보존환경평가지수를 이용한 종이 서고 환경 모니터링 연구

신현창[1], 윤만영[2], 김일출[3]
(주)피엔아이 연구개발팀[1], 중부대학교 정보통신학과[2], 중부대학교 화장품과학과[3]

1. 서론

종이기록물의 보존에 영향을 미치는 인자로는 온도, 습도, 빛, 오염된 공기, 곰팡이 등이 있다. 이 중 가장 관심을 가지고 모니터링 해야 할 인자가 온도와 습도이다. 온도와 습도는 우리 주변에 항상 존재하면서 모든 유기기록물에 영향을 미친다. 온도가 높으면 수분이나 유해기체와 종이기록물의 화학반응 속도가 빨라져 열화가 가속화된다. 습도가 높으면 종이기록물이 습기를 흡수하여 가수분해 반응이 촉진되거나 곰팡이 등 미생물이 발생하기 쉬우며, 습도가 낮으면 종이의 함수율이 낮아져 종이를 부스러트리거나, 자료를 다룰 때 종이가 파괴되고, 도서의 외피가 수축되어 보드가 휘어지는 문제를 발생시킨다. 이러한 이유로 보존환경에서 온도와 습도의 관리가 중요하게 다루어지고 있으며, 이를 효과적으로 모니터링 하기위해 선진국에서는 PI나 TWPI와 같은 온도와 습도에 관련된 환경관리평가지수를 만들어 이를 통해 온도와 습도를 모니터링하고 있다.

본 연구에서는 온도와 습도의 변화에 따라 보존환경을 비교 평가할 수 있는 보존환경평가지수를 이용하여 국가기록원의 종이문서고를 모니터링 함으로써 보존상태를 비교 평가하였다.

2. 이론 및 방법

각 서고의 보존환경은 측정된 온도와 습도를 이용하여 보존환경평가지수를 산출함으로서 서로 비교 평가하였다. 종이보존서고의 보존환경평가지수는 유기물의 기대수명을 예측할 수 있는 이론인 Donald K. Sebera 이론, Arrhenius 이론, Tim Padfield 이론 등을 이용하였다. 국가기록원 종이문서고의 보존환경을 모니터링하기 위해 국가기록

원 본원과 역사기록관 종이문서고 각각 2곳을 선정하였으며, 보존환경평가지수 산출을 위한 온·습도 데이터는 2007년 1년 동안 매달 둘째 주 수요일에 측정된 온·습도를 샘플링 하였다.

종이기록물의 기대수명은 IPI에서 개발된 개념인 PI 및 TWPI를 이용하였으며, PI 지수의 계산은 Tim Padfield 이론에 적용하여 산출하였다. 일반적으로 종이기록물은 자연열화로 인하여 약 100년을 보존할 수 있는 것으로 보고 되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 20℃ 온도, 50% 습도에서 종이기록물을 100년 동안 보존할 수 있다고 가정하였고, 종이의 열화반응 중 하나인 가수분해 반응에 필요한 활성화에너지는 25 kcal를 사용함으로 각 서고의 환경보존평가지수를 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 종이기록물 기대수명 예측이론

3.1.1 Donald K. Sebera의 기대수명 예측 이론

온도와 습도가 변함에 따라 종이의 가수분해속도를 비교함으로써 서고의 환경을 비교 평가하는 방법이다. Donald K. Sebera는 온도와 습도에 대한 셀룰로오스의 가수분해반응속도를 이론적으로 나타내기 위하여 화학평형반응식과 화학반응속도식을 이용하여 식(1)과 같은 식을 만들었다.

$$\frac{r_2}{r_1} = \left(\frac{RH_2}{RH_1}\right) \left(\frac{T_2 + 273}{T_1 + 273}\right) e^{-\frac{\Delta H}{R}\left(\frac{1}{T_2 + 273} - \frac{1}{T_1 + 273}\right)} \quad (1)$$

여기서 r은 가수분해반응속도, RH는 상대습도(%), T는 온도(℃), △H는 활성화엔탈피, R은 기체상수를 나타낸다. Donald K. Sebera는 20℃, 50% 조건에서의 값을 1로 정하여, 온·습도 변화에 따른 상대 지수를 계산함으로 두 서고에 대한 보존환경을 비교 평가하였다. 예를 들어 35℃, 80%의 조건에서 가수분해반응 속도는 20℃, 50%에서 보다 33배 빨리 진행되기 때문에 기대수명은 0.03배로 줄어든다. 이것은 20℃, 50%에서 종이의 수명이 100년이라면 35℃, 80%에서는 3년으로 줄어든다는 것을 의미한다.

3.1.2 Arrhenius 식

일반적으로 Arrhenius 식은 온도변화에 따른 반응속도상수를 계산할 때 사용되는 식으로 이 식을 이용하면 기록물의 열화반응속도를 측정함으로써 비교적 정확한 기대수명을 예측할 수 있다. 미국의 IPI사에서는 다양한 습도 조건에서 Arrhenius 식을 이용하여 셀롤로오스아세테이트필름의 가수분해 실험을 통하여 종이를 비롯한 유기물의 열화 정도를 표현할 수 있는 일반화된 지수를 만들었다. 그들은 이 지수를 PI(Preservation Index)라 명하여 보존환경평가지수로 사용하고 있다. 이들은 또한 시간에 따른 기록물의 기대수명 변화를 나타내는 TWPI(Time-Weight Preservation Index) 개념을 만들어 각 서고의 보존환경 평가에 활용하고 있다.

3.1.3 Tim Padfield의 기대수명 예측 이론

Donald K. Sebera의 이론은 서고의 상대적인 환경 비교는 가능하지만 Arrhenius 식을 이용할 때처럼 기대수명을 수치로는 나타낼 수 없다. Arrhenius 식은 기록매체의 비교적 정확한 기대수명을 예측할 수 있으나, 습도에 관한 인자가 식에 포함되어 있지 않으므로 다양한 습도에서 가속열화 실험을 반복해야하는 단점을 가지고 있다. 이러한 식들의 단점을 보완하기 위해서 Tim Padfield는 평형반응식과 Arrhenius식 이용하여 식(3)을 만들었다.

$$r = [RH]\, A\, e^{-\frac{E}{R\,(T+273)}} \qquad (3)$$

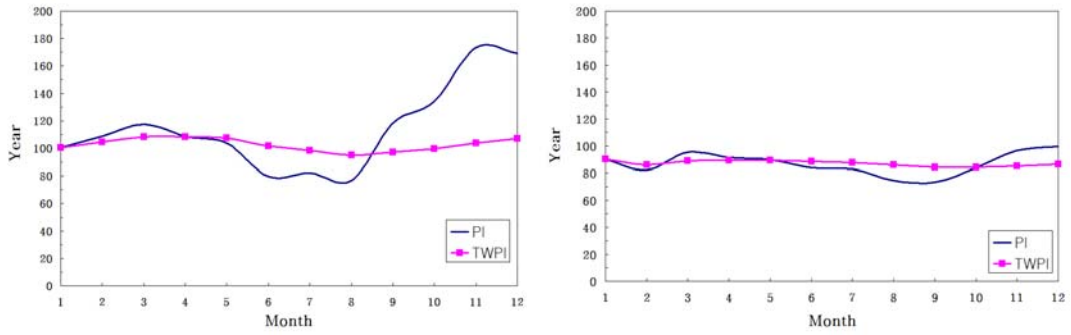
여기서, r은 열화반응속도, [RH]는 상대습도(%), A는 상수, T는 온도(℃), E는 활성화에너지, R은 기체상수를 나타낸다.

3.2 국가기록원 종이문서고 환경보존평가지수 비교

국가기록원의 서고에 대한 환경보존평가지수는 식(3)을 이용하여 대전 본원과 부산 역사기록관 일반문서고의 온・습도의 변화에 따른 PI 및 TWPI의 변화를 산출하여, 지수의 변화를 통해 서고를 비교 평가하였다.

3.2.1 대전 문서고

그림 1은 대전 본원의 일반문서고에 대한 보존환경평가지수(PI 및 TWPI)를 나타낸 것이다. 대전의 2개의 일반문서고 모두 TWPI는 85년 이상으로 보존 상태가 양호한 것으로 나타나고 있다. 특히 서고 A의 경우 TWPI 값이 100년을 유지하고 있어 매우 우수한 보존 환경을 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 서고 A의 경우 여름철과 겨울철 PI지수의 변화가 심하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 여름철에는 PI값이 80 이하로 떨어져 기록물의 열화속도를 증가시킴으로 보존수명(TWPI)이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 반면 겨울철에는 과도하게 PI가 높아져 TWPI도 증가하고 있으나, 이것은 PI나 TWPI 지수가 가수분해 반응을 기준으로 산출한 것이기 때문에 반응속도가 늦어져서 증가한 것이다. 실질적으로 종이기록물의 PI가 높으면 가수분해반응은 늦어지지만, 습도가 과도하게 낮아질 경우 종이기록물의 수명에 악영향을 줄 수 있으므로 그다지 좋은 환경조건이라 볼 수 없다. 또한 PI지수가 높다는 것은 공조시스템이 과도하게 운전되어지고 있는 것이므로 경제적인 측면에서도 비효율적이다.



(a) (b)

Fig. 1. PI and TWPI of a stack room for paper storage in Daejeon National Archives of Korea.

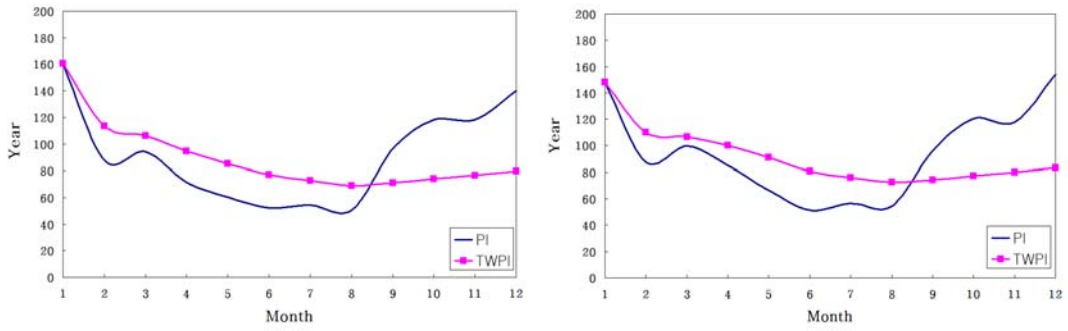
이에 반하여 서고 B는 서고 A에 비해 매우 안정된 상태를 보이고 있다. 물론 TWPI의 경우 A보다는 낮지만 여름철과 겨울철의 온습도 변화의 폭이 적게 나타나고 있다. 그러나 서고 B의 문제점은 좀 낮은 PI 값들이 지속되고 있다는 것이다. PI값의 변화의 폭은 작으나 대부분이 90미만이며, 이는 보존온도가 2℃이상이여서 나타난 결

과라 볼 수 있다. 그러므로 서고 B의 경우 보존온도를 1℃정도 낮추어서 보존하는 것이 가장 이상적인 보존환경이라 사료된다.

시간이 지남에 따라 달라지는 종이기록물의 평균 수명은 TWPI를 비교함으로 알 수 있다. 서고 A의 경우 12월까지 TWPI는 107년인 반면 서고 B의 경우 86년으로 서고 A가 서고 B의 경우보다 1.24배 정도 우수한 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 서고 A가 겨울철 온도 및 습도를 과도하게 낮추어 나타난 현상이기도 하지만 여름철을 제외하고 전반적으로 서고 A의 PI지수가 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 서고의 보존환경은 서고 A가 서고 B보다 우수하다고 볼 수 있다. 다만 서고 A의 경우 앞서 언급한 것처럼 여름철과 겨울철의 지수 변화 폭이 너무 크므로 두 계절이 좀더 철저한 서고 관리가 필요하다.

3.2 부산 문서고

그림 2는 부산 역사기록관의 일반문서고 PI 및 TWPI를 나다낸 것이다. 부사 역사기록관 종이문서고 보존환경의 특징은 두 서고의 PI가 거의 유사한 거동을 하고 있다는 것이다. 또한 여름철과 겨울철의 PI 변화의 폭이 컸다. 물론 온습도의 변화가 국가기록물 법령에 나타난 범위(온도: 18~22℃, 습도: 40~55%)를 크게 벗어나는 것은 아니지만 여름철 PI값이 많이 떨어져 허용 범위를 넘어서는 경향을 보이고 있어 여름철 서고관리에 각별한 주의가 요구된다. 또한 종이기록물의 안전한 보존을 위해서는 계절에 상관없이 가능한 일정한 온・습도를 유지하는 것이 요구된다.



(a) (b)

Fig. 2. PI and TWPI of a stack room for paper storage in Busan National Archives of Korea.

4. 결론

본 연구에서는 환경보존평가지수인 PI와 TWPI의 개념을 이용하여 2007년 1년 동안 국가기록원 종이기록물 서고환경에 대한 보존 평가를 수행하였다. 그 결과 4개의 서고 중 3개의 서고에서 여름철과 겨울철의 환경보존평가지수의 차이가 심하게 나타났으며, 특히 여름철에는 대체로 환경보존평가지수가 낮아 철저한 서고관리가 필요한 것으로 나타났다.

환경보존평가지수인 PI나 TWPI는 종이기록물의 가수분해 반응을 이용하여 기대수명을 예측함으로서 서고의 환경을 비교 평가하는 것이기 때문에 이 지수만 가지고 서고의 모든 보존환경을 판단하는 것은 무리가 있다. 그러나 이러한 지수를 활용함으로 현재 서고가 놓여있는 온·습도 조건이 기록물에 미치는 영향을 쉽게 관찰할 수 있으며, 이에 대한 적절한 대응조치가 가능하므로 서고 환경을 모니터링할 수 있는 하나의 도구로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1. 권기원, 자료보존환경에 관한 연구, 인문과학 30: 123~141 (2000).
2. Sebera, Donald k. Isoperms: An Environmental management Tool, (Washington, DC: The Commission on Preservation and Access, 1994).
3. Reilly, J.M., Nishimura, D.W., and Zinn, E., New Tools for Preservation: Assessing Long-Term Environmental Effects on Library and Archives Collections, (Washington, DC: The Commission on Preservation and Access, 1995).
4. http://www.padfield.org/tim/cfys/twpi/twpi_02.php
5. Marion F. Mecklenburg and Charles Tumosa, Temperature and Relative Humidity Effects on the Mechanical and Chemical Stability of Collections, ASHRAE Journal, 41(4):77~82 (1999).