สวทช NSTDA

NAC2023
18th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๘

วิธีปฏิบัติเกี่ยวกับสุขภาพและความปลอดภัยสำหรับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน

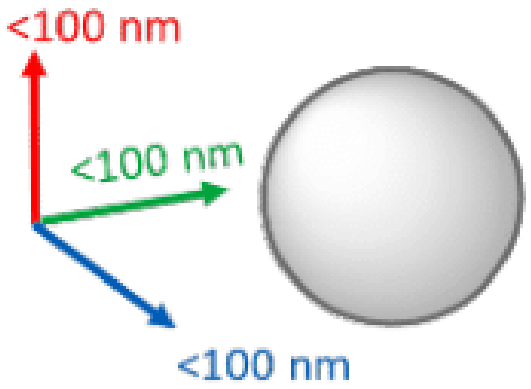
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

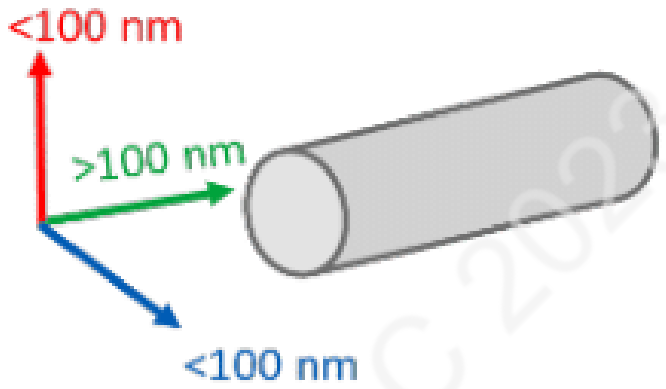
30 มีนาคม 2566

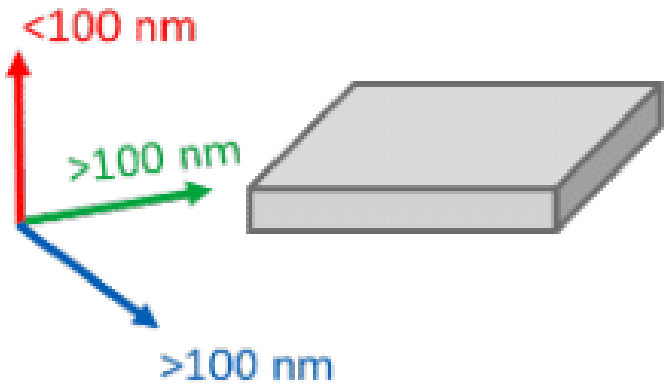
ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงในกระบวนการผลิตวัสดุนาโน

1. นักวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวิจัยและพัฒนา เช่น ผู้ช่วยนักวิจัย และนักศึกษา
2. ผู้ที่ทำงานโดยตรงเกี่ยวกับการผลิตวัสดุนาโน เช่นเจ้าหน้าในกระบวนการผลิต
3. ผู้ที่ทำการตรวจ สอบ และวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุนาโน
4. ผู้ที่นำวัสดุนาโนประเภทวัตถุดิบไปผสมกับสารอื่น ๆ หรือนำไปใช้งานในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ
5. ผู้ที่เข้าไปเกี่ยวข้องกับบริเวณที่มีการใช้งานวัสดุนาโน (ช่างซ่อมบำรุง ฝ่ายอาคารสถานที่)
6. ผู้ที่ทำความสะอาดพื้นที่และทำความสะอาดเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน
7. ผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดของเสีย reuse recover หรือ recycle วัสดุที่มีอนุภาคหรือวัสดุนาโนผสมอยู่

วัสดุนาโน ISO/TS 80004-1:2010





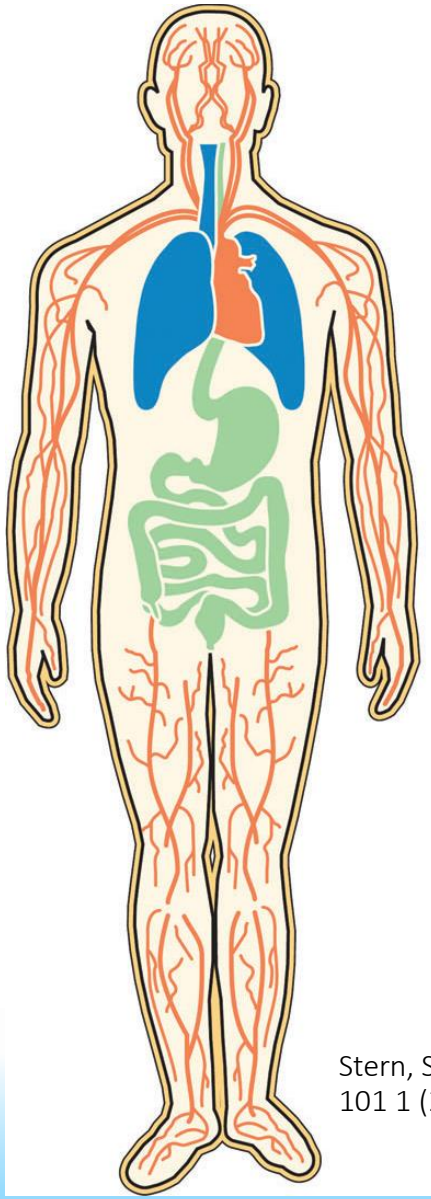


อนุภาคนาโน: 3 มิติ
อยู่ในระดับนาโนเมตร

ท่อนาโน ลวดนาโน: 2 มิติ
อยู่ในระดับนาโนเมตร

แผ่นนาโน ฟิล์มนาโน: 1 มิติ
อยู่ในระดับนาโนเมตร

โอกาสรับสัมผัสอนุภาคนาโนในการทำงาน



ระบบทางเดินหายใจ (Inhalation)

ทางผิวหนัง (Dermal)

ระบบทางเดินอาหาร (Ingestion)

Stern, Stephan T. and Scott E. McNeil. “Nanotechnology safety concerns revisited.” Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology 101 1 (2008): 4-21 .

รูปแบบของวัสดุนาโน

รูปแบบวัสดุนาโน	ความเสี่ยงในการรับสัมผัส	ความเสี่ยง
แบบผงแห้ง	ทางเดินหายใจ ผิวหนัง และทางเดินอาหาร รวมถึงอาจมีความเสี่ยงในการติดไฟ การระเบิด และ การเกิดปฏิกิริยา	สูง
แบบละอองฝอย	ทางเดินหายใจ ผิวหนัง และทางเดินอาหาร	สูง
แบบสารแขวนลอย หรือของเหลว	ผิวหนัง และทางเดินอาหาร การหกกระจาย และการเกิดปฏิกิริยา	ปานกลาง
ฝังตัวหรือผสมอยู่ในของแข็งอื่น ๆ	ทางเดินหายใจ ผิวหนัง และทางเดินอาหาร เมื่อเกิดการกัดกร่อน การบด การเจาะ การสกัด การตัด และการขัดวัสดุ	ต่ำ

แบบผงแห้ง > แบบละอองฝอย >สารแขวนลอย ของเหลว ครีม > วัสดุคอมโพสิต

13 กิจกรรมหลักที่มีการเสี่ยงสัมผัสวัสดุนาโน

1. การเปิดภาชนะบรรจุ (material unpacking)
2. การสังเคราะห์ (synthesis) วัสดุนาโน
3. การชั่ง ตวง วัด (measurement) วัสดุนาโน
4. การทำให้วัสดุนาโนกระจายตัว (dispersing)
5. การผสม (mixing) วัสดุนาโน
6. การฉีดพ่น (spraying) วัสดุนาโน
7. การทำงานด้วยเครื่องจักร (machining) ที่ใช้ในการขึ้นรูป ตัดแต่ง เลื่อย เจาะ ไส กลึง คว้าน ฯลฯ
8. การบรรจุหีบห่อ (packaging) วัสดุนาโน
9. การทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องจักร (machine and equipment cleaning) ที่ใช้กับวัสดุนาโน
10. การทำความสะอาดบริเวณทำงาน (workspace cleaning)
11. การทำความสะอาดวัสดุนาโนที่ฟุ้ง หก ตกหล่น (spill cleaning)
12. การจัดการของเสีย (waste management)
13. การเลิกใช้เครื่องมือเครื่องจักร (equipment decommissioning)

ตัวอย่างการจัดการระบบ

• มีระบบระบายอากาศที่กรองด้วยไส้กรองชนิด HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ก่อนปล่อยอากาศออกภายนอก

• ระบบสังเคราะห์วัสดุนาโน ต้องมีการควบคุมทางวิศวกรรมที่พอเพียง เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับวัสดุนาโนในระหว่างการผลิตและการซ่อมบำรุง เตาปฏิกรณ์ควรตั้งแยกอยู่ในตู้ดูดควัน โดยต่อท่อดูดลมไปยังระบบกรองอากาศที่ใช้ไส้กรองชนิด HEPA

• ผู้ปฏิบัติงานที่ทำงานกับเตาปฏิกรณ์ ต้องสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เช่น อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ เสื้อคลุม ถุงมือ แว่นครอบตา เป็นต้น

• ในบริเวณติดตั้งเตาปฏิกรณ์ ควรมีเครื่องมือวัดปริมาณความเข้มข้นของวัสดุนาโนที่กระจายอยู่ใน อากาศ โดยเครื่องมือนี้ควรสามารถแสดงค่าขณะตรวจวัดเปรียบเทียบกับค่าในการวัดครั้งก่อนได้

• ในบริเวณปฏิบัติงาน ต้องมีระบบป้องกันการระเบิดของฝุ่น โดยลดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต

การป้องกัน

ส่วนคลุมศีรษะเป็นชิ้นเดียวกับชุดป้องกันสารพิษ

ส่วนคลุมศีรษะแนบสนิทกับอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ

มีการเชื่อมรอยต่อระหว่างชุดป้องกันสารพิษกับถุงมือ

มีการเชื่อมรอยต่อระหว่างชุดป้องกันสารพิษกับรองเท้า หรือ ใช้ชุดป้องกันสารพิษที่คลุมตลอดถึงปลายเท้าดังรูป แล้วสวมรองเท้าทับ ตามด้วยถุงหุ้มรองเท้า

การควบคุมทั่วไป

- ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมถุงมือ
- เปิดภาชนะบรรจุในตู้ดูดควัน ที่มีขนาดเหมาะสมกับภาชนะ หรือใช้ลมดูดเฉพาะที่
- ถ้าไม่สามารถหาตู้ดูดควันหรือลมดูดเฉพาะที่ได้ ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เช่น เสื้อคลุม อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ และแว่นครอบตา เป็นต้น

การเฝ้าระวัง

1 . การเฝ้าระวังอันตราย (Hazard surveillance) คือการกำหนดสิ่งที่เป็นอันตรายที่ต้องติดตาม และดำเนินการเฝ้าระวังปริมาณความเข้มข้นวัสดุนาโนและวิธีการสัมผัสกับผู้ปฏิบัติงาน

2. การเฝ้าระวังทางการแพทย์ (Medical surveillance) คือการติดตามเฝ้าระวังระยะยาว (long-term surveillance) ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของผู้ปฏิบัติงานทั้งทางชีวภาพและทางสุขภาพ รวมทั้งการคัดกรอง (Medical screening) เพื่อหาอาการแรกเริ่ม (early sign) ของโรคหรืออาการผิดปกติที่อาจเกิดจากการสัมผัสกับสิ่งที่เป็นอันตราย

การเฝ้าระวังอันตราย

1. รวบรวมและเก็บข้อมูล
2. ประเมินอันตราย
3. การวิเคราะห์การป้องกันอันตรายที่เหมาะสม
4. การตรวจสอบประสิทธิภาพการป้องกันอันตราย
5. การจัดทำเอกสารบันทึก

การเฝ้าระวังทางการแพทย์

- การจัดแบ่งกลุ่มผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน
- การตรวจเบื้องต้นและซักประวัติทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน
- การตรวจร่างกายเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งการตรวจคัดกรองที่จำเป็น
- การตรวจร่างกายอย่างละเอียดแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นกับผลการตรวจร่างกายเบื้องต้นและการตรวจคัดกรอง
- การเฝ้าตรวจสอบและติดตามอย่างละเอียดทางการแพทย์หลังจากการสัมผัสกับวัสดุนาโน
- การวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจร่างกายอย่างต่อเนื่อง
- การฝึกหัดให้ผู้ปฏิบัติงานทราบลักษณะอาการที่เกิดขึ้น เนื่องจากการสัมผัสกับวัสดุนาโนในที่ทำงาน
- การจัดทำรายงานผลการตรวจเป็นลายลักษณ์อักษร
- การตอบสนองของนายจ้างต่อการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

ข้อกำหนดพิเศษเกี่ยวกับการทำงานที่มีการใช้วัสดุนาโน

Product	Proposed	Organization
Carbon nanotubes (SWCNT and MWCNT)	1 μg/m^3	NIOSH
Fibrous nanomaterial	0.1 fiber/ml	Safe work Australia
TiO_2 (10-100 nm)	0.3 mg/m^3	NIOSH
TiO_2 (21 nm)	1.2 mg/m^3	AIST
Fullerenes	0.8 mg/m^3	AIST
Insoluble nanomaterials (<100 nm)	20,000 part/ml	Dutch Social Partner
Soluble nanomaterials	0.5 ×TLV*	Dutch Social Partner

* TLV : threshold limit value

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) USA

Carbon nanotube (CNT) and carbon nanofibers (CNF)
A recommended exposure limit (REL) of 1 μg/m^3 elemental carbon as a irrespirable mass

Nano–sized Titanium dioxide
A recommended exposure limit particles <100 nm not excess 0.3 mg/m^3

Silver Dust	limitation 100 mg/m^3
Soluble Silver	limitation 10 mg/m^3

NAC 2023

Limitation of nanoparticles exposure /8 h.

1. For metals, metal oxides and other biopersistent granular nanomaterials with a density of >6,000 kg/m^3 a particle number concentration of 20,000 particles/cm^3 in the range of measurement between 1 and 100 nm should not be exceeded;

2. For biopersistent granular nanomaterials with a density below 6,000 kg/m^3 , a particle number concentration of 40,000 particles/cm^3 in the measured range between 1 and 100 nm should not be exceeded;

3. For CNT for which no such manufacturer's declaration is available, a provisional fiber concentration of 0.01 f/cm^3 should not be exceeded, based upon the exposure risk ratio for asbestos (BAuA 2008c). It is recommended that only CNTs that have been tested for adverse health effects similar to those of asbestos (according to the manufacturer's declaration) to be used;

4. For nanoscale liquid particles (such as fats, hydrocarbons, siloxanes), the applicable maximum workplace limit (MAK) or workplace limit (AGW) values should be employed owing to the absence of effects of solid particles;

ข้อควรทราบ

ตามกฎหมายความปลอดภัยในการทำงาน ของกระทรวงแรงงาน ได้กำหนดให้ตลอด ระยะเวลาการทำงานปกติของลูกจ้างห้ามลูกจ้างทำงานที่มีปริมาณฝุ่นแร่ใยหินในบรรยากาศ เกินกว่า 5 เส้นใยต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนค่ามาตรฐานความปลอดภัยตาม มาตรฐานสากล (ACGIH-TLV) ปีค.ศ.2006 กำหนดให้ตลอดระยะเวลาการทำงานปกติของ ลูกจ้างห้ามมีฝุ่นแร่ใยหินในบรรยากาศการทำงานมีปริมาณเกินกว่า 0.1 เส้นใยต่อปริมาตร อากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สังกะสีออกไซด์ (zinc oxide)
- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้ - inhalable dust 15 mg/m^3
- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ - respirable dust 5 mg/m^3
- ฟูมของสังกะสีออกไซด์ 5 mg/m^3

แคลเซียม คาร์บอเนท (calcium carbonate)
- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ - inhalable dust 15 mg/m^3
- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ - respirable dust 5 mg/m^3

ตัวอย่างการติดฉลากของเสียวัสดุนาโน

ผู้รับผิดขอบ/เบอร์โทร

รหัสฉลาก/รหัสภาชนะ

ฉลากของเสียอันตราย

วัสดุนาโน (Nanomaterials)

ชื่อสาร (ประเภท และชนิดของวัสดุ).....

ชื่อบริษัท.....

ฝ่าย/หน่วย.....

เบอร์โทรติดต่อ.....

ส่วนประกอบของของเสีย

.....

.....

.....

ปริมาณของเสีย.....

วันที่เริ่มบรรจุของเสีย.....

วันที่หยุดการบรรจุของเสีย.....

NAC 2023

อุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโน

Case No.	1	2	3	4	5	6	7
NMs involved in accidents	Aluminium	Aluminium	Nanostructured explosive material	Polyaniline (PANI, dried)	Carbon Black	Titanium	Titanium
Size and morphology	Aluminium flakes (about 100 nm thickness)	Not specified	Not specified	PANI nanowire (about 150 nm diameter and several micron length)	Not specified	75 nm	30 – 50 nm
Specific surface area of NMs	7.5 m^2/g	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified
Year of occurrence	1973	2005	2008	2011	2012	2012	2012
Facility and sector	Industry	Industry	Laboratory / Academia	Laboratory / Academia	Tire company / Industry	Laboratory / Academia	Laboratory / Academia
Cause of the accident	The design of the nitrogen inserting system of the mixer was inadequate.	An investigation conducted on three nanoscale attrition millers revealed that all three had undergone metal nanopowder explosions in the past. All factories happen dust explosion when raw material containing Al feed to a nano-powder grinder.	Not specified (A graduate student was working on nanostructured explosive materials at the university's Institute of Explosive Materials.)	During weighing, when some $H_2O_2/HClO_4$ post-treated dried PANI (Polyaniline, about 6.8 - 8.5 g) powder was put onto the balance, an explosion broke out abruptly and all PANI was burned to ashes.	A leak subsequent to a 15 to 20-cm longitudinal tear on one of the pneumatic pipes.	Electrostatic charges of approximately 1.8 kV ignited a fire when an operator moved 75-nm Ti particles from a polyethylene bag to a plastic plate	Titanium NMs were ignited when a researcher was using a spatula to remove 2 grams of powder from a 50-gram bag. The cause of the fire was presumed to be a static charge or chemical contamination of the spatula.
Consequences occurred	explosion	(minor) explosion	explsion	explosion	accidental release (5 tonnes of Carbon Black)	fire	fire
Human damage	5 deaths 4 injuries	Not specified	1 injury (lost both hands and an eye)	1 injury (burn)	Not specified	Not specified	Not specified
Property damage	A substantial part of the plant was totally demolished	Not specified	Not specified	Not specified	Fouling the roofs of facility buildings, about 100 dwellings, public buildings, vehicles, gardens, the adjoining prairie land and grazing cattle	Not specified	Not specified
Country	Norway	Chinese Taipei	Poland	China	France	Chinese Taipei	United States
Information source (type and reference)	Book (Eckhoff, 2003[27])	Academic journal (Wu et al., 2010[33])	Newspaper (online) (Jyllian N. Kemsley, 2008[48])	Academic Journal (Zhang et al., 2011[49])	Webpage (BARPI, n.d.[50])	Academic Journal (Wu, Wu and Ko, 2014[52])	University newsletter (The Chemical Safety Mechanism, 2012[53])

(ENV/CBC/MONO(2022)19)

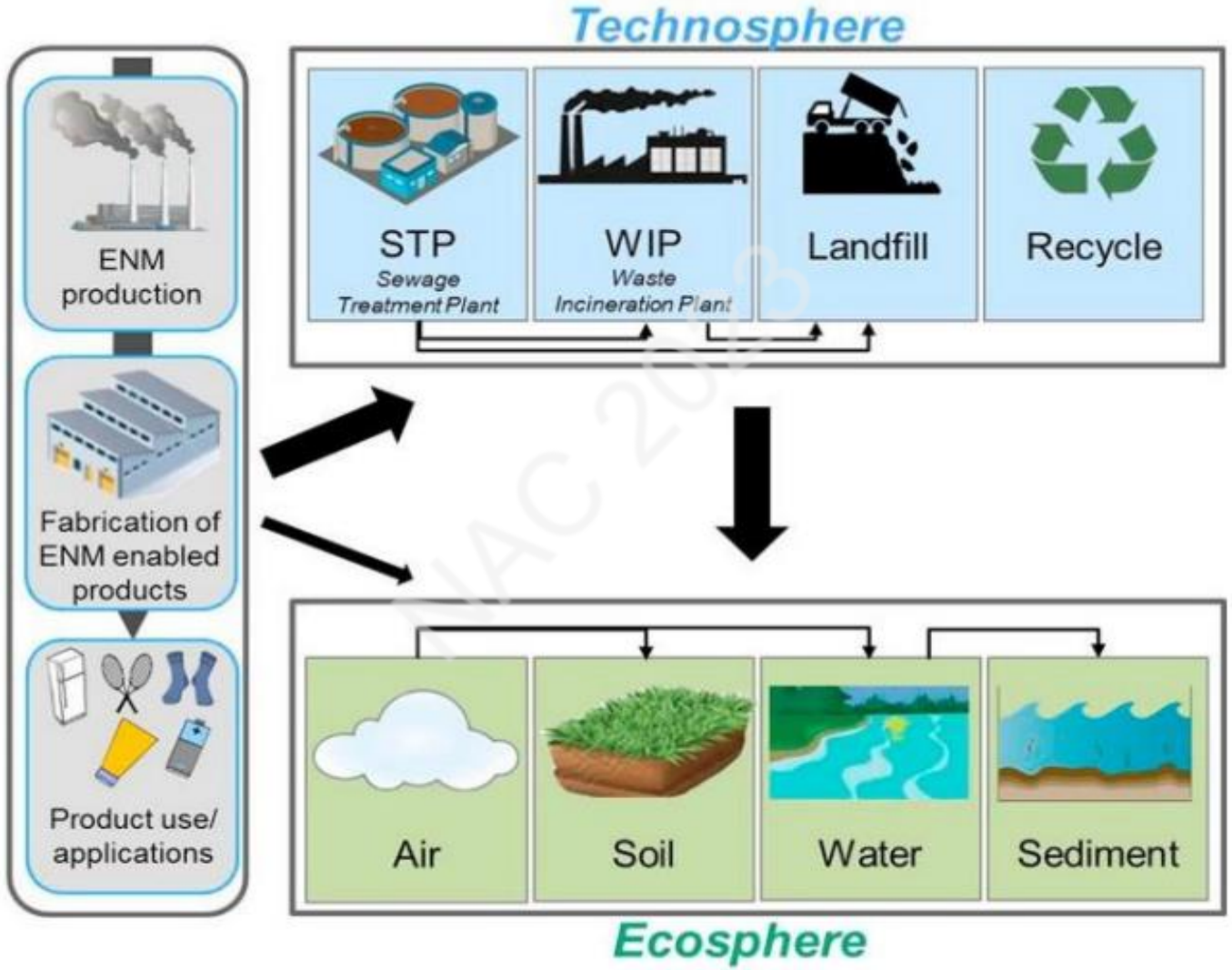
แผนระงับเหตุ และบรรเทา

1. แผนปฐมพยาบาล เป็นแผนการพยาบาลขั้นต้นที่สามารถทำได้ในโรงงาน เพื่อลดความบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้อง

2. แผนอพยพ ในกรณีที่วัสดุนาโนหกรั่วไหลเป็นปริมาณมาก หรือการระงับเหตุตามแผนไม่เป็นผลอาจต้องมีการอพยพบุคลากร สิ่งของเครื่องมือเครื่องใช้ ตลอดจนสารเคมีอื่นๆ ไม่ให้ก่ออันตรายซ้ำเติม

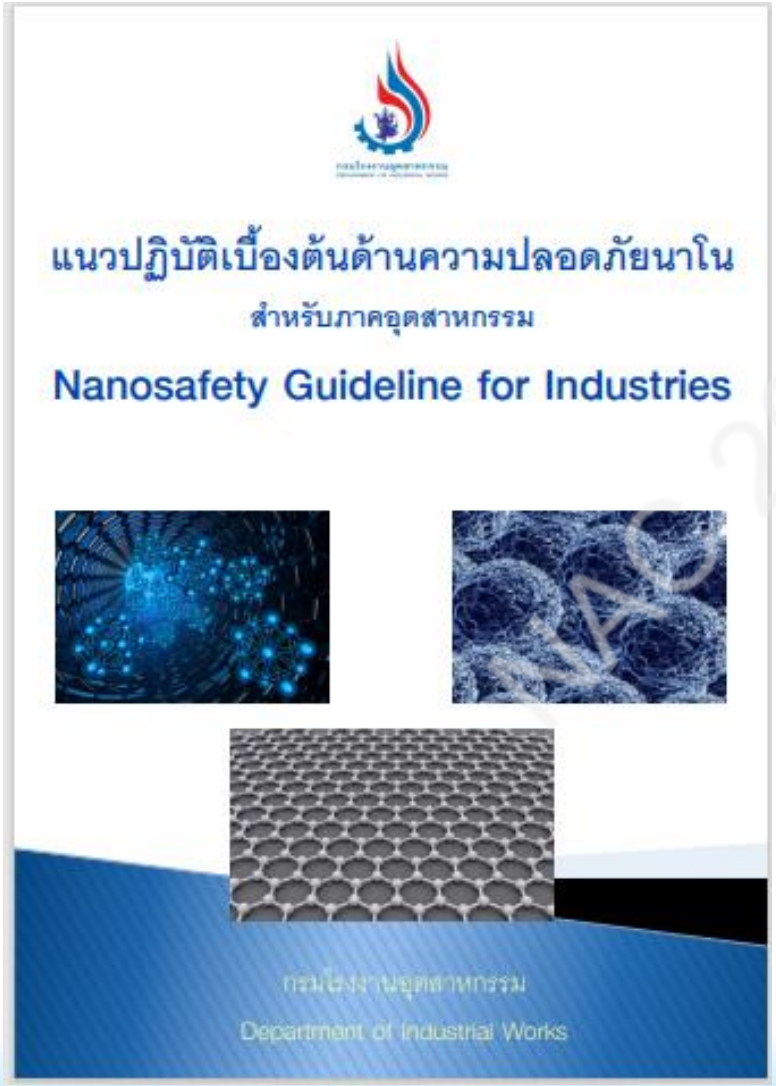
3. แผนบรรเทาความเสียหาย การชดเชย ผู้ที่ปฏิบัติงาน สถานที่ และสภาพแวดล้อม

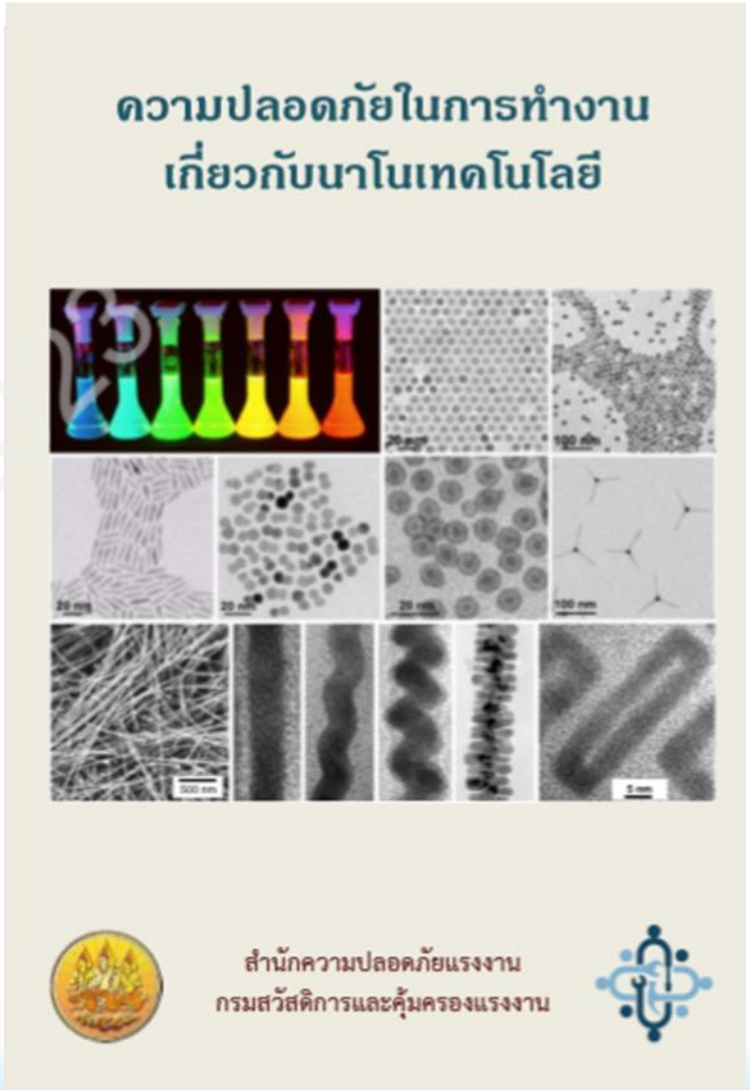
การใช้นาโนเทคโนโลยีที่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัย



Source: (Sun et al., 2014[61])

คู่มือ


แนวปฏิบัติเบื้องต้นด้านความปลอดภัยนาโน
สำหรับภาคอุตสาหกรรม
Nanosafety Guideline for Industries
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
Department of Industrial Works


ความปลอดภัยในการทำงาน
เกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี
สำนักความปลอดภัยแรงงาน
กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

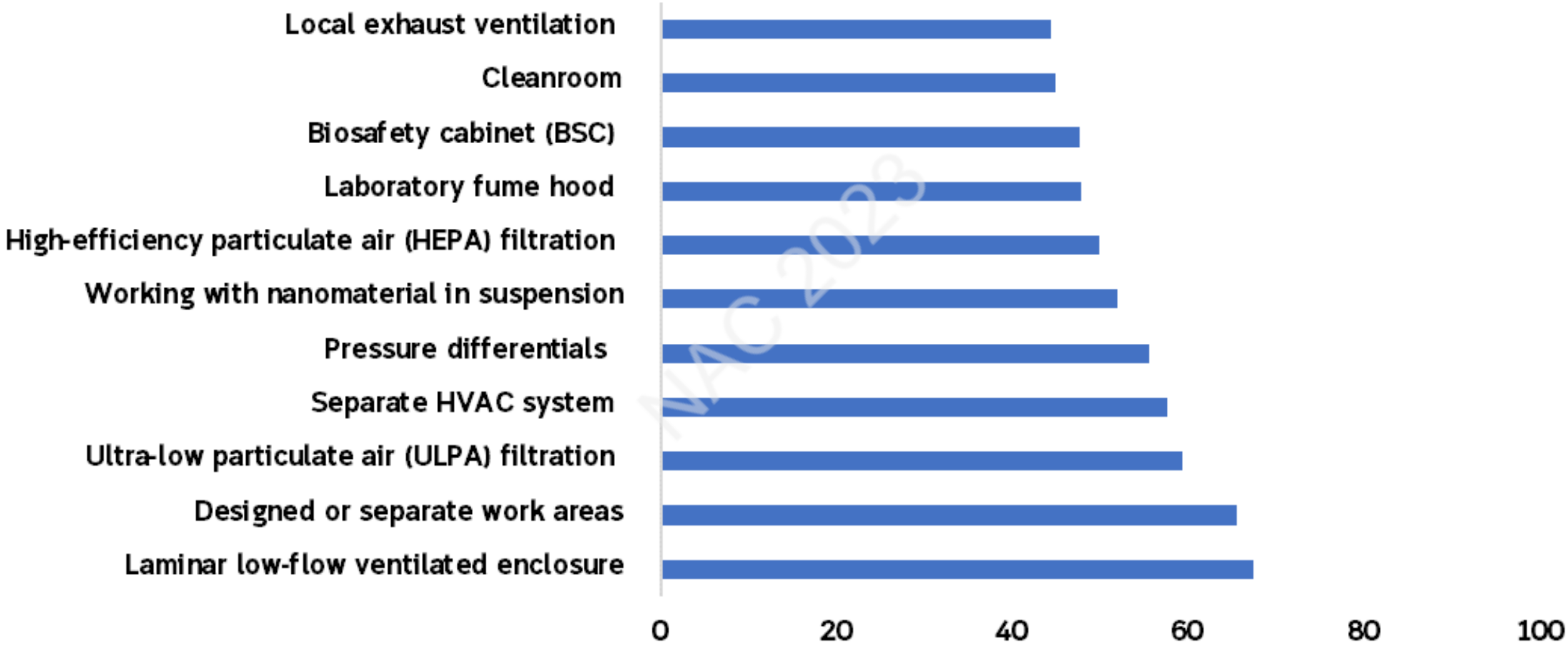
การสำรวจ U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (2019)

จำนวนบริษัทที่ร่วมการสำรวจทั้งสิ้น 45 บริษัท

- บริษัทส่วนใหญ่ที่ร่วมทำสำรวจ มีพนักงานประมาณ 250 คน
- บริษัทส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานวัสดุนาโน จะมีผู้ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนาโนโดยตรง ประมาณ 3 - 6 คน
- บริษัทที่รวมทำการสำรวจมีการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับความเสี่ยง และการทำงานอย่างปลอดภัย 90 %
- มีการมอบหมายผู้รับผิดชอบในการประเมินความปลอดภัยและความเสี่ยง อย่างเฉพาะเจาะจงอย่างน้อย 1 คน

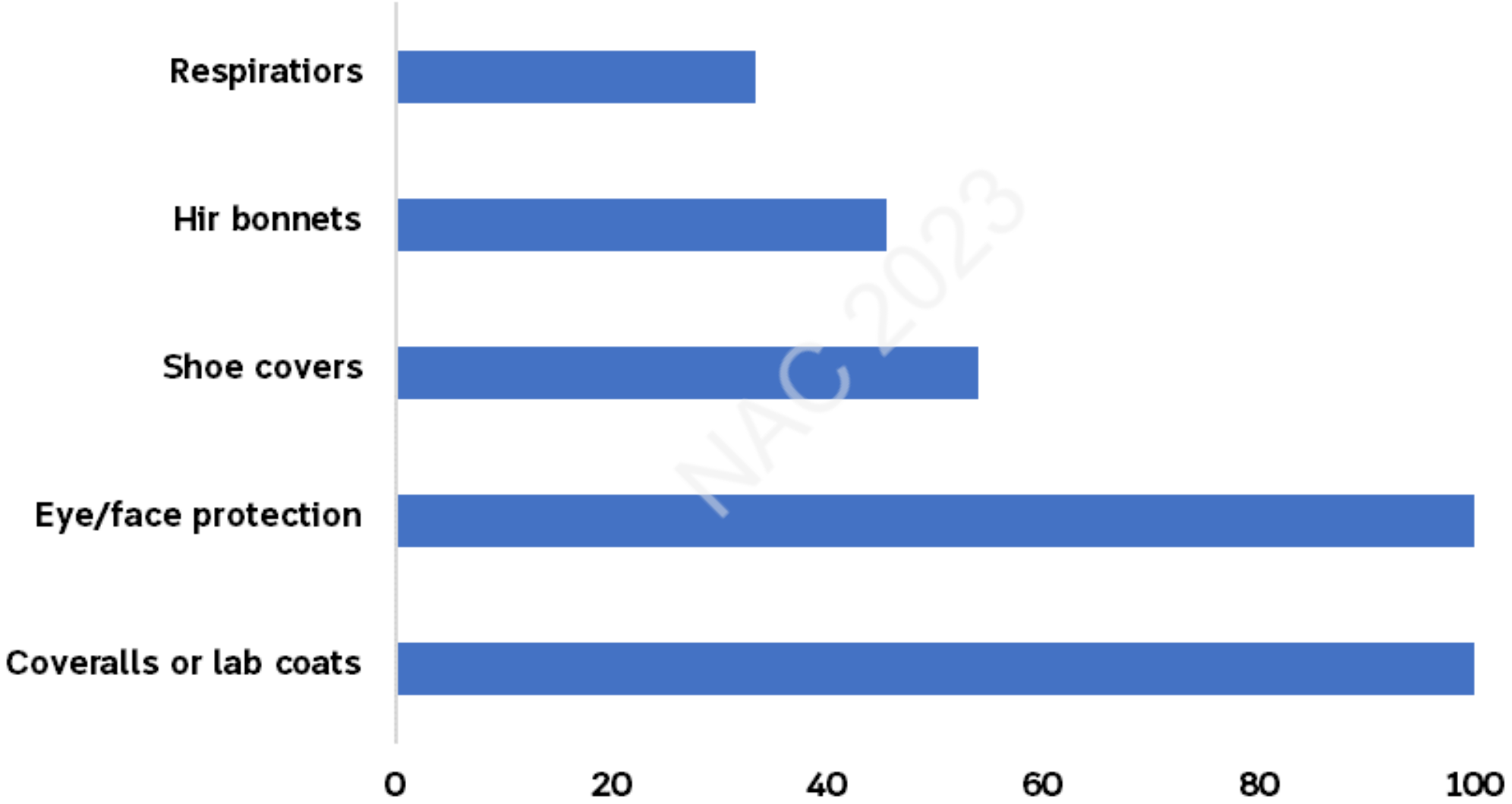
Neu-Baker NM, Eastlake A, Hodson L. Results of the 2019 Survey of Engineered Nanomaterial Occupational Health and Safety Practices. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jun 23;19(13):7676. doi: 10.3390/ijerph19137676. PMID: 35805335; PMCID: PMC9265280.

การควบคุมทางวิศวกรรม

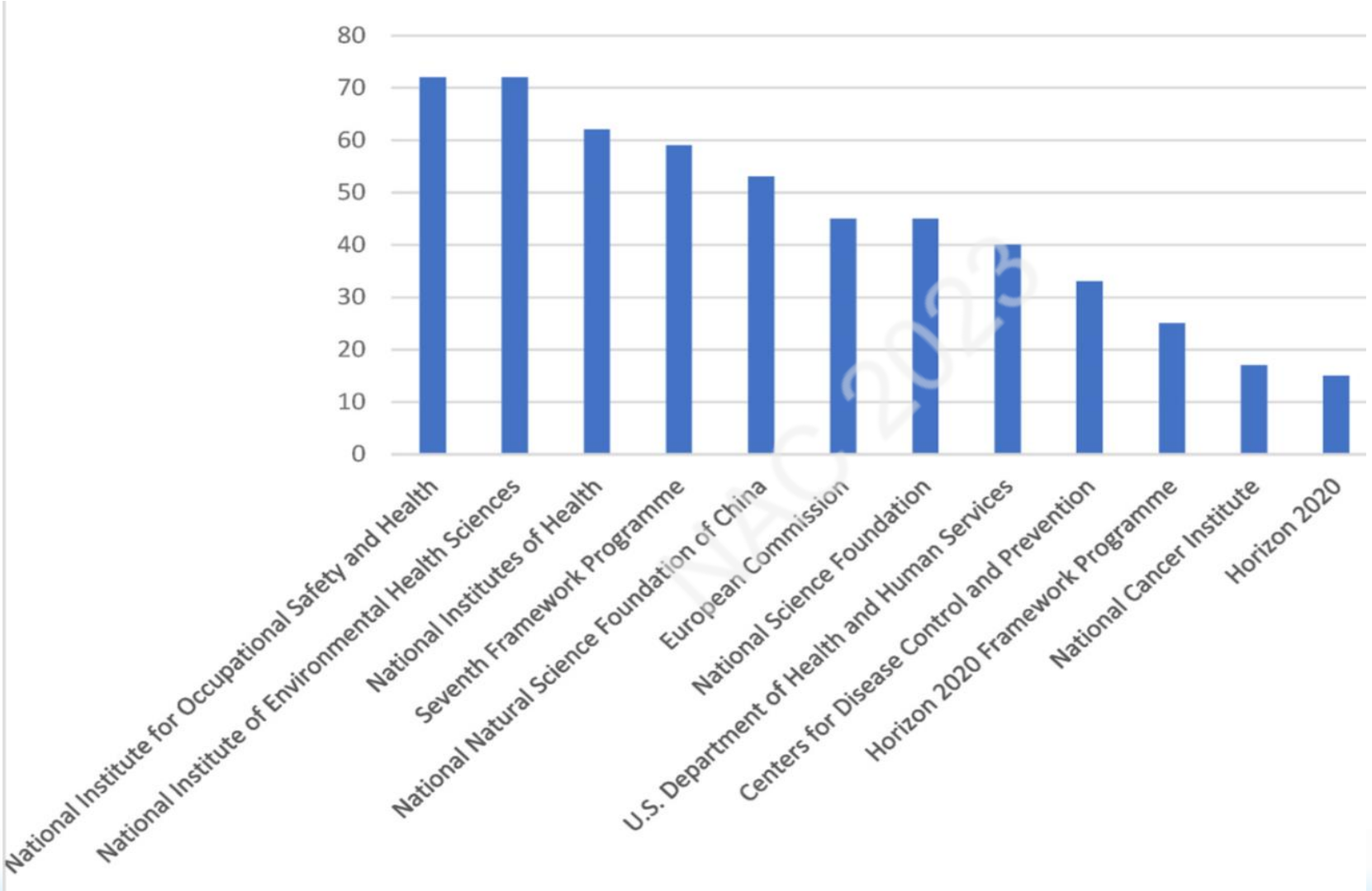


Neu-Baker NM, Eastlake A, Hodson L. Results of the 2019 Survey of Engineered Nanomaterial Occupational Health and Safety Practices. Int J Environ Res Public Health. 2022 Jun 23;19(13):7676. doi: 10.3390/ijerph19137676. PMID: 35805335; PMCID: PMC9265280.

Personal Protective Equipment (PPE)



Top 10 สถาบันที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยีในสถานที่ทำงาน



(ENV/CBC/MONO(2022)19)

Thank you for your attention

NAC 2023

แบบประเมินผลการประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ 18

NAC2023 18th NSTDA Annual Conference การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๘

SE29 : ความปลอดภัยนาโนเทคโนโลยีและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นขนาดเล็ก

Passcode: nac