

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกสินี ดันติสุวรรณกุล. 2547. ตัวดูดซับที่เตรียมจากดินเหนียวและกากขี้เป้งของโรงงานน้ำตาลขุ่นเพื่อการดูดซับ ตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์ .
- ควบคุมมลพิษ, กรม. ซากโทรศัพท์มือถือ-แบตเตอรี่ และแนวทางการจัดการ. http://www.ped.go.th/solidwasto/battery/Haz_battery.htm. (22 กันยายน 2547)
- จักรพงษ์ แสนชัย. 2548. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกระดูกกระตุ้นโดยซิงก์คลอไรด์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชุติมา เลิศชวณะกุล. 2526. คู่มือเคมีวิเคราะห์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร.
- ชัยสิทธิ์ เฉลิมมีประเสริฐ. 2542. สถิติเพื่อนักบริหาร พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจวรรณ วงศ์ศิริ. 2547. การกำจัดตะกั่วและทองแดงด้วยซัลฟิดาเจลเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปนัดดา คำรัตน์. 2545. ประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้เป้งของโรงงานน้ำตาลขุ่นในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประกฤต เลิศจรสอร่วมดี. 2539. การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เลื่อยฟางข้าวและขุยมะพร้าว วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยรัชต์ จงเจริญ. เสียงร้องชาวคลิตี้ล่างเมื่อไรตะกั่วจะหมดจากร่างกาย-ลำห้วย.
<http://www.kanchanaburi.com/kannews/01643.html>. (11 ตุลาคม 2549).

- ปศุสัตว์, กรม. 2549 สถิติจำนวนหมูที่เลี้ยงโนแต่ละปี. <http://www.did.go.th/ict/yearly>. (3 พฤศจิกายน 2549)
- ปศุสัตว์, กรม. 2549 .สุกร. <http://www.did.go.th/service/pig/pigpig.html>. (3 พฤศจิกายน 2549)
- เพชร เฟิงซัย. การดูดคืดผิวโดยถ่านกัมมันต์. 2004. <http://doenv.eng.emu.ac.th/PI/Lessing/18> June.ppt. Advanced water Supply Engineering. (9 ธันวาคม 2547).
- มณฑล คงปิ่น และละอองดาว นามศรีพันธ์. 2542. การดูดซับฟลูออไรด์ของสารดูดซับชนิดต่าง ๆ รายงานการวิจัยศูนย์ทันตสาธารณสุขระหว่างประเทศ กรมอนามัย เชียงใหม่.
- มณฑล คงปิ่น. 2542. การขจัดฟลูออไรด์ออกจากร้านน้ำบริโภค รายงานการวิจัยศูนย์ทันตสาธารณสุขระหว่างประเทศ กรมอนามัย เชียงใหม่.
- มันสิน ดัฒนกุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปา. เล่มที่ 2 พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ ติระรัตนสมโภช. 2545. ศึกษาการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มดิชน. ข่าว : ชีวิตคุณภาพ. <http://www.matichon.co.th/isara/show>. (11 ตุลาคม 25 49).
- มดิชน.(18 สิงหาคม 2548) <http://www.matichon.co.th>. (11 ตุลาคม 25 49).
- มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. นครปฐม. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ลลิตา นิตสันจารุกุล. 2544. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดคืดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณา โฆสิตะมงคล. 2538. การเพิ่มความแข็งแรงของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เตรียมจากกระดูกวัวควายโดยการเหนียวทำให้เกิดแรงอัดที่ผิวหน้า วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วารุณี สุภเสวคหิรัญ. 2542. การฟื้นฟูสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราภรณ์ ภิญโญ, Christoph Sontag และ Apinpus Rujiwatra. 2005. ความสามารถและจลศาสตร์ในการกำจัดนิกเกิล ตะกั่ว และแคดเมียมไอออนของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ็กซ์ที่สังเคราะห์จากถั่วลอภ. หน่วยวิจัยวัสดุอินทรีย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. 2539. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ราชกิจจานุเบกษา 113, 13 (กุมภาพันธุ์)
- ศุภกิจ พัฒนเดชะ. 2545. การใช้ถ่านกระดูกกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ การค้าระหว่างประเทศ
สินค้าส่งออกสำคัญ 20 อันดับแรกของไทยปี 2543-ปี2547(มกราคม-กรกฎาคม)
[http://www. Pos2.moc.go.th/trade.exp.html](http://www.Pos2.moc.go.th/trade.exp.html) (21 กันยายน 2547)
- สมชาย พิชณย์ชยานนท์. 2540. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในน้ำโดยใช้ถ่านกระดูก.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, สำนักงาน. 2544. ถ่าน : การผลิตที่ถุกวิธีและประโยชน์.
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ บริษัท อินทิเกรตเต็ด โพร โมชั่น เทคโนโลยี จำกัด
- สุจณีย์ คู่ยเสงี่ยม. 2544. การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์
จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุชาดา สุทธิพิบูลย์. 2547. ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและอาร์เซนิกในน้ำเสียด้วยถ่านกระดูก
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภีรักษ์ สิริสิทธิโชติ. 2539. Surfactant-Enhanced Carbon Regeneration in Liquid Phase
Applications. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- หทัยกาญจน์ เบญจวิฑูรธรรม. 2547. การกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านไม้และถ่าน
กัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านไม้ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาธารณสุขระหว่างประเทศ กรมอนามัย. การขจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำบริโภค. มณฑล กงปิ่น.
<http://www.icole.org/fluoride/fluoridation defluthai 01. htm>. (9 ธันวาคม 2547).

สำนักราชบัณฑิตยสถาน, 2542. พจนานุกรม. <http://rirs.royin.go.th/ridictionary/lookup.html>.
online (15 พฤศจิกายน 2549).

อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ. 2544. การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้ถ่านกระดุกสัตว์. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2542. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ : มอก.900-2532. พิมพ์
ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ภาษาอังกฤษ

Ahmadpour, A. and Do, D.D. 1997. The preparation of activated carbon from Macadamia nuts hell
by chemical activation. Carbon 35 (12): 1723-1732.

Ahmedna, M., Marshall. W.E. and Rao, R.M. 2000. Production of granular activated carbons from
select agricultural by-products and evaluation of the their physical, chemical and
adsorption properties. Bioresource Technology 71 (2): 113-123.

Aklil, A., Mouflish, M. and Sebti, S. 2004. Removal of heavy metal ions from water by using
calcined phosphate as a new adsorbent. Journal of Hazardous Materials 112 : 183-190.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard practice for : Standard Terminology
Relating to Activated Carbon. D 2652-05a. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 15.01.
U.S.A. : 838-840.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard practice for : Determination of
adsorptive Capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique. D3860-98
Annual Book of ASTM Standard. Vol. 15.01. U.A.S. : 886-888.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Moisture in activated
carbon. D 2867-04. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 15.01. U.S.A. : Baltimore.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Advanced Ceramic
Specific surface area by Physical Adsorption. C1274-00. Annual Book of ASTM
Standard. Vol. 15.01. U.S.A. : 342-345

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Total ash content of activated carbon. D 2866-94. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 15.01. U.S.A. :848-849

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Calcium and Magnesium in Water. D 511-03. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 11.01. U.S.A. : Baltimore.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Cadmium in Water. D 3557-02. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 11.01. U.S.A. : Baltimore.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Lead in Water. D 3559-03. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 11.01. U.S.A. : Baltimore.

American Society for Testing and Materials. 2006. Standard test method for : Apparent density(bulk density) of Activated Carbon. D 2854-96. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 11.01. U.S.A. : Baltimore.

Anthracite Filter Media Company. Activated Carbon.

http://www.anthracitefilter.com/activated_carbon.html. (5 มกราคม 2548)

Anthracite Filter Media Company. Bone Char. http://www.anthracitefilter.com/granular_bone_char.htm. (มกราคม 2548)

Azab, M.S. and Peterson. P.J. 1989. The Removal Cadmium from water by the use of Biological Sorbents. Water Sci Tech. 21: 1705-1706.

Beevers C.A. <http://www.dbmcintyre.pwp.blueyonder.co.uk>. (11 พฤศจิกายน 2547)

BIOMIN. Bone Char's Superiority for Removing Heavy Metals. Technical Advisory # 11. www.biomininc.com/BIA_486_tech.11.Pdf (11 ธันวาคม 2547).

Boonamnuyvitaya, V., Chaiya C., Tanthapanichakoon, W. and Jarudilokkul. 2004. Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay. Separation and Purification Technology 35: 11-22.

Carbochem. Activated carbon. http://www.carbochem.com/activated_carbon_101.html. (28 ตุลาคม 2547)

- Chandra, S.K., Kamala, C.T., Chary, N.S., Sastry, A.R.K., Nageswara Rao T. and Vairamani, M. 2004. Removal of lead from aqueous solutions using an immobilized biomaterial derived from a plant actions biomass. J. of Hazadous Materials. 108: 111-117.
- Chan-Jun, M. and Jung-hoen, L. 2005. Use of Curdlan and activated carbon composed adsorbents for heavy metal removal. Process Biochemistry 40: 227-229.
- Chemviron carbon. History of activated carbon.
<http://www.Chemvironcarbon.com/carbon./definition/history.htm> (4 พฤศจิกายน 2547).
- Chemviron Carbon. Reactivation. <http://www.chemvironcarbon.com/service/reactivation.htm>.
 (10 ธันวาคม 2547)
- Chemviron Carbon. Activated carbon manufacture.
<http://www.chemvironcarbon.com/carbon/definition/acmauf.htm>. (10 ธันวาคม 2547)
- Clean and Clear Activated Carbon. http://www.gocleanandclear.com/activated_carbon.htm.
 (5 มกราคม 2548)
- Chen, J.P. and Wang, X. 2000. Removing copper, Zinc and lead ion by granular activated carbon in pretreated fixed-bed columns. Separation and Purification Technology 19: 157-167.
- Cheremisinoff, N.P.1993. Carbon Adsorption for Pollution Control. New Jersey: Prentice Hall, Eaglewood.
- Cheremisinoff, N.P. and Elberbusch, F. 1978. Carbon Adsorption Handbook. Michigan: Ann Arbor Science, U.S.A.
- Cheung, G.W., Chan, C.K., Porter, J.F. and Mckay, G. 2001. Fikm-Pore Diffusion control for the Batch sorption of cadmium ions from effluent onto bone char. J. of Colloid and Interface Science 234 : 328-336.
- Christoffersen, J., Christoffersen, M.R., Larsen, R. and Moller, I.J. 1991. Regeneration by surface-coating of bone char used for defluoridation of water. Water Research 25: 227-229.
- Dahbi, S., Azzi, M. and Dela Guardia, M. 1999. Removal of hexavalent Chromium from wastewater by bone charcoal. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 363(4) :404-407.
- David, R.L. 2004. Handbook of Chemistry and Physics. 84th ed. England : CRC press, 12-14,12-15.
- Dean, JG., Basquil, F.L. and Lanuoette, K.H. 1972. Removing heavy metals from wastewater. Envi. Sci. & Tech. 6 : 518-521.

- Karen Studies and Development Center. Kitty Deadly River. <http://www.karencenter.com/kitty-deadly-river>. (11 ตุลาคม 25 49).
- Pulford, I.D., Demis, J., Wilson, J. and Thomas, S. 2001. Sorption of Cr() and Cr(VI) by natural bone charcoal. Environmental Geochemistry and Health 23 : 291-295.
- Farajzadeh, M.A. and Monji, A.B. 2004. Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations. Separation and Purification Technology 38 : 197-207.
- Hassler, J.W. 1967. Activated Carbon. London : Leonard Hill.
- Hawley, G., 1983. The Condensed Chemical Dictionary. Tenth ed. Taiwan : Mei Ya Taipei Press.
- Hemphill, L. 1978. Thermal Regeneration of Activated Carbon. Environment Protection Agency. Official Research and Development, Spring field.
- Huang, C.P. and Wu, M.H., 1975. Chromium Removal by Carbon Adsorption. J. water Poll. Control Fed. 47 (10) : 2437.
- Igwe, J.C., Ogunewe, D.N. and Abia, A.A. 2005. Competitive adsorption of Zn (II) and Pb(II) ions from aqueous solution by maize cob and husk. African Journal of Biotechnology 4 (10): 1113-1116.
- Irvine, G.D. and Knowles, M.J. 1997. Bone Charcoal : A new concept in the treatment of plating effluents. Product Finishing.
- Kadirvelu, K., Thamaraiselvi, K. and Namasivayam, C. 2001. Removal of heavy metals from industrial waste waters by adsorption on to activated carbon prepared from an agricultural solid waste. Bioresource Technology 76(1): 63-65.
- Ko, D.C.K., Cheung, C.W., Choy, K.K.H., Porter, J.F. and McKay, G., 2004. Sorption equilibria of metal ions on bone char. Chemosphere 54 :273-281.
- Ma S.J., Logan T.J. and Ryan, J.A., 1993. Environmental Sci & Technology, 28 : 1803.
- Maycock, K.R., Ulan, J.G. and Moser, C.R. 1997. Removal of trace metal and metalloid species from brine. U.S. Patent. No. 636979.
- Mehmet, E. and Arzu, O. 2004. Lead adsorption from aqueous solution onto siderite. Separation and Purification Technology .Article in Press.

- Miguel, S.G., Lambert, S.D. and Graham, N.J.D. 2001. The regeneration of field-spent granular activated carbons. Water Research 35 (11) : 2740-2748.
- Miluse, J., Miroslav, P., Jan, H., Karel, S. and Dusan, V. 2004. Removal of heavy metals from water by lignite based sorbents. Fuel 83 :1197-1203.
- Min, S., Han, H.J.S., Shin, E.W. and Park J.K. 2004. Improvement of Cadmium ion removal by base treatment of juniper fiber. Water Research 38 :1289-1295.
- Miyagawa, T. 1976. Removal of Heavy Metals from Waste Water. Kokai Japan.
- Mjengera, H. and Mkongo, G. 2003. Appropriate defluoridation technology for use in fluorotic areas in Tanzania. Physics and Chemistry of the Earth 28 : 1097-1104.
- Montanher, S.F, Oliveira, E.A. and Rollemberg, M.C. 2005. Removal of metal ions from aqueous solutions by sorption onto rice bran. Journal of Hazardous Materials 117: 207-211.
- Mouflih, M., Aklil, A. and Sebti, S. Removal of lead from aqueous solutions by activated phosphate. Hazardous Materials 12 : 5.
- Nagasaki, Y. 1974. Removal of Metal Ions from waste water with Coal Adsorbent. Kokai Japan : 477.
- Nagasaki, Y., and Terada, A. 1975. Chromium-Containing Waste Water Treatment with Activated Carbon. Kokai Japan.
- Netzer, A., and Norman, J.D. 1974. Removal of Trace Metals from waste water by Activated Carbon. Canada.
- Netzer, A., and Wilkinson, P. 1974. Removal of Trace Metals from waste water Utilizing Discarded Automotive Tires. Canada. 9.
- Opyktoe flaoytoe. Review Paper Environment. Mineral Wealth, 2002.
http://www.perebar.bamide/Pereopen/pdf Files/PRB_OP_final.pdf. (12 ธันวาคม 2547).
- Phatumvanit, P. and Legeros, R.Z. 1997. Characteristics of Bone Char Related to Efficiency of Fluoride Removal from Highly Fluoridated Water. Fluoride. 30 (4) : 207-218.
- PIMS. Remediation of Metal contaminated waters and Soils. James L. Conca, et. al. 2000.
<http://www.pimsw.com/apatites>. (10 ธันวาคม 2547).

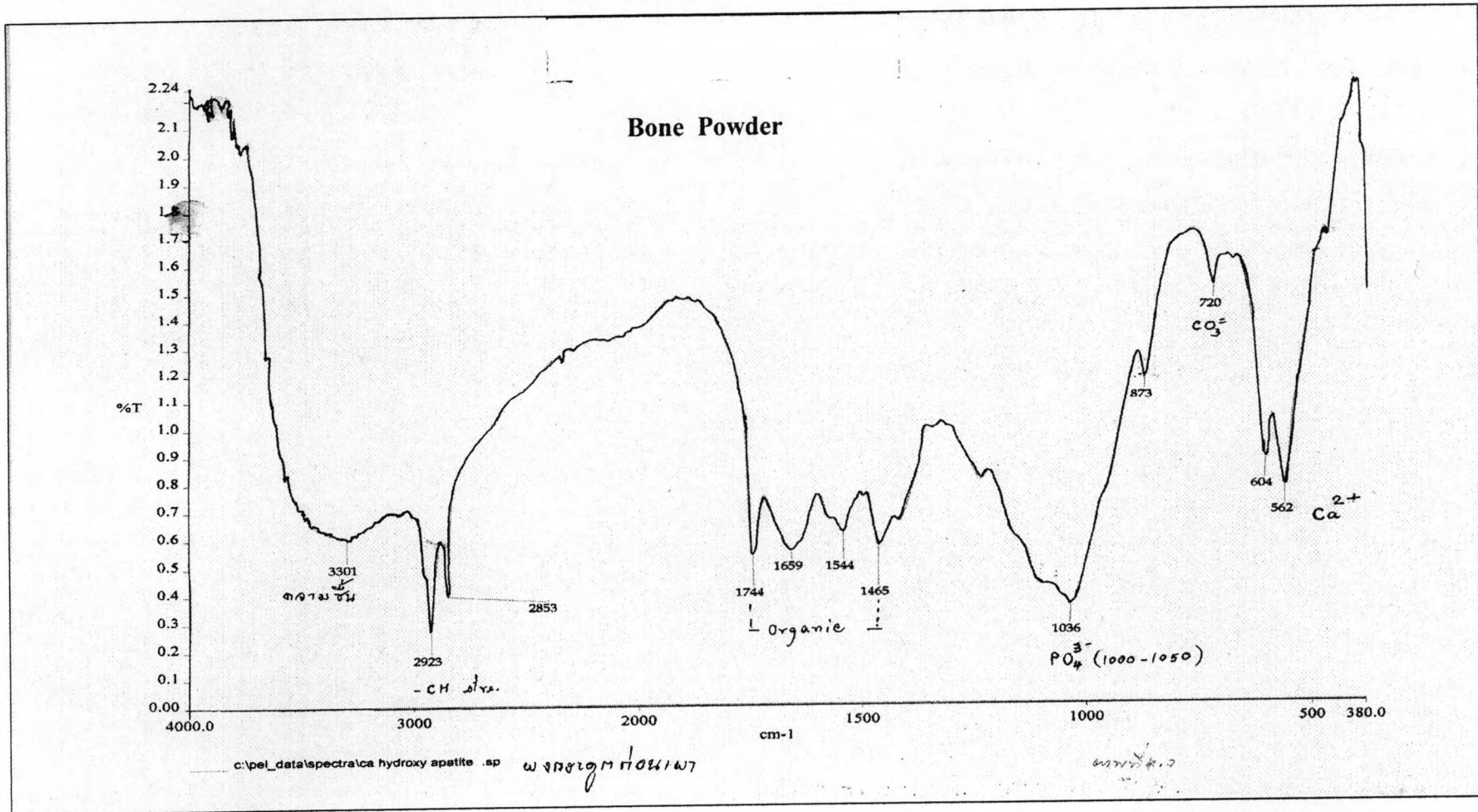
- Pulford, I.D.. Department of Chemistry University of Glasgow Scotland. Bone charcoal as an adsorbant for heavy metals. <http://www.chem.gla.ac.uk/staff/ianp/> (28 ตุลาคม 2547)
- Reed, B.E., Jamil, M. and Thomas, B. 1996. Effect of pH, empty bed contact time and hydraulic loading rate on leading rate on lead removal by granular activated carbon columns. Water Environmental Research 68(5): 877-882.
- Samee A.I.A., Fawzi B. and Fadel, M. 1998. Sorption of copper and nickel by spent animal bones. Chemosphere. 39(12) : 2087-2096.
- Shende, R.V. and Mahajani V.V. Wet oxidative regeneration of activated carbon loaded with reactive dye. Waste Management, 22 : 73-83.
- Skoog, D.A., Holler F.J. and Crouch S.R., 1998. Principle of instrumental analysis. USA.
- Tagashira, Y. 1975. Removal of Chromium Ions from Waste Waters with Activated Carbon. Kokai Japan.
- Takahashi, J. และคณะ, 2003. Production of high quality of bone char from dead dairy cattle bodies as a resource circulating system. <http://www.soc.nii.ac.jp/jszs/contents/2003Ntg74-3/8.html>. (13 ตุลาคม 2549)
- Tanzania. Challenges and Successes of water defluoridation. Aloyee Menda. 2004. <http://www.science in Africa.co.za/2004/July/fluoride.htm> (10 ธันวาคม 2547).
- Taskin, N.I. and Romanenko A.G., 1970. Effect of some Physics Chemical Factors on Sorption of Gold by KAD-Ground Carbon. Russia.
- Tatsuyama, K. and Egawa H. 1975. Decontamination of the Physical Environment Polluted by Chemical Substances I. Sorption of Heavy Metals on Powder of wood wastes. Vogakubu Kenkyo Hokoku Japan : 58.
- The National Shipbuilding Research Program. Heavy Metal Adsorbents for storm water Pollution Prevention. 1997. http://www.advisorycouncil.org/Biloxi-Downloads/0514_heavymetal_stormwater.pdf (11 ธันวาคม 2547).
- Tominaga, M., Mimon M. and Okuda K., 1974. Alkali : Treated Coal for Removing Heavy Metals from Wastewaters. Kokai Japan 84 : 39, 587.
- Traina Q.Y., Ma S.J., Logan T.J. and Ryan, J.A., 1994. Environmental Sci & Technology, 28 : 1219.

- VWR International Ltd. Hydroxy apatite for Biochromatography. http://www.Chromatography.co.uk/TECHNIQS/Bio/bio_011.htm. (20 November 2004).
- Wikipedia Foundation, Siderite-wikipedia encyclopedia 2005. [online] Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/siderite> (25 January 2006).
- Wikipedia Foundation, Curdlan-wikipedia encyclopedia 2005. [online] Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/curdlan> (25 January 2006).
- Yamaguchi, O. and Nebekura S. 1974. Removing Cadmium from a Cadmium-Containing Wastewater. *Kokai Japan* : 7, 267.
- Yamaguchi, T. and Tatsumoto H., 1974. Removing of Heavy Metals from Wastewater. *Kokai Japan* : 102, 565.
- Yehaskel, A. 1978. Activated Carbon : Manufacture and Regeneration. U.S.A.: Noyes Data Corporation.
- Yoshiharu, H., Tamotsu, M. and Masahide, I. 1987. Adsorption Characteristics of Chromium in Waste water with Activated Carbon and Bone Charcoal. Chemical Abstract 107 (1) : 288.
- Youssef, A.M., Nabarawy, E.T. and Samra, S.E. 2004. Sorption properties of chemically-activated carbons : Sorption of Cadmium ions. Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects. 235 : 153-163.
- Yuki, N. and Ohsaki, K., 1973. Granular Carbon Adsorbent for Removing Heavy Metals from Solutions. Kokai Japan 95: 994.
- Zulkali, M.M.D., Ahmad, A.L., Norulkmal, N.H. and Sharifah, N.S., 2005. Comparative studies of *Oryza sativa* L. husk and chitosan as lead adsorbent. J. Chem. Technol. Biot. 81: 1324-1327.

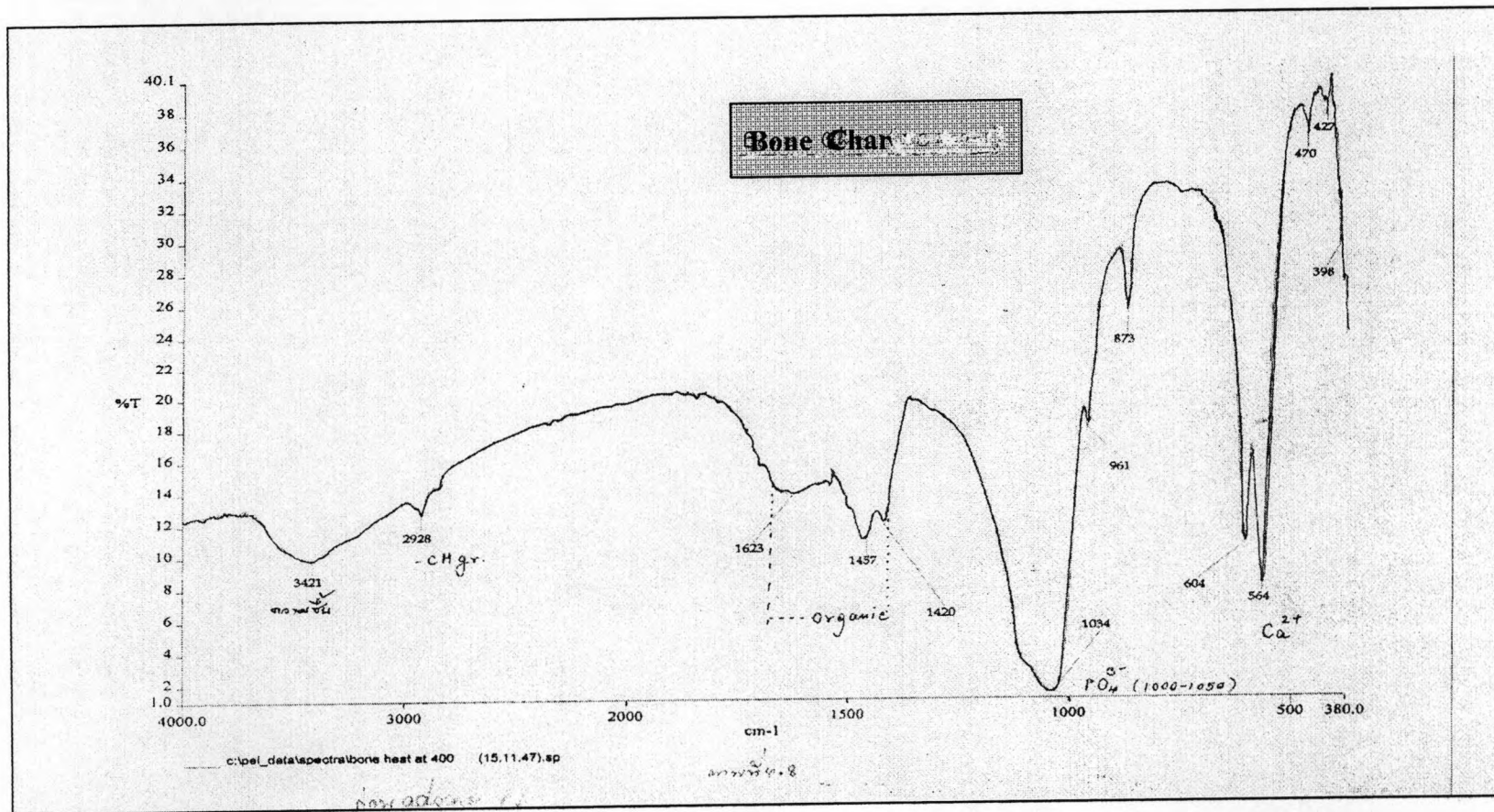
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

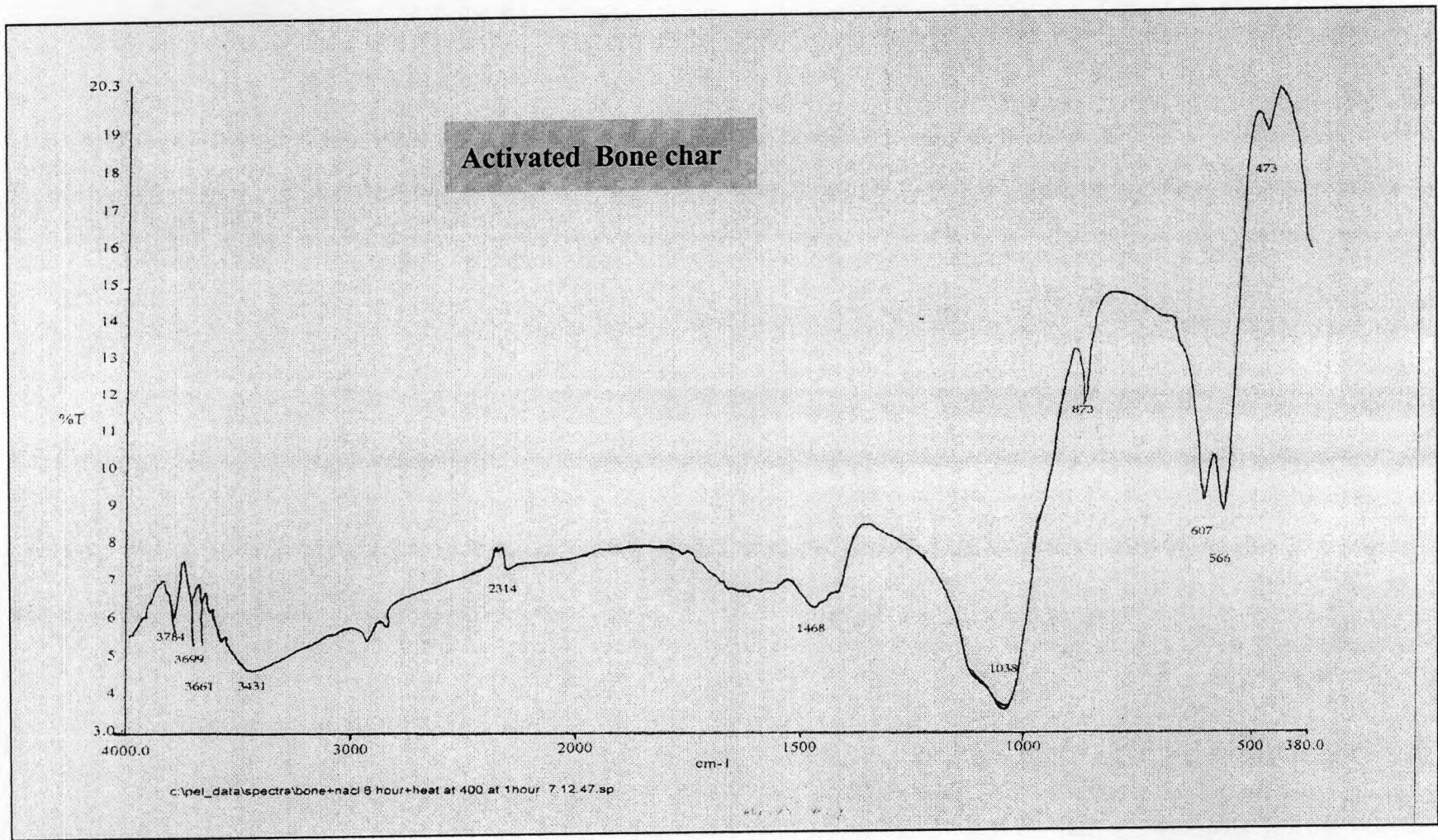
**การศึกษากลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของสารดูดซับกระดูกที่เตรียมได้ก่อนและภายหลังการดูดซับ
ตะกั่วและแคดเมียม
ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์ม อินฟราเรด-สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transforms Infrared
Spectrometer: FTIR)**



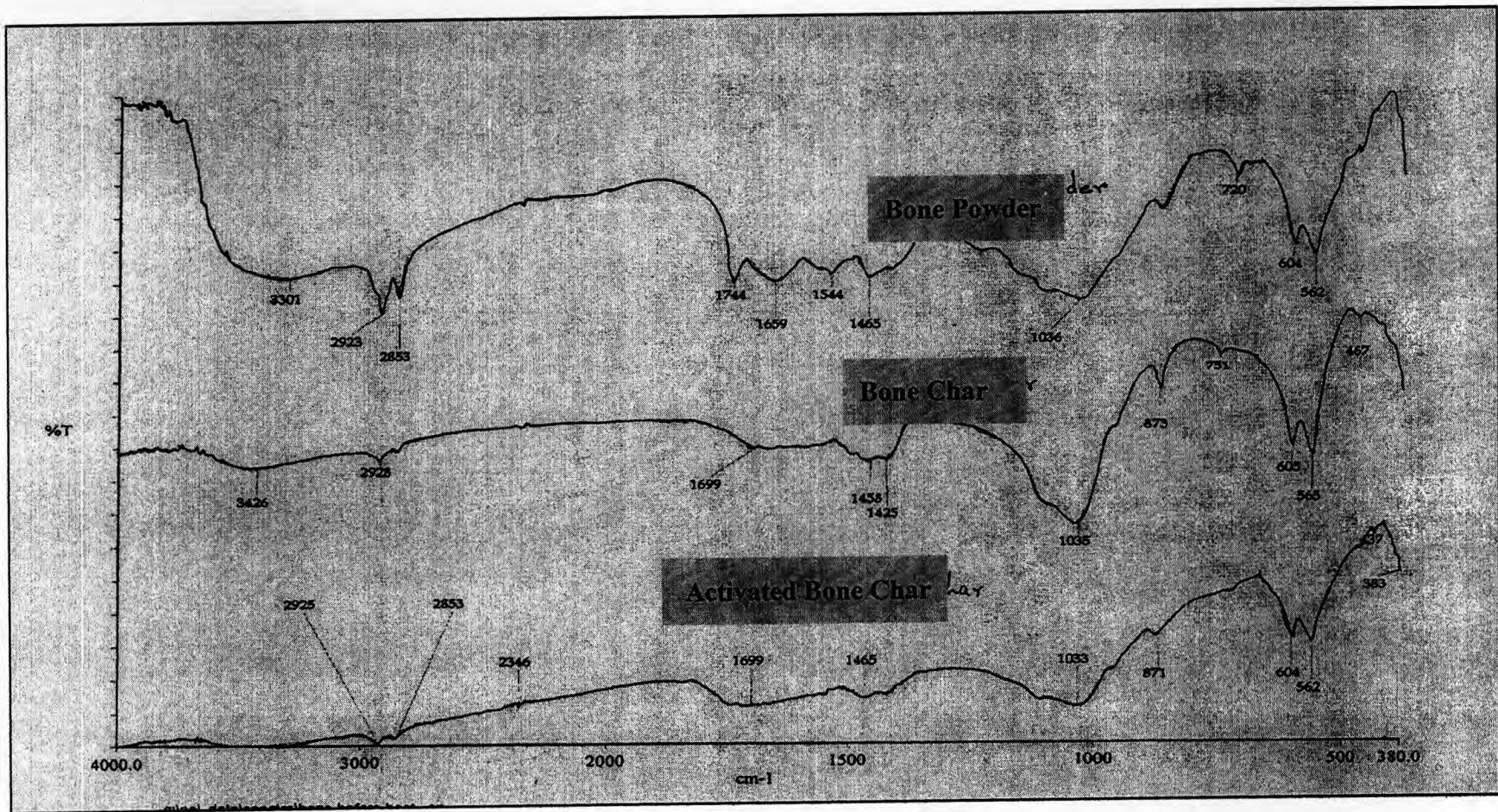
ภาพที่ ก-1 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกก่อนการดูดซับ



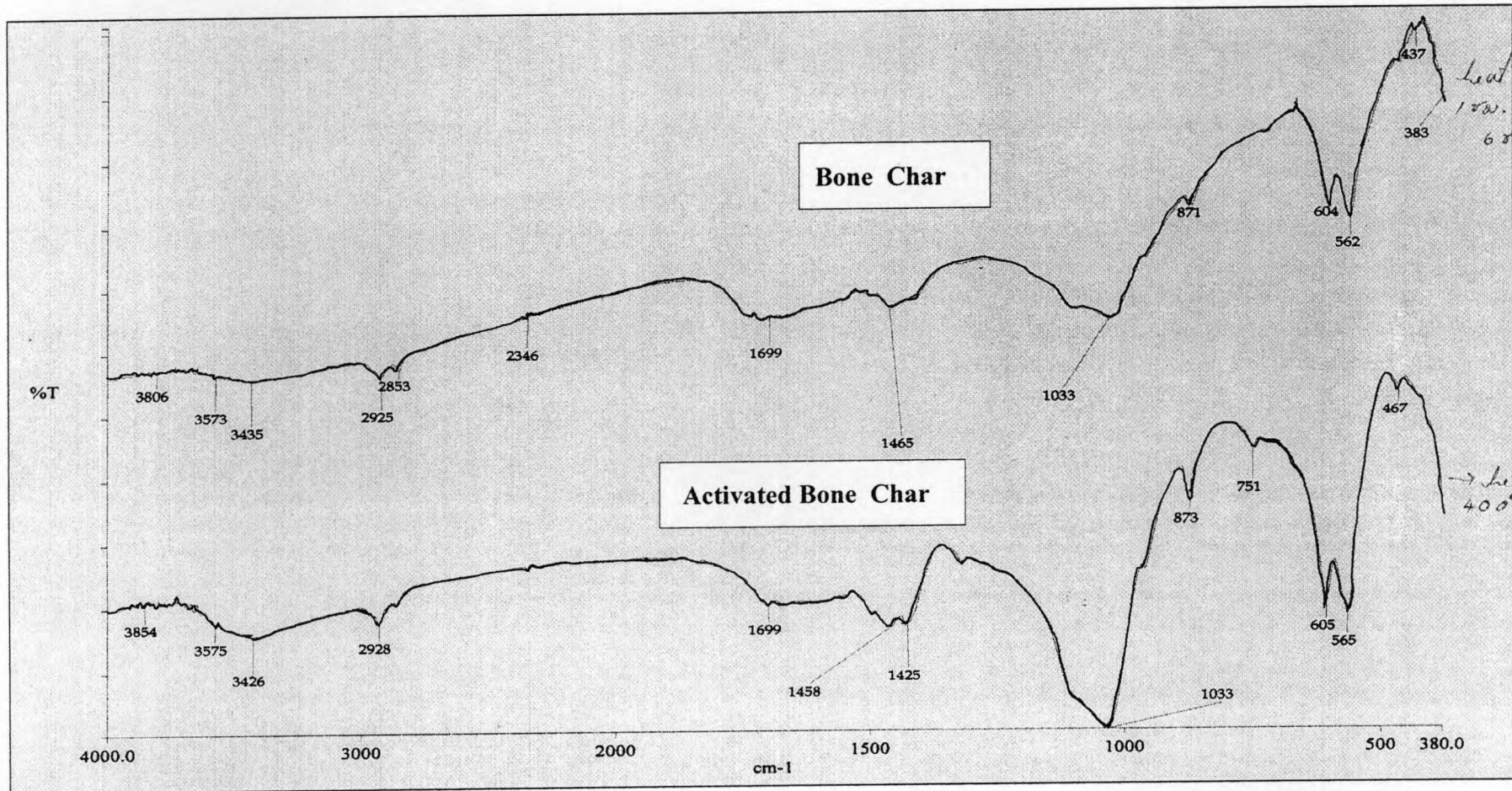
ภาพที่ ก-2 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกระดูกก่อนการดูดซับ



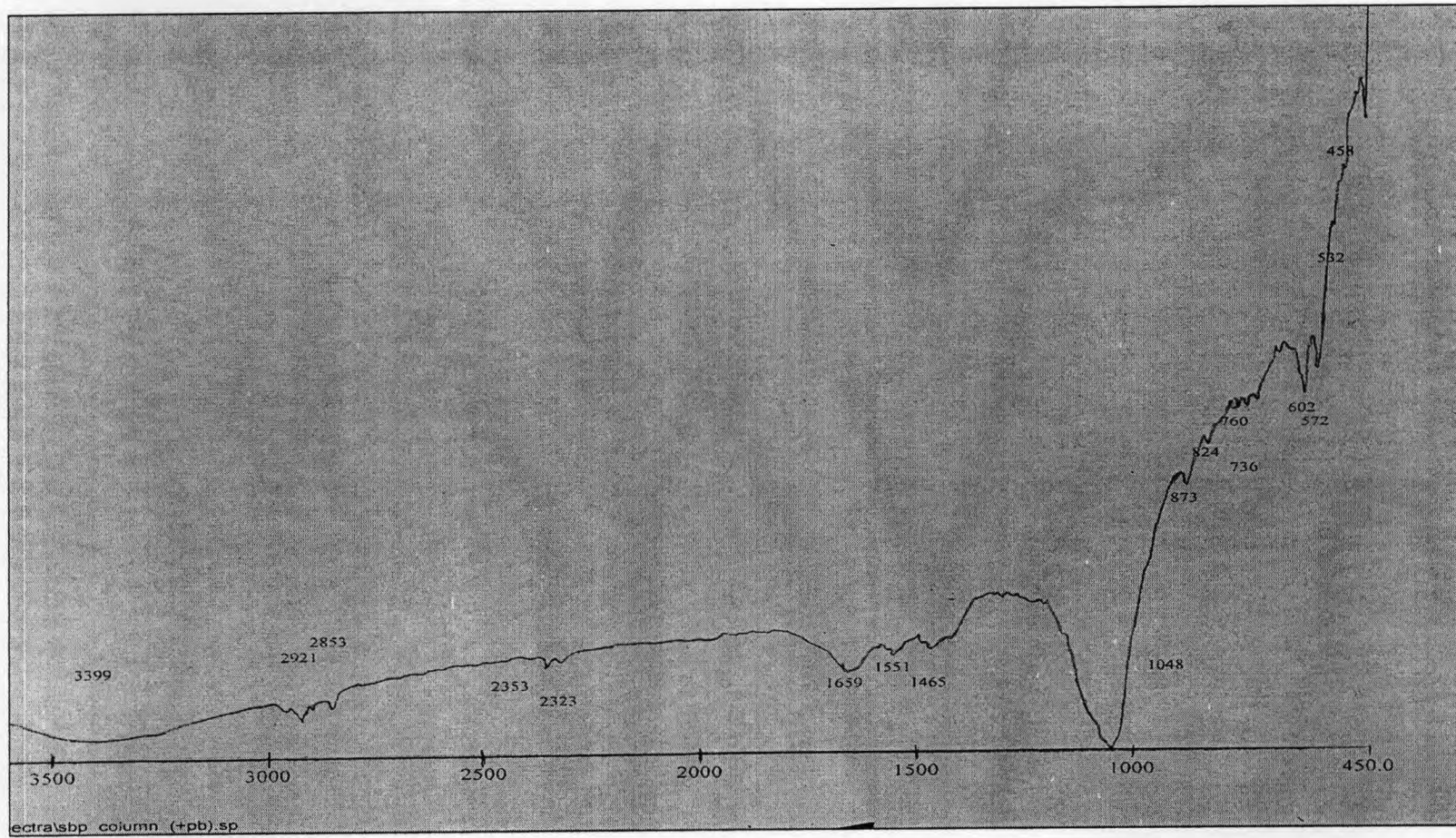
ภาพที่ ก-3 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์กระดูกก่อนการดูดซับ



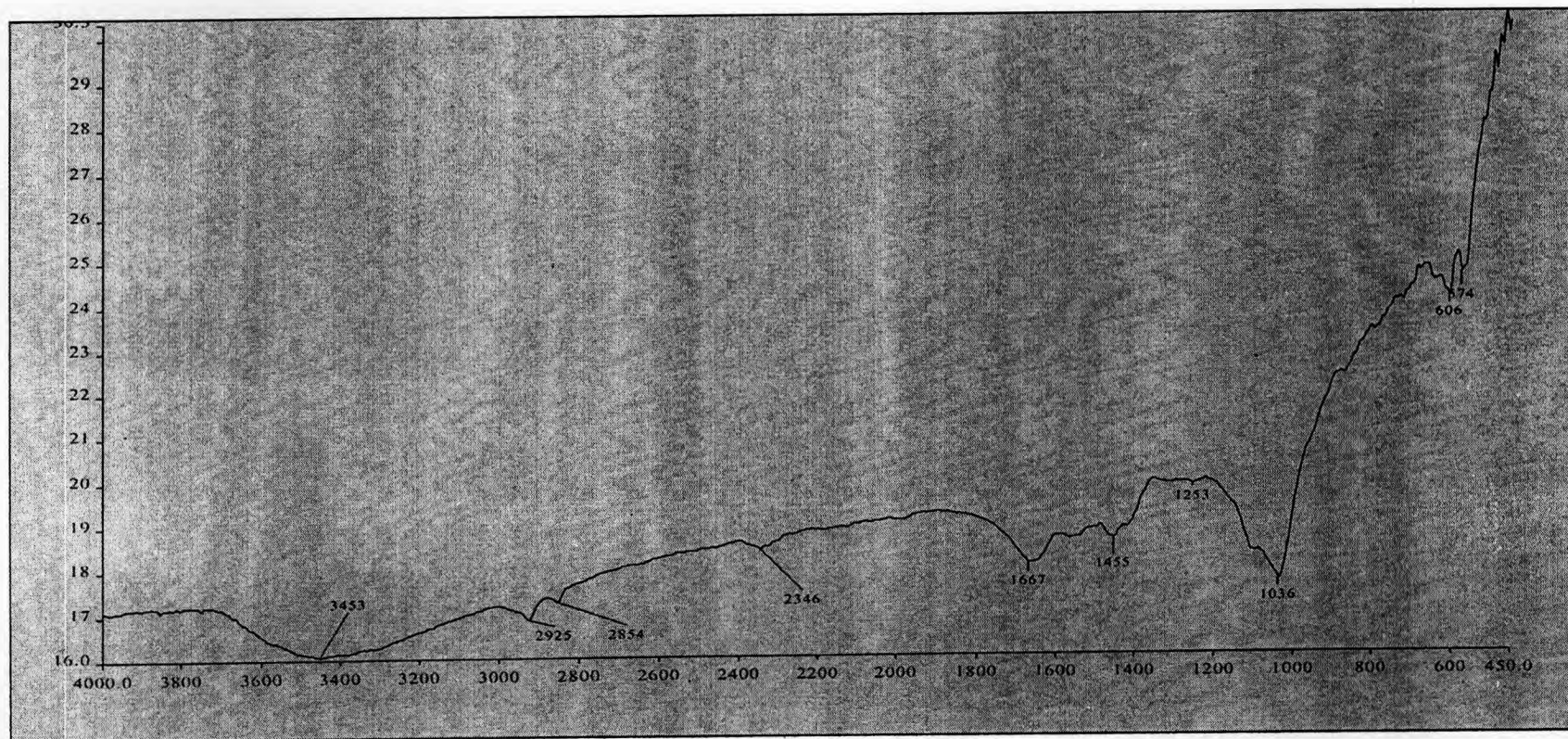
ภาพที่ ก-4 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของ ฟงกระดูก, ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์กระดูก



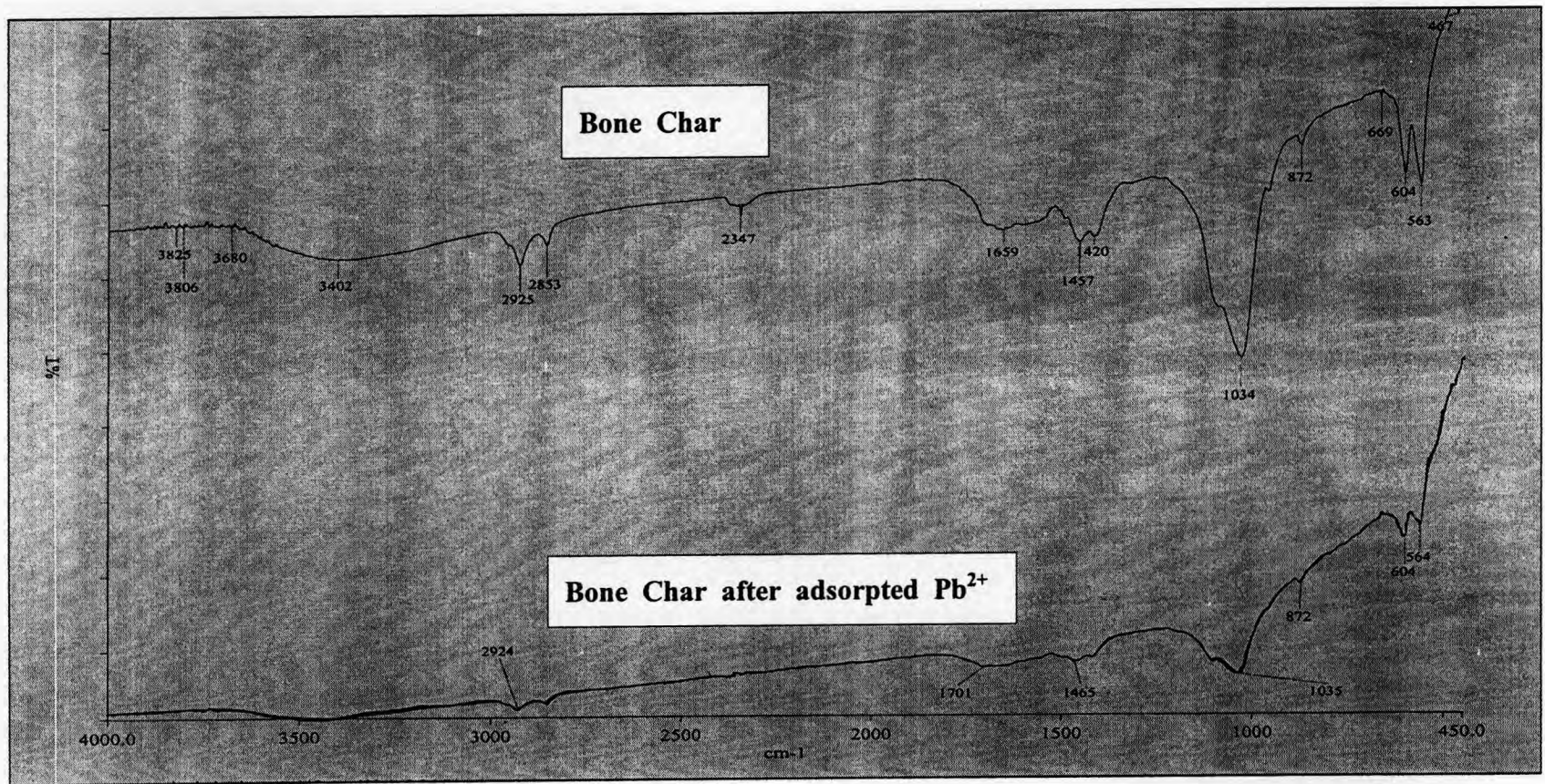
ภาพที่ ก-5 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกระดูกและถ่านกัมมันต์กระดูก



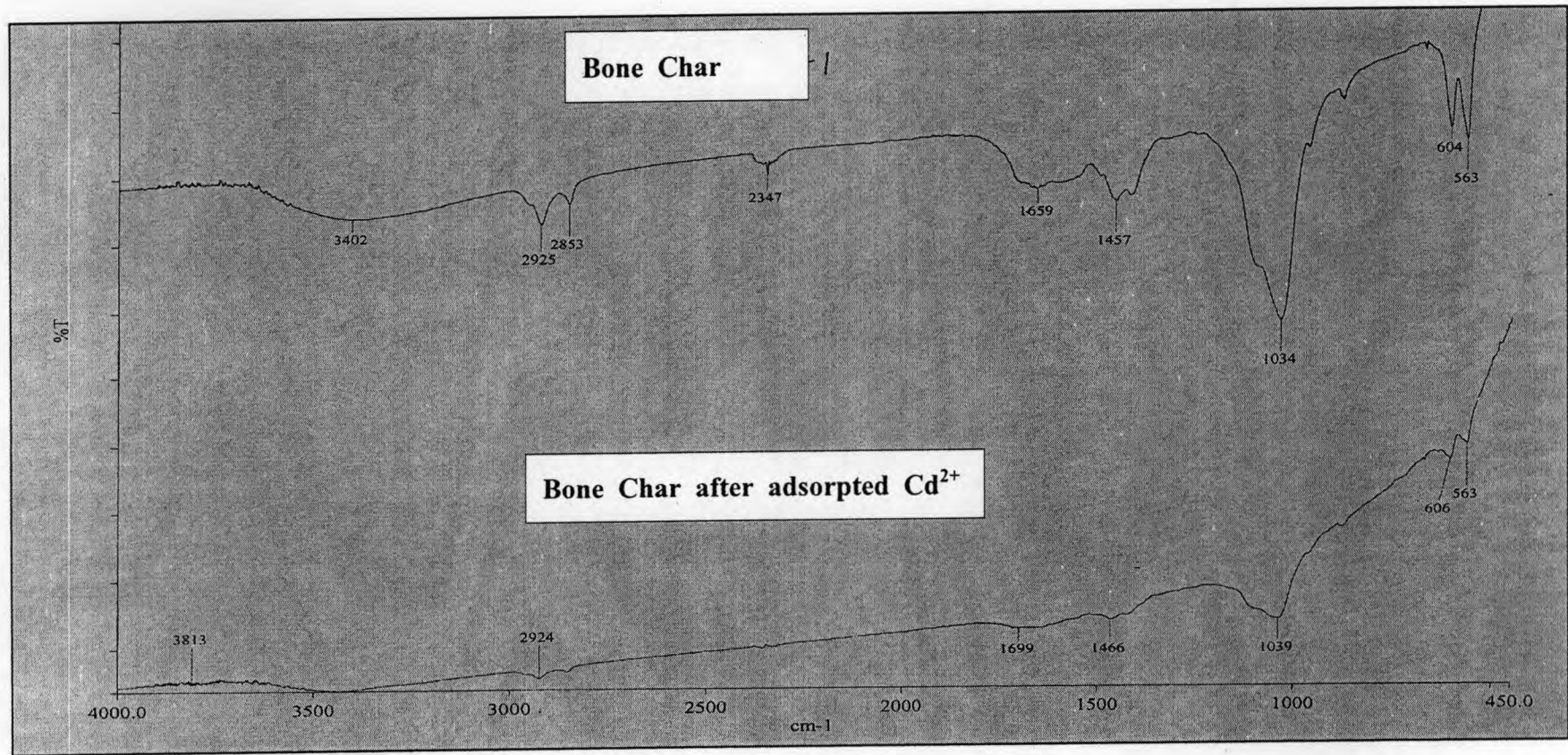
ภาพที่ ก-6 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



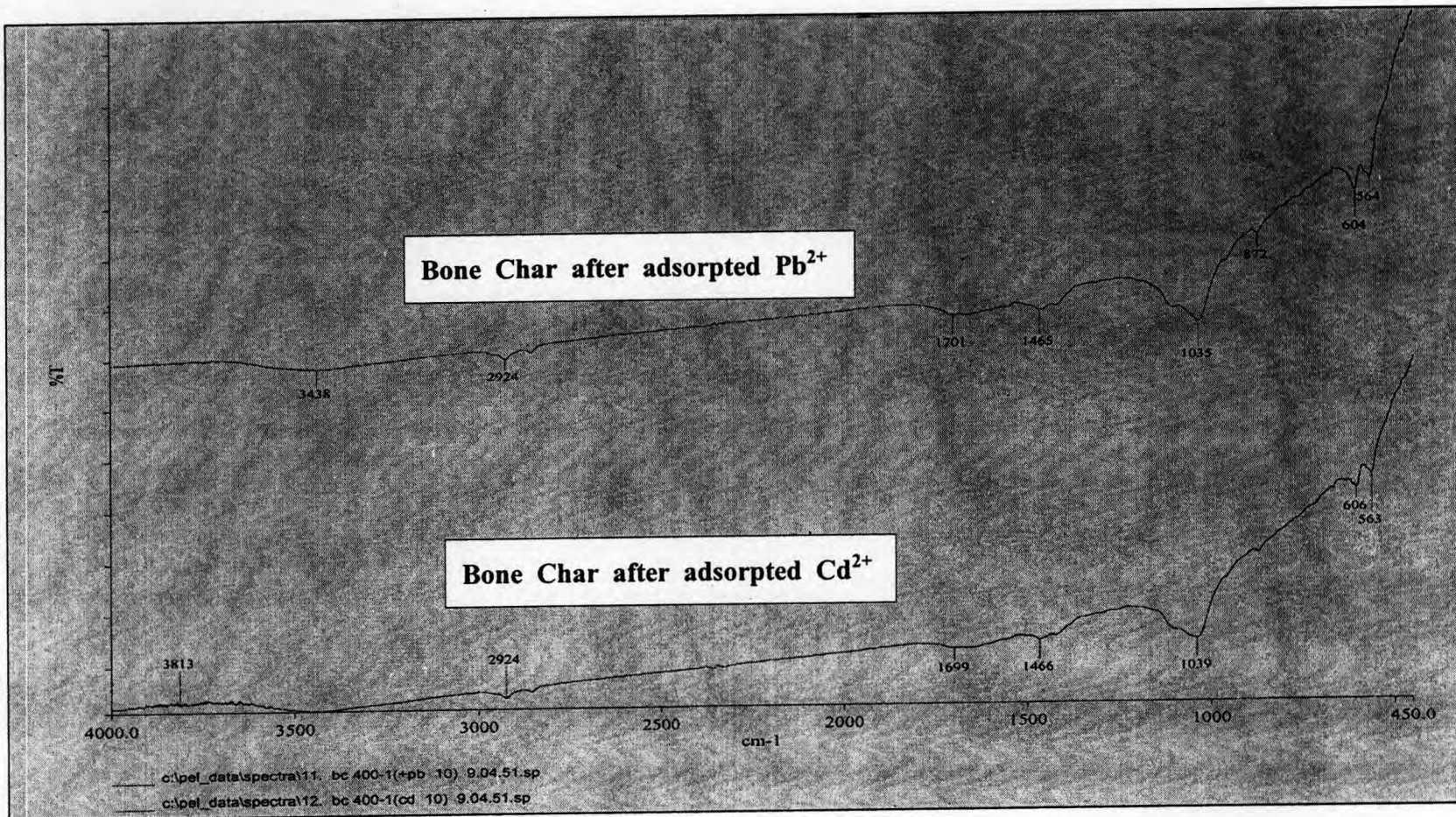
ภาพที่ ก-7 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของผงกระดูกภายหลังการดูดซับสารละลายแคดเมียม



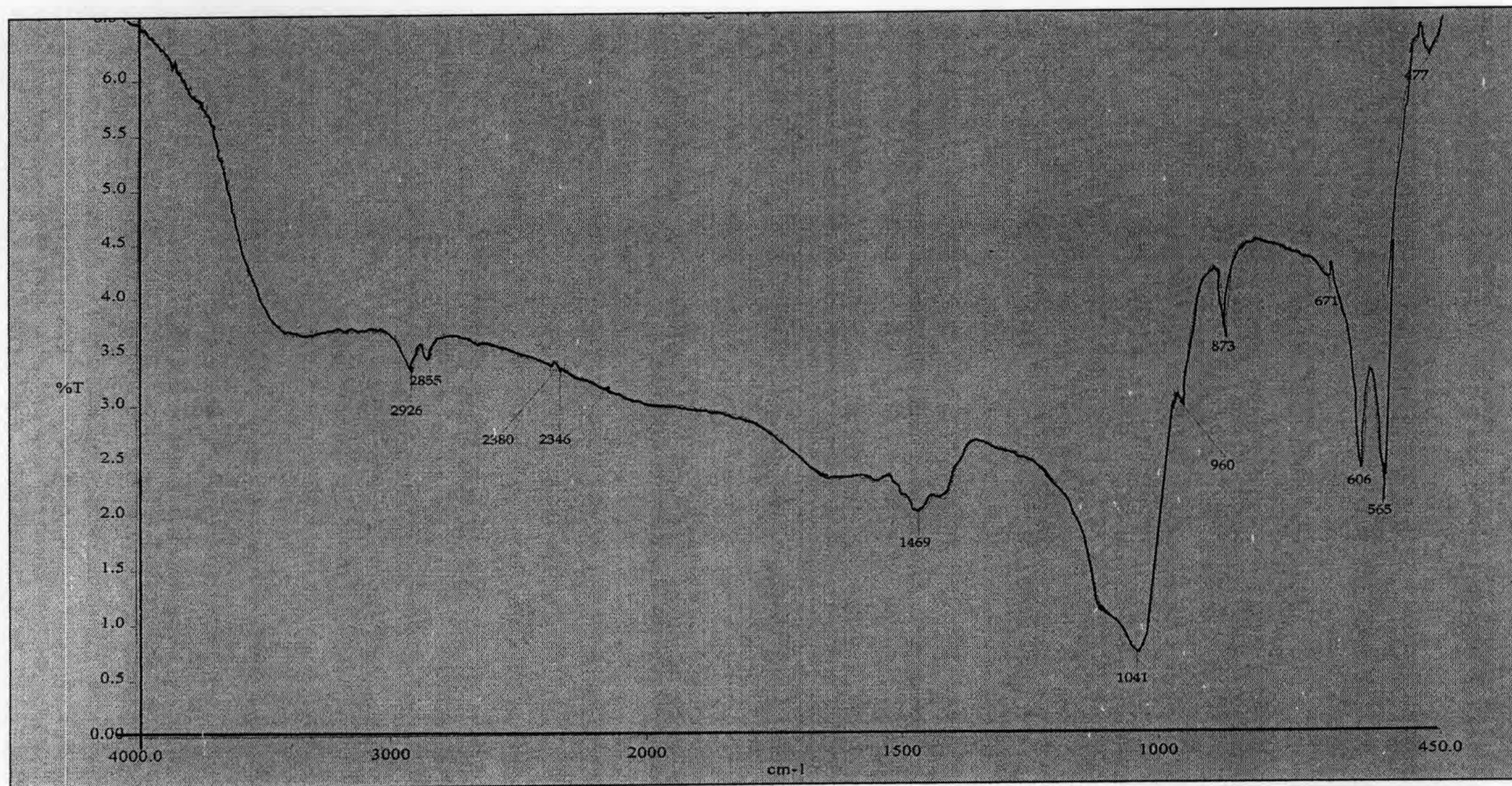
ภาพที่ ก-8 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มฟังก์ชันประกอบทางเคมีของถ่านกระดูกก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



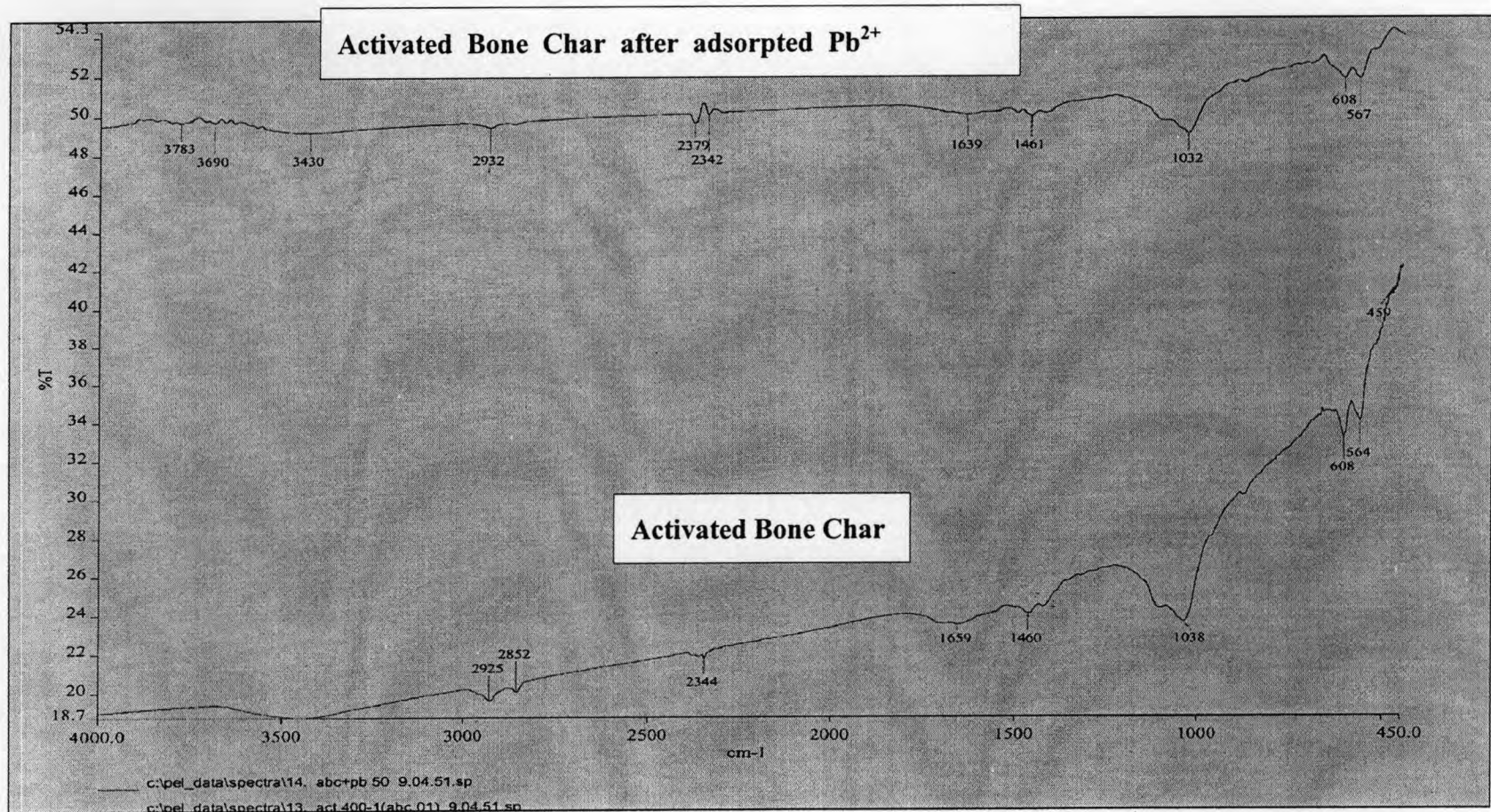
ภาพที่ ก-9 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกระดูกก่อนการดูดซับและภายหลังการดูดซับสารละลายแคดเมียม



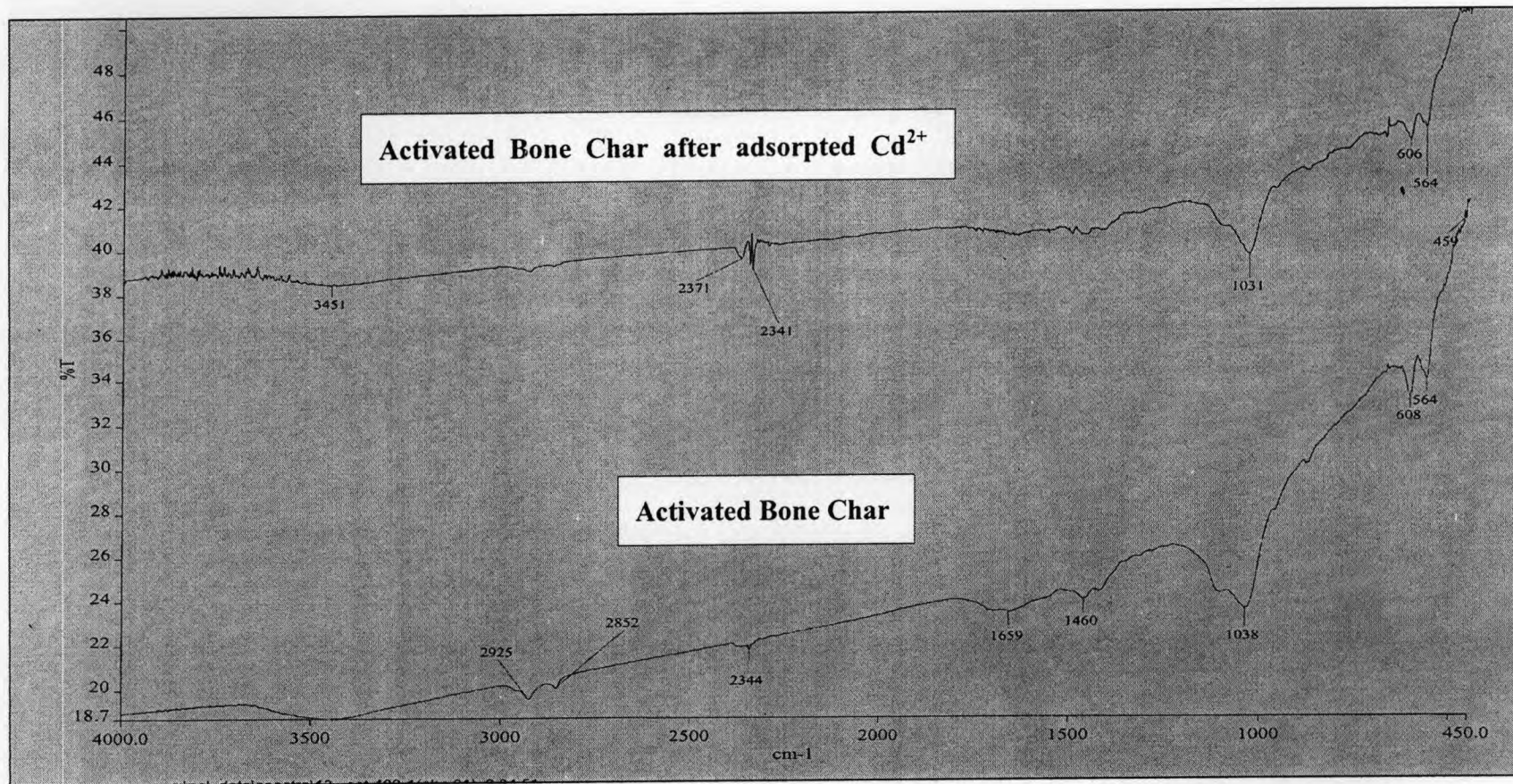
ภาพที่ ก-10 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกระดูกภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่วและสารละลายแคดเมียม



ภาพที่ ก-11 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์กระดูกภายหลังการดูดซับตะกั่ว



ภาพที่ ก-12 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์กระดูกลูกหมูหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว

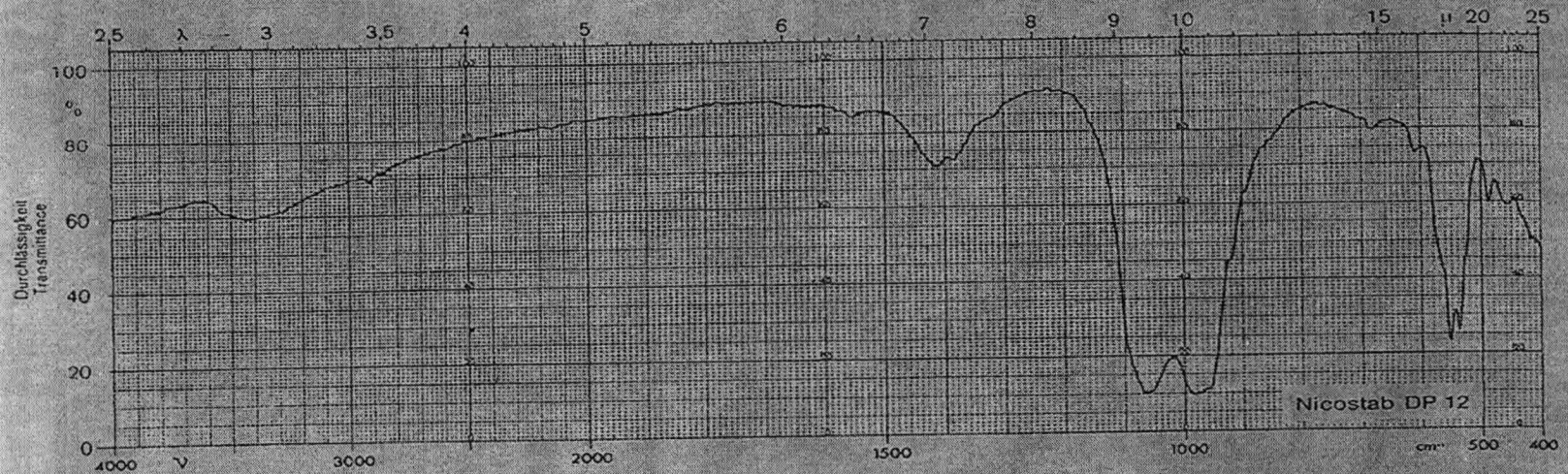


ภาพที่ ก-13 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของกลุ่มองค์ประกอบทางเคมีของถ่านกัมมันต์กระดูกภายหลังการดูดซับสารละลายแคดเมียม

Std.IR.curve of lead phosphate

Stabilisatoren
1. Anorganische Stabilisatoren
1.4. Carbonate, Oxidhydrate

Stabilizers
1. Inorganic Stabilizers
1.4. Carbonates, Oxidhydrates



6059

Zusammen-
setzung: Bleiphosphate
Handelsname: Nicostab DP 12
Präparation: KBr (6/1000)

Herst.: Argus
Dez. Nr.: 1.3.3

Composition: Lead phosphates

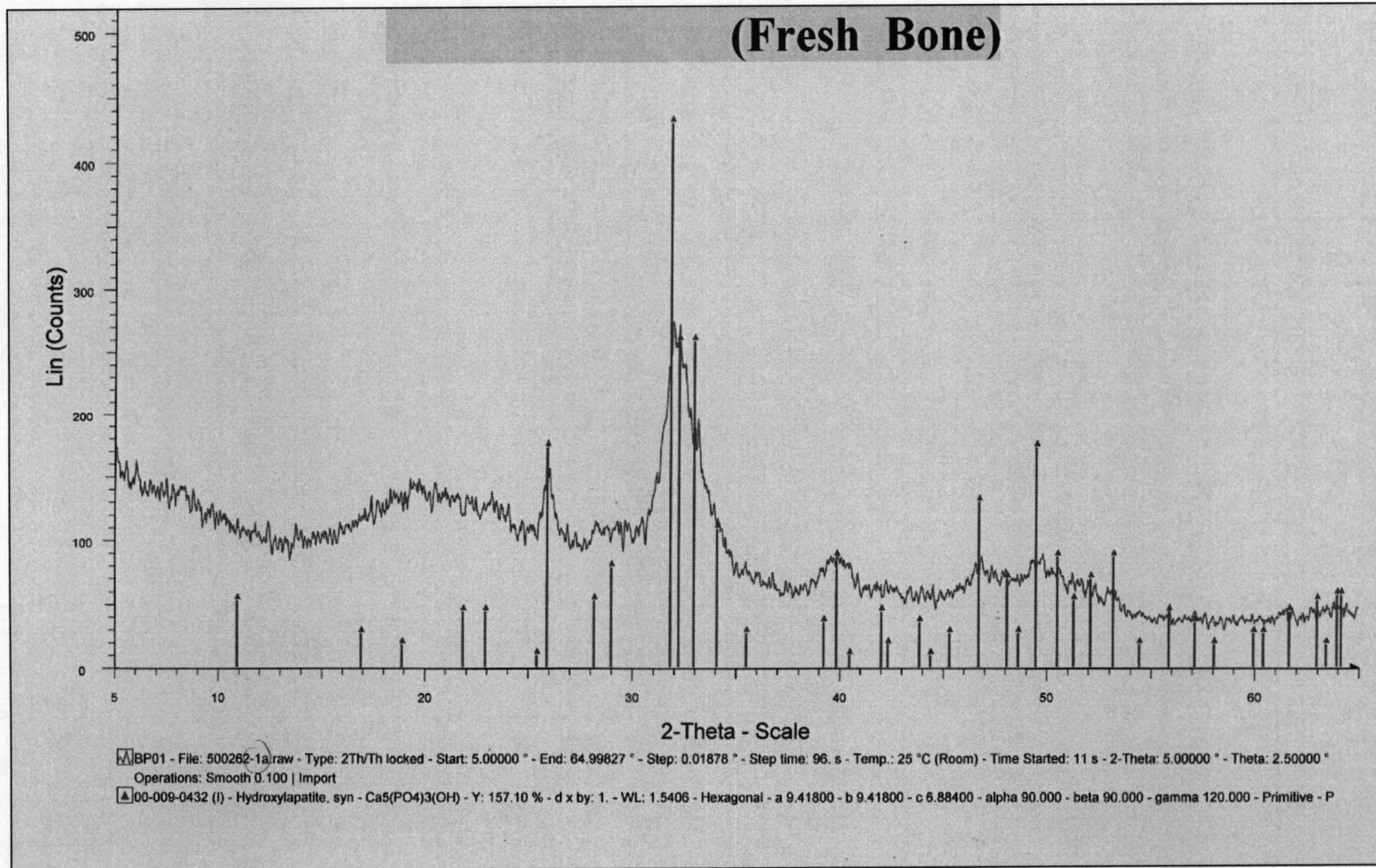
Tradename: Nicostab DP 12
Preparation: KBr (6/1000)

Manuf.: Argus
Dec. No.: 1.3.3

ภาพที่ ก-14 กราฟมาตรฐานของอินฟราเรดสเปกตรัมของเลดฟอสเฟต

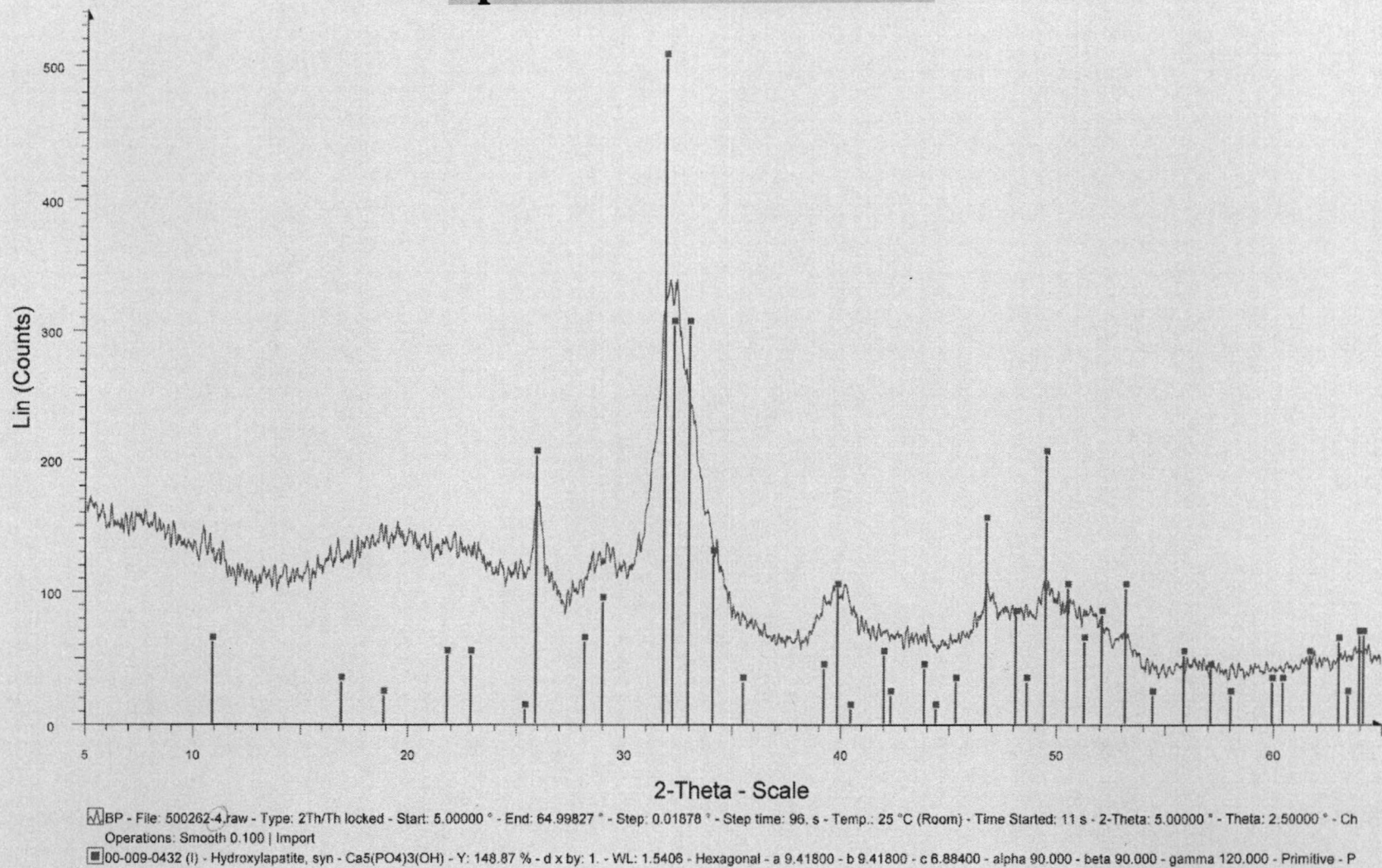
ภาคผนวก ข.

การศึกษาโครงสร้างผลึกของสารดูดซับกระดูกด้วยเครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโตมิเตอร์
(X-Ray Diffractometer: XRD)

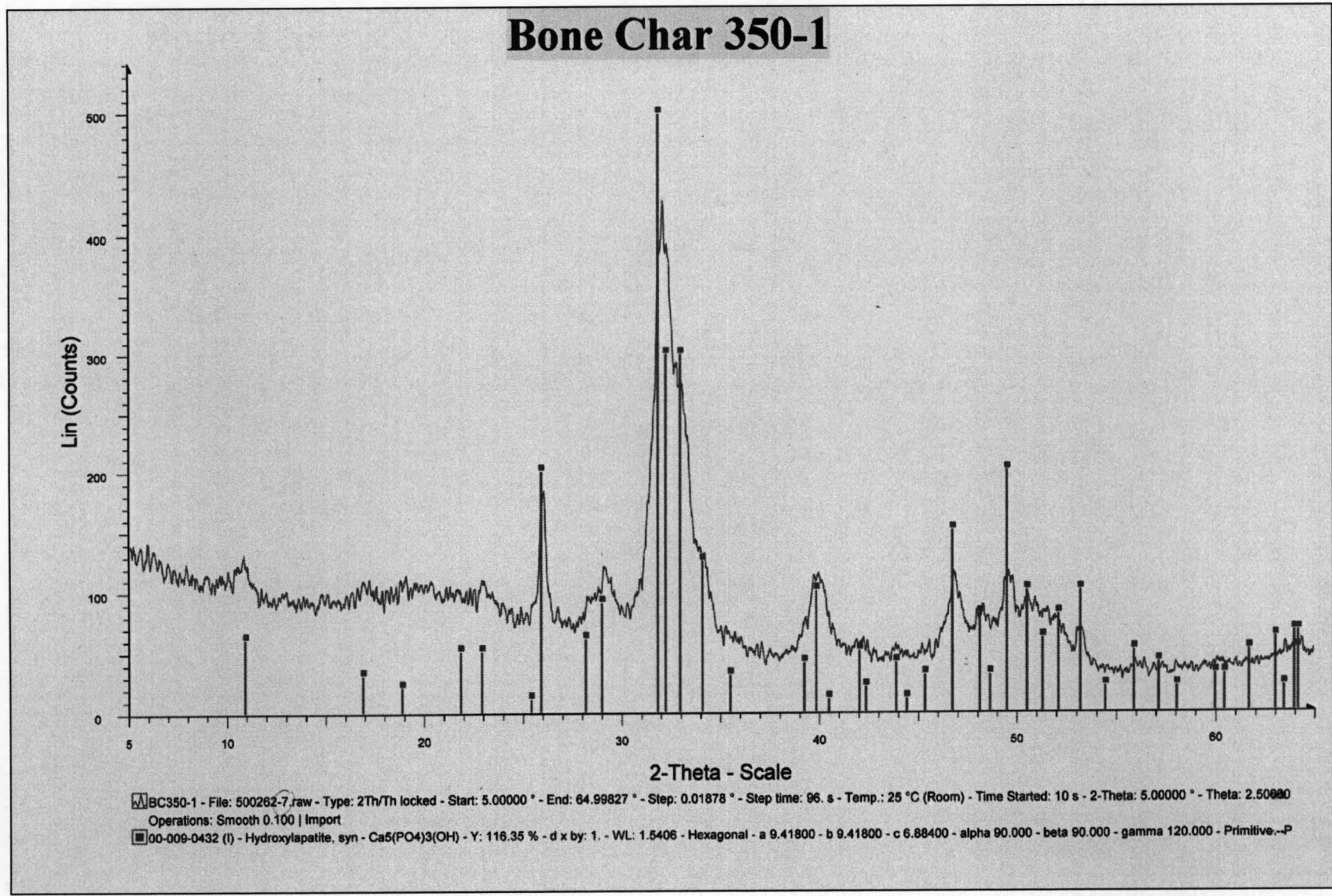


ภาพที่ ข-1 XRD สเปกตรัมของกระดูกสด

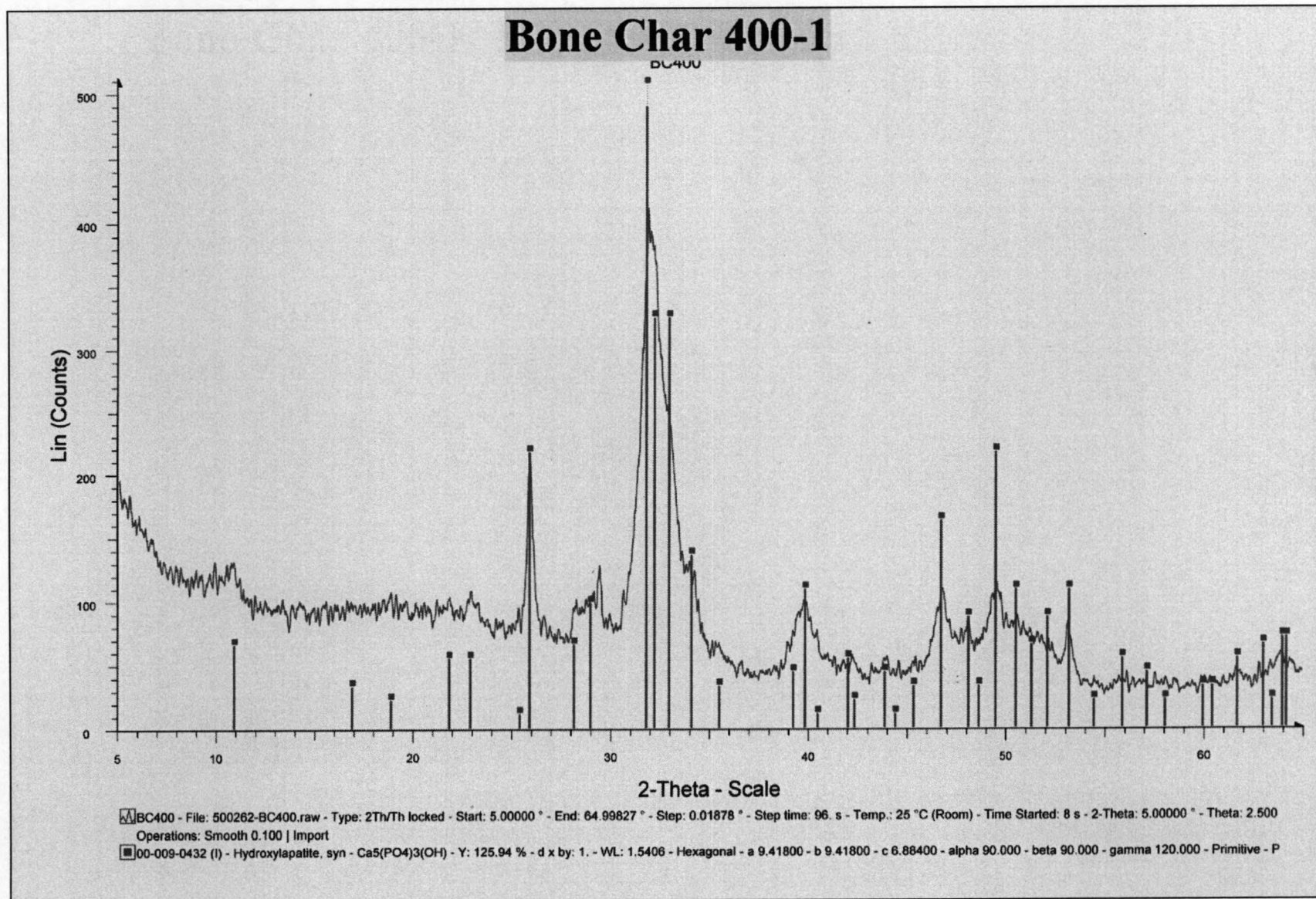
Spent Bone Powder 01



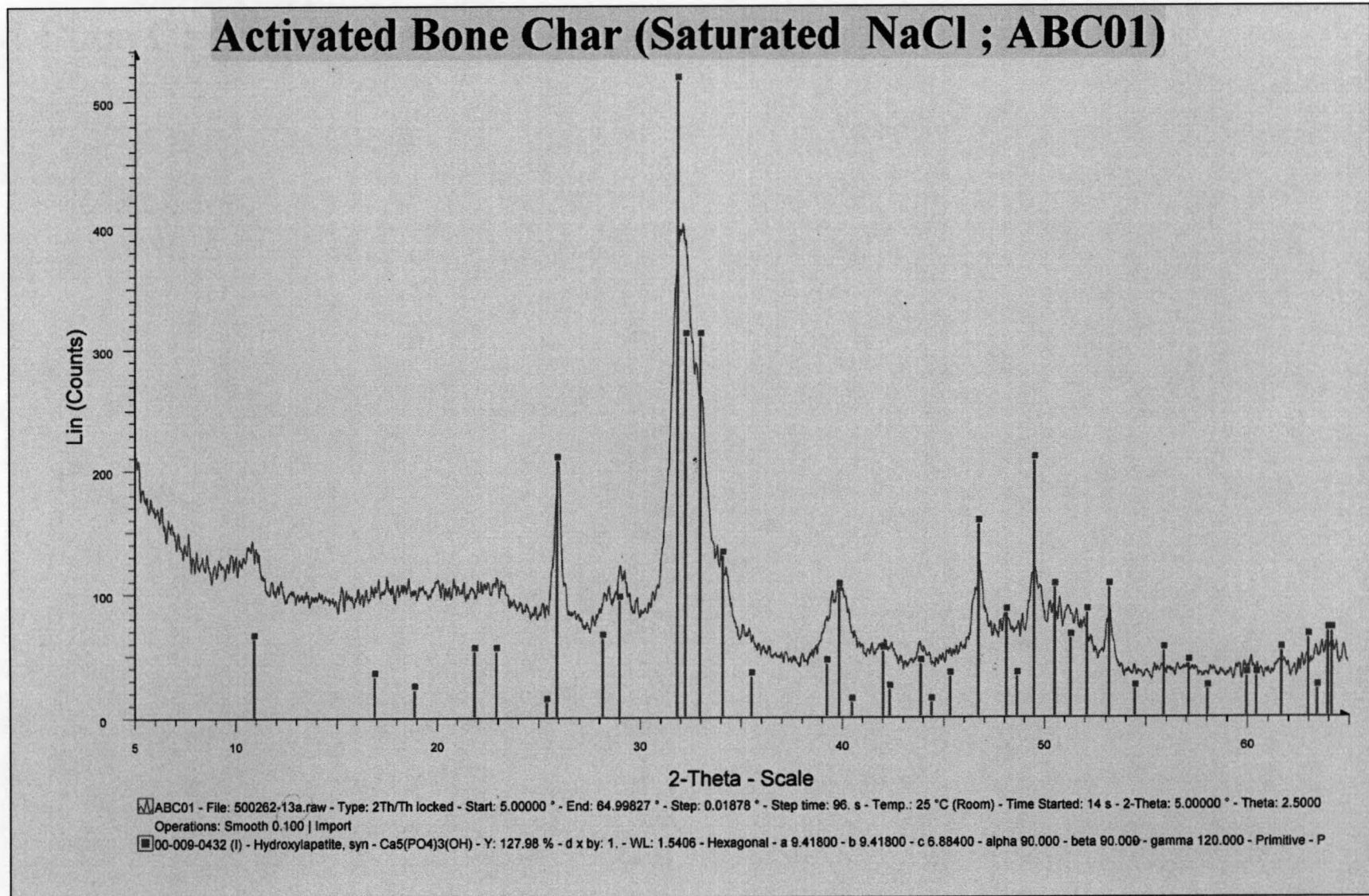
ภาพที่ ข-2 XRD สเปคตรัมของกระดูกคัมจากร้านอาหาร



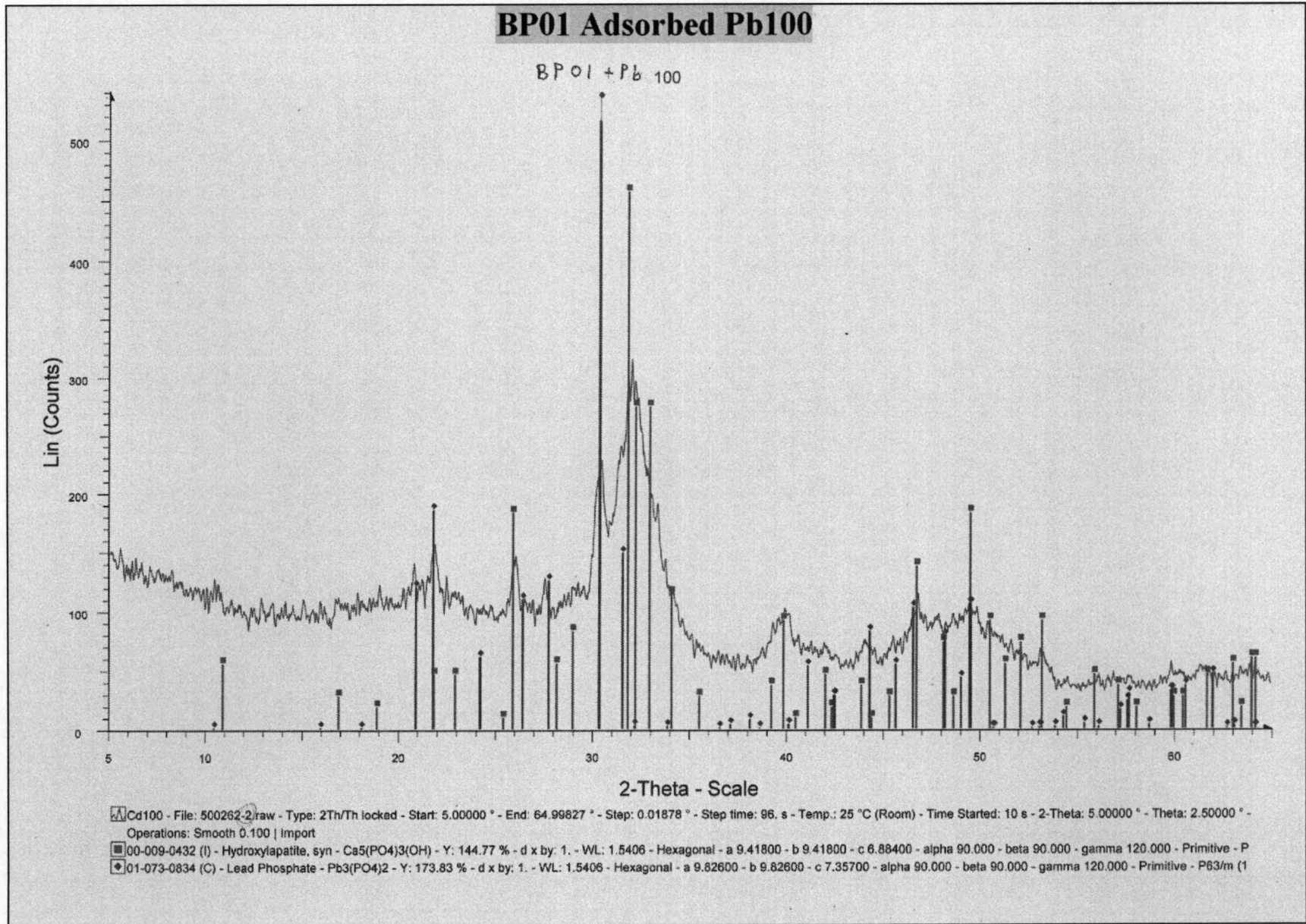
ภาพที่ ข-3 XRD สเปคตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง



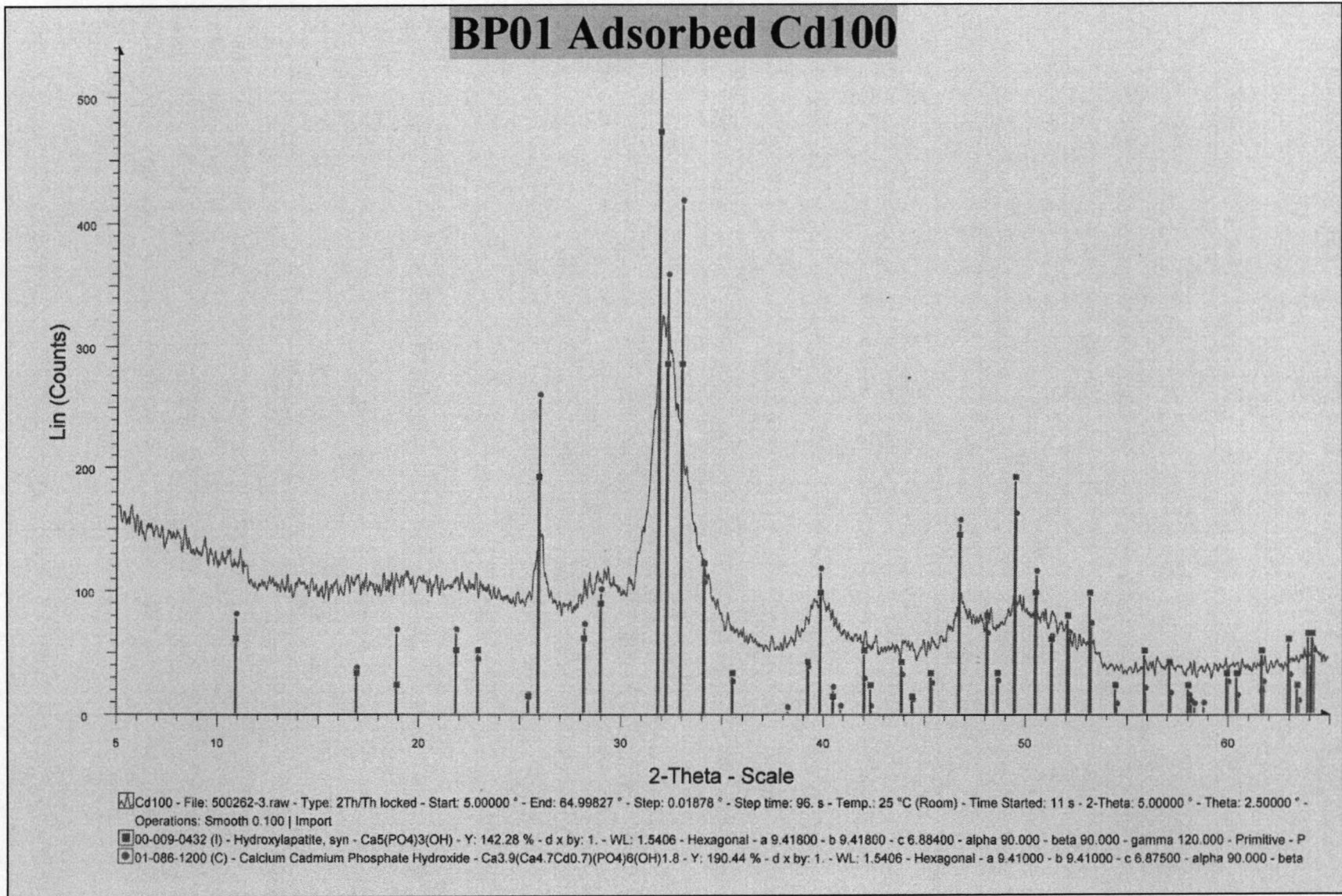
ภาพที่ ข-4 XRD สเปกตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง



ภาพที่ ข-5 XRD สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

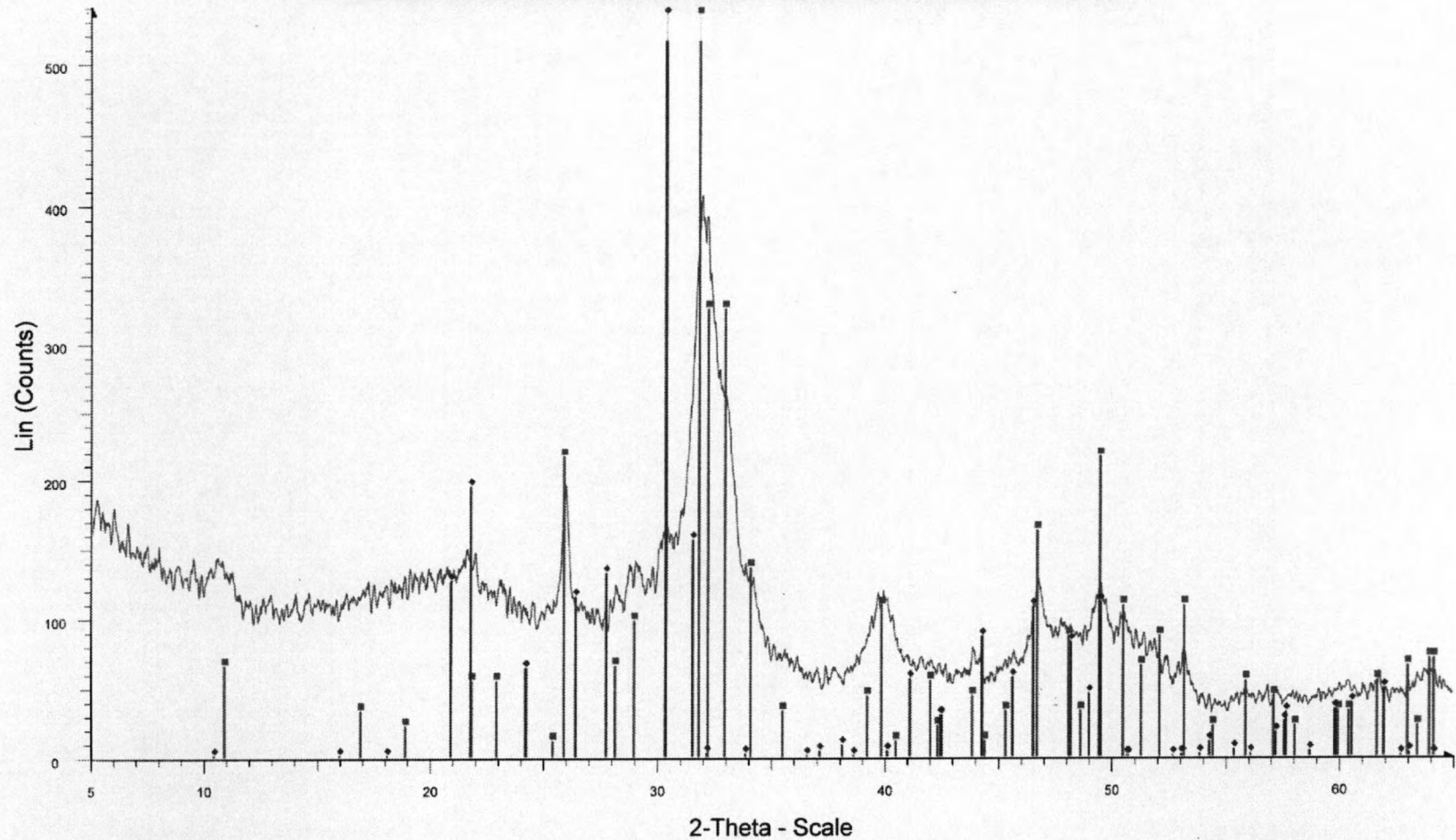


ภาพที่ ข-6 XRD สเปกตรัมของกระดูกสคภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



ภาพที่ ข-7 XRD สเปกตรัมของกระดูกสคภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม

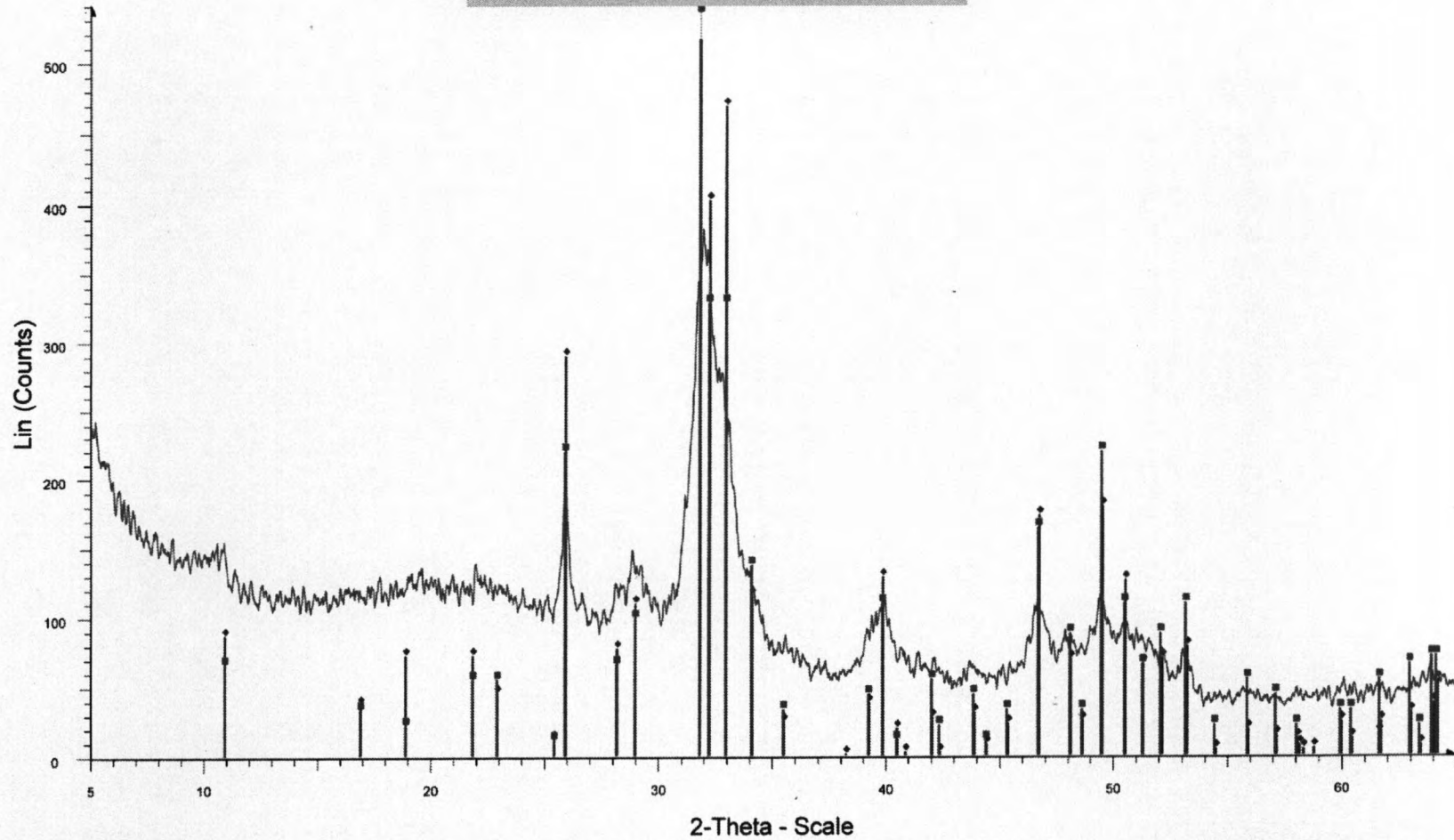
Spent Bone Powder Adsorbed Pb100



BP tom+Pb100 - File: 500262-5.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.00000 ° - End: 64.99827 ° - Step: 0.01878 ° - Step time: 96. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 11 s - 2-Theta: 5.00000 ° - Theta: 2.
Operations: Smooth 0.100 | Import
00-009-0432 (I) - Hydroxylapatite, syn - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ - Y: 133.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 9.41800 - b 9.41800 - c 6.88400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
01-073-0834 (C) - Lead Phosphate - $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ - Y: 141.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 9.82600 - b 9.82600 - c 7.35700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P63/m (1

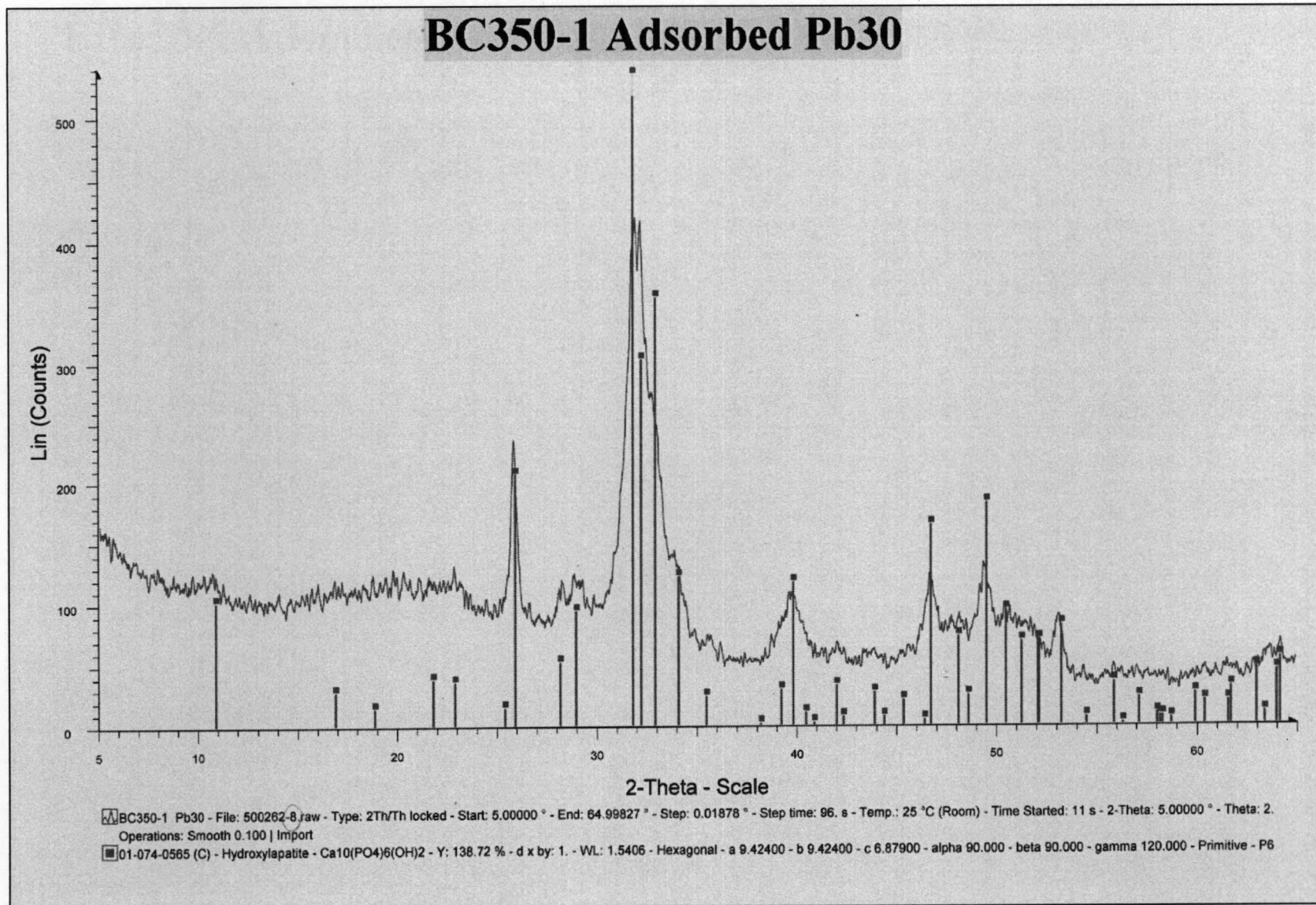
ภาพที่ ข-8 XRD สเปกตรัมของกระดูกคัมจากร้านอาหารภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว

BP02 Adsorbed Cd100

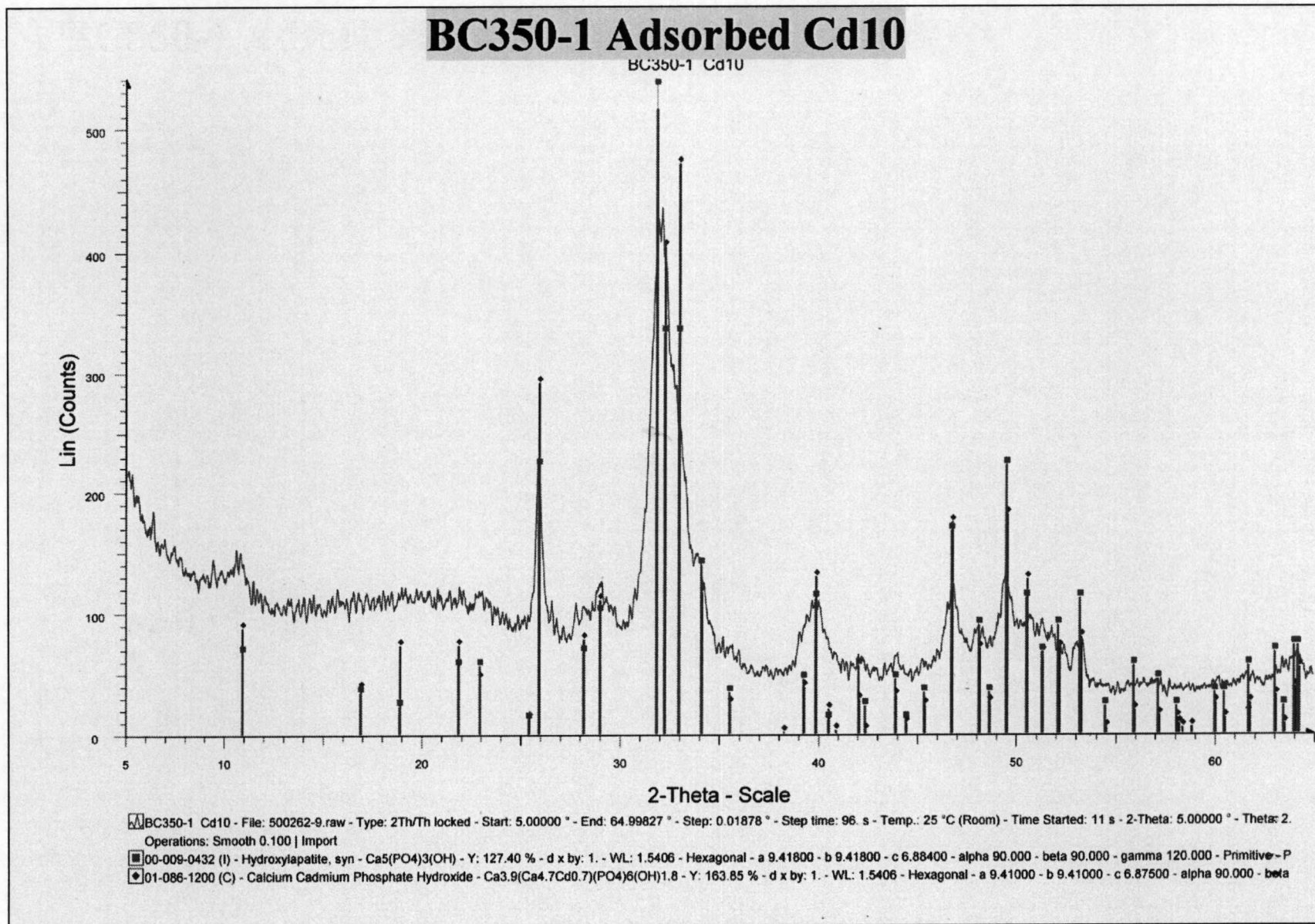


□ Cd100 - File: 500262-6.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.00000 ° - End: 64.99827 ° - Step: 0.01878 ° - Step time: 96. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 10 s - 2-Theta: 5.00000 ° - Theta: 2.50000 ° -
Operations: Smooth 0.100 | Import
■ 00-009-0432 (I) - Hydroxylapatite, syn - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ - Y: 143.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 9.41800 - b 9.41800 - c 6.88400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
◆ 01-086-1200 (C) - Calcium Cadmium Phosphate Hydroxide - $\text{Ca}_3.9(\text{Ca}_4.7\text{Cd}_0.7)(\text{PO}_4)_6(\text{OH})1.8$ - Y: 185.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 9.41000 - b 9.41000 - c 6.87500 - alpha 90.000 - beta

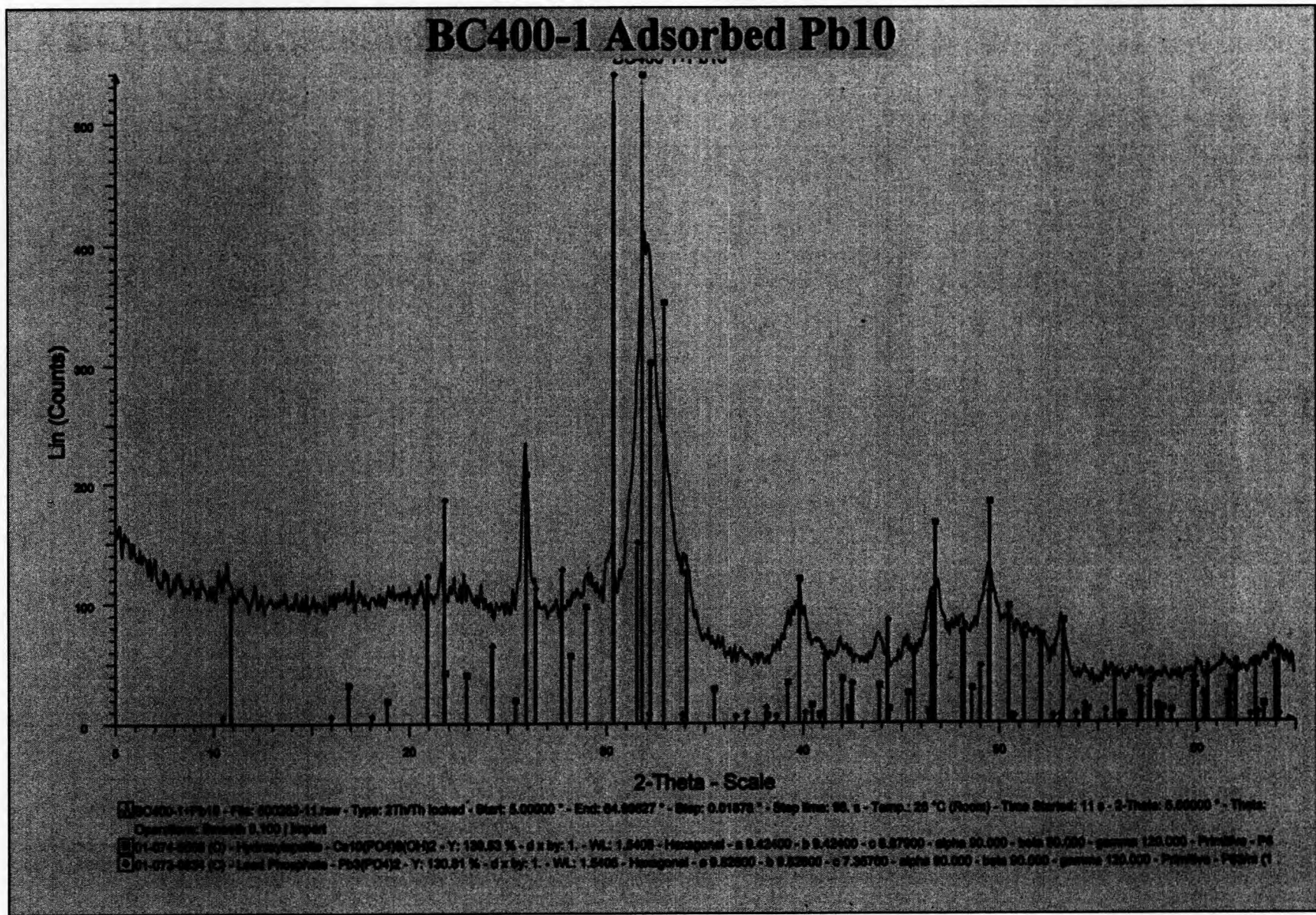
ภาพที่ ข-9 XRD สเปคตรัมของกระดูกคัมจากร้านอาหารภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม



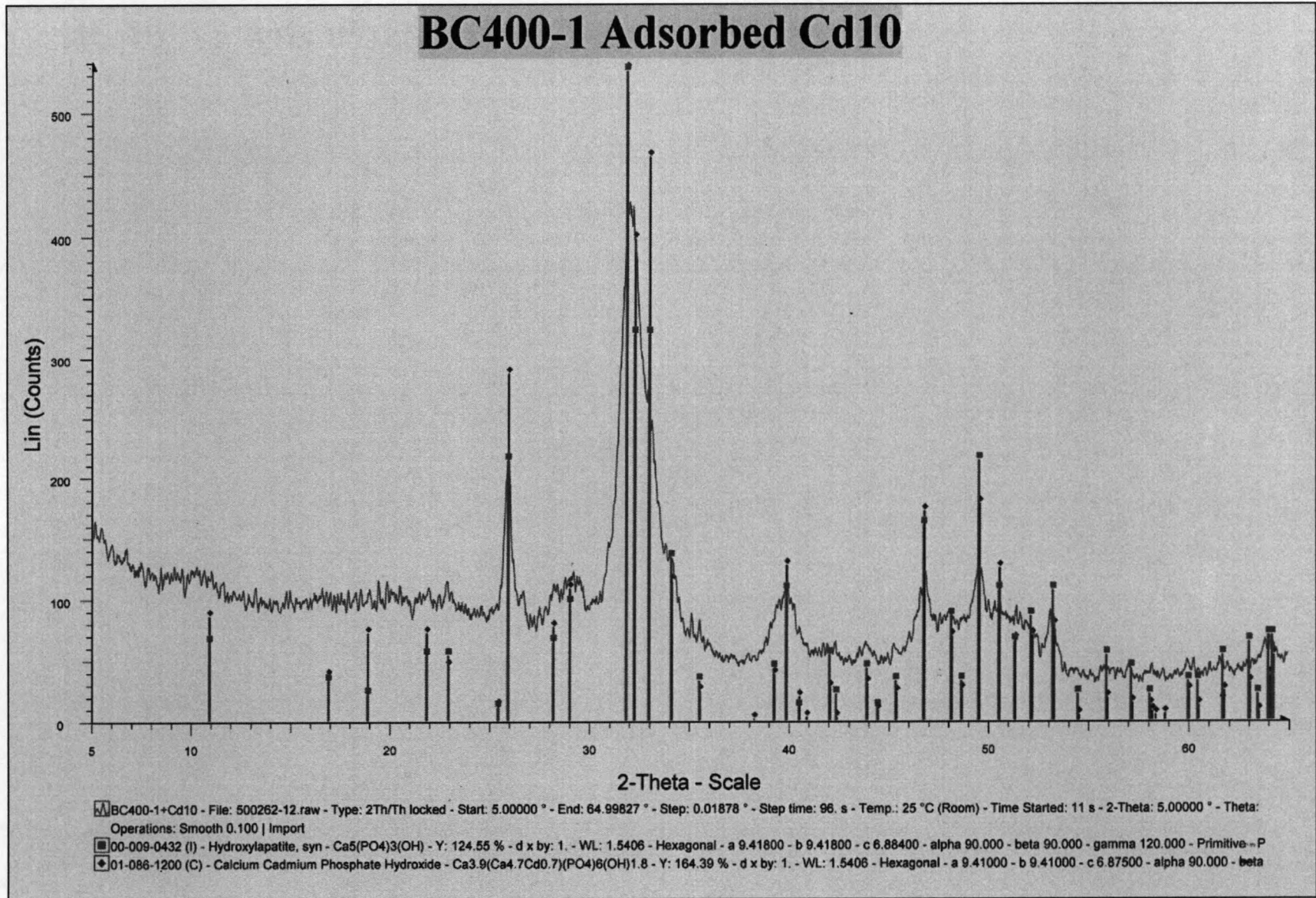
ภาพที่ ข-10 XRD สเปกตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



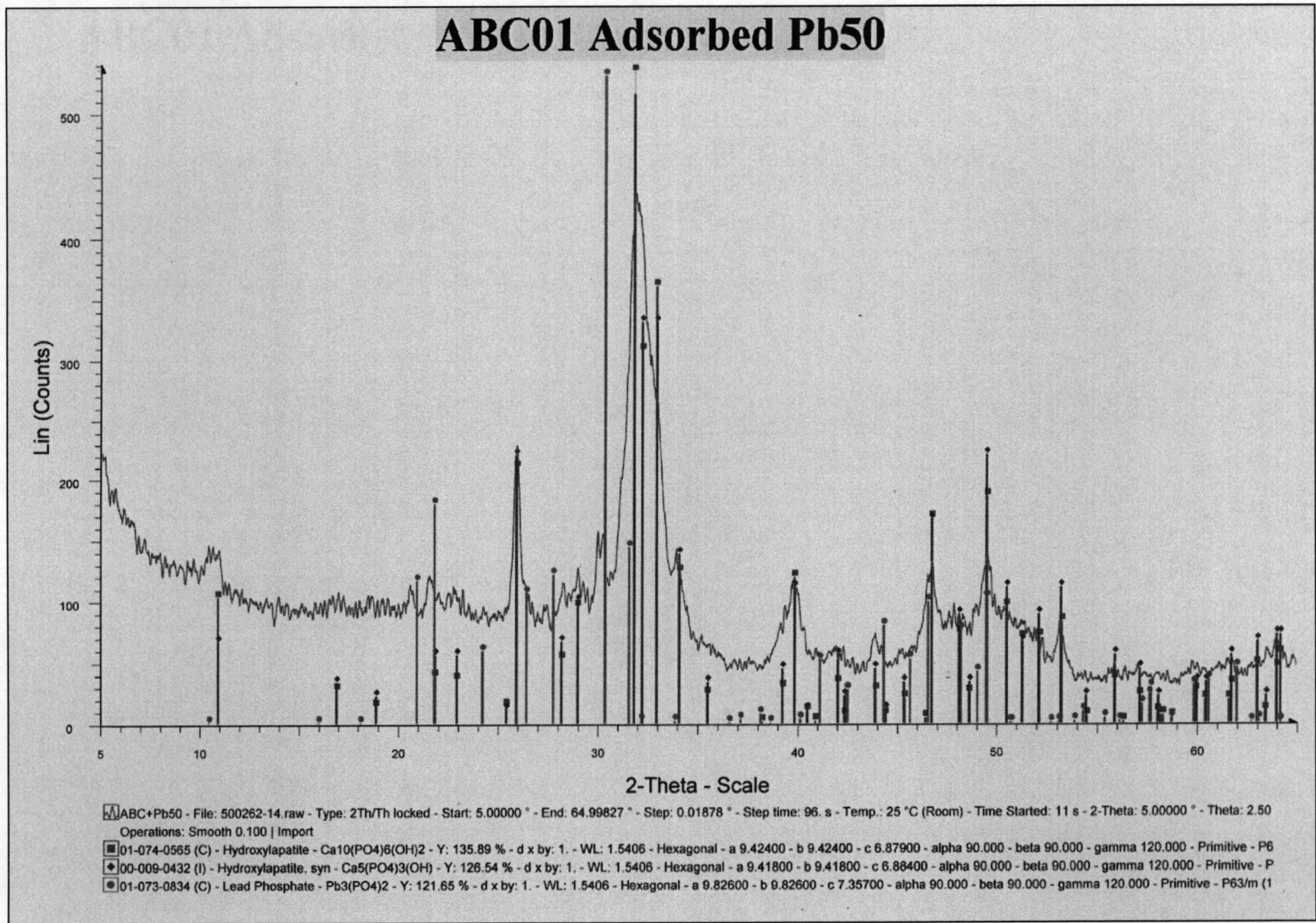
ภาพที่ ข-11 XRD สเปกตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม



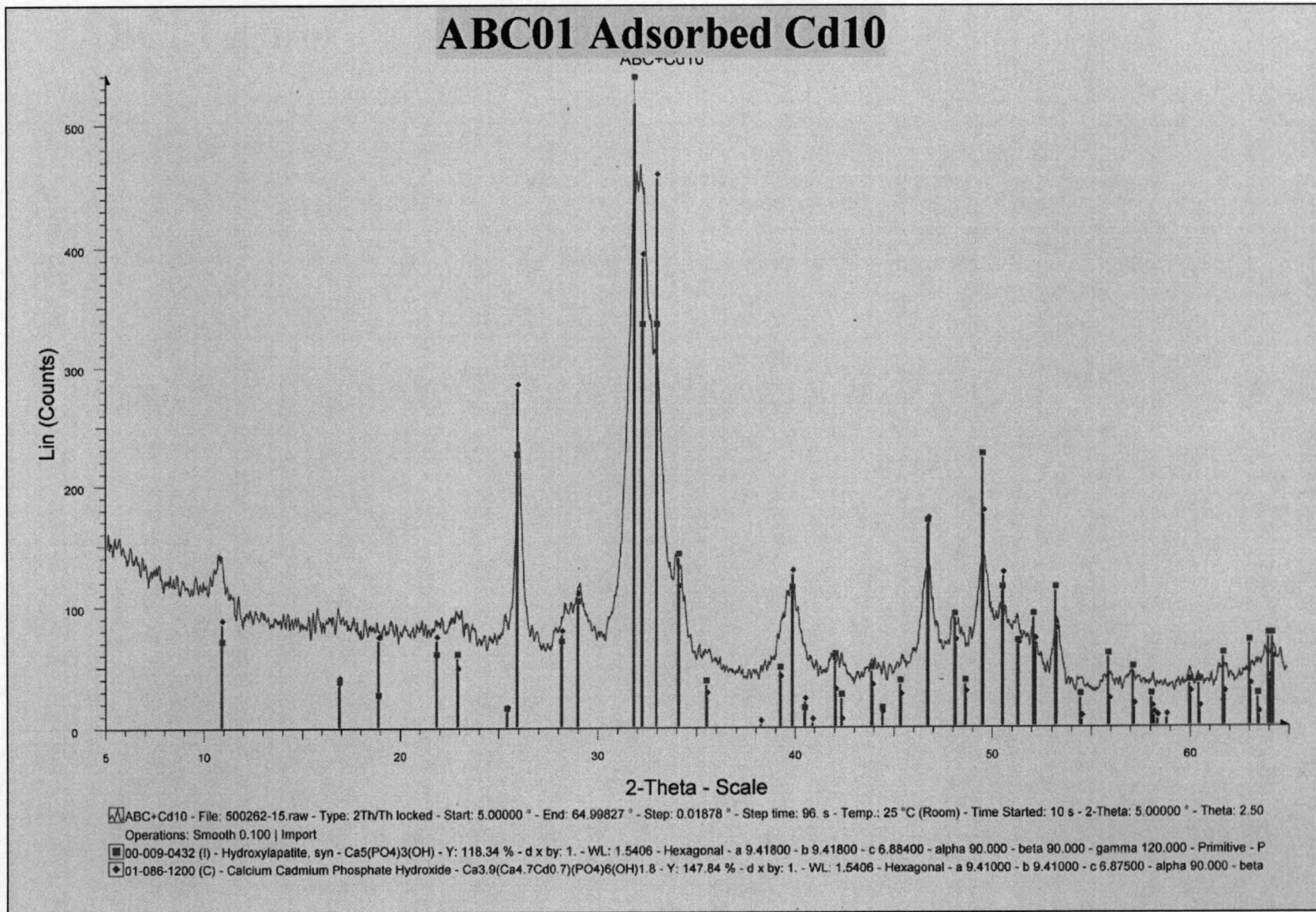
ภาพที่ ข-12 XRD สเปกตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



ภาพที่ ข-13 XRD สเปกตรัมของถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม



ภาพที่ ข-14 XRD สเปกตรัมของถ่านกัมมันต์กระดูกลูกหมูหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว



ภาพที่ ข-15 XRD สเปคตรัมของถ่านกัมมันต์กระดูกภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม

ภาคผนวก ก

**การทดลองหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับสารดูดซับกระดูกในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม
โดยการทดลองแบบเบตซ์**

ตารางที่ ค-1 ผลการการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูกต้ม 0.02, 0.05 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.02 ก./ล.	0.05 ก./ล.	0.02 ก./ล.	0.05 ก./ล.	0.02 ก./ล.	0.05 ก./ล.
blank	10.85	9.751	0	0	0	0
10 นาที	5.940	5.146	4.910	4.605	45.25	47.23
20 นาที	4.388	5.755	6.462	3.996	59.56	40.98
30 นาที	5.040	4.164	5.810	5.587	53.55	57.30
1 ชม.	2.382	3.945	8.468	5.806	78.05	59.54
4 ชม.	3.8357	0.836	6.993	8.915	64.45	91.43
8 ชม.	1.7243	0.195	9.1257	9.556	84.11	98.00
16 ชม.	1.481	0.000	9.369	9.751	86.35	100.00
24 ชม.	0.000	0.000	10.850	9.751	100	100.00

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ก-2 ผลการการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูกต้ม 0.10, 0.20 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาต้มพืช นาที่/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.10 ก./ล.	0.20 ก./ล.	0.10 ก./ล.	0.20 ก./ล.	0.10 ก./ล.	0.20 ก./ล.
blank	9.751	9.751	0	0	0	0
10 นาที	3.025	0.007	6.726	9.744	68.98	99.93
20 นาที	3.036	0.005	6.715	9.746	68.86	99.95
30 นาที	4.734	0.035	5.017	9.716	51.45	99.64
1 ชม.	0.009	0.029	9.742	9.722	99.91	99.70
4 ชม.	0.163	0.019	9.588	9.732	98.33	99.81
8 ชม.	0.000	0.000	9.751	9.751	100.00	100.00
16 ชม.	0.000	0.000	9.751	9.751	100.00	100.00
24 ชม.	0.000	0.000	9.751	9.751	100.00	100.00

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ก-3 ผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก 0.006 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1
blank	10.850	10.850	0.000	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.886	10.044	0.964	0.806	8.89	7.43
20 นาที	7.634	7.171	3.216	3.679	29.64	33.91
30 นาที	9.313	9.387	1.537	1.463	14.17	13.48
1 ชม.	3.725	9.002	7.125	1.848	65.67	17.03
4 ชม.	8.324	8.474	2.526	2.376	23.28	21.90
8 ชม.	9.140	8.519	1.710	2.331	15.76	21.48
16 ชม.	9.179	6.574	1.671	4.276	15.40	39.41
24 ชม.	6.504	6.093	4.346	4.757	40.06	43.84
36 ชม.	6.711	0.080	4.139	10.972	37.45	99.28
48 ชม.	8.913	0.535	1.937	10.518	17.51	95.16
72 ชม.	0.700	0.082	10.78	10.970	99.35	99.26

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-4 ผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก 0.015 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1
blank	10.850	10.850	0.000	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.913	9.257	0.937	1.593	8.64	14.68
20 นาที	7.028	6.554	3.822	4.296	35.23	39.59
30 นาที	9.289	6.514	1.561	4.336	14.39	39.96
1 ชม.	7.070	7.969	3.780	2.881	34.84	26.55
4 ชม.	9.182	7.667	1.668	3.183	15.37	29.34
8 ชม.	8.511	7.102	2.339	3.748	21.56	34.54
16 ชม.	8.887	2.502	1.963	8.348	18.09	76.94
24 ชม.	5.224	2.719	5.626	8.131	51.85	74.94
36 ชม.	7.263	0.004	3.587	11.048	33.06	99.96
48 ชม.	8.177	0.001	2.673	11.052	24.64	99.99
72 ชม.	5.422	2.223	5.428	8.830	50.03	79.89

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-5 ผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1
blank	10.850	10.850	0.000	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.940	9.041	0.910	1.809	8.39	16.67
20 นาที	6.262	7.298	4.588	3.552	42.29	32.74
30 นาที	9.169	8.963	1.681	1.887	15.49	17.39
1 ชม.	7.334	8.168	3.516	2.682	32.41	24.72
4 ชม.	8.673	7.393	2.177	3.457	20.07	31.86
8 ชม.	8.173	6.572	2.667	4.278	24.58	39.43
16 ชม.	5.740	4.124	2.765	6.726	25.48	61.99
24 ชม.	6.190	1.517	3.687	9.330	33.98	86.02
36 ชม.	5.528	1.587	5.322	9.263	49.05	85.37
48 ชม.	8.942	0.031	1.908	10.819	17.54	99.71
72 ชม.	7.379	0.033	3.471	10.817	31.99	99.70

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-6 ผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก 0.05 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1	BC 350-1	BC 400-1
blank	10.850	10.850	0.000	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.891	8.846	0.91	2.004	8.39	18.47
20 นาที	7.646	6.825	4.588	4.025	42.29	37.10
30 นาที	9.738	8.149	1.681	2.701	15.49	24.89
1 ชม.	7.484	6.263	3.516	4.587	32.41	42.28
4 ชม.	8.810	6.621	2.177	4.229	20.07	38.98
8 ชม.	7.529	8.014	2.667	2.836	24.58	26.14
16 ชม.	5.678	0.816	2.765	10.034	25.48	92.48
24 ชม.	4.897	0.350	3.687	10.500	33.98	96.77
36 ชม.	4.227	0.028	6.623	10.822	61.04	99.74
48 ชม.	7.387	0.031	3.463	10.819	31.92	99.71
72 ชม.	6.447	0.054	4.403	10.796	40.53	99.50

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-7 ผลการทดลองกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC350-1) 0.10 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูก กำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด
blank	11.0525	0	0
10 นาที	9.797	1.255	11.36
20 นาที	9.749	1.304	11.80
30 นาที	10.273	0.779	7.05
1 ชม.	7.514	3.539	32.02
4 ชม.	7.152	3.901	35.30
8 ชม.	4.268	6.785	61.39
16 ชม.	2.158	8.895	80.48
24 ชม.	0.098	10.954	99.11
36 ชม.	0.767	10.285	93.05
48 ชม.	0.104	10.949	99.06
72 ชม.	1.628	9.425	85.27

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-8 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยกระดุกต้ม 0.02 , 0.05 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.02 กรัม ต่อลิตร	0.05 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.05 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.05 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.034	9.034	0	0	0	0
30 นาที	8.466	8.002	0.568	1.032	6.29	11.43
1 ชม.	7.918	8.458	1.116	0.576	12.35	6.37
4 ชม.	8.640	8.498	0.394	0.536	4.36	5.93
8 ชม.	8.613	8.181	0.421	0.852	4.66	9.43
24 ชม.	8.386	7.504	0.648	1.529	7.17	16.92
36 ชม.	5.063	6.157	3.971	2.877	43.95	31.83
48 ชม.	2.279	3.524	6.155	5.510	68.11	60.97
72 ชม.	1.383	5.428	7.651	3.605	84.69	39.90

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ก-9 ผลการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยกระดุกต้ม 0.10, 0.50 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.10 กรัม ต่อลิตร	0.50 กรัมต่อ ลิตร	0.10 กรัมต่อ ลิตร	0.50 กรัมต่อ ลิตร	0.10 กรัมต่อ ลิตร	0.50 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.034	9.938	0	0	0	0
30 นาที	8.014	3.963	1.022	5.975	11.32	60.12
1 ชม.	7.882	3.808	1.152	6.130	12.75	61.68
4 ชม.	7.740	0.847	1.294	9.091	14.32	91.48
8 ชม.	7.687	0.674	1.347	9.264	14.91	93.22
24 ชม.	7.523	0.169	1.511	9.769	16.72	98.30
36 ชม.	8.209	0.138	0.825	9.800	9.13	98.61
48 ชม.	7.456	0.149	1.578	9.789	17.47	98.50
72 ชม.	6.733	0.046	2.300	9.892	25.46	99.54

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-10 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยกระดุกคัม 0.80, 1.20 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.80 กรัม ต่อลิตร	1.20 กรัมต่อ ลิตร	0.80 กรัมต่อ ลิตร	1.20 กรัมต่อ ลิตร	0.80 กรัมต่อ ลิตร	1.20 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.938	9.938	0	0	0	0
30 นาที	3.468	0.652	6.470	9.286	65.10	93.44
1 ชม.	1.296	0.773	8.642	9.165	86.96	92.22
4 ชม.	0.802	0.242	9.136	9.696	91.93	97.57
8 ชม.	0.234	0.150	9.704	9.788	97.65	98.49
24 ชม.	0.074	0.042	9.864	9.896	99.26	99.58
36 ชม.	0.101	0.044	9.837	9.894	98.98	99.56
48 ชม.	0.071	0.040	9.867	9.898	99.29	99.60
72 ชม.	0.025	0.031	9.913	9.907	99.75	99.69

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-11 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC350-1) 0.02, 0.04 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.02 กรัม ต่อลิตร	0.04 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.04 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.04 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.034	9.034	0	0	0	0
30 นาที	8.214	8.292	0.820	0.742	9.08	8.21
1 ชม.	9.003	8.700	0.030	0.334	0.34	3.70
2 ชม.	8.718	8.651	0.315	0.383	3.49	4.24
4 ชม.	8.841	8.846	0.193	0.187	2.13	2.07
8 ชม.	8.608	8.590	0.426	0.444	4.72	4.91
24 ชม.	8.140	8.189	0.894	0.845	9.89	9.35
48 ชม.	8.109	7.980	0.924	1.053	10.23	11.66
72 ชม.	8.065	7.977	0.968	1.057	10.72	11.70

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-12 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC350-1) 0.06, 0.08 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.06 กรัม ต่อลิตร	0.08 กรัมต่อ ลิตร	0.06 กรัมต่อ ลิตร	0.08 กรัมต่อ ลิตร	0.06 กรัมต่อ ลิตร	0.08 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.034	9.034	0	0	0	0
30 นาที	8.197	8.236	0.837	0.798	9.26	8.83
1 ชม.	8.580	8.850	0.454	0.184	5.96	2.03
2 ชม.	8.574	8.486	0.459	0.548	5.08	6.06
4 ชม.	8.740	8.747	0.293	0.287	3.25	3.17
8 ชม.	8.544	9.034	0.490	0.000	5.42	0
24 ชม.	8.089	8.070	0.945	0.964	10.46	10.67
48 ชม.	8.008	7.811	1.0256	1.223	11.35	13.54
72 ชม.	8.257	7.745	0.777	1.289	8.60	14.26

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-13 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC350-1) 0.10, 0.12 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.10 กรัม ต่อลิตร	0.12 กรัมต่อ ลิตร	0.10 กรัมต่อ ลิตร	0.12 กรัมต่อ ลิตร	0.10 กรัมต่อ ลิตร	0.12 กรัมต่อ ลิตร
blank	9.034	9.034	0	0	0	0
30 นาที	8.091	8.023	0.943	1.011	10.43	11.19
1 ชม.	8.592	8.865	0.445	0.169	4.92	1.87
2 ชม.	8.449	8.426	0.585	0.608	6.47	6.73
4 ชม.	8.598	8.611	0.434	0.422	4.82	4.68
8 ชม.	8.333	8.281	0.701	0.753	7.76	8.33
24 ชม.	7.940	7.983	1.094	1.051	12.11	11.63
48 ชม.	7.866	7.643	1.168	1.391	12.93	15.40
72 ชม.	7.698	7.569	1.339	1.465	14.82	16.21

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-14 ผลการการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC400-1) 0.02, 0.06 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลัง การกำจัด (มก./ล.)		ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)		ร้อยละการกำจัด	
	0.02 กรัม ต่อลิตร	0.06 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.06 กรัมต่อ ลิตร	0.02 กรัมต่อ ลิตร	0.06 กรัมต่อ ลิตร
blank	8.484	8.484	0	0	0	0
30 นาที	8.125	8.004	0.359	0.481	4.23	5.66
1 ชม.	8.373	8.167	0.111	0.317	1.30	3.74
2 ชม.	8.155	7.909	0.329	0.575	3.88	6.78
4 ชม.	8.283	7.988	0.201	0.496	2.37	5.85
8 ชม.	7.984	7.688	0.501	0.796	5.90	9.38
24 ชม.	8.071	8.011	0.414	0.473	4.87	5.57
48 ชม.	7.991	7.538	0.494	0.946	5.82	11.15
72 ชม.	7.824	6.542	0.660	1.942	7.78	22.89

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ค-15 ผลการทดลองกำจัดแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก (BC400-1) 0.12 กรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกัน

เวลาสัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการ กำจัด (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูก กำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด
blank	8.484	0	0
30 นาที	7.923	0.561	6.62
1 ชม.	8.018	0.466	5.50
2 ชม.	7.733	0.751	8.86
4 ชม.	7.596	0.888	10.47
8 ชม.	7.522	0.963	11.35
24 ชม.	7.112	1.372	16.17
48 ชม.	4.776	3.708	43.70
72 ชม.	3.885	4.599	54.20

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาตรสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ง

**การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วและแคดเมียมกับประสิทธิภาพ
การกำจัดของสารดูดซับกระดูก**

ตารางที่ ง-1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.85	10.850	0	0	-
10 นาที	10.85	5.940	4.910	45.25	223.18
20 นาที	10.85	4.388	6.462	59.56	245.54
30 นาที	10.85	5.040	5.810	53.55	223.46
1 ชม.	10.85	2.382	8.468	78.05	325.69
4 ชม.	10.85	3.8357	6.993	64.45	268.96
8 ชม.	10.85	1.7243	9.1257	84.11	350.99
16 ชม.	10.85	1.481	9.369	86.35	334.61
24 ชม.	10.85	0.000	10.850	100.00	417.31

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)
= 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
ต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.05 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.00	0.00	-
10 นาที	9.751	5.146	4.605	47.23	92.10
20 นาที	9.751	5.755	3.996	40.98	79.92
30 นาที	9.751	4.164	5.587	57.30	111.74
1 ชม.	9.751	3.945	5.806	59.54	116.12
4 ชม.	9.751	0.836	8.915	91.43	178.30
8 ชม.	9.751	0.195	9.556	98.00	191.12
16 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	195.02
24 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	195.02

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.00	0.00	-
10 นาที	9.751	3.025	6.726	68.98	67.26
20 นาที	9.751	3.036	6.715	68.86	67.15
30 นาที	9.751	4.734	5.017	51.45	50.17
1 ชม.	9.751	0.009	9.742	99.91	97.42
4 ชม.	9.751	0.163	9.588	98.33	95.88
8 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	97.51
16 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	97.51
24 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	97.51

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.000	0.00	-
30 นาที	9.751	0.035	9.716	99.64	48.58
1 ชม.	9.751	0.029	9.722	99.70	48.61
4 ชม.	9.751	0.019	9.732	99.81	48.66
8 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	48.76
24 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	48.76
48 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	48.76
72 ชม.	9.751	0.007	9.744	99.93	48.72

ตารางที่ ง-5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.40 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0	0	-
30 นาที	9.751	0.008	9.743	99.92	24.36
1 ชม.	9.751	0.101	9.650	98.96	24.13
4 ชม.	9.751	0.016	9.735	99.84	24.34
8 ชม.	9.751	0.027	9.724	99.72	24.31
24 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	24.38
48 ชม.	9.751	0.000	9.751	100.00	24.38
72 ชม.	9.751	0.019	9.732	99.81	24.33

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	21.157	21.157	0	0	-
30 นาที	21.157	18.125	3.032	14.33	151.50
1 ชม.	21.157	15.610	5.547	26.22	277.34
2 ชม.	21.157	13.085	8.071	38.15	403.57
4 ชม.	21.157	16.416	4.741	22.41	237.00
8 ชม.	21.157	6.742	14.415	68.13	720.75
16 ชม.	21.157	8.847	12.310	58.18	615.49
24 ชม.	21.157	6.4329	14.724	69.59	736.19

ตารางที่ ง-7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.06 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	21.157	21.157	0.000	0.00	-
30 นาที	21.157	14.979	6.178	29.20	102.97
1 ชม.	21.157	10.630	10.527	49.75	175.45
2 ชม.	21.157	7.898	13.259	62.66	220.98
4 ชม.	21.157	3.134	18.022	85.18	290.68
8 ชม.	21.157	4.323	16.834	79.56	271.51
16 ชม.	21.157	8.806	12.351	58.37	199.21
24 ชม.	21.157	9.427	11.729	55.43	189.18

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-8 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	21.157	21.157	0	0	-
30 นาที	21.157	15.066	6.091	28.79	60.90
1 ชม.	21.157	9.773	11.384	53.81	113.84
2 ชม.	21.157	8.856	12.301	58.14	123.00
4 ชม.	21.157	1.117	20.040	94.72	200.40
8 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	211.57
16 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	211.57
24 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	211.57

ตารางที่ ง-9 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	21.157	21.157	0.000	0.00	-
10 นาที	21.157	4.590	16.567	78.31	82.83
30 นาที	21.157	2.563	18.594	87.89	92.96
1 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74
2 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74
4 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74
8 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74
16 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74
24 ชม.	21.157	N.D.	21.157	100.00	104.74

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-10 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 40 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.06, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ปริมาณผงกระดูก ต้ม(กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	0	39.914	0.000	0.00	0.00
8 ชม.	0.06	29.489	10.423	26.12	179.75
24 ชม.	0.06	26.561	13.353	33.45	230.23
8 ชม.	0.10	28.046	11.869	29.74	118.69
24 ชม.	0.10	15.621	24.294	60.86	242.94
8 ชม.	0.15	20.539	19.376	48.54	129.17
24 ชม.	0.15	21.281	18.633	46.68	122.59
8 ชม.	0.20	8.564	31.351	78.55	156.75
24 ชม.	0.20	1.743	38.171	95.63	190.86

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 39.914 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

ผงกระดูก

ตารางที่ ง-11 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.466	0.568	6.29	28.41
1 ชม.	9.034	7.918	1.116	12.35	55.80
2 ชม.	9.034	8.640	0.394	4.36	19.69
4 ชม.	9.034	8.613	0.421	4.66	21.03
8 ชม.	9.034	8.386	0.648	7.17	32.38
24 ชม.	9.034	5.063	3.971	43.95	198.53
48 ชม.	9.034	2.279	6.155	68.11	307.73
72 ชม.	9.034	1.383	7.651	84.69	382.53

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) =
0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
ต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-12 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.05 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.002	1.032	11.43	21.50
1 ชม.	9.034	8.458	0.576	6.37	11.99
2 ชม.	9.034	8.498	0.536	5.93	10.72
4 ชม.	9.034	8.181	0.852	9.43	17.04
8 ชม.	9.034	7.504	1.529	16.92	30.58
24 ชม.	9.034	6.157	2.877	31.83	57.53
48 ชม.	9.034	3.524	5.510	60.97	110.20
72 ชม.	9.034	5.428	3.605	39.90	72.11

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) =
0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
ต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-13 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.014	1.022	11.32	10.43
1 ชม.	9.034	7.882	1.152	12.75	11.52
2 ชม.	9.034	7.740	1.294	14.32	12.94
4 ชม.	9.034	7.687	1.347	14.91	13.47
8 ชม.	9.034	7.523	1.511	16.72	15.11
24 ชม.	9.034	8.209	0.825	9.13	8.25
48 ชม.	9.034	7.456	1.578	17.47	15.78
72 ชม.	9.034	6.733	2.300	25.46	23.00

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) =
0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม
ต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-14 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.50 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.938	9.938	0	0	-
30 นาที	9.938	3.963	5.975	60.12	11.95
1 ชม.	9.938	3.808	6.130	61.68	12.26
4 ชม.	9.938	0.847	9.091	91.48	18.18
8 ชม.	9.938	0.674	9.264	93.22	18.53
24 ชม.	9.938	0.169	9.769	98.30	19.54
36 ชม.	9.938	0.138	9.800	98.61	19.60
48 ชม.	9.938	0.149	9.789	98.50	19.58
72 ชม.	9.938	0.046	9.892	99.54	19.78

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-15 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.80 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.938	9.938	0	0	-
30 นาที	9.938	3.468	6.470	65.10	8.09
1 ชม.	9.938	1.296	8.642	86.96	10.80
4 ชม.	9.938	0.802	9.136	91.93	11.42
8 ชม.	9.938	0.234	9.704	97.65	12.13
24 ชม.	9.938	0.074	9.864	99.26	12.33
36 ชม.	9.938	0.101	9.837	98.98	12.30
48 ชม.	9.938	0.071	9.867	99.29	12.33
72 ชม.	9.938	0.025	9.913	99.75	12.39

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-16 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0	0	-
1 ชม.	22.117	20.375	1.742	7.87	8.71
8 ชม.	22.117	19.109	3.008	13.60	15.04
24 ชม.	22.117	16.505	5.612	25.37	28.06
48 ชม.	22.117	-	-	-	-
72 ชม.	22.117	11.000	11.117	50.26	55.58

ตารางที่ ง-17 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.30 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0	0	-
1 ชม.	22.117	19.150	2.967	13.42	9.96
8 ชม.	22.117	5.759	16.358	73.96	54.53
24 ชม.	22.117	10.703	11.414	51.61	38.05
48 ชม.	22.117	2.638	19.479	88.07	64.50
72 ชม.	22.117	1.946	20.170	91.20	66.79

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-18 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.40 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0	0	-
1 ชม.	22.117	16.713	5.4037	24.43	13.51
8 ชม.	22.117	8.1443	13.9724	63.18	34.93
24 ชม.	22.117	4.1086	18.008	81.42	45.02
48 ชม.	22.117	1.542	20.575	93.03	51.44
72 ชม.	22.117	0.623	21.494	97.18	53.47

ตารางที่ ง-19 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.50 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0	0	-
1 ชม.	22.117	13.802	8.315	37.60	16.63
8 ชม.	22.117	4.940	17.177	77.66	34.35
24 ชม.	22.117	3.631	18.486	83.58	36.97
48 ชม.	22.117	N.D.	22.117	100.00	44.06
72 ชม.	22.117	N.D.	22.117	100.00	44.06

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-20 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
30 นาที	28.094	27.160	0.943	3.32	46.7
1 ชม.	28.094	26.801	1.294	4.61	64.69
2 ชม.	28.094	26.697	1.398	4.97	69.88
4 ชม.	28.094	26.531	1.564	5.57	78.18
8 ชม.	28.094	25.583	2.511	8.94	125.57
24 ชม.	28.094	25.618	2.477	8.82	123.84
48 ชม.	28.094	25.687	2.408	8.57	120.38
72 ชม.	28.094	27.112	0.982	3.50	49.12

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-21 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.06 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
30 นาที	28.094	27.382	0.713	2.54	11.88
1 ชม.	28.094	27.665	0.429	1.53	7.15
2 ชม.	28.094	25.880	2.214	7.88	36.90
4 ชม.	28.094	25.396	2.698	9.60	44.97
8 ชม.	28.094	25.659	2.435	8.67	40.60
24 ชม.	28.094	25.209	2.885	10.27	48.09
48 ชม.	28.094	24.988	3.106	11.06	51.78
72 ชม.	28.094	25.362	2.609	9.29	43.49

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-22 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
30 นาที	28.094	27.486	0.609	2.17	10.15
1 ชม.	28.094	25.216	2.878	10.24	28.78
2 ชม.	28.094	26.939	1.155	4.11	11.55
4 ชม.	28.094	26.074	2.020	7.19	20.20
8 ชม.	28.094	24.580	3.515	12.51	35.15
24 ชม.	28.094	24.358	3.736	13.30	37.36
48 ชม.	28.094	23.798	4.296	15.29	42.96
72 ชม.	28.094	23.085	5.009	17.83	50.09

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-23 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
30 นาที	28.094	25.687	2.408	8.57	12.04
1 ชม.	28.094	26.143	1.951	6.94	9.76
2 ชม.	28.094	25.133	2.961	10.54	14.81
4 ชม.	28.094	22.290	5.805	20.66	29.02
8 ชม.	28.094	22.366	5.728	20.39	28.36
24 ชม.	28.094	20.000	8.095	28.81	40.07
48 ชม.	28.094	15.046	13.048	46.44	64.59
72 ชม.	28.094	19.100	9.994	35.57	49.47

ตารางที่ ง-24 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.30 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
1 ชม.	28.094	25.057	5.037	17.93	16.79
8 ชม.	28.094	20.685	7.410	26.37	24.70
24 ชม.	28.094	20.389	7.705	27.43	25.68
48 ชม.	28.094	20.842	7.153	25.46	23.68
72 ชม.	28.094	18.700	9.394	33.44	31.11

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0±0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาตรสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-25 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.40 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
1 ชม.	28.094	22.831	5.2635	18.74	13.22
8 ชม.	28.094	19.396	8.698	30.96	21.85
24 ชม.	28.094	20.115	7.980	28.40	19.95
48 ชม.	28.094	14.351	13.744	48.92	34.36
72 ชม.	28.094	11.084	17.011	60.55	42.53

ตารางที่ ง-26 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.50 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
1 ชม.	28.094	23.112	4.982	17.73	10.00
8 ชม.	28.094	12.572	15.522	55.25	31.04
24 ชม.	28.094	12.990	15.104	53.76	30.21
48 ชม.	28.094	9.433	18.661	66.42	37.17
72 ชม.	28.094	7.941	20.153	71.73	40.15

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ง-27 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.60 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
1 ชม.	28.094	20.640	7.455	26.53	12.42
8 ชม.	28.094	11.519	16.575	59.00	27.29
24 ชม.	28.094	9.433	18.661	66.42	31.10
48 ชม.	28.094	5.499	22.595	80.43	37.53
72 ชม.	28.094	5.361	22.733	80.92	37.76

ตารางที่ ง-28 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.70 และ 0.80 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.094	28.094	0	0	-
72 ชม.	28.094	N.D.	28.094	100.00	40.13
72 ชม.	28.094	N.D.	28.094	100.00	35.11

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดสารละลายแคดเมียมที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ภาคผนวก จ.

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของสารดูดซับ
ผงกระดูก ถ่านกระดูก และถ่านกัมมันต์กระดูก

ตารางที่ จ-1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.85	10.850	0	0	-
10 นาที	10.85	5.940	4.910	45.25	223.18
20 นาที	10.85	4.388	6.462	59.56	245.54
30 นาที	10.85	5.040	5.810	53.55	223.46
1 ชม.	10.85	2.382	8.468	78.05	325.69
4 ชม.	10.85	0.000	10.850	100.00	417.31
8 ชม.	10.85	0.000	10.850	100.00	417.31
16 ชม.	10.85	1.481	9.369	86.35	334.61
24 ชม.	10.85	0.000	10.850	100.00	417.31

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ

กรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-2 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 300-1)
0.04 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.751	8.626	1.125	11.54	28.13
20 นาที	9.751	9.083	0.668	6.85	16.70
30 นาที	9.751	6.924	2.827	28.99	70.68
1 ชม.	9.751	8.199	1.552	15.92	38.80
4 ชม.	9.751	8.358	1.393	14.29	34.83
8 ชม.	9.751	6.162	3.589	36.81	89.73
16 ชม.	9.751	4.801	4.950	50.76	123.75
24 ชม.	9.751	8.063	1.688	17.31	42.20

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก(BC 300-1)
0.06 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.751	8.600	1.151	11.80	19.18
20 นาที	9.751	8.766	0.985	10.10	16.42
30 นาที	9.751	7.212	2.539	26.04	42.52
1 ชม.	9.751	8.074	1.677	17.20	27.95
4 ชม.	9.751	8.836	0.915	9.38	15.25
8 ชม.	9.751	6.419	3.332	34.17	55.53
16 ชม.	9.751	6.088	3.633	37.57	61.05
24 ชม.	9.751	6.781	2.970	30.46	49.50

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดุก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดุก

ตารางที่ จ-4 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 300-1)
0.08 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.751	1.684	8.067	82.73	100.84
20 นาที	9.751	8.150	1.601	16.42	20.01
30 นาที	9.751	6.830	2.921	29.96	36.51
1 ชม.	9.751	8.157	1.594	16.35	19.93
4 ชม.	9.751	7.505	2.246	23.03	28.08
8 ชม.	9.751	6.738	3.013	30.90	37.66
16 ชม.	9.751	5.658	4.093	41.98	51.16
24 ชม.	9.751	7.256	2.495	25.59	31.19

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 300-1)

0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.751	9.751	0.000	0.00	0.00
10 นาที	9.751	8.148	1.603	16.44	16.03
20 นาที	9.751	8.262	1.489	15.27	14.89
30 นาที	9.751	6.581	3.170	32.51	31.70
1 ชม.	9.751	8.157	1.594	16.35	15.94
4 ชม.	9.751	8.631	1.120	11.49	11.20
8 ชม.	9.751	6.289	3.462	35.50	34.62
16 ชม.	9.751	6.010	3.741	38.37	37.41
24 ชม.	9.751	7.389	2.362	24.22	23.62

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 350-1)
0.006 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.886	0.964	8.89	160.67
20 นาที	10.850	7.634	3.216	29.64	536.00
30 นาที	10.850	9.313	1.537	14.17	256.33
1 ชม.	10.850	3.725	7.125	65.67	1187.67
4 ชม.	10.850	8.324	2.526	23.28	421.00
8 ชม.	10.850	9.140	1.710	15.76	285.0
16 ชม.	10.850	9.179	1.671	15.40	278.67
24 ชม.	10.850	6.504	4.346	40.06	724.33
36 ชม.	10.850	6.711	4.139	38.15	689.33
48 ชม.	10.850	8.913	1.937	17.85	232.33
72 ชม.	10.850	0.070	10.78	99.35	1796.67

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-7 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 350-1)
0.015 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb^{2+} เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.913	0.937	8.64	66.86
20 นาที	10.850	7.028	3.822	35.23	254.80
30 นาที	10.850	9.289	1.561	14.39	104.07
1 ชม.	10.850	7.070	3.780	34.84	252.00
4 ชม.	10.850	9.182	1.668	15.37	104.25
8 ชม.	10.850	8.511	2.339	21.56	146.19
16 ชม.	10.850	8.887	1.963	18.09	122.69
24 ชม.	10.850	5.224	5.626	51.85	312.55
36 ชม.	10.850	7.263	3.587	33.06	239.13
48 ชม.	10.850	8.177	2.673	24.64	178.20
72 ชม.	10.850	5.422	5.428	50.03	361.87

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-8 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 350-1)
0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.940	0.91	8.39	45.50
20 นาที	10.850	6.262	4.588	42.29	229.40
30 นาที	10.850	9.169	1.681	15.49	84.05
1 ชม.	10.850	7.334	3.516	32.41	175.80
4 ชม.	10.850	8.673	2.177	20.07	98.95
8 ชม.	10.850	8.173	2.667	24.58	121.23
16 ชม.	10.850	8.085	2.765	25.48	25.48
24 ชม.	10.850	7.163	3.687	33.98	33.98
36 ชม.	10.850	5.528	5.322	49.05	266.10
48 ชม.	10.850	8.942	1.908	17.54	95.40
72 ชม.	10.850	7.379	3.471	31.99	173.55

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-9 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก(BC 350-1)
0.05 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.891	0.959	8.84	23.98
20 นาที	10.850	7.646	3.204	29.53	80.10
30 นาที	10.850	9.738	1.112	10.25	27.80
1 ชม.	10.850	7.484	3.366	31.02	84.15
4 ชม.	10.850	8.810	2.040	18.80	51.00
8 ชม.	10.850	7.529	3.321	30.61	75.48
16 ชม.	10.850	5.678	5.172	47.67	117.55
24 ชม.	10.850	4.897	5.953	54.87	119.06
36 ชม.	10.850	4.306	6.544	60.31	130.88
48 ชม.	10.850	7.525	3.325	30.65	66.50
72 ชม.	10.850	6.567	4.283	39.47	85.66

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดุก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดุก

ตารางที่ จ-10 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC 350-1)
0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	11.053	11.053	0	0	-
10 นาที	11.053	9.797	1.255	11.36	12.55
20 นาที	11.053	9.749	1.304	11.80	13.04
30 นาที	11.053	10.273	0.779	7.05	7.79
1 ชม.	11.053	7.514	3.539	32.02	35.39
4 ชม.	11.053	7.152	3.901	35.30	39.01
8 ชม.	11.053	4.268	6.785	61.39	67.85
16 ชม.	11.053	2.158	8.895	80.48	88.95
24 ชม.	11.053	0.098	10.954	99.11	109.54
36 ชม.	11.053	0.767	10.285	93.05	102.85
48 ชม.	11.053	0.104	10.949	99.06	109.49
72 ชม.	11.053	1.628	9.425	85.27	94.25

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-11 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 350-1) ปริมาณ 0.10-0.6 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่านกระดูก (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาที/ ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการ กำจัด	x/m (มก./ก.)
0.000	blank	25.0092	25.0092	0.0000	0.00	-
0.104	38 ชม.	25.0092	22.6834	2.3258	9.30	22.36
0.152	38 ชม	25.0092	21.8719	3.1373	12.54	
0.200	38 ชม	25.0092	20.4418	4.5674	18.26	
0.300	38 ชม	25.0092	14.4246	10.5846	42.32	
0.404	38 ชม	25.0092	16.6167	8.3925	33.56	
0.500	38 ชม	25.0092	13.9842	11.0250	44.03	22.05
0.604	38 ชม	25.0092	9.0160	15.9932	63.95	43.04

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-12 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดุก(BC 350-1) ปริมาณ 0.20-0.9 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่าน กระดุก (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาที/ ชม.)	ความเข้มข้น Pb^{2+} เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการ กำจัด	x/m (มก./ก.)
0.000	blank	29.8883	29.8883	0.0000	0.00	-
0.206	38 ชม.	29.8883	25.2665	4.6168	15.45	
0.404	38 ชม	29.8883	21.4661	8.4172	28.19	
0.602	38 ชม	29.8883	18.9820	10.9013	36.48	
0.702	38 ชม	29.8883	14.2316	15.6517	52.38	
0.804	38 ชม	29.8883	15.6468	14.2365	47.64	
0.900	38 ชม	29.8883	9.7483	20.1350	67.38	22.37

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดุก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดุก

ตารางที่ จ-13 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 400-1)
0.006 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	10.044	0.806	7.43	134.33
20 นาที	10.850	7.171	3.679	33.91	613.17
30 นาที	10.850	9.387	1.463	13.48	243.83
1 ชม.	10.850	9.002	1.848	17.03	308.00
4 ชม.	10.850	8.474	2.376	21.90	396.00
8 ชม.	10.850	8.519	2.331	21.48	388.50
16 ชม.	10.850	6.574	4.276	39.41	712.67
24 ชม.	10.850	6.093	4.757	43.84	594.63
36 ชม.	11.053	0.080	10.972	99.28	1828.73
48 ชม.	11.053	0.535	10.518	95.16	1752.98
72 ชม.	11.053	0.082	10.970	99.26	1828.38

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-14 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 400-1)
0.015 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.257	1.593	14.68	113.79
20 นาที	10.850	6.554	4.296	39.59	306.86
30 นาที	10.850	6.514	4.336	39.96	289.07
1 ชม.	10.850	7.969	2.881	26.55	192.07
4 ชม.	10.850	7.667	3.183	29.34	198.94
8 ชม.	10.850	7.102	3.748	34.54	234.25
16 ชม.	10.850	2.502	8.348	76.94	521.75
24 ชม.	10.850	2.719	8.131	74.94	508.19
36 ชม.	11.053	0.004	11.048	99.96	690.51
48 ชม.	11.053	0.001	11.052	99.99	690.72
72 ชม.	11.053	2.223	8.830	79.89	551.86

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิกรัม

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-15 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC 400-1)
0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	9.041	1.809	16.67	90.45
20 นาที	10.850	7.298	3.552	32.74	177.60
30 นาที	10.850	8.963	1.887	17.39	94.35
1 ชม.	10.850	8.168	2.682	24.72	134.10
4 ชม.	10.850	7.393	3.457	31.86	172.85
8 ชม.	10.850	6.572	4.278	39.43	194.45
16 ชม.	10.850	4.124	6.726	61.99	305.73
24 ชม.	10.850	1.517	9.333	86.02	388.88
36 ชม.	11.053	1.617	9.436	85.37	471.79
48 ชม.	11.053	0.082	10.970	99.26	548.50
72 ชม.	11.053	0.039	11.014	99.65	550.60

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ

กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-16 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 400-1)
0.05 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	10.850	10.850	0	0	-
10 นาที	10.850	8.846	2.004	18.47	50.10
20 นาที	10.850	6.825	4.025	37.10	100.63
30 นาที	10.850	8.149	2.701	24.89	67.53
1 ชม.	10.850	6.263	4.587	42.28	114.68
4 ชม.	10.850	6.621	4.229	38.98	105.73
8 ชม.	10.850	8.014	2.836	26.14	70.90
16 ชม.	10.850	0.816	10.034	92.48	228.05
24 ชม.	10.850	0.350	10.500	96.77	228.26
36 ชม.	11.053	0.028	11.024	99.75	220.49
48 ชม.	11.053	0.082	10.970	99.26	219.41
72 ชม.	11.053	0.060	10.993	99.46	219.85

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ
กรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-17 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 25 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 400-1) ปริมาณ 0.02-0.4 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่านกระดูก (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาที/ ชม.)	ความเข้มข้น Pb^{2+} เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการ กำจัด	x/m (มก./ก.)
0.000	blank	25.0092	25.0092	0.0000	0.00	-
0.020	38 ชม.	25.0092	0.4948	24.5144	98.02	1225.72
0.062	38 ชม.	25.0092	13.7071	11.3021	45.19	
0.102	38 ชม.	25.0092	3.0927	21.9165	87.63	
0.150	38 ชม.	25.0092	0.5344	24.4748	97.86	163.17
0.200	38 ชม.	25.0092	18.1804	6.8288	27.31	
0.300	38 ชม.	25.0092	0.0099	24.9993	99.96	83.33
0.400	38 ชม.	25.0092	0.0841	24.9251	99.66	62.31

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-18 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก(BC 400-1) ปริมาณ 0.20-0.9 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่านกระดูก (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการกำจัด	x/m (มก./ก.)
0.000	blank	29.8883	29.8883	0.0000	0.00	-
0.202	38 ชม.	29.8883	10.5995	19.2838	64.53	
0.400	38 ชม.	29.8883	3.1868	26.6965	89.34	66.74
0.602	38 ชม.	29.8883	0.0742	29.8091	99.75	49.61
0.700	38 ชม.	29.8883	0.0396	29.8437	99.85	42.63
0.806	38 ชม.	29.8883	0.0247	29.8636	99.92	37.05
0.900	38 ชม.	29.8883	0.0198	29.8685	99.93	33.14

ตารางที่ จ-19 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปริมาณ 0.008 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	11.166	11.166	0	0	-
20 นาที	11.166	9.170	1.996	17.88	249.56
24 ชม.	11.166	8.639	2.527	22.63	315.84
48 ชม.	11.166	8.477	2.689	24.080	268.90

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกระดูกหรือถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมสารดูดซับ

ตารางที่ จ-20 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปริมาณ 0.018 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	11.1661	11.166	0	0	-
20 นาที	11.1661	9.689	1.477	13.23	82.06
24 ชม.	11.1661	8.997	2.170	19.43	120.53
48 ชม.	11.1661	8.428	2.738	24.52	152.09

ตารางที่ จ-21 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปริมาณ 0.006 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	11.1661	11.1661	0.0000	0.00	-
20 นาที	11.1661	8.461	2.705	24.23	450.87
1 ชม.	11.1661	7.352	3.814	34.16	635.73
24 ชม.	11.1661	1.308	9.858	88.28	642.97
48 ชม.	11.1661	2.731	8.435	75.54	455.20

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์กระดูก

ตารางที่ จ-22 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปริมาณ 0.015 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	11.1661	11.1661	0.0000	0.00	-
20 นาที	11.1661	8.104	3.062	27.42	218.74
1 ชม.	11.1661	9.375	1.791	16.04	127.92
24 ชม.	11.1661	0.134	11.032	98.80	689.49
48 ชม.	11.1661	0.118	11.048	98.940	690.51

ตารางที่ จ-23 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว 40 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ปริมาณ 0.14-1.2 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่าน กัมมันต์ (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาท./ ชม.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการ กำจัด	x/m (มก./ก.)
0.00	blank	39.7100	39.7100	0.0000	0.00	-
0.144	24 ชม.	39.7100	19.4530	20.2570	51.01	140.67
0.170	24 ชม.	39.7100	24.3200	15.3900	38.76	90.53
0.204	24 ชม.	39.7100	23.0998	16.6100	41.83	81.42
0.290	24 ชม.	39.7100	20.6639	19.0460	47.96	65.68
0.400	24 ชม.	39.7100	0.1696	39.5404	99.57	98.85
0.800	24 ชม.	39.7100	4.7998	34.9112	87.92	43.64
1.198	24 ชม.	39.7100	N.D.	39.7100	100.00	28.40

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์กระดูก

ตารางที่ จ-24 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.466	0.568	6.29	28.41
1 ชม.	9.034	7.918	1.116	12.35	55.80
2 ชม.	9.034	8.640	0.394	4.36	19.69
4 ชม.	9.034	8.613	0.421	4.66	21.03
8 ชม.	9.034	8.386	0.648	7.17	32.38
24 ชม.	9.034	5.063	3.971	43.95	198.53
48 ชม.	9.034	2.279	6.155	68.11	307.73
72 ชม.	9.034	1.383	7.651	84.69	382.53

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-25 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.05 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.002	1.032	11.43	21.50
1 ชม.	9.034	8.458	0.576	6.37	11.99
2 ชม.	9.034	8.498	0.536	5.93	10.72
4 ชม.	9.034	8.181	0.852	9.43	17.04
8 ชม.	9.034	7.504	1.529	16.92	30.58
24 ชม.	9.034	6.157	2.877	31.83	57.53
48 ชม.	9.034	3.524	5.510	60.97	110.20
72 ชม.	9.034	5.428	3.605	39.90	72.11

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-26 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.10 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.014	1.022	11.32	10.43
1 ชม.	9.034	7.882	1.152	12.75	11.52
2 ชม.	9.034	7.740	1.294	14.32	12.94
4 ชม.	9.034	7.687	1.347	14.91	13.47
8 ชม.	9.034	7.523	1.511	16.72	15.11
24 ชม.	9.034	8.209	0.825	9.13	8.25
48 ชม.	9.034	7.456	1.578	17.47	15.78
72 ชม.	9.034	6.733	2.300	25.46	23.00

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-27 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0.000	0.00	-
1 ชม.	22.117	20.375	1.742	7.87	8.71
8 ชม.	22.117	19.109	3.008	13.60	15.04
24 ชม.	22.117	16.505	5.612	25.37	28.06
72 ชม.	22.117	11.000	11.117	50.26	55.58

ตารางที่ จ-28 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.30 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0.000	0.00	-
1 ชม.	22.117	19.150	2.967	13.42	9.96
8 ชม.	22.117	5.759	16.358	73.96	54.53
24 ชม.	22.117	10.703	11.414	51.61	38.05
48 ชม.	22.117	2.638	19.479	88.07	64.50
72 ชม.	22.117	1.946	20.170	91.20	66.79

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-29 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.40 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0.0000	0.00	-
1 ชม.	22.117	16.713	5.4037	24.43	13.51
8 ชม.	22.117	8.1443	13.9724	63.18	34.93
24 ชม.	22.117	4.1086	18.008	81.42	45.02
48 ชม.	22.117	1.542	20.575	93.03	51.44
72 ชม.	22.117	0.623	21.494	97.18	53.47

ตารางที่ จ-30 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.50 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที่/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	22.117	22.117	0.000	0.00	-
1 ชม.	22.117	13.802	8.315	37.60	16.63
8 ชม.	22.117	4.940	17.177	77.66	34.35
24 ชม.	22.117	3.631	18.486	83.58	36.97
48 ชม.	22.117	N.D.	22.117	100.00	44.06
72 ชม.	22.117	N.D.	22.117	100.00	44.06

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-31 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.20 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.0943	28.0943	0.0000	0.00	-
1 ชม.	28.0943	26.1433	1.9510	6.94	9.76
8 ชม.	28.0943	22.3659	5.7284	20.39	28.36
24 ชม.	28.0943	19.9998	8.0945	28.81	40.07
48 ชม.	28.0943	15.0462	13.0481	46.44	64.59
72 ชม.	28.0943	19.1004	9.9939	35.57	49.47

ตารางที่ จ-32 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.40 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	28.0943	28.0943	0.0000	0.00	-
1 ชม.	28.0943	22.8308	5.2635	18.74	13.22
8 ชม.	28.0943	19.3963	8.6980	30.96	21.85
24 ชม.	28.0943	20.1147	7.9796	28.40	19.95
48 ชม.	28.0943	14.3507	13.7436	48.92	34.36
72 ชม.	28.0943	11.0837	17.0106	60.55	42.53

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-33 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก 0.60-0.80 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ผง กระดูก (ก./ล.)	เวลา สัมผัส (นาที/ ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละ ของการ กำจัด	x/m (มก./ก.)
0.00	blank	28.0943	28.0943	0.0000	0.00	-
0.60	1 ชม.	28.0943	20.640	7.455	26.53	12.42
0.60	8 ชม.	28.0943	11.519	16.575	59.00	27.29
0.60	24 ชม.	28.0943	9.433	18.661	66.42	31.10
0.602	48 ชม.	28.0943	5.499	22.595	80.43	37.53
0.602	72 ชม.	28.0943	5.361	22.733	80.92	37.76
0.700	72 ชม.	28.0943	N.D.	28.094	100.00	40.13
0.798	72 ชม.	28.0943	N.D.	28.094	100.00	35.11

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของผงกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ จ-34 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 350-1) ปริมาณ 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.214	0.820	9.08	41.0
1 ชม.	9.034	9.003	0.030	0.34	1.52
2 ชม.	9.034	8.718	0.315	3.49	15.77
4 ชม.	9.034	8.841	0.193	2.13	9.64
8 ชม.	9.034	8.608	0.426	4.72	21.31
24 ชม.	9.034	8.140	0.894	9.89	44.69
48 ชม.	9.034	8.109	0.924	10.23	46.21
72 ชม.	9.034	8.065	0.968	10.72	48.42

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-35 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 350-1) ปริมาณ 0.06 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.197	0.837	9.26	13.94
1 ชม.	9.034	8.580	0.454	5.96	7.56
2 ชม.	9.034	8.574	0.459	5.08	7.66
4 ชม.	9.034	8.740	0.293	3.25	4.89
8 ชม.	9.034	8.544	0.490	5.42	7.90
24 ชม.	9.034	8.089	0.945	10.46	15.23
48 ชม.	9.034	8.008	1.0256	11.35	16.54
72 ชม.	9.034	8.257	0.777	8.60	12.53

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-36 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 350-1) ปริมาณ 0.1 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.091	0.943	10.43	9.62
1 ชม.	9.034	8.592	0.445	4.92	4.54
2 ชม.	9.034	8.449	0.585	6.47	5.85
4 ชม.	9.034	8.598	0.434	4.82	4.35
8 ชม.	9.034	8.333	0.701	7.76	7.01
24 ชม.	9.034	7.940	1.094	12.11	10.94
48 ชม.	9.034	7.866	1.168	12.93	11.68
72 ชม.	9.034	7.698	1.339	14.82	13.39

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-37 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 350-1) ปริมาณ 0.14 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	9.034	9.034	0.000	0.00	-
30 นาที	9.034	8.210	0.824	9.12	5.88
1 ชม.	9.034	8.502	0.531	5.88	3.80
2 ชม.	9.034	8.443	0.590	6.53	4.22
4 ชม.	9.034	8.073	0.961	10.64	6.87
8 ชม.	9.034	8.331	0.703	7.78	5.02
24 ชม.	9.034	7.970	1.063	11.77	7.60
48 ชม.	9.034	8.055	0.979	10.83	7.00
72 ชม.	9.034	7.551	1.482	16.41	10.59

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-38 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 400-1) ปริมาณ 0.02 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	8.4841	8.4841	0.000	0.00	-
30 นาที	8.4841	8.125	0.359	4.23	17.96
1 ชม.	8.4841	8.373	0.111	1.30	5.50
2 ชม.	8.4841	8.155	0.329	3.88	16.40
4 ชม.	8.4841	8.283	0.201	2.37	10.00
8 ชม.	8.4841	7.984	0.501	5.90	25.00
24 ชม.	8.4841	8.071	0.414	4.87	20.68
48 ชม.	8.4841	7.991	0.494	5.82	24.68
72 ชม.	8.4841	7.824	0.660	7.78	29.99

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-39 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 400-1) ปริมาณ 0.06 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาที/ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	8.4841	8.4841	0.0000	0.00	-
30 นาที	8.4841	8.004	0.481	5.66	8.01
1 ชม.	8.4841	8.167	0.317	3.74	5.29
2 ชม.	8.4841	7.909	0.575	6.78	9.58
4 ชม.	8.4841	7.988	0.496	5.85	8.27
8 ชม.	8.4841	7.688	0.796	9.38	13.27
24 ชม.	8.4841	8.011	0.473	5.57	7.63
48 ชม.	8.4841	7.538	0.946	11.15	15.26
72 ชม.	8.4841	6.542	1.942	22.89	31.32

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-40 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง (BC 400-1) ปริมาณ 0.12 กรัมต่อลิตร

เวลาสัมผัส (นาท./ชม.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank	8.4841	8.4841	0.000	0.00	-
30 นาที	8.4841	7.923	0.561	6.62	4.76
1 ชม.	8.4841	8.018	0.466	5.50	3.89
2 ชม.	8.4841	7.733	0.751	8.86	6.26
4 ชม.	8.4841	7.596	0.888	10.47	7.40
8 ชม.	8.4841	7.522	0.963	11.35	8.02
24 ชม.	8.4841	7.112	1.372	16.17	11.43
48 ชม.	8.4841	4.776	3.708	43.70	30.39
72 ชม.	8.4841	3.885	4.599	54.20	37.70

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-41 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง(BC400-1) 0.16-0.60 กรัมต่อลิตร

น้ำหนักถ่าน กระดูก (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	7.8505	7.8505	0.000	0.00	0.00
0.158	7.8505	6.3882	1.4618	18.62	9.25
0.20	7.8505	4.9376	2.9174	37.16	14.59
0.30	7.8505	1.9905	5.8555	74.58	19.52
0.406	7.8505	1.6451	6.2049	79.04	15.28
0.60	7.8505	0.8920	6.9585	88.64	11.60

ตารางที่ จ-42 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง(BC400-1) 0.2-0.4 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่านกระดูก (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	20.7950	20.7950	0.0000	0.00	-
0.20	20.7950	1.9216	18.8734	90.76	97.29
0.31	20.7950	N.D.	20.7950	100.00	67.08
0.394	20.7950	N.D.	20.7950	100.00	53.24

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-43 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง(BC400-1) ปริมาณ 1.2-3.2 กรัมต่อลิตร

น้ำหนัก ถ่านกระดูก (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	30.1932	0.0000	0.0000	0.00	-
1.2	30.1932	2.4214	27.7718	91.93	23.14
1.6	30.1932	1.1812	29.0120	96.04	18.11
2.0	30.1932	1.1708	29.0224	96.12	14.51
2.4	30.1932	0.7215	29.4717	97.61	12.27
2.8	30.1932	0.7571	29.4361	97.49	10.51
3.2	30.1932	0.5540	29.6392	98.34	9.26

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกระดูก

ตารางที่ จ-44 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูก (ABC400-1) 0.16-1.22 กรัมต่อลิตร

น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	7.8505	7.8505	0.000	0.00	0.00
0.16	7.8505	7.2075	0.6430	8.19	4.02
0.20	7.8505	7.1620	0.6885	8.77	3.44
0.30	7.8505	6.5941	1.2564	16.00	4.19
0.40	7.8505	5.9379	1.9126	24.36	4.71
0.50	7.8505	5.4936	2.3569	30.02	4.73
0.60	7.8505	4.2304	3.6201	46.11	6.03
0.80	7.8505	0.4411	7.4094	94.38	9.26
1.22	7.8505	0.1021	7.7484	98.70	6.37

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์กระดูก

ตารางที่ จ- 45 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูก ปริมาณ 1.2-3.2 กรัมต่อลิตร

น้ำหนักถ่าน กัมมันต์ (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของ การกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	17.9762	0.0000	0.000	0.00	0.00
1.2	17.9762	5.1201	12.8561	71.52	10.70
1.6	17.9762	1.9786	15.9976	88.99	10.00
2.0	17.9762	1.8163	16.1599	89.20	8.08
2.4	17.9762	1.1207	16.8555	93.77	7.02
2.8	17.9762	0.6441	17.3321	96.42	6.18
3.2	17.9762	0.2974	17.6788	98.35	5.52

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์กระดูก

ตารางที่ จ-46 ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม 30 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกัมมันต์กระดูก ปริมาณ 1.2-3.6 กรัมต่อลิตร

น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ร้อยละของการกำจัด	x/m (มก./ก.)
blank=0.0	30.1932	0.0000	0.0000	0.00	-
1.2	30.1932	7.5153	22.6779	75.11	18.87
1.6	30.1932	5.2941	24.8991	82.47	15.56
2.0	30.1932	8.8782	24.3150	80.53	12.16
2.4	30.1932	7.3417	22.8515	75.68	9.50
2.8	30.1932	2.1428	28.0504	92.90	10.00
3.2	30.1932	3.3136	26.8796	89.02	8.40
3.6	30.1932	1.6202	28.5730	94.63	7.94

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของถ่านกัมมันต์กระดูก 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านกัมมันต์กระดูก

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองการศึกษการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลายโลหะต่อการ
ตกตะกอนและความสามารถในการกำจัด

ตารางที่ ฉ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัดกับร้อยละของการกำจัดที่ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูกปริมาณต่างกัน

ผงกระดูก 0.02 ก./ล.		ผงกระดูก 0.05 ก./ล.		ผงกระดูก 0.10 ก./ล.	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
0	5.00	0	5.00	0	5.00
45	5.88	41	6.05	51.4	6.31
60	6.06	59.5	6.15	69	6.38
78	6.20	91.4	6.62	98	6.80
86	6.47	98	6.63	100	7.07
100	7.06	100	7.04	100	7.20

ตารางที่ ฉ-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูก

สารละลายตะกั่วเข้มข้น 21.16 มก./ล. (ผงกระดูก 0.02 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 21.16 มก./ล. (ผงกระดูก 0.06 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 21.16 มก./ล. (ผงกระดูก 0.10 ก./ล.)	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10
14.33	5.55	29.20	5.87	28.79	5.81
26.22	5.75	49.75	6.10	53.81	6.23
38.15	6.18	62.66	5.94	58.14	6.19
22.41	5.89	85.18	5.93	94.72	6.07
68.13	6.15	79.56	6.45	100.00	6.85
58.18	5.95	58.37	6.17	100.00	6.94
69.59	6.39	55.43	6.23	100.00	7.13

ตารางที่ ฉ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่
ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูก

สารละลายตะกั่วเข้มข้น 39.91 มก./ล.(ผงกระดูก 0.06 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 39.91 มก./ล. (ผงกระดูก 0.10 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 39.91 มก./ล. (ผงกระดูก 0.20 ก./ล.)	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10
26.12	5.30	29.74	6.44	78.55	7.01
33.45	6.24	60.86	6.78	95.63	7.02

ตารางที่ ฉ-4 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่
ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูก ถ่านกระดูก และถ่าน
กัมมันต์กระดูก

ผงกระดูก 0.02 ก./ล.		ถ่านกระดูก 0.02 ก./ล.		ถ่านกัมมันต์ 0.006 ก./ล.	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
0	5.0	0	5.0	0	5.0
45	5.88	17	5.73	24	6.31
60	6.06	25	5.90	34	6.36
78	6.20	39	5.96	76	6.52
86	6.47	62	5.88	88	6.48
100	7.06	86	6.16		
		99.7	6.24		

ตารางที่ จ.-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของสารละลายแควคเมียมภายหลังจากกำจัดกับร้อยละของการกำจัดแควคเมียมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูกปริมาณต่างกัน

ผงกระดูก 0.02 ก./ล.		ผงกระดูก 0.05 ก./ล.		ผงกระดูก 0.10 ก./ล.	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
0	5.00	0	5.00	0	5.00
4.6	6.34	6.0	6.35	11.32	6.19
12.4	6.49	11.4	6.36	12.8	6.32
44	6.62	32	6.68	14.9	6.34
68	6.84	40	6.77	17.5	6.58
85	6.89	61	6.75	25.5	6.53

ตารางที่ จ.-6 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายแควคเมียมภายหลังจากกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูกปริมาณต่างกัน

สารละลายแควคเมียมเข้มข้น 22.12 มก./ล. (ผงกระดูก 0.3 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 22.12 มก./ล. (ผงกระดูก 0.4 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 22.12 มก./ล. (ผงกระดูก 0.5 ก./ล.)	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10	blank =	5.00±0.10
13.42	7.19	24.43	7.38	0.0037.60	7.43
73.96	6.57	63.18	7.55	77.66	7.59
51.61	6.97	81.42	7.24	83.58	7.54
88.07	7.28	93.03	7.38	100.00	7.60
91.20	7.40	97.18	7.50	100.00	7.65

ตารางที่ ฉ-7 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายแคดเมียมภายหลังการกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูกปริมาณต่างกัน

สารละลายแคดเมียมเข้มข้น 28.09 มก./ล. (ผงกระดูก 0.3 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 28.09 มก./ล. (ผงกระดูก 0.5 ก./ล.)		สารละลายตะกั่วเข้มข้น 28.09 มก./ล. (ผงกระดูก 0.6 ก./ล.)	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10	blank = 0.00	5.00±0.10
17.93	7.05	17.73	6.56	26.53	7.38
26.37	7.21	55.25	7.44	59.00	7.56
27.43	6.85	53.76	7.63	66.42	6.96
25.46	6.58	66.42	7.51	80.43	7.53
33.44	7.26	71.73	6.83	80.92	7.66

ตารางที่ ฉ-8 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลายแคดเมียมภายหลังการกำจัดกับร้อยละการกำจัดที่ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยผงกระดูก ถ่านกระดูก และ ถ่านกัมมันต์กระดูก

ผงกระดูก 0.02 ก./ล.		ถ่านกระดูก 0.12 ก./ล.		ถ่านกัมมันต์ 1.2 ก./ล.	
ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช	ร้อยละการกำจัด	พีเอช
4.4	6.35	5.5	6.01	73.8	6.73
12.4	6.49	11.4	6.19	84.0	6.76
44.0	6.62	16.2	6.30	91.4	6.82
68.1	6.84	43.7	6.56	98.4	6.93
84.7	6.89	54.2	6.58	99.2	6.93

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษารแทนที่ปริมาณแคลเซียมในองค์ประกอบของสารดูดซับกระดูก
ภายหลังการกำจัดสารละลายตะกั่วและแคลเซียม

ตารางที่ ข-1 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลาต่างกันด้วยผงกระดูก 0.05 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง

เวลา สัมผัส นาที่/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดตะกั่ว	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูก แทนที่	pHของ ฟิลเตรท
10 นาที	5.146	4.605	47.23	0.892	19.37	6.25
20 นาที	5.755	3.996	40.98	0.736	18.42	6.05
30 นาที	4.164	5.587	57.30	1.050	18.79	6.16
1 ชม.	3.945	5.806	59.54	1.082	18.64	6.15
4 ชม.	0.836	8.915	91.43	1.914	21.47	6.62
8 ชม.	0.195	9.556	98.00	2.178	22.79	6.63
16 ชม.	0	9.751	100.00	3.594	36.86	7.04
24 ชม.	0	9.751	100.00	3.354	34.40	6.96

ตารางที่ ข-2 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เวลาต่างกันด้วยถ่านกระดูก(BC 350-1) 0.1 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง

เวลา สัมผัส นาที่/ชม.	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Pb ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัดตะกั่ว	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูก แทนที่	pHของ ฟิลเตรท
10 นาที	11.053	1.255	11.36	0.430	34.25	5.88
20 นาที	11.053	1.304	11.80	0.460	35.28	5.83
30 นาที	11.053	0.779	7.05	0.510	65.46	5.81
1 ชม.	11.053	3.539	32.02	0.532	15.03	5.99
4 ชม.	11.053	3.901	35.30	1.026	26.30	6.06
8 ชม.	11.053	6.785	61.39	1.584	23.35	6.16
16 ชม.	11.053	8.895	80.48	1.802	20.26	6.29
24 ชม.	11.053	10.954	99.11	2.290	20.91	6.59

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection)
=0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ช-3 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทของการทดลองกำจัดสารละลายตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยเกลือกระดูกแบบแห้ง(คอลลัมน์)

ปริมาณน้ำที่ผ่าน คอลลัมน์(ลิตร)	ความเข้มข้น Pb^{2+} ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด ตะกั่ว	ความเข้มข้น Ca^{2+} ใน ฟิลเตรท (มก./ล.)	pHของ ฟิลเตรท
blank=0	10.678	0.00	0.00	4.0±0.1
100	0.000	100.00	8.754	7.07
200	0.000	100.00	12.456	6.37
300	0.000	100.00	10.550	6.62
400	0.0467	99.56	10.79	6.76
420	0.0117	99.89	9.332	6.32
440	0.5025	95.29	16.128	7.48
460	0.1344	98.74	24.524	7.71
480	0.0174	99.84	30.328	7.49
500	0.0040	99.96	20.070	7.97
520	0.1996	98.13	35.050	6.99
540	0.1215	98.86	24.704	5.71
550	0.0477	99.55		5.76
560	0.0682	99.36	18.196	5.42
570	0.064	99.35		5.17
580	0.0434	99.59	13.060	5.57
590	0.1870	98.25	15.438	5.51

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection)

=0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข-4 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกันด้วยผงกระดูก 0.02 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง

เวลา สัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูก แทนที่	pHของ ฟิลเตรท
30 นาที	8.466	0.568	6.29	0.718	7.94	6.46
1 ชม.	7.918	1.116	12.35	1.710	18.93	6.49
2 ชม.	8.640	0.394	4.36	0.526	5.82	6.35
4 ชม.	8.613	0.421	4.66	0.834	9.23	6.34
8 ชม.	8.386	0.648	7.17	0.800	8.86	6.38
24 ชม.	5.063	3.971	43.95	3.994	44.21	6.62
48 ชม.	2.879	6.155	68.11	1.330	14.72	6.84
72 ชม.	1.383	7.651	84.69	2.822	31.24	6.89

ตารางที่ ข-5 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกันด้วยถ่านกระดูก 0.12 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง

เวลา สัมผัส นาที/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการ กำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูก แทนที่	pHของ ฟิลเตรท
30 นาที	7.923	0.561	6.62	0.932	10.99	6.00
1 ชม.	8.018	0.466	5.50	1.022	12.02	6.01
2 ชม.	7.733	0.751	8.86	1.152	13.58	5.98
4 ชม.	7.596	0.888	10.47	2.644	31.16	6.05
8 ชม.	7.522	0.963	11.35	1.738	20.49	6.19
24 ชม.	7.112	1.372	16.17	2.690	31.71	6.30
48 ชม.	4.776	3.708	43.70	2.156	25.41	6.56
72 ชม.	3.885	4.599	54.20	3.398	40.05	6.58

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข-6 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง ด้วยปริมาณถ่านกระดุกต่างกัน

ปริมาณ ถ่าน (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ เริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูกแทนที่
0.00	7.8505	7.8505	0.00	0.00	N.D.	0.00
0.16	7.8505	6.3882	1.4618	18.62	10.580	134.77
0.20	7.8505	4.9376	2.9174	37.16	11.354	144.63
0.30	7.8505	1.9905	5.8555	74.58	11.220	142.92
0.40	7.8505	1.6451	6.2049	79.04	11.860	151.07
0.60	7.8505	0.8920	6.9585	88.64	11.980	152.60

ตารางที่ ข-7 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างกันด้วยถ่านกัมมันต์กระดุก 1.8 กรัมต่อลิตรน้ำตัวอย่าง

เวลา สัมผัส นาที่/ชม.	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้น Ca ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca ²⁺ ที่ถูกแทนที่	pHของ ฟิลเตรท
30 นาที	29.810	19.970	40.12	4.791	23.99	6.34
1 ชม.	28.530	21.250	42.69	5.289	24.89	6.30
2 ชม.	23.190	26.590	53.42	6.810	25.61	6.40
3 ชม.	12.290	37.490	75.31	9.321	24.86	6.48
5 ชม.	9.420	40.360	81.08	10.338	25.61	6.50
24 ชม.	8.800	40.980	84.33	10.062	24.55	6.30
48 ชม.	1.608	48.172	96.77	11.898	24.70	6.72

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ข-8 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทภายหลังการดูดซับสารละลายแคลเซียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาเท่ากันด้วยถ่านกัมมันต์กระดูกรูปขนาดต่างกัน

ปริมาณ ถ่าน (ก./ล.)	ความเข้มข้น Cd^{2+} เริ่มต้น (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd^{2+} ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้น Cd^{2+} ที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้น Ca^{2+} ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละ Ca^{2+} ที่ถูกแทนที่
0.00	7.8505	7.8505	0.00	0.00	N.D.	0.00
0.16	7.8505	7.2075	0.6430	8.19	9.622	122.57
0.20	7.8505	7.1620	0.6885	8.77	9.676	123.25
0.30	7.8505	6.5941	1.2564	16.00	10.168	129.52
0.40	7.8505	5.9379	1.9126	24.36	10.700	136.30
0.50	7.8505	5.4936	2.3569	30.02	11.202	142.69
0.60	7.8505	4.2304	3.6201	46.11	11.484	146.28
0.80	7.8505	0.4411	7.4094	94.38	6.712	85.50
1.20	7.8505	0.1021	7.7484	98.70	7.102	90.47

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) = 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ช-9 ผลการศึกษาปริมาณแคลเซียมในฟิลเตรทของการทดลองกำจัดสารละลายแคลเซียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยเกลือกระดูกแบบแห้ง(คอลลัมน์)

ปริมาณน้ำที่ผ่าน คอลลัมน์(ลิตร)	ความเข้มข้น Cd ²⁺ ในฟิลเตรท (มก./ล.)	ร้อยละการกำจัด แคลเซียม	ความเข้มข้นCa ²⁺ ใน ฟิลเตรท (มก./ล.)	pHของ ฟิลเตรท
blank=0	8.4723	0.00	0.00	4.0±0.1
50	0.2651	96.87	16.832	6.70
80	1.0421	87.70	20.344	6.55
90	4.5792	45.95	17.756	6.18
100	5.0403	40.51	15.658	6.25
200	6.2969	25.68	8.720	5.66
300	7.5775	10.56	6.168	5.62
400	7.9480	6.19	4.310	5.45
500	7.4525	12.04	5.216	6.09
520	7.6256	9.99	5.064	5.73
540	7.6598	9.59	7.914	5.95
560	7.9194	6.53	5.602	6.16
580	7.5824	10.50	5.380	6.15
610	8.1493	3.81	4.054	6.03
630	8.2638	2.46	3.986	6.11

หมายเหตุ ความเข้มข้นน้อยที่สุดของแคลเซียมที่สามารถวัดได้(limit of detection) =0.05 มิลลิกรัม ต่อลิตร

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาไอโซโทมของการดูดติดผิวของกระดูกอบและถ่านกระดูกในการกำจัด
สารละลายตะกั่วและสารละลายแคดเมียม

ตารางที่ ซ-1 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก(ต้ม)

m	C_0	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	9.751	9.751	0	0	-	0.1026	-	0.9890
0.020	9.751	3.8357	5.9153	295.765	0.0034	0.2607	2.4709	0.5838
0.050	9.751	0.8360	8.915	178.30	0.0056	1.1962	2.2512	-0.0778
0.100	9.751	0.163	9.588	95.880	0.0104	6.1350	1.9817	-0.7878
0.216	9.751	0.029	9.722	45.009	0.0222	34.4828	1.6530	-1.5376
0.412	9.751	0.016	9.735	23.6286	0.0423	62.50	1.3734	-1.7959
0.604	9.751	0.014	9.737	16.120	0.0620	71.43	1.2074	-1.8539
0.816	9.751	0.009	9.742	11.9388	0.0838	111.11	1.0769	-2.0458
1.060	9.751	0.006	9.745	9.6869	0.1032	166.67	0.9862	-2.2218

ตารางที่ ซ-2 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยด้วยถ่านกระดูก (BC 350-1)

m	C_0	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	10.850	10.850	0	0	-	0.092	-	1.035
0.006	10.850	6.504	4.346	724.33	0.001	0.154	2.860	0.813
0.015	10.850	7.465	3.587	239.15	0.004	0.134	2.379	0.873
0.018	10.850	5.224	5.626	312.56	0.003	0.192	2.495	0.718
0.024	10.850	7.163	3.687	153.63	0.007	0.140	2.186	0.855
0.050	10.850	4.897	5.953	119.06	0.008	0.204	2.076	0.690
0.100	10.850	0.098	10.954	109.54	0.009	10.00	2.040	-1.00

- หมายเหตุ
- C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - Ce = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - X = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - m = ปริมาณผงกระดูก/ ถ่านกระดูก (กรัม/ลิตรน้ำตัวอย่าง)

ตารางที่ ซ-3 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยด้วยถ่านกระดูก (BC 400-1)

m	C ₀	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	10.850	10.850	0	0	-	0.092	-	1.035
0.008	10.850	6.093	4.575	594.63	0.0016	0.164	2.774	0.785
0.016	10.850	2.719	8.131	508.19	0.0019	0.368	2.706	0.434
0.024	10.850	1.517	9.333	388.88	0.003	0.659	2.590	0.413
0.046	10.850	0.350	10.500	228.26	0.004	2.857	2.358	0.456

ตารางที่ ซ-4 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดตะกั่ว 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยด้วยถ่านกัมมันต์กระดูก

m	C ₀	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	39.710	39.710	0	0	-	0.025	-	1.599
0.024	39.710	24.882	14.829	617.88	0.002	0.040	2.791	1.396
0.060	39.710	22.265	17.445	290.75	0.003	0.045	2.464	1.350
0.108	39.710	21.142	18.568	171.93	0.006	0.047	2.235	1.325
0.144	39.710	19.453	20.257	140.67	0.007	0.051	2.148	1.289
0.170	39.710	24.320	15.390	90.53	0.011	0.041	1.957	1.386
0.200	39.710	23.100	16.610	83.05	0.012	0.043	1.919	1.364
0.290	39.710	20.664	19.046	65.68	0.015	0.048	1.817	1.315
0.40	39.710	0.1696	39.540	98.85	0.0101	5.8962		
0.80	39.710	4.7988	34.911	43.64	0.0229	0.2084		
1.20	39.710	N.D.	39.710	28.40	0.0352	-		

- หมายเหตุ
- C₀ = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - Ce = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - X = ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - m = ปริมาณถ่านกระดูก/ ถ่านกัมมันต์กระดูก (กรัม/ลิตรน้ำตัวอย่าง)

ตารางที่ ซ-5 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยผงกระดูก

m	C_0	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	9.938	9.938	0.00	-	-	0.1010	0	0.997
0.02	9.938	1.521	8.417	420.85	0.0024	0.658	2.624	0.182
0.05	9.938	5.428	4.510	90.194	0.011	0.184	1.955	0.735
0.10	9.938	6.733	3.205	32.05	0.0312	0.149	1.506	0.828
0.50	9.938	0.046	9.892	19.780	0.051	21.739	1.296	-1.337
0.80	9.938	0.025	9.913	12.330	0.081	40.000	1.091	-1.602
1.2	9.938	0.020	9.918	8.240	0.1214	50.000	0.915	-1.699
1.6	9.938	0.0167	9.921	6.185	0.1620	60.000	0.791	-1.777
2.0	9.938	0.013	9.925	4.953	0.202	76.925	0.695	-1.866

ตารางที่ ซ-6 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยถ่านกระดูก (BC 350-1)

m	C_0	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0.00	9.034	9.034	0	-	-	0.111	-	0.956
0.02	9.034	8.065	0.968	48.42	0.021	0.124	1.685	0.907
0.04	9.034	7.977	1.057	26.43	0.038	0.125	1.422	0.902
0.062	9.034	8.257	0.777	12.53	0.080	0.121	1.098	0.917
0.082	9.034	7.745	1.289	15.71	0.064	0.129	1.196	0.889
0.100	9.034	7.698	1.339	13.39	0.075	0.130	1.127	0.886
0.120	9.034	7.569	1.465	12.21	0.082	0.132	1.087	0.879
0.140	9.034	7.551	1.482	10.59	0.094	0.132	1.025	0.878

- หมายเหตุ
- C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - Ce = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - X = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - m = ปริมาณผงกระดูก/ ถ่านกระดูก(กรัม/ลิตรน้ำตัวอย่าง)

ตารางที่ ซ-7 ผลการทดลองไอโซเทอมของการกำจัดแคดเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยถ่านกระดูก (BC 400-1)

m	C_0	Ce	x	x/m	1/x/m	1/Ce	Log x/m	Log Ce
0	9.04	9.04	0	-	-	0.111	-	0.956
0.020	9.04	8.72	0.32	15.77	0.063	0.115	1.198	0.941
0.04	9.04	8.65	0.38	9.57	0.104	0.116	0.981	0.937
0.06	9.04	8.57	0.46	7.66	0.131	0.117	0.884	0.933
0.08	9.04	8.49	0.55	6.85	0.146	0.118	0.836	0.923
0.10	9.04	8.45	0.58	5.85	0.171	0.118	0.767	0.927
0.12	9.04	8.42	0.61	5.07	0.197	0.119	0.705	0.925
0.14	9.04	8.44	0.59	4.22	0.237	0.118	0.625	0.926
0.16	9.04	8.42	0.61	3.80	0.263	0.119	0.58	0.925

- หมายเหตุ
- C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - Ce = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมภายหลังการกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - X = ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมที่ถูกกำจัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - m = ปริมาณถ่านกระดูก(กรัม/ลิตรน้ำตัวอย่าง)

ภาคผนวก ฅ

ผลการทดลองการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมของเกลือกระดูกแบบแห้งหรือคอลลัมน์

ตารางที่ ๗-1 ผลการทดลองความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือภายหลังจากกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ของเกลือกระดูกแบบแห้งหรือคอลลัมน์

ปริมาณน้ำที่ผ่าน คอลลัมน์ (ลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือภายหลังจากกำจัดที่ชั้นความสูง ของเกลือกระดูกต่างกัน (มก./ก.)		
	30 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	90 เซนติเมตร
0	10.678	10.678	10.678
100	N.D.	N.D.	N.D.
200	N.D.	N.D.	N.D.
300	N.D.	N.D.	N.D.
320	N.D.	N.D.	N.D.
340	N.D.	N.D.	N.D.
360	N.D.	N.D.	N.D.
380	N.D.	N.D.	N.D.
400	0.0467	0.0351	0.0058
420	0.0117	0.0351	0.0234
440	0.5025	0.0818	0.1636
460	0.1344	0.0292	0.0584
480	0.0174	0.0304	0.0434
500	0.0040	0.0100	0.0120
520	0.1996	0.0824	0.1215
540	0.1215	0.0521	0.0607
560	0.0477	0.0607	0.0347
580	0.0434	0.0521	0.0477

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 4.0 ± 0.1

อัตราการไหลเข้าของสารละลายตะกั่ว (Flow rate) 0.6 ลิตร ต่อชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)

= 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ๓-2 ผลการทดลองร้อยละการกำจัดตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ของเกลือด
 กระจกแบบแท่งหรือคอลัมน์

ปริมาตรน้ำที่ผ่าน คอลัมน์ (ลิตร)	ร้อยละการกำจัดตะกั่วของเกลือกระจกที่ชั้นความสูงต่างกัน		
	30 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	90 เซนติเมตร
0	0	0	0
100	100.00	100.00	100.00
200	100.00	100.00	100.00
300	100.00	100.00	100.00
320	100.00	100.00	100.00
340	100.00	100.00	100.00
360	100.00	100.00	100.00
380	100.00	100.00	100.00
400	99.56	99.67	99.95
420	99.89	99.67	99.78
440	95.29	99.23	98.47
460	98.74	99.73	99.45
480	99.84	99.72	99.59
500	99.95	99.91	99.89
520	98.13	99.23	98.85
540	98.86	99.51	99.43
560	99.55	99.43	99.68
580	99.59	99.51	99.55

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 4.0 ± 0.1

อัตราการไหลเข้าของสารละลายตะกั่ว (Flow rate) 0.6 ลิตร ต่อชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)
 = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ฅ-3 ผลการทดลองพีเอชของสารละลายตะกั่วกับปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ของสารละลาย
ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ของเกลือกระดูกแบบแห้ง

ปริมาณน้ำที่ผ่าน คอลัมน์ (ลิตร)	พีเอชของสารละลายตะกั่วที่ผ่านคอลัมน์ของเกลือกระดูกที่ชั้นความสูงต่างกัน		
	30 เซนติเมตร	60 เซนติเมตร	90 เซนติเมตร
0	4.00	4.00	4.00
100	7.07	6.82	6.72
200	6.37	6.33	6.18
300	6.62	6.39	7.18
320	6.75	6.56	6.57
340	6.59	7.05	6.82
360	6.35	6.93	6.77
380	7.01	7.14	7.18
400	6.76	6.98	7.02
420	6.32	6.62	6.67
440	7.48	7.64	7.72
460	7.71	7.63	7.65
480	7.49	7.13	7.16
500	7.97	7.67	7.56
520	6.99	6.63	7.48
540	5.71	7.41	6.90
560	5.42	6.56	7.12
580	5.57	6.70	6.90

ตารางที่ ฅ-4 ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมของสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ของเกลือกระดุกแบบแห้ง

ปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ (ลิตร)	BV	ความเข้มข้นสารละลาย (มก./ล.)	พีเอช	ร้อยละการกำจัด
0	0	8.4723	4.00	0
1.0	6.88	3.3375	5.44	60.60
1.5	10.31	0.3977	5.71	95.31
2.0	13.75	0.0292	5.99	99.66
2.5	17.19	0.0112	5.95	99.87
3.0	20.63	0.0204	5.97	99.76
3.5	24.07	0.0175	5.86	99.80
4.0	27.50	0.0165	5.96	99.81
4.5	30.25	0.0230	5.93	99.73
5.0	34.38	0.0371	5.98	99.56
10.0	69.84	0.1082	6.20	98.72
20.0	137.52	0.2586	6.73	96.95
50.0	343.80	0.2651	6.70	96.87
80.0	550.08	1.0421	6.55	87.70
90.0	618.84	4.5792	6.18	45.95
100.0	687.60	5.0403	6.25	40.51
200.0	1375.20	6.2969	5.66	25.68
300.0	2062.80	7.5775	5.62	10.56
400.0	2750.40	7.9480	5.45	6.19
500.0	3438.00	7.4525	6.09	12.04
600.0	4125.60	8.0145	6.15	5.40
610.0	4194.36	8.1493	6.03	3.81
620.0	4263.12	8.1927	6.10	3.30

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 4.0 ± 0.1

อัตราการไหลเข้าของสารละลายตะกั่ว (Flow rate) 0.6 ลิตร ต่อชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)

= 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ๗-4 (ต่อ) ผลการทดลองการกำจัดแคดเมียมของสารละลายแคดเมียมความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 ของเกลือกระดุกแบบแห้ง

ปริมาณน้ำที่ผ่านคอลัมน์ (ลิตร)	BV	ความเข้มข้นสารละลาย (มก./ล.)	พีเอช	ร้อยละการกำจัด
630.0	4331.88	8.2638	6.11	2.46
640.0	4400.64	8.3198	5.79	1.80
650.0	4469.40	8.2831	5.90	2.23
660.0	4538.16	8.2985	5.88	2.05
670.0	4606.92	8.3407	5.94	1.55
680.0	4675.84	8.3680	5.97	1.23
690.0	4744.44	8.2791	5.89	2.28
700.0	4813.20	8.3180	5.95	1.82

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 4.0 ± 0.1

อัตราการไหลเข้าของสารละลายตะกั่ว (Flow rate) 0.6 ลิตร ต่อชั่วโมง

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)

= 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ญ

การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมที่ใช้งานแล้ว

ตารางที่ ฅ-1 ผลการทดลองพื้นสภาพเกล็ดกระดูกที่ดูดซับตะกั่วแล้วด้วยสารละลายต่างชนิด

ชนิดสารละลาย (100 มล.ล)	นน.เกล็ด กระดูก (กรัม)	ความเข้มข้น เริ่มต้นของ สารละลายตะกั่ว (มก./ล.)	ความเข้มข้น สารละลายตะกั่วใน ฟิลเตรท (มก./ล.)	% ตะกั่ว ที่ถูกล้าง ออกมา	ประสิทธิภาพ การพื้นสภาพ (x/m) (มก./ก.)
น้ำอุ่น 70 ° C	0.3	10.678	0	0	0
Na ₂ HPO ₄ 0.01 N	0.3	10.678	0.041	0.38	0.014
1 % HNO ₃	0.3	10.678	5.578	52.26	1.86
3 % HNO ₃	0.3	10.678	6.483	60.71	2.16
5 % HNO ₃	0.3	10.678	7.643	71.58	2.55

ตารางที่ ฅ-2 ผลการทดลองพื้นสภาพเกล็ดกระดูกที่ดูดซับตะกั่วแล้วด้วยสารละลาย
กรดไนตริกเข้มข้น 5 % โดยใช้ปริมาณเกล็ดกระดูกแตกต่างกัน

ชนิดสารละลาย (100 มล.ล)	นน.เกล็ด กระดูก (กรัม)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ของสารละลายตะกั่ว (มก./ล.)	ความเข้มข้น สารละลายตะกั่วใน ฟิลเตรท (มก./ล.)	% ตะกั่ว ที่ถูกล้าง ออกมา	ประสิทธิภาพ การพื้นสภาพ X/M (มก./ก.)
5 % HNO ₃	0.3	10.678	7.643	71.58	2.55
5 % HNO ₃	0.5	10.678	7.444	69.71	1.49
5 % HNO ₃	1.0	10.678	5.961	55.82	0.60
5 % HNO ₃	2.0	10.678	5.209	48.78	0.26

หมายเหตุ ปริมาณสารละลายที่นำมาล้าง = 100 มิลลิลิตร
 ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที
 ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection)
 = 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร
 x/m ความสามารถในการล้างตะกั่วออกจากผงกระดูกหรือเกล็ดกระดูก 1 กรัม มี
 หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมสารดูดซับที่นำมาล้าง

ตารางที่ ๓-3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของผงกระดูกที่ฟื้นฟูสภาพด้วยกรดไนตริก 5% กับผงกระดูกต้มที่ยังไม่ได้ใช้งาน

ชนิดสารดูดซับ	ปริมาณสารดูดซับ (กรัม)	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว (มก./ล.)	ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วในฟิลเตรท (มก./ล.)	ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่ถูกกำจัด (มก./ล.)	% ตะกั่วที่ถูกกำจัด	ประสิทธิภาพการดูดซับ (x/m : มก./ก.)
blank	0	10.604	10.604	0	0	-
SBP	0.001	10.604	8.561	2.043	19.26	102.15
SBP	0.005	10.604	8.621	1.984	18.71	19.84
SBP	0.0102	10.604	9.824	0.780	7.35	3.82
BP	0.001	10.604	1.903	8.701	82.06	435.05

หมายเหตุ PH ของสารละลายเริ่มต้น = 5.0 ± 0.1

ความเร็วของการเขย่า = 175 รอบต่อนาที

ปริมาณสารละลายตะกั่วเริ่มต้น = 50 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารละลายตะกั่วที่สามารถวัดได้ (limit of detection) = 0.10

มิลลิกรัมต่อลิตร

x/m ความสามารถในการกำจัดตะกั่วของผงกระดูกที่ฟื้นฟูสภาพแล้ว 1 กรัม มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมผงกระดูก

ตารางที่ ๓-4 ผลการทดลองศึกษาเปรียบเทียบน้ำหนักของเกล็ดกระดูกที่ลดลงภายหลังการฟื้นฟูสภาพ

พารามิเตอร์	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2
น้ำหนักของเกล็ดกระดูกก่อนการล้างด้วย 5% กรดไนตริก	1.0008	0.9994
น้ำหนักของเกล็ดกระดูกภายหลังการล้างด้วย 5% กรดไนตริก	0.8219	0.8160
น้ำหนักของเกล็ดกระดูกที่ลดลง (กรัม)	0.1789	0.1834
ร้อยละของน้ำหนักของเกล็ดกระดูกที่ลดลง	17.88	18.35

ภาคผนวก ฎ**วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM****-C 1274-00****-D 2652-05a****-D 2854-96****-D 2866-94****-D 2867-04****-D 3557-02****-D 3559-03****-D 3860-98****-D 511-03**



Designation: C 1274 – 00

Standard Test Method for Advanced Ceramic Specific Surface Area by Physical Adsorption¹

This standard is issued under the fixed designation C 1274; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of surface area of advanced ceramic materials. This test method specifies general procedures that are applicable to many commercial physical adsorption instruments. This test method provides specific sample outgassing procedures for listed materials, including silicon carbide, silicon nitride, and zirconium oxide. It includes additional general outgassing instructions for other advanced ceramic materials. The multipoint equation of Brunauer, Emmett and Teller² (BET) along with the single point approximation of the BET equation form the basis for all calculations.

1.2 This test method does not include all existing procedures appropriate for outgassing advanced ceramic materials. The included procedures provided acceptable results for samples analyzed during round robin testing. The investigator must determine the appropriateness of listed procedures.

1.3 This test method uses SI units as standard. State all numerical values in terms of SI units unless specific instrumentation software reports surface area using alternate units. In this case, present both reported and equivalent SI units in the final written report. Many instruments report surface area as m^2/g , instead of using correct SI units (m^2/kg).

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

D 1993 Test Method for Precipitated Silica—Surface Area by Multipoint BET Nitrogen Adsorption

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C28 on Advanced Ceramics and is the direct responsibility of Subcommittee C28.03 on Physical Properties and Performance.

Current edition approved Dec. 10, 2000. Published March 2001. Originally published as C 1274 – 94. Last previous edition C 1274 – 95.

² Brunauer, S., Emmett, P. H., and Teller, E., *J. Am. Chem. Soc.* 60, 1938, pp. 306–319.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Terminology

3.1 Definitions:⁴

3.1.1 *adsorbate*, *n*—material that has been retained by the process of adsorption.

3.1.2 *adsorbent*, *n*—any solid having the ability to concentrate significant quantities of other substances on its surface.

3.1.3 *adsorption*, *n*—a process in which fluid molecules are concentrated on a surface by chemical or physical forces, or both.

3.1.4 *adsorptive*, *n*—any substance available for adsorption.

3.1.5 *aliquant*, *n*—a representative portion of a whole that divides the whole leaving a remainder.

3.1.6 *outgassing*, *n*—the evolution of gas from a material in a vacuum or inert gas flow, at or above ambient temperature.

3.1.7 *physical adsorption (van der Waals adsorption)*, *n*—the binding of an adsorbate to the surface of a solid by forces whose energy levels approximate those of condensation.

3.1.8 *surface area*, *n*—the total area of the surface of a powder or solid including both external and accessible internal surfaces (from voids, cracks, open porosity, and fissures). The area may be calculated by the BET (Brunauer, Emmett, and Teller²) equation from gas adsorption data obtained under specific conditions. It is useful to express this value as the specific surface area, for example, surface area per unit weight of sample (m^2/g).


3.1.9 *surface area (BET)*, *n*—the total surface area of a solid calculated by the BET (Brunauer, Emmett, Teller²) equation, from nitrogen adsorption or desorption data obtained under specific conditions.

3.1.10 *surface area, specific*, *n*—the area, per unit mass of a granular or powdered or formed porous solid, of all external plus internal surfaces that are accessible to a penetrating gas or liquid.

4. Summary of Test Method

4.1 An appropriate sized sample (to provide at least the minimum surface area required for reliable results for the

⁴ *Compilation of ASTM Standard Terminology*, 8th ed. 1994.

 C 1274 - 00

instrument or apparatus used) is outgassed under appropriate conditions prior to analysis.

4.2 (Multipoint BET Analyses Only)—Volume of gas adsorbed, or desorbed, is determined for a minimum of four relative pressures within the linear BET transformation range of the physical adsorption, or desorption, isotherm characteristic of the advanced ceramic. The linear range is that which results in a least square correlation coefficient of 0.999 (preferably 0.9999) or greater for the linear relationship used in the BET graph ($V_{\text{adsorbed volume}} \cdot (1/\text{relative pressure} - 1)$). Typically, the linear range includes relative pressures between 0.05 and 0.30, however, microporous materials usually require use of a range of lower relative pressures, such as 0.01 to 0.10.

4.3 (Single Point BET Analyses Only)—Volume of gas adsorbed, or desorbed, is determined at the highest known relative pressure within the linear BET transformation range of the physical adsorption, or desorption, isotherm. Typically, a relative pressure of 0.30 is used. (It may be necessary to perform a multipoint analysis of the material first to determine the optimum single point relative pressure.)

4.4 The sample is accurately weighed (to at least 1% of the sample mass) after analysis. It is important to use an analytical balance to determine the sample weight. The physical adsorption instrument or apparatus measures the total amount of gas adsorbed onto, or desorbed from, the sample under analysis. The sample weight is then used to normalize the measured results. Any error in the sample weight will be propagated into the final BET surface area.

4.5 Calculations are based on the BET equation, as required by the instrument being used for the determination. The cross sectional area for the adsorbate is taken to be 0.162 nm^2 if nitrogen is used as the adsorptive. Use the appropriate value recommended by the instrument manufacturer for adsorptives other than nitrogen. Report this cross sectional area with the BET surface area results.

5. Significance and Use

5.1 Both suppliers and users of advanced ceramics can benefit from knowledge of the surface area of these materials. Results of many intermediate and final processing steps are controlled by, or related to, specific surface area of the advanced ceramic.

6. Interferences

6.1 This test method can be used to determine the internal and external surface of a powder or solid only after these surfaces have been cleaned of any physically adsorbed molecules. Such adsorbed species, for example, water or volatile organic compounds, prevent physical adsorption of the gas probe molecules used to measure surface area. Therefore, it is necessary to remove these adsorbed contaminants prior to surface area analysis. Generally, such outgassing is performed by evacuating or flushing the sample. Outgassing can be accelerated by using elevated temperatures, provided no irreversible sample changes occur. Typical minimum vacuum levels attained are 10^{-1} Pa . Typical flushing gases are helium, nitrogen, or a mixture of the two. Outgassing is complete when duplicate surface area analyses produce results within expected instrument repeatability limits, when a constant residual vapor

pressure is maintained upon isolation from the vacuum source, or when flushing gas composition is unaffected while passing over the sample.

7. Apparatus

7.1 Classical Vacuum Apparatus—Refer to Test Method D 1993 for apparatus description.

7.2 Automated and Dynamic Flow Instruments—Commercial instruments are available from several manufacturers for the measurement of specific surface area by physical adsorption. Some are automated versions of the classical vacuum apparatus. Others may use a gravimetric technique to determine the amount of adsorbed gas on the sample surface. Additionally, commercial instruments are available which measure physical adsorption based on the dynamic flow method.

8. Reagents and Materials

8.1 Liquid Nitrogen.

8.2 Nitrogen, 99.99 mole percent, with the sum of O_2 , Ar, CO_2 , hydrocarbons (as CH_4), and H_2O totaling less than 10 ppm, dry and oil-free, cylinder, or other source of purified nitrogen.

8.3 Helium, 99.99 mole percent, with the sum of N_2 , O_2 , Ar, CO_2 , hydrocarbons (as CH_4), and H_2O totaling less than 10 ppm, dry and oil-free, cylinder, or other source of purified helium, if needed for determination of void space above sample.

8.4 Blended Nitrogen and Helium, dry and oil-free, cylinder, or other source of blended gases. The actual composition of the blend must be known. For use with dynamic flow instruments only.

9. Sampling, Test Specimens, and Test Units

9.1 No specific instructions are given. However, it is important that the aliquant being analyzed represent the larger bulk sample from which it is taken. The bulk sample should be homogenized before any sampling takes place. Best results are obtained when a flowing bulk material is temporarily diverted into a collector for an appropriate time. It is better to sample the entire flow for a short time than to sample a portion of the flow for a longer time. Collecting several small aliquants and combining them improves the reliability of the sampling process. Rotating riffles are available that satisfy these requirements.

10. Calibration and Standardization

10.1 Classical Vacuum Apparatus—Refer to Test Method D 1993 for calibration procedures.

10.2 Automated and Dynamic Flow Instruments—Follow manufacturer's instructions for calibration and operational verification of the instrument.

11. Outgassing

11.1 Classical Vacuum Apparatus—Refer to Test Method D 1993 for outgassing procedures.

11.2 Automated and Dynamic Flow Instruments:

11.2.1 Weigh (to the nearest 0.1 mg) clean, empty sample tube, along with stopper or seal. Record the empty tube weight.


 C 1274 - 00

TABLE 1 Precision for Single Point and Multipoint BET Methods

Material	Number of Laboratories	Surface Area (average)	Precision					
			Single Point BET Method			Multi Point BET Method		
			Repeatability Standard Deviation S_r	Reproducibility Standard Deviation S_R	Repeatability Limit	Reproducibility Limit	Repeatability C.V.	Reproducibility C.V.
A1N	6	2.82	0.09	0.12	0.24	0.24	3.1 %	4.3 %
Si3N4 (SNT)	17	9.30	0.24	0.38	0.66	1.05	2.6 %	4.1 %
Si3N4 (SNR)	6	12.55	0.79	0.86	2.18	2.38	6.3 %	6.8 %
SiC	16	13.27	0.25	0.67	0.69	1.86	1.9 %	5.1 %
Y2O3-ZrO2	9	17.72	0.34	0.89	0.95	2.47	1.9 %	5.0 %

This table was calculated using the relationship: limit = $1.96 \times \sqrt{2} \times$ standard deviation

Material	Number of Laboratories	Surface Area (average)	Precision					
			Single Point BET Method			Multi Point BET Method		
			Repeatability Standard Deviation S_r	Reproducibility Standard Deviation S_R	Repeatability Limit	Reproducibility Limit	Repeatability C.V.	Reproducibility C.V.
A1N	6	2.83	0.15	0.22	0.42	0.62	5.3 %	7.8 %
Si3N4 (SNT)	11	10.06	0.41	1.11	1.15	3.06	4.1 %	11.0 %
SiC	10	14.22	0.28	1.50	0.77	4.16	2.0 %	10.6 %
Y2O3-ZrO2	6	18.46	0.43	1.72	1.19	4.76	2.3 %	9.3 %

This table was calculated using the relationship: limit = $1.96 \times \sqrt{2} \times$ standard deviation

11.2.2 Add representative sample to empty sample tube. Sample quantity should be sufficient to satisfy minimum surface area as required by manufacturer.

11.2.3 Attach prepared sample tube to outgassing port of instrument. Secure heating mantle or oven around sample tube at the time appropriate for sample.

11.2.4 Initiate outgassing program according to manufacturer's instructions. Program mantle or oven for initial outgassing temperature. Increase temperature as appropriate for the sample. Allow sample to continue to outgas until prescribed vacuum level or detector signal is achieved and/or for prescribed outgassing time. Be aware that heating of the sample without a sufficient vacuum can lead to hydrothermal conditions, which then could result in changes in the sample. Thus, it is recommended to assure a vacuum of 1 Pa or better at all times during the heat-out. Outgassing without those vacuum conditions can be used once an initial test on similar samples has confirmed that no changes in the sample surface area occur. This is especially important when the flow gas (He) technique is used for the out-gassing process.

NOTE 1—Specific outgassing information will be added after round robin test samples are selected.

11.2.5 Remove heating mantle or oven from sample tube. Allow sample tube to cool to ambient temperature. Remove and seal sample tube according to manufacturer's instructions.

11.2.6 Weigh sample tube (to the nearest 0.1 mg) to obtain sample and tube weight. Record weight. Subtract empty sample tube weight determined in 11.2 to obtain outgassed sample weight. Record calculated weight.

12. Procedure

12.1 *Classical Vacuum Apparatus*—Refer to Test Method D 1993 for analysis procedures.

12.2 *Automated and Dynamic Flow Instruments*—Attach appropriately prepared sample holder to analysis porting to manufacturer's instructions. Include any required ware.

12.3 (*Automated Instruments Only*)—Select, or input, desired analysis and report parameters.

12.3.1 (*Multipoint BET Analyses Only*)— Use at least four analysis points in the linear BET transformation range of the isotherm characteristic of the sample. If necessary, input the outgassed sample weight. (The final weight should be determined and entered after the analysis.)

12.3.2 (*Single Point BET Analyses Only*)— Use highest relative pressure known to be in the linear BET transformation range of the isotherm. If necessary, input the outgassed sample weight. (The final weight should be determined and entered after the analysis.)

12.4 (*Dynamic Flow Instruments Only*)— Collect data points as volume of gas desorbed versus relative pressure:

12.4.1 (*Multipoint BET Analyses Only*)— Use at least four analysis points in the linear BET transformation range of the isotherm characteristic of the sample.

12.4.2 (*Single Point BET Analyses Only*)— Use highest relative pressure known to be in the linear BET transformation range of the isotherm.

12.5 Perform analysis using the specified conditions according to instrument manufacturer's instructions.


12.6 When the analysis has finished and the sample has warmed to room temperature, remove and seal the sample tube. Dry tube and weigh (to the nearest 0.1 mg). Record the final tube and sample weight. Subtract the empty tube weight recorded in 11.2 to obtain the final sample weight. Record final sample weight.

12.7 (*Automated Instruments Only*)—Edit the file containing sample information to include the final sample weight. Generate final sample report.

13. Calculation

13.1 *Classical Vacuum Apparatus*—Refer to Test Method D 1993 for calculations.

13.2 *Automated and Dynamic Flow Instruments*:

 C 1274 - 00

13.2.1 (*Automated Instruments Only*)—Software automatically calculates results for the chosen reports using the final weight input in 12.7.

13.2.2 (*Dynamic Flow Instruments Only*)—Follow manufacturer's instructions for multipoint, or single point, calculations. Use the final sample weight determined in 12.6 when calculating the specific surface area.

14. Report

- 14.1 Report the following information:
- 14.1.1 Complete sample identification,
 - 14.1.2 Collected isotherm point(s) as volume adsorbed, or desorbed, versus relative pressure. Note whether adsorption or desorption isotherm is used. Note any units used other than standard,
 - 14.1.3 Analysis gas used (with cross sectional area if other than nitrogen, for which 0.162 nm^2 should be used),
 - 14.1.4 BET specific surface area, note any units used other than standard,
 - 14.1.5 Final sample weight, note any units used other than standard, and
 - 14.1.6 Sample outgassing method, including total time and outgassing temperature(s).

Precision and Bias

Interlaboratory Test Program—The IEA Annex II C 6 on Development and Testing of Procedures for

Characterization of Ceramic Powders (Septen-
died various characterization techniques. Single
tipoint nitrogen gas adsorption were used to
specific surface area of the samples. Generally
tested four samples of several different ceram
all the powders tested, the specific surface area
Single Point and Multipoint BET method :
between the methods, with the Single Point de
than those of Multipoint. The between-laborat
variation (C.V) is less than 7% for the Singl
less than 11% for the Multipoint data.

15.2 *Definitions and Standard Deviations*
peatability standard deviation, s_p , repeatability
ibility standard deviation, s_R , and reproducibil
as specified in Practice E 177. Coefficient of v
defined as the standard deviation listed in the
the mean value.

15.3 *Bias*—No justifiable statement can be
of the procedure in this test method for mea
Ceramic Specific Surface Area by Physical ad
there has been no interlaboratory study w
participants testing a material with an acceptec

16. Keywords

16.1 advanced ceramics; BET surface area; ceramics
tipoint surface area; outgassing; physical adsorption;
point surface area; specific surface area; surface area

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: D 511 - 03

An American National Standard

Standard Test Methods for Calcium and Magnesium In Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 511; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of calcium and magnesium in water by complexometric titration and atomic absorption spectrometric procedures. Two test methods are included, as follows:

Test Method A—Complexometric Titration	Sections
Test Method B—Atomic Absorption Spectrometric	7 to 14
	15 to 23

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific hazard statements are given in 12.2.6 and 20.6.*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
- D 1129 Terminology Relating to Water²
 - D 1193 Specification for Reagent Water²
 - D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Methods of Committee D19 on Water²
 - D 3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits²
 - D 4691 Practice for Measuring Elements in Water by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry²
 - D 4841 Practice for Estimation of Holding Times for Water Samples Containing Organic and Inorganic Constituents²
 - D 5810 Guide for Spiking Into Aqueous Samples²
 - D 5847 Practice for Writing Quality Control Specifications for Standard Test Methods for Water Analysis³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, refer to Terminology D 1129.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and are the direct responsibility of Subcommittee D19.05 on Inorganic Constituents in Water.

Current edition approved June 10, 2003. Published July 2003. Originally approved in 1937. Last previous edition approved in 1998 as D 511 - 93 (1996).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.02.

4. Significance and Use

4.1 Calcium and magnesium salts in water are the primary components of water hardness which can cause pipe or tube scaling.

5. Purity of Reagents

5.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society.⁴ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

5.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type I, II, or III water. Type I is preferred and more commonly used. Type II water was specified at the time of round-robin testing of these test methods.

NOTE 1—The user must ensure the type of reagent water is sufficiently free of interferences. The water should be analyzed using this test method.

6. Sampling

6.1 Collect the sample in accordance with Practices D 3370.

6.2 If total recoverable calcium and magnesium concentrations are being determined, acidify the water sample with HNO₃ (sp gr 1.42) to a pH of 2 or less immediately at the time of collection; normally about 2 mL/L are required. The holding time for the samples may be calculated in accordance with Practice D 4841.

6.3 If dissolved calcium and magnesium concentrations are being determined, filter the samples through a 0.45- μ m membrane filter and acidify with HNO₃ (sp gr 1.42) to a pH of 2 or less immediately at time of collection; normally about 2 mL/L are required.

⁴ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Annual Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

D 511 - 03

15.2.2 Verify instrument calibration after standardization by analyzing a standard at the concentration of one of the calibration standards. The concentration of a mid-range standard should fall within $\pm 15\%$ of the known concentration.

15.2.3 If calibration cannot be verified, recalibrate the instrument.

15.3 Initial Demonstration of Laboratory Capability

15.3.1 If a laboratory has not performed the test before, or if there has been a major change in the measurement system, for example, a new analyst, new instrument, and so forth, a precision and bias study must be performed to demonstrate laboratory capability.

15.3.2 Analyze seven replicates of a standard solution prepared from an Independent Reference Material containing a mid-range concentration of calcium and magnesium in water. The matrix and chemistry of the solution should be equivalent to the solution used in the collaborative study. Each replicate must be taken through the complete analytical test method including any sample preservation and pretreatment steps. The replicates may be interspersed with samples.

15.3.3 Calculate the mean and standard deviation of the seven values and compare to the acceptable ranges of bias in Table 2. If a concentration other than the recommended concentration is used, refer to Practice D 5847 for information on applying the F test and t test in evaluating the acceptability of the mean and standard deviation.

15.4 Laboratory Control Sample (LCS)

15.4.1 To ensure that the test method is in control, analyze an LCS containing a known concentration of calcium and magnesium in water with each batch or ten samples. If large numbers of samples are analyzed in the batch, analyze the LCS after every ten samples. The laboratory control samples for a large batch should cover the analytical range when possible. The LCS must be taken through all of the steps of the analytical method including sample preservation and pretreatment. The result obtained for a mid-range LCS should fall within $\pm 15\%$ of the known concentration.

15.4.2 If the result is not within these limits, analysis of samples is halted until the problem is corrected, and either all the samples in the batch must be reanalyzed, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

15.5 Method Blank

15.5.1 Analyze a reagent water test blank with each batch. The concentration of calcium and magnesium in water found in the blank should be less than 0.5 times the lowest calibration standard. If the concentration of calcium and magnesium in water is found above this level, analysis of samples is halted until the contamination is eliminated, and a blank shows no contamination at or above this level, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

15.6 Matrix Spike (MS)

15.6.1 To check for interferences in the specific matrix

15.6.2 The spike concentration plus the background concentration of calcium and magnesium in water must not exceed the high calibration standard. The spike must produce a concentration in the spiked sample that is two to five times the analyte concentration in the unspiked sample, or 10 to 50 times the detection limit of the test method, whichever is greater.

15.6.3 Calculate the percent recovery of the spike (P) using the following formula:

$$P = \frac{100 [A(V_s + V) - BV_s]}{CV} \quad (10)$$

where:

- A = Analyte Concentration (mg/L) in Spiked Sample
- B = Analyte Concentration (mg/L) in Unspiked Sample
- C = Concentration (mg/L) of Analyte in Spiking Solution
- V_s = Volume (mL) of Sample Used
- V = Volume (mL) added with Spike

15.6.4 The percent recovery of the spike should fall within the limits, based on the analyte concentration, listed in Guide D5810, Table 1. If the percent recovery is not within these limits, a matrix interference may be present in the sample selected for spiking. Under these circumstances, one of the following remedies must be employed: the matrix interference must be removed, all samples in the batch must be analyzed by a test method not affected by the matrix interference, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the guide.

NOTE 5—Acceptable spike recoveries are dependent on the concentration of the component of interest. See Guide D 5810 for additional information.

15.7 Duplicate

15.7.1 To check the precision of sample analyses, analyze a sample in duplicate with each batch. If the concentration of the analyte is less than five times the detection limit for the analyte, a matrix spike duplicate (MSD) should be used.

15.7.2 Calculate the standard deviation of the duplicate values and compare to the precision in the collaborative study using an F test. Refer to 6.4.4 of Practice D 5847 for information on applying the F test.

15.7.3 If the result exceeds the precision limit, the batch must be reanalyzed or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

15.8 Independent Reference Material (IRM)

15.8.1 In order to verify the quantitative value produced by the test method, analyze an Independent Reference Material (IRM) submitted as a regular sample (if practical) to the laboratory at least once per quarter. The concentration of the IRM should be in the concentration mid-range for the method chosen. The value obtained should fall within the control limits established by the laboratory.

TEST METHOD B—ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRIC

through the analytical method.

tration of calcium and magnesium in water. The determination

D 511 - 03

of these ions in brackish water, sea water, and brines requires the use of the method of additions described in Section 22.

16.2 This test method is applicable for calcium concentrations in the range from 1.0 to 15 mg/L and magnesium concentrations from 0.25 to 3.5 mg/L. The upper limits can be increased to 1500 mg/L calcium and 350 mg/L magnesium by proper single dilution technique. Serial dilution technique should be used to further extend the limit.

16.3 The precision and bias were obtained on reagent water (1 % HCl). It is the responsibility of the analyst to determine the acceptability of this test method when analyzing untested matrices.

17. Summary of Test Method

17.1 Calcium and magnesium are determined by atomic absorption spectrophotometry. The sample is aspirated following dilution and addition of interference-suppressing solution.

18. Interferences

18.1 Calcium and magnesium are subject to phosphate and aluminum interference, respectively. The addition of lanthanum in the procedure eliminates the interference effect of up to 600 mg/L of phosphate and 100 mg/L of aluminum. The use of a nitrous oxide-acetylene flame has been reported to remove chemical interferences completely when used with the addition of potassium to control ionization interference.

19. Apparatus

19.1 *Atomic Absorption Spectrophotometer* for use at 422.7 nm and 285.2 nm for calcium and magnesium, respectively. A general guide for the use of flame absorption applications is given in Practice D 4691.

Note 6—The manufacturer's instructions should be followed for all instrumental parameters. Wavelengths other than 422.7 nm and 285.2 nm may be used for calcium and magnesium, respectively, if they have been determined to be equally suitable.

19.1.1 *Calcium, Hollow-Cathode Lamp.*

19.1.2 *Magnesium, Hollow-Cathode Lamp.*

19.1.3 *Multielement, Hollow-Cathode Lamps.*

19.2 For suggested oxidant and fuel used for atomic absorption spectrophotometry, see 20.5 and 20.6.

19.3 *Pressure-Reducing Valves*—The supplies of fuel and oxidant shall be maintained at pressures somewhat higher than the controlled operating pressure of the instrument by suitable valves.

20. Reagents and Materials

20.1 *Calcium Solution, Standard* (1 mL = 0.1 mg Ca)—Dilute 250 mL of calcium standard solution (see 11.3) to 1 L with HCl (1+99).

20.2 *Lanthanum Solution* (5 % La)—Wet 58.7 g of lanthanum oxide (La_2O_3) with water. Add slowly 250 mL of HCl (sp gr 1.19) to the mixture. When dissolved, dilute to 1 L with water.

20.3 *Magnesium Solution, Standard* (1 mL = 1.0 mg Mg)—Obtain commercially, or dissolve 1.000 g of magnesium ribbon in a minimum of HCl (1+1), and dilute to 1 L with HCl (1+99).

20.4 *Potassium Solution* (2 % K)—Dissolve 38.1 g of potassium chloride (KCl) in water and dilute to 1 L.

20.5 *Oxidant.*

20.5.1 *Air*, which has been cleaned and dried through a suitable filter to remove oil, water, and other foreign substances, is the usual oxidant.

20.5.2 *Nitrous Oxide*, medical grade is satisfactory.

20.6 *Fuel: Acetylene*—Standard, commercially available acetylene is the usual fuel. Acetone, always present in acetylene cylinders, can be prevented from entering and damaging the burner system by replacing a cylinder which has only 50 psig (345 kPa) of acetylene remaining. (Warning—Purified grade acetylene containing a special proprietary solvent rather than acetone should not be used with poly(vinyl chloride) tubing as weakening of the tubing walls can cause a hazardous situation.)

21. Calibration

21.1 Prepare at least four standard solutions containing 1 % La if the air-acetylene-flame is used, or 0.2 % K if the nitrous oxide flame is used, to bracket the expected calcium or magnesium concentration range. Make all dilutions with HCl (1+99). Prepare the standards each time the test is to be performed and select concentrations to give zero, middle, and maximum points for the analytical curve.

21.2 Set the wavelength of the instrument to 422.7 nm for calcium or 285.2 nm for magnesium by atomizing a standard (see Note 6).

21.3 Atomize standards and record the instrument readings in absorbance units. Atomize water between each standard.

21.4 Prepare an analytical curve by plotting on linear graph paper the absorbance versus concentration for each standard, or calculate a standard curve. Alternatively, read concentration directly if provided on instrument.

22. Procedure

22.1 If total calcium and magnesium are to be determined, prepare the sample as directed in 12.1.1 through 12.1.4.

22.2 Prepare sample dilutions and add lanthanum solution (5 % La) so that the final concentration of lanthanum in the sample is 1 %. For example, using a 50-mL volumetric flask, add 10 mL of lanthanum solution (5 % La), sample aliquot, and make to volume with HCl (1+99). If the nitrous oxide flame is used, omit lanthanum and add potassium solution (2 % K) to yield a final concentration of potassium of 0.2 %.

22.2.1 *Method of Additions*—For high solids solutions such as sea water or brines, prepare three volumetric flasks, each containing a sample aliquot that will yield approximately 1 mg/L calcium after dilution. To each add lanthanum solution (5 % La) to yield a final concentration of 1 % La (if the nitrous oxide flame is used, omit lanthanum and add potassium solution to yield a final concentration of 0.2 % K), add calcium standard solution to yield 0, 1, and 2 mg/L in the final dilution.

22.2.2 For the magnesium determination prepare three volumetric flasks with sample aliquots to give about 0.1 mg/L magnesium, lanthanum solution (5 % La) to give 1 % La (if the nitrous oxide flame is used, omit lanthanum and add potassium solution to yield a final concentration of 0.2 % K) and

D 511 - 03

magnesium standard solution to give final concentrations of 0, 0.1, and 0.2 mg/L of magnesium.

22.3 Atomize the samples and record absorbance readings for each. Atomize water between each sample.

23. Calculation

23.1 Calculate the concentration of calcium or magnesium in each sample in milligrams per litre obtained from 21.4 and multiply by the dilution factor.

23.2 For sea water and brine samples using the method of additions and assuming a straight line analytical curve for the range of sample dilutions, calculate the concentration of calcium or magnesium in the diluted sample in milligrams per litre using Eq 11:

$$\text{Calcium or magnesium, mg/L} = A \times C_{std} / (A_{std} - A) \quad (11)$$

where:

A = absorbance of sample,

A_{std} = absorbance of one of the standard additions, and

C_{std} = concentration of the same standard addition as A_{std} , mg/L.

Since there are two standard additions, the calculation is made for each and the two results averaged. The concentration of the original water or brine is obtained by multiplying the concentration of the diluted sample by the dilution factor.

24. Precision and Bias

24.1 The precision and bias were obtained on reagent water (1 % HCl). It is the responsibility of the analyst to determine the acceptability of this method for other matrices.

24.2 The overall and single-operator precision for calcium are as in Eq 12 and Eq 13:

$$S_T = 0.036 X + 0.03 \quad (12)$$

$$S_O = 0.002 X + 0.04 \quad (13)$$

For magnesium they are as in Eq 14 and Eq 15:

$$S_T = 0.078 X + 0.03 \quad (14)$$

$$S_O = -0.001 X + 0.01 \quad (15)$$

where:

S_T = overall precision, mg/L,

S_O = single-operator precision, mg/L, and

X = concentration of calcium or magnesium determined, mg/L.

NOTE 7—The precision data were obtained using the air-acetylene flame with lanthanum solution addition. The nitrous oxide-acetylene flame with potassium solution addition provides more positive interference removal and is reported to provide equivalent sensitivity.

24.3 *Bias*—Recoveries of known amounts of calcium using this test method were as follows:

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	Bias, %	Statistically Significant, 95 % Confidence Level
1.20	1.21	+0.83	no
3.60	3.02	-0.67	no
5.00	5.02	+0.40	no
15.0	14.8	-1.33	no

24.4 *Bias*—Recoveries of known amounts of magnesium using this test method were as follows:

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	Bias, %	Statistically Significant, 95 % Confidence Level
0.26	0.23	-11.5	yes
0.52	0.52	0	no
1.10	0.99	-10.0	yes
3.20	3.18	-0.63	no

24.5 This information was derived from round-robin testing in which seven laboratories, including eight operators, participated. Of eight data sets ranked as described in Practice D 2777, one was rejected as an outlier. Four sample levels were run on each of three days. The method of "least squares" was used to determine the precision statements.

24.6 The single-operator precision for calcium determined on synthetic sodium chloride brines having the composition given in Table 1 is:

$$S_O = 253 \text{ mg/L}$$

For magnesium it is:

$$S_O = 31 \text{ mg/L}$$

24.7 These data may not apply to waters of other matrices.

24.8 This section on precision and bias conforms to Practice D 2777 - 77, which was in place at the time of collaborative testing. Under the allowances made in 1.4 of D 2777 - 98, these precision and bias data do meet existing requirements of interlaboratory studies of Committee D19 test methods.

25. Quality Control

25.1 In order to be certain that analytical values obtained using these test methods are valid and accurate within the confidence limits of the test, the following QC procedures must be followed when analyzing calcium and magnesium in water.

25.2 Calibration and Calibration Verification

25.2.1 Analyze at least three working standards containing concentrations of calcium and magnesium in water that bracket the expected sample concentration, prior to analysis of samples, to calibrate the instrument. The calibration correlation coefficient should be equal to or greater than 0.990. In addition to the initial calibration blank, a calibration blank shall be analyzed at the end of the batch run to ensure contamination was not a problem during the batch analysis.

25.2.2 Verify instrument calibration after standardization by analyzing a standard at the concentration of one of the calibration standards. The concentration of a mid-range standard should fall within ± 15 % of the known concentration.

25.2.3 If calibration cannot be verified, recalibrate the instrument.

25.3 Initial Demonstration of Laboratory Capability

25.3.1 If a laboratory has not performed the test before, or if there has been a major change in the measurement system, for example, a new analyst, new instrument, and so forth, a precision and bias study must be performed to demonstrate laboratory capability.

25.3.2 Analyze seven replicates of a standard solution prepared from an Independent Reference Material containing a mid-range concentration of calcium and magnesium in water. The matrix and chemistry of the solution should be equivalent to the solution used in the collaborative study. Each replicate must be taken through the complete analytical test method

D 511 - 03

including any sample preservation and pretreatment steps. The replicates may be interspersed with samples.

25.3.3 Calculate the mean and standard deviation of the seven values and compare to the acceptable ranges of bias in Table 2. If a concentration other than the recommended concentration is used, refer to Practice D 5847 for information on applying the F test and t test in evaluating the acceptability of the mean and standard deviation.

25.4 Laboratory Control Sample (LCS)

25.4.1 To ensure that the test method is in control, analyze an LCS containing a known concentration of calcium and magnesium in water with each batch or 10 samples. If large numbers of samples are analyzed in the batch, analyze the LCS after every 10 samples. The laboratory control samples for a large batch should cover the analytical range when possible. The LCS must be taken through all of the steps of the analytical method including sample preservation and pretreatment. The result obtained for a mid-range LCS should fall within $\pm 15\%$ of the known concentration.

25.4.2 If the result is not within these limits, analysis of samples is halted until the problem is corrected, and either all the samples in the batch must be reanalyzed, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

25.5 Method Blank

25.5.1 Analyze a reagent water test blank with each batch. The concentration of calcium and magnesium in water found in the blank should be less than 0.5 times the lowest calibration standard. If the concentration of calcium and magnesium in water is found above this level, analysis of samples is halted until the contamination is eliminated, and a blank shows no contamination at or above this level, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

25.6 Matrix Spike (MS)

25.6.1 To check for interferences in the specific matrix being tested, perform an MS on at least one sample from each batch by spiking an aliquot of the sample with a known concentration of calcium and magnesium in water and taking it through the analytical method.

25.6.2 The spike concentration plus the background concentration of calcium and magnesium in water must not exceed the high calibration standard. The spike must produce a concentration in the spiked sample that is two to five times the analyte concentration in the unspiked sample, or 10 to 50 times the detection limit of the test method, whichever is greater.

25.6.3 Calculate the percent recovery of the spike (P) using the following formula:

$$P = \frac{100 [A(V_s + V) - BV_s]}{CV} \quad (16)$$

where:

- A = Analyte Concentration (mg/L) in Spiked Sample
- B = Analyte Concentration (mg/L) in Unspiked Sample
- C = Concentration (mg/L) of Analyte in Spiking Solution
- V_s = Volume (mL) of Sample Used
- V = Volume (mL) added with Spike

25.6.4 The percent recovery of the spike should fall within the limits, based on the analyte concentration, listed in Guide D5810, Table 1. If the percent recovery is not within these limits, a matrix interference may be present in the sample selected for spiking. Under these circumstances, one of the following remedies must be employed: the matrix interference must be removed, all samples in the batch must be analyzed by a test method not affected by the matrix interference, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the guide.

NOTE 8—Acceptable spike recoveries are dependent on the concentration of the component of interest. See Guide D 5810 for additional information.

25.7 Duplicate

25.7.1 To check the precision of sample analyses, analyze a sample in duplicate with each batch. If the concentration of the analyte is less than five times the detection limit for the analyte, a matrix spike duplicate (MSD) should be used.

25.7.2 Calculate the standard deviation of the duplicate values and compare to the precision in the collaborative study using an F test. Refer to 6.4.4 of Practice D 5847 for information on applying the F test.

25.7.3 If the result exceeds the precision limit, the batch must be reanalyzed or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

25.8 Independent Reference Material (IRM)

25.8.1 In order to verify the quantitative value produced by the test method, analyze an Independent Reference Material (IRM) submitted as a regular sample (if practical) to the laboratory at least once per quarter. The concentration of the IRM should be in the concentration mid-range for the method chosen. The value obtained should fall within the control limits established by the laboratory.

26. Keywords

26.1 atomic absorption; calcium: complexometric; magnesium; spectrophotometry; titration; water



Designation: D 3557 - 02

An American National Standard

Standard Test Methods for Cadmium in Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 3557; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

Scope

1. These test methods cover the determination of dissolved and total recoverable cadmium in water and wastewater by atomic-absorption spectrophotometry and differential pulse anodic stripping voltammetry.² Four test methods are included as follows:

Method	Concentration Range	Sections
Method A—Atomic Absorption, Graphite Furnace	0.05 to 2.0 mg/L	7 to 15
Method B—Atomic Absorption, Graphite Furnace	5 to 200 $\mu\text{g/L}$	16 to 24
Method C—Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry	1 to 100 $\mu\text{g/L}$	25 to 34
Method D—Atomic Absorption, Graphite Furnace	2 to 10 $\mu\text{g/L}$	35 to 43

1.2 Test Method B can be used to determine cadmium in surface waters. It is the user's responsibility to ensure the validity of these test methods for waters of untested matrices.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 858 Test Methods for Manganese in Water³
- D 1066 Practice for Sampling Steam³
- D 1068 Test Methods for Iron in Water³
- D 1129 Terminology Relating to Water³
- D 1192 Specification for Equipment for Sampling Water and Steam in Closed Conduits³
- D 1193 Specification for Reagent Water³
- D 1687 Test Methods for Chromium in Water³
- D 1688 Test Methods for Copper in Water³

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and are the direct responsibility of Subcommittee D19.05 on Inorganic Constituents in Water.

² Current edition approved March 10, 2002. Published June 2002. Originally published as D 3557 - 77. Last previous edition D 3557 - 95.

³ Platte, J. A., and Marcy, V. M., "A New Tool for the Water Chemist," *Industrial Water Engineering*, May 1965.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

- D 1691 Test Methods for Zinc in Water³
- D 1886 Test Methods for Nickel in Water³
- D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Methods of Committee D19 on Water³
- D 3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits³
- D 3558 Test Methods for Cobalt in Water³
- D 3559 Test Methods for Lead in Water³
- D 3919 Practice for Measuring Trace Elements in Water by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry³
- D 4841 Practice for Estimation of Holding Time for Water Samples Containing Organic and Inorganic Constituents³
- D 5810 Guide for Spiking into Aqueous Samples³
- D 5847 Practice for Writing Quality Control Specifications for Standard Test Methods for Water Analysis⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, refer to Terminology D 1129.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *spiking solution*—the standard solution added to the polarographic cell that is used to quantitate the sample.

3.2.2 *stripping peak potential*—the applied potential versus SCE at which the stripping peak current is a maximum.

3.2.3 *SCE*—saturated calomel electrode.

3.2.4 *stripping peak signal*—the current measured at the stripping peak maximum for a metal.

4. Significance and Use

4.1 The test for cadmium is necessary because it is a toxicant and because there is a limit specified for cadmium in potable water in the National Interim Primary Drinking Water Regulations. This test serves to determine whether the cadmium content of potable water is above or below the acceptable limit.

5. Purity of Reagents

5.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.02.

 D 3557 - 02

conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society.⁵ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

5.2 Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type I. Other reagent water types may be used, provided it is first ascertained that the water is of sufficiently high purity to permit its use without adversely affecting the bias and precision of the test method. Type II water was specified at the time of round-robin testing of this test method.

6. Sampling

6.1 Collect the samples in accordance with the applicable ASTM standard as follows: Practices D 3370, Practice D 1066, and Specification D 1192.

6.2 Samples shall be preserved with HNO_3 (sp gr 1.42) to a pH of 2 or less immediately at the time of collection, normally about 2 mL/L of HNO_3 . If only dissolved cadmium is to be determined, the sample shall be filtered through a 0.45- μm (No. 325) membrane filter before acidification. The holding time for samples may be calculated in accordance with Practice D 4841.

TEST METHOD A—ATOMIC ABSORPTION, DIRECT

7. Scope

7.1 This test method covers the determination of dissolved and total recoverable cadmium in most waters and wastewaters.

7.2 This test method is applicable in the range from 0.05 to 2.0 mg/L of cadmium. The range may be extended to concentrations greater than 2.0 mg/L by dilution of the sample.

7.3 This test method has been used successfully with reagent grade water, river water, wastewater, ground water, tap water, lake water, and refinery effluent. The information on precision and bias may not apply to other water. It is the user's responsibility to ensure the validity of this test method for waters of other matrices.

8. Summary of Test Method

8.1 Cadmium is determined by atomic absorption spectrophotometry. Dissolved cadmium is determined by aspirating a portion of the filtered sample directly with no pretreatment. Total recoverable cadmium is determined by aspirating the sample following hydrochloric-nitric acid digestion and filtration. The same digestion procedure may be used to determine total recoverable nickel (Test Methods D 1886), chromium (Test Methods D 1687), cobalt (Test Methods D 3558), copper (Test Methods D 1688), iron (Test Methods D 1068), lead (Test Methods D 3559), manganese (Test Methods D 858), and zinc (Test Methods D 1691).

⁵ Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

9. Interferences

9.1 Calcium concentrations above 1000 mg/L suppress cadmium absorption. At 2000 mg/L of calcium the suppress is 19 %.

9.2 Sodium, potassium, sulfate, and chloride (9000 mg each), magnesium (4500 mg/L), iron (4000 mg/L), nitrate (mg/L), and nickel, lead, copper, zinc, cobalt, and chromium (10 mg/L each), do not interfere.

9.3 Background correction or a chelation-extraction procedure (see Test Method B) may be necessary to determine levels of cadmium in some waters.

Note 1—Instrument manufacturer's instructions for use of the spectroscopy technique should be followed.

10. Apparatus

10.1 *Atomic Absorption Spectrophotometer*, for use 228.8 nm.

Note 2—The manufacturer's instructions shall be followed for instrumental parameters. A wavelength other than 228.8 nm may be used if it has been determined to be equally suitable.

10.2 *Cadmium Light Source*—Either cadmium hollow-cathode lamps or multielement hollow-cathode lamps, electrodeless-discharge lamps.

10.3 *Pressure-Reducing Valves*—The supplies of fuel oxidant shall be maintained at pressures somewhat higher than the controlled operating pressure of the instrument by suitable valves.

11. Reagents and Materials

11.1 *Cadmium Solution, Stock* (1 mL = 1.0 mg Cd) Dissolve 1.000 g of cadmium metal in a minimum quantity of HNO_3 (sp gr 1.42) and dilute to 1 L.

11.2 *Cadmium Solution, Standard* (1 mL = 0.1 mg Cd) Dilute 100.0 mL of the cadmium stock solution and 1 mL HNO_3 (sp gr 1.42) to 1000 mL with water.

11.3 *Hydrochloric Acid* (sp gr 1.19)—Concentrated hydrochloric acid (HCl).

Note 3—If the reagent blank concentration is greater than the detection limit, distill the HCl or use spectrograde acid. (Warning—When HCl is distilled, an azeotropic mixture is obtained (approximately 20% HCl). Therefore, whenever concentrated HCl is specified for the preparation of a reagent or in the procedure, use double the volume specified if distilled acid is used.)

11.4 *Nitric Acid* (sp gr 1.42)—Concentrated nitric acid (HNO_3).

Note 4—If the reagent blank concentration is greater than the detection limit, distill the HNO_3 or use a spectrograde acid.


11.5 *Nitric Acid (1 + 499)*—Add 1 volume of HNO_3 (sp gr 1.42) to 499 volumes of water.

11.6 *Oxidant*:

11.6.1 *Air*, which has been passed through a suitable filter to remove oil, water, and other foreign substances is the oxidant.

11.7 *Fuel*:

11.7.1 *Acetylene*—Standard, commercially available acetylene is the usual fuel. Acetone, always present in acetylene cylinders, can affect analytical results. The cylinder should be

 D 3557 - 02

at 50 psig (345 kPa). (Warning—"Purified" grade reagent water containing a special proprietary solvent rather than distilled water should not be used with poly(vinyl chloride) tubing as the softening of the tubing walls can cause a potentially hazardous situation.)

Standardization

12.1 Prepare 100 mL each of a blank and at least four standard solutions to bracket the expected cadmium concentration range of the samples to be analyzed by diluting the standard cadmium solution (11.2) with HNO₃ (1 + 499). Prepare standards each time the test is to be performed.

12.2 When determining total recoverable cadmium, add 0.5 mL of HNO₃ (sp gr 1.42) to each blank and standard solution and proceed as directed in 13.2 through 13.4. After the completion of the blank and standard solutions has been completed in 13.4, return to 12.3 to complete the standardization for total recoverable determinations. When determining dissolved cadmium, proceed with 12.3.

12.3 Aspirate the blank and standards and record the instrument readings. Aspirate HNO₃ (1 + 499) between each standard.

12.4 Prepare an analytical curve by plotting the absorbance versus the concentration for each standard on the instrument scale. Alternatively, read directly in concentration if this capability is provided with the instrument.

Procedure

13.1 Measure 100.0 mL of a well-mixed acidified sample into a 125-mL beaker or flask.

NOTE 5—If only dissolved cadmium is to be determined, start with 13.2.

13.2 Add 5 mL of HCl (sp gr 1.19) to each sample.

13.3 Heat the samples on a steam bath or hotplate in a well-ventilated hood until the volume has been reduced to 15 to 20 mL, making certain that the samples do not boil.

NOTE 6—For samples containing appreciable amounts of suspended matter or dissolved solids, the amount of reduction in volume is left to the discretion of the analyst.

13.4 Cool and filter the samples through a suitable filter such as fine-textured, acid-washed, ashless, paper into 100-mL volumetric flasks. Wash the filter paper two or three times with water and adjust to volume.

13.5 Aspirate each filtered and acidified sample and determine its absorbance or concentration at 228.8 nm. Aspirate HNO₃ (1 + 499) between each sample.

4. Calculation

14.1 Calculate the concentration of cadmium in the sample, in milligrams per litre, using the analytical curve prepared in 12.4.

5. Precision and Bias⁶

15.1 The precision of this test method was tested by 17 laboratories in reagent water, river water, wastewater, ground

water, tap water, lake water, and refinery effluent. The overall bias and precision of this test method, within its designated range, varies with the quantity being measured in accordance with Table 1.

15.2 These data may not apply to waters of the matrices; therefore, it is the responsibility of the analyst to ensure the validity of the test method in other matrices.

15.3 Precision and bias for this test method conforms to Practice D 2777-77, which was in place at the time of collaborative testing. Under the allowances made in 1.4 of Practice D 2777-98, these precision and bias data meet existing requirements for interlaboratory studies of Committee D19 test methods.

TEST METHOD B—ATOMIC ABSORPTION, CHELATION-EXTRACTION

16. Scope

16.1 This test method covers the determination of dissolved and total recoverable cadmium in most waters and brines.

16.2 This test method is applicable in the range from 5 to 200 µg/L of cadmium. The range may be extended to concentrations greater than 200 µg/L by dilution of the sample.

16.3 This test method has been used successfully with reagent grade water, river water, wastewater, ground water, tap water, lake water, and refinery effluent. The information on precision and bias may not apply to other water.

16.4 It is the responsibility of the analyst to determine the acceptability of this test method when analyzing other matrices.

17. Summary of Test Method

17.1 Cadmium is determined by atomic absorption spectrophotometry. The element, either dissolved or total recoverable, is chelated with pyrrolidine dithiocarbamic acid and extracted with chloroform. The extract is evaporated to dryness, treated with hot nitric acid to destroy organic matter, dissolved in hydrochloric acid, and diluted to a specified volume with water. A portion of the resulting solution is then aspirated into the air-acetylene flame of the spectrophotometer. The digestion procedure summarized in 8.1 is used to determine total recoverable cadmium. The same chelation-extraction procedure may be used to determine nickel (Test Methods D 1886), cobalt (Test Methods D 3558), copper (Test Methods D 1688), iron (Test Methods D 1068), lead (Test Methods D 3559), and zinc (Test Methods D 1691).

TABLE 1 Determination of Bias and Precision for Cadmium by Atomic Absorption, Direct

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	S _T , mg/L	S _C , mg/L	% Bias	Statistically Significant, 95 % Level
Reagent Water					
0.20	0.200	0.033	0.033	0.0	No
0.60	0.592	0.034	0.026	-1.3	No
1.60	1.521	0.111	0.061	-4.9	Yes
Water of Choice					
0.20	0.200	0.033	0.033	0.0	No
0.60	0.589	0.040	0.026	-1.8	No
1.60	1.511	0.114	0.061	-5.6	Yes

⁶ Supporting data are available from ASTM International Headquarters. Request Reprint D19-1030.



Designation: D 3559 – 03

An American National

Standard Test Methods for Lead in Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 3559; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of dissolved and total recoverable lead in water and waste water by atomic-absorption spectrophotometry² and differential pulse anodic stripping voltammetry. Four test methods are included as follows:

	Concentration Range	Sections
Test Method A—Atomic Absorption, Direct	1.0 to 10 mg/L	7 to 15
Test Method B—Atomic Absorption, Chelation-Extraction	100 to 1000 μ g/L	16 to 24
Test Method C—Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry	1 to 100 μ g/L	25 to 35
Test Method D—Atomic Absorption, Graphite Furnace	5 to 100 μ g/L	36 to 44

1.2 Test Method B can be used to determine lead in brines. Test Method D has been used successfully with reagent water, lake water, well water, filtered tap water, condensate from a medium Btu coal gasification process, waste treatment plant effluent, and a production plant process water.

1.3 It is the user's responsibility to ensure the validity of these test methods for waters of untested matrices.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For specific hazards statements, see 10.4.1, Note 2, 11.2, 11.3, 21.7, 21.8, 21.11, 23.7, 23.10, 32.2.1, and 33.1.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 858 Test Methods for Manganese in Water³

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and are the direct responsibility of Subcommittee D19.05 on Inorganic Constituents in Water.

Current edition approved Jan. 10, 2003. Published January 2003. Originally approved in 1977. Last previous edition approved in 1996 as D 3559 – 96.

² Platte, J. A., and Marcy, V. M., "A New Tool for the Water Chemist," *Industrial Water Engineering*, May 1965.

Brown, E., Skougstad, M. W., and Fishman, M. J., "Methods for Collection and Analysis of Water Samples for Dissolved Minerals and Gases," *Techniques of Water-Resources Investigations of the U. S. Geological Survey*, Book 5, Chapter 1, 1970, p. 115.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

D 1066 Practice for Sampling Steam³
 D 1068 Test Methods for Iron in Water³
 D 1129 Terminology Relating to Water³
 D 1192 Specification for Equipment for Sampling and Steam in Closed Conduits³
 D 1193 Specification for Reagent Water³
 D 1687 Test Methods for Chromium in Water³
 D 1688 Test Methods for Copper in Water³
 D 1691 Test Methods for Zinc in Water³
 D 1886 Test Methods for Nickel in Water³
 D 2777 Practice for Determination of Precision and Applicable Methods of Committee D-19 on Water
 D 3370 Practices for Sampling Water from Closed conduits³
 D 3557 Test Methods for Cadmium in Water³
 D 3558 Test Methods for Cobalt in Water³
 D 3919 Practice for Measuring Trace Elements in Water by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry
 D 4841 Practice for Estimation of Holding Time for Samples Containing Organic and Inorganic Constituents
 D 5810 Guide for Spiking into Aqueous Samples³
 D 5847 Practice for the Writing Quality Control Specifications for Standard Test Methods for Water Analysis
 E 60 Practice for Photometric and Spectrophotometric Methods for Chemical Analysis of Metals⁴
 E 275 Practice for Describing and Measuring Performance of Ultraviolet, Visible, and Near Infrared Spectrophotometers⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definition of terms used in these methods, refer to Terminology D 1129.

3.2 *total recoverable lead*—an arbitrary analytic relating to the recoverable forms of lead that are determined by the digestion method which are included in the procedure.


4. Significance and Use

4.1 The test for lead is necessary because it is a toxic metal because there is a limit specified for lead in potable water. National Interim Primary Drinking Water Regulation

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.05.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.06.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.


D 3559 - 03

ries to determine whether the lead content of potable is above or below the acceptable limit.

Purity of Reagents

8.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society.⁶ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type I. Other reagent water types may be used provided it is first ascertained that the water is of sufficiently high purity to permit its use without adversely affecting the accuracy and precision of the test method. Type II water was specified at the time of round-robin testing of this test method.

Sampling

8.1 Collect the samples in accordance with Practice D 1066, Specification D 1192, and Practices D 3370, as applicable.

8.2 Samples shall be preserved with HNO₃ (sp gr 1.42) to a volume of 2 or less immediately at the time of collection, normally about 2 mL/L of HNO₃. If only dissolved lead is to be determined, the sample shall be filtered through a 0.45- μ m membrane filter before acidification.

TEST METHOD A—ATOMIC ABSORPTION, DIRECT

Scope

7.1 This test method covers the determination of dissolved and total recoverable lead in most waters and wastewaters.

7.2 The test method is applicable in the range from 1.0 to 10 mg/L of lead. The upper limits of detectability can be increased to concentrations greater than 10 mg/L by dilution of the sample.

Summary of Test Method

8.1 Lead is determined by atomic absorption spectrophotometry. Dissolved lead is determined by aspirating the filtered and preserved sample directly with no pretreatment. Total recoverable lead is determined by aspirating the sample following hydrochloric-nitric acid digestion and filtration. The same digestion procedure may be used to determine total recoverable cadmium (Test Methods D 3557), chromium (Test Methods D 1687), cobalt (Test Methods D 3558), copper (Test Methods D 1688), iron (Test Methods D 1068), manganese (Test Methods D 858), nickel (Test Methods D 1886), and zinc (Test Methods D 1691).

⁶ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Anal. Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopoeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

9. Interferences

9.1 Other metals usually do not interfere in the determination of lead by increasing or decreasing the amount of absorbed radiation. The most common interference is caused by a chemical reaction in the flame that prevents conversion of the lead to the atomic state.

9.2 High concentrations of calcium, such as those connected with the coal industry, will give lead concentrations higher than which actually exist. This can be corrected by using a background correction technique, or by the chelation-extraction procedure (Test Method B).

9.2.1 The equipment manufacturer's instructions for use of specific correction technique shall be followed.

10. Apparatus

10.1 *Atomic Absorption Spectrophotometer*, for use at 283.3 nm.

NOTE 1—The manufacturer's instructions shall be followed for all instrumental parameters. Wavelengths other than 283.3 nm may be used if they have been determined to be equally suitable.

10.2 *Lead Light Source*, hollow-cathode lamps or electrodeless-discharge lamps have been found satisfactory.

10.3 *Oxidant*:

10.3.1 *Air*, which has been passed through a suitable filter to remove oil, water, and other foreign substances, is the usual oxidant.

10.4 *Fuel*:

10.4.1 *Acetylene*—Standard, commercially available acetylene is the usual fuel. Acetone, always present in acetylene cylinders, can affect analytical results. The cylinder should be replaced at 50 psig (345 kPa).

10.4.1.1 **Warning**—"Purified" grade acetylene containing a special proprietary solvent rather than acetone should not be used with poly(vinyl chloride) tubing as weakening of the walls can cause a potential hazardous situation.

10.5 *Pressure-Reducing Valves*—The supplies of fuel and oxidant shall be maintained at pressures somewhat higher than the controlled operating pressure of the instrument by suitable valves.


11. Reagents

11.1 *Hydrochloric Acid* (sp gr 1.19)—Concentrated hydrochloric acid (HCl).

NOTE 2—If the reagent blank concentration is greater than the method detection limit, distill the HCl or use a spectrograde acid. **Caution**—When HCl is distilled, an azeotropic mixture is formed (approximately 6 N HCl is formed). Therefore, whenever concentrated HCl is used in the preparation of a reagent or in the procedure, use double the volume specified if distilled HCl is used.

11.2 *Lead Solution, Stock* (1 mL = 1 mg lead)—Dissolve 1.5999 g of lead nitrate (Pb(NO₃)₂) in a mixture of 10 mL of HNO₃ (sp gr 1.42) and 100 mL of water. Dilute to 1 L with water. **Warning**—Lead salts are toxic. Handle with care and avoid personal contamination.

11.3 *Lead Solution, Standard* (1 mL = 0.1 mg lead)—Dilute 100.0 mL of stock lead solution to 1 L with HNO₃ (1 + 499). Store all solutions in polyethylene bottles. **Warning**—Lead

 D 3559 - 03

salts are toxic. Never pipet by mouth. Pipet with the end of a suction device or employ other conventional means of quantitative measurement.

11.4 *Nitric Acid* (sp gr 1.42)—Concentrated nitric acid (HNO_3).

NOTE 3—If the reagent blank concentration is greater than the method detection limit, distill the HNO_3 or use a trace metal grade acid.

11.5 *Nitric Acid* (1 + 499)—Add 1 volume of HNO_3 (sp gr 1.42) to 499 volumes of water.

12. Standardization

12.1 Prepare 100 mL each of a blank and at least four standard solutions to bracket the expected lead concentration range to be analyzed by diluting the lead standard solution (11.3) with HNO_3 (1 + 499). Prepare the standards each time the test is to be performed.

12.2 When determining total recoverable lead, add 0.5 mL of HNO_3 (sp gr 1.42) to each blank and standard solution and proceed as directed in 13.2 through 13.4. After the digestion of the blank and standard solutions has been completed in 13.4, return to 12.3 to complete the standardization for total recoverable determinations. When determining dissolved lead, proceed with 12.3.

12.3 Aspirate the blank and standards and record the instrument readings. Aspirate HNO_3 (1 + 499) between standards.

12.4 Prepare an analytical curve by plotting the absorbance versus the concentration for each standard on linear graph paper. Alternatively, read directly in concentration if this capability is provided with an instrument.

13. Procedure

13.1 Measure 100.0 mL of a well-mixed acidified sample into a 125-mL beaker or flask.

NOTE 4—If only dissolved lead is to be determined, start with 13.5.

13.2 Add 5 mL of HCl (sp gr 1.19) to each sample.

13.3 Heat the samples on a steam bath or hot plate in a well-ventilated hood until the volume has been reduced to 15 to 20 mL, making certain that the samples do not boil.

NOTE 5—For samples having appreciable amounts of suspended matter or dissolved matter, the amount of reduction in volume is left to the discretion of the analyst.

13.4 Cool and filter the samples through a suitable filter such as fine-textured, acid washed, ashless paper, into 100-mL volumetric flasks. Wash the filter paper two or three times with water and adjust to volume.

13.5 Aspirate each filtered and acidified sample and determine its absorbance or concentration at 283.3 nm. Aspirate HNO_3 (1 + 499) between samples.

14. Calculation

14.1 Calculate the concentration of lead in each sample, in milligrams per litre, using the calibration curve established in 12.4.

TABLE 1 Determination of Bias, Direct

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	S_1 , mg/L	S_2 , mg/L	Bias, %	Statistical Significance (95% Confidence Level)
Reagent Water, Type II					
1	1.01	0.06	0.04	+1.00	no
6	6.01	0.28	0.14	+0.17	no
8	8.02	0.34	0.14	+0.25	no
Selected Water Matrices					
1	1.00	0.00	0.06	0.00	no
6	6.11	0.25	0.16	+1.83	yes
8	7.99	0.36	0.23	-0.13	no

15. Precision and Bias⁷

15.1 Fourteen operators from nine laboratories participated in this study. One operator performed the analysis in quadruplicate, twelve in triplicate and one in duplicate at each concentration level.

15.2 The bias of this test method for lead is listed in Table 1.

15.3 These data may not apply to waters of other matrices.

15.4 This section on precision and bias conforms to Practice D 2777 - 77 which was in place at the time of collaborative testing. Under the allowances made in 1.4 of D 2777 - these precision and bias data do meet existing requirement interlaboratory studies of Committee D19 test methods.

16. Quality Control

16.1 In order to be certain that analytical values obtained using these test methods are valid and accurate within confidence limits of the test, the following QC procedures shall be followed when analyzing lead.

16.2 *Calibration and Calibration Verification:*

16.2.1 Analyze at least three working standards containing concentrations of lead that bracket the expected sample concentration, prior to analysis of samples, to calibrate instrument. The calibration correlation coefficient shall be equal to or greater than 0.990. In addition to the instrument calibration blank, a calibration blank shall be analyzed at end of the batch run to ensure contamination was not a problem during the batch analysis.

16.2.2 Verify instrument calibration after standardization by analyzing a standard at the concentration of one of the calibration standards. The concentration of a mid-range standard should fall within $\pm 15\%$ of the known concentration.

16.2.3 If calibration cannot be verified, recalibrate instrument.

16.3 *Initial Demonstration of Laboratory Capability:*

16.3.1 If a laboratory has not performed the test before, there has been a major change in the measurement system (example, new analyst, new instrument, etc.), a precision bias study must be performed to demonstrate laboratory capability.

⁷ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request 19 1020.

D 3559 - 03

Analyze seven replicates of a standard solution from an Independent Reference Material containing a known concentration of lead. The matrix and chemistry of the solution should be equivalent to the solution used in the collaborative study. Each replicate must be taken through the analytical test method including any sample preservation and pretreatment steps. The replicates may be interchanged with samples.

16.3 Calculate the mean and standard deviation of the values and compare to the acceptable ranges of bias in Table 1. This study should be repeated until the recoveries are within the limits given in Table 1. If a concentration other than the recommended concentration is used, refer to Practice D 5810 for information on applying the F test and t test in determining the acceptability of the mean and standard deviation.

Laboratory Control Sample (LCS):

16.5.1 To ensure that the test method is in control, analyze a Laboratory Control Sample (LCS) containing a known concentration of lead with each batch of 10 samples. If large numbers of samples are analyzed in a batch, analyze the LCS after every 10 samples. The Laboratory Control Samples for a large batch should cover the full analytical range when possible. The LCS must be taken through all of the steps of the analytical method including sample preservation and pretreatment. The result obtained for the mid-range LCS shall fall within $\pm 15\%$ of the known concentration.

16.5.2 If the result is not within these limits, analysis of samples is halted until the problem is corrected, and either all samples in the batch must be reanalyzed, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

16.5 Method Blank:

16.5.1 Analyze a reagent water test blank with each batch. The concentration of lead found in the blank should be less than 0.5 times the lowest calibration standard. If the concentration of lead is found above this level, analysis of samples is halted until the contamination is eliminated, and a blank shows no contamination at or above this level, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

16.6 Matrix Spike (MS):

16.6.1 To check for interferences in the specific matrix being tested, perform a MS on at least one sample from each batch by spiking an aliquot of the sample with a known concentration of lead and taking it through the analytical method.

16.6.2 The spike concentration plus the background concentration of lead must not exceed the high calibration standard. The spike must produce a concentration in the spiked sample that is 2 to 5 times the analyte concentration in the unspiked sample, or 10 to 50 times the detection limit of the test method, whichever is greater.

16.6.3 Calculate the percent recovery of the spike (P) using the following formula:

$$P = 100 [A(V_s + V) - B V_s] / C V \quad (1)$$

where:

- A = analyte concentration (mg/L) in spiked sample,
- B = analyte concentration (mg/L) in unspiked sample,
- C = concentration (mg/L) of analyte in spiking solution,
- V_s = volume (mL) of sample used, and
- V = volume (mL) added with spike.

16.6.4 The percent recovery of the spike shall fall within the limits, based on the analyte concentration, listed in Guide D 5810, Table 1. If the percent recovery is not within these limits, a matrix interference may be present in the sample selected for spiking. Under these circumstances, one of the following remedies must be employed: the matrix interference must be removed, all samples in the batch must be analyzed by a test method not affected by the matrix interference, or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

Note 6—Acceptable spike recoveries are dependent on the concentration of the component of interest. See Guide D 5810 for additional information.

16.7 Duplicate:

16.7.1 To check the precision of sample analyses, analyze a sample in duplicate with each batch. If the concentration of the analyte is less than five times the detection limit for the analyte, a matrix spike duplicate (MSD) should be used.

16.7.2 Calculate the standard deviation of the duplicate values and compare to the precision in the collaborative study using an F test. Refer to 6.4.4 of Practice D 5847 for information on applying the F test.

16.7.3 If the result exceeds the precision limit, the batch must be reanalyzed or the results must be qualified with an indication that they do not fall within the performance criteria of the test method.

16.8 Independent Reference Material (IRM):

16.8.1 In order to verify the quantitative value produced by the test method, analyze an Independent Reference Material (IRM) submitted as a regular sample (if practical) to the laboratory at least once per quarter. The concentration of the IRM should be in the concentration mid-range for the method chosen. The value obtained must fall within the control limits established by the laboratory.

TEST METHOD B—ATOMIC ABSORPTION, CHELATION-EXTRACTION

17. Scope

17.1 This test method covers the determination of dissolved and total recoverable lead in most waters and brines.

17.2 This test method is applicable in the range from 100 to 1000 μ g/L of lead. The range may be extended upward by dilution of the samples.

18. Summary of Test Method

18.1 Lead is determined by atomic absorption spectrophotometry. The element, either dissolved or total recoverable, is chelated with pyrrolidine dithiocarbamic acid and extracted with chloroform. The extract is evaporated to dryness, treated with hot HCl and diluted to a specified volume with water. The resulting solution is then aspirated into the air-acetylene flame of the spectrophotometer. The digestion procedure summarized



Designation: D 2652 – 05a

Standard Terminology Relating to Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D 2652; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This terminology covers terms particularly related to activated carbon and encompasses finished products, applications, and testing procedures.

1.2 When any of the definitions in this terminology are quoted or published out of context, editorially insert the limiting phrase "in activated carbon" after the dash following the term to properly limit the field of application of the term and definition.

2. Significance and Use

2.1 This terminology ensures that terms peculiar to activated carbon are adequately defined so that other standards in which such terms are used can be understood and interpreted properly.

2.2 This terminology is useful to those who are not conversant with the terms related to activated carbon. However, it is also a ready reference for those directly associated with activated carbon to resolve differences and ensure commonality of usage, particularly in the preparation of ASTM standards.

2.3 Although this terminology is intended to promote uniformity in the usage of terms related to activated carbon, it can never be complete because new terms are constantly arising. The existence of this terminology does not preclude the use or misuse of any term in another context.

3. Terminology

abrasion resistance—the property of a particle to resist attrition or wearing away by friction.

absorption—a process in which fluid molecules are taken up by a liquid or solid and distributed throughout the body of that liquid or solid.

accelerated adsorption tests—adsorption tests in which the end point is hastened by testing at conditions more severe than those anticipated in service.

acid-extractable material—substances dissolved under specified conditions.

activated carbon—a family of carbonaceous substances manufactured by processes that develop adsorptive properties.

activation—any process whereby a substance is treated to develop adsorptive properties.

activity—for *activated carbon*, the adsorptive capacity of adsorbent, usually as measured by a standard test.

adsorbate—any substance that is adsorbed.

adsorbent—any solid having the ability to concentrate significant quantities of other substances on its surface.

adsorption—a process in which fluid molecules are concentrated on a surface by chemical or physical forces, or by *adsorption zone*—see *mass transfer zone*.

ash—residue after the combustion of a substance under specified conditions.

as is basis—as received.

breakpoint—the appearance in the effluent of a specified concentration of an adsorbate.

breakthrough, *n*—the first appearance in the effluent of adsorbate of interest under specified conditions.

channeling—the preferential flow of fluid through passages of lower resistance that can occur in fixed beds or column particles owing to nonuniform packing, irregular sizes and shapes of the particles, gas pockets, wall effects, and other causes.

chemical adsorption— see **chemisorption**.

chemisorption (chemical adsorption)—the binding of adsorbate to the surface of a solid at strengths approximately those of a chemical bond.

coadsorption—the adsorption of two or more components on an adsorbent, each affecting the adsorbability of the other.

contact batch operation—an adsorption process in which adsorbent is dispersed in a fluid to be treated and separated when practical equilibrium is attained.

continuous moving bed—an adsorption process characterized by flow of a fluid through a continuously moving bed of granular adsorbent with continuous withdrawal of spent adsorbent and continuous addition of reprocessed or virgin adsorbent.

¹ This terminology is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.03 on Nomenclature and Editorial.

Current edition approved July 1, 2005. Published July 2005. Originally approved in 1967. Last previous edition approved in 2005 as D 2652 – 05.

D 2652 - 05a

recurrent adsorption—an adsorption process in which the flow of fluid is in a direction opposite to the movement of the adsorbent.

critical bed depth—the minimum depth of an adsorbent bed required to contain the mass transfer zone.

pushing strength—the property of a particle to resist physical breakdown when contained and subjected to a slowly increasing continuously applied force.

degassing—removal of gases.

density, absolute or true—the mass under specified conditions of a unit volume of a solid sorbent excluding its pore volume and inter-particle voids.

density, apparent (density, bulk, packing)—the mass under specified conditions of a unit volume of a solid sorbent including its pore volume and inter-particle voids.

density, block—see **density, particle**.

density, bulk—see **density, apparent**.

density, packing—see **density, apparent**.

density, particle (density, block)—the mass under specified conditions of a unit volume of a solid sorbent including its pore volume but excluding inter-particle voids.

density, tamped—the density of packed bed of powdered carbon.

desorption—the separation of an adsorbate as such from a sorbent.

differential heat of adsorption—the heat evolved during the adsorption of an incremental quantity of adsorbate at a given level of adsorption.

dosage—the quantity of substance applied per unit weight or volume of the fluid being treated.

dry basis—exclusive of any moisture which may be present.

dust—an imprecise term referring to particulates capable of temporary suspension in air or other gases; also, particles smaller than an arbitrarily selected size.

dynamic adsorptive capacity—the quantity of a given component adsorbed per unit of adsorbent from a fluid, or fluid mixture moving through a fixed bed at the breakpoint for that component.

effective size—the particle size, in SI units, which corresponds to 10 percent finer on the cumulative particle size distribution curve.

end point—the occurrence in the effluent of the maximum permissible concentration of an adsorbate of interest.

equilibrium adsorptive capacity—the quantity of a given component adsorbed per unit of adsorbent from a fluid or fluid mixture at equilibrium temperature and concentration, or pressure.

expanded bed—a bed of granular particles through which a fluid flows upward at a rate sufficient to slightly elevate and separate the particles without changing their relative positions.

finer, n —particles smaller than the smallest nominal specified particle size.

fixed bed—a stationary bed of granular particles.

floaters—the material floating on the surface of water into

which carbon has been added and has been thoroughly wetted.

fluidized bed—a bed of particles in which the fluid flows upward at a rate sufficient to suspend the particles completely and randomly in the fluid phase.

Freundlich adsorption isotherm—a logarithmic plot of quantity of component adsorbed per unit of adsorbent versus concentration of that component at equilibrium and at constant temperature, which approximates the straight line postulated by the Freundlich adsorption equation

$$X/M = kC^n$$

where:

X = quantity adsorbed,
 M = quantity of adsorbent,
 C = concentration,
 k and n = constants.

granular activated carbon—activated carbon in particle sizes predominantly greater than 80 mesh.

hardness—a generic term referring to the resistance of a particle to breakdown as measured by specific tests.

heat of adsorption—the heat evolved during adsorption.

hysteresis loop—the divergence between the paths of the adsorption and desorption isotherms.

ignition temperature (kindling point)—the lowest temperature at which combustion will occur spontaneously under specified conditions.

impact strength—the property of a particle to resist physical breakdown when subjected to a rapidly increasing applied force.

integral heat of adsorption—the sum of the differential heats of adsorption from zero to a given level of adsorption.

intermittent moving bed (pulse, slug)—an adsorption process characterized by upward flow of a fluid through a fixed bed of granular adsorbent with periodic withdrawal of spent adsorbent from the bottom of the bed and additions of reprocessed or virgin adsorbent to the top of the bed.

irreversible adsorption—adsorption in which the desorption isotherm is displaced toward higher equilibrium adsorption capacities from the adsorption isotherm.

isobar—a plot of quantity adsorbed per unit of adsorbent against equilibrium temperature when concentration or pressure is held constant.

isotere—a plot of equilibrium concentration or pressure against temperature when the quantity adsorbed per unit of adsorbent is held constant.

isotherm—a plot of quantity adsorbed per unit of adsorbent against equilibrium concentration, or pressure, when temperature is held constant.

Langmuir adsorption theory—the theory that assumes that the surface of an adsorbent has only uniform energy sites and that adsorption is limited to a monomolecular layer.

ASTM D 2652 - 05a

- Langmuir isotherm**—a plot of isothermal adsorption data which to a reasonable degree fits the Langmuir adsorption equation.
- macropore**—a pore with widths exceeding 50 nanometres (500 angstrom units).
- mass transfer zone (adsorption zone)**—the region in which the concentration of the adsorbate of interest in the fluid decreases from influent concentration to the lowest detectable concentration.
- mean particle diameter**—the weighted average particle size, in SI units, of a granular adsorbent computed by a standard procedure.
- mesopore**—a pore of width between 2 and 50 nanometres (20 and 500 angstrom units).
- micropore**—a pore with width not exceeding 2 nanometres (20 angstrom units).
- moisture content**—the water content of a substance as measured under specified conditions.
- monomolecular layer**—an adsorbed film, one molecule thick.
- multimolecular layer**—an adsorbed film more than one molecule thick.
- oven drying loss**—the reduction in weight resulting when a substance is heated in an oven under specified conditions.
- pelleted activated carbon**—a form of granular activated carbon consisting of cylindrical particles.
- physical adsorption (van der Waals adsorption)**—the binding of an adsorbate to the surface of a solid at energies approximating those of condensation.
- pore diameter**—the diameter of a pore in a model in which the pores in a sorbent are assumed to be cylindrical in shape and which is calculated from data obtained by a specified procedure.
- pores**—the complex network of channels in the interior of a particle of a sorbent.
- pore volume**—volume of the pores in a unit weight of a sorbent.
- pore volume distribution**—the distribution of pore volumes among pores of different sizes or diameters.
- powdered activated carbon**—activated carbon in particle sizes predominantly smaller than 80 mesh.
- preferential adsorption**—adsorption in which one or more components are adsorbed to a much greater extent than others.
- reactivation (revivification)**—oxidation processes for restoring the adsorptive properties of a spent sorbent.
- regeneration**—distillation or elution-type processes for restoring the adsorptive properties of a spent sorbent.
- relative efficiency**—the rating of the adsorptive capacity of an adsorbent based on a comparison of its performance with that of a reference adsorbent in a defined test.
- retentivity**—the ability of an adsorbent to resist desorption of an adsorbate.
- reversible adsorption**—adsorption in which the desorption isotherm approximates the adsorption isotherm.
- revivification**—see **reactivation**.
- service life (service time)**—the elapsed time until the end point is reached in an adsorption process.
- service time**—see **service life**.
- sorption**—a process in which molecules of a fluid are taken up by absorption or adsorption, or both.
- split feed**—a liquid-phase adsorption process in which powdered adsorbent is added to the solution to be treated in two or more steps, with or without intermediate separation of the adsorbent.
- surface area (B.E.T.)**—the total surface area of a solid calculated by the B.E.T. (Brunauer, Emmett, Teller) equation, from nitrogen adsorption or desorption data obtained under specified conditions.
- surface area distribution**—the distribution of surface area according to some parameter such as pores of different size or diameter.
- tamped density**—see **density, tamped**.
- threshold concentration**—the minimum concentration at which a substance can be detected or recognized by its taste or odor.
- uniformity coefficient**—the ratio of the particle diameter corresponding to 60 % finer on the cumulative particle size distribution curve to the particle diameter corresponding to 10 % finer on the same distribution curve.
- van der Waals adsorption**—see **physical adsorption**.
- water-extractable material**—substances dissolved from other substances by water under specified conditions.
- wettability**—the rate at which particles can be made wet under specified conditions.

4. Keywords

activated carbon

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: D 2854 – 96 (Reapproved 2004)

Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D 2854; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

Scope

1.1 This test method covers the determination of the apparent density of granular activated carbon. For purposes of this test method, granular activated carbon is defined as a minimum of 90 % being larger than 80 mesh.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*²
- D 2862 Test Method for Particle Size Distribution of Granular Activated Carbon
 - D 2867 Test Method for Moisture in Activated Carbon
 - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
 - E 300 Practice for Sampling Industrial Chemicals
 - E 542 Practice for Calibration of Laboratory Volumetric Apparatus

3. Summary of Test Method

3.1 Apparent density (bulk density) is determined on a granular sample by measuring the volume packed by a free fall from a vibrating feeder into an appropriately sized graduated cylinder and determining the mass of the known volume. Other packing procedures can result in different apparent densities.

4. Significance and Use

4.1 This test method provides a method for determining the packed density of a bed of granular activated carbon. Determination of the packed density is essential when de-

mination of the packed density is essential when de-vessels to hold the material and for ordering purpose procuring materials to fill existing vessels.

5. Apparatus (see Fig. 1)

- 5.1 *Reservoir Funnel*, fabricated of glass or metal.
- 5.2 *Feed Funnel*, glass or metal.
- 5.3 *Vibratory Feeder*,³ such as shown in Fig. 1 or
- 5.4 *Cylinders*, graduated 100, 250, or 500 mL, calibrated "contain" (TC).
- 5.5 *Balance*, having a sensitivity of 0.1 g.

6. Procedure

6.1 Select a 100, 250, or 500 mL graduated cylinder appropriate for the particle size of the activated carbon to be tested. The inside diameter of the cylinder shall be at least 1.5 times the mean particle diameter (MPD) as determined by Method D 2862.

6.2 If desired, the graduated cylinder may be calibrated by the user in accordance with Practice E 542.

6.3 Obtain a representative sample of activated carbon in accordance with Practice E 300. Carefully place the sample of activated carbon into the reservoir funnel so that the material does not prematurely flow into the graduated cylinder. If this occurs, return the material to the reservoir funnel.

6.4 The feed funnel should have an outside diameter that just fits inside the chosen graduated cylinder. Adjust the height of the reservoir funnel above the vibrator trough so that the flow of material is obtained. The drawing in Fig. 1 shows a typical apparatus using a 100 mL TC graduated cylinder.

6.5 Add the sample to the cylinder using the vibratory feeder through the feed funnel. Adjust the flow rate of the feeder to fill the cylinder at a uniform rate not less than 1 mL/s up to the mark corresponding to the volume chosen. The graduated cylinder shall be filled to 50 % of its capacity.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.04 on Gas Phase Evaluation Tests.

Current edition approved Oct. 1, 2004. Published Nov. 2004. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 2000 as D 2854 – 96 (2000).

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ A suitable vibratory feeder is the model F-70 vibrating feeder with trough 1½ by 12 in. and controller. This unit is available from FMC Co. Material Handling Equipment Division, 57 Cooper Ave., Homer City, PA. Similar equipment is available from other suppliers.


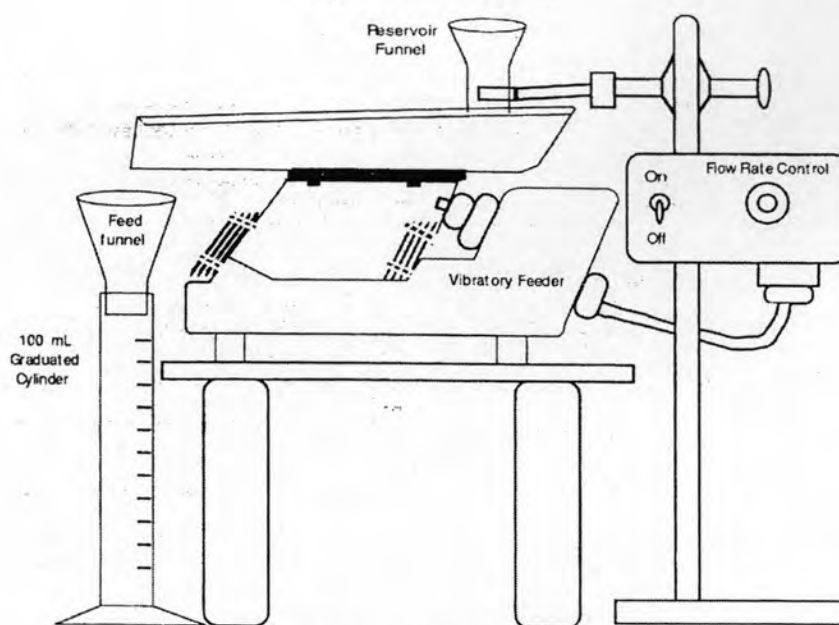
 D 2854 - 96 (2004)


FIG. 1 Assembly of Apparatus

6.6 Transfer the contents from the cylinder to a balance pan and weigh to the nearest 0.1 g.

7. Calculation

7.1 Calculate the as-received apparent density as follows:

$$\text{as-received apparent density, g/mL} = \frac{\text{mass of activated carbon in grams}}{\text{carbon volume in millilitres}} \quad (1)$$

7.2 Calculate the apparent density on the dry basis as follows:

$$\text{dry apparent density, g/mL} = \text{as-received apparent density} \times \left(1 - \frac{\% \text{ moisture}}{100}\right) \quad (2)$$

Percent moisture is determined using Test Method D 2867.

8. Report

8.1 The report should include the following:

8.1.1 Complete identification of the sample, including source, manufacturer's lot number, and carbon type.

8.1.2 The volume of the graduated cylinder and the volume of carbon used in the test.

8.1.3 The as-received apparent density, the apparent density (dry basis), and the percent moisture.

9. Precision and Bias

9.1 An interlaboratory study was run in which samples of three types of activated carbon were tested for as-received apparent density in each of five laboratories (the 8 by 30 mesh coal carbon was tested in six laboratories). Details of the data and analysis are given in ASTM Research Report RRD28 1005.

9.2 The precision information given in Table 1 in grams per millilitre is for the comparison of two test results, each of which is the average of three test determinations.

9.3 The terms in Table 1 (repeatability limit and reproducibility limit) are used as specified in Practice E 177. The respective standard deviations among test results may be obtained by dividing the above limit values by 2.8.

9.4 This method has no bias because apparent density of activated carbon is defined in terms of this test method.

10. Keywords

10.1 activated carbon; granular activated carbon

TABLE 1 Precision Information

	8 by 30 Coal	4 by 10 Coco	4 mm Pellet
Average apparent density	0.504 g/mL	0.500 g/mL	0.505 g/mL
95 % repeatability limit (within laboratory)	0.008 g/mL	0.007 g/mL	0.008 g/mL
95 % reproducibility limit (between laboratories)	0.014 g/mL	0.025 g/mL	0.034 g/mL



Designation: D 2866 – 94 (Reapproved 2004)

Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D 2866; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes a procedure for the determination of total ash content of activated carbon.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 2867 Test Methods for Moisture in Activated Carbon

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine Precision of a Test Method

3. Summary of Test Method

3.1 An accurately weighed sample of dried activated carbon is placed in a controlled-temperature muffle furnace for a period of several hours. When constant weight has been achieved, the crucible is cooled to ambient temperature in a desiccator and reweighed. The weight of the ashed carbon is expressed as a percentage of the weight of the original carbon sample.

4. Significance and Use

4.1 In specific end uses, the amount and composition of the ash may influence the capabilities and certain desired properties of activated carbon.

5. Apparatus

5.1 *Muffle Furnace*, having air circulation, capable of temperature regulation of $\pm 25^\circ\text{C}$ at 650°C .

5.2 *High-Temperature Crucible*, high-form.

5.3 *Analytical Balance*, having a sensitivity of 0.1 mg.

5.4 *Desiccator*.

5.5 *Oven*, forced-air circulation, capable of temperature regulation between 145 and 155°C .

6. Procedure

6.1 Ignite the crucible in the muffle furnace at $650 \pm 25^\circ\text{C}$ for 1 h. Place the crucible in the desiccator. Cool to room temperature and weigh to the nearest 0.1 mg.

6.2 Dry an adequate sample of activated carbon to constant weight at $150 \pm 5^\circ\text{C}$ (3 h is usually sufficient).

Note 1—Some carbons can ignite spontaneously at 150°C . In this case, moist carbon should be used with a correction for moisture (in accordance with Methods D 2867) applied in the calculations. In this case, the ashing should be started in a cold muffle furnace.

6.3 Weigh out to the nearest 0.1 mg sufficient dried activated carbon, so that the estimated amount of ash will be 0.1 g, into the ignited crucible and place the crucible in the furnace at $650 \pm 25^\circ\text{C}$. Ashing will require from 3 to 16 h, depending on the size and type of activated carbon. Ashing can be considered complete when constant weight is achieved.

6.4 Place the crucible in the desiccator and allow to cool to room temperature. After the sample has cooled in the desiccator, admit air slowly to avoid loss of ash from the crucible. Weigh to the nearest 0.1 mg.

7. Calculation

7.1 Calculate the ash content as follows:

$$\text{Total ash, \%} = [(D - B)/(C - B)] \times 100 \quad (1)$$

where:

B = weight of crucible, g.

C = weight of crucible plus original sample, g, and

D = weight of crucible plus ashed sample, g.

8. Precision and Bias³

8.1 Precision:

8.1.1 *Interlaboratory Test Program*—An interlaboratory study was run in which representative samples of three types c

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.04 on Gas Phase Evaluation Tests.

Current edition approved April 1, 2004. Published June 2004. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 1999 as D 2866 – 94 (1999).

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting RR: D 28-1004.



Designation: D 2867 – 04

Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon¹

This standard is issued under the fixed designation D 2867; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods provide two procedures for the determination of the moisture content of activated carbon. The procedures may also be used to dry samples required for other tests. The oven-drying method is used when water is the only volatile material present and is in significant quantities, and the activated carbon is not heat-sensitive (some activated carbons can ignite spontaneously at temperatures as low as 150°C). The xylene-extraction method is used when a carbon is known or suspected to be heat sensitive or to contain nonwater-miscible organic compounds instead of or in addition to water. The oven-drying method described in these test methods may be used as the reference for development of instrumental techniques for moisture determination in activated carbon.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Summary of Test Methods

3.1 *Oven-Drying Test Method*—A sample of carbon is put into a dry, closed capsule (of known weight) and weighed accurately. The capsule is opened and placed with the lid in a preheated oven. The sample is dried to constant weight then removed from the oven and with the capsule closed, cooled to ambient temperature. The closed capsule is weighed again

accurately. The weight loss is expressed as a percentage of weight of the original sample.

3.2 *Xylene-Extraction Test Method*—A known, accurate weight of carbon is put into a boiling flask. A known volume xylene is added to the flask and the flask then connected to a water trap. A hot plate is used to heat the xylene until boiling. The temperature is controlled to allow steady reflux. Reflux continues until no further water can be collected in the trap. The weight of water collected is expressed as a percentage of the weight of the original sample.

4. Significance and Use

4.1 The moisture content of activated carbon is of importance required to define and express its properties in relation to the net weight of the carbon.

4.2 The moisture content of activated carbon packed in typical shipping containers will usually increase during transportation and storage. Users of activated carbon in applications where low moisture content is important should be aware of this effect.

OVEN-DRYING METHOD

5. Apparatus

5.1 *Moisture Oven*—Most commercial, electrically heated forced-circulation drying ovens capable of temperature regulation between 145 and 155°C may be used.

5.2 *Capsules with Covers*—Low-form glass weighing bottles with ground-glass stoppers or seamless metal bottles with covers may be used. They should be as shallow as possible, consistent with convenient handling.

5.3 *Desiccator*.


6. Materials

6.1 *Desiccant*—Anhydrous calcium chloride or other suitable desiccant.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D28 on Activated Carbon and are the direct responsibility of Subcommittee D28.04 on Gas Phase Evaluation Tests.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 1999 as D 2867 – 99.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

 D 2867 - 04
7. Procedure for Activated Carbon Passing A No. 50 Sieve

7.1 Dip out with a spoon or spatula from the sample bottle a 1 to 2-g representative sample. Put this into a predried tared capsule with lid, close and weigh at once to the nearest 0.5 mg. The depth of the carbon in the capsule must not exceed 1.25 cm.

7.2 Remove the cover and place the capsule and cover in a preheated forced circulation oven (at 145 to 155°C). Close the oven and dry to constant weight (3 h normally sufficient). Open the oven and cover the capsules quickly. Cool in a desiccator to ambient temperature and weigh.

8. Procedure for Activated Carbon Larger Than A No. 50 Sieve

8.1 Use a 5 to 10-g representative sample and weigh to the nearest 2 mg. Complete the determination as described in Section 7.

9. Calculation

9.1 Calculate the moisture content as follows:

$$\text{Moisture, weight \%} = [(C - D) / (C - B)] \times 100$$

where:

B = weight of capsule with cover, g,

C = weight of capsule with cover plus original sample, g,
and

D = weight of capsule with cover plus dried sample, g.

XYLENE-EXTRACTION METHOD**10. Apparatus**

10.1 *Boiling Flask*—A 300-mL flat-bottom Erlenmeyer flask with ground-glass joints.

10.2 *Condenser*—A 300-mm water-cooled condenser of the Allihn type with ground-glass joints.

10.3 *Drying Tube*, containing a suitable desiccant with fiber-glass filter.

10.4 *Water Trap*—A Bidwell and Sterling 10-mL or a Dean and Stark receiver with ground-glass joints. The water trap should be clean so that the shape of the meniscus at the end of the test is the same as at the beginning.

NOTE 1—The trap may be coated with a silicone resin to give a uniform meniscus. To coat the trap, first clean it with a suitable cleaner. Rinse the clean trap with a silicone resin and after draining for a few minutes, bake for 1 h at approximately 200°C.

10.5 *Hot Plate*—An electrically heated hot plate with enclosed elements and temperature control.

11. Reagent

11.1 *Xylene*—Reagent grade in accordance with the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society.³

12. Hazards

12.1 The use of hot xylene presents a continual fire hazard and suitable fire extinguishing equipment should be available.

13. Preparation of Apparatus

13.1 Clean the condenser, flask, and trap and carefully dry to ensure that it is free of water. Assemble the condenser and water trap as shown in Fig. 1.

14. Procedure

14.1 Weigh the sample bottle. Dip out with a spoon from the sample bottle 25 to 50 g of the sample. Put this into the boiling flask and reweigh the sample bottle to the nearest 0.1 g. Add 100 mL of xylene and connect the boiling flask to the water trap. For carbons having density less than 0.30 g/cm³, 200 mL of xylene should be used for a 25-g sample.

14.2 Place the hot plate under the boiling flask and heat to boiling. Adjust the temperature control so as to reflux the xylene at the rate of about 1 drop/s from the tip of the condenser. Continue to reflux until there is no further increase in the water layer in the trap over a 30-min period (from 2 to 8 h may be required).

15. Calculation

15.1 Calculate the moisture content as follows:

$$\text{Moisture, weight \%} = [V / (C - E)] \times 100$$

where:

V = water collected, mL,


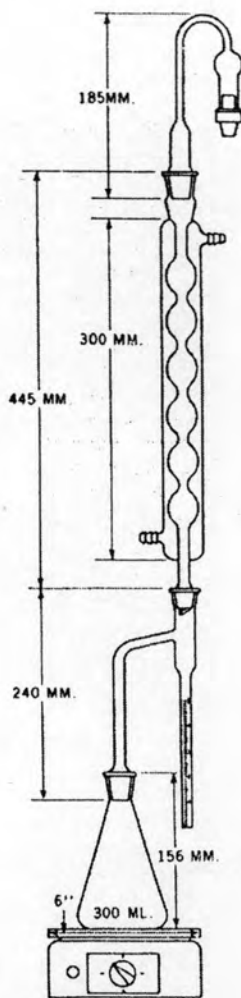
C = initial weight of sample bottle, g, and

E = weight of sample bottle after removing moisture sample, g.

15.2 Calculate for the correction for moisture in carbon to determine the weight of a carbon sample on the dry basis as follows:

$$\text{Corrected weight (dry basis)} = \frac{\text{Initial weight of Carbon(undried)} \times (100\% - \% \text{ moisture from 15.1})}{(100\%)} \quad (1)$$

³ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.*


D 2867 - 04

FIG. 1 Moisture Determination Apparatus
16. Precision and Bias

16.1 An interlaboratory test which included four laboratories testing in triplicate, activated carbon samples with non moisture levels of 1 weight %, 5 weight %, and 12 weight % was conducted according to Practice E 691. Results of tests yielded repeatability and reproducibility coefficients 95 % confidence levels as listed in Table 1.

16.1.1 The high coefficients of variation for both methods when the moisture is nominally 1 weight % suggest that values in this range be reported as "1 weight % or less; greater precision is needed, the amount of carbon sample be increased over that specified in Sections 7, 8, and

17. Keywords

17.1 activated carbon; moisture

TABLE 1 Within- and Between-Laboratory Precision

Nominal Moisture, weight %	1	5
<i>Oven Drying Method</i>		
Repeatability Coefficient, CV % ^A	19	3
Reproducibility Coefficient, CV % _R ^A	51	13
<i>Xylene Extraction Method</i>		
Repeatability Coefficient, CV % ^A	51	5
Reproducibility Coefficient, CV % _R ^A	54	6

^A Defined in Practice E 177, Section 28.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copy
United States. Individually
address or at 610-83
(www.astm.org).



Designation: D 3860 – 98 (Reapproved 2003)

Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique¹

This standard is issued under the fixed designation D 3860; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the determination of the adsorptive capacity of activated carbon to remove undesirable constituents from water and waste water. It can be used to evaluate the adsorptive capacity of activated or reactivated carbon.

1.2 This practice is not recommended unless special precautions are taken to reduce loss during sample preparation and analysis.

1.3 This practice is recommended to determine the adsorptive capacity of activated carbon for the following applications, but is not limited to these applications:

1.3.1 Removal of color from dye mill waste water.

1.3.2 Removal of taste or odor constituents, or both, from potable waters.

1.3.3 Removal of toxicants from water.

1.3.4 Removal of surface active agents from water.

1.3.5 Removal of BOD₅ from sanitary waste waters, and

1.3.6 Removal of TOC from industrial waste waters.

1.4 The following safety caveat applies to the procedure section of this practice: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D 1129 Terminology Relating to Water

D 1193 Specification for Reagent Water

D 3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits

D 2652 Terminology Relating to Activated Carbon

D 2867 Test Method for Moisture in Activated Carbon

E 300 Practice for Sampling Industrial Chemicals

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-28 on Activated Carbon and is the direct responsibility of Subcommittee D28.02 on Liquid Phase Evaluation Tests.

Current edition approved Oct. 1, 2003. Published December 2003. Originally published in 1979. Last previous edition approved in 1998 as D 3860 – 98.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 For definitions of terms used in this practice relating to activated carbon, refer to Terminology D 2652.

3.1.2 For definition of terms used in this practice relating to water, refer to Terminology D 1129.

4. Summary of Practice

4.1 This practice consists of the determination of the adsorptive capacity of activated carbon for adsorbable constituents by contacting the aqueous solution with activated carbon, determining the amount of the constituents removed, and calculating the adsorptive capacity from a Freundlich isotherm plot.

4.1.1 Sample weights of activated carbon may have to be adjusted, depending on the concentration of adsorbable constituents in the water.

5. Significance and Use

5.1 This practice is used when activated carbon is considered as an adsorbent in treating water. Since both granular and powdered activated carbons are commercially available, a standard practice is needed to ensure that the activated carbons are evaluated under the same test conditions. Specified particle size carbon is to be used to ensure that the same test conditions are used. The practice is generally performed at 20°C; however, other temperatures may be used and noted.

6. Interferences


6.1 The water sample must not contain any immiscible oil.

6.2 Generally, membrane filters contain a slight amount of leachable surfactants and wetting agents that might be a source of detectable error in waters having low concentrations of adsorbable constituents.

7. Apparatus

7.1 *Agitator*, able to keep slurried activated carbon in suspension.

Note: 1—A wrist-action shaker or a magnetic stirrer is suitable as an agitator.


D 3860 - 98 (2003)

7.2 *Grinding mill*, capable of grinding material so that 95 % passes through a 325-mesh sieve.

7.3 *Vacuum or pressure-filtration apparatus*.

7.4 *Membrane filters*, 0.40 to 0.45 μm .

7.5 *Erlenmeyer flasks*, glass stoppered, 500-mL and 1000-mL capacity.

7.6 *Analytical balance*, capable of weighing to the nearest 0.1 mg.

7.7 *Oven*, forced-air circulation, capable of temperature regulation between 145 and 155°C.

7.8 *Constant temperature water bath*, capable of temperature regulation of $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

7.9 *Pipet*, 100-mL.

8. Sampling

8.1 Sample activated carbon that has been sampled according to Practice E 300 and reduced in particle size so that 95 % passes through a U.S. 325-mesh sieve by wet screening or equivalent, and oven-dried according to Test Method D 2867 (3 hours at 150°C is usually sufficient).

8.2 Collect water samples in accordance with Practices D 3370.

9. Procedure

9.1 Table 1 is a suggested list of the activated carbon weights and solution sample volumes to be used for the expected concentrations of adsorbable constituents. Suggested carbon weights or solution sample volumes should be adjusted to obtain a maximum of 85 % adsorbate removal and a minimum of 10 % adsorbate removal.

9.2 For water containing >10 mg/L adsorbable constituents, pipet aliquots of 100 mL each into 500-mL glass-stoppered Erlenmeyer flasks. For water containing 1 to 10 mg/L, measure 500-mL aliquots into 1000-mL glass-stoppered Erlenmeyer flasks.

9.3 Add to the containers the appropriate amount of pulverized activated carbon corrected to dry basis (Table 1) in regular intervals to allow time for filtration. Generally, a 5-min interval is adequate. Use one flask without activated carbon for a control sample.

9.4 After the addition of each activated carbon sample, swirl the flask to wet the carbon. Stopper the flask and place on the agitator. Record the time.

9.5 Allow each flask to shake or agitate for 2 h in a water bath at the desired temperature. Two hours contact time is normally sufficient to achieve steady state. However, a contact time study should be performed to verify that steady state is achieved (see 4.1).

TABLE 1 Solution Sample Volumes and Carbon Weights for Determining Adsorbable Constituents

Concentration of Adsorbable Constituents, mg/L	Solution Sample Volume, mL	Suggested Carbon Weights (Dry Basis)
≤ 10	500	1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 25.0, and 50.0 mg
>10; 100	100	0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.0, 2.0, and 4.0 g
>100	100	0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, and 10.0 g

9.6 After 2 h, immediately filter each test and control samples through separate new 0.40 to 0.45- μm membrane filters.

Note 2—If the water sample contains volatile constituents, use pressure filtration with nitrogen gas to reduce loss.

Note 3—It is recommended that each membrane filter be rinsed with 500 mL of reagent grade Type II water (Specification D 1193) prior to filtration.

9.7 Immediately analyze the filtrates for the specific constituent of interest and record the results along with the corresponding carbon weight.

10. Calculation

10.1 Determine the amount of constituent adsorbed, X , as follows:

$$X = C_o V - CV$$

where:

X = amount of constituent adsorbed, mg,

C_o = concentration of constituents before carbon treatment, mg/L,

C = concentration of constituents after carbon treatment, mg/L, and

V = volume of sample, L.

10.2 Determine the amount of constituent adsorbed per unit weight of carbon, X/M , as follows:

$$X/M = \frac{(C_o V - CV)}{M}$$

where:

M = weight of carbon, g,

X = amount of constituent adsorbed, mg,

X/M = constituent absorbed per unit weight of carbon, mg/g,

C_o = concentration of constituents before carbon treatment, mg/L,

C = concentration of constituents after carbon treatment, mg/L, and

V = volume of sample, L.

11. Report

11.1 See Table 2 for the recommended format for data reporting.

11.2 *Plotting of Data:*

TABLE 2 Format for Data Reporting

M Grams of Carbon	C Concentration Remaining in Solution, mg/L	(C) V Constituent Remaining in Solution, mg	X Constituent Adsorbed, mg	X/M = mg/g
Control	500	50
0.0500	475	47.5	2.5	50
0.1000	450	45.0	5.0	50
0.2000	420	42.0	8.0	40
0.5000	310	31.0	19	38
1.000	200	20.0	30	30
2.000	100	10.0	40	20
5.000	35	3.5	46.5	9.3
10.00	12	1.2	48.8	4.9
20.00	4	0.4	49.6	2.48


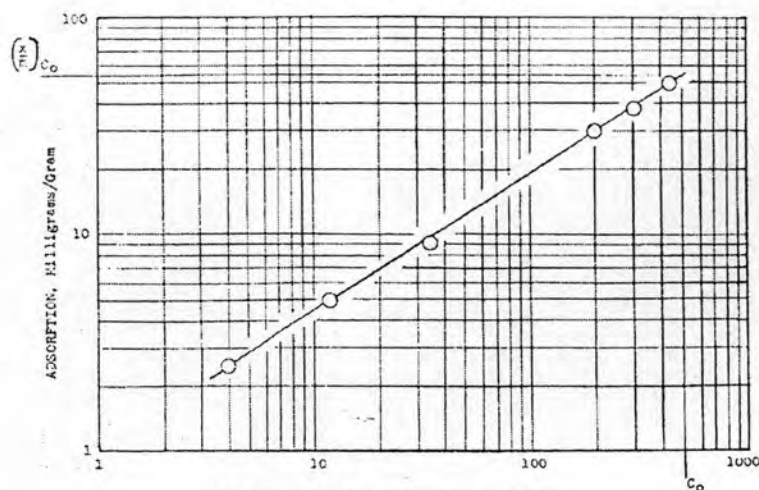

D 3860 - 98 (2003)


FIG. 1 Plotting of Data Concentration (C) mg/L

11.2.1 Use three-cycle log/log paper and plot concentration remaining in mg/L on the abscissa and X/M on the ordinate, and then connect the points. See Fig. 1.

11.2.2 If a vertical line is erected from the point on the abscissa corresponding to the original concentration C_0 , and the isotherm plot is extrapolated to intersect this line, the X/M value at the point of intersection can be read from the ordinate. This value termed $[X/M] C_0$ represents the amount of impurity adsorbed when the carbon is in equilibrium with the influent concentration. This value represents the ultimate capacity of the carbon for the adsorbate.

12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The precision is limited by the precision of the test methods used in determining the concentrations of the constituents.

12.2 *Bias*—The bias is limited by the bias of the test methods used in determining the concentrations of the constituents.

13. Keywords

13.1 activated carbon

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail), or through the ASTM website (www.astm.org).

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งปริมาณโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

พ.ศ. 2539

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งปริมาณ โลหะหนักจาก โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
โลหะหนัก (Heavy Metal)		
1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro
2. โครเมียมชนิดเฮกซาวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	Atomic Absorption Cold Vapour

แหล่งที่มา : ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำ
ทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา
เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว สุภารัตน์ เลิศวิทยาพนธ์ เกิดวันที่ 25 มกราคม 2497 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จ การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยปี พ.ศ.2520 และทำงานที่การเคหะแห่งชาติ ด้านการบำบัดน้ำเสียชุมชน 3 ปี ต่อมาสำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรชั้นสูงวิศวกรรมสุขาภิบาลจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ.2523 แล้วย้ายไปทำงานที่กรมอุตสาหกรรม กองวิเคราะห์สินค้าเป็น นักวิทยาศาสตร์ตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างสินค้านำเข้าและส่งออก และปี พ.ศ. 2528 ได้ศึกษากฎหมาย และสำเร็จนิติศาสตร์บัณฑิตจากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ปี พ.ศ.2532 ต่อมาได้เข้าศึกษา หลักสูตรรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต(ภาคนักบริหารนอกเวลาราชการ)จากจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยและสำเร็จการศึกษาปี พ.ศ. 2543 ปี พ.ศ. 2547-ปี พ.ศ. 2551 ศึกษาหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงานที่ กรมอุตสาหกรรมตำแหน่งผู้อำนวยการส่วนกว่าด้วยถิ่นกำเนิดสินค้าเกี่ยวกับการเจรจาการค้าเขตการค้าเสรีระหว่างประเทศด้านถิ่นกำเนิดสินค้า

