

폐유리를 재활용한 타일 제조 및 물리적 특성

김영길* · 정연길* · 송준백** · 신민철**[†] · 이희수**

*창원대학교 세라믹공학과

**산업기술시험원 재료평가팀

(2004년 11월 17일 접수; 2004년 12월 16일 승인)

Fabrication and Physical Properties of Tiles Recycled Waste Glass

Young-Kil Kim,* Yeon-Gil Jung,* Jun-Baek Song,** Min-Chul Shin,**[†] and Hee Soo Lee**

*Department of Ceramic Science and Engineering, Changwon National University, Kyungnam 641-773, Korea

**Material Testing Team, Korea Testing Laboratory, Seoul, 152-848, Korea

(Received November 17, 2004; Accepted December 16, 2004)

초 록

폐유리와 점토를 이용하여 일축 가압 성형법으로 타일을 제조하였다. 유리함량, 소성온도 및 소성시간에 따른 타일의 흡수율, 밀도, 겉보기 기공률, 압축강도, 마모감량 등을 고찰하였다. 소성온도 및 유리함량이 증가함에 따라 타일의 특성은 향상되었다. 폐유리를 70 wt.% 사용하고 1,050°C에서 소성한 타일이 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 이 때의 흡수율, 밀도, 겉보기 기공률, 압축강도, 마모감량은 각각 0.9%, 2.3 g/cm³, 2.1%, 210 MPa, 0.022 g이었다. 이는 유리상의 형성에 의한 결과로서 타일의 기공 감소 및 치밀화에 기여하기 때문이다. 제조된 타일의 특성은 상용화되고 있는 일반 자기질 타일과 비교하여 우수한 특성을 나타내고 있으며, 바닥 및 내·외벽용 무유타일로 적용 가능할 것이다.

ABSTRACT

Wall and floor tiles were fabricated by a dry pressing method using waste glass and clay. The physical properties of the tiles such as absorption, bulk density, porosity, compressive strength, and abrasion loss are investigated with the firing temperature and glass contents. The physical properties are improved with increasing the firing temperature and glass contents. The composition containing the glass of 70 wt% and fired at 1050°C for 2 h has the good properties. The optimal properties obtained in the tiles are the water absorption of about 0.9%, the bulk density of about 2.3 g/cm³, the apparent porosity of about 2.1%, the compressive strength of about 210 MPa, and the abrasion loss of about 0.022 g, when the composition containing the glass of 70 wt% is fired at 1050°C. The physical properties of tiles fabricated were enhanced compared to the commercial clay tiles, due to easy melting and densification of glassy phase during the firing process.

Key words : Waste glass, Recycle, Tile

1. 서 론

산업 발달과 더불어 산업폐기물의 양은 급속히 증가되고 있다. 경제개발 초기에는 산업폐기물을 처리방안과 처리비용 등의 문제로 매립하거나 방치하여 왔으나 최근 환경문제에 대한 인식의 변화로 산업폐기물 처리 및 재활용에 대한 관심이 고조되고 있다.¹⁾

국내의 연간 유리 총 생산량은 약 420만 톤이며 이 중 약 36%가 창유리 등에 사용하는 판유리, 6%가 유리섬유 제품, 58%가 병유리 등의 용기를 포함한 소모적 유리제품으로 사용되고 있다.²⁾ 그러나 최근 도시화와 산업화에

따라 폐유리의 발생량은 점차 증가하고 있어 사회문제 및 환경문제로 대두되면서 폐유리의 적정처리 및 재활용 문제가 사회적 관심사로 대두되고 있다.³⁾ 폐유리를 건설재료의 용도로서 재활용하기 위한 연구는 아스팔트 및 도료채움재 등으로서의 사용 가능성에 대한 조사⁴⁾가 수행되었고, 콘크리트용 골재로서 폐유리를 재활용하였다.⁵⁾ 최근 일본 등에서는 폐유리를 재활용한 타일 제조기술을 연구하였는데, 일반 자기질 타일과 폐유리 재활용 타일의 원료 배합과 화학조성을 비교해보면 일반 자기질 타일에는 골격이 되는 규석(비가소성원료), 성형성을 부여하는 점토(가소성원료), 소결재로서의 역할을 하는 장석(매용원료)의 3요소가 필수적이다. 장석은 고온에서 용융되어 점착성이 있는 액체로 되고 성형체내의 입자공간을 채우는 동시에 입자들을 견고하게 결합시키는 역할을 한다. 반면, 폐유리 재자원화 타일에서는 유리가 골격이 됨과 동시에

[†]Corresponding author : Min-Chul Shin

E-mail : mcshin@ktl.re.kr

Tel : +82-2-860-1647 Fax : +82-2-860-1649

소결재로서의 역할을 한다. 유리 재활용 타일은 유리병 혼합 파유리를 주원료로 이용(약 70% 이상)하여, 천연도 자기질 점토원료의 사용으로 우려되는 환경훼손을 방지할 수 있는 친환경적 타일이며, 흡수성, 미끄러짐저항, 내약품성, 동결융해성 등 물성이 우수하고, 동시에 경관재료로서 미장성도 함께 지니고 있다. 또한 종래 1,250°C의 소성온도를 900~1,000°C까지로 낮출 수 있어 에너지자원의 절약과 CO₂ 배출량의 26% 저감이 가능하다. 이와 같은 폐유리 재활용 타일은 공원, 보도, 광장 등의 포장재, 실내의 바닥면, 실외벽 등에 사용이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 발생하는 폐유리 병을 주원료로 이용하여 바닥 또는 내·외장 타일로 응용 가능한 친환경적 타일을 제조하고 제조조건에 따른 타일 특성을 기존의 자기질 타일과 비교함으로써 건축자재로서 폐유리 재활용 가능성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 국내에서 발생하는 폐유리병을 사용하여 타일을 제조하였으며, 실험에 사용된 원료의 화학조성은 Table 1에 나타내었다. Disk mill을 사용하여 원하는 크기로 폐유리를 분쇄하였다. 폐유리(갈색 병유리), 점토(해제점토), 물, 바인더를 볼밀로 12시간동안 혼합한 후 200 kgf/cm²로 가압성형하여, 상온에서 24시간동안 건조하

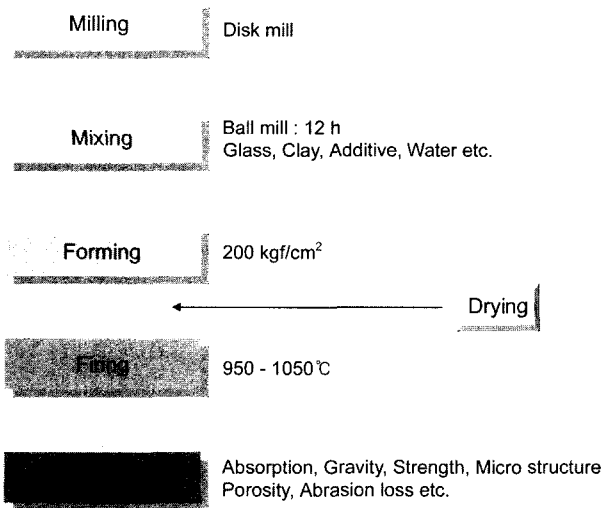


Fig. 1. Flow chart for the fabrication process of tile using waste glass.

였다. 건조된 시편을 각각 950, 1,000, 1050°C에서 소성한 후 그 특성을 관찰하였다. Fig. 1은 폐유리를 이용한 타일의 전체 제조공정도이다.

제조된 시편은 수분 및 폐유리 함량, 소성온도 등에 따라 그 특성을 분석하였다. 밀도 및 기공율은 ASTM C2D에 의거한 Archimedes법에 의해 측정하였으며, 타일의 미세구조는 전자현미경(Hitachi Co. Japan)을 이용하여 타일의 표면 및 내부에 대해 관찰하였다. 타일의 강도는 만능시험기(Instrom Co., U.S.A)를 사용하여 측정하였고, 흡수율 및 마모감량은 KS L 1001 시험방법에 근거하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유리화

소성온도 및 유리함량에 따른 타일의 흡수율 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 유리함량 및 소성온도가 증가함에 따라 흡수율은 감소하였고, 유리함량 75 wt%, 1,050°C에서 소성한 경우에 0.5%로 흡수율이 가장 낮게 측정되었으나, 70 wt%일 때(0.9%)와 비교할 경우 거의 유사한 값을 나타내었다. 소성온도 및 유리함량에 따라 흡수율이 감소하는 것은 유리화 즉 유리상의 생성으로 인한 것으로 판단되는데, 소다유리의 연화점은 약 720°C이므로 1,050°C에서 소성한 경우에는 유리상이 충분히 형성되었을 것으로 판단된다.

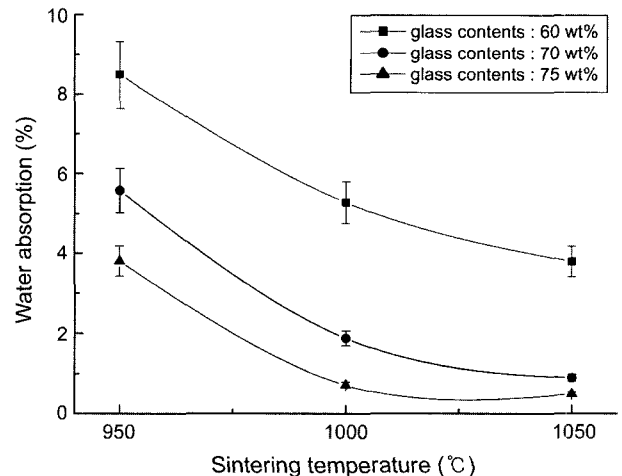


Fig. 2. Effect of sintering temperature and glass content on water absorption.

Table 1. Chemical Composition Used in This Study

(Unit : wt%)

	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	BaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃
Clay	58.69	0.10	0.19	2.16	36.85	-	0.27	1.13	-	0.38	-
Brown glass	69.83	17.85	4.38	2.25	2.00	0.57	1.22	1.08	-	0.20	0.12
Green glass	69.19	19.16	4.35	2.02	1.72	0.50	1.02	0.95	0.38	0.19	0.17

Fig. 3은 소성온도 및 유리함량에 따른 밀도 변화를 나타낸 것으로 950, 1,000°C에서 소성한 경우에는 점차 증가하는 경향을 나타내었으나, 1,050°C에서 소성한 경우에는 유리함량이 70 wt%일 때, 2.3 g/cm³로 가장 높은 값을 나타내었으며, 75 wt%일 때는 오히려 감소하는 경향이 나타났다. 이 결과로부터 상대적으로 저온에서 유리함량의 증가가 치밀화에 큰 영향을 미치며, 고온에서는 유리함량이 증가함에 따라 부풀림 현상이 발생하여 밀도를 오히려 감소시키는 것이라고 예상된다.⁶⁾

Fig. 4에는 유리함량 및 소성온도에 따른 겉보기 기공률 변화를 나타낸 것으로, Fig. 2의 흡수율 변화와 거의 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 소성온도 및 유리함량이 증가함에 따라 겉보기 기공률은 점차 감소하였고, 유리함량이 75 wt%인 경우에는 1,000°C 이상에서 거의 일정한 값을 유지하였다. 이 결과 역시 폐유리 첨가에 따른 유리상의 형성에 기인된다고 판단된다.

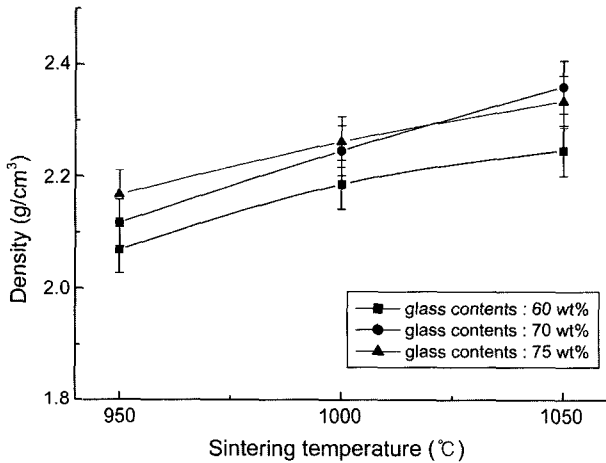


Fig. 3. Effect of sintering temperature and glass content on density.

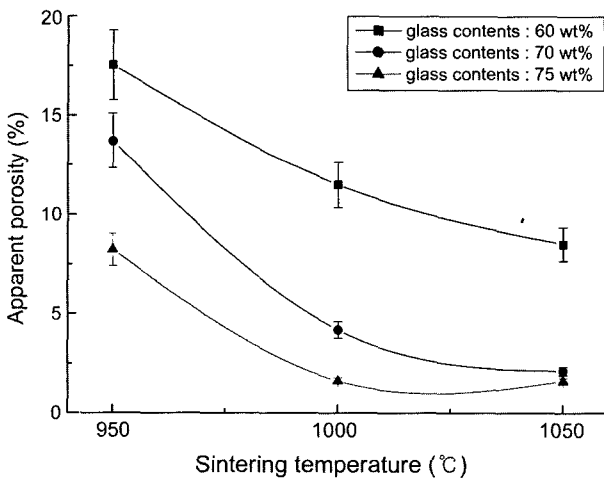


Fig. 4. Effect of sintering temperature and glass content on apparent porosity.

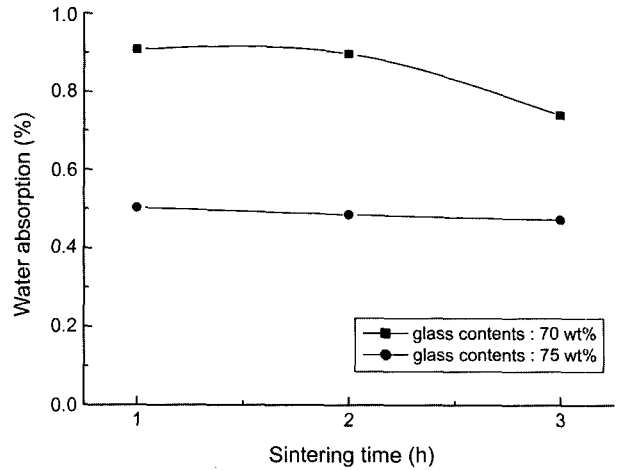


Fig. 5. Effect of sintering time on water absorption.

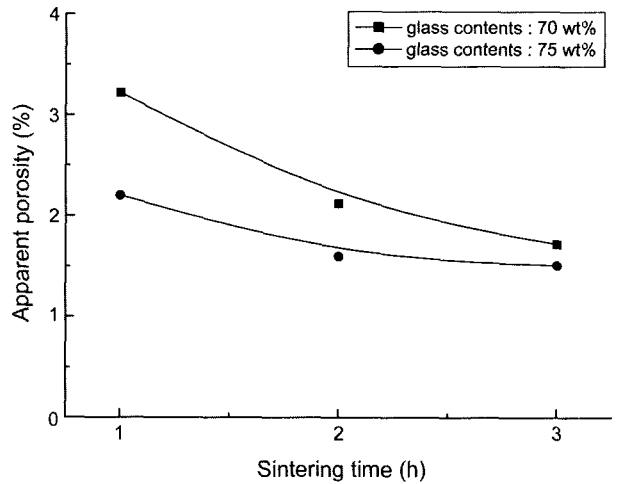


Fig. 6. Effect of sintering time on apparent porosity.

3.2. 소성시간에 따른 영향

Figs. 5와 6은 소성시간에 따른 흡수율 및 겉보기 기공률의 변화를 나타낸 결과로서, 1,050°C에서 각각 1, 2, 3 시간 소성한 후 측정된 결과이다. 유리함량이 70 wt%인 경우에는 소성시간이 증가함에 따라 흡수율 및 겉보기 기공률이 점차 감소하였으나, 75 wt%인 경우에는 거의 차이를 나타내지 않았다.

3.3. 압축강도

유리함량에 따른 타일의 압축강도 변화를 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 폐유리 함량이 60, 70 wt%일 때는 소성온도가 증가함에 따라 압축강도도 점차적으로 증가하여 폐유리 함량 70 wt%, 소성온도 1,050°C일 때, 210 MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 반면 유리함량이 75 wt%인 경우에는 1,000°C와 1,050°C에서 소성한 경우 거의 비슷한 값을 나타내며, 75 wt%, 1,050°C에서 소성한 시편은 Fig. 3의 밀도 결과와 같이 유리함량이 70 wt%일 때보다 압축강도

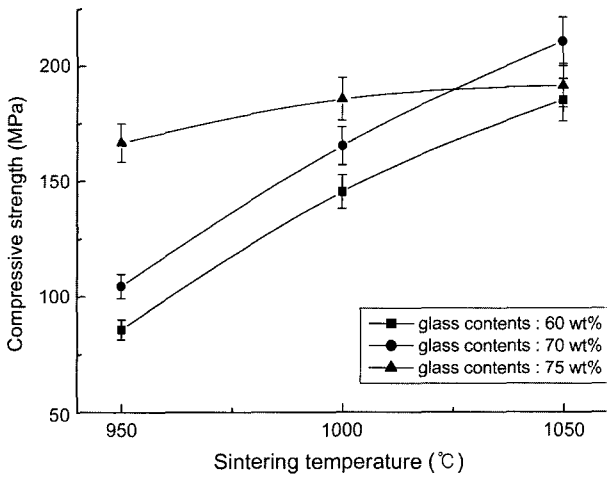


Fig. 7. Effect of sintering temperature and glass content on compressive strength.

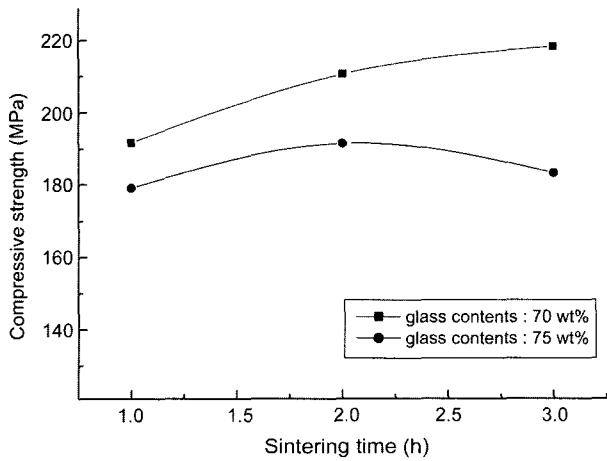


Fig. 8. Effect of sintering time on compressive strength.

가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Abdrakhimov^{7,8)}의 연구와 일치하는 결과로서, 유리함량이 증가함에 따른 유리상 형성으로 강도가 감소되는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 소성시간에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로서, 유리함량이 70 wt%인 경우에는 소성시간이 증가함에 따라 압축강도 역시 증가되었으나, 75 wt%일 때는 3시간 소성한 후 압축강도가 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과 역시 Fig. 7의 결과와 마찬가지로 유리상의 형성에 의한 것으로 판단된다.

3.4. 마모감량

Fig. 9는 유리함량에 따른 마모감량 변화를 나타낸 것으로 1,050°C에서 2시간 소성한 시편을 측정한 결과이다. 유리함량이 60 wt%에서 70 wt%로 증가함에 따라 마모감량은 0.044 g에서 0.022 g으로 감소되었으며, 70 wt% 이상에서는 거의 일정한 값을 유지하였다. 이는 Fig. 4의 결보

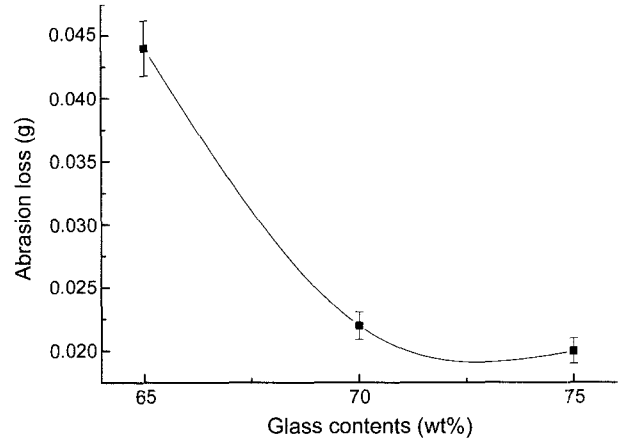


Fig. 9. Effect of glass content on abrasion loss of samples fired at 1,050°C.

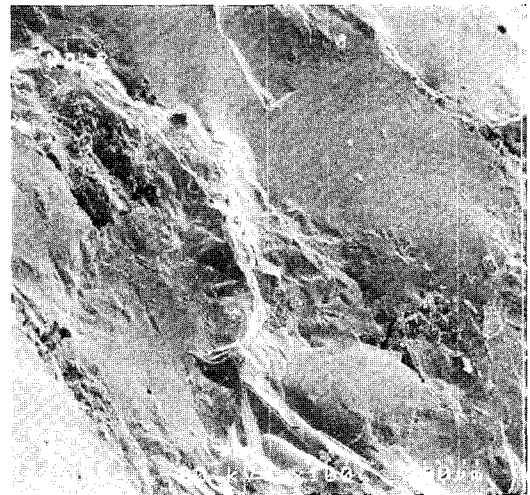


Fig. 10. SEM image of fracture surface containing the glass of 70 wt%, fired at 1,050°C.

기 기공률 결과와 관계된 것으로, 유리함량 70 wt%(1,050°C 소성) 이상일 때는 기공률이 거의 일정하다. 즉, 유리화에 의한 기공률 감소는 표면구조의 치밀화를 가져오고⁹⁾ 치밀한 구조일수록 마모감량은 감소하게 된다. Fig. 10은 유리함량 70 wt%, 소성온도 1,050°C인 시편의 표면 미세구조를 나타낸 것으로 유리화로 인하여 기공이 없는 매우 치밀한 구조를 나타내고 있다.

4. 결 론

폐유리와 점토를 이용하여 일축 가압 성형법으로 타일을 제조하고, 유리함량 및 소성온도가 타일 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 모든 특성은 소성온도가 증가함에 따라 향상되었다. 유리함량이 75 wt%인 시편의 밀도는 유리함량이 적을 때보다 증가하는 경향을 나타내지 않았으나, 흡수율, 결보기 기공률, 마모감량은 유리함량이 증가함

에 따라 지속적으로 감소하였다. 압축강도는 유리함량이 70 wt%일 때 최고값을 나타내었다. 폐유리를 70 wt% 사용하고 1,050°C에서 소성한 타일의 흡수율, 밀도, 겉보기 기공률, 압축강도, 마모감량은 각각 0.9%, 2.3 g/cm³, 2.1%, 210 MPa, 0.022 g으로 나타났으며, 바닥 및 내·외벽용 무유타일로 적용 가능할 것으로 예상된다. 제조된 타일의 특성은 상용화되고 있는 일반 자기질 타일과 비교하여 우수한 특성을 나타내고 있으며, 이는 폐유리를 사용함으로써 유리상 형성에 의한 치밀화가 자기질 타일에 비하여 잘 이루어지기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. N. F. Youssef, M. F. Abadir, and M. A. Shater, "Utilization of Soda Glass(Cullet) in the Manufacture of Wall and Floor Tiles," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **18** 1721-27 (1998).
2. Ministry of Environment, "Generation and Treatment Status of Industrial Waste(in Kor)," pp. 1-4, 2000.
3. S. B. Park, "Development of Recycle and Treatment Technique for Industrial Waste(in Kor)," pp. 153-56, Ministry of Construction and Transportation, 2000.
4. J. Reindi, "Development of Non-Traditional Glass Markets," pp. 76-8, Resource Recycling, October, 1991.
5. C. D. Johnson, "Waste Glass as Coarse Aggregate for Concrete," *J. Test. Eva.*, **2** 1232-36 (1974).
6. I. W. M. Brown and K. J. D. Mackenzie, "Ceramic Like Body of Ground Waste Glass, Part 2," *J. Mat. Sci.*, **17** 2171-83 (1982).
7. V. Z. Abdrakhimov, "Phase Composition of Ceramic Tiles from Teslinograd Clays with Addition of Waste from Non-ferrous Metallurgy and Power Plants," *Stroit. Arkhit.*, **4** 62-4 (1990).
8. V. Z. Abdrakhimov, "Properties and Phase Composition of Facing Tiles Firing Techniques in Wall Tiles Using Industrial Wastes and Wollastonite," *Stroit. Arkhit.*, **4** 62-5 (1991).
9. Y. I. Chop, A. A. Pashchenko, and I. G. Kovzun, "Ferro Alloy Slags in Ceramic Tile Compositions," *Steklo i Keramica.*, **12** 13-5 (1983).