Journal of Radiation Industry 15(4) : 335~340(2021) https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.4.335

Technical Paper

감마선 조사에 따른 수질별 수침지류의 흡수선량 감쇠 비교

홍 창 용[1,2] · 이 면 주[1] · 박 해 준[1,*]

[1]한국원자력연구원 첨단방사선연구소, [2]한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

Comparison of Absorbed Dose Reduction to Flooded Paper by Water Qualities with Gamma Ray Irradiation

Changyong Hong[1,2], Myeonju Lee[1] and Hae-Jun Park[1,*]

[1]*Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, 29 Geumgu-gil, Jeongeup-si, Jeollabuk-do 56212, Republic of Korea*
[2]*Department of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, 367 Baekjemun-ro, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do 33115, Republic of Korea*

Abstract - Gamma ray dose reduction occurs when gamma rays interact with irradiated sample and lose energy. This dose reduction also can be affected by water content of sample, water qualities, water properties. Flooded cultural heritages are saturated with moisture, and have higher density than dry conditions. For this reason, it may cause increases in dose reduction and decreases effcts of gamma ray sterilization. The aims of this study was to understand the chracteristics of gamma ray irradiated water samples and water saturated samples. Irradiatied water samples and non-irradiated water samples of various qualities were analyzed in this study. Dry paper samples and flooded paper samples were also irradiated and their absorbed doses were compared to each other. As a result, water samples had diffrences in properies, but there were few changes after gamma irradiation. Flooded paper samples had higer dose reductions, but water qualities caused few diffrences of dose reduction. Therefore, dose reduction caused by water saturation should be considered in gamma ray sterilization of flooded cultural heritage. Futhermore, traditional samples, such as Hanji and Silk, should be considered in additional studies.

Key words : Gamma irradiation, Water quality, Flooded paper, Dose reduction

서 론

방사선은 매질을 통과할 때 매질 내 원소들과 상호작용하면서 에너지를 잃는 감쇠가 발생한다. 이러한 감쇠는 방사선의 종류와 세기, 그리고 매질의 종류와 두께 및 밀도 등 다양한 요인들이 복합적으로 작용해 나타난다(Kang *et al*. 2019). 방사선 조사 시 기존에 계획한 목표선량만큼 적절하게 조사를 진행하기 위해서는 조사시료의 특성과 이에 따른 감쇠율에 대해 사전에 연구할 필요성이 있다.

감쇠율의 경우 조사시료의 본 재질적 특성뿐만 아니라 함수율과 같은 변수도 함께 고려되어야 한다. 수분을 흡수함에 따라 시료는 밀도가 상승하며 수분이 완전히 포화된 경우 본래 재질과 비교해 밀도 차이가 크게 발생할 수 있으므로 이에 따른 감쇠율 증가가 고려되어야 한다. 시료가 흡수

* Corresponding author: Hae-Jun Park, Tel. +82-63-570-3190, Fax. +82-63-570-3195, E-mail. hjpark@kaeri.re.kr

하는 물의 수질에 따라서도 밀도를 포함한 다양한 특성 차이가 발생할 수 있는데, 수질은 크게 해수, 담수, 빗물 등으로 구분할 수 있으며 이는 채취장소나 시기 등에 따라서도 구분될 수 있다. 물의 밀도는 염분, 수온, 압력에 따라 변화하며, 이로 인해 일반적으로 20°C에서 해수(약 1,025 $kg \cdot m^{-3}$)＞담수(약 1,000 $kg \cdot m^{-3}$)＞증류수(약 998 $kg \cdot m^{-3}$) 순으로 밀도가 높은 것으로 알려져 있다. 그리고 대한민국의 바다 위치상 서해＞남해＞동해 순으로 염분과 밀도가 높은 것으로 알려져 있다(Oh and Im 2017). 따라서 수분을 함유하는 조사시료의 경우 감마선 조사 시 수질의 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 연구가 동반될 필요성이 있다.

전자선을 포함한 방사선은 피조사체에 오염된 미생물, 해충, 기생충 등을 효과적으로 불활성화시킬 수 있어 농식품, 의약학 등 다양한 분야에서 활용되고 있다(Gwon 2017). 이러한 방사선멸균법을 문화재의 생물피해 제어에도 적용하기 위해 National Research Institute of Cultural Heritage (2009)를 포함해 국내 문화재 주요 재질을 대상으로 한 선행연구들이 진행되어 왔다. 멸균을 위해 문화재에 방사선을 조사하는 경우, 문화재가 방사선의 매질이 되어 문화재와 방사선이 상호작용을 하며 방사선의 감쇠가 발생할 수 있다. 선행연구를 통해 멸균과 문화재 안정성에 적합한 흡수선량을 선정하였다 하더라도, 이러한 감쇠작용이 크게 발생할 수 있는 요소들이 조성된 경우 방사선 조사한 문화재의 일정 부분에서는 목표로 하는 흡수선량에 도달하지 못할 수 있다. 이러한 경우에는 멸균이 완전히 이루어지지 못해 미생물이 생장하여 문화재에 생물학적 피해가 발생할 우려가 있다. 따라서 방사선 멸균의 대상이 되는 문화재에 대해 다양한 요인들을 변수로 적용하여 사전에 균 사멸양상에 대한 검증을 진행할 필요성이 있다.

현재 재난 중에 수침된 문화재를 대상으로 한 응급보존처리에 방사선멸균법을 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 문화재의 보관환경 주변에서 폭우, 홍수 등의 수해 재난이 발생하여 문화재가 수침될 경우 문화재 표면에 자리하던 미생물과 곤충이 생장하기 적합한 습윤환경이 조성된다. 미생물과 곤충은 생장할 수 있는 조건이 갖춰지면 급격히 번식하여 문화재에 큰 피해를 야기하므로, 응급상황 시 피해 제어를 위한 적절한 조취를 긴급하게 진행하여야 피해를 최소화할 수 있다(Cultural heritage administration 2012). 다만 이 경우에 수침문화재는 수분이 포화되어 밀도가 높아지므로 동일한 재료라 하더라도 기존에 연구가 진행되어 온 건전문화재에 비해 방사선 감쇠율 또한 높아질 수 있다. 따라서 함수상태에 따른 흡수선량을 평가하고 데이터베이스를 구축하여, 수침문화재를 대상으로 목표선량만큼 방사선을 조사해 적절한 멸균효과를 얻을 수 있도록 관련 연구가 선행되어야 한다.

따라서 위의 배경지식 및 가설들을 바탕으로 예비실험을 계획하여 진행하고자 한다. 재난 시 수침된 지류문화재를 가정하여, A4 인쇄용지의 함수상태를 건전상태와 수침상태로 구분하여 방사선 조사를 진행하고자 한다. 이때 방사선은 투과력이 가장 강한 감마선으로 선정하였고, A4 인쇄용지를 수침상태로 조성하기 위한 물은 해수, 담수, 증류수로 각각 선정하였다. 본 연구를 통해 방사선이 지류를 투과하는 경우 함수상태에 따라 선량감쇠 차이가 가시적으로 나타나는지 확인하고자 한다.

재료 및 방법

1. 물 시료

본 연구에서 물 시료는 해수, 담수, 빗물, 증류수로 선정하였다(Table 1). 해수는 부산광역시 부산박물관 인근 남천만에서, 담수는 전라북도 정읍시 내장산 용산호에서, 빗물은 전라북도 정읍시에서 채취하였다. 증류수는 전자선실증연구동 205호 물질제어실험실의 초순수제조기(Direct-Q 5 UV Ultrapure water purification system, Merck Milli-Q, DEU)를 통해 제조되었다. 감마선 조사 전후의 해수, 담수, 빗물 시료는 수질 공인분석 기관인 한국품질시험원에 Cl, Mg, Ca, COD, TOC을 의뢰하여 분석하였다.

Table 1. Water samples

Sample	Gamma irradiation	Water quality	Sampling date	Sampling place
Ws	–	Sea water	2021.08.06.	Busan-man, Busan
WsG	10 kGy			
Wf	–	Fresh water	2021.09.15.	Yongsan-ho, Jeongeup
WfG	10 kGy			
Wr	–	Rain water	2021.09.01.	Shinjeong-dong, Jeongeup
WrG	10 kGy			
Wd	–	Distiiled water	2021.09.15.	–

Table 2. Paper samples

Paper	Hydrous condition	Preconditioning	Picture
Product: Hansol copy Manufacturer: Hansol paper Country: Republic of Korea Quantity: 500 ea·pk^{-1} Size: 210 × 297 mm^2 Basis weight: 75 g·m^{-1}	Dry (D)	- 2 pk of dry paper - Fixed with adhesive tape in original packaging.	
	Sea water -flooded (Ws)	- 1 pk of flooded paper - Flooded in Sea water for 48 hours. - Sealed with plastic wrap and plastic container to prevent evaporation.	
	Fresh water -flooded (Wf)	- 1 pk of flooded paper - Flooded in Fresh water for 48 hours. - Sealed with plastic wrap and plastic container to prevent evaporation.	
	Distilled water -flooded (Wd)	- 1 pk of flooded paper - Flooded in Distilled water for 48 hours. - Sealed with plastic wrap and plastic container to prevent evaporation.	

2. 지류 시료

본 예비실험에 사용할 지류 시료는 A4 인쇄용지로 선정하였으며, 함수상태를 건전과 수침으로 구분하여 전처리하였다(Table 2). 인쇄용지를 수침할 경우 부피와 밀도가 약 1.8배 증가하는 것으로 확인되어 건전 시료는 2묶음, 수침 시료는 1묶음으로 각각 지류 시료량을 설정하였다. 지류 시료의 수침에는 해수, 담수, 증류수를 사용하였다. 수침 시료는 조사시설로 출발하기 직전까지 물 시료에 수침해 두었다가, 출발 직전에 물 시료로부터 건져내어 밀폐용기에 담아 준비하였다.

3. 감마선 조사

본 연구의 감마선 조사는 경기도 여주에 위치한 그린피아기술(주)에 조사의뢰하여 진행하였다. 해당 시설은 감마선 & 전자선 & EO 가스를 이용한 대량 살균 설비를 갖춘 곳으로, 재난 발생 시 다량의 수침문화재가 발생하여 이를 멸균처리하는 상황을 가정하여 연구를 진행하였다. 감마선 조사 조건은 흡수선량 10 kGy 및 양면회전조사로 설정하였다.

4. 선량 측정

감마선 흡수선량 평가를 위한 Alanine pellet dosimeter (ES 200-2106, Bruker, USA)는 시료의 표면에 테이프를 이용하여 부착하였다(Fig. 1). 조사처리과정에서 감마선이 최초로 입사되는 방향을 기준으로 전면, 후면, 좌측면, 우측면으로 방향을 명명하여 도시미터를 부착하고, 지류 시료 내부에도 부착하였다. 해당 도시미터는 광선과 수분에 취약하므로 지류 시료에 부착하는 과정에서 봉투에 각각 1개씩 담아 밀봉하였으며, 감마선 조사 직후 해당 도시미터를 회수하여 흡수선량을 측정하였다.

결 과

수질성분 분석 결과 감마선 조사 전후 담수 해수 빗물의 Cl, Mg, Ca 미네랄 성분에는 큰 차이가 없었다. 감마선 처리에 의해 COD와 TOC가 다소 감소한 시료의 경우 수질이 일부 개선되었다고 볼 수 있다(Table 3).

건전 시료와 수침 시료의 위치별 감마선 흡수선량을 확인하였다(Table 4). 건전 시료의 도시미터인 D-1부터 D-8까지를 확인하면, 전면부에 비해 후면부는 흡수선량이 약 0.45 kGy 낮고(−3.36%) 측면부는 약 1.2 kGy 높게(+9.38%) 나타났다. 회전 양면 조사 특성상 측면부의 흡수선량이 증가한 것으로 고찰한다. 이에 반해 그중 내부의 흡수선량은 전면부에 비해 1.5 kGy (−10.04%)로 감쇠가 나타났다.

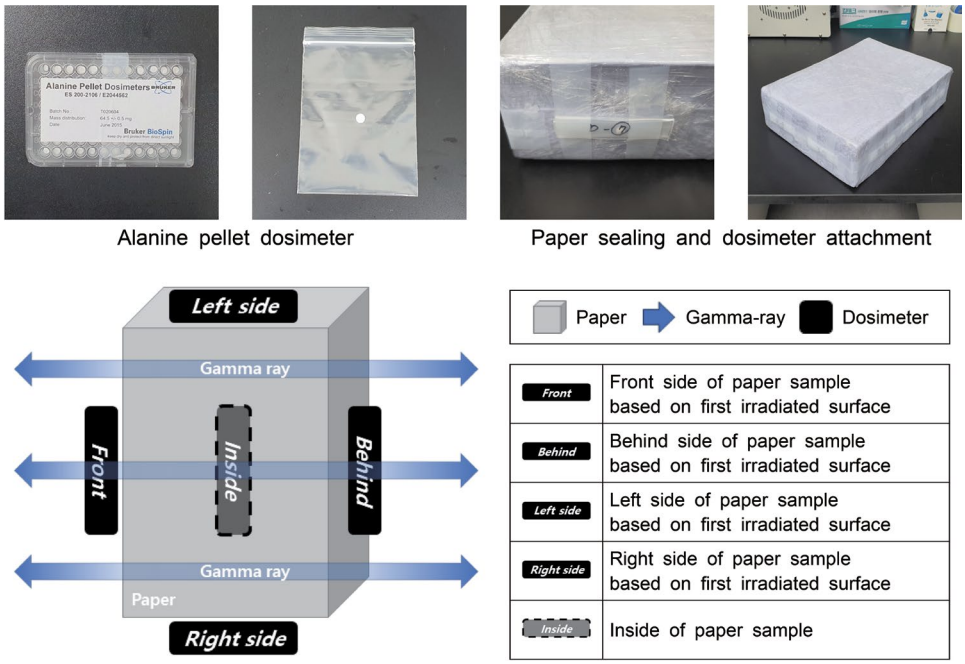

Fig. 1. Dosimeter to evaluate gamma ray absorbed dose.

Table 3. Properties of water samples (mg·L^{-1})

Sample	Cl^-	Mg	Ca	COD[a)]	TOC[b)]
Ws	16900.00	1150.00	355.00	2.40	1.40
WsG	17000.00	1141.00	354.00	2.70	1.70
Wf	6.00	1.60	6.60	3.60	2.20
WfG	6.00	1.60	6.50	3.60	2.10
Wr	0.30	0.07	0.39	0.70	0.60
WrG	0.60	0.07	0.43	0.60	0.50

[a)]COD: chemical oxygen demand
[b)]TOC: total organic carbon

수침 시료의 경우, 건전 시료와 동일하게 해수, 담수, 증류수 모두 측면>전면>후면>내부 순으로 흡수선량이 높게 나타났다. 다만 전면 대비 내부의 선량감쇠 변화량과 변화율의 수치는 모든 수침 시료에서 건전 시료에 비해 높게 나타났다. 해수 수침 시료에서 −1.75 kGy (−16.99%)로 감쇠가 가장 크게 나타났으며, 담수 수침 시료에서는 −1.5 kGy (−12.70%), 증류수 수침 시료에서는 −1.71 kGy (−14.54%)로 감쇠가 나타났다.

고 찰

건전 시료와 수침 시료 모두 감마선이 최초로 조사된 전면부를 포함한 모든 외부면과 비교했을 때 내부에서는 큰 감쇠가 나타났다. 또한 물 종류와 관계없이 건전 시료에 비해 수침 시료의 감쇠율이 더 높게 나타났다. 물 종류에 따른 선량감쇠 차이를 수치상 비교할 때 본 실험의 결과에서는 해수>증류수>담수 순으로 감쇠가 높게 나타났다. 이는 해수에는 염이 많은 대신 담수에는 유기물이 많은 차이로 생각된다. 수침 종이조직에 해수는 염성분이 침적되고 같은 공간에 미생물이 침적되는 차이라고 추찰된다,

위치별 흡수선량 차이는 건전 시료와 수침 시료 모두 2 kGy 이내로 나타났다. 본 연구의 조사조건에서는 건전 시료에 비해 수침 시료의 선량감쇠가 나타나기는 하였으나 해당 차이가 매우 크게 벌어지지는 않았다. 다만 본 실험에서 사용한 시료보다 부피, 양, 밀도 등이 증가할수록 수침 시료와의 선량감쇠 차이는 더욱 크게 나타날 것으로 예상된다. 문화재 생물피해 제어를 위한 방사선멸균법 적용 시 시료 부위 간 최대 2 kGy의 차이로 인해 문화재가해균이 사멸할 수 있는 임계선량에 도달하지 못하는 부위가 발생할 수 있으므로 이에 대한 고려가 반드시 필요하다. 이러한 흡수선량 편차를 바탕으로, 흡수선량의 세기를 조정하여 수침 시료의 모든 부위에 목표한 흡수선량만큼 조사할 수 있도록 설정하는 방법이나, 혹은 90% 혹은 95% 등의 목표 범위를 설정하여 해당 범위 내의 부피에 목표한 흡수선량만큼 조사할 수 있도록 설정하는 방법 등 보완책을 마련할 필요성이 있다.

결 론

본 실험을 통해 지류의 함수상태 및 물 종류에 따라 감마

Table 4. Result of evaluation absorbed dose

Sample	Location	Absorbed dose (kGy)	Dose change (kGy)	Dose change ratio (%)	Alanine	Marker	Alanine/ Marker	Freq. (GHz)	Instr. temp. (°C)
D-1	Front	13.35	−0.13	−1.00	51039	126893	0.40	9.7591	44.7
D-2		13.62	0.13	1.00	51710	126283	0.41	9.7592	44.7
D-3	Behind	12.97	−0.51	−3.79	49363	125894	0.39	9.7589	44.7
D-4		13.09	−0.39	−2.93	49607	125560	0.40	9.7592	44.6
D-5	Left side	14.83	1.35	9.99	54156	122703	0.44	9.7593	44.6
D-6	Right side	14.66	1.18	8.77	53807	123136	0.44	9.7592	44.5
D-7	Inside	11.83	−1.66	−12.28	44243	122813	0.36	9.7592	44.6
D-8		12.43	−1.05	−7.80	46079	122257	0.38	9.7591	44.5
Ws-1	Front	10.26	−0.01	−0.08	39747	125856	0.32	9.7592	44.6
Ws-2		10.28	0.01	0.08	39635	125333	0.32	9.7591	44.5
Ws-3	Behind	9.02	−1.25	−12.17	35310	126406	0.28	9.7592	44.6
Ws-4		9.42	−0.86	−8.33	36483	125352	0.29	9.7593	44.6
Ws-5	Left side	10.82	0.55	5.36	41738	125747	0.33	9.7594	44.6
Ws-6	Right side	10.49	0.22	2.10	40266	124854	0.32	9.7590	44.7
Ws-7[a)]	Inside	–	–	–	–	–	–	–	–
Ws-8		8.53	−1.75	−16.99	32966	124590	0.27	9.7593	44.6
Wf-1	Front	11.54	−0.26	−2.19	49263	140140	0.35	9.7601	44.1
Wf-2		12.06	0.26	2.19	51120	139660	0.37	9.7600	44.2
Wf-3	Behind	11.31	−0.50	−4.19	44313	128521	0.35	9.7600	44.1
Wf-4		11.56	−0.24	−2.03	43801	124352	0.35	9.7595	44.2
Wf-5	Left side	12.10	0.30	2.53	50421	137338	0.37	9.7594	44.1
Wf-6	Right side	13.02	1.22	10.34	55354	141069	0.39	9.7600	44.1
Wf-7	Inside	10.14	−1.66	−14.05	32137	103150	0.31	9.7595	44.1
Wf-8		10.46	−1.34	−11.35	34559	107731	0.32	9.7594	44.1
Wd-1	Front	11.91	0.15	1.25	46396	128140	0.36	9.7597	44.3
Wd-2		11.32	−0.44	−3.72	41928	121346	0.35	9.7592	44.2
Wd-3		12.05	0.29	2.47	46446	126931	0.37	9.7597	44.2
Wd-4	Behind	11.19	−0.58	−4.91	42387	124075	0.34	9.7594	44.2
Wd-5		11.20	−0.57	−4.80	43392	126889	0.34	9.7596	44.2
Wd-6		11.66	−0.11	−0.90	45704	128787	0.36	9.7598	44.2
Wd-7	Left side	11.82	0.06	0.53	43634	121326	0.36	9.7594	44.2
Wd-8		12.19	0.43	3.67	43611	117910	0.37	9.7595	44.2
Wd-9	Right side	13.19	1.43	12.16	46799	117857	0.40	9.7596	44.2
Wd-10		12.73	0.96	8.19	47395	123272	0.39	9.7597	44.2
Wd-11[a)]	Inside	–	–	–	–	–	–	–	–
Wd-12		10.05	−1.71	−14.54	31405	101554	0.31	9.7593	44.3
Wd-13[a)]		–	–	–	–	–	–	–	–

[a)]Dosimeters were damaged caused by moisture.

선이 시료를 투과할 때 감쇠가 발생하는 양상 차이를 확인하였다. 추후 한지, 견직물, 목재 등 문화재를 구성하는 전통재료들을 시료로 선정하고, 다양한 조건에서의 실증적인 연구로부터 결과를 도출해 데이터베이스를 구축한다면, 재난 시 수침문화재를 대상의 감마선멸균법 도입을 위한 기초자료로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 문화재청 및 국립문화재연구소의 2021년도 문화유산 스마트 보존·활용 기술 개발 사업 수행되었음(과제명: 동산문화재 재해·재난 대응 응급 보존처리를 위한 방사선 활용 훈증 대체기술 개발 - 1세부 재난대응 수침문화재 방사선이용 보존 처리 기술과 공정개발 및 실증연구, 과제

번호; 2021A01D07-001, 기여율 100%). 또한 저자들은 선량 측정을 도와주신 한국원자력연구원 첨단방사선연구소 이윤종 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Cultural heritage administration. 2012. Cultural Property Biological Damage Management Manual. 6-7.

Gwon JH. 2017. Radioactivity, radiation, and agrifood safety. *Food Preserv. & Proce. Ind.* **16**(1):55-87.

Kang HY, Jang GU and Kang HS. 2019. Radiation shielding/absorbing material. Korea Institute of Materials Science. 1-3.

National Research Institute of Cultural Heritage. 2009. Development of conservation system for protection of wooden cultural properties.

Oh GW and Im SH. 2017. Corrosion of the Gas-Turbine Engine According to the Environment of the Korean Seas. *J. Aerospace Sys. Engin.* **11**(2):43-50.

Received: 8 December 2021
Revised: 23 December 2021
Revision accepted: 23 December 2021