รายงานสัมมนา

The recovery of latent fingermarks and DNA using a silicone-based casting material

การคงสภาพของลายนิ้วมือแฝงและ DNA โดยใช้วัสดุหล่อที่มีส่วนผสมของซิลิโคน

ผู้ให้สัมมนา

นายสุภัทร ตันติวิทยมาศ

รหัสประจำตัว 52312342

อาจารย์ที่ปรึกษา

พ.ต.ท. กฤษฎา ริบรวมทรัพย์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 510 701

สัมมนานิติวิทยาศาสตร์ 1 ภาคต้น ปีการศึกษา 2553

สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายงานสัมมนา

The recovery of latent fingermarks and DNA using a silicone-based casting material

การคงสภาพของลายนิ้วมือแฝงและ DNA โดยใช้วัสดุหล่อที่มีส่วนผสมของซิลิโคน

ผู้ให้สัมมนา

นายสุภัทร ตันติวิทยมาศ

รหัสประจำตัว 52312342

อาจารย์ที่ปรึกษา

พ.ต.ท. กฤษฎา ริบรวมทรัพย์

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 510 701

สัมมนานิติวิทยาศาสตร์ 1 ภาคต้น ปีการศึกษา 2553

สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

การคงสภาพของลายนิ้วมือแฝงและ DNA โดยใช้วัสดุหล่อที่มีส่วนผสมของซิลิโคน

The recovery of latent fingermarks and DNA using a silicone-based casting material

510 702 **สัมมนาสำหรับนิติวิทยาศาสตร์1 ภาคต้น ปีการศึกษา** 2553

ผู้ให้สัมมนา นายสุภัทร ตันติวิทยมาศ รหัส 52312342

อาจารย์ที่ปรึกษา พันตำรวจโทกฤษฎา ริบรวมทรัพย์

วันที่ 17 **กรกฎาคม** 2553 **เวลา** 09.00-12.00 **น. ห้อง** 4205 **อาคารวิทยาศาสตร์** 4

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ได้ผลในการคงสภาพลายพิมพ์นิ้วมือแฝงที่เก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุ หนึ่งในวิธีการที่ใช้ได้ผลคือการใช้วัสดุหล่อในการเก็บร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือแฝง วัสดุหล่อนั้นมีความเหมาะสมในคดีที่ วิธีการอื่นๆอาจมีการทำลายหลักฐาน ไม่สามารถใช้ได้หรือมีข้อจำกัดกับสถานที่เกิ ดเหตุ รวมทั้งในคดีที่หลักฐานมีมูลค่ามาก หรือไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ นอกจากนี้จุดเด่นที่สำคัญของการใช้วัสดุหล่อในการเก็บร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือแฝงคือสามารถนำเข้ากระบวนการการสกัด DNA ได้โดยตรง

ในการทดลองนี้ได้ใช้วัสดุหล่อยี่ห้อ Isomark™ ที่มีส่วนผสมของซิลิโคน มาใช้ทดลองในการเก็บลายพิมพ์นิ้วมือแฝงบนพื้นผิวหลายของวัตถุชนิด พิมพ์หล่อและวัตถุได้ถูกนำมารมในไอของสาร Cyanoacrylate ภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุมเพื่อเพิ่มความคมชัด พบว่าพื้นผิวที่เรียบและไม่มีรูพรุนสามารถเก็บลายพิมพ์นิ้วมือแฝงได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนบนพื้นผิวแบบกึ่งรูพรุนพบว่าไม่เหมาะสมกับการเก็บลายพิมพ์นิ้วมือแฝงด้วยวิธีนี้

การสกัด DNA ทั้งจากพิมพ์หล่อและวัตถุ จากนั้นใช้ชุดสกัด QIamp® Mini Extraction kits และนำไปเข้ากระบวนการ DNA Amplifying และ DNA Profiling พบว่าได้สามารถทำ DNA Profile ที่สมบูรณ์ได้ 34% จากตัวอย่างที่ทำการสกัดทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

1. Rita Shalhoub, Ignacio Quinones, Carole Ames. *The recovery of latent fingermarks and DNA using a silicone-based casting material*. 2008, Forensic Science International 178, 199 -203

2. Jonathan Sewell, Ignacio Quinones, Carole Ames. Recovery of DNA and fingerprints from touched documents. 2008, Forensic Science International Genetics 2, 281–5

3. B.C.M. Pang, B.K.K. Cheung. Double swab technique for collecting touched evidence. 2007, Legal Medicine 9, 181–4

คำนำ

การทำสัมมนาเรื่อง การคงสภาพของลายนิ้วมือแฝงและ DNA โดยใช้วัสดุหล่อที่มีส่วนผสมของซิลิโคน (The recovery of latent fingermarks and DNA using a silicone-based casting material) ในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์แก่บุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่ให้ความสนใจ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายสุภัทร ตันติวิทยมาศ

รหัสประจำตัว 52312342

กรกฎาคม 2553

บทที่ 1

บทนำ

1.1 **สถานที่เกิดเหตุ** (Crime Scene)

สถานที่เกิดเหตุคือสถานที่ที่มีการกระทำผิดกฎหมายเกิดขึ้น เป็นพื้นที่ ทีมีความสำคัญยิ่ง เนื่องจากเป็นพื้นที่ ที่สามารถรวบรวบทั้งหลักฐานทางกายภาพและทางชีวภาพของการก่อความผิดกฎหมายได้ สถานที่เกิดเหตุนั้นมีการป้องกันที่แน่นหน้า ก่อนจะทำการคืนพื้นที่ เพื่อมิให้เกิดการปนเปื้อนและการรบกวนวัตถุพยาน ทั้งนี้เพื่อความน่าเชื่อถือของพยาน หลักฐานที่พบ ณ ที่เกิดเหตุนั้นๆ

1.2 **การตรวจสถานที่เกิดเหตุ** (Crime Scene Investigation)

เป็นหน้าที่ของพนักงานสอบสวน ในประเทศไทยกำหนดให้การตรวจสถานที่เกิดเหตุเป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ซึ่งประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ทำหน้าที่พนักงานสอบสวน ร่วมกับเจ้าหน้าที่ตำรวจจากกองพิสูจน์หลักฐาน ที่จะดำเนินการตรวจหาวัตถุพยานหรือพยานทางกายภาพอื่นๆ เมื่อเกิดอาชญากรรมขึ้นในทุกกรณีรวมทั้งการตายด้วย ซึ่งในอนาคตถ้าหากระบบนิติเวชศาสตร์ในประเทศไทยมีการปรับเปลี่ยนไปจากเดิม แพทย์อาจจะต้องรับผิดชอบในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุในกรณีที่มีการตายก็ได้

การตรวจสถานที่เกิดเหตุสำหรับพนักงานสอบสวน เมื่อได้รับแจ้งเหตุกรณีมีคนตายหรือการเกิดอุบัติเหตุ พนักงานสอบสวนต้องประสานงานร่วมกับแพทย์นิติเวชผู้รับผิดชอบในเขตพื้นที่ เพื่อทำการชันสูตรพลิกศพ พร้อมทั้งมีการเตรียมการและมีการวางแผนการดำเนินการ เตรียมเครื่องมือการตรวจให้พร้อม เตรียมการสำหรับอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากในสถานที่เกิดเหตุย่อมไม่เป็นสถานที่ปลอดภัยเสมอไป พนักงานสอบสวนจะต้องเข้าค้นหาพยานหลักฐานควรต้องทำให้เป็นระบบที่เตรียมการ อย่างเคร่งครัด รวมทั้งการตรวจหาอาวุธและวัตถุพยาน ฯลฯ

ถ้าในสถานที่เกิดเหตุมีร่องรอยของการต่อสู้ พนักงานสอบสวนและแพทย์ผู้ทำการชันสูตรพลิกศพต้องตรวจหาร่องรอยการต่อสู้ งัดแงะ ฯลฯ ในสถานที่เกิดเหตุ และต้องคอยระมัดระวังดูแลรักษาสถานที่เกิดเหตุ ไม่ให้บุคคลภายนอกที่ไม่ข้องเกี่ยวกับคดีเข้าไปวุ่นวายภายในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งการปล่อยบุคคลภายนอกที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับคดีเข้าไปวุ่นวาย อาจทำลายพยานหลักฐานที่ปรากฏใน

สถานที่เกิดเหตุได้โดยไม่ตั้งใจ เพราะฉะนั้นพนักงานสอบสวนต้องเข้มงวดในการกั้นสถานที่เกิดเหตุ รวมทั้งต้องดำเนินการเกี่ยวกับผู้บาดเจ็บหรือศพอีกด้วย

พยานหลักฐานที่พบในที่เกิดเหตุนั้นพบได้มากมายหลายชนิดและประเภท สิ่งที่พื้นฐานที่สุดที่มีการเก็บตัวอย่างกันมาอย่างยาวนานแล้วคือลายพิมพ์นิ้วมือ

1.3 **ลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint)**

ผิวหนังบริเวณฝ่ามือฝ่าเท้าของเรา นอกจากจะมีความหนามากกว่าส่วนอื่นแล้วก็ยังมีส่วนที่เป็นสัน (Ridge –รอยนูนที่อยู่สูงกว่าผิวหนังส่วนนอก) และส่วนที่เป็นร่อง (Furrow –รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน) ซึ่งจะประกอบขึ้นเป็นลวดลายที่ไม่ซ้ำกันเลย ไม่ว่าจะเป็นลายที่บริเวณปลายนิ้ว ฝ่ามือและฝ่าเท้าลายเส้นผิวหนัง (Dermal Ridge, Dermatoglyphics) รวมถึง ลายเส้นบนฝ่ามือ (Palmprint) ลายนิ้วมือ (Fingerprint) ลายฝ่าเท้า (Footprint) มีลักษณะเป็นเส้นนูนปรากฏบนผิวหนังนิ้วมือ และนิ้วเท้าของทุกคนเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล แม้แต่ฝาแฝดที่ ก็มีลักษณะลายเส้นผิวหนังแตกต่างกันการสร้างลายเส้นบนนิ้วมือถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมร่างก ายมากถึง 7 ตำแหน่ง และเป็นการถ่ายทอดทางพันธุกรรมที่สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลร่วมด้วย (Polygenic Trait, Multifactorial Inheritance) ยีนหลายคู่มีปฏิกิริยาร่วมกับสิ่งแวดล้อมในระยะตัวอ่อนในครรภ์ (Prenatal Stress) มีผลให้แต่ละคนมีเส้นลายนิ้วมือที่แตกต่างกันไป จากการศึกษาของเพนโรส และโอฮารา (Penrose and Ohara) โอคาจิมา (Okajima) และบาคเลอร์ (Bakler) พบว่าลายเส้นบนนิ้วมือเริ่มสร้างขึ้นประมาณสัปดาห์ที่ 10 ถึง 11 หลังจากที่ไข่ผสมกับสเปิร์ม ในช่วงเวลาดังกล่าวลายเส้นบนผิวหนังปรากฏเป็นครั้งแรกในบริเวณผิวหนังภายนอก (Basal Layer of Epidermis) มีชื่อเรียกว่าลายเส้นปฐมภูมิ (Primary Ridge) แล้วเจริญเติบโตต่อไปจนกระทั่งประมาณสัปดาห์ที่ 14 ซึ่งจะเป็นช่วงที่ต่อมเหงื่อเริ่มเกิดขึ้นตามแนวลายเส้นปฐมภูมิบนกลางฝ่ามือ (Primary Ridge Formation Creases) แล้วลายเส้นทุติยภูมิ (Secondary Ridge) จึงเริ่มเกิดขึ้นระหว่างลายเส้นปฐมภูมินั้นจนกระทั่งประมาณสัปดาห์ที่ 24 ถึง 25 ลายนิ้วมืออาจจำแนกโดยละเอียดได้ 9 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. โค้งราบ (Plain Arch) คือลักษณะของลายเส้นในลายนิ้วมือ ที่ตั้งต้นจากขอบเส้นข้างหนึ่ง แล้ววิ่งหรือไหลออกไปอีกข้างหนึ่ง ลายนิ้วมือแบบโค้งราบนี้ จัดเป็นลักษณะลายเส้นชนิดที่ดูได้ง่ายที่สุดกว่า

บรรดาลายเส้นในลายนิ้วมือทุกชนิด ไม่มีเส้นเกือกม้า ไม่เกิดมุมแหลมคมที่เห็นได้ชัดตรงกลาง หรือไม่มีเส้นพุ่งสูงขึ้นตรงกลาง ไม่มีจุดสันดอน ดังนั้นจำนวนเส้นลายนิ้วมือจึงเป็นศูนย์

2. โค้งกระโจม (Tented Arch) คือ ลักษณะลายเส้นในลายนิ้วมือชนิดโค้งราบนั่นเอง หากแต่มีลักษณะแตกต่างกับโค้งราบที่สำคัญ ก็คือ

2.1 มีลายเส้นเส้นหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งอยู่ตอนกลางไม่ได้วิ่งหรือไหลออกไปยังอีกข้างหนึ่ง

2.2 ลายเส้นที่อยู่ตรงกลางของลายนิ้วมือ เส้นหนึ่งหรือมากกว่า เกิดเป็นเส้นพุ่งขึ้นจากแนวนอน

2.3 มีเส้นสองเส้นมาพบกันตรงกลางเป็นมุมแหลมคมหรือมุมฉาก

3. มัดหวายปัดขวา (Right Slant Loop หรือ Radial Loop) มัดหวายรูปใดที่มีปลายเส้นเกือกม้าปัดปลายไปทางมือขวา หรือนิ้วหัวแม่มือของมือนั้นเมื่อหงายมือ เรียกว่ามัดหวายปัดขวา หรือมัดหวายปัดหัวแม่มือ

4. มัดหวายปัดซ้าย (Left slant loop หรือ Ulnar loop) มัดหวายรูปใดที่มีปลายเส้นเกือกม้าปัดปลายไปทางมือซ้าย หรือทางนิ้วก้อยของมือนั้นเมื่อหงายมือ เรียกว่ามัดหวายปัดซ้าย หรือมัดหวายปัดก้อยลายนิ้วมือแบบมัดหวายมีอยู่ประมาณ 65 % ของลายนิ้วมือทุกชนิดรวมกันในชาว ตะวันตก แต่ในคนไทยมีลายนิ้วมือแบบมัดหวายประมาณ 53% ของแบบแผนลายนิ้วมือทุกชนิด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากกว่าลายนิ้วมือประเภทอื่นๆ

5. ก้นหอยธรรมดา (Plain Whorl) คือ ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร วงจรนี้อาจมีลักษณะเหมือนลานนาฬิกา เหมือนรูปไข่ เหมือนวงกลม ลักษณะสำคัญได้แก่

5.1 ต้องมีจุดสันดอน 2 แห่ง และหน้าจุดสันดอนเข้าไปจะต้องมีรูปวงจรหรือเส้นเวียนอยู่ข้างหน้าจุดสันดอนทั้ง 2 จุด

5.2 ถ้าลากเส้นสมมุติจากจุดสันดอนข้างหนึ่งไปยังสันดอนอีกข้างหนึ่ง เส้นสมมุติจะต้องสัมผัสเส้นวงจรหน้าจุดสันดอนทั้ง 2 ข้างอย่างน้อย 1 เส้น

6. ก้นหอยกระเป๋ากลาง (Central Pocket Loop Whorl) คือ ลายนิ้วมือแบบก้นหอยธรรมดานั่นเองแต่ผิดกันตรงที่ลากเส้นสมมุติจากสันดอนหนึ่งไปยังสันดอนหนึ่ง เส้นสมมุติจะไม่สัมผัสกับเส้นวงจรที่อยู่ตอนใน

7. ก้นหอยกระเป๋าข้าง (Lateral Pocket Loop) คือ ลายนิ้วมือชนิดมัดหวายคู่ แต่มีสันดอนอยู่ข้างเดียวกัน

8. มัดหวายคู่ หรือมัดหวายแฝด (Double Loop / Twin Loop) คือ ลายนิ้วมือที่มีรูปคล้ายกับลายนิ้วมือแบบมัดหวาย 2 รูป มากอดหรือมากล้ำกัน เป็นลายนิ้วมือที่มีสันดอน 2 สันดอน มัดหวาย 2 รูปที่ปรากฏนี้ไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากัน

9. ซับซ้อน (Accidental Whorl) เป็นลายนิ้วมือที่ไม่เหมือนลายนิ้วมือชนิดอื่นที่กล่าวมาแล้ว ไม่สามารถจัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะ เป็นลายนิ้วมือที่ประกอบด้วยลายนิ้วมือแบบผสมกัน และมีสันดอน 2 สันดอน หรือมากกว่า

คนเรารู้จักใช้ลายนิ้วมือให้เป็นประโยชน์กันมานานแล้ว โดยชาวจีนและชาวอัสซีเรียนจะเป็นกลุ่มแรกที่ใช้รอยพิมพ์ของลายนิ้วมือบนดินเหนียวแทนการเซ็นชื่อในการค้าขาย ลายนิ้วมือยังถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการระบุตัวอาชญากรครั้งแรกในแคว้นเบงกอล ประเทศอินเดีย โดยตำรวจชาวอังกฤษชื่อ Sir Edward Richard Henry ในปี พ.ศ. 2445 ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มใช้ลายนิ้วมือในการจำแนกตัวบุคคล และในปีต่อมาเรือนจำแห่งรัฐนิวยอร์กก็เริ่มการพิสูจน์ยืนยันตัวผู้ต้องขังโดยใช้ลายนิ้วมือ เพราะลายนิ้วมือมีลักษณะเป็นเส้นเรียงเป็นลำดับเต็มหน้านิ้วทุกนิ้วมือ จึงมีประโยชน์ในการหยิบจับสิ่งของไม่ให้ลื่นหลุดระหว่างเส้นนูนมีร่อง บนสันมีรูเล็กๆ ซึ่งเป็นรูเหงื่อให้เหงื่อไหลซึม เมื่อนิ้วใดนิ้วหนึ่งจับต้องวัตถุพื้นเรียบ ลายเส้นนูนที่ชื้นด้วยเหงื่อจึงถูกกดลงบนวัตถุ ทำให้เกิดการจำลองแบบลายเส้นบนนิ้วมือ ติดอยู่บนวัตถุนั้น หากมีการเก็บรอยลายนิ้วมือที่ติดบนวัตถุออกมาด้วยวิธีที่เหมาะสม สามารถนำลายนิ้วมือไปใช้ประโยชน์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์ คือ การพิสูจน์บุคคล และด้านการแพทย์ในการช่วยวินิจฉัยโรคพันธุกรรมได้อีกด้วย ทั้งนี้ลักษณะลายนิ้วมือที่ใช้ในการพิสูจน์บุคคลดูได้จาก 2 ลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่ ลักษณะโดยรวม (Global Feature) และลักษณะเฉพาะที่ (Local Feature) ลักษณะโดยรวมคือลักษณะลายนิ้วมือที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ประกอบด้วย

(1) แบบแผนลายเส้นพื้นฐาน (Basic Ridge Pattern)

(2) พื้นที่ทั้งหมดของแบบแผนลายเส้น (Battern Area)

(3) จุดใจกลาง (Core Area)

(4) สามเหลี่ยมเดลต้าหรือสันดอน (Delta, Triradius)

(5) ชนิดของเส้น (Typelines)

(6) จำนวนเส้นลายนิ้วมือ (Ridge Count)

1.4 การเก็บร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint Collection)

ในปัจจุบันมีวิธีการเก็บหลายวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการนิติวิทยาศาสตร์หลายๆ ประเทศ วิธีการหลักอาทิเช่น

1. ผงคาร์บอน (Black Powder)
2. ผงแม่เหล็ก (Magnatic Powder)
3. ไซยาโนอะคริเลท (Cyanocreylate; Super Glue)
4. ฯลฯ (Etc.)

แต่ก็ยังมีวิธีที่แปลกใหม่แต่ได้ผล ที่ได้ทำการพิสูจน์แล้วโดยกรมตำรวจของประเทศอังกฤษคือ การใช้ซิลิโคนหล่อลายนิ้วมือออกมาโดยไม่ทำลายตัวอย่างลายพิมพ์นิ้วมือบนตัวอย่าง โดยสามารถรักษาลายพิมพ์นิ้วมือนั้นไว้ได้ ทั้งยังสามารถนำมาสกัดหาสารพันธุกรรมได้อีกด้วย

1.5 ลายพิมพ์ DNA (DNA Finger Print)

DNA เป็นชื่อย่อของสารพันธุกรรม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า กรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic acid) ซึ่งเป็นกรดนิวคลีอิก (พบในนิวเคลียส) ที่พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ พืช เชื้อรา แบคทีเรีย หรือแม้แต่ไวรัส DNA บรรจุข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นไว้ ซึ่งมีลักษณะที่ผสมผสานมาจากสิ่งมีชีวิตรุ่นก่อน ซึ่งก็คือ พ่อและแม่ และสามารถถ่ายทอดไปยังสิ่งมีชีวิตรุ่นถัดไปซึ่งก็คือ ลูกและหลาน (ในกรณี Sexual Reproduction)

DNA มีรูปร่างเป็นเกลียวคู่ คล้ายบันไดลิงที่บิดตัว ขาของบันไดแต่ละข้างก็คือการเรียงตัวของนิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) นิวคลีโอไทด์เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยน้ำตาล, ฟอสเฟต (ซึ่งประกอบด้วยฟอสฟอรัสและออกซิเจน) และเบสนิวคลีโอไทด์มีอยู่สี่ชนิด ได้แก่ อะดีนีน (Adenine, A) , ไทมีน (Thymine, T) , ไซโทซีน (Cytosine, C) และกัวนีน (Guanine, G) ขาของบันไดสองข้างหรือนิวคลีโอไทด์ถูกเชื่อมด้วยเบส โดยที่ A จะเชื่อมกับ T และ C จะเชื่อมกับ G เท่านั้น และข้อมูลทางพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นจากการเรียงลำดับของเบสใน DNA นั่นเอง

ส่วนหนึ่ง DNA ที่เรียกว่ายีน (Gene) ถูกนำมาผ่านกระบวนการถอดรหัส (Transcription) จะได้เป็น mRNA ซึ่งจะถูกแปรรหัส (Translation) กลายเป็นโปรตีน (Protein) ที่มีความซับซ้อนกลายมาเป็นเซลล์ (Cell) หรือซับซ้อนมากขึ้นเป็นเนื้อเยื่อ (Tissue) หรือซับซ้อนมากขึ้นไปถึงระดับอวัยวะ (Organ)

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการคืนตัวลายพิมพ์นิ้วมือโดยใช้วัสดุหล่อยี่ห้อ Isomark™ (Isomark Ltd., Nuneaton, Warwickshire, United Kingdom) Isomark™ เป็นวัสดุหล่อลายพิมพ์ซิลิโคนชนิดแห้งเร็ว วัสดุชนิดนี้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในการหล่อรอยพิมพ์ร่องรอยของเครื่องมือ โดยถูกออกแบบเป็นพิเศษเพื่อใช้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าวัสดุหล่อ Isomark™ นี้ไม่มีการทำลายหลักฐาน และสามารถหล่อร่อยรองที่มีความละเอียดได้มากถึง 0.1 μm.

ลายพิมพ์นิ้วมือที่สถานที่เกิดเหตุอาจมีการเลือน เปื้อนหรือไม่มีลายละเอียดเพียงพอที่จะเปรียบเทียบในฐานข้อมูล ในคดีเหล่านี้จำเป็นต้องมีการทำ Profile ของ DNA จากลายพิมพ์นิ้วมือ การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การเก็บ DNA ที่มีคุณภาพจากวัสดุหล่อ Isomark™ ที่ใช้หล่อลายพิมพ์ลายนิ้วมือ

1.6 **เทคนิคที่เกี่ยวข้อง** (Related Technique)

การเก็บตัวอย่าง DNA จากพื้นผิววัตถุโดยวิธี Double Swab

1. จุ่มก้านสำลีปลอดเชื้อลงในน้ำปลอดเชื้อ
2. ป้ายก้านสำลีที่เปียกด้วยแรงปานกลางบนพื้นที่เป้าหมาย
3. โดยทำการป้ายเป็นวงกลม เป็นเวลา 15 วินาที ขณะที่ป้ายให้ทำการหมุนก้านสำลีไปด้วย
4. จากนั้นก็ทำการป้ายก้านสำลีอันที่ 2 (แห้ง) เพื่อเก็บความชื้นจากการป้ายครั้งแรกในลักษณะเดียวกัน
5. ทำการตากให้ความชื้นระเหยออกไปก่อนทำการเก็บเข้ากล่องที่เตรียมไว้

การสกัด DNA ตามวิธีของ QIAamp1 DNA Mini Kit (QIAgenTM)

1. ตัดปลาย swab ใส่ลงใน 2ml Centrifuge tube จากนั้นเติม 400 μl PBS ตามลงไป
2. เติม 20 μl QIAGEN Protease และ 400 μl Buffer AL จากนั้นนำไป Vortex Mix เป็นเวลา 15 วินาที
3. นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 56°C เป็นเวลา 10 นาทีและนำไปปั่นสั้นๆ
4. เติม 400 μl Absolute Ethanol และนำไป Vortex Mix และปั่นสั้นๆอีกครั้ง
5. ค่อยๆดูด 700 μl จากที่ได้ในข้อ 4 ลงใน QIAamp spin column ที่ซ้อนอยู่ใน 2 ml microcentrifuge tube อย่างระมัดระวัง จากนั้นนำไปปั่นตกที่ 6000g เป็นเวลา 1 นาที และเปลี่ยน 2 ml microcentrifuge tube
6. ทำข้อ 5 ซ้ำโดย ค่อยๆดูดส่วนที่เหลือจาก ขั้นตอนที่ 4 ลงใน QIAamp spin column
7. เติม 500 μl buffer AW1 ลงใน QIAamp spin column และนำไปปั่นตกที่ 6000g 1 นาที
8. จากนั้นเติม 500 μl buffer AW2 แล้วนำไปปั่นตกที่ 20000g 3 นาที
9. นำ QIAamp spin column ใส่ลงใน 1.5 microcentrifuge tube และเติม 150 μl AE beffer แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาทีแล้วจึงนำไปปั่นตกที่ 6000g 1 นาที
10. หลังจาก Elute จัดเก็บ DNA ที่สกัดได้ใน 1.5 microcentrifuge tube ใน –20 °C

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

2.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ (Materials and Scientific Instruments)

1. วัสดุที่ใช้ในการประทับลายพิมพ์นิ้วมือ
2. วัสดุหล่อซิลิโคน Isomark™ (Isomark Ltd., Nuneaton, Warwickshire, United Kingdom)
3. กาว PERMABOND (1.2 g; Permabond Engineering Adhesives Ltd., UK).
4. ตู้ควัน MVC 3000 (Foster and Freeman Ltd., UK).
5. Cotton swabs (Fisher Scientific UK Ltd., UK).
6. QIAamp1 DNA Mini Kit (QIAgenTM)
7. เครื่องMicrocon1 Ultracell YM-100 (Millipore, USA)
8. QuantifilerTM Human DNA Quantification Kit
9. เครื่องABI PRISM1 7000 (Applied Biosystems, CA, USA)
10. AmpFISTR1 SGM Plus1 Kit
11. เครื่อง ABI PRISM1 310 Genetic Analyser (both from Applied Biosystems, USA).
12. โปรแกรม Statistical Product and Service Solution, Inc. (SPSS, Chicago, IL, USA).

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การประทับรอยลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprints Deposition)

ลายพิมพ์นิ้วมือถูกเก็บจากชุดควบคุมและสถานการณ์จำลอง

ลายพิมพ์นิ้วมือชุดควบคุมเก็บจาก 6 วัตถุตัวอย่างคือ กระป๋องอลูมิเนียม (ที่แช่เย็นที่ 4°C ก่อนทำการเก็บลายพิมพ์นิ้วมือ) ขวดน้ำพลาสติก เหรียญ 2 ปอนด์ แก้วกระดาษ หลอดไฟข นาด 60 วัตต์และพลาสติกแข็งที่ใช้ทำมือถือ (ใช้มือถือรุ่น Nokia 3330) ใช้อาสาสมัคร 2 คนที่ผ่านการล้างมือด้วยน้ำและสบู่ จากนั้นนำนิ้วมือลูบทั่วใบหน้าของตัวผู้สมัครเอง นิ้วแต่ละนิ้วถูกประทับลงบนแต่ละช่องขนาด 5 x 4 เซนติเมตร บนวัตถุตัวอย่างแต่ละชนิดที่ได้ทำการแบ่งเอาไว้แล้ว อาสาสมัครแต่ละคนได้ทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง (n = 50) ภายใต้สภาวะเดียวกัน

ลายนิ้วมือจากสถานการณ์จำลองเก็บได้จากประป๋องอะลูมิเนียม ขวด และถ้วยกาแฟ ซึ่งไม่มีการล้างก่อนทำการทดลอง การทดลองนี้ได้ใช้บุคคล 2 คนที่ไม่ได้ทำการล้างมือก่อนเข้าทำการทดลองทั้ง 2 ได้ทำการดื่มน้ำจากกระป๋อง (ที่นำออกจากตู้เย็น 4°C) และดื่นน้ำจากขวดน้ำและถ้วยกาแฟในสภาพอุณหภูมิปกติ ลายพิมพ์นิ้วมือ 62 รอยได้ถูกนำมาวิเคราะห์ตามลำดับ

ในทั้ง 2 สถานการณ์บนวัตถุตัวอย่างส่วนที่ไม่มีลายพิมพ์นิ้วมือได้ถูกมาใช้เป็นตัวแปรควบคุม (Negative Control)

3.2 การคงสภาพและการหล่อลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint Casting and Recovering)

ใช้ Isomark™ ทาลงบนรอยพิมพ์ที่ถูกเก็บไปแล้วด้วยพายพลาสติกหลังจากทำการเก็บลายพิมพ์นิ้วมือเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วันเพื่อให้เกิดการคืนตัวของ DNA ก่อนจะทำการลอกแบบหล่อออก จากนั้น นำทั้งแบบหล่อและวัตถุตัวอย่างไปรมไอของสาร Cyanoacrylate (CAN, กาวของ e300 (บริษัท Foster and Freeman Ltd., United Kingdom) เป็นเวลา 20 นาทีภายใต้สภาวะความชื้น 80% และอุณหภูมิ 120°C

หลังจากเสร็จการหล่อลายพิมพ์แล้ว ลายพิมพ์ทั้งหมดได้ทำการถ่ายรูปผ่านระบบ Integrated Rapid Imaging System (IRIS, HOSDB)

3.3 การคงสภาพของ DNA (DNA Recovery)

หลังจากให้ลายพิมพ์ได้คืนตัวและเพิ่มความคมชัดด้วย CAN แล้วนำทั้งวัตถุตัวอย่างและแบบหล่อถูกจัดเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการก ารสกัด DNA จากตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด

ใช้กานสำลีที่ชุบน้ำกลั่นป้ายเก็บพื้นผิวของวัตถุตัวอย่าง จากนั้นใช้ก้านสำลีที่แห้งป้ายเก็บทั้งตัวอย่างและความชื้นที่หลงเหลืออยู่ (ตามวิธีของ Fisher Scientific UK Ltd., United Kingdom) แล้วนำปลายสำลีทั้งเปียกและแห้งลงใน Microcentrifuge 2 ml เดียวกัน กระบวนการสกัด DNA ทำโดยใช้ชุดสกัด Qiamp® Mini extraction kits โดยทำตามขั้นตอนที่ผู้ผลิต (QIAgen™) ได้ระบุไว้ ส่วนแบบหล่อ Isomark™ ได้ถูกตัดออกเป็นแผ่นๆด้วยมีดผ่าตัดปลอดเชื้อและนำใส่ใน bijou โดยตรง จากนั้นสกัด DNA ด้วยวิธีการเดียวกัน ต่างที่เติม ATL extraction buffer มากขึ้นเป็น 1.5 ml ในขั้นตอนแรกเพื่อให้ท่วมแผ่นแบบหล่อ Isomark™

หลังจากการสกัด DNA แล้ว ทำให้ DNA มีความเข้มข้นมากขึ้นด้วยเครื่อง Microcon® Ultracell YM-100 (Millipore, USA) DNA ที่สกัดได้ ได้ถูกนำมาตรวจวัดปริมาณด้วยชุด Quantifiler™ Human DNA ในเครื่อง ABI PRISM® 7000 (Applied Biosystems, CA, USA)

3.4 DNA amplification and profiling

การ Amplification ทำโดยใช้ชุด AmpF/STR® SGM Plus ดำเนินการ Amplification 28 รอบตามกระบวนการของทางผู้ผลิต เพื่อให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 25-μl แล้วจึงนำมาทำ DNA Profiling ด้วยเครื่อง ABI PRISM® 310 Genetic Analyser (Applied Biosystems, CA, USA)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

Table 1
Quality of controlled marks recovered using Isomark™

Substrate	Mark quality (Iso)		Mark quality (Sub)	
	Average score	σ	Average score	σ
Aluminium can	4.2	1.10	2.4	1.34
Base of plastic bottle	4.8	2.05	5.8	2.17
£2 coin	5.0	2.00	6.0	1.87
Cup	0.6	1.34	0.0	0.00
Light bulb	4.0	0.71	3.0	0.00
Mobile phone case	0.0	0.00	0.4	0.89

Table 2
Characterisation of realistic marks recovered using Isomark™

Object	Mark quality (Iso)		Mark quality (Sub)	
	Average score	σ	Average score	σ
Aluminium can	7.00	1.55	5.83	2.48
Base of plastic bottle	4.33	2.66	2.83	1.60
Cup	0.00	0.00	0.00	0.00

4.1 การวิเคราะห์รอยลายพิมพ์นิ้วมือ

เพื่อเป็นการแบ่งระดับของลายพิมพ์ ได้ใช้โปรแกรมในการช่วยแปลผล โดยยึดจากรอยร่องและความสมบูรณ์ของลายพิมพ์ โดยให้คะแนนตั้งแต่ 0 (น้อยที่สุด) จนถึง 8 (ลายพิมพ์คุณภาพสูง)

Table 1
Quality of controlled marks recovered using Isomark™

Substrate	Mark quality (Iso)		Mark quality (Sub)	
	Average score	σ	Average score	σ
Aluminium can	4.2	1.10	2.4	1.34
Base of plastic bottle	4.8	2.05	5.8	2.17
£2 coin	5.0	2.00	6.0	1.87
Cup	0.6	1.34	0.0	0.00
Light bulb	4.0	0.71	3.0	0.00
Mobile phone case	0.0	0.00	0.4	0.89

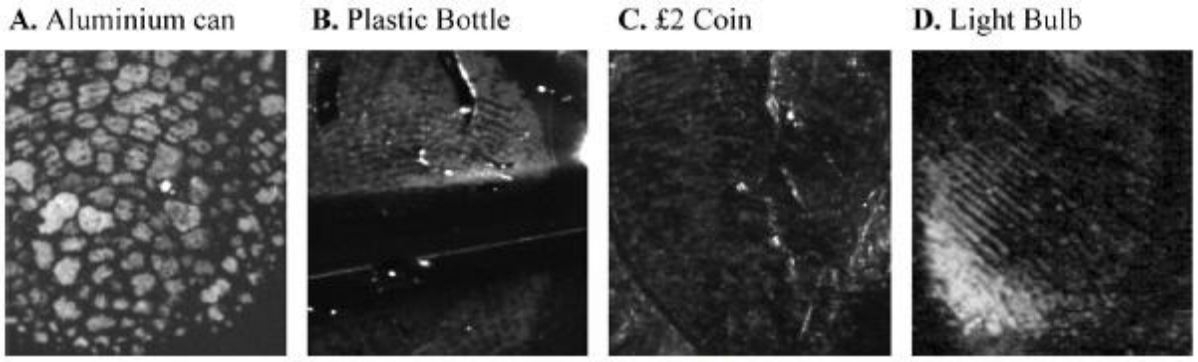

Fig. 1. CNA developed Isomark™ samples.

4.2 ลายพิมพ์นิ้วมือชุดควบคุม

ลายพิมพ์ที่ผ่านการคงสภาพโดยใช้ Isomark™ บนชุดควบคุมจากวัตถุตัวอย่างทั้ง 6 (ประป๋องอะลูมิเนียม ขวดน้ำพลาสติก เหรียญ 2 ปอนด์ แก้วกระดาษ หลอดไฟและพลาสติกแข็งที่ใช้ทำมือถือ) ภาพชุดที่ 1 แสดงถึงลายละเอียดของลายพิมพ์ที่ได้จาก Isomark™ ที่ผ่านทางเพิ่มความคมชัดด้วย CAN

คุณภาพของร่อยรอยลายพิมพ์ได้ถูกให้คะแนนในตารางที่ 1 ที่แสดงถึงคะแนนที่ได้จากการเก็บจากวัตถุตัวอย่างทั้ง 6

จากที่ได้จากตารางที่ 1สังเกตได้ว่าร่องรอยที่มีคุณภาพได้ถูกเก็บจาก Isomark™ ได้ถูกทดสอบแล้วบนพื้นผิวเกือบทุกชนิด โดยแสดงถึงความคมชัดมากกว่าบนพื้นผิว ประป๋องอะลูมิเนียม ขวดน้ำพลาสติก เหรียญ 2 ปอนด์และหลอดไฟ มากกว่าบน แก้วกระดาษและพลาสติกแข็ง อย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.01$

เมื่อเปรียบเทียบร่องรอยจากบนวัตถุทดลอง กับร่องรอยที่ได้จาก Isomark™ พบว่าบนขวดน้ำพลาสติก เหรียญ แก้วกระดาษและพลาสติกแข็ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนร่องรอยที่ เก็บจากกระป๋องอลูมิเนียม ได้คุณภาพด้อยกว่าที่เก็บได้จาก Isomark™

และการใช้ Isomark™ ไม่สามารถเก็บรอยที่คมชัดจากแก้วกระดาษพลาสติกแข็ง

Table 2
Characterisation of realistic marks recovered using Isomark™

Object	Mark quality (Iso)		Mark quality (Sub)	
	Average score	σ	Average score	σ
Aluminium can	7.00	1.55	5.83	2.48
Base of plastic bottle	4.33	2.66	2.83	1.60
Cup	0.00	0.00	0.00	0.00

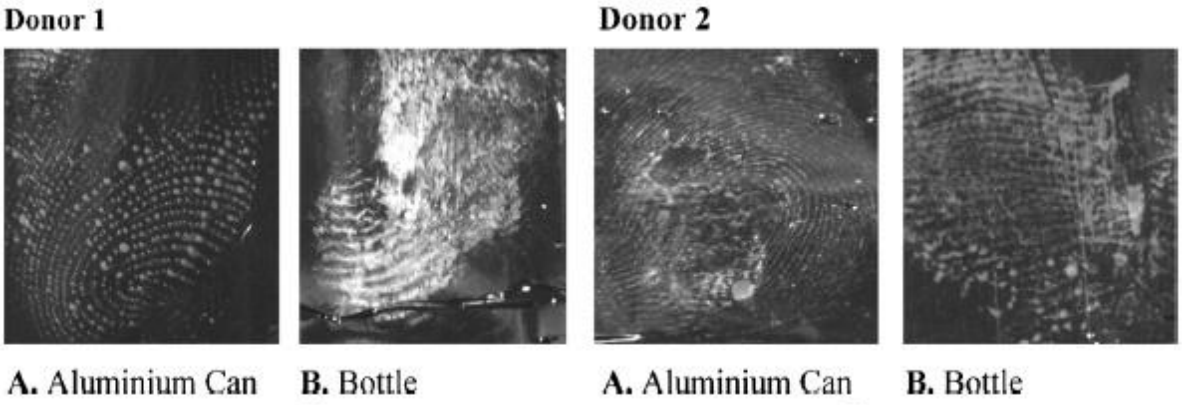

Fig. 2. CNA developed Isomark™ samples. Realistically deposited marks recovered using Isomark™ on two substrates by two donors.

4.3 ลายนิ้วมือจากสถานการณ์จำลอง

ร่องรอยที่เก็บได้จากวัตถุทดลองและจากที่เก็บได้จาก Isomark™ มีคุณภาพใกล้เคียงกัน โดยที่เก็บได้จาก Isomark™ มีคุณภาพสูงกว่าเล็กน้อย ในชุดภาพที่ 2 แสดงภาพของลายพิมพ์นิ้วมือที่เก็บได้จาก Isomark™ ไม่มีลายพิมพ์สามารถเก็บได้จากถ้วยกาแฟ

เช่นเดียวกับในชุดควบคุมมีความแตกต่างของคุณภาพลายพิมพ์ที่เก็บได้จากพื้นผิวที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในตารางที่ 2 แสดงถึงคะแนนคุณภาพของลายพิมพ์จากสถานการณ์จำลอง

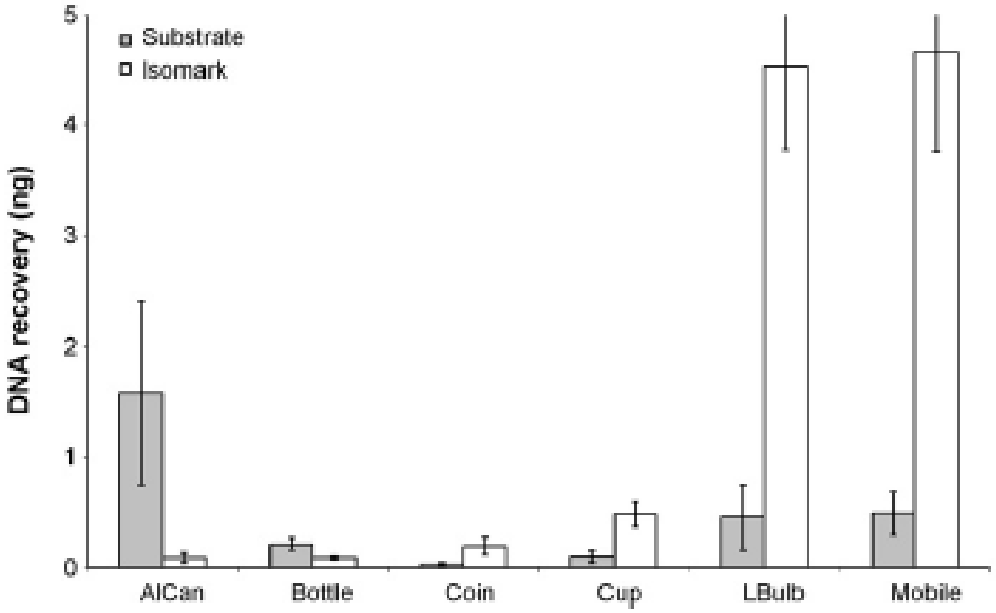

Fig. 3. Average amount of DNA (ng) recovered from controlled finger marks. The marks obtained were from a single donor ($n = 5$). DNA was recovered from both the original object and the Isomark™. Error bars depict standard error.

4.4 การวิเคราะห์ DNA จากลายนิ้วมือชุดควบคุม

การตรวจวัดปริมาณของ DNA ที่เก็บได้ใช้ชุดตรวจวัดปริมาณ Quantifiler™ Human DNA ได้ผลดังในภาพที่ 3

สังเกตได้ว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ DNA ที่เก็บโดยใช้ Isomark™ และที่วัตถุบน หลอดไฟและพลาสติกแข็งโดยปริมาณ DNA ที่พบที่หลอดไฟและพลาสติกแข็งมีปริมาณน้อยกว่าที่พบที่ Isomark™ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)

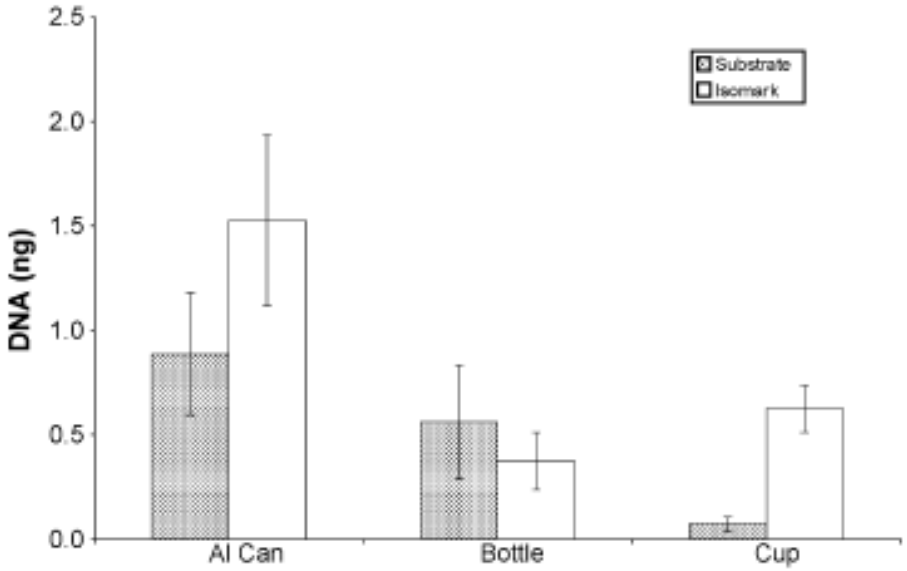

Fig. 4. The amount of DNA recovered from realistic marks. The marks obtained were from two donors ($n = 6$). DNA was recovered from both the original object and the Isomark™. The average amount of DNA is given. Error bars show standard error.

4.5 จากลายนิ้วมือจากสถานการณ์จำลอง

ปริมาณ DNA ที่เก็บได้ถูกแสดงในภาพที่ 4 พบว่ามีความแปรผันในช่วง 0.1 – 2.3 ng ทั้งวัตถุที่เก็บ บุคคลที่ทำการทดลองและวิธีการเก็บตัวอย่างพบว่าไม่มีกับปริมาณ DNA ที่เก็บได้

ตัวอย่างเก็บได้ทั้งหมดหากมีปริมาณ DNA ที่มากพอ (0.1 ng/μl) จะถูกนำเข้ากระบวนการ Profiling ซึ่งตัวอย่าง 42% มีปริมาณ DNA มากพอและสามารถได้ DNA Profile ที่สมบูรณ์มากถึง 82% หรือคิดเป็น 34% จากทั้งหมด ส่วนที่เหลือพบ DNA แบบไม่สมบูรณ์ แต่โดยไม่พบการปะปนการของแต่ละตัวอย่าง Allelles ทุกตำแหน่งจึงตรงกัน

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

วัสดุหล่อซิลิโคน ISOMARK™ ทำให้สามารถใช้เทคนิค CNA ได้ง่ายขึ้นเพราะไม่จำเป็นต้องนำตัวอย่างทั้งชิ้นเข้าเครื่องรม รวมทั้งความสามารถในการลอกลายพิมพ์ได้อย่างดีจากวัสดุที่เรียบไม่มีรูพรุน

หยดน้ำที่เกาะอยู่บนพื้นผิวในสถานการณ์จำลองที่มีการแช่เย็นอาจไม่สมจริงสมจังเนื่องจากในสถานการณ์จริงน้ำอาจจะระเหยไปหมดก่อนทีมรักษาที่เกิดเหตุจะเข้ามาถึง

รอยลายพิมพ์นิ้วมือที่ลอกขึ้นมาจากพื้นผิววัตถุทดลองด้วยวัสดุหล่อซิลิโคน ISOMARK™ มีคุณภาพเทียบเท่ากับร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือที่อยู่บนพื้นผิววัตถุเอง รวมทั้งสามารถ รักษาเอาไว้ได้ในระยะเวลาพอสมควรด้วย

คุณภาพของรอยลายพิมพ์ที่ได้แปรผันโดยตรงกันปริมาณฟองอากาศระหว่างวัสดุหล่อซิลิโคนและพื้นผิววัตถุ จึงจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษในการเก็บตัวอย่าง

ความแปรผันของผม DNA ที่สกัดได้อาจเกิดจากแรงกดที่ไม่เท่ากันในแต่ละพื้นผิว หรือบนวัสดุหล่อซิลิโคนเอง

การเก็บลายพิมพ์นิ้วมือด้วยวัสดุหล่อซิลิโคนนี้ มีความได้เปรียบตรงที่ในกรณีที่ไม่สามารถพบลายนิ้วมือบนวัตถุได้ก็ยังสามารุเก็บ DNA ได้จากวัสดุหล่อซิลิโคนนั้นโดยที่ไม่มีการทำลายสิ่งใดๆที่อาจหลงเหลืออยู่บนพื้นผิวตัวอย่าง

5.2 **สรุปผลการทดลอง**

วัสดุหล่อซิลิโคน ISOMARK™ ใช้งานได้อย่างดี ในการเก็บร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือบนพื้นผิวที่อาจพบในที่เกิดเหตุเช่น กระป๋องอลูมิเนียม ขวดพลาสติก หรือหลอดไฟ

วัสดุหล่อซิลิโคน ISOMARK™ ไม่เหมาะสมในการเก็บร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือบนพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือเป็นรูพรุน

วัสดุหล่อซิลิโคน ISOMARK™ สามารถเก็บ DNA ได้จากพื้นผิวตัวอย่างแทบทุกชนิด

จากผลการทดลองข้างต้น ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพของร่องรอยลายพิ มพ์นิ้วมือและปริมาณของ DNA mสามารถสกัดได้

จากการเปรียบเทียบในพื้นผิวที่เรียบจะมาสารถเก็บรองรอยลายพิมพ์นิ้วมือที่มีคุณภาพมากพอเป็นหลักฐานได้ และหาดเป็นพื้นผิวที่มีรูพรุนก็จะสามารถเก็บ DNA ที่มีปริมาณและคุภาพทีสูงได้ ซึ่งสามารถใช้ในการตามจับตัวคนร้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งในการเก็บรักษาร่องรอยลายพิมพ์นิ้วมือจากที่เกิดเหตุ และเป็นวิธีทีสามารถปกป้องวัตถุพยานจากที่เกิดเหตุที่ต้องการสกัด DNA โดยที่ไม่ทำลายตัวอย่างนั้นๆ

บทที่ 6
เอกสารอ้างอิง

1. Bowman V., Finger Mark Development Handbook, Home Office Scientific Development Branch Publication, St Albans, Hertfordshire, UK.
2. R.A.H. Van Oorschot, M.K. Jones, DNA finger marks from finger marks, Nature 387 (1997) 767.
3. N.E. Archer, Y. Charles, J.A. Elliott, S. Jickells, Changes in the lipid composition of latent finger mark residue with time after deposition on a surface, Forensic Sci. Int. 154 (2005) 224–239.
4. A. Lowe, C. Murray, J. Whitaker, G. Tully, P. Gill, The propensity of individuals to deposit DNA and secondary transfer of low level DNA from individuals to inert surfaces, Forensic Sci. Int. 129 (2002) 25–34.
5. R. Wickenheiser, Trace DNA: a review, discussion of theory, and application of the transfer of trace quantities of DNA through skin contact, J.Forensic Sci. 47 (2002) 442–450.
6. J.J. Raymond, C. Roux, E. Du Pasquier, J. Sutton, C. Lennard, Effect of common finger mark detection techniques on the DNA typing of finger marks deposited on different surfaces, J. Forensic Ident. 54 (2004) 22–37.
7. Jonathan Sewell, Ignacio Quinones, Carole Ames. Recovery of DNA and fingerprints from touched documents. 2008, Forensic Science International Genetics 2, 281–5
8. B.C.M. Pang, B.K.K. Cheung. Double swab technique for collecting touched evidence. 2007, Legal Medicine 9, 181–4

ภาคผนวก