極輕隔熱泡沫混凝土之技術發展

阿拉木圖建材研究暨設計有限公司《NII-stromproject》

M. S. Saduakasov 博士與 A. N. Nurdauletov 學士

哈薩克發表一項可生產平均密度 150-250 kg/m^3 的極輕泡沫混凝土的訊息。

阿拉木圖的建材研究暨設計有限公司《NII-stromproject》運用俄國及哈薩克學者在產製機械和材料配比之研究成果，發展出一體澆注的極輕泡沫混凝土技術。利用一套設備作基礎，把拌好的泥漿打入持續轉動的可移動式壓送機內，同時匯入一個泡沫製作槽的泡沫及另一個連續攪拌泥漿槽的水泥漿，透過適時調整水泥漿與泡沫之匯入比例，確保製成泡沫混凝土之密度。

1930－40 年代，泡沫混凝土的配比因為缺少有效且穩定的起泡劑，且無配套的生產操作設備，因此，應用上較之配比發展成熟、生產程序簡易的輸氣混凝土而言，較難為市場所接受。目前，俄國與哈薩克企業提供之設備與技術相當的先進，其發展的作法與方向將可解決泡沫混凝土生產技術的瓶頸。

同時， 20 世紀末至 21 世紀初的前十年間，獨立國協國家在泡沫混凝土技術和供電需求上有很大的變化；建築外層牆體結構的隔熱係數加大，帶動生產低導熱係數建材之需求。泡沫混凝土技術是提供低導熱係數建築牆體的最佳做法，但受限於產製技術的瓶頸至今尚無法完全開發運用。

哈薩克產製泡沫混凝土的配比中，除水泥、砂之外，應用動物角和蹄為原料製成的蛋白質起泡劑是配比的重要組成成分；同時使用德國《Neoporbeton》的拌合設備進行產製。這樣產製作法的泡沫混凝土，其平均密度可從 400 到 1800 kg/m^3 間。表一顯示這樣產製作法的泡沫混凝土配比平均密度與抗壓強度性質；此類產製作法之泡沫混凝土的主要缺點在於越低的平均密度時，其強度相對而言較弱。

圖一、NEOPOR 公司泡沫混凝土攪拌機

圖二、尺寸 20*20*40 公分之預製水泥塊模型

圖一為泡沫製作槽和筒狀水泥攪拌機，產製完成的泡沫混凝土，則澆至入金屬模型（見圖二）。

表一

平均密度，kg/m^3	400	600	800	1000	1200	1400	1600
抗壓強度，MPa	-	2.5	3.5	3.7	6.3	12.0	17.9

過去，構造簡單的設備，包括製造起泡劑的機械、砂漿攪拌機等，引發廠商投入生產的意願，出現數十間製造泡沫混凝土預製板的工廠。這些工廠生產相關的產品，含整片澆注之隔熱層，大都用於建築物之屋頂以及一樓樓板。然而，近兩、三年絕大多數企業卻相繼倒閉，其主要原因其實肇因於產品品質低落、生產利潤低等問題。

產品品質低落的主要原因，在於許多的工廠不遵守 277-80 的建築標準（即使此文件被認為過時）中所規定之泡沫混凝土製造準則，且在生產過程中未採用可確保泡沫混凝土品質之有效成分，導致氣泡混凝土之強度不足，產品品質低落。工廠無法依照專家學者建議之產製程序的主要原因在於，生產泡沫混凝土企業的從業人員並無良好的技術水準，同時也缺乏教育訓練。

另一方面，由於生產者間的削價競爭，造成泡沫混凝土產品的價格低。而且，生產泡沫混凝土使用起泡添加物和新技術必然提高生產成本，使其與無添加泡沫之混凝

土產品相比，更是毫無競爭力。同時，因為消費者難以從外觀分辨不同等級之泡沫混凝土產品，價錢成了唯一的選購條件，生產利潤不足。

此外，泡沫混凝土產品的生產工廠，還遭遇一個產量的經濟規模問題。許多工廠在設置前，並無仔細估算市場、產量的規模就進行工廠的設置，一個工廠 24 小時的泡沫混凝土產品產量，僅 10 到 20 m^3 間，如此產量的利潤，僅約為每月 3 千到 6 千美元間，因此，泡沫混凝土產品之生產必須進行第二階段製程技術的現代化工作。

俄國企業與業界，近年來也已開始運用切割技術，同時改善發泡技術和配比組成，阿拉木圖的建材研究暨設計有限公司為最先引入相關新技術的領導廠商。該公司已更新預拌泡沫混凝土漿之自動拌漿機，使可確保泡沫的生成和水泥砂漿之穩定，從而供應產製高品質的泡沫混凝土；產品的規格包含抗壓強度從 0.2 到 20MPa 的範圍下，平均密度在 150 到 1000kg/m^3 間。在實驗室環境下以乾燥礦化法製成的極輕隔熱泡沫混凝土，抗壓強度與平均密度的關連性顯示於表二。

表二

平均密度，kg/m^3	155	180	205	230	255
抗壓強度，MPa	0.18	0.23	0.3	0.32	0.41

該工廠以新設備進行產品產製的試驗結果顯示，以任何的泡沫漿預拌技術，皆可製造平均密度小於 250 kg/m3 的泡沫混凝土產品，無論是分別準備灰漿與泡沫，再隨後將其混合；或以有粘性的水泥粉末使泡沫乾燥礦化。極輕泡沫混凝土產品之技術，在於確保礦化泡沫高度穩定。

本單位的實驗中，泡沫水泥漿在澆置模具三小時後產生損壞。這與水泥的硬化減緩有關，當密度為 200 kg/m3 的情況下，每單位體積水泥漿的表面活性物質佔 15%，而平均密度 500 kg/m3 的泡沫混凝土則佔 0.4%。表面活性物質的增加不僅降低材料的強度，同時使水不易通過水泥顆粒，因而抑制水化反應。此外，極輕泡沫混凝土混合物中的水泥處於未固結狀態，不利於結晶新生物之形成。

該工廠生產之泡沫混凝土，平均密度 150 到 250kg/m3 間，可視為新一代的氣泡混凝土產品；技術具備競爭力的主要關鍵在於該工廠維持泡沫高度穩定的情況下，降低起泡劑的費用減少成本，同時加速水泥的水化作用提高品質。

圖三、以一體澆注泡沫混凝土施作隔熱層

翻譯：李鴻儀／校稿：鄭瑞濱