Manual for the Elderly and Persons of Every Age*, Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing Press, 2008, ch. 2.
- [4] R. Hershberger, *Predicting the Meaning of Architecture*, in *Designing For Human Behavior: Architecture and the Behavioral Sciences*, Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson and Ross, 1974, pp. 147-156.
- [5] N. Sahaaisereee, *Behavior and Environment Teaching Materials*, Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing Press, 2003, ch. 3.
- [6] W. Horayangkoon, *Human Behaviors and Environment: Behavioral Basis for Designs and Planning*, Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing Press, 1998, ch. 5.
- [7] R. J. Lawrence, "What makes a House a Home," *Environmental and Behavior*, vol. 19, no. 2, pp. 154-168, March 1987.
- [8] J. P. Marsden, "Environmental and behavior," *Older Persons' and Family Members' Perceptions of Hominess in Assisted Living*, vol. 31, no. 1, pp. 84-106, 1999.
- [9] R. S. Wilson, L. A. Beckett, L. L. Barnes, J. A. Schneider, J. Bach, D. A. Evans, and D. A. Bennett, "Individual differences in rates of change in cognitive abilities of older persons," *American Psychological Association, Psychology and Ageing*, vol. 17, no. 2, pp. 179-193, June 2002.
- [10] R. Likert, "The method of constructing and attitude scale," *Reading in Attitude Theory and Measurement*, M. Fishbein, Ed. New York: Wiley & Son, 1967, pp. 90-95.



Ariya Atthawuttikul is doctoral researcher at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. Her design practice and research areas are in product, packaging, and graphic design. Ariya's master degree research related to the suitable impact absorbent surface in the bathroom for elderly people at Banbangkhae Social Development Center 1, Bangkok. This paper, drawn from her doctoral research, focused on the design of a shock-absorbing surface for cushioning a senior's fall.

Nopadon Sahachaisaeree is an associate professor in the Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. He is currently presiding over the Ph.D program in planning and Arch.D program in multidisciplinary design research. He obtains his Ph.D from University of Hawaii at Manoa under the East-West Center Scholarship. He is teaching a number of courses relevant to planning and research methodology in the doctoral level. His present research expertise involves spatial planning, urban policy, design research methodology, environment and behavioral study, design studies, and design for commercial environment.





The Open Construction and Building Technology Journal

Content list available at: www.benthamopen.com/TOBCTJ/

DOI: 10.2174/1874836801812010350, 2018, 12, 350-361



RESEARCH ARTICLE

The Effect of Form Factors of Shock Absorption Mat's Subunits on Attenuation of Force from Elderly's Fall

Ariya Atthawutikul^{1,*} and Yada Chavalkul²

¹Multidisciplinary Design Research Program, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520 Bangkok, Thailand

²Department of Industrial Design, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520 Bangkok, Thailand

Received: June 20, 2018

Revised: August 30, 2018

Accepted: October 16, 2018

Abstract:

Background and Objective:

The purpose of this study was to investigate how differently various form factors of subunits of shock absorption mat attenuate force from the elderly's fall.

Methods:

The study procedures were the following: (1) literature review: possible form factors affecting the shock absorbing capacity were analyzed and synthesized from the review; (2) synthesis of design criteria: criteria for force simulation were formulated based on the information from the review; and (3) simulation: simulation of force from elderly's fall absorbed by such mats with the following control and independent variables that were analyzed and synthesized in the previous steps: (control variables): 1) impact force, 2) physical properties of the rubber material; (independent variables): 1) form of cross-section, 2) form of edges, 3) pattern of arrangement of subunits in the structural layer, and 4) dimensional proportion of subunits.

Results and Conclusion:

The simulation results show that the subunits with a circular-cross-section and hourglass-like-edge form factors were the best at attenuating impact force. The best pattern of subunit arrangement was a table arrangement. This study was a preliminary study to a design of subunits of shock absorption mat. The results would be used in the next, more comprehensive study.

Keywords: Form factors of subunits, Absorption mat, Elderly's fall, Attenuation of force, Control variables, Independent variables.

1. INTRODUCTION

World Health Organization [1] has released the following statistics: one-third of the elderly population slips and falls at least once in a year, and the trend is that 28-35% of elderly over 65 years of age will slip and fall in a year. This percentage increases to 32-42% for elderly 70 years of age [2, 3]. As people grow old, they suffer calcium loss from bones [4], making them fragile. In combination with weaker muscles [5], their bones are easily broken from a fall [6, 7]. For each year, 23,000 elderly have to spend a total of one billion US dollars for their recuperation from broken hip bone [9]. Moreover, among those who fall, 70% die from this cause [9]. From the results of a survey [10], it was found that 95% of the participated elderly caught a hip injury from a fall [11]. Patients with hip fracture not only usually lose their lives in 1 year after the fall [12], but also suffer negative changes to their physical ability [13, 14].

* Address correspondence to this author at the Multidisciplinary Design Research Program, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 10520 Bangkok, Thailand; Tel: +66883072383; E-mails: atthawutikulariya@gmail.com, apphd_yada@yahoo.com

Elderlies cannot change their behavior easily; therefore, a change in the environment is necessary to prevent and reduce their injury from a fall.

A study [15] states that the products for preventing injuries from slipping can be divided into two categories: 1) products for alleviating injuries after a fall such as padded shock-absorption underpants for alleviating hip injuries; however, they are not popular with elderlies in hot-weather countries because they are a little uncomfortable to wear, but this may not be a problem for elderlies in cold-weather countries; and 2) products for preventing slipping such as anti-slipping mat and safety rail for the bathroom. In the authors' opinion, the main cause of injuries from slipping and falling especially hip injuries is from the high reaction force from the floor to the fallen body or hip. If the floor system can absorb some of the impact force of a fall, the injuries will be lessened. Therefore, an effective shock-absorption mat should be developed.

A distinction is made between a low-stiffness floor mat that can reduce foot fatigue in an airport, factory, or nursing home [16] and a full-fledged shock-absorption mat used in military vehicles or emergency speed boat [17]. The former does not attenuate the impact of a fall as much as the latter can. The latter can absorb a considerable amount of impact force by its specially designed structural layer of subunits that attenuates the reaction force that is reflected back to the fallen body.

The form of a subunit of a structural layer of a shock absorption floor mat can be described as the form of its cross-section and the form of its edges. They can be geometrical or free-form. Previous studies on subunits and impact force indicate that subunits with rectangular and cylindrical cross-sections were easily damaged by an impact force. Reference [18] states that there has been no in-depth study on the relationship between shock-absorption and forms of cross-section and edges of subunits.

Concerning our intended structural layer, it would consist of 3 layers [19]: upper and lower surface layers and a structural middle layer. The top and bottom layers would be designed with anti-slipping property in mind, while the middle structural layer would be the layer that absorbs the force of an impact [17] as shown in Fig. (1).

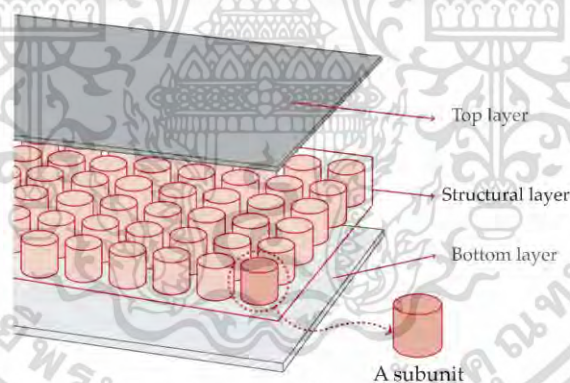


Fig. (1). A shock-absorption floor mat system with a fully-functional shock-absorbing middle structural layer.

There have been several studies on impact attenuation of floor coverings. One of them is related to reducing health problem and fatigue from standing for a long time [20] which involved the investigation of various kinds of shock absorption mat [21]. Another study is on the cushioning effect on wounded soldiers of a floor mat system for military vehicles [22]. However, the mentioned study did not investigate the structural layer and the context of absorption of impact force from slipping and falling; therefore, its simulation results could not be used directly in our study. In the same vein, another paper suggests that information about the structural layer of shock absorption mats should be collected, specifically about subunits that are arranged in an even pattern [16]. A paper on a floor mat system for speed-boat transportation of patients [23, 24] did not report the dimensional proportion of the subunits and did not discuss the effects of their forms on attenuating the force of a fall. This study aimed to bridge this research gap.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. THEORETICAL REVIEW

This study of the effects of form factors of shock absorption mat's subunits on attenuation of force from elderly's fall was based on the following:

2.1. The Mechanics of Human's Falling Down on the Side of His or Her Body

This posture of a fall happens more frequently than other postures of a fall and the risk of broken hip from this kind of fall is 30 times higher than the risk of other kinds of injury from a fall [5]. Typically, a slip and fall are either to the front or the back of the falling person. It starts with a change in the normal posture of walking movement. In a typical fall, the elderly's heel starts to move from behind the body, but as he or she slips, the muscles around the knee get stimulated and contracted hence the sole gets lifted off the floor and he or she starts to lose his or her balance as shown in Fig. (2) A study [5] reports detailed information about this kind of fall. It describes the average height of a typical elderly of 160 cm, the height from the floor to the hip of the elderly of 86 cm, the angle that his or her body makes with the floor as he or she starts to slip of 75 degrees, and the height from the floor to the center point of pelvic bones as he or she has fallen down to the ground of 10 cm. With these parameter values, the impact force from the fall on the hip was calculated to be ~4.050 Newton.meter/second [23, 25]. This magnitude of impact force from a typical scenario of slip and fall was taken to be a design criterion or control variable that was inputted into the ANSYS finite-element force simulation software. With another control variable and several independent variables, the software would yield predictions about the force experienced by the subunits of the structural layer and possible damage to the subunits of all of the devised models.

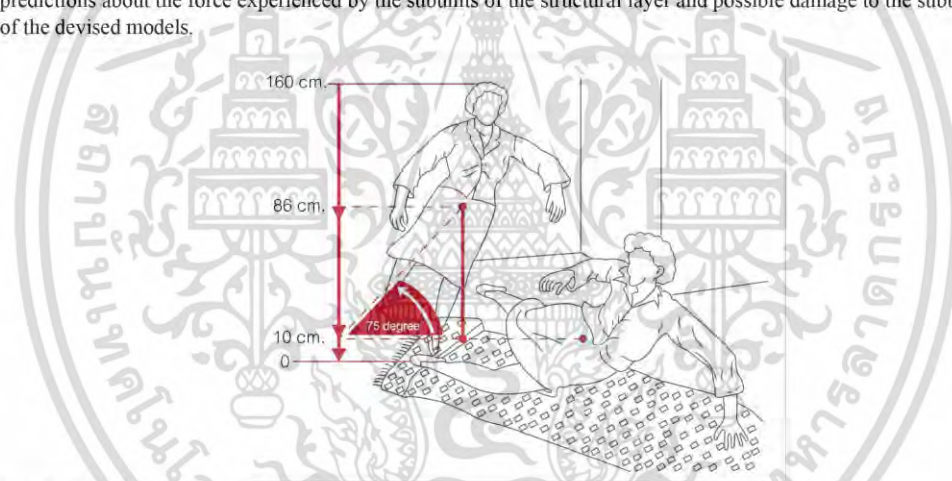


Fig. (2). Typical slipping and falling postures and the parameter values involved.

2.2. The Mechanical Engineering Principles Utilized

From the literature review of shock-absorption mat, it is typically composed of a top anti-slipping layer, an attaching bottom layer to the floor, and a middle structural layer. The structural layer is the layer that does the shock absorption. This layer consists of subunits evenly arranged into a honeycomb sandwich structure. This kind of subunit arrangement is very effective at shock absorption. The forms of these subunits can be cylindrical, triangular, or rectangular cubic which cushion the impact force transferred through the top layer. Besides the information about the form and arrangement of subunits, the mechanical properties of various subunits' materials were also obtained from the literature review. The desired mechanical properties of the material for shock-absorption mat should include sufficient elasticity and durability; such material was selected according to the principles of material science which are a subset of mechanical engineering principles [26]. These properties were another control variable that would be inputted into the simulation software while the forms of cross-section and edges of subunits, their dimensional proportions, and their arrangement patterns were independent variables that were inputted into 3dsMax software to create their 3D models that were subsequently inputted into the ANSYS simulation software. The obtained simulation results were then analyzed and reported.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. METHODOLOGY

From the mechanics of elderly’s fall and the mechanical engineering principles related to subunits, design criteria (control variables) and form factors (independent variables) were analyzed and synthesized as mentioned in the Section Theoretical review above. Then in phases 1 and 2 respectively, these variables were inputted as parameters into an ANSYS force simulation program. In phase 3, the simulation provided the magnitude of impact force that each kind of subunits with a different form factor was able to absorb without damage, hence showing the kinds of form factor that are suitable for construction of an effective shock-absorption mat. The phases in this study’s framework are shown in (Fig. 3).

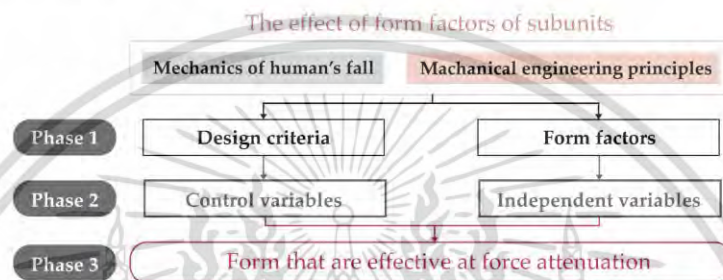


Fig. (3). Consecutive phases of this study.

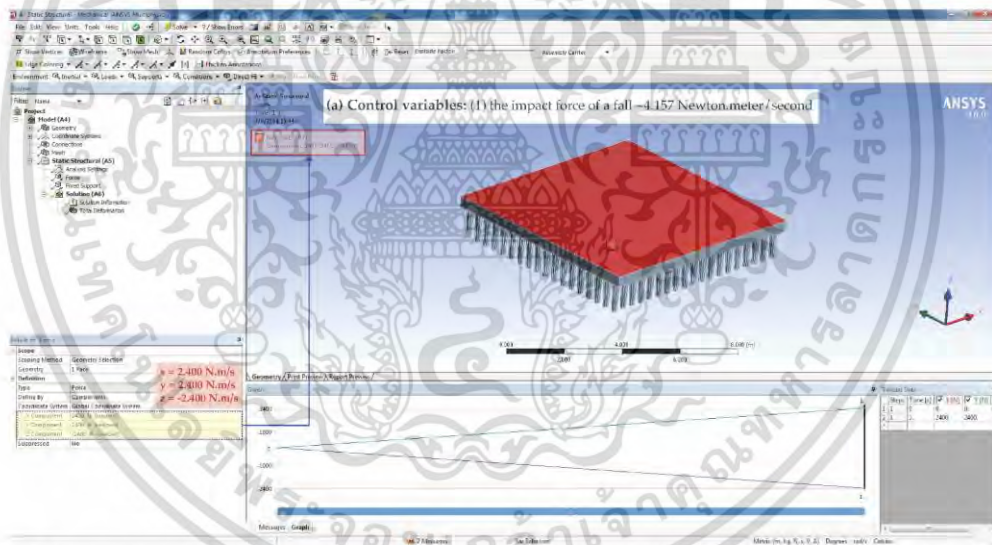


Fig. (4). Inputs of (a) control variables into ANSYS simulation program: (1) impact force of a fall; x = 2.400 N.m/s, y = 2.400 N.m/s, z = -2.400 N.m/s, and software displayed an impact force of ~4.157 N.m/s.

3.1. Phase 1

Selection of design criteria and form factors.

3.1.1. Purpose

- 1) To analyze and synthesize from reviewed papers the design criteria for subunits of the shock-absorption mat that would attenuate the impact force of human’s falling down on the side of his or her body and that took the physical properties of subunits’ material into account;
- 2) To analyze and synthesize possible form factors of subunits that affect the shock-absorbing capacity of a mat’s structural layer from reviewed papers (Table 1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2. Method

The authors have reviewed the literature regarding floor mats for reducing fatigue from standing for a long time, shock-absorbing structural layer, and physical parameters of elderly’s slipping and falling on their hip and found valuable information in 7 articles [14, 16, 21, 25, 27 - 29]. From the review, the following design criteria and form factors that would be used in the simulation were formulated: (a) design criteria: 1) the fall was to one side of the body and the impact force of the fall was around ~4.050 N.m/s [23, 25, 30]; and 2) the mechanical properties of rubber as the chosen material for the mat among concrete, rubber foam, rubber, polyvinyl chloride, wood-plastic, and steel shown in (Table 1 and 2) form factors: Form of edges was chosen as an appropriate variable to use in our study because three of the articles mentioned above reported a wide range of impact forces that shock-absorption mats with different forms of edges in several nursing homes were able to withstand without damage. Similarly, the form of cross-section was chosen because a paper on shock absorption mats for various applications reported a wide range of impact forces that their subunits had to withstand [27, 31, 32]. The paper reported that shock absorption mats for the floor of a laboratory, an industrial factory, and a nursing home had different forms of a cross-section of subunits and were able to absorb the intended force without damage. Specific design criteria and form factors [14, 21] were also investigated in this study. All of these form factors are shown in Table 1.

Table 1. Shock absorbing products reported in the 7 articles from literature reviews.

No.	Side View	Perspective View	Design Criteria		Form Factors			Details	
			Impact Force	Physical Properties of Rubber Material	Cross-Section	Edge	Arrangement Pattern of Subunits		Dimensional Proportion
L.01			4.050 N.m/s	No data			Cross-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 8 mm.	This mat was used in a laboratory
L.02							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 5 mm.	This mat was used in speed boat that carries emergency patients
L.03							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 8 mm.	This mat were used in a laboratory, industrial factory, and airport
L.04							Table-arrangement	Width 5 mm. Length 5 mm. Height 28 mm. Gbas 1 mm.	This mat was used in nursing home
L.05							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.	This mat was used in military vehicles
L.06							Line-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.	This mat was used in nursing home
L.07							Line-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.	This mat was used in a car parking lot

*Note: the physical properties of rubber material were obtained in Phase 2.

3.1.3. Results

The results of Phase 1 are described here. The selected design criteria were the followings: 1) impact force of a fall and 2) the physical property of rubber material. The selected form factors of subunits were the followings: 1) form of cross-section, 2) form of edges, (3) arrangement pattern of subunits, and 4) dimensional proportion of subunits of width x length x height x gap between adjacent subunits (gbas). Table 1 shows all of the form factors discussed in those articles along with summarized information about them that influenced our decision to choose particular form factors: side view, perspective view, design criteria, and form factors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. Phase 2

Formulation of control and independent variables.

3.2.1. Purpose

1) To obtain control variables for inputting into ANSYS engineering simulation software 16.0 gleaned from reviewed papers, design criteria would be encoded into simulation conditions. (Fig. 3).

2) To obtain independent variables that would be used to construct various models of shock absorption mat with 3ds Max software before they would be subsequently inputted into ANSYS.

3.2.2. Method

A finite element method for simulating impact force was used to simulate the action and reaction forces of a fall event on the mat; the method was packaged in the form of a software program called ANSYS; A simulation of a fall event is absolutely necessary because an actual experiment that has an elderly person intentionally make his or her body fall down is definitely not possible without any injuries; ANSYS is an established simulation software program that has been widely used in engineering and material science, hence it was most suitable for our objective.

From the literature review, an analysis and synthesis of control and independent variables needed to be inputted into ANSYS were performed. The variables involved were the following: (a)control variables: (1) the value of the impact force of a fall on the hip from a reliable paper [14] was entered in the ANSYS simulation software under the menu 'static shortcut (A5)' and submenu 'impact force' as $x = 2.400$, $y = 2.400$, and $z = -2.400$ then the software displayed an impact force of ~ 4.157 N.m/s with a tolerance of not more than ± 0.1 N.m/s (Figs. 4 and 2) rubber material was chosen as the most suitable material for this purpose because it can absorb impact force and return to the original shape well [25]; the physical properties of the kind of rubber that would be used were determined in a laboratory and reported in [26]; these values were inputted into ANSYS under the menu 'hyperelastic experimental data', submenu 'property of outline', and input boxes called 'biaxial test data', 'uniaxial test data', and 'shear test data'; under the submenu 'coefficient name', the ANSYS software then generated fitted curves of these data to be applied to the tested models (Fig. 6) independent variables: (1) form of cross-section, (2) form of edges, (3) arrangement pattern of subunit, and (4) dimensional proportion of subunits were inputted into 3ds Max software to construct a 3D model for each combination of the variables; the various resulting models were in .stl file format which could be inputted directly into ANSYS (Fig. 5).

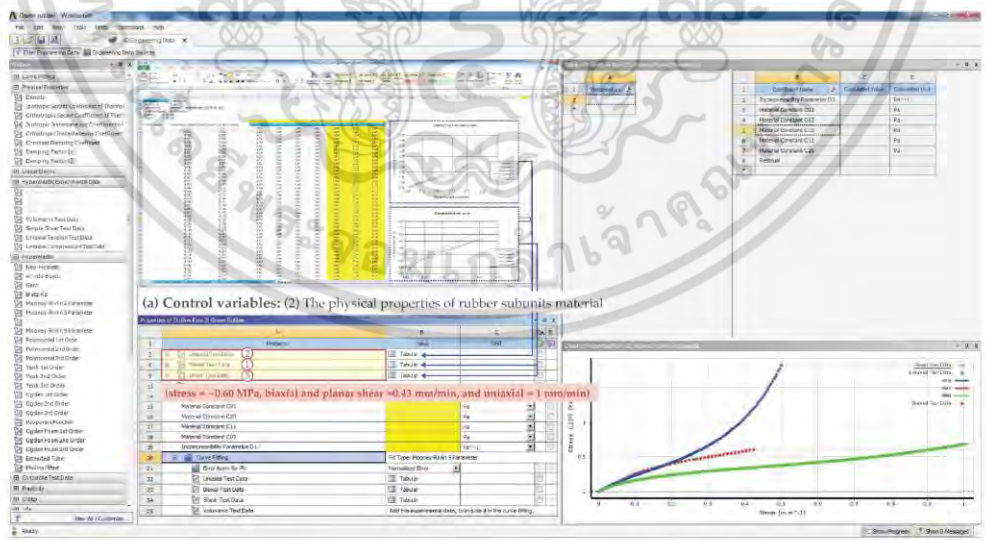


Fig. (5). Inputs of (a) control variables into ANSYS simulation program: (2) physical properties of subunit's rubber material; stress = -60 MPa, biaxial = 0.43 mm/min, planar shear = 0.43 mm/min, and uniaxial = 1 mm/min.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3. Results

The control variables obtained were the level of impact force of a fall on the side of the body of ~ 4.050 N.m/s or more and the actual physical properties of subunit's rubber material (stress of ~ 0.60 MPa, axial and planar strains of 0.43 mm/min, and uniaxial strain of mixed rubber material of around 1 mm/min) [26]. The independent variables were the following: 1) form of cross-section: Square, circular, and triangular shape; 2) form of edges: Straight, rounded, spring-like, diamond, and trapezoidal shape; 3) arrangement pattern of subunits in the structural layer: Cross, table, and line arrangement; and 4) dimensional proportion of subunits: 28 mm x 25 mm x 25 mm x 5 mm of width x length x height x gap between adjacent subunits (gbas).

3.3. Phase 3

Simulation of form factors that affected force attenuation.

3.3.1. Purpose

To simulate the forces of a fall absorbed by various models of subunits with ANSYS engineering simulation 16.0 software. The simulated absorbed forces would show which kind of subunits are suitable for constructing a reliable shock absorption mat: the higher the force a type of subunits could absorb and withstand, the more suitable that type is for constructing a shock absorption mat.

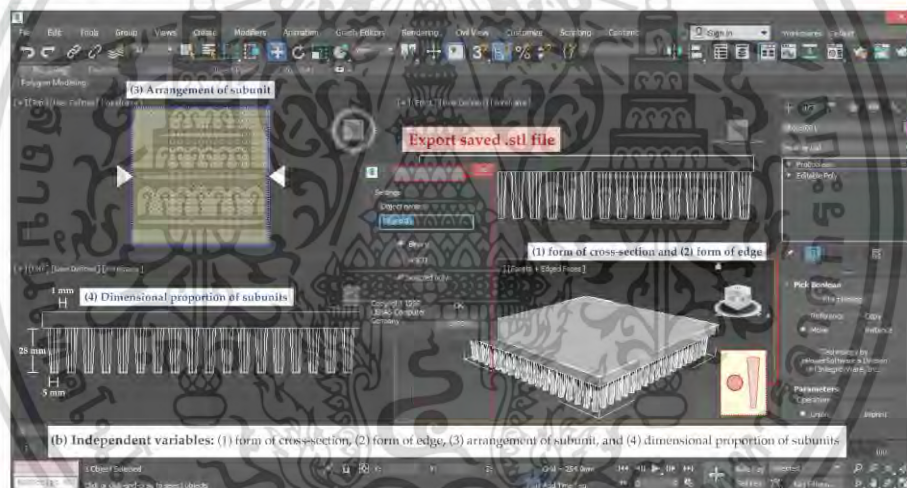


Fig. (6). Inputs of (b) independent variables into 3ds Max software program: (1) form of cross-section, (2) form of edges, (3) arrangement pattern of subunits [33, 34], and (4) dimensional proportion of subunits.

3.3.2. Method

Seven subunit models were constructed from 3dsMax software, each with a combination of the synthesized independent variables: 1) pattern of arrangement of subunits in the structural layer, 2) form of cross-section, 3) form of edges, and 4) dimensional proportion of subunits. The constructed models were inputted into the ANSYS simulation software in combination with the design criteria which were the control variables: 1) impact force of a fall (~ 4.050 N.m/s or more) and 2) physical properties of the rubber material. The intended simulation outcomes were the force that each subunit and structural layer model was able to absorb without damage. The simulation software was run on a PC on Windows platform with an i5 CPU and 8 gigabytes of RAM. In this study, a different level of force that a type of subunits could withstand is represented by a different color—the lowest level is represented by red color and the highest is represented by blue as shown in the color scale in (Fig. 5).

3.2.3. Results

Fig. (7) shows a color-coded scale of force absorption capacity of an area in the simulation models depicted in Table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. An area in the image of each model in this table has a color that indicates its force absorption capacity. An orange of a red color indicates that the area would collapse under an impact force of a fall. Adequate attenuation is color-coded as light-blue to light-green. It can be seen clearly from the results of the simulation in Table 2 that the subunits of models M 02 met our force-absorbing requirement: it was able to attenuate force of more than 4.050 N.m/s, shown as dark-blue to dark-green color in Fig. (5), and the structural layer of these models did not collapse. Three models failed to meet our requirement, M05, M06 and M07. Their force attenuating capacity is shown as yellow to red in Fig. (7). Their structural layers were damaged by the level of the force of a fall from slipping and would not be able to prevent hip injury in elderly.

The model M 03 was able to withstand an amount of force but not as high as the set level of impact force at 4.050 N.m/s. Similarly, the models M 01 and M 04 were not able to attenuate it adequately, hence they would not help reduce the reaction force to the hip of a fallen body adequately.

Table 2. Simulations results of the forces of fall absorbed by different models of subunits and structural layer.

No.	Control Variables		Side View	Perspective View	Independent Variables				Simulation View	Result (N.m/s)
	Impact Force	Physical Properties of Rubber Material			Cross-Section	Edge	Arrangement of Pattern of Subunits	Dimensional Proportion		
M 01	4.050 N.m/s	Stress of = 0.60 MP. Axial strains = 0.43 mm/min, Planar strains = 0.43 mm/min, and Uniaxial strain = 1 mm/min					Cross-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 8 mm.		1.1190
M 02							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 5 mm.		6.4900
M 03							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gbas 8 mm.		4.0262
M 04							Table-arrangement	Width 5 mm. Length 5 mm. Height 28 mm. Gbas 1 mm.		1.2391
M 05							Table-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.		2.6003
M 06							Line-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.		8.2280
M 07							Line-arrangement	Width 28 mm. Length 20.3 mm. Height 25 mm. Gbas 3 mm.		6.0476

From the results shown in Table 3, it can be observed that several suitable form factors of subunits are following: 1) form of cross-section of subunits can be circular, 2) form of edges of subunits can be hourglass-like, 3) arrangement pattern of subunits can be table pattern, and 4) dimensional proportion of subunits can be 28 mm x 25 mm x 25 mm x 5 mm of width x length x height x gap between adjacent subunits (gbas).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

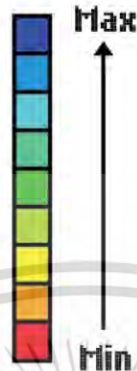


Fig. (7). Color-scale of the force absorption capacity of an area in the simulation models (in ANSYS simulation program).

Table 3. Suitable form factors of subunits.

No.	Picture	Form Factor of Subunits	Details
(1)		Form of cross-sections	Circular shape
(2)		Form of edges	Spring-like
(3)		Arrangement pattern of subunits	Table-arrangement
(4)		Dimensional proportion	Width 28 mm. Length 25 mm. Height 25 mm. Gap between adjacent subunits (Gbas) 5 mm.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Obtained from computer simulation were forces from elderly's fall that were absorbed by various models of subunits. From these results, the following five points of observation were made. Firstly, subunits with circular cross-section forms were able to absorb more impact force from a fall than those with polygonal forms [23, 25] most likely because circular cross-section has a bigger area than polygonal cross-section of the same size [35]. Secondly, a form of edges of subunit in the form of hour-glass was able to absorb more impact force than those with straight edges which might be because the form resembles a spring suspension in a motorcycle or car. This result is consistent with the result of another study [36]. Thirdly, the table arrangement patterns of subunits were able to absorb a higher impact force than the cross and line arrangement patterns which is probably because in a table arrangement, subunits are more evenly arranged hence they are packed at a higher density than those in cross and line arrangements [37]. This result is in agreement with the result from a previous study [8]. Fourthly, the amount of impact force that subunits with different dimensional proportions were able to absorb were different; only a little difference in the dimensional proportion of subunits would cause a large effect on their capacity to absorb impact force. The relationship between the proportion and the force absorbed was similar to the relationship reported in [38]. Fifthly, M02 was indicated as the optimum design based partly on the assumption that the optimum height of a structural layer was 25 mm. This height was the height of layers in a mat that has been reported in the literature to be able to withstand the minimum impact force of a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fall on the hip; from our results, all of the models with a shorter height collapsed to a higher or lesser degree as they experienced the specified simulated force, hence this 25 mm height would be at least the minimum height that could be optimal; however, we surmise that a slightly taller height may withstand even a higher force because the structural layer with such height would contain more shock-absorbing material, but too high a structural layer would contain too much material so that the mat would be too rigid to absorb an impact force readily. Lastly, it was observed that the size and number of subunits per unit area in the structural layer strongly affected the shock attenuation capacity of the mat which might be because they constrained the amount of shock-absorption material in a mat of a specific size and more material should be able to absorb more impact force. Therefore, the authors plan to investigate the density of subunits, *i.e.*, the number of subunits per unit area, as an additional significant form factor in the next study.

To conclude, this study was an investigation of the effect of different forms of subunits of shock absorption mat on their shock attenuation capacity. A finite element method was used to estimate the force distributed in the structural layers of such mat under a plane strain condition. The investigated form factors were various forms of subunit's cross-section and forms of its edges. Our main findings were that a circular cross-section and hourglass-like edges were the best at attenuating impact force. These main and other findings are useful for the design of a truly effective shock-absorption mat for alleviating the force of impact from elderly's fall and other real-life, force-attenuation designs such as designs of the seat in an F1 race car or a space shuttle, of the sole of running shoes, and of a vibration-attenuation platform for industrial machinery.

CONSENT FOR PUBLICATION

Not applicable.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest, financial or otherwise.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research work was supported by the National of Research Council of Thailand (NRCT) as a scholarship for the first author's doctoral study at the Multidisciplinary Design Research Program of the Faculty of Architecture at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL).

Mr. Sedthawatt Sucharitpawatskul, Design and Engineering Research Unit, National Metal and Materials Technology Center (MTEC) analyzed the simulation data; Mr. Sira Meesaringkarn, Research Assistant from Rubber Technology Research Center (RTEC) contributed material analysis tools; Asst. Prof. Dr. Thitaphol Huyanan, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Mahanakorn University of Technology (MUT), M.D. Piti Chalongviriyalert, Orthopedic Surgery, Ladkrabang Hospital, and Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil, Faculty of Biomedical Engineering, Rangsit University (RSU) reviewed the final work in order to improve the outcome; Mr. Pratana Kangsadal revised the English.

REFERENCES

- [1] P.F. Tang, and M.H. Woollacott, "Inefficient postural responses to unexpected slips during walking in older adults", *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 53, no. 6, pp. M471-M480, 1998. [<http://dx.doi.org/10.1093/gerona/53A.6.M471>] [PMID: 9823752]
- [2] S. Chirawaukul, *Elderly nursing: Common problem and care guidelines.*, Active Print Company Ltd: Bangkok, Thailand, 2006.
- [3] A.C. Laing, I. Tootoonchi, P.A. Hulme, and S.N. Robinovitch, "Effect of compliant flooring on impact force during falls on the hip", *J. Orthop. Res.*, vol. 24, no. 7, pp. 1405-1411, 2006. [<http://dx.doi.org/10.1002/jor.20172>] [PMID: 16705716]
- [4] P. Assantachai, *Common health problems in the elderly and prevention. Department of preventive and social medicine, faculty of medicine, siriraj hospital.*, Mahidol University, Chulalongkorn University: Bangkok, Thailand, 2011.
- [5] S.N. Robinovitch, and C.A. Laing, "Compliant flooring for fracture prevention in high-risk environments: Effects on fall severity, mobility, and balance", *CEMFIA Residential Care Summit: Fall & Injury Prevention Research to Action*, vol. 5, pp. 1-15, 2009.
- [6] S. Iamsanlapang, "Falling in the elderly", *Khosad Newspapers*, vol. 25, no. 8813, p. 24, 2015.
- [7] Foundation of Thai gerontology research and development institute, *The situation of Thai elderly 2009. Foundation of Thai Gerontology*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research and Development Institute (TGR), National Elderly Committee, Government Agency (Older Fund), TQP Company Ltd: Bangkok, Thailand, 2009.

- [8] N. Nuannate, "Balancing in the elderly", *Thai Society of Gerontology and Geriatric Medicine.*, vol. 1, pp. 46-50, 2000.
- [9] Panel on prevention of falls in older persons, American geriatrics society and british geriatrics society, "Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons", *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 59, no. 1, pp. 148-157, 2011.
[http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03234.x] [PMID: 21226685]
- [10] S. Gulasatiporn, *Physical therapy in the elderly.*, 2nd ed Chulalongkorn University: Bangkok, Thailand, 1996.
- [11] Health Systems Research Institute for Thailand, *Thai health survey by the 4th physical examination in 2008-2009. Health System Research Institute (HSRI).*, The Grafigo System Company Ltd., Printing House: Nonthaburi, Thailand, 1999.
- [12] W. Jantarante, W. Kunarittipol, W. Boonyawongvirot, Ek. Lewchalermwongse, and T. Jintanawan, "Design of impact parts for products", *Proceedings of the 20th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Suranaree University of Technology, Nakhonratchisima*, vol. 974, , 2006pp. 591-596 18-20 October
- [13] T. Pholin, N. Jitramontree, and V. Wirojatana, "The relationships between personal factors, health status, fear of falling and fall preventive behaviors of community dwelling older persons", *J. Nurs. Sci.*, vol. 29, pp. 36-50, 2017.
- [14] N. Newell, S.D. Masouros, and A.M.J. Bull, "A comparison of MIL-Lx and Hybrid-III responses in seated and standing postures with blast mats in simulated under-vehicle explosion". In: *Proceedings of the 41st International Research Council on the Biomechanics of Injury Conference*, vol. 41. 2013, , pp. 135-144. Gothenburg, Sweden
- [15] A. Ekparinya, and S. Fusakul, *Suitable impact absorbent surface in the bathrooms for elderly people at banbangkhae social development center 1, bangkok. Master of architecture in industrial design.*, King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang: Thailand, 2011.
- [16] A. Drahota, D. Gal, and J. Windsor, "Flooring as an intervention to reduce injuries from falls in healthcare settings: An overview", *Qual. Ageing*, vol. 8, pp. 3-9, 2007.
[http://dx.doi.org/10.1108/14717794200700002]
- [17] W. Ensign, J.A. Hodgdon, W.K. Prusaczyk, D. Shapiro, and M. Lipton, *A survey of self-reported injuries among special boat operators.*, 1st ed Naval Health Research Center: San Diego, U.S.A., 2000, pp. 00-48.
[http://dx.doi.org/10.21236/ADA421234]
- [18] V. Voranavin, K. Suwantaroj, P. Boonyala, and S. Lakkam, "A study of crash boxes referred to energy absorbing", *KKU Res. J.*, vol. 18, pp. 435-448, 2013.
- [19] B.E. Maki, and G.R. Fernie, "Impact attenuation of floor coverings in simulated falling accidents", *Appl. Ergon.*, vol. 21, no. 2, pp. 107-114, 1990.
[http://dx.doi.org/10.1016/0003-6870(90)90132-H] [PMID: 15676765]
- [20] J. Okan, and S. Kleiven, Development of a fall-injury reducing flooring system in geriatric care. Master of science in medical engineering, KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2014.
- [21] S. Dahlgren, and S. Kleiven, *Evaluation of a flooring system to help reduce fall-related injuries among elderly. Master of Science in Medical Engineering.*, KTH Royal Institute of Technology: Sweden, 2014.
- [22] S. Kaewjang, *Development of floor blocks from natural rubber and waste EPDM.* Master of Engineering, Major of Industrial engineering and system, Prince of Songkla University, Thailand, 2009.
- [23] J.A. Casalena, A. Badre-Alam, T.C. Ovaert, P.R. Cavanagh, and D.A. Streit, "The Penn State Safety Floor: Part II-Reduction of fall-related peak impact forces on the femur", *J. Biomech. Eng.*, vol. 120, no. 4, pp. 527-532, 1998.
[http://dx.doi.org/10.1115/1.2798023] [PMID: 10412424]
- [24] A. Athawattikul, and Y. Chavalkul, "Suitable impact absorbent surface in the bathroom for thai elderly slip falls", In: *Proceedings of the 6th LASDR*, vol. 6. 2015, pp. 78-85.
- [25] J.A. Casalena, T.C. Ovaert, P.R. Cavanagh, and D.A. Streit, "The Penn State Safety Floor: Part I-Design parameters associated with walking deflections", *J. Biomech. Eng.*, vol. 120, no. 4, pp. 518-526, 1998.
[http://dx.doi.org/10.1115/1.2798022] [PMID: 10412423]
- [26] Rubber Technology Research Center of Thailand, *Analytical results for finite element methods to elastic constant: Compression, uniaxial tension, biaxial tension, and planar shear*, 2017..
- [27] H.S. Kim, "New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorbing and weight efficiency", *Thin-Walled Structures.*, vol. 40, no. 311-327, pp. 2289-7887.
- [28] F. Knoefel, M. Mousseau, and M. Berry, "Pilot study to assess mobility safety on a dual-stiffness floor", *Can. J. Geriatr.*, vol. 11, pp. 110-112, 2009.
- [29] X.W. Zhang, H. Su, and T.X. Yu, "Energy absorbing of an axially crushed square tube with a buckling initiator", *Int. J. Impact Eng.*, vol. 36, pp. 402-417, 2009.
[http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2008.02.002]
- [30] M. Jiayao, *Thin-walled tubes with pre-folded origami patterns as energy Absorbing devices.*, University of Oxford: UK, 2011. Doctor of philosophy in engineering science

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] A.A. Nuraini, A.M. Siti Marhainis, M.A. Azmah Hanim, and B.B. Sahari, "Axial crushing of origami pattern metal and polymer composite thin-walled structures using finite element method", *Adv. Environ. Biol.*, vol. 8, pp. 3325-3329, 2014.
- [32] S. Santosa, and T. Wierzbicki, "Crash behavior of box columns filled with aluminum honeycomb or foam", *Comput. Struct.*, vol. 68, pp. 343-367, 1998.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0045-7949(98)00067-4]
- [33] D. Zenkert, and T. Bitzer, *An Introduction to sandwich construction. Honeycomb technology.*, Emas Publishing: London, UK, 1997, pp. 1-28.
- [34] "American Society for Testing and Materials, Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers-tension, D412-2006", In: *Annual book of ASTM standard*, vol. 9. West Conshohocken: ASTM, 2006, no. 2, pp. 44-57.
- [35] A.J. Sadowski, and J.M. Rotter, "Solid or shell finite elements to model thick cylindrical tubes and shells under global bending", *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 74, pp. 143-153, 2013.
[http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmeosci.2013.05.008]
- [36] A.M. Harte, N.A. Fleck, and M.F. Ashby, "Energy absorbing of foam-filled circular tubes with braided composite walls", *Euro. J. of Mech. Solids*, vol. 19, pp. 31-50, 2000.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0997-7538(00)00158-3]
- [37] P.C. Albert, A.R.A. Ghani, M.Z. Othman, and M.A. Zaidi, "Axial crushing behavior of aluminum square tube with origami pattern", *Mod. Appl. Sci.*, vol. 10, pp. 90-108, 2016.
[http://dx.doi.org/10.5539/mas.v10n2p90]
- [38] F.B. Horak, "Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?", *Age Ageing*, vol. 35, suppl. 2, pp. ii7-ii11, 2006.
[http://dx.doi.org/10.1093/ageing/afn077] [PMID: 16926210]

© 2018 Atthawuttikul and Chavalkul.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (CC-BY 4.0), a copy of which is available at: (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>). This license permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอาริยา อัฐวุฒิกุล
 วัน เดือน ปีเกิด 18 กันยายน พ.ศ. 2526
 สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 103/18 ถ.ศรีธรรมไตรปิฎกฯ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
 E-mail atthawuttikulariya@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2547 ศิลปกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
 2551 สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาศิลปอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2555 สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2560 Meijo Asian Research Center (MARC), Meijo University, Japan

ประสบการณ์การทำงาน

2553-2554 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
 2557 บริษัท มุกไมตรีการพิมพ์ จำกัด
 2558 บริษัท เคซี แฟ็คทอรี เทริดติ้ง จำกัด (ประเทศเยอรมันนี)
 2558-2559 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ (วิทยาเขตรังสิต)

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (ระดับชาติ)

2553 “รูปแบบพื้นผิวกันกระแทกภายในห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุ” วารสารคณะ
 สถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2554 “รูปแบบพื้นผิวกันกระแทกภายในห้องน้ำสำหรับผู้สูงอายุในศูนย์พัฒนาการจัด
 สวัสดิการสังคมผู้สูงอายุบ้านบางแค 1 กรุงเทพมหานคร” การประชุมวิชาการ
 ระดับบัณฑิตศึกษา Graduate Integrity: GI2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (ระดับนานาชาติ)

- 2558 “Suitable Impact Absorbent Surface in Bathroom for Thai Elderly People” International Association of Societies of Design Research Conference (IASDR) 2-5 November 2015, Brisbane, Australia, 78-85.
- 2559 “Bathroom Impact Absorbing Mat for Elderly People: A Review” International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS) 18-21 January 2016, Chiang Mai, Thailand, 279-285.
- “Comparison of Elderly People’s Perception of Homely feeling towards room environment in their own home and in two nursing home in Thailand” International Conference on Social Science and Humanities (ICSSH) 11-12 April 2016, Osaka, Japan, 865-868.
- 2561 “The Effect of Form Factors of Shock Absorption Mat’s Subunits on Attenuation of Force from Elderly’s Fall” The Open Construction and Building Technology Journal 2018:12, 350-361.
- รางวัลที่ได้รับ**
- 2549 รางวัลชมเชย การประกวดการออกแบบบรรจุภัณฑ์สินค้า OTOP จังหวัดพิษณุโลก “ภายใต้โครงการศูนย์บริการและพัฒนาบรรจุภัณฑ์” ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 2 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- 2554 รางวัลระดับดี การนำเสนอบทความวิจัยในที่ประชุมวิชาการระดับบัณฑิต ครั้งที่ 2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2561 ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย ภายใต้แผนพัฒนาศักยภาพบัณฑิตวิจัยรุ่นใหม่ ระดับปริญญาเอก ประจำปีงบประมาณ 2561 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้