

Si와 알칼리 금속의 첨가에 따른 물유리의 점도 및 분자결합구조 특성변화

류영복 · 이만식[†]

한국생산기술연구원 친환경재료공정그룹
(2017년 12월 4일 접수, 2017년 12월 11일 심사, 2017년 12월 24일 채택)

Effect of the Addition of Si and Alkali Metal on the Viscosity and Molecular Behavior of Water Glass

Young Bok Ryu and Man Sig Lee[†]

Green Materials & Process Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), 55, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44413, Korea
(Received December 4, 2017; Revised December 11, 2017; Accepted December 24, 2017)

초 록

주조공정 중 주형제조 시 점결제로 사용되는 silicate계 바인더의 주요원료 중 하나인 물유리와 첨가제(Si, 알칼리 금속)의 혼합특성을 살펴보았다. 물유리와 첨가제 그리고 비율에 따라 제조된 혼합물은 FT-IR분석을 통해 분자결합구조를 살펴보고, 점도측정으로 분자구조와의 상관관계를 비교하였다. 물유리에 Si 소스의 첨가는 물질 내 Si 망상결합을 촉진시켜 점도는 증가하였고, 알칼리 금속을 첨가하였을 경우에 물유리의 Si 망상결합을 억제하여 점도가 낮아졌다. 물유리와 리튬 실리케이트(lithium silicate, LS)의 혼합물의 점도는 LS의 함량이 20 wt% 이하에서는 LS의 함량이 증가할수록 증가하였지만, 20 wt%를 초과할 경우 점차 낮아졌다. 물유리에 KOH를 첨가함으로써 점도를 낮출 수 있었으며, 콜로이드 실리카(colloidal silica, CS) 또는 potassium methyl siliconate (PMS)와의 혼합을 효과적으로 이용하는 데 이용할 수 있다.

Abstract

In this study, the mixing characteristics of water glass and additives (Si, alkali metal), which are one of the main raw materials of silicate based binder used in the production of molds during casting process, were examined. Molecular structures of water glass, additives and mixtures were analyzed FT-IR and viscosity measurements and their correlation were compared. The addition of Si source to the water glass accelerated the Si networking in the material and increased the viscosity. When the alkali metal was added, the viscosity of the water glass decreased by suppressing the Si networking of the water glass. Viscosities of the water glass and lithium silicate (LS) mixtures increased when the content of LS was less than 20 wt% and gradually decreased when the content was more than 20 wt%. By adding KOH to the water glass, the viscosity could be lowered and it could be used effectively to mix with colloidal silica (CS) or potassium methyl siliconate (PMS).

Keywords: water glass, FT-IR, viscosity, alkali metals, silicon (Si)

1. 서 론

주조공정에서 제조되는 주형에는 대체로 유기화합물을 바인더로 사용해오고 있다. 유기바인더는 용융금속이 접촉하게 되면 다량의 휘발성 유기화합물(VOCs)이 함유된 불완전 연소가스가 발생하지만, 환경오염이나 인체의 유해성을 고려하지 않은 초기 개발제품을 지금까지 습관적으로 이용하고 있다. 그러나 이러한 물질에 대한 점진적인 사용규제 강화와 작업환경 개선에 대한 생산자의 의지 등으로 무해한 바인더의 수요가 증가하고 있는 실정이다. 특히 미국이나 유럽에서는 이러한 수요를 충족하기 위해 오래전부터 무기바인더를 개발해오고

있으며, 많은 공정에서 무기바인더가 적용되고 있다[1,2].

주물사용 무기바인더로 가장 많이 연구되고 있는 바인더로는 수용성 염화합물로 구성된 salt 바인더[3,4]와 알칼리 실리케이트 수용액이 주성분인 silicate 바인더[5,6]가 있다. Salt 바인더는 다양한 염류(salts)와 물 그리고 기타 첨가제로 구성되어 있다. 이 바인더가 주물사와 혼합되면 습윤성을 가지는 혼련사가 되는데, 이 혼련사를 특정 모양의 형틀에 넣어 고온에서 탈수시키면 바인더의 결정화가 진행되어 주조가 가능한 강도를 가지는 주형이 된다. 하지만 이 공정으로 발생하는 폐주물사의 경제적 재생이 어렵다는 단점이 있다. 특히 황산마그네슘을 주원료로 하는 salt 바인더는 습도조절 문제로 규산염 기반의 원료 물질로 대체되고 있다. Silicate 바인더는 물유리기반의 혼합물로서 다양한 방법을 이용하여 경화시킬 수 있다. 이산화탄소나 액체 에스테르를 이용하여 화학적으로 경화시키는 방법과 건조기술을 이용하여 바인더 구성성분의 물리적 결합을 유도하여 경화시키는 방법이 있다.

[†] Corresponding Author: Green Materials & Process Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), 55, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44413, Korea
Tel: +82-52-980-6630 e-mail: lms5440@kitech.re.kr

Table 1. Properties of Used Materials

| Materials | Manufacturer | MW ^a (g/mol) | Density (g/cm ³) | Assay (%) |
|--------------------------|---------------|-------------------------|------------------------------|-----------|
| water glass ^b | Ace nanochem. | - | 1 or more | 46.5 |
| LS ^c | Ace nanochem. | - | 1.16~1.18 | 22.5 |
| CS ^d | Ace nanochem. | 60.07 | 1.19~1.21 | 30 |
| PMS ^e | XIAMETER | 208.41 | 1.29 | 40~50 |
| KOH | Daejung | 56.11 | 2.044 | 93~98 |

^aMolecular Weight, ^bSodium Silicate Solution (KS M 1415 Type 3), ^cLithium Silicate Solution, ^dColloidal Silica Solution, ^ePotassium methyl silicate.

일반적으로 성형재료를 건조를 통해 경화한 주형의 강도는 화학적 경화를 통해 얻은 주형의 강도보다 높은 것으로 알려져 있으며, 화학원료가 더 이상 투입되지 않는 건조법이 더욱 친환경적이며 무기바인더의 도입취지에 부합한다 할 수 있다. 무기바인더의 친환경적 요인을 극대화하고 기술저변을 확대하기 위해서는 주물사와 바인더가 혼합된 상태에서의 유동성과 가사시간, 주조 이후 주물과 모래의 이형성 등의 개선이 요구되며, 특히 바인더가 가지는 특유의 흡습성을 극복하기 위한 방안이 필요한 실정이다. 하지만 아직까지 규산염 수용액의 거동에 대한 이해와 자료는 부족하고 대체로 경험적인 조작에 의존하여 사용하고 있는 경우가 많다.

물유리는 보통 규사와 가성소다(또는 소다회)를 반응시켜 제조하는데, 실리카(SiO₂)와 알칼리 금속산화물(M₂O, M은 Na, K, Li)이 결합된 알칼리 실리케이트의 한 종류이다[7]. 국내에 시판 중인 물유리는 보통 Na₂O · nSiO₂ · xH₂O의 형태로 판매되고 있으며, 나트륨 이외에 칼륨이나 리튬으로 제조된 칼륨 실리케이트, 리튬 실리케이트도 판매되고 있다. 실리카와 알칼리 금속산화물의 혼합비율(R = SiO₂/M₂O)과 수분함량에 따라 다양한 특성을 보이는데, 무게 비를 R_w, 몰 비를 R_M으로 표기하여 성분비교에 활용된다. 규산나트륨은 경우 R_M = 1.032 R_w의 비율을 가지며, 물유리가 가지는 R_M 범위는 0.5~4가 일반적이다. 고상의 결정질 규산나트륨은 종종 결정수를 함유하기도 하나, 시판되는 제품으로는 orthosilicate (Na₂O · 0.5SiO₂), metasilicate (Na₂O · SiO₂) 그리고 disilicate (Na₂O · 2SiO₂)로 알려져 있다. 공기 중에서는 이산화탄소를 흡수하여 겔 모양의 규산이 석출되므로, 강한 접착력을 보인다. 강한 알칼리성인 물유리를 산으로 중화시켜 생성된 침전물을 건조시킨 것이 흡습제로 널리 이용되고 있는 실리카겔이다. 규산나트륨은 액상 또는 고상, 결정질 혹은 비정질 분말로 사용되고 있다. 무수 규산나트륨은 독립적으로 거동하는 SiO₃²⁻ 이온이 아닌 각 모서리를 공유하는 {SiO₄} 사면체로 구성된 사슬형태의 고분자 음이온이다[8-10]. 수분이 함유될 경우 5, 9수화물로 독립거동하며 안정적으로 존재하는데 용액 중 수분함량은 R (SiO₂/M₂O)비와 함께 규산염 수용액에 대한 독특한 조성과 용액의 밀도 등으로 정의된다. 하지만 무기바인더 원료로 활용하기 위한 물유리와 그 혼합 수용액의 거동에 대한 이해와 자료는 아직까지 부족하고, 경험적인 조작에 의존하여 사용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 silicate계 바인더 특히 물유리의 흡습성 문제 개선과 바인더와 주물사간 유동성 및 가사시간 등 주조성 향상을 위해 물유리와 Si 제공이 가능한 다양한 물질과 KOH의 혼합에 따른 특성변화를 살펴보고자 하였다. 물유리와 혼합 대상물질 각각의 FT-IR분석과 함께 일정성분비로 혼합한 혼합물의 IR spectrum을 측정하여 작용기의 변화를 확인하고자 하였으며, 혼합물의 점도변화를 관찰함으로써 향후 원료배합 시 혼합특성과 주물사와의 혼합특성 등의 예측에 활용코자 하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 시약은 Table 1과 같이 주요 물성치와 함께 표기하였으며, 별도의 전처리 없이 그대로 사용하였다. 모든 시약은 물에 용해 또는 분산된 상태로 존재하며, potassium methyl silicate (PMS)만이 1% 미만의 메탄올이 함유되어있다. 원료의 혼합은 물유리를 기준으로 일정범위의 무게비로 혼합하여 제조하였으며, 이 혼합물의 IR 분석과 점도를 측정하여 물유리와 혼합물간의 특성변화를 살펴 보았다.

시료의 다양한 IR 피크를 확인하고, 혼합물질의 작용기 변화를 관찰, 규명하기 위해 FT-IR (4700, JASCO)를 이용하였다. IR 분석은 KBr로 압축된 pellet 시료를 준비하여 측정하였고, 시료와 KBr의 무게비가 1 : 100 (시료 : KBr)이 되도록 혼합하여 일정량을 고압으로 압축하여 pellet을 제작하였다. 모든 시료는 4 cm⁻¹의 해상도로 2,000~450 cm⁻¹ 범위로 16회 스캔하여 측정된 스펙트럼을 얻었으며, 측정 전 대기 중의 물과 이산화탄소의 background 스펙트럼을 확보하여 보정하였다.

혼합물질의 점도는 점도계(DV2TLV, Brookfield)를 이용하여 측정하였다. 점도 측정온도는 25 °C로 설정하였으며, 모든 시료를 점도 측정 전 25 °C로 설정된 건조로에 충분히 보관한 후에 측정하였다. 측정 시료량은 6.7 mL, SC4-18 spindle을 이용하였으며, 측정 중 스펙트럼 회전속도를 조절하여 토크 값이 40~60% 사이를 유지할 때 기록되는 수치를 측정치로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물유리, LS, CS 및 PMS의 IR 분석

Figure 1은 물유리와 리튬 실리케이트(lithium silicate, 이하 LS), 콜로이드 실리카(colloidal silica, 이하 CS) 그리고 PMS의 FT-IR spectra이다. 물유리의 주요 흡수밴드는 1,140, 1,020, 890, 770, 620 cm⁻¹로 나타났다. Si-O의 흡수밴드 중, 1,140 cm⁻¹는 산소원자가 proton과 결합한 작용기의 비대칭 신축진동에 의한 것이다. 이 밖에 수용액의 protons과 관련된 밴드인 770 cm⁻¹는 (H)O-Si-O(H)의 비대칭 변형진동, 620 cm⁻¹는 (H)O-Si-O(Na)의 비대칭 변형진동에 기인한 것으로 알려져 있다[11]. 1,020 cm⁻¹ 부근의 흡수밴드는 Si-O(Na) 비대칭 신축진동에 의한 것이며, 890 cm⁻¹ 부근의 흡수밴드는 Si-O(Na)의 대칭 신축진동에 의한 흡수밴드이다[12]. LS의 주요 흡수밴드는 1,110, 1,050, 790, 470 cm⁻¹ 부근에서 나타났다. 1,110 cm⁻¹ 부근의 흡수밴드는 Si-O(H)의 비대칭 신축진동에 의한 것이고, 790 cm⁻¹ 부근의 흡수밴드는 (H)O-Si-O(H)의 비대칭 변형진동에 의한 것으로 판단된다. 1,050cm⁻¹ 부근의 흡수밴드는 Si-O(Li)의 비대칭 신축진동에 의한 것

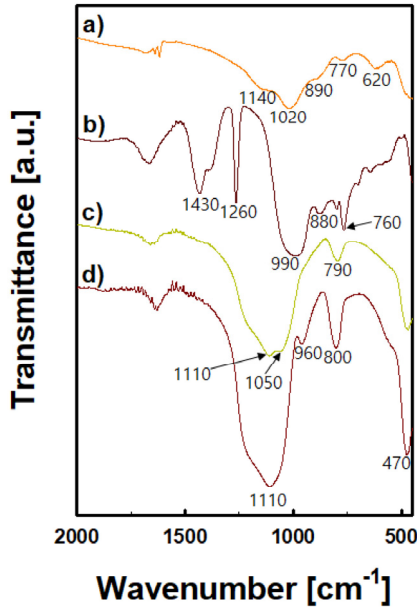


Figure 1. FT-IR spectra of used materials : (a) water glass, (b) potassium methyl siliconate (PMS), (c) lithium silicate(LS) and (d) colloidal silica (CS).

이며[13], 기타 Li^+ 이온과 관련된 흡수밴드는 $600 \sim 500 \text{ cm}^{-1}$ 부근에서 발견될 것으로 예측되나 명확한 peak를 확인할 수는 없었다. CS의 IR spectrum에서 확인된 흡수밴드는 $1,110, 960, 800, 470 \text{ cm}^{-1}$ 이다. CS는 콜로이드 상태의 SiO_2 가 주성분으로 SiO_2 의 IR spectrum과 거의 흡사하게 나타났다. $1,110 \text{ cm}^{-1}$ 부근의 흡수밴드는 Si-O-Si 비대칭 신축진동에 의한 것이고, 470 cm^{-1} 부근의 흡수밴드는 O-Si-O 변형진동에 의한 것으로 알려져 있다[14,15]. 800 cm^{-1} 부근의 흡수밴드는 가교결합 산소(bridging oxide or inter-tetrahedral)의 Si-O-Si 신축진동에 의한 것이며, 960 cm^{-1} 부근의 흡수밴드는 Si-OH와 관련된 것으로 알려져 있다[14]. PMS의 IR spectrum에서 관찰되는 주요 흡수밴드는 $1,430, 1,260, 990, 880, 760 \text{ cm}^{-1}$ 등에서 나타났다. 이 중 $1,430 \text{ cm}^{-1}$ 인근의 흡수밴드는 CH_2 의 bending과 wagging에 의한 대칭변형진동에 의한 것으로 판단된다. $1,260$ 와 760 cm^{-1} 인근의 흡수밴드는 각각 Si- CH_3 와 Si-C의 신축진동과 관련된 것으로 판단되며, 990 그리고 880 부근의 흡수밴드는 Si-OH기의 Si-O 신축진동에 의한 것과 Si와 관련된 다양한 결합에서 기인한 것으로 판단된다[16].

3.2. LS와 KOH의 첨가에 따른 물유리의 특성변화

Table 2는 물유리와 LS 그리고 이 두 물질을 무게비로 일정비율 혼합한 시료의 점도측정결과를 나타낸 것이다. 물유리와 LS의 측정된 점도는 각각 $134.1, 4.5 \text{ cP}$ 이었으며, 물유리에 LS를 일정비율 혼합할수록 점도는 20 wt\% 혼합 시까지 278.4 cP 로 증가하였으나 이후 혼합량이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 이는 소량의 LS가 투입될 경우, silicate 제공자로 작용해 내부 점도가 높아지는 추세를 보이지만 그 양이 증가할수록 Li^+ 이온이 silicate 가교결합을 차단하기 때문인 것으로 판단된다. Figure 2는 점도 측정을 위해 준비된 시료의 FT-IR spectra이다. 전체적으로 물유리의 IR spectrum을 유지하고 있는 것으로 보이며, LS의 함량에 따라 미세하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. LS의 함량이 증가할수록 620 cm^{-1} 부근의 흡수밴드가 줄어드는 양상을 보이는데, 이는 (H)O-Si-O(Na)의 비대칭변형진동에 의

Table 2. Viscosity of Water Glass Mixtures with Different LS Composition

| Composition (wt%) | | Viscosity (cP) |
|-------------------|------------------|----------------|
| Water glass | Lithium silicate | |
| 100 | | 134.1 |
| 90 | 10 | 144.9 |
| 80 | 20 | 278.4 |
| 70 | 30 | 138.3 |
| 60 | 40 | 100 |
| | 100 | 4.5 |

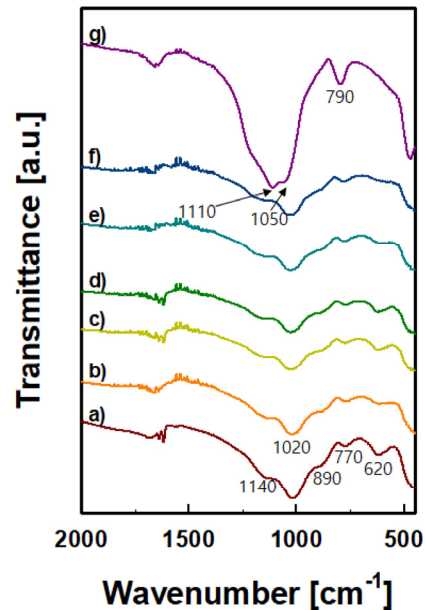


Figure 2. FT-IR spectra of water glass mixtures with different LS composition; (a) water glass, (b) 10 wt% LS, (c) 20 wt% LS, (d) 30 wt% LS, (e) 40 wt% LS, (f) 50 wt% LS and (g) LS.

한 흡수밴드인 점을 감안할 경우 Li의 함량의 증가로 인해 서로 상쇄되는 것으로 판단된다. 이와 함께 LS의 함량증가는 1020 cm^{-1} 에서의 흡수밴드의 깊이도 줄어들게 하는 결과를 보였다.

알칼리 금속이온의 첨가가 물유리에 어떠한 특성변화를 일으키는 지 살펴보기 위해 KOH를 무게비로 0.5, 1, 2, 4%를 각각 혼합하여 점도를 측정하고 IR 분석을 실시하였다. Table 3을 보면, KOH의 첨가량이 증가할수록 점도는 낮아졌으며, K^+ 이온의 직접적인 제공으로 인해 기존 물유리 내 형성되어 있는 Si망상결합사슬이 줄어들면서 점도가 낮아지는 것으로 판단된다. Figure 3은 KOH 첨가량에 따른 물유리 내 분자결합구조 관찰을 위한 IR 분석 결과이다. 분석결과 KOH의 함량 변화에 상관없이 기존 물유리의 흡수밴드와 유사한 위치에서 비슷한 경향의 spectrum을 보였다. 물유리 중 Na^+ 이온이 결합을 관여하는 흡수밴드는 O-Si-O 결합 중 인접 이온(H^+, Na^+)에 따라 다르게 나타나지만, 전체 이온비율에 비해 K^+ 의 양이 크지 않고, 전체적으로 수화된 상태로 (H)O-Si-O(K) 또는 (K)O-Si-O(K)와 같은 흡수밴드는 관찰하기가 어려웠다. 하지만 비교적 소량의 첨가량으로도 물유리의 점도를 큰 폭으로 변화시킬 수 있었고, 향후 구조용 바인더로 활용 시 유동성 조절제로 활용할 여지가 있음이 확인되었다.

Table 3. Viscosity of Water Glass Mixtures with KOH

| Composition (wt%) | | Viscosity (cP) |
|-------------------|-----|----------------|
| Water glass | KOH | |
| 100 | | 134.1 |
| 99.5 | 0.5 | 104.4 |
| 99 | 1 | 89.4 |
| 98 | 2 | 70.2 |
| 96 | 4 | 54.3 |

Table 4. Viscosity of Water Glass Mixtures with CS, PMS and KOH

| Composition (wt%) | | | | Viscosity (cP) | Remark |
|-------------------|------------------|-----------------------------|-----|----------------|----------------------------|
| Water glass | Colloidal Silica | Potassium Methyl Siliconate | KOH | | |
| 100 | | | | 134.1 | Figure 4-c |
| | 100 | | | 6.9 | Figure 4-a |
| | | 100 | | 9.05 | Figure 4-b |
| 80 | 20 | | | - | Figure 4-d (gelation) |
| 78 | 20 | | 2 | 4,660 | Figure 4-e |
| 80 | | 20 | | - | Figure 4-g, h (separation) |
| 78 | | 20 | 2 | 31 | Figure 4-f |

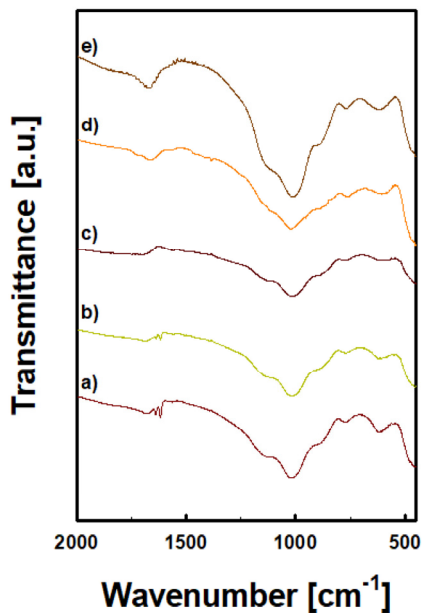


Figure 3. FTIR spectra of water glass mixtures with different KOH composition; (a) water glass, (b) 0.5 wt% KOH, (c) 1 wt% KOH, (d) 2 wt% KOH and (e) 4 wt% KOH.

3.3. CS와 PMS의 혼합에 따른 물유리의 특성변화

물유리에 CS와 PMS를 각각 20 wt% 혼합할 경우 CS를 혼합한 경우에는 곧바로 겔화되었으며, PMS를 첨가한 경우에는 상분리가 생기면서 혼합이 되지 않았다. 물유리와 CS의 혼합은 CS의 주성분인 SiO₂가 물유리 내부 Si 망상결합수를 증가시키는 요인으로 작용하면서 Si source만 제공될 경우 망상결합이 촉진되면서 겔화가 진행된다는 것을 확인하였다. 한편 Si수지를 다량 함유하고 있는 PMS를 투입

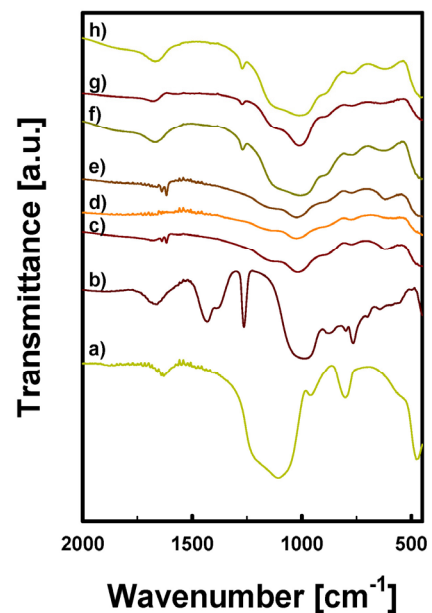


Figure 4. FTIR spectra of water glass mixtures with CS and PMS; (a) CS, (b) PMS, (c) water glass, (d) water glass + CS (20 wt%), (e) water glass + CS (20 wt%) + KOH (2 wt%), (f) water glass + PMS (20 wt%) + KOH (2 wt%), (g) water glass + PMS (20 wt%) [upper solution], and (h) water glass + PMS (20 wt%) [under solution].

할 경우에는 비극성 Si수지로 인해 혼합이 원활하지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

이 혼합물에 KOH를 무게비로 2% 혼합할 경우, CS와 혼합된 용액의 경우 점도가 4,660 cP로 매우 높은 점성질 액체가 되지만 겔화를 억제할 수 있었으며, PMS는 충분히 없이 고루 섞이는 것을 확인하였

다. 이러한 결과를 Table 4에 나타내었다. 비교적 소량이지만 KOH 투입은 서로 다른 기작으로 두 물질간의 혼합을 원활히 하는데 도움을 주는 것으로 확인하였으며, CS의 경우 K^+ 이온의 제공으로 인한 망상 결합 억제, PMS의 경우 Si 수지 chain을 끊어 주거나 Si-OH결합을 증가시킴으로써 물유리와 고루 섞일 수 있도록 작동하는 것으로 판단된다. 위 혼합물의 IR 분석 결과를 물유리(c), CS (a) 그리고 PMS (b)와 함께 Figure 4과 같이 나타내었다. 물유리와 CS혼합물은 (d), (e)이며, f~i)는 PMS 혼합물의 IR spectra이다. LS와 마찬가지로 물유리의 spectrum에 혼합물의 혼합정도에 따라 흡수밴드가 약간씩 변화하는 것을 확인할 수 있었다. CS혼합물 중 d)와 e)는 KOH 추가 투입여부에 따라 구별하였지만 IR 분석결과 KOH 첨가가 흡수밴드의 변화에는 크게 관여하지 않는 것으로 나타났다. PMS와 물유리를 혼합하면 두 물질이 고루 섞이지 않아 KOH를 혼합한 혼합물의 IR은 Figure 4-f)와 같이 나타내었다. 한편 KOH가 혼합되지 않은 물유리와 PMS혼합물의 상부에는 하얀색의 크림과 같은 물질이 아래쪽에는 불투명한 용액이 생성되었으며, 이를 각각 IR 분석하여 그 spectrum을 Figure 4의 i)와 g)로 나타내었다. CS를 혼합하였을 경우와는 달리 $1,260\text{ cm}^{-1}$ 부근의 Si-CH₃ 신축진동과 관련된 흡수밴드가 관찰되었으며, PMS에서 나타난 990 cm^{-1} 부근의 흡수밴드가 광범위하게 관찰되었다. 하지만 물유리가 가지는 $890, 770, 620\text{ cm}^{-1}$ 부근의 흡수밴드는 그대로 유지하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

중사용 무기바인더의 주요 원료로 사용가능한 물유리와 그 첨가제 로 사용될 수 있는 LS, CS, PMS 및 KOH를 다양한 비율로 배합하여 혼합물의 점도와 FT-IR 분석을 실시하였으며, 조사한 결과는 다음과 같다.

(1) 물유리와 LS, CS 그리고 PMS의 개별물질에 대한 FT-IR 분석결과, 물유리와 LS는 silicate 용액으로 대체로 유사한 흡수밴드를 가지며 Li^+ 과 Na^+ 이온의 내부 interaction에 따른 흡수밴드 차이를 보였으며, CS는 SiO_2 가 콜로이드 상태로 분산된 용액로 SiO_2 의 고유 흡수밴드만 존재함을 확인하였다. PMS에서는 주요 작용기인 Si-CH₃, Si-C의 흡수밴드를 확인할 수 있었으며, Si-O(H) 또는 Si-O(K)로 예측되는 다양한 흡수밴드가 관찰되었다.

(2) 물유리에 일정비율로 LS를 혼합한 시료의 점도측정결과 20 wt% 미만의 LS 혼합 시에는 점도가 증가하였으나 20 wt% 이상일 경우 점도는 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 물유리에 KOH를 첨가할 경우 첨가량이 증가할수록 점도는 낮아지는 것을 확인하였다. 이러한 점도의 변화는 알칼리 금속이온과 Si 망상결합으로 설명된다.

(3) 물유리에 CS와 PMS를 단순 혼합할 경우 서로 다른 이유로 혼합이 이루어지지 않았으나, KOH를 첨가함으로써 원활한 혼합을 유도할 수 있었다. 이를 통해 silicate계 바인더의 구조성 향상을 위한 다양한 특성부여 방안이 확보될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사

본 연구는 산업통상자원부의 산업기술혁신사업(과제번호 : 10051955)과 한국생산기술연구원 연구개발적립금사업(과제번호 : UR170016)으로 수행된 연구결과입니다.

References

1. T. Steinhäuser, Method for producing core preforms and recycling core sand for a foundry, *US Patent* 6,371,194 (2001).
2. W. Martin, Mold or blank, molding material mixture for casting, and method for the production thereof, *WO Patent* 2007-104469 (2007).
3. C. K. Johnson, K. T. Tse, L. S. Zaretskyi, and B. E. Algar, Binder for cores and molds, *US Patent* 6,299,677 (2001).
4. L. Xia, Y. Zhang, and J. Huang, A New Compound Phosphate Heat-cured Foundry Binder, *Adv. Mater. Res.*, **97-101**, 979-982 (2010).
5. Y. A. Owusu, Physical-chemistry study of sodium silicate as a foundry sand binder, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **18**, 57-91 (1982).
6. J. Nordström, A. Sundblom, G. V. Jensen, J. S. Pedersen, A. Palmqvist, and A. Matic, Silica/alkali ratio dependence of the microscopic structure of sodium silicate solutions, *J. Colloid Interface Sci.*, **397**, 9-17 (2013).
7. Y. Ryu and M. S. Lee, Infrared spectra and thermal properties of sodium silicate solutions, *Korean J. Metals Mater.*, **56**(1), 72-78 (2018).
8. F. Liebau, *Structural Chemistry of Silicates: Structure, Bonding, and Classification*, Springer-Verlag, Berlin, Germany (1985).
9. T. T. Trinh, A. P. J. Jansen, and R. A. van Santen, Mechanism of oligomerization reactions of silica, *J. Phys. Chem.*, **110**, 23099-23106 (2006).
10. W. S. McDonald and D. W. J. Cruickshank, A Reinvestigation of the structure of sodium metasilicate, Na_2SiO_3 , *Acta Cryst.*, **22**, 37-43 (1967).
11. R. A. van Santen and D. L. Vogel, Lattice dynamics of zeolites, *Adv. Solid-State Chem.*, **1**, 151-224 (1989).
12. A. S. Tenney and J. Wong, Vibrational spectra of vapor deposited binary borosilicate glasses, *J. Chem. Phys.*, **56**, 5516-5523 (1972).
13. T. Fuss, A. Mogus-Milankovic, C. S. Ray, C. E. Leshner, R. Youngman, and D. E. Day, Ex situ XRD, TEM, IR, Raman and NMR spectroscopy of crystallization of lithium disilicate glass at high pressure, *J. Noncryst. Solids*, **352**, 4101-4111 (2006).
14. Q. W. Chen, X. G. Li, Y. H. Zhang, and Y. T. Qian, Ferroelectric properties of porous silicon, *Adv. Mater.*, **25**, 134-137 (2002).
15. M. M. Mahmoud, D. C. Folz, C. T. A. Suchicital, and David E. Clark, Crystallization of lithium disilicate glass using microwave processing, *J. Am. Ceram. Soc.*, **95**, 579-585 (2012).
16. S. Zhang, X. Zhang, and W. Shang, Chemical investigation of potassium methyl silicate as deacidification and strengthening agent for preservation of aged papers, *Chin. J. Polym. Sci.*, **33**(12), 1672-1682 (2015).