

지역난방용 축열조의 단열재 손상과 외각부식 개선방안

방용운, 유호선*[†]

한국지역난방공사, *충실대학교 기계공학과

Prevention of Insulation Damage Layer and Shell Corrosion in Thermal Storage Tanks for District Heating

Yong-Eoon Bang, Ho-seon Yoo*[†]

Korea District Heating Cooperation, Seongnam-si Gyeonggi-do 463-420, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received November 24, 2014; revision received December 5, 2014)

초 록 : 축열조는 집단에너지를 공급하는 지역의 고도와 열부하에 따라 높이와 용량이 결정된다. 이는 축열조의 수두를 이용하여 열배관망에 압력을 가하고 배관망내의 비등을 방지하며 온도변화에 따라 체적이 팽창하면 이를 흡수하고 수축 시에는 부족한 중온수를 배관망에 공급하는 기능을 해야 하기 때문이다. 또한, 축열조의 역할은 주로 열수요량의 변화가 심한 계절별 주간 야간 시간대에 적절한 용량을 갖추고 잉여 열량을 저장한 후 필요한 시간대에 지역난방 열원으로 이용하면 열생산 설비의 운전 조건에 영향을 받지 않으면서 독자적으로 지역난방 열수요를 공급할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 지역난방에 건설되어 운영 중인 축열조 27기 중 폴리우레탄 폼의 단열 재료로 시공된 18기의 축열조에 대하여 단열재의 재질과 축열조의 운전방법에 따른 단열재의 손상원인에 대한 고찰과 단열재 손상이 축열조 부식에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하였다.

ABSTRACT : The height and capacity of the thermal storage tank can be decided by the altitude and heat load of the heat supply area. Evaporation in heat pipe can be prevented by pressurizing it with the hydraulic head of the thermal storage tank. In addition, it absorbs the expanded volume from the temperature changes and supplies water to the pipelines in case of the shortage of water. One of the most important roles of the thermal storage tank is a stable heat supply facility. It can control the heat demand by accumulating the surplus heat and supplying in changing heat demand time. The purpose of this thesis is to be helpful for the operation and maintenance of the thermal storage tanks. The study has been carried out for 18 thermal storage tanks, which have been used polyurethane foam as insulation, among 27 tanks in district heating plants. The characteristics of the insulation materials, the reasons for the damages of the insulation and how impact the insulation damages to the corrosion of the thermal storage tank have been studied.

Key words : thermal storage tank(축열조), insulation(보온), rigid polyurethane foam(폴리우레탄폼)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

축열조는 지역난방열원에 설치되는 설비로 잉여열을 저장했다가 필요 시 공급하며, 동절기에는 침두부하를 담당하여 수요와 공급의 균형을 맞추는 역할을 한다. 또한 일정한 압력으로 열배관내의 지역난방수 비등을 억제하고 배관망내의 온도변화에 따른 중온수의 체적변화를 흡수하며 지역난방순환수 펌프의 일정한 흡입수두를 유지함으로써 캐비테이션을 방지한다. 현재 지역난방공사에서는 14

[†] Corresponding author
Tel. +82-2-820-0661
E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

개 지사에서 총 27기의 축열조를 운영하고 있다. 1990년부터 2011년까지 축열조 보수건수는 약 17건이었으며 주요 보수 내용은 단열재 손상과 외각 부식에 따른 보온재 교체와 부식철판의 보장이었다. 본 논문은 최근에 건설된 경우를 제외한 18기의 경질 폴리우레탄폼으로 시공된 축열조에서 발생한 단열재 손상과 외각 부식에 대한 원인을 고찰하고 개선방안을 제시하였다.

1.2 연구 내용

본 연구는 폴리우레탄폼의 단열재로 시공된 축열조 18기에 대하여 단열재 손상상태와 시공 이후의 보수실적을 조

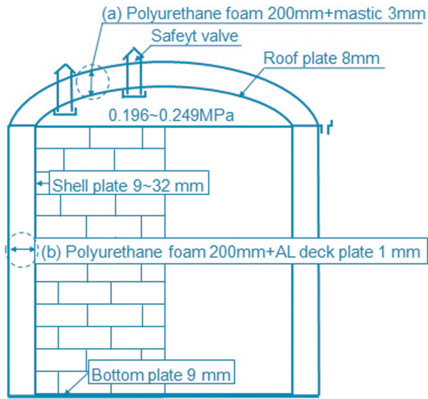


Fig. 1 Thermal storage tank

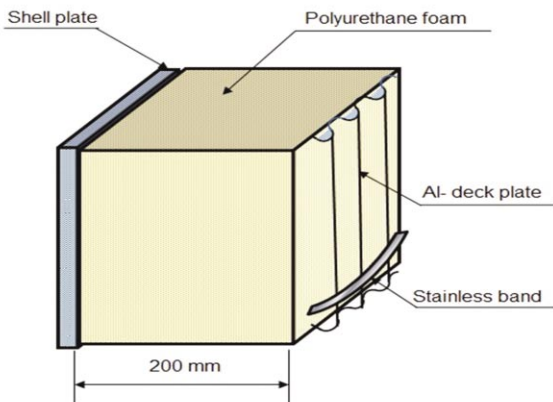


Fig. 2 Polyurethane foam insulation in shell

사하여 단열재의 손상원인과 부식원인을 고찰하였다. 폴리우레탄폼 단열재 손상에 관해서는 분당지사, 강남지사, 중앙열원, 고양지사 등에서 시행한 단열재 교체 및 외각 보수공사자료를 분석하여 고찰하였고, 단열재 개선에 관한 내용은¹⁾ 선행 연구를 참고하였다. 축열조 운전방법에 대해서는 현재의 축열조 운영테이타를 참고하였으며, 시공방법개선은 분당과 강남의 보수공사에 적용된 것과 현장 조사결과를 토대로 개선방안을 제시하였다.

2. 단열재 손상과 외각 부식

2.1 단열 설계기준

축열조의 설계기준은 54℃~120℃의 지역난방수를 저장하는 돔루프(dome roof) 형식의 철재탱크로 설계하며, 외각(shell)은 A516 Gr. 70의 재질의 철판으로 하부에서 상부까지 32 mm에서 9 mm 두께로 설계한다. 바닥과 지붕은 A285 Gr. C 재질의 철판으로 바닥은 9 mm 두께로, 지붕은 8 mm 두께로 설계한다.

단열재 설계기준은 Fig. 1의 축열조 그림과 같다. 단열재는 경질폴리우레탄폼을 사용하며 외각과 지붕의 철판표면 위에 200 mm의 보온두께가 되도록 설계한다. 경질 폴리우레탄폼의 설계사양은 KS M 3809의 규격을 따르며 물성은 2종 2호 이상을 적용한다. Fig. 2는 외각의 단열재 설계기준을 그림으로 나타낸 것이다. 외각단열은 3회에 걸쳐 폴리우레탄폼을 스프레이하여 시공하도록 설계하며 외

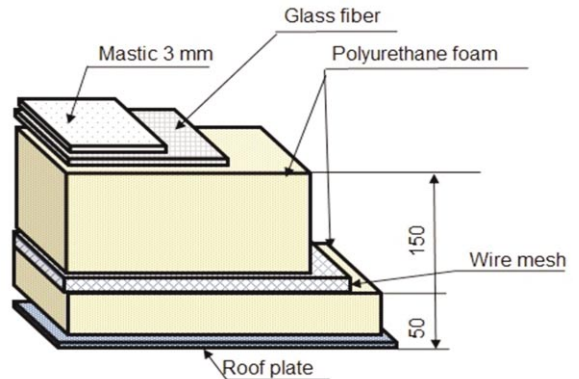


Fig. 3 Polyurethane foam insulation in roof

지역난방용 축열조의 단열재 손상과 외각부식 개선방안

장재는 1 mm의 아연도금 골합석 또는 알루미늄 골합석으로 설계한다.

Fig. 3은 지붕의 단열재 설계 기준이다. 지붕 또한 폴리우레탄폼의 단열두께가 200 mm가 되도록 설계하며 강도 보강을 위해 와이어 메쉬를 50 mm 두께에 혼입되도록 한다.

축열조 지붕의 폴리우레탄폼 표면을 보호하기 위해 마감재는 마스틱으로 하며 강도보강을 위해 유리섬유 메쉬를 혼입하여 3 mm 두께가 되도록 설계한다.

2.2 고온운전에 의한 손상원인

고양, 분당, 중앙열원은 발전자회사의 수열에 의존하여 지역난방열을 공급하므로 축열과 방열을 반복하여 운영하며 열생산 시설이 있는 지사의 축열조보다 상대적으로 높은 이용율을 보이고 있다. 그러므로 압력과 유량변동 그리고 온도변화가 지속적으로 발생하고 축열조 상부압력 유지를 위한 증기공급 장치의 운전시간도 길다.

압력유지 장치의 운전은 축열조 형식에 따라 차이가 있으며 고정링 타입의 축열조는 98℃의 지역난방수를 130℃에서 150℃까지 가열 공급하여 압력을 유지하게 된다. 플로팅 타입의 축열조는 98℃의 지역난방수를 100℃에서 105℃까지 가열한 후 공급하여 상부압력을 유지한다. 폴리우레탄폼의 최고 사용온도가 100℃ 미만임을 감안할 때 고정링 타입의 축열조는 폴리우레탄폼의 사용온도보다 높

게 운전된다.

다음은 축열과 방열의 운전으로 축열을 하기 위해서는 지역에서 회수되는 지역난방수 또는 축열조 하부의 54℃에서 64℃까지의 지역난방수를 열병합발전소의 열교환기로 공급하여 98℃로 가열한 후에 축열을 하거나 지역으로 공급한다. 이때 지역난방수의 공급온도와 유량변화 그리고 발전설비의 출력변화에 따라 축열수 온도는 변하게 되며 98℃에서 120℃까지의 고온수가 축열조 또는 열배관망에 공급된다. 이러한 100℃ 이상의 고온수가 폴리우레탄폼 탄화손상의 근본적인 원인이 된다.

2.3 단열재 손상

축열조 단열재의 손상사례는 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째로 외각의 손상사례를 보면 외각의 상단과 지붕이 맞닿는 주위, 축열조를 오르내리는 계단, 온도층을 측정하는 온도센서 부위, 그리고 마감재의 손상을 들 수 있다. 외각과 지붕이 맞닿는 부분의 손상은 빗물받이가 설치되어 있는 축열조에서 더 심하게 나타나며 이것은 빗물받이가 부식되면서 우수가 외각으로 유입되어 폴리우레탄폼을 손상시켰기 때문이다.

Fig. 4의 (a)사진은 외각 철판의 부식으로 외각의 철판부식은 단열재가 손상되면서 우수유입에 의한 산소 전면부식이 발생했기 때문이다. (b)의 사진은 골합석 외장재의 손상이다. 골합석의 벌어짐은 수축과 팽창에 의해 리벳이 절



(a)Corrosion

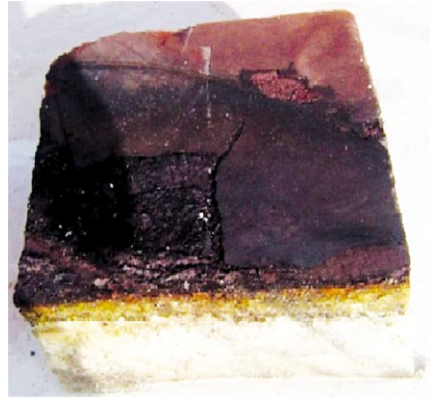


(b)Fall off rivets

Fig. 4 Pictures of damage and heat loss of insulation



(a) Bubble



(b) Carbonization



(c) Damage insulation



(d) Safety railing areas

Fig. 5 Pictures of damage of insulation

손되어 일어나며 벌어진 틈새로 강풍이 유입되면 골함석이 탈락된다.

두 번째는 축열조 지붕의 폴리우레탄폼 손상으로 18개 모든 지사에서 발생되었다. 지붕의 단열재 손상은 운영 중에 단열재를 보수한 지사와 발전자회사에서 수열을 받는 지사에서 많이 발생하였다. Fig. 5는 축열조 지붕의 단열재 손상 사진으로 (a)는 버블 사진이다. 버블은 폴리우레탄폼 내부에서 발생하는 가스와 습분이 밖으로 빠져나가지 못해 둥글고 넓게 부풀어 오른 현상을 말한다. (b)는 폴리우레탄폼의 탄화 사진이다. 폴리우레탄폼이 100℃ 이상의 고온에 장시간 노출될 경우에 발생되며 철판표면과 접촉

력이 떨어지고 썩링이 파괴된다.

세 번째는 축열조 외각 및 지붕의 구조물과 기기주변의 단열재 손상이다. 지붕의 단열재 손상은 기기 및 구조물이 외각보다 많이 설치되어 있고 빗물받이와 안전난간 등 취약부위가 있기 때문이다. (c)는 안전밸브 주위의 단열재 손상 사진으로 단열재가 손상되면 이곳으로 수분이 유입되며 단열재의 손상을 촉진시킨다. (d)는 빗물받이와 안전난간 주변의 단열재 손상 사진이다. 우수와 수분이 지속적으로 유입돼 가수분해와 열분해가 일어나며 단열재가 소실되어 함몰되었다.

지역난방용 축열조의 단열재 손상과 외각부식 개선방안



(a) Oxidation corrosion



(b) Local corrosion

Fig. 6 Pictures of plate oxidation corrosion

2.4 외각재료 부식

축열조 철판의 부식은 폴리우레탄폼이 탄화되면서 철판 표면의 방청을 손상시켜 철판표면이 공기 중의 산소에 노출되었기 때문이다. 수분유입과 대기접촉은 산소전면부식과 국부부식으로 이어진다. Fig. 6의 사진은 산소에 의한 전면부식과 국부부식 사진이다. (a)는 산소에 의한 전면부식 사진으로 폴리우레탄폼이 열화되면서 방청이 손상되고 씰링이 깨져 진행된 것으로 판단된다. (b)는 국부부식 사진이다. 공식에 의해 환율이 발생되었으며 발생한 환율에서 증기가 유출되어 배관표면과 축열조 주변의 부식 진행속도가 빨라진 것으로 판단된다.

지역난방수에는 염소가 포함되어 있어 대기 중에 노출되면 산소와 결합하여 부식을 촉진시킨다. 또한 안전밸브와 씰링챔버 주위는 이중금속으로 응력균열부식과 두 금속간 전위차에 의한 전위 부식이 발생하여 부식이 빨라진다.

3. 개선방안

3.1 폴리우레탄폼 물성 조정

폴리우레탄폼의 물성을 조정하여 사용범위를 확대하기 위해서는 폴리우레탄폼의 물성 중에 이소시아네이트의 성분비를 조정하여 제조하거나 첨가제를 첨가하여 물성을 개선해야 한다. 폴리우레탄폼의 일반적인 성분 구성비를

살펴보면 폴리올(polyol HO-R'-OH) 60%, 이소시아네이트(isocyanate OCN-R-NCO) 25%, 촉매제(catalyst) 0.5%, 계면활성제(surfactant) 1%, 발포제(blowing agent) 3%~10%, 첨가제(filler) 1%~10%까지의 구성비로 되어 있으며 각 성분의 함량에 따라 다양한 폴리우레탄폼을 제조할 수 있다. 본 연구의 재질개선에 사용된 폴리우레탄폼의 물성은 이소시아네이트(polymeric methylene diphenyl diisocyanate; MDI)의 당량비(NCO index 130)로 제작한 시험편으로 지역난방에 사용된 현장의 샘플보다 압축강도는 17%, 인장강도는 25%, 굽힘강도는 19% 향상된 것으로 나타났다. 또한 MDI에 나노 복합제를 첨가해 초음파에 노출시켜 제조한 시험편이 열중량분석기(Thermo Gravimetric Analysis; TGA)를 사용해 열분해 실험을 한 결과 열분해온도가 10℃ 가까이 상승하여 일어났다. 그러므로 축열조의 단열재로 사용하면 고온에 의한 단열재 손상을 줄일 수 있다.

3.2 축열조 운전방법 개선

축열조 지붕의 폴리우레탄폼의 단열재 손상과 부식은 정상운전온도 98℃ 이상의 운전조건이 지속적으로 발생되었기 때문이다. 축열조가 정상운전의 온도보다 높게 운전되는 조건은 두 가지로 상부압력 유지장치의 운전과 축열운전을 할 때이다. 따라서 130℃에서 150℃까지 운전되는 고정형 타입의 축열조 압력유지 장치를 100℃에서 105℃까

지 운전되는 플로팅 타입의 축열조 압력유지 장치로 변경 설치해 고온에 의한 단열재 손상을 줄여야 한다.

또한 축열운전 시 고온의 축열수가 유입되면 지역에서 회수되는 54℃에서 64℃까지의 지역난방수를 혼수하여 축열온도를 제어함으로 응답속도가 빠른 온도조절 밸브로 교체 운전하면 축열수 온도를 낮출 수 있어 단열재 손상을 줄일 수 있다.

3.3 단열재 시공방법 변경

경질 폴리우레탄폼으로 시공된 축열조 18기의 단열재 손상은 축열조 상부에 고온의 지역난방수와 증기가 유입되면서 폴리우레탄폼의 탄화와 버블을 일으켰기 때문이다. 따라서 축열조 지붕에 매트형의 단열재를 설치하고 그 위에 폴리우레탄폼을 발포하는 방법으로 변경하면 고온에 직접적인 접촉이 일어나지 않음으로 탄화를 방지할 수 있다.

Fig. 7은 폴리우레탄폼으로 시공되는 축열조 단면 그림이다. 지붕 표면에 매트형 단열재 50 mm를 설치한 후에 폴리우레탄폼을 150 mm 두께로 시공한다. 또한 축열조 지붕에 3 m 간격으로 가스밴트를 설치하여 가스 및 습분에 의한 버블발생을 방지한다. 그리고 (b)부분의 빗물받이와 (c)부분의 안전난간은 설치 위치를 변경하여 빗물유입에 따른 단열재 손상이 되지 않도록 한다. Fig. 8은 Fig. 7의 (a)의 가스밴트 그림으로 가스밴트는 축열조 지붕에 용

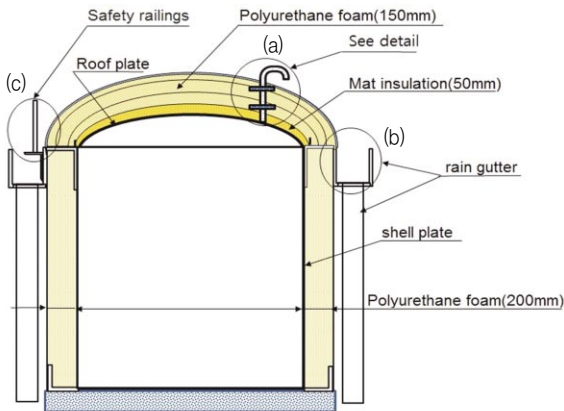


Fig. 7 Cross section diagram of insulation of the accumulation

접하여 고정하며 밴트 중간의 링 플레이트는 폴리우레탄폼을 고정하는 역할을 한다.

3.4 도장재료 변경

축열조 외각과 지붕 철판부식은 폴리우레탄폼이 100℃ 이상의 고온에서 탄화되면서 철판표면과의 접촉력이 없어지고 탄화된 부위에 방청도장이 함께 손상되었기 때문이다. 그러므로 120℃ 이상의 고온에 사용할 수 있는 내열 방청도료로 도장재료를 변경하면 부식을 줄일 수 있다.

4. 결론

본 연구는 경질 폴리우레탄폼 단열재로 시공된 축열조에서 단열재의 손상과 부식이 발생됨에 따라 현재 상태와 보수이력을 조사하여 손상원인과 개선방안을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 폴리우레탄폼의 최고 사용온도는 100℃ 이하이다. 그럼에도 불구하고 지역난방 축열조의 설계는 120℃를 기준으로 하고 있으며 실제운전 또한 120℃까지 운전되므로 고온에 사용할 수 있는 폴리우레탄폼의 물성으로 조정해 축열조 단열재로 사용함이 필요하다.

둘째, 축열조의 압력유지를 위한 증기발생 공급장치를 102℃~103℃의 전기 가열기로 교체설치가 필요하며, 축열 시 축열수의 온도가 100℃를 넘지 않도록 응답속도가

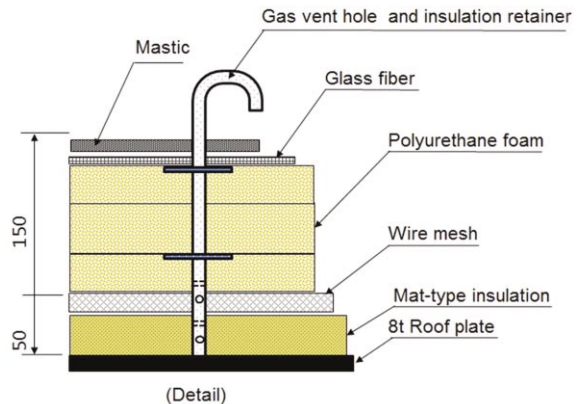


Fig. 8 Cross section diagram of insulation of the accumulation and gas vent

지역난방용 축열조의 단열재 손상과 외각부식 개선방안

빠른 컨트롤밸브의 설치가 필요하다.

셋째, 축열조 지붕 표면에 매트형 단열재를 설치하여 100℃ 이상의 고온에서 폴리우레탄폼이 노출되지 않도록 시공방법을 변경하고 가스벤트홀을 설치하면 버블로 인한 단열재 손상을 방지할 수 있다.

넷째, 축열조 외각과 지붕의 철판부식을 방지하기 위해서는 120℃ 이상 사용 가능한 내열도료로 방청재료를 변경하여야 부식을 방지할 수 있다.

참고문헌

1. 고려대학교, 한국지역난방공사, 2004, 외부환경변화에 의한 열배관 보온재 물성변화 방지에 관한 연구 보고서, pp. 16, pp. 36-66, pp. 170-177.
2. 한국지역난방공사 기술연구소, 1999, 축열조 상부 밀봉 계통 안정화연구 보고서, pp. 57-74.
3. 한국지역난방공사, 2008, 판교열병합발전소 기본설계 설명서, pp. 253-256.
4. 김홍재(역), 2000, 폴리우레탄 수지, 대광서림출판사, pp. 113-120.
5. 임우조, 정기철, 이상열, 2009, 기계재료의 부식과 방식, 형설출판사, pp. 52-165.