

焚化爐飛灰固化物之老化行為研究

周家模、葉啟輝

E-mail: 9701129@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究以未處理之焚化飛灰(Raw ash)為主要對象，摒棄複雜的前處理技術及螯合藥劑的添加，著眼在焚化飛灰顆粒小，可填補混凝土孔隙、含鈣量高，可促進水泥與水之水合反應的特性，以焚化飛灰依比例20%、40%、60%、80%取代細骨材進行固化處理後，評估飛灰試體經過老化循環後物性變化、並對各循環中飛灰試體進行中長期靜態溶出試驗，以確認飛灰試體對環境之危害性。結果顯示，試體老化時強度先增後減，老化初期各試體強度由24.8 ~11.2kgf/cm²增加至160.5 ~117.1 kgf/cm²，老化循環試驗結束後，除20%飛灰試體外，其餘試體強度降至50kgf/cm²以下。各試體中重金屬銅、鉛、鎘TCLP溶出量均在標準值30%以下，長期靜態溶出最大量依序為0.121 mg/L、2.266 mg/L、0.143mg/L。孔隙率方面，當試體中飛灰添加率越高，老化後孔隙率增加越大，其中80%飛灰試體老化後視孔隙率由5.79%增至23.65%最為顯著。最後以簡單線性歸方法對強度、孔隙率、溶出量三者之間關係進行分析討論。

關鍵詞：焚化飛灰；水泥固化；長期溶出；孔隙率

目錄

封面內頁 簽名頁 授權書.....	iii	中文摘要.....	iv	英文摘要.....	v	誌謝.....	vi	目錄.....	vii	圖目錄.....	x	表目錄.....	xiii																																																																																										
第一章 前言.....	1	1.1 研究緣起.....	1	1.2 焚化飛灰來源.....	2	1.3 焚化飛灰處理相關法規.....	4	1.4 研究方向與內容.....	8	第二章 文獻回顧.....	11	2.1 飛灰之物理與化學性質.....	11	2.2 焚化飛灰中重金屬生成機制.....	16	2.3 焚化飛灰之處理.....	18	2.4 焚化飛灰與燃煤飛灰之差異.....	23	2.5 飛灰用在混凝土中之技術背景.....	25	2.6 水泥固化物耐久性.....	30	2.7 固化物溶出相關研究.....	33	2.8 飛灰固化相關研究.....	38	第三章 研究方法與設備.....	42	3.1 研究內容.....	42	3.2 研究流程.....	42	3.3 實驗步驟與設備.....	44	3.3.1 工程性質試驗.....	44	3.3.1.1 焚化飛灰基本性質試驗.....	44	3.3.1.2 比重與吸水率試驗.....	45	3.3.1.3 固化物流度試驗.....	47	3.3.1.4 抗壓強度試驗.....	47	3.3.2 固化物配比設計.....	48	3.3.3 模擬老化試驗.....	49	3.3.4 重金屬溶出試驗.....	51	3.3.4.1 毒性特性溶出試驗.....	52	3.3.4.2 環境溶出試驗.....	55	3.3.4.3 重金屬總量分析試驗.....	56	3.3.5 重金屬檢測分析.....	57	3.3.6 固化體孔隙測量.....	57	第四章 結果與討論.....	59	4.1 材料基本性質與配比結果.....	59	4.2 固化體經老化前後強度比較.....	61	4.2.1 無老化固化試體強度變化.....	61	4.2.2 固化體老化後強度變化.....	64	4.3 飛灰試體毒性特性溶出試驗.....	68	4.3.1 重金屬銅毒性特性溶出試驗分析.....	69	4.3.2 重金屬鉛毒性特性溶出試驗分析.....	71	4.3.3 重金屬鎘毒性特性溶出試驗分析.....	73	4.4 靜態環境溶出試驗.....	75	4.4.1 固化試體銅靜態溶出試驗分析.....	76	4.4.2 固化試體鉛靜態溶出試驗分析.....	80	4.4.3 固化試體鎘靜態溶出試驗分析.....	83	4.5 重金屬總量分析.....	86	4.6 飛灰固化體視孔隙分析.....	89	4.7 老化試體孔隙率與強度、靜態溶出之相關分析.....	92	4.8 小結.....	102	第五章 結論與建議.....	105	5.1 結論.....	105	5.2 建議.....	106	參考文獻.....	108

參考文獻

1. 王暄豐，利用快速氯離子滲透試驗評估飛灰/爐石混凝土之耐久性，國立臺灣海洋大學材料工程研究所，碩士論文，2004。
2. 李公哲、林正芳，廢棄物固化處理固化體溶出物之預測模式，環保署研究報告，2002。
3. 余宗賢，固化法於飛灰重金屬及戴奧辛之穩定化研究，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，碩士論文，2004。
4. 林國旋，「重金屬於焚化爐中之動態評估」，技術與訓練，17卷2期，pp. 44-58，1992。
5. 林健榮等，「都市垃圾焚化灰渣中重金屬化學鍵結種類與溶出特性」。第十四屆廢棄物處理技術研討會，pp. 430-436. 1999。
6. 周信輝，都市垃圾焚化反應灰安定化之研究，國立成功大學資源工程學系碩博士班，博士論文，2001。
7. 周順裕，矽酸鹽與磷酸鹽添加劑對都市垃圾焚化飛灰穩定化產物溶出特性之影響，國立中山大學環境工程與科學系，碩士論文，1996。
8. 徐造華，高強度水工混凝土摻加飛灰之耐磨性及裂縫防制，國立中興大學土木工程博士班，博士論文，2006。
9. 郭同杉，添加飛灰對混凝土抗壓強度及耐久性影響之探討，國立臺灣海洋大學海海工程所，碩士論文，2006。
10. 紀茂傑、黃然、楊仲家，「材料因子對混

凝土構造物耐久性影響之研究」，21世紀土木工程技術與管理研討會論文集，pp.A13-A22，2001。11.黃兆龍、沈永年，「高性能混凝土水化作用機理之研究」，土木水利季刊，第二十四卷，第一期，pp. 3~17，1997。12.張君偉，水洗前處理與添加劑對都市垃圾焚化飛灰燒結特性的影響，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文。2000。13.張晉魁，燃煤飛灰中金屬溶出潛力之研究，國立中興大學環境工程研究所，碩士論文，2002。14.葉宗智，垃圾焚化飛灰粒徑對燒結效果之研究，國立中央大學環境工程研究所，碩士論文。1997。15.楊金鐘、吳裕民，「垃圾焚化灰渣穩定化產物再利用之可行性探討」，一般廢棄物焚化灰渣資源化技術與實務研討會論文集，第43頁，1996。16.溫凱翎，混凝土添加飛灰及爐石在高溫環境下之硬固性質及熱傳行為，國立臺灣科技大學營建工程所，碩士論文，2005。17.趙永楠，以動態/半動態溶出程序評估都市垃圾焚化底灰長期穩定特性之研究，國立台灣大學環境工程研究所，碩士論文，2003。18.廖錦聰，焚化灰渣資源化研究，工業技術研究院計畫報告，1996。19.潘坤勝，波索蘭混凝土早齡期強度及波速預測式之建構，國立中興大學土木工程研究所，博士論文，2004。20.蔡壽楨，含飛灰混凝土之孔隙與強度關係，國立中興大學土木工程學系，碩士論文，2005。21. Alba N., Vazquez E., Gasso S., Baldasano J.M., Stabilization /solidification of MSW incineration residues from facilities with different air pollution control systems. Durability of matrices versus carbonation, Waste Management, 21(4), pp.313-323, 2001. 22. Anthony T.C.Goh., Tay T.H., Municipal Solid-Waste Incinerator Fly Ash for Geotechnical Applications Journal of Geotechnical Engineering, 119(5), pp 811-825, 1993. 23. Arniella E.F., Blythe L.J., Solid solution for hazardous wastes, Chemical Engineering (NY), 97(2), pp. 92-102, 1990. 24. Aubert J.E., Husson B., Vaquier A., Metallic aluminum in MSWI fly ash: quantification and influence on the properties of cement-based products, Waste Management, 24(6), pp.589-596, 2004. 25. Berry E.E., Malhotra V.M., Fly Ash for Use in Concrete-A Critical Review, ACI Journal Proceedings, Vol. 7, pp. 59-73, 1980. 26. Berry E.E., Fly ash in concrete, The Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, 1985. 27. Bochen J., Gil S., Szwabowski J., Influence of ageing process on porosity changes of the external plasters, Cement and Concrete Composites, pp. 769-775, 2005. 28. Carlo C., Sabrina S., Reuse of municipal solid wastes incineration fly ashes in concrete mixtures, Waste Management 22(8), pp.909-912, 2002. 29. Chandler A. J., Eighmy T.T., Hartlen J., et al. Municipal solid waste incinerator residues. Studies in Environmental Science 67, The Netherlands: Elsevier Science, pp.450-472, 1997. 30. Cote P.L., Contaminant Leaching From Cement-Based Waste Forms Under Acidic Conditions. PhD Thesis, McMaster Univ, 1986. 31. Dodson V. H., The Effect of Fly Ash on the Setting Time of Concrete – Chemical or Physical. In Proceedings, Symposium on Fly Ash Incorporation in Hydrated Cement Systems, Edited by S. Diamond. Materials Research Society, Boston, pp. 166-171. 1981. 32. Dutre V., Vandecasteele C., An evaluation of the solidification/stabilisation of industrial arsenic containing waste using extraction and semi-dynamic leach tests, Waste Management, 6(7), pp. 625-631, 1997. 33. Dunstan M.R.H., Fly Ash as the ‘ Fourth Ingredient ’ in Concrete Mixtures, ACI Special Publication, Vol. 91, pp. 171-200, 1986. 34. Forestier L.L., Libourel G., Characterization of flue gas residues from municipal solid waste combustors, Environmental Science & Technology, Vol.32, pp. 2250-2256, 1998. 35. Gardner K. H., Characterization of Leachates from Municipal Incinerator Ash Materials, Thesis, Clarkson University, 1991. 36. Gilliam T.M., Dole L.R., McDaniel E.W. Waste Immobilization in Cement-Based Grouts. ASTM Special Technical Publication, pp.12, 1986. 37. Helmuth R., Fly Ash in Cement and Concrete. Portland Cement Association, Publication No. SP040.01T, Skokie, Illinois, 1987. 38. Hester R.E., Harrison R.M., Waste Incineration and the Environment, Royal Society of Chemistry, pp158 , 1994. 39. Lane R.O., Effects of Fly Ash on Freshly Mixed Concrete, Concrete International, Vol. 5, pp. 50-52, 1983. 40. McCarthy G.J., Mineralogical characterization of a lignite gasification ash from a low-Btu fixed-bed gasifier. I. X-ray phase analysis. Cement and Concrete Research, pp. 479-484. 1984. 41. Mehta P.K., Concrete Structure Material and Properties Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1986. 42. Mehta P.K., Aitcin P.C., Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete, ACI Materials Journal, 82(2), pp. 103-107, 1990. 43. Querol X., Fernandez-Turiel J.L., Lopez-Soler A., Trace Element in Coal and Their Behavior During Combustion in a Large Power Station, Fuel, 74(3), pp. 331-343. 1995. 44. Rachakornkij M., Utilization of municipal solid waste incinerator fly ash in cement mortars [D]. New jersey Institute of Technology, 2000. 45. Rogers V.C., Nielson K.K., Holt R.B., Radon Generation and Transport in Aged Concrete, EPA Project Report, 1995. 46. Smith I.A., The design of fly ash concretes. Proc Inst Civil Eng, London 36, pp. 769 – 790, 1967. 47. Tay J.H., Show K.Y., Properties of Cement Made from Sludge, Journal of Environmental Engineering, 117(2), pp.236-2461, 1991. 48. Ubbriaco P., Hydration behaviour of a lime-pozzolan cement containing MSW incinerator fly ash, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 47, No. 1, pp. 7-16. 1996. 49. Wiles C.C., Municipal Solid Waste Combustion Ash: State-of-the - Knowledge, Journal of Hazardous Materials, Vol. 47, pp. 325-344, 1996.