

Wetting Behavior of Molten Salt on the Ceramic Filter Separators for Thermal Batteries

Kwang Youn Cho[†], Doh Hyung Riu, Seung Hun Huh, Dong Geun Shin,
Hyoun Ee Kim*, Jong Hwa Choi**, and Hae-Won Cheong**

Division of Nano Materials Application, KICET, Seoul 153-801, Korea

*Department of Materials Science and Engineering, Seoul University, Seoul 151-742, Korea

**Agency for Defense Development, Daejeon 305-600, Korea

(Received July 1, 2008; Accepted July 14, 2008)

열전지용 세라믹 필터 분리판내 용융염의 젖음 거동

조광연[†] · 류도형 · 허승헌 · 신동근 · 김현이* · 최종화** · 정해원**

요업기술원 나노소재응용본부

*서울대학교 재료공학부

**국방과학연구소 제4기술연구본부

(2008년 7월 1일 접수; 2008년 7월 14일 승인)

ABSTRACT

Ceramic Fiber separator is the promising material for thermal battery system because it reduces the production cost and offers the potential to a new application compared to a pellet type electrolyte. The molten salt electrolytes for thermal battery were prepared by the impregnation of the commercial glass filters such as GF-A, C and F (Whatman, USA) with two types of molten-lithium salts, LiCl-KCl and LiK-LiBr-LiF. The wetting properties were evaluated by wetting balance test and wetting angle measurement. The wetting behaviors were strongly affected by the composition of the molten salts and the pore structure of the glass separators. The optimum wetting conditions for maximum loading and effective retention of the molten electrolyte were also studied.

Key words : Thermal battery, Wetting, Ceramic fiber, Electrolyte separator, Li salt

1. 서 론

열전지는 주로 높은 신뢰도가 요구되는 군사용으로 사용되고 있다. 열전지의 사용은 2차세계대전 중 독일의 V2 로켓에 최초로 적용하여 사용하였다.¹⁻²⁾ 이러한 열전지의 전해질로 1947년 미국 Catalyst Research Corp.(CRC)에서 리튬(Li)원소가 포함된 공융할라이드계 화합물인 LiCl-KCl을 선정하여 사용한바 있다.¹⁻³⁾ 리튬할라이드 공융염의 융점은 352로 상온에서는 고체상태로 존재하며, 조성변화도 거의 일어나지 않아 매우 안정한 화합물로 20년 이상 보관이 가능하다. 또한 작동 시 높은 출력을 낼 수 있기 때문에 군사용으로 적합하여 활발한 연구가 진행이 되고 있다. 최근에는 좀더 높은 출력을 발현하는 전해질을 개발하기 위해 다양한 리튬염 연구가 진행되고 있으며, 3성분계 리튬염 중 LiCl-LiF-LiBr염이 가장 리튬이온(Li⁺)의 농도가 높고 이온전도도도 높다고 보고 되어 있다.³⁻⁵⁾

열전지가 작동되기 위해서는 리튬염 전해질의 리튬이온이 이동 가능하도록 고체상태인 리튬염 전해질이 용융이 되어야 한다. 열전지는 리튬염 용융에 필요한 열을 제공하는 열원, 양극, 음극 및 전해질로 구성된 단전지를 여러 장 직렬로 쌓아서 원하는 출력전압을 나타내도록 설계된다. 이때 리튬염은 용융 시 열전지내에서 휘발가스가 발생하지 않도록 증기압이 낮아야 한다. 그리고 접촉하는 음극과 양극소재와 반응이 없어야 하며, 수분과 산소와 반응이 없어야 용융된 리튬염의 수산화물과 산화물을 생성을 억제하여 전기적특성 저하를 방지할 수 있다. 또한 용융온도는 양극과 음극재료의 분해온도보다 낮아야 정상적인 전지로서 역할을 하게 된다.³⁻⁷⁾

열원에서 발생한 열에 의해 전해질이 용융되면서 이온전도성을 띄게 됨에 따라 기전력을 발생하게 되어 있다. 이때 용융된 전해질의 점도가 매우 낮아지기 때문에 용융된 전해질을 잡아줄 지지체가 필요하다. 초기에 사용된 전해질지지체는 밀봉된 상태로 사용되는 Cup-and-cover 방식을 사용하다가 MgO분말과 혼합하여 성형하는 펠렛 방식으로 발전해 왔다.²⁾ MgO분말과 혼합된 펠렛타입은 제작이 용이하여 양산이 가능하고 용융된 전해질을 잡아

[†]Corresponding author : Kwang Youn Cho
E-mail : kyocho@kicet.re.kr
Tel : +82-2-3282-7711 Fax : +82-2-3282-7769

주는 역할이 우수하여 누액에 의한 단락(Short-circuit) 방지와 출력저하 방지효과가 향상되었다. 하지만 MgO분말과 혼합하여 펠렛형상으로 성형한 리튬염전해질은 쉽게 부서져 취급하기 어렵고 장착 시 파손에 의한 단락현상이 발생하기도 한다. 따라서 최근엔 전해질 펠렛의 기계적 강도를 향상시키기 위해서 세라믹 필터를 리튬의 지지체로 사용하는 연구가 진행이 되고 있다. 세라믹 필터는 연속적인 섬유상으로 구성되어 리튬염이 섬유 사이사이에 젖어 들어가면서 복합재형태의 조직을 형성하기 때문에 전해질 펠렛의 기계적 강도가 높아진다.⁷⁻⁹⁾

본 연구에서는 세라믹필터로 상용화된 Whatman사 유리필터를 리튬염의 지지체로 선정하여 리튬염과 젖음특성을 관찰하였다. 실험에 사용한 리튬염은 기존에 안정적으로 사용한 2성분 공용염(LiCl-KCl)과 리튬이온농도가 높아 이온전도도가 높은 3성분 공용염(LiCl-LiF-LiBr) 2종을 선정하였다. 리튬염과 세라믹필터간의 젖음특성은 Wetting balance method¹⁰⁾를 이용하여 유리필터와 용융된 리튬염간의 젖음특성을 평가하는 방법에 초점을 맞추었다. 온도에 따른 2성분 공용염과 3성분 공용염의 녹는점을 관찰하고 고온현미경을 관찰을 통해 온도에 따른 젖음각을 측정하였다. 그리고 Wetting balance method를 통해 젖음시간, 젖음평형량 등을 측정하여 유리필터의 젖음거동을 관찰하였다. 이를 유리필터의 기공크기와 관련지어 분석함으로써 답지되는 리튬염의 젖음거동에 관해 논의하고자 한다.

2. 실험 방법

리튬염의 지지체는 미국 Whatman사에서 생산하는 상업용 유리필터 GF-A, C, F를 선정하였다. 유리필터의 평균기공크기는 GF-A 1.6 μm, GF-C 1.2 μm, GF-F 0.7 μm

Table 1. Properties of Glass Filter(Whatman USA)

Major physical characteristics	Properties
Pore size	GF-A (1.6 μm), GF-C (1.2 μm), GF-F (0.7 μm)
Annealing point	560°C
Softening point	815~820°C
Density	2.23~2.24 g/cm ³

Table 2. Properties of Lithium Salt

Contents	2Phase Li salt	3Phase Li salt
Chemical composition	LiCl-KCl	LiCl-LiF-LiBr
Particle size	10 μm	10 μm
Melting point	359°C	450°C
Density	1.59 g/cm ³	2.17 g/cm ³

이다. 유리필터 소재는 Borosilicate계 유리이며 특성은 Table 1에 나타내었다. 사용한 공용염은 수분과 민감하게 반응하므로 밀봉된 상태에서 공기분위기(상대습도 1% 이하)를 유지한 글러브박스에서 보관하여 사용하였다. 실험에 사용한 리튬염의 물성특성은 Table 2에 나타내었다.

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 유리필터 GF-A, GF-C, GF-F를 각각 너비 5 mm 길이 50 mm의 bar형태로 자른 후, 길이방향으로 용융된 리튬염에 Cross speed 0.2 mm/min으로 담기도록 하면서 Wetting balance test를 실시하였다. Wetting balance test는 Rhesca사(USA)의 SAT-5000 모델을 사용하였다. Bar형태의 유리필터가 용융된 리튬염에 닿기 시작하면서 유리필터에 젖는 리튬량과 젖음평형시간을 측정하였다. 측정조건은 2성분 리튬염(LiCl-KCl), 3성분 리튬염(LiCl-LiF-LiBr)이 충분히 용융이 되도록 대략 10 g정도를 Wetting balance tester 용기에 넣고 500°C에서 30분정도 가열하여 충분히 용융이 되도록 한 후에 유리필터 종류별로 각각 젖음량과 젖음평형시간을 측정하였다.

리튬염의 표면장력 측정을 위해 고온현미경(Electric furnace, Ultra-high pressure mercury lamp, Okdoo사 Korea)을 이용하여 리튬염과 Borosilicate glass 기판간의 젖음각을 측정하였다. 측정된 리튬염의 젖음각과 젖음량은 Young's equation(삼중점식)과 Laplace equation(메니스커스)을 통해 아래와 같이 유도된다.¹⁰⁾

$$\text{Young's equation } Y_{SV} - Y_{LS} = Y_{LV} \cos\theta \quad (1)$$

여기서 Y_{SV}, Y_{LS}, Y_{LV} : 고상와 기상, 액상와 고상, 액상와 기상간의 표면장력

θ : 액체와 기상의 접촉각

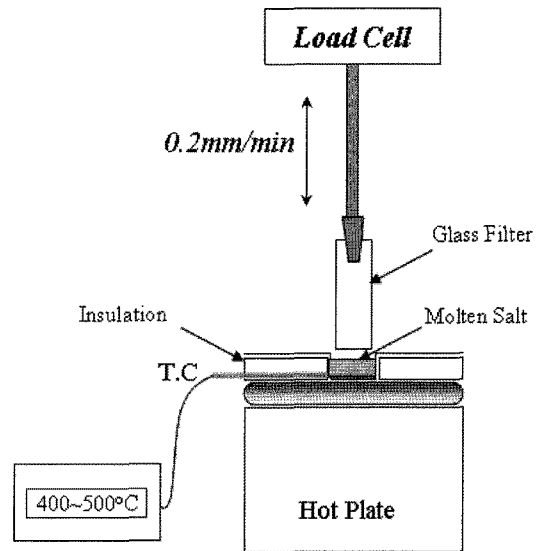


Fig. 1. Schematic diagram of Wetting balance test on molten lithium salt.

$$\text{Laplace equation } \Delta P = Y_{LV} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (2)$$

여기서 R_1, R_2 : 젖음액체와 기판간의 곡률반경

$$F = PY \cos \theta - pgV \quad (3)$$

여기서 F = 젖음량 P = bar 시험편의 전체둘레
 Y = 용융리튬염의 표면장력 θ = 용융리튬염의 젖음각
 p = 용융리튬염의 밀도 g = 중력가속도
 V = 침지된 시편의 부피

유도된 젖음량식에 측정된 물성값을 대입하여 용융된 2성분 리튬염(LiCl-KCl), 3성분 리튬염(LiCl-LiF-LiBr)의 표면장력을 구하였다. 2성분 리튬염(LiCl-KCl), 3성분 리튬염(LiCl-LiF-LiBr)의 열적거동에 대한 data를 얻기 위해 열중량분석을 행하였고 사용한 기기는 스위스 Mettler사의 TGA/SDTA851 Thermal analysis system이다. 분석에 사용된 시료의 양은 약 20 mg이었고, 공기 중에서 25°C부터 600°C까지 5°C/min의 속도로 승온하였다. 용융된 리튬염의 유리필터내에 젖음상태를 관찰하기 위해 주사전자현미경(SEM, TAPCON사 US, SM300)을 통해 유리필터의 종류별(기공크기) 리튬염 담지 미세조직을 관찰하여 유리필터와 용융된 2성분 리튬염(LiCl-KCl), 3성분 리튬염(LiCl-LiF-LiBr)간의 젖음 거동을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 2성분계 공용염(LiCl-KCl)과 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)의 온도에 따른 DSC 분석이다. 2성분계 공용염과 3성분계 공용염에서 수분의 증발과 Li-hydrate 분해 그리고 용융반응 등이 일어났다. 2성분계 공용염은 녹는점이 359°C이고 3성분계 공용염의 녹는점은 450°C로 2성분계 공용염보다 약 90°C 이상 높았다. 그리고 3성분계 공용염이 상대적으로 수분증발과 Li-hydrate 피크가 크게

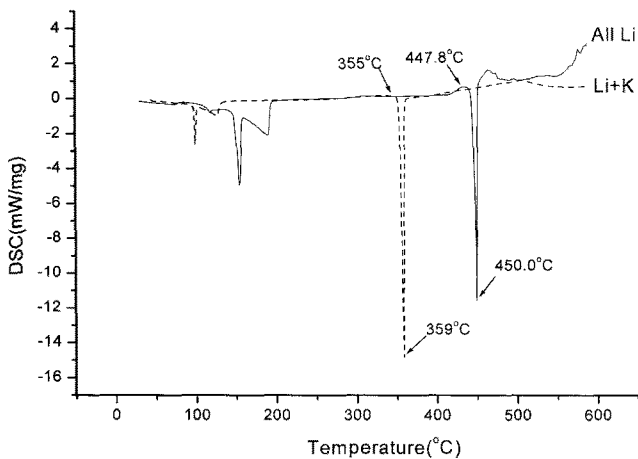


Fig. 2. DSC curves of Li salt as a function of temperature.

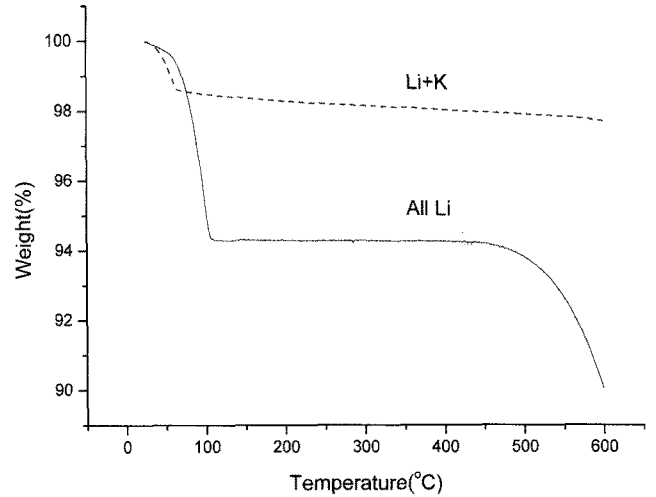


Fig. 3. TGA curves of Li salt as a function of temperature.

나타나 수분에 매우 민감하게 반응하고 있다는 것을 관찰하였다. Fig. 3은 2성분계 공용염(LiCl-KCl)과 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)의 온도에 따른 열중량(TG) 분석이다. Fig. 2에서 관찰한바와 같이 3성분계 공용염의 수분과 민감하게 반응하여 2성분계 공용염에 비해 증발량이 많았다. 그리고 450°C 이상에서는 3성분계 공용염의 급격한 휘발이 일어나 상대적으로 불안정하였다. 하지만 3성분계 공용염은 100°C에서 450°C까지는 중량변화가 거의 없는 안정된 구간을 보이고 있다. 반면 2성분계 공용염의 경우는 수분의 휘발량은 상대적으로 적었으나 50°C 부근에서 600°C까지 온도가 상승하면서 소량씩 연속적인 중량감소가 일어났다.

Figs. 4와 5는 각각 2성분계 공용염(LiCl-KCl)과 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)의 젖음각 측정을 위해 고온현미경 관찰사진이다. 공용염의 젖음각은 유리필터와 같은 재질인 Borosilicate glass 기판 위에서 공용염의 온도에 따른 젖음상태를 관찰하였다. 2성분계 공용염은 350°C 부근에서 녹기 시작하였으며, 젖음평형이 이루어진 417°C에서 젖음각이 51°임을 알 수 있다. 반면 3성분계 공용염은 450°C 부근에서 녹기 시작하여 460°C 부근에서 젖음평형에 도달하였으며, 이 때 4°의 젖음각을 가짐을 알 수 있다. 리튬염 전해질은 유리필터 내에 용융된 리튬염을 담지시키는 공정이므로 유리필터 내 Borosilicate glass 섬유와 용융 리튬염의 젖음특성은 유리필터로의 전해질의 담지량을 결정 짓게 된다. 본 고온현미경 관찰을 통해 볼 때 2성분계 공용염은 350°C에서 417°C까지 넓은 온도범위에서 담지가 될 수 있으나 3성분계 공용염에 비해 젖음특성이 좋지 않는 것으로 판단된다. 반면 3성분계 공용염의 경우엔 451°C에서 466°C까지 상대적으로 좁은 온도 범위에서 담지 될 수 있어 제조공정의 안정성은 상대적으로 떨어지는 것으로 판단된다. 하지만 2성분계 공용염

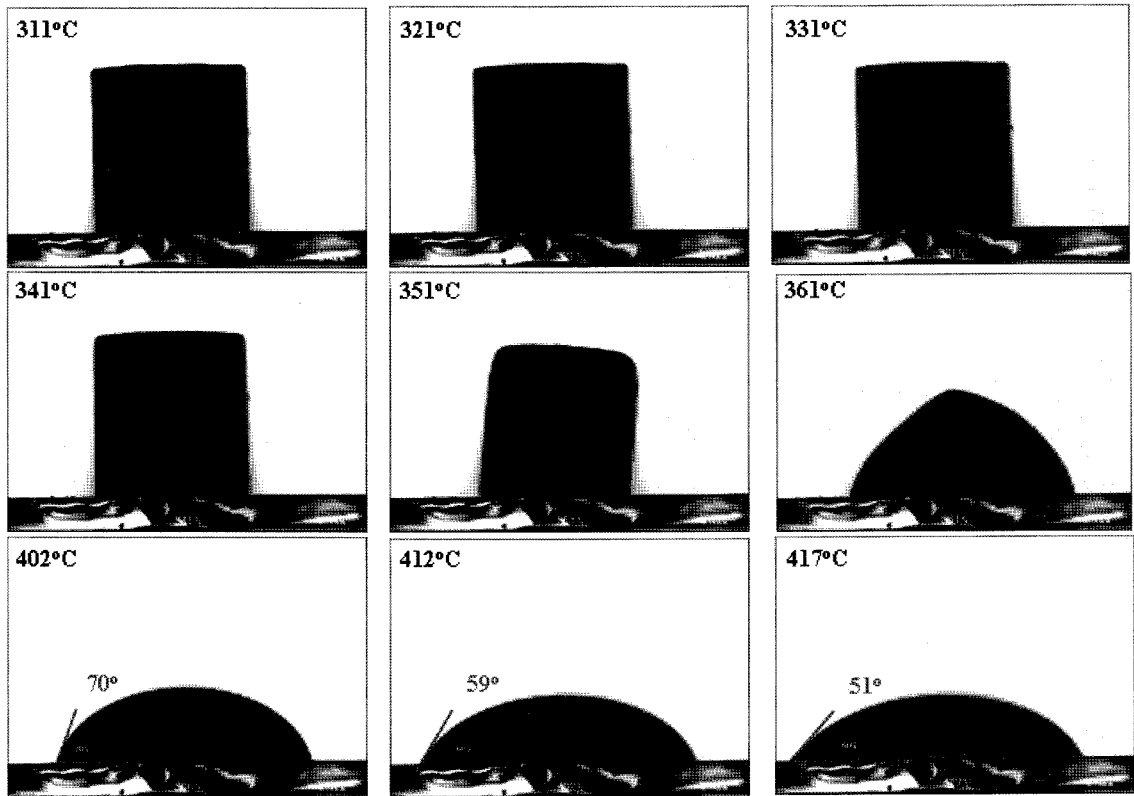


Fig. 4. Images of high temperature optical microscope with Li salt(LiCl-KCl).

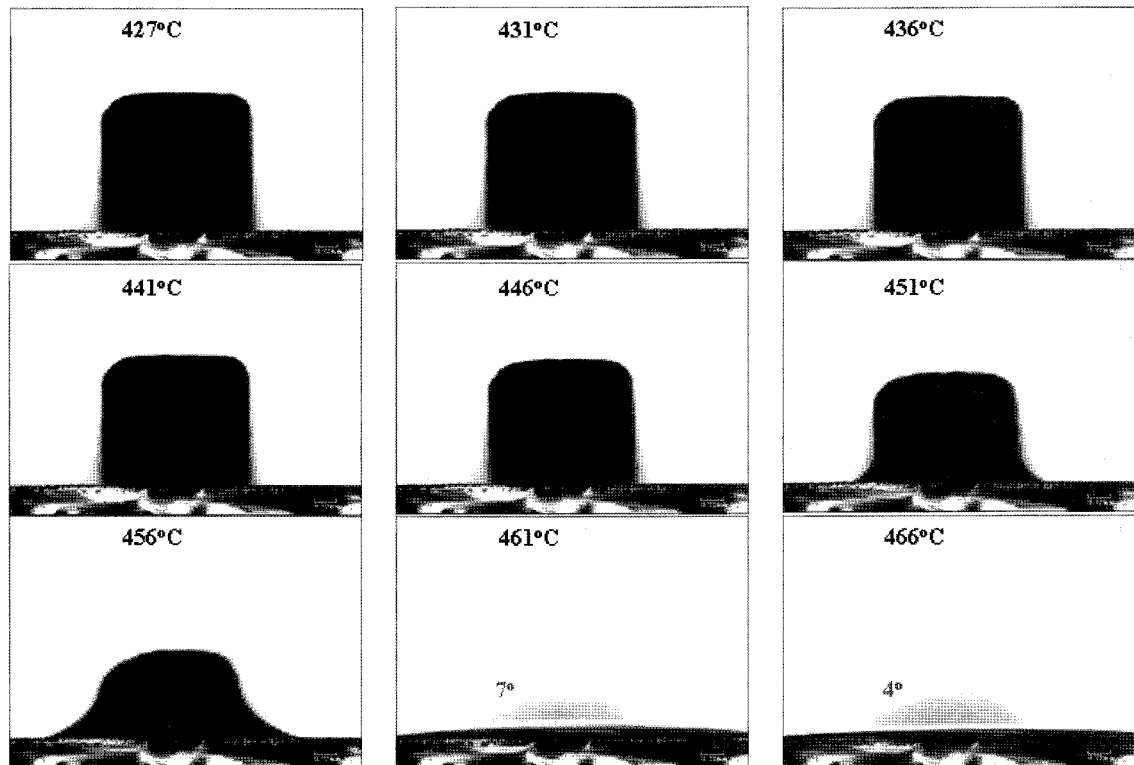


Fig. 5. Images of high temperature optical microscope with Li salt(LiCl-LiF-LiBr).

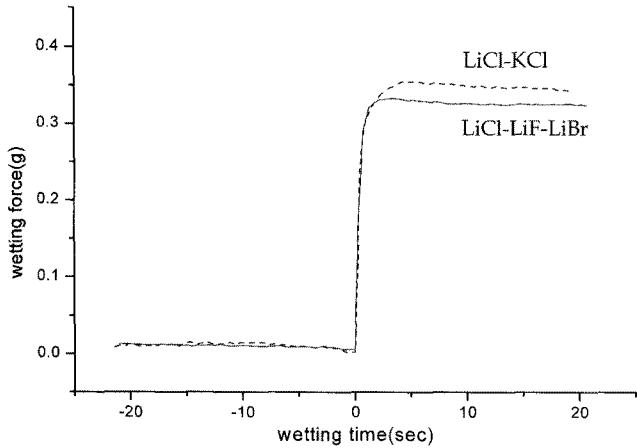


Fig. 6. Wetting forces(g) of molten Li-salt as function of wetting time.

에 비해 젖음특성이 좋아 용융된 상태에서는 유리필터내로의 젖음속도가 빠르게 진행되고 섬유사이의 빈공간을 치밀하게 젖으면서 채워질 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Borosilicate glass 막대를 용융된 리튬염에 담지하면서 젖음시간에 따른 유리면에 용융된 리튬염의 젖음량을 관찰한 것이다. Table 3은 젖음량 실험결과를 토대로 식 (1)의 YOUNG'S equation(용융된 액체의 삼중점)과 식 (2)의 LAPLACE equation(매니스커스)에서 유도된 식 (3)의 젖음량 공식($F = PY\cos\theta - pgV$)에서 산출한 2성분계 공용염(LiCl-KCl)과 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)의 표면장력 결과이다. 2성분계 공용염(LiCl-KCl)은 젖음각이 커서 용융된 리튬염 자체의 응집력이 상대적으로 높은 것을 확인하였는데 젖음량 또한 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)에 비해 높게 나타났다. 2성분계 공용염은 젖는 속도가 느리지만 용융된 리튬염 자체의 응집력이 상대적으로 크고 Borosilicate glass에 대한 젖음특성이 좋아서 젖는 용융리튬염의 양이 많았다. 반면 3성분계 공용염의 경우 용융이 되면, 물과 같은 정도의 작은 젖음각을 나타내고 있어 응집력이 작고 Borosilicate glass에 대한 젖음특성이 좋지 않아 젖는 용융리튬염의 양이 작았다. 하지만 낮은 점도로 인해 젖음평형에 도달하는 시간은 상대적으로 빠르게 나타났다. 표면장력은 2성분계 공용염(LiCl-KCl)은 123 dyne/cm, 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)은 80 dyne/cm였다. 3성분계 공용염의 경우 물의 표면장력 79 dyne/cm와 같은 값을 나타내, 용융시 매우 묽은 상태임을 확인하였다.

Figs. 7, 8은 Wetting balance test에 의해 유리필터 GF-F,

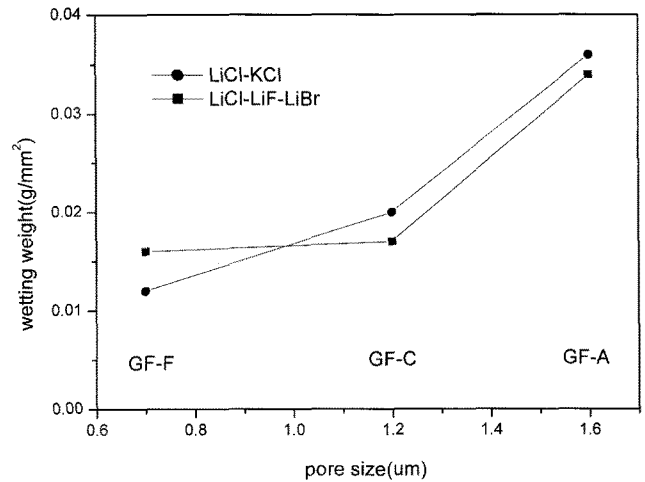


Fig. 7. Wetting weights of glass filter with Li salt as a function of pore size.

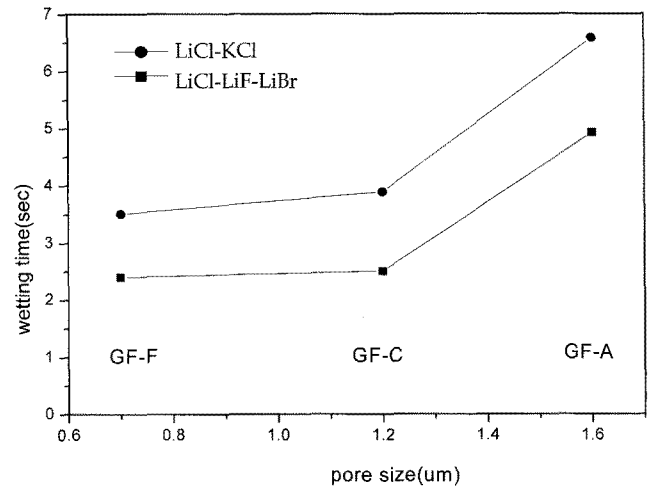


Fig. 8. Wetting times of glass filter with Li salt as a function of pore size.

GF-C, GF-A를 너비 5 mm의 bar 형태로 제단하여 용융된 리튬염에 담지하여 각 필터의 단면적당 용융된 리튬염의 젖음량과 시간을 측정하여 얻은 결과이다. 2성분계 공용염(LiCl-KCl)의 젖음량이 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)에 비해 유리필터 GF-A, GF-C에서 많았지만 GF-F의 경우는 3성분계 공용염이 젖음량이 많았다. 그리고 유리필터 별 용융된 리튬염의 젖음량은 평균기공크기가 큰 유리필터 GF-A에서 많았고 평균기공크기가 작은 유리필터 GF-F에서

Table 3. Wetting Properties of Molten Lithium Salts

Li-salt	glass flate width (mm)	glass flate depth (mm)	immersion depth (mm)	Li salt density (g/cm^3)	wetting force (g)	wetting time (sec)	surface tension (dyne/cm)
LiCl-KCl	24.34	0.71	1.77	1.59	0.354	4.24	123
LiCl-LiF-LiBr	25.51	0.71	2.42	2.17	0.331	2.27	80

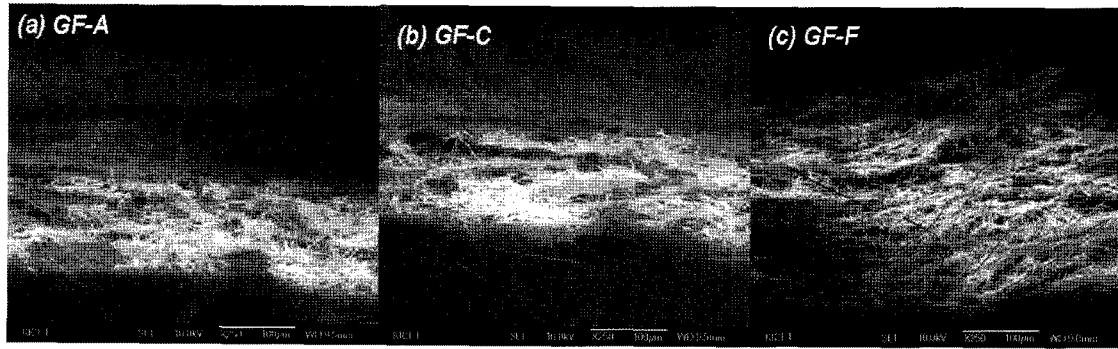


Fig. 9. SEM images of as-received commercial filter (a) GF-A, (b) GF-C, and (c) GF-F.

젖음량이 작았다. Borosilicate glass bar에 대한 Wetting balance test 결과로 산출한 용융된 리튬염의 표면장력을 모세관력과 연관지어 검토할 때 평균기공크기가 작은 유리필터에서 젖음량이 많을 것으로 판단했으나 오히려 평균기공이 클수록 젖음량이 많았다. Wetting balance test에 의해 측정하는 젖음량의 경우 bar형상의 유리필터 끝부분을 용융된 리튬염에 담지시켜 모세관현상에 의해 젖어들게 하는 측정방법인데 이 경우 용융된 리튬염이 필터를 타고 올라가면서 필터가 가지는 단일특성으로 인한 용융된 리튬염에서 멀어질수록 온도차이가 발생하여 용융된 리튬염이 냉각되어 굳게 되는 현상이 일어나 용융된 리튬염의 젖음특성을 저하시키는 현상이 발생하게 된다. 그리고 Fig. 9과 같이 유리필터의 미세조직은 연속된 섬유수천가닥이 서로 겹치면서 눌러진 형상의 부직포 형태를 띠고 있다. 이럴 경우 모세관력이 적용되는 연속적인 터널이 형성되지 않고 오히려 가로로 쌓여 있는 섬유가 용융된 리튬염의 모세관력에 의한 유리필터 내 이동을 방해하게 될 것으로 판단된다. 이는 젖음평형시간이 평균기공크기가 작은 GF-F가 가장 빨랐던 결과에서 보듯이 젖음에 의한 용융리튬염의 유리필터 내 용융염의 이동을 급방 멈춰버린 결과에서 확인할 수 있다. 특히 평균기공크기가 제일 작았던 GF-F의 이러한 현상이 두드러지게 발생하여 3성분계 공용염의 젖음량이 오히려 컸다. 용융된 리튬염이 모세관력에 의해 유리섬유들 사이를 이동하며 젖기 보다는 3성분계 공용염의 낮은 점도로 인해 가로방향으로 쌓여진 연속된 유리섬유에 저항을 덜 받기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

세라믹필터의 열전지의 전해질분리판 적용 가능성을 파악하기 위하여, 2성분계 공용염(LiCl-KCl), 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr) 공용염과 세라믹필터로 상용화된 Whatman사 유리필터 GF-A, GF-C, GF-F와의 젖음특성을

관찰하였다.

2성분계 공용염과 3성분계 공용염에서 수분의 증발과 Li-hydrate 분해 그리고 용융반응 등이 일어났다. 2성분계 공용염은 녹는점이 359°C이고 3성분계 공용염의 녹는점은 450°C로 2성분계 공용염보다 약 90°C 이상 높았다. 450°C 이상에서는 3성분계 공용염의 급격한 휘발이 일어나 상대적으로 불안정하였다. 반면 2성분계 공용염의 경우는 수분의 휘발량은 상대적으로 적었으나 50°C 부근에서 600°C까지 온도가 상승하면서 소량씩 연속적인 증량 감소가 일어났다.

2성분계 공용염은 350°C 부근에서 녹기 시작하여 417°C에서 젖음평형이 이루어져 넓은 범위에서 완만한 속도로 용융이 진행이 되었다. 반면 3성분계 공용염은 450°C 부근에서 녹기 시작하여 460°C 부근에서 젖음평형에 도달하여 좁은 온도범위에서 용융이 되었다. 2성분계 공용염은 젖음평형이 이루어진 417°C에서 젖음각이 51°였고 3성분계 공용염은 젖음평형이 이루어진 466°C에서 4°의 젖음각을 형성하였다.

2성분계 공용염은 젖는 속도가 느리지만 용융된 리튬염 자체의 응집력이 상대적으로 크고 Borosilicate glass에 대한 부착특성이 좋아서 부착되는 용융리튬염의 양이 많았다. 반면 3성분계 공용염의 경우 용융이 되면, 물과 같은 정도의 작은 젖음각을 나타내고 있어 응집력이 작고 Borosilicate glass에 대한 부착특성이 좋지 않아 부착되는 용융리튬염의 양이 작았다.

표면장력은 2성분계 공용염(LiCl-KCl)은 123 dyne/cm, 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)은 80 dyne/cm였다.

2성분계 공용염(LiCl-KCl)의 젖음량이 3성분계 공용염(LiCl-LiF-LiBr)에 비해 유리필터 GF-A, GF-C에서 많았지만 GF-F의 경우는 3성분계 공용염이 젖음량이 많았다. 그리고 유리필터별 용융된 리튬염의 젖음량은 평균기공크기가 큰 유리필터 GF-A에서 많았고 평균기공크기가 작은 유리필터 GF-F에서 젖음량이 작았다. 이러한 현상은 유리필터가 모세관력이 적용되는 연속적인 터널을 제공하지 못하고 오히려 용융된 리튬염의 이동을 방해했기 때

문으로 판단된다.

Acknowledgment

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 기초연구 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. P. Masset and R. A. Guidotti, "Thermal Activated (thermal) Battery Technology, Part II. Molten Salt Electrolytes," *J. Power Sources*, **164** 397-414 (2007).
2. R. A. Guidotti and P. Masset, "Thermally Activated ("thermal") Battery Technology Part I: An Overview," *J. Power Sources*, **161** 1443-49 (2006).
3. P. Butler, C. Wagner, R. Guidotti, and I. Francis, "Long-life, Multi-tap Thermal Battery Development," *J. Power Sources*, **136** 240-45 (2004).
4. S. S. Zhang, "A Review on the Separators of Liquid Electrolyte Li-ion Batteries," *J. Power Sources*, **164** 351-64 (2007).
5. P. Masset, S. Schoeffert, J. Y. Poinso, and J. C. Poinnet, "Retained Molten Salt Electrolytes in Thermal Batteries," *J. Power Sources*, **139** 356-65 (2005).
6. R. Ponnappan and T. S. Ravigururajan, "Contact Thermal Resistance of Li-ion Cell Electrode Stack," *J. Power Sources*, **129** 7-13 (2004).
7. B. Culpin, "Thermal Runaway in Valve-regulated Lead-acid Cells and the Effect of Separator Structure," *J. Power Sources*, **133** 79-86 (2004).
8. J. SAUNIER, F. ALLOIN, J. Y. SANCHEZ, and L. MANIGUET, "Plasticized Microporous Poly(vinylidene fluoride) Separators for Lithium-Ion Batteries. III. Gel Properties and Irreversible Modifications of Poly(vinylidene fluoride) Membranes under Swelling in Liquid Electrolytes," *J. Power Sources*, **42** 2308-17 (2004).
9. P. Masset, "Iodide-based Electrolytes: A Promising Alternative for Thermal Batteries," *J. Power Sources*, **160** 688-97 (2006).
10. J. Y. Park, S. M. Hong, C. S. Kang, and J. P. Jung, "Analysis of Wetting Force of Solder on One Side Coated Cu/Cr-Si Substrate Using Wetting Balance Method," *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, **38** 1553-58 (2000).