บทความวิชาการ

ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

พรรณภัทร พรหมเพ็ญ[1*] และ จิตต์โสภา เฉลียวศักดิ์[2]

บทคัดย่อ

ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีการใช้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีเพื่อป้องกันผู้สวมใส่จากอันตรายของสารเคมีประเภทต่างๆ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจึงมีหลากหลายประเภทเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานตามประเภทของสารเคมีอันตรายที่ผู้สวมใส่ต้องเผชิญในระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้นวัสดุและวิธีการที่ใช้ในการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจึงมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีทุกประเภทจำเป็นต้องผ่านมาตรฐานการทดสอบเพื่อให้ผู้บริโภคมั่นใจได้ว่าชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ใช้สามารถป้องกันอันตรายจากสารเคมีได้ นอกจากนั้นประเด็นเรื่องความสบายในการสวมใส่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีเพื่อให้ผู้สวมใส่สามารถปฏิบัติงานได้นานและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: สิ่งทอเทคนิค ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี ความสบายในการสวมใส่เสื้อผ้า

[1]ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[2]ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน, e-mail: phannaphat@g.swu.ac.th

Chemical Protective Clothing for Industrial Workers

Phannaphat Phromphen[1*] and Jitsopa Chaliewsak[2]

ABSTRACT

Chemical protective clothing is normally used by the industrial workers to protect themselves from the hazardous chemicals. There are many types of material using to produce chemical protective clothing in order to response to the hazardous environment in the workplace area. The production of chemical protective clothing also uses the different types of materials and methods with the aim of passing the international standard requirement. Consequently, the workers are confident that the chemical protective clothing can be protected them from hazardous chemicals during working time. Moreover, the thermal comfort property of the chemical protective clothing is considered in order to let the workers working for the longer period of time.

Keywords: Technical textile, chemical protective clothing, thermal comfort

[1]Department of Home Economics, Faculty of Science, Srinakharinwirot University.

[2]Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

[*]Corresponding author, email: phannaphat@g.swu.ac.th

บทนำ

ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจัดอยู่ในประเภทของสิ่งทอเชิงเทคนิคซึ่งมุ่งเน้นประโยชน์การใช้งานมากกว่าความสวยงาม ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีมีความจำเป็นต่อผู้สวมใส่ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน อุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี และอุตสาหกรรมการผลิตยา การใช้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจะใช้มากในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศแถบสแกนดิเนเวีย และมีการคาดการณ์ว่าอัตราการเติบโตของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีโดยเฉลี่ยต่อปีในตลาดโลก ในช่วงปี 2014-2019 จะมีค่าเท่ากับ 6.67% [1] ในอดีตการใช้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจะมุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพการป้องกันสารเคมีจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายของผู้สวมใส่ แต่ปัจจุบันมีการพิจารณาถึงปัจจัยของความสะดวกสบายของผู้สวมใส่ในขณะปฏิบัติงานด้วย ดังนั้นการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจึงต้องคำนึงถึงทั้งคุณสมบัติการป้องกันสารเคมีและความสะดวกสบายในการสวมใส่ [2] นอกจากนั้นการใช้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีในยุคปัจจุบันยังช่วยเสริมสร้างจิตวิญญาณการทำงานเป็นทีมของทีมงานเป็นส่วนหนึ่งของภาพลักษณ์ขององค์กร และยังสามารถส่งผลต่ออารมณ์ของผู้สวมใส่โดยอาจจะทำให้ผู้ใช้สามารถปฏิบัติงานได้รวดเร็วและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น [3]

ความสำคัญของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจัดอยู่ในเครื่องแต่งกายเพื่อป้องกันอันตรายส่วนบุคคล มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือแยกผู้สวมใส่ออกจากอันตรายจากสารเคมีทั้งทางกายภาพและชีวภาพที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติหน้าที่ เช่น สารเคมีที่เป็นสารระเหย สารเคมีที่เป็นของเหลว หรือ สารเคมีที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เป็นต้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาองค์กร The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ได้ออกประกาศให้มีข้อแนะนำสำหรับการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีสำหรับผู้ใช้งาน เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีแสดงคุณสมบัติและสมรรถนะของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี [4] นอกจากนั้น National Fire Protection Association (NFPA) ได้แบ่งประเภทของชุดป้องกันสารเคมีเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีออกเป็น 3 ประเภท [5] คือ

1. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ต้องผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐาน NFPA 1991 (Standard for Vapour-Protective Suits for Hazardous Chemical Emergencies) ซึ่งชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้ต้องผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM F739-12 เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง และอัตราการแพร่ผ่านอย่างน้อยที่สุดที่ตรวจพบ (Detected permeation rate) ควรจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 $\mu g\ cm^{-2}\ min^{-1}$ สำหรับสารเคมีในบัญชีที่ได้กำหนดไว้

2. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ต้องผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐาน NFPA 1992 (Standard for Liquid Splash-Protective Suits for Hazardous Chemical Emergencies) ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีและอุปกรณ์เสริมต้องผ่านการทดสอบการต้านการซึมผ่าน (penetration resistance) ตามมาตรฐาน ASTM F903-10 ซึ่งชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้ต้องต้านการซึมผ่านของอะซิโตน เอทิลอะซีเตท โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% กรดซัลฟูริก 93.1% เตตระไฮโดรฟิวแรน และ สารเคมีอื่นๆ ที่ผู้ผลิตให้การรับรองอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

3. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ต้องผ่านการตรวจสอบตามมาตรฐาน NFPA 1993 (Standard on Protective Suits for Non-Emergency, Non-flammable Hazardous Chemical Operations) ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้มีระดับการป้องกันการกระเซ็นของสารเคมีที่เป็นของเหลว แต่ไม่สามารถป้องกันการกระเซ็นของไอระเหยของสารเคมีเช่นเดียวกับชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีในข้อที่ 2

ในกลุ่มสหภาพยุโรป ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีโดยใช้มาตรฐาน Directive 89/686/EEC เพื่อให้มีความมั่นใจว่าชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่วางขายในท้องตลาดได้ผ่านการตรวจสอบความปลอดภัยเบื้องต้น ซึ่งการแบ่งประเภทของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีออกเป็นหกประเภท ตามประสิทธิภาพในการป้องกันสารเคมี [6] ตั้งแต่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันไอระเหยของสารเคมีตามมาตรฐาน EN 943-1:2002 ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันของเหลวและการกระเซ็นของสารเคมีตามมาตรฐาน EN 14605:2005 และ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันอนุภาคขนาดเล็กของสารเคมีตามมาตรฐาน ISO 13982-1:2004

ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีสามารถจำแนกได้อีกหลายประเภท เช่น จำแนกตามประเภทของการออกแบบเฉพาะทาง วัสดุที่ใช้ผลิต อายุการใช้งาน [7] และ ระดับของการป้องกันอันตรายจากสารเคมี และเมื่อพิจารณาความสามารถในการยอมให้ไอน้ำ ไอระเหยของสารเคมี สารเคมีที่เป็นของเหลว หรือละอองลอยของสารเคมี (chemical aerosol) เคลื่อนที่ผ่านจากผิวด้านนอกเข้าไปวัสดุที่ใช้ผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี ซึ่งสามารถจำแนกชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้(Air-permeable barrier material) ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้จะประกอบด้วยชั้นนอกสุดซึ่งทำจากผ้าฝ้ายทอที่มีโครงสร้างหนาแน่น หรือ ผ้าผสมระหว่างฝ้ายและไนลอน ซึ่งผ้าชั้นนอกสุดนี้จะทำหน้าที่กันน้ำและสารเคมีที่เป็นของเหลว [8] และชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้จะมีชั้นของวัสดุดูดซับที่ทำมาจากเม็ดบีทของถ่านชาร์โคล หรือ แอกติเวทคาร์บอน (activated carbon) หรือใช้วัสดุจำพวกโลหะออกไซด์ของเงิน ทองแดง สังกะสี หรือ โมลิบดีนัม ร่วมกับ ไตรเอทิลีนไดอะมีนเพื่อช่วยในการดูดซับไอของสารเคมีที่มีความดันสูง [9] โดยวัสดุเหล่านี้จะทำการรองรับสารเคมีที่เป็นของเหลวหรือละอองลอย รวมถึงไอระเหยของสารเคมีที่แพร่ผ่านรูของวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้มายังชั้นวัสดุดูดซับ โดยชั้นของวัสดุดูดซับนี้จะทำหน้าที่ดูดซับสารเคมีไม่ให้เคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวหนังของผู้สวมใส่ ในขณะเดียวกันวัสดุดูดซับนี้จะยอมให้ความร้อน อากาศ และ ไอน้ำ แพร่ผ่านออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ [10] นอกจากนั้นชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้จะมีผ้าชั้นในสุดที่เป็นส่วนที่ช่วยรองรับสารเคมีส่วนเกิน และ เพิ่มความสบายให้กับผู้สวมใส่ โดยทั่วไปชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่และเทอะทะ แต่มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี [11] ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ทำมาจากวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้มักจะใช้ในสภาวะที่ไม่เป็นอันตราย ตัวอย่างของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้ เช่น Remploy's Frontliner Suit SARAGOTA® [12] นอกจากนี้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันสารเคมีที่ไม่อันตรายมาก เช่น Tyvek® [13] ก็นับเป็นชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้แม้ว่าจะไม่มีชั้นของวัสดุดูดซับเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของ Tyvek® ที่เป็นผ้าไม่ทอจากเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี Tyvek® สามารถป้องกันการกระเซ็นของของเหลวที่ไม่อันตราย เช่น น้ำมัน น้ำมันหล่อลื่น จาระบี ปุ๋ย หรือ อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่ เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ใยหิน ตะกั่ว เป็นต้น

(a) Remploy's Frontliner Suit

(b) Tyvek®

รูปที่ 1 ตัวอย่างชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้ [12, 13]

2. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้บางส่วน (Semi-permeable barrier material) หรือวัสดุเลือกผ่าน (Selectively permeable barrier material) วัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้บางส่วนจะใช้หลักการเดียวกันกับหลักการของการแยกแก๊สและเยื่อรีเวิร์สออสโมซิส (gas separation and reverse osmosis membrane) กล่าวคือ วัสดุจะยอมให้สารเคมีเพียงบางชนิดเคลื่อนที่ผ่าน ตัวอย่างของวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้บางส่วน เช่น พอลิยูรีเทนชนิดชอบน้ำ [14] พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) พอลิอีเทอร์ (Polyether) พอลิเอไมด์ (Polyamide) เป็นต้น ตัวอย่างของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้ เช่น Microchem® 3000 [15] หรือ Tychem® C2 [16] ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้สามารถป้องกันสารเคมีได้บางประเภท เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 42% หรือ ไดเมทิลฟอร์มาไมด์เข้าสู่ผืนผ้าได้มากกว่า 480 นาที เมื่อทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ (detection limit) ที่ 1 $\mu g\ cm^{-2}\ min^{-1}$ ตามมาตรฐาน ISO 6529:2013 เป็นต้น

(a) Microchem® 3000 (b) Tychem® C2

รูปที่ 2 ตัวอย่างชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้บางส่วน [15, 16]

3. ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่าน (Impermeable barrier material) ชั้นของวัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้จะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของสารเคมีเข้าสู่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีทั้งในรูปของของเหลว ไอระเหย หรือ ละอองลอย ในขณะเดียวกันก็ขัดขวางไม่ให้อากาศและไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจะถูกเคลือบ หรือลามิเนต (laminated) ด้วยพอลิเมอร์ เช่น ยางนีโอพรีน (Neoprene) พอลิเอทิลีน พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ (Polyvinylidene chloride) ยางบิวทิล (Butyl rubber) หรือเคลือบด้วยฟิล์มพลาสติก เช่น พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิไวนิลิดีนคลอไรด์ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้จะมีชั้นของผ้าที่ทำจากพอลิเอสเตอร์ พอลิเอไมด์ ฝ้าย หรือวัสดุผสมของเส้นใยเหล่านี้ หรือการเคลือบหรือลามิเนตของพอลิเมอร์สององค์ประกอบ เช่น ฟลูออโรอิลาสโต-เมอร์กับยางบิวทิล (Fluoroelastomer/Butyl rubber) หรือ ฟลูออโรอิลาสโตเมอร์กับนีโอพรีน หรือ นีโอ-พรีนกับพอลิไวนิลคลอไรด์ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่ให้อากาศแพร่ผ่านจะใช้ในสภาวะที่มีอันตรายมาก เช่น ในอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเลียม อุตสาหกรรมการผลิตยา ตัวอย่างของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้ เช่น ชุด Microchem® 4000 จากบริษัท Microgaurd หรือ Tychem® F หรือ Tychem® F2 ของบริษัทดูปองท์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของสารเคมี เช่น โทลูอีน เฮกเซน หรือ เมทานอล เข้าสู่ผืนผ้าได้มากกว่า 480 นาที เมื่อทดสอบค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ ที่ 1 $\mu g\ cm^{-2}\ min^{-1}$ ตามมาตรฐาน ISO 6529:2013 เป็นต้น

(a) Microchem® 4000 (b) Tychem® F (c) Tychem® F2[S38]

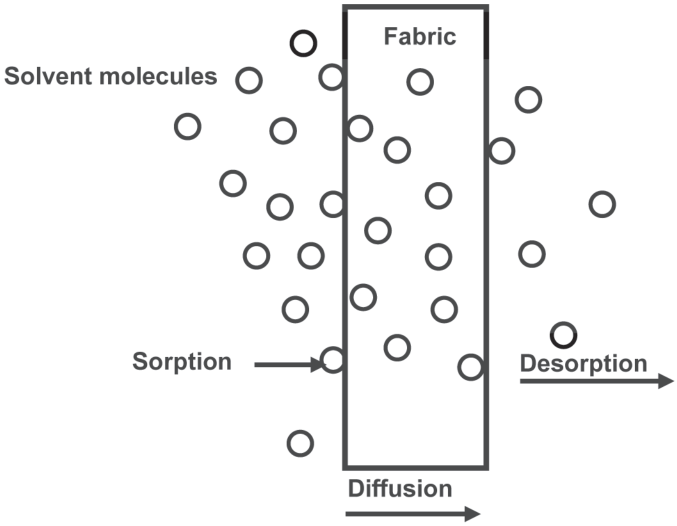
รูปที่ 3 ตัวอย่างชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีกที่ผลิตจากวัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้ [17-19]

มาตรฐานการทดสอบชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

ในการทดสอบชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีมีการตรวจสอบทางกายภาพและเคมี โดยมีมาตรฐานที่แตกต่างกันของสหรัฐอเมริกาและยุโรป โดยวัสดุที่ใช้ผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจะต้องมีคุณสมบัติในการต้านทานการเสื่อมสภาพ การซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้า และการแทรกซึมของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้า เพื่อให้ผู้สวมใส่มั่นใจได้ว่าชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีสามารถป้องกันผู้สวมใส่จากสารเคมีอันตรายในสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรมประเภทนั้นๆ ได้ดังนี้

1. การเสื่อมสภาพ (degradation) ตามมาตรฐาน ASTM F23 และ ISO 6529:2013 ได้ให้คำจำกัดความของการเสื่อมสภาพว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพภายนอกของชั้นพอลิเมอร์ที่ใช้ผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีซึ่งเป็นผลมาจากการสัมผัสกับสารเคมี ตัวอย่างของการเสื่อมสภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผ้า การเปลี่ยนแปลงขนาดของผ้า ความคงทนต่อการฉีกขาด ความแข็ง และ ลักษณะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของวัสดุ การทดสอบความคงทนต่อการเสื่อมสภาพไม่สามารถทำได้โดยตรง มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ เช่น ASTM D 471-12a หรือ ASTM D 543-06 ดังนั้นการทดสอบความคงทนต่อการเสื่อมสภาพมักจะใช้เป็นการทดสอบเบื้องต้น ก่อนการทดสอบการแพร่ผ่านหรือการซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้า

2. การซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้า (permeation) การซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้าเป็นกระบวนการที่ของเหลวหรือก๊าซเคลื่อนที่ผ่านผืนผ้าในระดับโมเลกุลที่ไม่ใช่เป็นการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างหรือส่วนที่ไม่สมบูรณ์ของผืนผ้า โดยกระบวนการซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้าจะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน [20] กล่าวคือ สารเคมีจะถูกดูดซับของบนพื้นผิวภายนอกของผืนผ้าที่สัมผัสกับสารเคมีนั้น (sorption) หลังจากนั้นสารเคมีจะแพร่ผ่านผืนผ้า (diffusion) และจะเคลื่อนที่ออกจากผืนผ้าไปยังพื้นผิวอีกด้านหนึ่ง (desorption) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองกระบวนการซึมผ่านของสารเคมีที่เป็นของเหลวเข้าสู่ผืนผ้า (ดัดแปลงจาก [21])

ผลของการทดสอบความคงทนต่อการซึมผ่านของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้าสามารถนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ การทดสอบความคงทนต่อการซึมผ่านของของเหลวสู่ผืนผ้าสามารถทำได้โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ เช่น BS EN 374-3:2003 EN ISO 6529:2013 ASTM F739-12 และ ASTM F1383-12 ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดของเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ อัตราการหมุนเวียนของสารตัวกลางที่ใช้ในการตรวจสอบ (flow rate of collection medium) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ การรายงานผลของการทดสอบความคงทนต่อการแพร่ผ่านของสารเคมีสามารถทำได้หลายวิธี เช่น อัตราการแพร่ผ่าน (permeation rate) ช่วงเวลาสูงสุดก่อนจะเกิดการซึมผ่านของสารเคมี (breakthrough time) และ การซึมผ่านสะสม (cumulative permeation) [6]

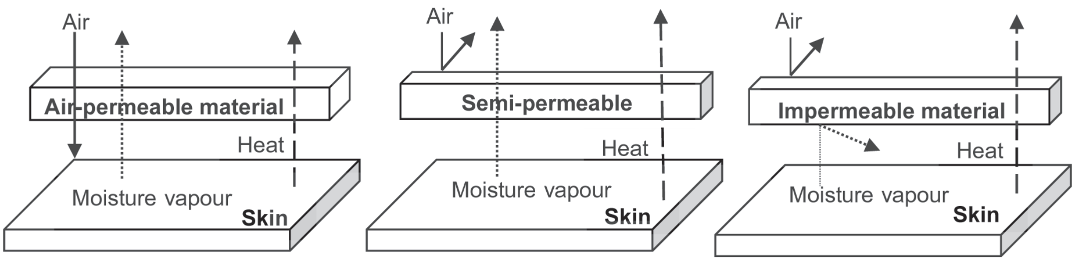
3. การแทรกซึมของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้า (penetration) การแทรกซึมของสารเคมีเข้าสู่ผืนผ้าเป็นกระบวนการที่สารเคมีในรูปของของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ เคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างของวัสดุสิ่งทอ เช่น ตะเข็บ ช่องว่างระหว่างด้ายเย็บ รูเข็ม ซิป หรือ ส่วนที่ไม่สมบูรณ์อื่นๆที่ไม่อยู่ในระดับโมเลกุล มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ BS ISO 13994:1998 และ F903-03(2004) ซึ่งแต่ละมาตรฐานมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันในสภาวะความดันและเวลาที่ใช้ในการทดสอบขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

นอกจากนี้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีต้องผ่านการทดสอบทางกายภาพอื่นๆ ตามมาตรฐาน ISO 14325:2004 [22] เช่น การทดสอบความต้านทานการขัดถู (abrasion resistance) ความคงทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความต้านทานแรงฉีก (trapezoidal tear resistance) ความต้านทานแรงดันทะลุ (burst resistance) ความต้านทานแรงกดทะลุ (puncture resistance) ความต้านทานต่อการจุดติดไฟ (resistance to ignition) และความต้านทานต่อเปลวไฟ (resistance to flame) เป็นต้น ซึ่งสมบัติทางกายภาพเหล่านี้จะรายงานไว้ในฉลากของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีเพื่อให้ผู้บริโภคได้เลือกชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีได้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมในการทำงาน

ความสบายของผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้งานชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

วัตถุประสงค์สำคัญที่สุดคือต้องป้องกันผู้สวมใส่จากสารเคมีในระดับความปลอดภัยสูงสุด ในขณะเดียวกันที่ร่างกายของผู้ใช้ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีร่างกายก็มีการผลิตความร้อน ความชื้น และเหงื่อ และระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเหมือนกับการสวมใส่เสื้อผ้าประเภทอื่นๆ ดังนั้นการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีต้องไม่มีพื้นผิวขรุขระ แข็ง และแหลมคมที่อาจจะเป็นอันตรายหรือระคายเคืองต่อผู้ใช้ ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีต้องไม่คับแน่นจนขัดขวางการหมุนเวียนโลหิต และต้องไม่หลวมหรือหนักจนเกินไปที่อาจจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของผู้สวมใส่ นอกจากนั้นความพึงพอใจของผู้สวมใส่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีต่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมขณะนั้น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี ดังนั้นชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจึงจะต้องผลิตจากวัสดุที่สามารถระบายความร้อนและความชื้นออกจากร่างกายของผู้สวมใส่ได้อย่างเพียงพอ และป้องกันการเกิดภาวะเครียดจากความร้อน [6] ซึ่งการระบายความร้อนและความชื้นจากร่างกายของผู้สวมใส่ผ่านชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีมีความสัมพันธ์กับความต้านทานความร้อน (thermal resistance) และความต้านทานต่อการส่งผ่านไอน้ำ (water vapour transmission resistance) ของโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

เมื่อพิจารณาชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีตามประเภทของโครงสร้างของผ้าหรือวัสดุที่ยอมให้อากาศผ่าน จะสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงแบบจำลองของการเคลื่อนที่ของความร้อน ไอน้ำจากผิวหนังสู่สภาวะแวดล้อมภายนอกผ่านชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี



รูปที่ 5 แบบจำลองของการเคลื่อนที่ของความร้อน ไอน้ำจากผิวหนังสู่สภาวะแวดล้อมภายนอกของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีประเภทต่างๆ (ดัดแปลงจาก [8])

1. วัสดุที่ยอมให้อากาศซึมผ่านได้ (air-permeable material) ลมจากสภาวะแวดล้อมภายนอกและลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของผู้สวมใส่จะมีการเคลื่อนที่เพื่อช่วยให้มีการพาความร้อนและเกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นจากร่างกายของผู้สวมใส่ผ่านรูของวัสดุประเภทนี้ การซึมผ่านของอากาศจึงขึ้นอยู่กับการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนและอัตราการส่งผ่านไอน้ำ (water vapour transmission rate) [23] ดังนั้นการซึมผ่านของอากาศที่มากขึ้นจะช่วยให้ภาวะเครียดจากความร้อนลดลง [24]

2. วัสดุที่ยอมให้อากาศซึมผ่านได้บ้าง (semi-permeable material) โดยทั่วไปการซึมผ่านของอากาศจากสภาวะแวดล้อมผ่านวัสดุประเภทนี้จะเป็นไปได้ค่อนข้างยาก นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ของความร้อนจากร่างกายของผู้สวมใส่จะเคลื่อนที่ผ่านทางการเคลื่อนที่ของไอน้ำผ่านโครงสร้างของวัสดุออกสู่สภาวะแวดล้อม จึงทำให้เกิดการระบายความร้อนออกจากร่างกายของผู้สวมใส่ได้

3. วัสดุที่ไม่ยอมให้อากาศซึมผ่าน (Impermeable material) วัสดุประเภทนี้จะไม่ยอมให้อากาศจากภายนอกและไอน้ำจากร่างกายผู้สวมใส่ซึมผ่าน ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของไอน้ำอยู่ภายใต้ชั้นของวัสดุจนถึงสภาวะที่ความดันไอน้ำอิ่มตัว [25] ซึ่งอาจจะทำให้ผู้สวมใส่เสื้อผ้าที่ทำจากวัสดุประเภทนี้เกิดสภาวะเครียดจากความร้อนได้

ความสบายในการสวมใส่จึงขึ้นอยู่กับลักษณะและโครงสร้างของผ้าที่ใช้ในการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี จากการศึกษาชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่สามารถป้องกันสารกำจัดศัตรูพืชได้ในระดับสูงจะมีความสามารถให้อากาศซึมผ่านได้ต่ำ พบว่ารูระหว่างเส้นด้ายและช่องว่างระหว่างเส้นด้ายเป็นปัจจัยสำคัญของการเคลื่อนที่ของความชื้น [26] หรือกรณีของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่สามารถป้องกันสารเคมีได้ดี เช่น ชุด Gore® Chemical splash protection ผู้สวมใส่สามารถใช้ชุดนี้ได้อย่างน้อย 45 นาทีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 85% [27] และพบว่าชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ทำมาจากผ้าที่ไม่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้จะก่อให้เกิดภาวะเครียดจากความร้อน (heat stress) ต่อผู้สวมใส่ที่อุณหภูมิประมาณ 29.4 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 45% [28] อย่างไรก็ตามมีการรายงานว่าการสวมใส่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี Tyvek® ที่เป็นชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่ยอมให้อากาศแพร่ผ่านได้ดีก็ยังสวมใส่ไม่สบายและมีความร้อนภายในสูง [29]

งานวิจัยและอนาคตของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

แนวโน้มของงานวิจัยของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีจะมุ่งเน้นไปในการออกแบบผ้าหรือวัสดุที่ทำให้ผู้สวมใส่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีมีความสบายมากยิ่งขึ้น แต่ยังคงคุณสมบัติการป้องกันสารเคมีเอาไว้ในระดับเดิม ตัวอย่างของวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี เช่น การผลิตวัสดุที่ยอมให้อากาศซึมผ่านได้บ้างและระบายอากาศได้ (semi-permeable breathable material) ที่มีคุณสมบัติยอมให้ไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านได้ดีแต่ไม่ยอมให้สารเคมีเคลื่อนที่ผ่าน [30] ผ้าไม่ทอน้ำหนักเบาที่ผลิตมาจากเส้นใยพอลิยูรีเทนขนาดนาโนด้วยการปั่นแบบไฟฟ้าสถิต [31] หรือการพัฒนาวัสดุที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกเพื่อควบคุมการแพร่ผ่านของสารเคมีเข้าสู่ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีและการแพร่ผ่านของไอน้ำหรือความชื้นออกจากร่างกายผู้สวมใส่ไปสู่สภาวะแวดล้อมภายนอก [32]

สรุป

ในการผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี ผู้ผลิตจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการ เช่น วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต การออกแบบของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี โครงสร้างผ้า รวมถึงอายุการใช้งานของชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี การทำความเข้าใจถึงคุณสมบัติของวัสดุและการทดสอบมีผลต่อการเลือกใช้วัสดุเพื่อนำมาผลิตชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีให้มีความสามารถในการป้องกันสารเคมีได้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ในอุตสาหกรรมผู้ใช้งานจำเป็นต้องเลือกชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมีให้เหมาะสมต่อสภาวะแวดล้อมในการทำงาน นอกจากนั้นความสบายในการสวมใส่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ชุดป้องกันอันตรายจากสารเคมี

เอกสารอ้างอิง

1. Wood, L. 2015. Research and Markets: Global Chemical Protective Clothing Market 2015-2019: Key Vendors Are 3M, Ansell, E.I. Du Pont De Nemours and Company, Honeywell International, Kimberley-Clark, Royal Tencate and Teijin Aramid. Available from URL: http://uk.reuters.com/article/2015/02/04/research-and-markets-idUKnBw046280a+100+BSW20150204. 18 May 2016.
2. Stull, J. O. 2000. Issues and Challenges in Chemical Protective Clothing. In: Kuklane, K. and Holmér, I., Editors. Ergonomics of Protective Clothing. Proceedings of Nokobetef 6 and 1st European Conference on Protective Clothing; 7-10 May 2000. Stockholm, Sweden. p. 222-225.
3. Koszewska, M. 2004. Development Prospects of Polish Protective Clothing Market after 1 May 2004. Threats and Opportunities. *Fibres & Textiles in Eastern Europe.* 12(4): 12-16.
4. Todd, R. C. 2001. Chemical Protective Clothing. *Occupational Health & Safety.* 70(8): 36-48.
5. Occupational Safety and Health Administration. OSHA Technical Manual. Available from URL: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_1.html. 23 June 2016.
6. British Standards Institute. 2003. BS EN 340:2003: Protective Clothing-General Requirements. London. BSI.
7. Stull, J. O. 2005. Civilian Protection and Protection of Industrial Workers from Chemicals. In: Scott, R.A. Editor. Textile for Protection. Boca Raton. Woodhead Publishing; CRC. p. 345.
8. Truong, Q. and Wilusz, E. 2005. Chemical and Biological Protection. In: Scott, R.A. Editor. Textile for Protection. Boca Raton. Woodhead Publishing; CRC. p. 564.
9. Sundarrajan, S., Chandrasekaran, A. R. and Ramakrishna, S. 2010. An Update on Nanomaterials-Based Textiles for Protection and Decontamination. *Journal of the American Ceramic Society.* 93: 3955-3975.
10. Boopathi, M., Singh B., and Vijayaraghavan, R. 2008. A Review on NBC Body Protective Clothing. *The Open Textile Journal.* 1: 1-8.
11. Gopalakrishnan, D., Nithiyakumar, M. and Nayaket, A. 2002. Development of Chemical Protective Clothing. Available from URL: http://www.fibre2fashion.com/industry-article/1/85/development-of-chemical-protective-clothing6.asp. 9 May 2016.
12. Griffith, D. 2012. WMD Products for Law Enforcement: If the Nightmare Scenario Comes True, This Gear Could Save Your Life. Available from URL: http://www.policemag.com/channel/patrol/articles/2012/01/wmd-products-for-law-enforcement.aspx. 28 June 2016.
13. Dupont Company. Tyvek® Classic Xpert Coveralls. Available from URL: http://

www.dupont.com/products-and-services/personal-protective-equipment/chemical-protective-garments/brands/tyvek-protective-apparel/products/tyvek-xpert-coveralls.html. 24 October 2016.

14. Ellis, L. F. 2007. Chemical-Resistant Breathable Textile Laminate. US patent EP1757197 A2.
15. Microgard Limited. Microchem 3000. Available from URL: http://www.microgard.com/product7.asp? MYID=6. 28 June 2016.
16. Dupont Company. Tychem C2 Coveralls. Available from URL: http://www.dupont.co.uk/products-and-services/personal-protective-equipment/chemical-protective-garments-accessories/brands/tychem/ products/tychem-c2-chz5-coveralls.html. 24 October 2016.
17. Microgard Limited. Microchem 4000. Available from URL: http://www.microgard.com/product7.asp? MYID=7. 28 June 2016.
18. DuPont Company. Tychem F. Available from URL: http://www.safespec.dupont.co.uk/safespec/en/product/1290.html?refNm=Matching&refUrl=%23brandCd%3DF. 24 October 2016.
19. DuPont Company. Tychem F2 Coveralls. Available from URL: http://www.dupont.co.uk/products-and-services/personal-protective-equipment/chemical-protective-garments-accessories/brands/tychem/ products/tychem-f2-chz5-coveralls. 24 October 2016.
20. Raheel, M. 1994. Protective Clothing Systems and Materials. New York. Marcel Dekker. p. 53.
21. Guo, W. 2006. Modelling of Solubility Parameters and Permeation Data of Organic Solvents in Butyl Gloves. Ph.D. thesis, University of Akron. p. 22.
22. British Standards Institute. 2004. BS EN 14325:2004: Protective Clothing against Chemicals-Test Methods and Performance Classification of Chemical Protective Clothing Materials, Seams, Joins and Assemblages. London. BSI.
23. She, F. and Kong, L. 2000. Theoretical Investigation of Heat and Moisture Transfer through Porous Textile Materials. *Research Journal of Textile and Clothing* 4(1): 37-41.
24. Havenith, G., Den Hartog, E. and Martini, S. 2011. Heat Stress in Chemical Protective Clothing: Porosity and Vapour Resistance. *Ergonomics* 54:5 p. 497507.
25. Lotens, W. A., Van De Linde, F .J. G. and Havenith, G. 1995. Effects of Condensation in Clothing on Heat Transfer. *Ergonomics* 38(6): 1114-1131.
26. Lee, S. and Obendorf, S. K. 2007. Barrier Effectiveness and Thermal Comfort of Protective Clothing Materials. *The Journal of the Textile Institute* 98(2): 87-98.
27. W.L. Gore & Associates Inc., 2007. Chemical Splash Fabric. Available from URL: http://www.goreprotectivefabrics.com/cms-images/633/340/GORE(r)%20Chemical%20Splash%20fabric%204%20page%20brochure,0.pdf. 24 October 2016.

28. Avellini, B. A. 1983. Physiological Evaluation of Chemical Protective Clothing. *DTIC Document.* p. 1.
29. Branson, D. H., Dejonge, J. O. and Munson, D. 1986. Thermal Response Associated With Prototype Pesticide Protective Clothing. *Textile Research Journal* 56(1): 27-34.
30. Sloan, J. M., Napadensky, E., Crawford, D. M., and Elabd, Y. A. 2004. Nanostructured Polymer Membranes for Chemical Protective Clothing. *Army Research Lab Aberdeen Proving Ground MD Weapons and Materials Research Directorate*. p. 1-7.
31. Thandavamoorthy, S., Gopinath, N. and Ramkumar, S. S. 2006. Self-Assembled Honeycomb Polyurethane Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science* 101(5): 3121-3124.
32. Phromphen, P., Mao, N., Russell, S. J. and Goswami, P. 2015. Liquid Permeation and Water Vapour Transmission Properties of a Temperature-Sensitive PVDF-g-NIPAAM Barrier Membrane. In: Blaga, M. Editor. Proceeding of 15th Autex World textile Conference; 10-12 June 2015, Bucharest. Romania.

ได้รับบทความวันที่ 1 กรกฎาคม 2559
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 27 ตุลาคม 2559