

아리수 수질검사 항목에 대한 위해성 평가

연구책임자	신물질분석과	장도일
연구원	신물질분석과	정관조
	연구기획과	홍원해
	신물질분석과장	박영복
	수질분석부장	김복순

요 약 문

I. 연구제목

아리수 수질검사 항목에 대한 위해성 평가

II. 연구기간

2018. 1. ~ 12. (1년)

III 연구목적

서울시 수돗물에 대한 신뢰도 제고 방안으로 환경부 먹는물 수질항목, 서울시 감시항목 및 미규제 신종물질에 대해 최근 3년간의 아리수 수질분석 결과를 토대로 이들 물질이 인체에 미치는 위해성을 정량적으로 평가하고, 아리수의 안전성을 확인하고자 하였다.

IV 연구내용

- 환경부 먹는물 수질기준 60항목 및 서울시 감시항목 110항목, 미규제 신종물질 145항목에 대한 수질 조사 결과 분석
- 수질분석 항목별 위해성 확인 및 용량-반응 평가 관련 해외 자료 조사(미국 EPA 등)
- 수질분석 결과를 바탕으로 노출평가 실시(섭취에 의한 노출정도 평가) 및 위해도 결정

V 연구결과

최근 3년(2015년 ~ 2017년) 동안 아리수 수질검사 315항목 먹는물 수질기준 60항목 중 23항목, 감시항목 110항목 중 25항목, 미규제 신종물질 145항목 중 9항목 등 57항목이 1회 이상 검출되었으며, 인체유해성(발암도) 평가가 가능한 항목은 18항목이었다. 아리수 수질 검출현황, EPA 등에서 조사된 인체유해성(발암도) 조사와 평가대상 18항목에 대한 위해도평가를 실시한 결과

는 다음과 같다.

* 위해도 평가대상 18항목 : 먹는물 수질기준 10항목(망간, 아연, 붕소, 브롬산염, 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 클로랄하이드레이트, 디브로모아세트오니트릴, 디클로로아세트오니트릴), 서울시 감시항목 7항목(폴리브렌, 바륨, 스트론튬, N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, 디클로로아세트산), 미규제 신종물질 1항목(브로모클로로메탄)

1. 2015년부터 2017년까지 3년 동안 아리수 315항목을 조사한 결과 먹는물 수질기준 37항목, 감시항목 85항목, 미규제 신종물질 136항목 등 258항목이 불검출되어 위해도가 전혀 없는 것으로 판정됨
2. 미국 환경청(EPA) 등의 인체위해성(발암성) 조사된 발암성 물질 91항목(먹는물 수질기준 23, 감시 40, 미규제 신종물질 28) 중 총 14항목(먹는물 수질기준 7, 서울시 감시 6, 미규제 신종물질 1)이 검출한계 및 수질기준 이내 검출되었고, 나머지 67항목은 불검출되어 아리수의 수질안전성을 확인함
 - 먹는물 수질기준 유해성(발암성) 조사 29항목(발암성 23, 비발암성 6) 중 질산성질소(2A), 브롬산염(B2), 클로로포름(B2), 브로모디클로로메탄(B2), 디브로모클로로메탄(C), 디브로모아세트오니트릴(3), 디클로로아세트오니트릴(3) 등 7항목이 수질기준 이내 검출되었고, 크롬 등 22목은 모두 불검출됨
 - 서울시 감시 수질기준 유해성(발암성) 조사 54항목(발암성 40, 비발암성 14) 중 브롬이온(B2), 과불화옥탄산(2B), N-니트로소디메틸아민(B2), N-니트로소디에틸아민(B2), 디클로로아세트산(B1), 트리클로로아세트산(C) 등 6항목이 수질기준 이내 검출되었고, 니켈 등 48항목은 모두 불검출됨
 - 미규제 신종물질 유해성(발암성) 조사 43항목(발암성 28, 비발암성 15) 중 브로모클로로메탄(D) 1항목만이 정량한계 수준으로 검출되었고, 17 α -에티닐 에스티라디올 등 42항목은 불검출됨
3. 환경부 먹는물 수질기준 60항목 중 위해도 평가가 가능한 10항목(비발암성 7, 발암성 3)에 대해 위해도를 평가한 결과
 - 비발암물질 7항목의 위해도지수(HQ)는 망간 0.001 6, 아연 0.007 3, 붕소(0.003 1, 클로로포름 0.11, 클로랄하이드레이트 0.002 5, 디브로모아세트오니트릴 0.002 5, 디클로로아세트오니트릴 0.003 7 등으로 계산되었으며, '위해 없음' 기준인 1이하로

- 평가되어 안전한 것으로 판정되었으며,
- 발암성물질 3항목의 초과발암도(ECR)는 브롬산염 3.14×10^{-5} , 브로모디클로로메탄 3.09×10^{-5} , 디브로모클로로메탄 1.31×10^{-5} 으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과 ‘위험성 있음’ 기준인 10^{-4} 이하로 안전한 것으로 나타남
4. 서울시 감시항목 110항목 중 위해도 평가가 가능한 7항목(비발암물질 3, 발암물질 4)에 대해 위해도 평가를 한 결과
- 비발암성물질 3항목의 위해도지수(HQ)는 폴리브덴 0.006 2, 바륨 0.004 5, 스트론튬 0.007 2 등으로 ‘위해 없음’ 기준인 1이하로 평가되어 안전한 것으로 나타났으며
 - 발암성물질 4항목의 초과발암도(ECR)는 N-니트로소디메틸아민 1.27×10^{-5} , N-니트로소디에틸아민 2.34×10^{-5} , 디클로로아세트산 1.25×10^{-5} , 트리클로로아세트산 1.96×10^{-5} 으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과 ‘위험성 있음’ 기준인 10^{-4} 이하로 안전한 것으로 판정됨
5. 미규제 신종물질 145항목 중 위해성 평가가 가능한 비발암성물질 브로모클로로메탄의 위해도지수(HQ)는 0.009 3으로 계산되어, 위해도 평가 결과는 ‘위해 없음’ 기준인 1이하로 안전한 것으로 판정됨
6. 2015년부터 2017년까지 3년 동안 아리수 315항목을 조사한 결과 258항목이 불검출되었으며, 아리수 수질검사 18항목의 최대 검출농도에 대한 인체 노출 위해도 평가 결과 (비발암성물질 11항목 위해도지수(HQ) 평가, 발암성물질 7항목 초과발암도(ECR) 평가)는 모두 위해가 없는 것으로 판정되어 아리수의 안전성을 확인함

VI 활용방안

1. 서울시 아리수 수질검사 315항목에 대한 검출현황 조사와 위해성 평가를 통해 수돗물의 안전성을 확인하고,
2. 분석결과를 토대로 수돗물의 안전성에 대한 사회적 불신을 해소하는데 적극 대처하고자 한다.

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구 배경 및 연구목적	1
1.2 연구 내용 및 범위	2
2. 이 론	3
2.1 유해성 확인	3
2.2 용량반응 평가	4
2.3 노출 평가	5
2.4 위해도 결정	6
3. 연구 내용 및 방법	9
3.1 조사 대상	9
3.2 수질항목 및 분석방법	9
3.3 위해도 평가	9
4. 결과 및 고찰	11
4.1 아리수 수질검사 결과	11
4.1.1 먹는물 수질기준 60항목의 수질검사 결과	11
4.1.2 서울시 감시항목 110항목의 수질검사 결과	12
4.1.3 미규제 신종물질의 145항목의 수질검사 결과	15
4.2 수질항목에 대한 인체위해성 자료 조사 결과	16
4.2.1 먹는물 수질기준 60항목에 대한 인체 위해성 자료조사 결과	16
4.2.2 서울시 감시항목 110항목에 대한 인체 위해성 자료조사 결과	18
4.2.3 미규제 신종물질 145항목에 대한 인체 위해성 자료조사 결과	19

4.3 아리수 수질검사 항목에 대한 위해성 평가	20
4.3.1 용량반응 평가	21
4.3.2 노출량 평가	22
4.3.3 위해도 평가	24
5. 결론	28
6. 참고문헌	31

표 목 차

표 1. 먹는물 수질기준 60항목	11
표 2. 환경부 먹는물 수질기준 검출 23항목	12
표 3. 서울시 감시항목 110항목	13
표 4. 서울시 감시항목 검출 25항목	14
표 5. 미규제 신종물질 145항목	15
표 6. 미규제 신종물질 검출 9항목	16
표 7. 미국 환경청(EPA)와 국제암연구소(IARC)의 발암도 분류	17
표 8. 먹는물 수질기준 60항목에 대한 인체 위해성 조사자료 29항목	17
표 9. 서울시 감시항목 110항목에 대한 인체 위해성 조사자료 54항목	18
표 10. 미규제 신종물질 145항목에 대한 인체 위해성 조사자료 43항목	19
표 11. 아리수 위해성 평가 대상 18항목	20
표 12. 미국 환경청(EPA) 및 국제암연구소(IARC) 용량반응 평가 결과	21
표 13. 노출량 평가 결과	23
표 14. 비발암성 물질에 대한 위해성 평가 결과	25
표 15. 발암성 물질에 대한 위해성 평가 결과	27

그림 목 차

그림 1. 유해성과 위해성	4
그림 2. 위해도 평가 과정	9

1. 서 론

1.1. 연구 배경 및 연구목적

물은 신체의 대부분을 구성하고 있는 기본물질이고 인간의 생명을 유지하는데 필수적이며, 깨끗한 물은 건강한 삶을 영위하는데 필수적인 요소이다. 그러나 오늘날 생활양식의 변화와 산업의 고도에 따른 각종 유해물질의 발생으로 먹는 물의 안전성에 대한 관심과 우려가 증가되고 있는게 현실이다.

현재 전 세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 20만여 종에 이르며 매년 3천여 종의 새로운 화학물질이 개발되어 상품화되고 있으며, 향후에도 화학산업의 지속적인 성장이 예상되고 있다. 국내에는 4만 4천 종 이상의 화학물질이 유통되고 있고, 매년 2,000여 종이 새롭게 국내시장에 진입되는 등 화학물질의 사용이 꾸준히 증가하고 있다(환경부, 2018).

이들 물질들이 다양한 경로를 통해 상수원으로 유입될 경우 시민들이 수돗물로 음용할 가능성이 있으며, 수질관리 측면에서 오염물질에 대한 관리가 필요하다. 서울시는 환경부 먹는물 수질기준 60항목과 더불어 서울시 감시항목 110항목을 지정하여 수질검사를 실시하고 그 결과를 시민에게 공개하여 수돗물의 안전성을 홍보하고 있다. 또한 규제되지 않고 있는 미규제 신종물질에 대해서도 실태 조사를 실시하여 수돗물의 안전성을 확인하고 있다.

그러나 수돗물을 사용하고 있는 많은 시민들은 각종 화학물질에 의한 상수원의 수질오염사고, 수돗물 대체용수 업체의 수돗물 불신 조장 등의 언론보도, 막연한 불안감 조장 등으로 인한 수돗물 수질에 대한 막연한 불안감이 사라지지 않고 있다(조수현 등, 2006).

본 연구는 서울시 수돗물 아리수에 대한 신뢰를 제고시키는 방안으로 환경부 먹는물 수질기준항목, 서울시 감시항목 및 미규제 신종물질 등 아리수 수질검사 대상 315항목에 대해 최근 3년간의 수질분석결과를 토대로 위해성 평가를 실시하였다.

1.2 연구내용 및 범위

본 연구에서는 2015년부터 2017년까지 3년 동안 먹는물 수질기준 60항목, 서울시감시항목 110항목, 미규제 신종물질 145항목 등 아리수 수질검사 315항목에 대해 수질결과를 분석하고, 물질별 유해성 확인 및 위해도 평가에 필요한 용량-반응평가 관련 자료를 미국 환경청(EPA) 등에서 조사하였다. 이를 통하여 검출 물질에 대한 인체노출평가 및 위해도를 산출하여 아리수 수질검사항목에 대한 수질안전성을 확인하였다.

2. 이 론

위해성 평가는 원하지 않는 사건의 발생에 대한 가능성을 측정하는 것으로 여기에 해당하는 위해도는 안정성, 건강, 대중의 복지, 생태, 재정적인 결과 및 상위의 것을 모두 종합한 것을 다루고 있다. 인체 건강 위해성 평가에서 최종점은 발암 및 비발암으로 나누어지는데 비발암의 경우 일시적이고 가역적인 효소 변화 면역 억제, 생식 및 발생의 비정상화, 호흡기계 및 알레르기 반응 등이 해당된다(김오식, 1993).

특히, 인체건강 위해성 평가는 어떤 독성 물질이나 위험 상황에 노출되어 나타날 수 있는 개인 혹은 집단의 건강 피해 확률을 추정하는 과학적인 과정으로 사람이 환경적 위험에 노출되었을 경우, 발생 가능한 영향을 정성 또는 정량적으로 추정하는 과정이다. 즉 유해물질에 대한 역학적, 임상적, 독성학적 및 환경학적 연구 결과로부터 모델을 이용한 외삽(extrapolation)을 통해 주어진 노출 조건 하에서 인간에 미칠 수 있는 건강 위해 범위를 예측하고 평가하는 것이다(유동구, 2005).

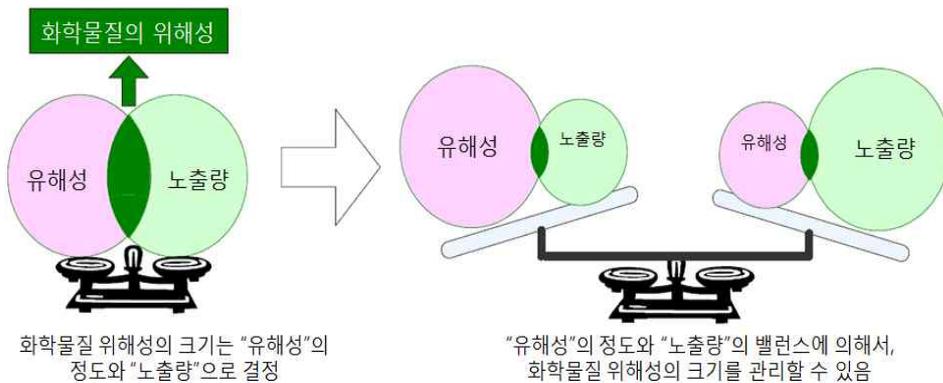
위해성 평가는 유해성확인(hazard identification), 용량-반응 평가(dose-response assessment), 노출평가(exposure assessment) 및 위해도 결정(risk characterization) 등 4단계로 진행된다.

2.1 유해성 확인

많은 화학물질의 경우, 극히 소량이 몸에 들어오는 것만으로는 나쁜 영향이 생기지 않는다. 이 때문에 화학물질의 위해성을 평가하는 경우에는 “어느 정도의 양까지 몸에 들어와도 괜찮은가?”, “그 양을 넘으면 어떠한 영향이 발생하는가?” 를 아는 것이 중요하다. 대상 화학물질이 갖는 유해성의 종류나 정도를 파악하기 위해 대상 화학물질의 유해성에 관한 정보 및 데이터를 수집하는 것을 ‘유해성 확인’ 이라 한다.

화학물질의 유해성의 크기는 그 화학물질이 사람이나 환경 중 생물에 대해서 어

때한 바람직하지 않는 영향을 미치는 성질(유해성)이 있는가의 강약과 사람이나 환경 중 생물이 어느 정도 양(농도)의 화학물질에 노출되어 있는가(노출량)에 의해서 정해진다. 유해성이 강한 물질이라도 노출량이 적으면 위해성이 낮고, 반대로 유해성이 낮은 화학물질이라도 노출량이 많으면 위해성이 높다(환경부, 2010).



* 출처 : 위해성 평가 해설서(환경부, 2010)

그림 1. 유해성과 위해성

2.2 용량반응 평가

용량-반응 평가는 유해한 영향이 어느 정도의 노출량으로 발생하는지를 조사하는 것이다. 동물실험 결과 등에서 “유해한 영향을 나타내지 않는 양” (악영향 무관찰량)을 참고하여 이 결과를 사람에게 적용하는 경우의 불확실성(종간 차이, 개인차 등)을 고려하고, “사람의 건강에 대해 유해한 영향을 나타내지 않는 양”을 산출한다.

비발암성물질에 사용되는 독성참고치(RfD, reference dose)는 특정 요인에 노출되는 일일 ‘안전(safety)’ 용량을 평가하는 수치이다. 이러한 값은 화학물질의 역학적/독성학적 무영향관찰용량(NOAEL, no observed adverse effect level)에 근거한다. 가장 낮은 농도에서 특정 건강 영향이 관찰될 때를 최저관찰영향수준(LOAEL, lowest observed adverse effect level)이라하며 미국 환경청(EPA)은

많은 동물연구를 통하여 다양한 최저관찰영향수준(LOEL) 값을 검토하고 있다. 유효한 노출량 반응 정보가 없을 경우, 위해도 산정에 활용되는 독성참고치 및 독성자료는 노출경로와 독성학적 역치의 가정 유무에 따라서 일일섭취량(TDI, tolerance daily intake), 흡입독성참고치(RfC), 발암잠재력(SF, slope factor), 무영향관찰용량(NOAEL) 자료 등을 활용할 수 있다(Rochester *et al.*, 2013). 이 경우 세계보건기구(WHO) 등의 국제기구, 미국환경청(EPA), 식약처 등 국내외 정부기관에서 제안된 독성참고치 및 독성자료를 활용하여야 한다.

2.3 노출 평가

노출평가(exposure assessment)는 환경 중에 화학물질의 정성 및 정량 분석자료를 근거로 화학물질이 인체 또는 기타 수용체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 것을 말한다. 앞 단계에서 “어떠한 영향이 어느 정도의 노출량으로 발생하는가”를 파악하기 위해서 용량-반응 평가를 실시하였다. 그 다음에는 “실제로 어느 정도 양(농도)의 화학물질에 노출되어 있는가”를 추정할 필요가 있는데 이것을 ‘노출평가’라 한다. 화학물질의 노출평가는 화학물질이 영향을 받는 대상에 도달하는 환경거동과 노출량(농도)을 평가하는 것이다.

1) 비발암성 물질의 인체 노출(섭취)량(ING, Ingestion) 산정 방법은 노출기간동안 평균 1일 섭취량(mg/kg-day)을 평균체중으로 나누어 산출하며, 계산식은 (식 1)과 같다.

$$ING = \frac{C_w \times WIR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT} \approx \frac{C_w \times WIR \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (식 1)$$

ING = 노출량(섭취량, mg/kg · day)

C_w = 먹는물 중 화학물질의 농도(mg/L)

WIR = 하루 평균 물 섭취량(L/day)

FI = 오염원으로부터의 섭취율 ; 100% 섭취시 FI = 1

EF = 연간 노출빈도(days/yr) ; 365일 노출시 EF = 1

ED = 노출기간(yr)

BW = 노출기간동안의 평균체중(kg)

AT = 노출 시간(day)

2) 발암물질의 만성 1일 노출(섭취)량(CDI, chronic daily intake) 산정은 물질의 평균 1일 인체 노출량을 평균 체중으로 나누어 산출하며, 계산식은 (식 2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{CDI} &= \frac{\text{평균 1일 노출량(mg/day)}}{\text{체중(kg)}} = \frac{\text{총 투여량(mg)}}{\text{체중(kg)} \times \text{수명(day)}} \\
 &\doteq \frac{C_w \times \text{WIR} \times E_d \times \text{AB}}{\text{BW} \times \text{Life}} \dots\dots\dots (\text{식 2})
 \end{aligned}$$

CDI = 만성 1일 노출량(섭취량, mg/kg · day)

C_w = 먹는물 중 화학물질의 농도(mg/L)

WIR = 하루 평균 물 섭취량(L/day)

E_d = 노출일수(day life)

AB = 물질의 체내 흡수율(absorption ratio)

Life = 수명(yr/life)

BW = 노출기간동안의 평균체중(kg)

2.4 위해도 결정

위해도 결정은 독성평가와 노출평가의 결과를 종합하여 위해도와 유해도지수를 이용하여 정량화하는 단계로 위해성이 있는지를 판정한다. 위해도 결정은 용량-반응 평가의 결과 값과 노출평가에서 추정된 노출량(농도)을 비교하여 실시한다. 추정된 노출량(농도)이 용량-반응 평가 기준치보다 높은지 낮은지를 보는 것으

로, 이를 통해 인체 건강과 환경에서의 위해성이 우려되는지를 결정한다(환경부, 2010).

발암물질의 경우 어떤 오염물질에 대해 용량-반응 평가를 통해 산출된 발암잠재력(SF, slope factor)값과 물질의 노출농도를 통해 얻어진 만성 1일 섭취량(CDI, chronic daily intake)을 곱하여 위해도를 산출한다. 만성 1일 섭취량(mg/kg-day)은 노출기간 동안의 평균 1일 섭취량을 고려하여 산정한다.

비발암물질의 노출량(ING, Ingestion)은 노출기간 중에만 1일 평균 노출량(mg/kg-day)을 고려하여 산출한다.

1) 비발암물질의 위해도 평가

비발암성물질의 위해도는 비발암성 물질의 노출에 따른 용량-반응 평가를 통해 산출된 참고치인 장기간 하루 섭취량(CDI)과 미국 환경청(EPA)의 통합위해정보시스템(IRIS)에서 제시한 독성참고치(RfD, reference dose)나 WHO의 하루섭취허용량(TDI, tolerable daily intake) 비교를 통해 위해도지수를 평가할 수 있다. 비발암성물질에 대한 위해도지수(HQ, hazard quotient) 산출과정은 (식 3)과 같다. 위해도지수(HQ)가 1미만인 경우에는 안전하다고 판단(유해가 없음)할 수 있으며, 1을 초과하는 경우에는 비발암독성이 나타날 가능성이 있다고 할 수 있다.

$$\text{위해도지수 (HQ)} = \frac{\text{노출량(=섭취량)(ING)}}{\text{독성참고치(RfD)}} \dots\dots\dots (\text{식 3})$$

2) 발암성 물질의 노출량 평가

발암성물질의 위해도는 산출과정은 (식 4)와 같으며, 화학물질 노출평가를 통하여 얻어진 장기간 하루섭취량(chronic daily intake)과 발암잠재력(SF, slope factor) 값을 곱하여 개별위험도를 산출한다. 발암잠재력(SF)은 미국 환경청(EPA)의 통합위해정보시스템(IRIS)에서 제시한 발암성 영향에 대한 건강위해성

평가자료를 인용하여 계산한다.

$$\text{초과발암위해도(ECR)} = \text{만성 1일 섭취량(CDI)} \times \text{발암잠재력(SF)} \dots\dots\dots (\text{식 4})$$

발암물질의 위해도 판단은 환경부 기준에 따라 초과발암위해도(ECR) 값이 10^{-4} 이상인 경우는 ‘위해가 있다’고 판단하며, 10^{-6} 이하인 경우는 ‘위해가 없다’고 판단한다(국립환경과학원 고시 제2014-48호, 2014).

3. 연구 내용 및 방법

3.1 조사 대상

우리시 수돗물 아리수의 최근 3년(2015년 ~ 2017년) 수질검사항목을 대상으로 검출현황을 조사하고, 검출항목 중 용량반응 평가 자료가 있는 항목을 대상으로 위해도를 평가하였다.

먹는물 수질기준 항목은 아리수 월간정수(정수 월 1회 이상) 조사자료와 서울시 감시항목(분기 1회 이상) 조사자료, 미규제 신종물질(반기 1회 이상) 조사자료를 이용하였다.

3.2 수질항목 및 분석방법

먹는물 수질기준 60항목은 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙의 먹는물 수질검사방법을 이용하여 분석하였으며, 서울시 감시항목 110항목은 서울시 수도조례시행규칙의 서울특별시 감시항목 검사방법을 따랐다. 미규제 신종물질의 경우 EPA method, Standard Method 등을 참고하여 정립된 분석법에 따라 시료를 분석하였다.

3.3 위해도 평가

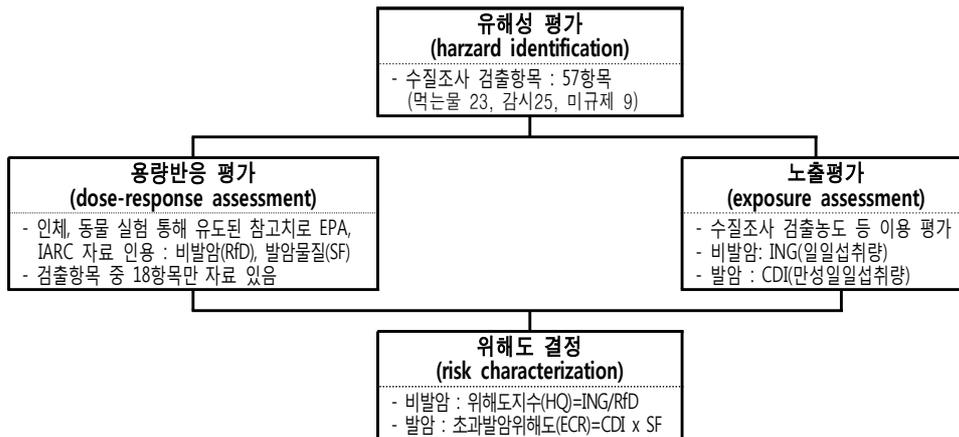


그림 2. 위해도 평가 과정

위해성 평가는 발암성물질과 비발암성물질로 나누어 실시하였으며, 비발암성물질의 노출량 산출(ING)시 먹는물 중 화학물질의 농도(Cw)는 아리수 분석 결과값을 적용하였다. 하루평균물섭취량(WRI)은 세계보건기구(WHO)가 제시한 하루물 섭취 권장량 2 L로 하였으며, 오염원으로부터의 섭취율(FI)은 충분한 자료가 부족하여 물속의 화학물질 100%가 사람에게 노출된다고 가정하여 1로 하였다. 연간 노출빈도(EF)와 노출기간(ED)은 아리수를 평생 동안 음용한다고 가정하여 70년으로 산정하였다. 평균 체중은 국립환경과학원 위해성평가를 위한 인체노출계수의 성인 전체평균 체중인 64.2 kg을 적용하였다. 노출량이 평균되어지는 시간(AT)은 기대수명인 70년으로 산정하였다(식 1).

발암성물질의 경우 만성(장기) 1일 노출량(CDI, mg/kg · day) 계산시 화학물질의 농도(Cw)는 수질분석 결과값, 하루 물섭취량, 몸무게는 비발암성물질과 동일한 값을 적용하였으며, 노출일수(Ed)는 아리수를 평생 동안 음용한다고 가정하여 70년으로 산정하였다. 흡수율(AB)은 물이 100%로 체내로 흡수된다고 가정하여 1을 적용하였다. 평생 동안 노출일수(Ed)는 일생동안 음용하므로 70년으로 산정하였으며, 수명(Life)은 기대수명인 70년으로 산정하였다(식 2).

위해성평가 기준은 국립환경과학원 고시를 참고하였으며, 비발암성 물질의 경우 노출량(ING)과 독성참고치(RfD)를 이용하여 위해도지수(HQ)를 산출하였으며, 위해도지수(HQ)의 평가기준은 다음과 같다

$HQ > 1$: 위해가 있음, $HQ < 1$: 위해가 없음

또한, 발암성 물질의 경우 만성 1일 섭취량(CDI)과 독성잠재력(SF)을 이용하여 초과발암위해도(ECR, excess cancer risk)를 산출하였으며, 초과발암위해도(ECR) 평가 기준은 다음과 같다.

$ECR < 10^{-6}$: 위해가 있음, $ECR > 10^{-4}$: 위해가 없음
--

4. 결과 및 고찰

4.1 아리수 수질검사 결과

4.1.1 먹는물 수질기준 60항목의 수질검사 결과

2015년 ~ 2017년 3년 동안 먹는물 수질기준 60항목(표 1)에 대해 서울시 6개 아리수정수센터 수돗물 시료를 조사하였으며, 시료별 총 287건의 검출농도를 조사하였다.

표 1. 먹는물 수질기준 60항목

구분		먹는물 수질기준 항목
먹는물 수질기준 (60)	미생물(4)	일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 대장균
	심미적 영향물질(16)	경도, 과망간산칼륨소비량, 냄새, 맛, 동, 색도, 세제, pH, 아연, 염소이온, 증발잔류물, 철, 망간, 탁도, 황산이온, 알루미늄
	건강상 유해영향 무기물질(12)	납, 불소, 비소, 세레늄, 수은, 시안, 크롬, 암모니아성질소, 질산성질소, 카드뮴, 붕소, 브롬산염
	건강상 유해영향 유기물질(17)	페놀, 다이아지논, 파라티온, 페니트로티온, 카바릴, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소, 1,2-디브로모-3-클로로프로판, 1,4-다이옥산
	소독제 및 소독 부산물질(11)	잔류염소, 총트리할로메탄, 클로로포름, 디브로모클로로메탄, 브로모디클로로메탄, 클로랄하이드레이트, 디클로로아세트니트릴, 트리클로로아세트니트릴, 디브로모아세트니트릴, 폼알데하이드, 할로아세틱에시드

조사결과 수소이온 등 심미적영향물질 11항목, 붕소 등 유해영향무기물질 3항목, 잔류염소, 클로로포름 등 소독제 및 소독부산물 9항목 등 총 23항목이 검출되었고(검출률 38.3%), 검출농도는 미량 또는 수질기준 이내로 먹는물 수질기준을 충족하는 범위에서 검출되었다. 검출항목에 대한 검출농도와 검출빈도는 표 2에 나타내었다.

표 2. 환경부 먹는물 수질기준 검출 23항목

구분	항목	기준 (mg/L)	검사결과(2015년 ~ 2017년, mg/L), n=287건 검사				
			평균	최소	최대	검출횟수	검출률
심미적 영향물질 (11)	수소이온농도	5.8 ~ 8.5	7.1	6.7	7.5	287	100%
	탁도 (NTU)	0.5 NTU 이하	0.05	0.04	0.07	287	100%
	경도	300 이하	70	46	88	287	100%
	KMnO ₄ 소비량	10 이하	1.2	0.4	2.2	277	97%
	망간	0.05 이하	불검출	불검출	0.007	4	1%
	동	1 이하	불검출	불검출	0.010	6	2%
	아연	3 이하	0.002	불검출	0.070	84	29%
	알루미늄	0.2 이하	0.02	불검출	0.07	153	53%
	황산이온	200 이하	16	9	28	287	100%
	염소이온	250 이하	23.8	12.6	51.8	287	100%
	증발잔류물	500 이하	123	87	165	287	100%
유해영향 무기물질 (3)	붕소	1 이하	0.01	불검출	0.02	253	88%
	질산성질소	10 이하	1.9	0.9	3.3	286	100%
	브롬산염	0.01 이하	불검출	불검출	0.005 3	37	13%
소독제 및 소독부산 물질 (9)	잔류염소	4 이하	0.41	0.11	0.66	287	100%
	총트리할로메탄	0.1 이하	0.020	불검출	0.048	286	100%
	클로로포름	0.08 이하	0.013	불검출	0.036	286	100%
	브로모디클로로메탄	0.03 이하	0.005	불검출	0.016	283	99%
	디브로모클로로메탄	0.1 이하	0.001	불검출	0.005	224	78%
	할로아세틱에시드	0.1 이하	0.002	불검출	0.016	198	69%
	클로랄하이드레이트	0.03 이하	0.0006	불검출	0.007 9	128	45%
	디브로모아세토니트릴	0.1 이하	불검출	불검출	0.000 9	8	3%
	디클로로아세토니트릴	0.09 이하	불검출	불검출	0.0032	59	21%

4.1.2 서울시 감시항목 110항목의 수질검사 결과

서울시 감시항목 110항목(표 3)에 대해 2015년 ~ 2017년 3년 동안 6개 정수센터 수돗물 아리수를 대상으로 항목별 분석주기에 따라 56 ~ 336건 수질분석 결과를 조사하였다.

표 3. 서울시 감시항목 110항목

구분		서울시 감시항목			
감시항목(110)	미생물(10)	녹농균, 바이러스, 분원성연쇄상구균, 살모넬라, 쉬겔라, 야황산환원혐기성포자형성균, 장구균, 저온일반세균, 지아디아, 크립토스포리디움			
	심미적영향물질(10)	지오스민, 2-엠아이비, 나트륨, 마그네슘, 은, 입자수, 칼륨, 칼슘, 총유기탄소, 부식성지수(LI지수)			
	건강상유해영향무기물질(11)	니켈, 몰리브덴, 바륨, 베릴륨, 브롬이온, 스트론튬, 아질산성질소, 안티몬, 우라늄, 주석, 퍼클로레이트			
	건강상유해영향유기물질(59)	글라이포세이트 1,1,2-트리클로로에탄 2,4-디(2,4-D) 디메토에이트 디부틸프탈레이트 2,4-디비(2,4-DB) 디(2-에틸헥실)아디페이트 디(2-에틸헥실)프탈레이트 디엘드린 1,2-디클로로벤젠 1,3-디클로로벤젠 1,4-디클로로벤젠 1,1-디클로로에탄 1,2-디클로로에탄 1,2-디클로로에틸렌	1,2-디클로로프로판 1,3-디클로로프로펜 마이크로시스틴-LR 메토밀 메틸라클러 메틸디메톤 메틸파라티온 모노클로로벤젠 몰리네이트 벤조(에이)피렌 부타클러 부틸벤질프탈레이트 비스페놀 에이 스티렌 시마진	아나톡신-에이 알드린 알라클러 퍼메트린 에피클로로히드린 엔도설판 엔드린 엠티비(MTBE) 염화비닐 이프로벤포스 이피엔(EPN) 카보푸란 클로로에탄 클로르피리포스 터부틸아진	노닐페놀 트리플루랄린 2,4,5-티(T) 에틸렌 디브로마이드 페노브카브 펜디메탈린 펜타클로로페놀 펜토에이트 포레이트 헥사클로로부타디엔 헵타클로 헵타클로 에폭사이드 과불화옥탄산, 과불화옥탄술폰산
	소독부산물(19)	디브로모아세트산, 디클로로아세트산, 모노브로모아세트산, 모노클로로아세트산, 브로모클로로아세트산, 트리클로로아세트산, 1,1-디클로로아세톤, 1,1,1-트리클로로아세톤, 브로모클로로아세토니트릴, 브로모포름, 아세트알데히드, 클로로페놀, 2,4-디클로로페놀, 2,4,6-트리클로로페놀, 클로라이트, 클로레이트, 클로르피크린, N-니트로소디메틸아민(NDMA), N-니트로소디에틸아민(NDEA)			
방사성물질(1)	요오드-131				

유해영향무기물질 중 검출빈도가 가장 높은 질산성질소는 100% 검출률을 나타냈으며, 최대 검출값은 3.3 mg/L로 기준의 1/3 수준이었으며, 대표적인 소독부산물인 클로로포름의 경우 최대 0.036 mg/L로 검출되어 기준의 약 1/2 수준이었다. 검출항목은 몰리브덴, 바륨, 브롬이온, 스트론튬, 주석 등 무기물 5항목, 과불화옥탄산, 과불화옥탄술폰산 등 유기물 2항목, N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, 디클로로아세트산, 브로모클로로아세트산, 트리클로로아세트산, 1,1-디클

로로아세톤, 1,1,1-트리클로로아세톤, 브로모클로로아세토니트릴, 클로로피크린 등 소독부산물 9항목, 나트륨, 마그네슘, 부식성지수, 2-엠아이비, 입자수, 지오스민, 총유기탄소, 칼륨, 칼슘 등 심미적 영향물질 9항목이 검출되었다. 검출항목은 110항목 중 25항목으로 22.7% 검출되었으며, 모두 수질기준 이내였다(표 4).

표 4. 서울시 감시항목 검출 25항목

구분	항목	기준 (mg/L)	검사결과(2015 ~ 2017년, mg/L), n=56~336건 검사					
			평균	최소	최대	검출횟수	분석횟수	검출률
무기물 (5)	몰리브덴	0.07 이하	불검출	0.001	0.001	13	84	15%
	바륨	0.7 이하	0.019	0.014	0.029	84	84	100%
	브롬이온	2 이하	0.002	0.007	0.025	63	322	20%
	스트론튬	4 이하	0.097	0.070	0.138	84	84	100%
	주석	-	0.000	0.001	0.002	4	84	5%
유기물 (2)	과불화옥탄산(PFOA)	0.001 이하	0.000 001	0.000 001	0.000 004	32	56	57%
	과불화옥탄술폰산(PFOS)	0.001 이하	불검출	0.000 001	0.000 002	8	56	14%
소독부산물 (9)	N-니트로소디메틸아민	0.00007 이하	0.000 001	0.000 002	0.000 008	8	56	14%
	N-니트로소디에틸아민	0.00002 이하	불검출	0.000 002	0.000 005	5	56	9%
	디클로로아세트산	0.06이하 (6종합산)	0.001	0.001	0.008	38	84	45%
	브로모클로로아세트산		불검출	0.001	0.002	9	84	11%
	트리클로로아세트산		0.001	0.001	0.009	37	84	44%
	1,1-디클로로아세톤	0.05 이하	0.0001	0.000 5	0.000 9	9	84	11%
	1,1,1-트리클로로아세톤		0.0001	0.000 5	0.002 2	13	84	15%
	브로모클로로아세토니트릴	0.05 이하	불검출	불검출	0.0005	1	84	1%
	클로로피크린	-	불검출	불검출	0.000 9	5	84	6%
심미적물질 (9)	나트륨	200 이하	11.8	5.2	27.9	237	237	100%
	마그네슘	-	4.3	2.9	7.6	237	237	100%
	부식성지수 (L)	-	-1.3	-1.8	-1.0	82	82	100%
	2-엠아이비	0.000 02 이하	불검출	불검출	0.000 005	75	336	22%
	입자수	-	18	1	89	336	336	100%
	지오스민	0.000 02 이하	불검출	불검출	0.000 007	15	336	4%
	총유기탄소	5 이하	0.98	0.23	1.69	336	336	100%
	칼륨	12 이하	3.2	1.9	6.2	237	237	100%
	칼슘	-	21.9	14.1	42	237	237	100%

4.1.3 미규제 신중물질 145항목의 수질검사 결과

서울시 미규제 신중물질 145항목(표 5.)에 대해 2015년 ~ 2017년 3년 동안 6개 정수센터 아리수를 대상으로 항목별로 42건 수질분석 결과를 조사하였다.

표 5. 미규제 신중물질 검사 145항목

구분	서울시 미규제 신중물질 항목	
유 기 물 (138)	잔류 의약품질 및 개인위생물 질 (53)	카페인, 시메티딘, 설파메톡사졸, 트리메토프림, 설파클로르피리다진, 설파티아졸, 설파메타진, 설파디메톡신, 설파메라진, 옥시테트라사이클린, 메클로사이클린, 데옥시사이클린, 테트라사이클린, 클로로테트라사이클린, 딜티아젬, 카바마제핀, 아세트아미노펜, 1,7-디메틸잔틴, 세파클러, 세파드록실, 에리트로마이신, 세프라딘, 엔로플록사신, 아목시실린, 탈니플루메이트, 메펙남산, 아세틸살리실산, 페니실린-G, 린코마이신, 17β-에스트라디올, 에티닐에스트라디올, 에스트론, 에스트리올, 디에틸stil베스트롤, 티로신, 이부프로펜, 디클로페낙, 나프록센, 시프로플록사신, 클로로페니콜, 오셀타미비르포스페이트, 오셀타미비르카복실레이트, 반코마이신, 이오프로마이드, 펜베타졸, 페플록사신, 아테놀올, 세파렉신, 에퀼린, 메토프롤롤, 프로파놀롤, 라니티딘, 트리클로산
	농약 (17)	사이퍼메트린, 아미트롤, 옥사밀, 트리사이클라졸, 알디카브, 프로시미돈, 빈클로졸린, 메티오카브, 린단, 말라티온, 헥사클로로벤젠, 테부코나졸, 디클로르보스, 이프로디온
	산업용 화학물질 (36)	디에틸프탈레이트, 아세트산비닐, 1,1,2,2-테트라클로로에탄, 1,3-부타디엔, n-프로필벤젠, 이소프로필벤젠, n-부틸벤젠, 디프로필프탈레이트, 브로모벤젠, 브로모클로로메탄, 디브로모메탄, 벤조(a)안트라센, 벤조(b)플루오란텐, 페난트렌, 플루오란텐, 벤즈(g,h,i)퍼릴렌, 디벤즈(a,h)안트라센, 1,2-부타디엔, N,N-디메틸아민, 2,4-톨루엔디아민, 2,6-톨루엔디아민, 클로로메탄, 모노에틸헥실프탈레이트, 과불화펜탄산, 과불화헥산산, 과불화노난산, 과불화데칸산, 노닐페놀-디에톡실레이트, 4-tert-옥틸페놀-디에톡실레이트, 과불화헵탄산, 나프탈렌, 벤조페논, 비스페놀-F, 4-tert-옥틸페놀, 퀴놀린
	맛·냄새 유발물질 (14)	IPMP, IBMP, TCA, 디메틸디설파이드, 디메틸트리설파이드, 베타-사이클로시트알, 베타이오논, 시스-3-헥신일아세테이트, 트랜스-2-시스-6-노난알, 시스-3-헥센-1올, 2,3,6-트리클로로아니졸, 2,3,4-트리클로로아니졸, 2,4,6-트리브로모아니졸, 시네올
	조류독소 (8)	노둘라린, 삭시톡신, 실린드로스퍼몹신, 마이크로시스틴-RR, 마이크로시스틴-YR, 마이크로시스틴-LA, 마이크로시스틴-LF, 마이크로시스틴-LY,
	소독 부산물 (10)	트리브로모아세트산, 브로모디클로로아세트산, 디브로모클로로아세트산, 디클로로아세트알데히드, NMEA, NDPA, NMOR, NPYR, NPIP, NDBA
무기물 3	규소, 인산염, 바나듐, 바나듐	
미생물 2	방선균, 파울러자유아메바	
방사성물질 7	세슘-137, 세슘-134, 아메리슘, 납-214, 악티늄-228, 라돈-222	

조사결과 카페인, 아세틸살리실산, 이오프로마이드 등 잔류의약품질 3항목, 브로모클로로메탄, 과불화핵산산, 과불화핵산술폰산 등 산업용화학물질 3항목, 디클로로아세트알데히드 소독부산물 1항목, 규소, 인산염 등 무기물 2항목이 검출되었다. 검출항목은 145항목 중 9항목으로 5.5%의 검출률을 보였다(표 6).

표 6. 미규제 신종물질 검출 9항목

구분	항목	정량한계 (mg/L)	2015 ~ 2017년, n=42건 검사					
			3년 평균	3년 최소	3년 최대	검출 횟수	분석 횟수	검출률
잔류의약품 질 (3)	카페인	0.000 010	0.000 000	-	0.000 02	1	42	2%
	아세틸살리실산	0.000 010	0.000 002	-	0.000 031	9	42	21%
	이오프로마이드	0.000 010	0.000 009	-	0.000 063	17	42	40%
산업용 화학물질 (3)	브로모클로로메탄	0.001	0.000	-	0.003	7	42	17%
	과불화핵산산	0.000 001	0.000 001	-	0.000 004	22	42	52%
	과불화핵산술폰산	0.000 001	0.000 001	-	0.000 003	18	42	43%
소독부산물(1)	디클로로아세트알데히드	0.000 5	0.0002	-	0.0031	9	42	21%
무기물 (2)	규소	0.05	0.98	0.11	3.45	42	42	100%
	인산염인	0.003	0.001	-	0.01	6	42	14%

4.2 수질항목에 대한 인체위해성 자료 조사 결과

4.2.1 먹는물 수질기준 60항목에 대한 인체 위해성 자료 조사 결과

먼저 연구대상물질이 인체에 미치는 영향을 알아보기 위해 미국 환경청(EPA), 국제암연구소(IARC) 등의 인체위해성 자료를 수집하였다. 조사된 물질의 발암도에 대한 분류기준 및 등급(표 7)은 평가기관에 따라 달랐으며, 본 연구에서는 국제암연구소 3 ~ 4 등급, 미국 환경청 D ~ E 등급은 발암성이 없는 것으로 분류하였다.

먹는물 수질기준 60항목에 대한 국제암연구소(IARC), 미국 환경청(EPA) 등의 인체 위해성 평가자료 조사를 통해 29항목에 대한 자료를 조사한 결과 검출된 화학물질 중 발암물질은 크롬 등 23항목, 비발암성물질은 수은 등 6항목이었다(표 8). 조사된 29항목 중 질산성질소(2A), 브롬산염(B2), 클로로포름(B2), 브로모디클로로메탄(B2), 디브로모클로로메탄(C), 디브로모아세토니트릴(3), 디클로로아세토니트릴(3) 등 7항목이 수질기준 이내로 검출되었고, 크롬 등 22목은 모두 불검출되어 수질안전성을 확인하였다.

표 7. 미국 환경청(EPA)와 국제암연구소(IARC)의 발암도 분류

국제암연구소 (IARC) 발암도 분류	
1	사람에 대해 발암성임 (Carcinogenic to humans)
2A	사람에 대해 발암성이 유력함(Probably carcinogenic to humans)
2B	사람에 대해 발암성일 수 있음(Possibly carcinogenic to humans)
3	사람에 대한 발암성의 등급을 분류할 수 없음 (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans)
4	사람에 대해 발암성이 아님이 유력함(Probably not carcinogenic to humans)
미국 환경청 (EPA) 발암도 분류	
A	사람에 대해 발암물질(Carcinogenic to Humans)
B1	사람에게 유력한 발암물질 - 사람 발암 증거 제한적 (Probably carcinogenic to humans : based on limited evidence of carcinogenicity in human)
B2	사람에게 유력한 발암물질 - 동물 발암 증거 충분함 (Probably carcinogenic to humans : with little or no human data)
C	사람에게 발암 가능한 물질(Possibly carcinogenic to humans)
D	사람에게 발암성으로 분류 불가(Not classifiable as to human carcinogenicity)
E	사람에 대해 비발암성 증거 있음(Evidence of Non-carcinogenicity for humans)

출처 : www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects, monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iar

표 8. 먹는물 수질기준 60항목에 대한 인체위해성 조사자료 29항목

연번	항목명	EPA	IARC	연번	항목명	EPA	IARC
1	크롬	A	1	16	디클로로메탄	B2	2A
2	카드뮴	B1	1	17	사염화탄소	B1	2B
3	수은	D	3	18	1,1-디클로로에틸렌	C	-
4	납	B2	2B	19	1,1,1-트리클로로에탄	-	3
5	비소	A	1	20	트리클로로에틸렌	B2	2A
6	셀레늄	D	3	21	테트라클로로에틸렌	-	2A
7	질산성질소	-	2A	22	1,2-디브로모-3-클로로프로판	-	2B
8	브롬산염	B2	2B	23	포름알데히드	B1	1
9	페놀	D	3	24	클로로포름	B2	2B
10	카바릴	B1	3	25	브로모디클로로메탄	B2	2B
11	파라티온	C	2B	26	디브로모클로로메탄	C	3
12	벤젠	A	1	27	디브로모아세토니트릴	-	2B
13	톨루엔	B1	3	28	디클로로아세토니트릴	-	3
14	에틸벤젠	D	2B	29	트리클로로아세토니트릴	-	3
15	1,4-다이옥산	B2	2B	※ _ : 비발암성물질 분류 6항목			

4.2.2 서울시 감시항목 110항목에 대한 인체 위해성 자료 조사 결과

서울시 감시항목 110항목에 대해 국제암연구소(IARC), 미국 환경청(EPA) 통합위해정보시스템(IRIS) 등의 화학물질에 대한 인체 위해성평가 자료조사를 통한 54항목 중 발암성 물질은 니켈 등 40항목, 비발암성 물질은 글라이포세이트 등 14항목이었다(표 9). 조사된 54항목 중 브롬이온(B2), 과불화옥탄산(2B), N-니트로소디메틸아민(B2), N-니트로소디에틸아민(B2), 디클로로아세트산(B1), 트리클로로아세트산(C), 등 6항목이 검출되고, 니켈 등 48항목은 모두 불검출되어 수질안전성을 확인하였다.

표 9. 서울시 감시항목 110항목에 대한 인체위해성 조사자료 54항목

연번	항목명	EPA	IARC	연번	항목명	EPA	IARC
1	니켈	-	2B	28	알드린	B2	3
2	베릴륨	-	1	29	알라클러	B2	-
3	브롬이온	B2	-	30	에틸렌디브로마이드	B1	2A
4	아질산성질소	-	2B	31	에피클로로히드린	B2	2A
5	우라늄	A	-	32	엔드린	D	3
6	퍼클로레이트	B2	-	33	엠티비이	-	3
7	과불화옥탄산	-	2B	34	염화비닐	A	1
8	글라이포세이트	D	-	35	카보푸란	E	3
9	2,4-디	D	-	36	클로로에탄	-	3
10	디부틸프탈레이트	D	-	37	1,1,2-트리클로로에탄	C	3
11	디(2-에틸헥실)아디페이트	C	3	38	트리플루랄린	C	3
12	디(2-에틸헥실)프탈레이트	B2	2B	39	퍼메트린	-	3
13	디엘드린	B2	3	40	펜타클로로페놀	B1	2B
14	1,2-디클로로벤젠	D	3	41	헥사클로로부타디엔	C	3
15	1,3-디클로로벤젠	D	3	42	헵타클러 (헵타클로)	B2	2B
16	1,4-디클로로벤젠	C	2B	43	헵타클로에폭사이드	B2	-
17	1,2-디클로로에탄	B2	2B	44	N-니트로소디메틸아민	B2	2A
18	1,2-디클로로프로판	B2	3	45	N-니트로소디에틸아민	B2	2B
19	1,3-디클로로프로펜	B1	2B	46	디브로모아세트산	-	2B
20	마이크로시스틴-LR	-	2B	47	디클로로아세트산	B1	2B
21	메토밀	E	-	48	브로모클로로아세트산	-	2B
22	메톨라클러	C	-	49	브로모클로로아세토니트릴	-	3
23	메틸파라티온	E	3	50	브로모포름	B1	3
24	벤조(에이)피렌	B2	1	51	아세트알데히드	B2	2B
25	부틸벤질프탈레이트	C	3	52	클로로페놀	D	2B
26	스티렌	C	2B	53	트리클로로아세트산	C	3
27	시마진	E	3	54	2,4,6-트리클로로페놀	B2	-

※ _ : 비발암성물질 분류 14항목

4.2.3 미규제 신종물질 145항목에 대한 인체 위해성 자료 조사 결과

미규제 신종물질 145항목에 대해 국제암연구소(IARC), 미국 환경청(EPA) 통합위해정보시스템(IRIS) 등의 화학물질에 대한 인체 위해성평가 자료조사를 통해 43항목에 대한 자료를 조사한 결과 검출된 화학물질 중 발암성 물질은 17 α -에티닐에스티라디올 등 28항목, 비발암성 물질은 설파메타진 등 15항목이었다(표 10). 조사된 43항목 중 브로모클로로메탄(D) 1항목만 정량한계 수준으로 검출되고, 17 α -에티닐에스티라디올 등 42항목은 불검출되어 수질안전성을 확인하였다.

표 10. 미규제 신종물질 145항목에 대한 인체위해성 조사 자료 43항목

연번	항목명	EPA	IARC	연번	항목명	EPA	IARC
1	17 α -에티닐에스티라디올	-	1	23	1,3-부타디엔	-	1
2	17 β -에스티라디올	-	1	24	N,N-디메틸아닐린	-	3
3	디에틸스틸베스트롤	-	1	25	나프탈렌	-	2B
4	설파메타진	-	3	26	벤조페논	-	2B
5	설파메톡사졸	-	3	27	디벤즈(a,h)안트라센	B2	2A
6	시메티딘	-	3	28	디에틸프탈레이트	D	-
7	아세트아미노펜	-	3	29	벤조(a)안트라센	B2	2B
8	에스트론	-	1	30	벤조(b)플루오란텐	B2	2B
9	에스트리올	-	1	31	벤즈(g,h,i)퍼릴렌	D	3
10	카페인	-	3	32	브로모벤젠	-	1
11	메티오카브	D	-	33	아세트산비닐	-	2B
12	사이퍼메트린	C	-	34	이소프로필벤젠	D	-
13	아미트롤	B2	3	35	클로로메탄	D	3
14	알디카브	D	3	36	페난트렌	D	3
15	옥사밀	E	-	37	플루오란텐	D	3
16	린단	-	1	38	N-나이트로소디프로필아민	B2	2B
17	말라티온	-	2A	39	N-나이트로소메틸에틸아민	B2	2B
18	헥사클로로벤젠	-	2B	40	N-나이트로소모포린	-	2B
19	디클로르보스		2B	41	N-나이트로소부틸아민	B2	2B
20	피프로닐	C	-	42	N-나이트로소파이페리딘	-	2B
21	1,1,2,2-테트라클로로에탄	-	2B	43	N-나이트로소피롤리딘	B2	2B
22	브로모클로로메탄	D	-	※ _ : 비발암성물질 분류 15항목			

4.3. 아리수 수질검사 항목에 대한 위해성 평가

아리수 수질검사 315항목(먹는물 수질기준 60, 서울시 감시 110, 미규제 신종물질 145)에 대한 수질조사 결과 1회 이상 검출된 항목은 57항목으로 수질기준 23항목(표 2.), 서울시 감시 25항목(표 4), 미규제 신종물질 9항목(표 6) 등 이었다. 검출된 항목 중 EPA 등에 인체위해성 평가자료가 등록되어 있는 물질은 망간 등 먹는물 수질기준 10항목, 폴리브덴 등 서울시 감시물질 7항목, 브로모클로로메탄 미규제 신종물질 1항목 등 총 18항목이었으며, 이들 항목에 대해서만 아리수 위해성 평가를 실시하였다(표 11).

18항목의 검출률은 1 ~ 100% 이며, 망간, 브로모아세토니트릴, n-니트로소디에틸아민 등 3항목은 10% 미만으로 검출되었으며, 클로로포름, 바륨, 스트론튬 등 3항목은 100% 검출률을 보였다.

표 11. 아리수 위해성 평가 대상 18항목

연번	항목명	기준 (mg/L)	검사결과(2015년 ~ 2017년, mg/L), n=287건 검사					검출률
			평균	최소	최대	검출횟수	검사횟수	
1	망간	0.05 이하	불검출	불검출	0.007	4	287	1%
2	아연	3 이하	0.002	불검출	0.07	84	287	29%
3	보론	1 이하	0.01	불검출	0.02	253	287	88%
4	브롬산염	0.01 이하	불검출	불검출	0.005 3	37	287	13%
5	클로로포름	0.08 이하	0.013	불검출	0.036	286	287	100%
6	브로모디클로로메탄	0.03 이하	0.005	불검출	0.016	283	287	99%
7	디브로모클로로메탄	0.1 이하	0.001	불검출	0.005	224	287	78%
8	클로랄하이드레이트	0.03 이하	0.0006	불검출	0.007 9	128	287	45%
9	디브로모아세토니트릴	0.1 이하	불검출	불검출	0.000 9	8	287	3%
10	디클로로아세토니트릴	0.09 이하	불검출	불검출	0.0032	59	287	21%
11	폴리브덴	0.07 이하	불검출	0.001	0.001	13	84	15%
12	바륨	0.7 이하	0.019	0.014	0.029	84	84	100%
13	스트론튬	4 이하	0.097	0.07	0.138	84	84	100%
14	N-니트로소디메틸아민	0.000 07 이하	0.000 001	0.000 002	0.000 008	8	56	14%
15	N-니트로소디에틸아민	0.000 02 이하	불검출	0.000 002	0.000 005	5	56	9%
16	디클로로아세트산	0.06 이하	0.001	0.001	0.008	38	84	45%
17	트리클로로아세트산	0.06 이하	0.001	0.001	0.009	37	84	44%
18	브로모클로로메탄	0.001	0.000	0.000	0.003	7	42	17%

4.3.1 용량반응 평가

평가대상 물질에 대해 미국 환경청(EPA), 국제암연구소(IARC) 등의 인체 유해성 평가 자료에 등록된 물질을 조사한 결과, 브롬산염, 브로모디클로로메탄, N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, 디클로로아세트산, 트리클로로아세트산 등 발암성물질 7항목의 발암잠재력(SF) 자료를 조사할 수 있었다.

클로로포름, 디브로모아세트산, 디클로로아세트산 등 3항목은 발암물질이지만 비발암물질 용량반응 평가 자료인 독성참고치(RfD) 자료만 조사되어 본 연구에서는 비발암성물질로 분류하여 연구를 진행하였다. 망간, 아연, 붕소, 클로로포름, 클로랄하이드레이트, 디브로모아세토니트릴, 디클로로아세토니트릴, 폴리브덴, 바륨, 스트론튬, 브로모클로로메탄 등 비발암성 분류물질 11항목의 독성참고치(RfD)자료는 표 12에 정리하였다.

표 12. 미국 환경청(EPA) 및 국제암연구소(IARC) 용량반응 평가 결과

구분	연번	항목명	EPA, IARC* 자료		발암성 분류
			RfD	SF	
			mg/kg/day	(mg/kg/day) ⁻¹	
먹는물 수질기준	1	망간	0.14	-	-
	2	아연	0.3	-	-
	3	붕소	0.2	-	-
	4	브롬산염	-	0.19	발암물질(2B)
	5	클로로포름**	0.01*	-	비발암 분류(2B, B2)
	6	브로모디클로로메탄	-	0.062	발암물질(2B, B1)
	7	디브로모클로로메탄	-	0.084	발암물질(3, C)
	8	클로랄하이드레이트	0.1	-	-
	9	디브로모아세토니트릴**	0.011*	-	비발암 분류(2B)
	10	디클로로아세토니트릴**	0.002 7*	-	비발암 분류(3)
서울시 감시항목	11	폴리브덴	0.005	-	-
	12	바륨	0.2	-	-
	13	스트론튬	0.6	-	-
	14	N-니트로소디메틸아민	-	51	발암물질(2A, B2)
	15	N-니트로소디에틸아민	-	150	발암물질(2B, B2)
	16	디클로로아세트산	-	0.05	발암물질(2B, B1)
	17	트리클로로아세트산	-	0.07	발암물질(3, C)
미규제 신종물질	18	브로모클로로메탄	0.01	-	비발암물질(D)

* 국제암연구소(IARC) 인용 자료

** 클로로포름, 디브로모아세토니트릴, 디클로로아세토니트릴 등 3항목은 발암물질로 분류 되지만 독성참고치(RfD) 자료만 조사할 수 있어 비발암성물질로 분류함

브롬산염, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, 디클로로아세트산, 트리클로로아세트산 등 발암물질 7항목은 주로 정수처리 소독과정에서 발생하는 물질들이며, 발암잠재력(SF)은 0.062 ~ 150 (mg/kg/day)⁻¹ 이었으며, 브로모디클로로메탄이 0.062 (mg/kg/day)⁻¹ 으로 가장 낮았고, N-니트로소디에틸아민이 150 (mg/kg/day)⁻¹으로 가장 높았다.

4.3.2 노출량 평가

아리수 수질검사 결과 검출 항목별 현황은 표2, 표4, 표6에 나타내었다. 노출량 평가는 먹는물 속의 농도로부터 노출경로를 고려하여 인체의 노출농도를 추정하는 과정으로 본 연구에서는 평가 대상 물질의 최대 검출농도에 대해 노출량을 산정하였다. 비발암성물질은 (식 1)을 이용하여 1일 평균 노출량(ING)을, 발암성물질은 (식 2)를 이용하여 만성 1일 노출량(CDI, chloronic daily intake)을 산정하였다. 각 물질에 대해 노출량 산정 결과는 표 13과 같다.

<비발암성 물질 노출량(ING) 산출>

망간의 경우 불검출 ~ 0.007 mg/L 로 최대 검출농도는 0.007 mg/L 이었으며, 최대 검출농도에 대한 노출량(ING)은 (식 1)을 이용하여 다음과 같이 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{ING} &= \frac{C_w \times \text{WIR} \times \text{FI} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \doteq \frac{C_w \times \text{WIR} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \\ &= \frac{0.007(\text{mg/L}) \times 2(\text{L/day}) \times 70(\text{yr})}{64.2(\text{kg}) \times 70(\text{yr})} = 0.00022(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) \end{aligned}$$

- 망간의 최대 검출농도 (0.007 mg/L), 하루 평균 물 섭취량(2 L/day), 노출기간 (70 year), 평균체중(64.2 kg), 노출시간(70 year)

<발암성 물질 노출량(CDI) 산출>

발암성물질인 브롬산염은 수질검사 결과 불검출 ~ 0.005 3 mg/L으로 검출되었으며, 최대 검출농도에 대해 만성 1일 노출량(CDI)은 (식 2)를 이용하여 다음과 같이 산출하였다.

$$CDI = \frac{0.005 \text{ 3(mg/L)} \times 2(\text{L/day}) \times 70(\text{yr})}{64.2(\text{kg}) \times 70(\text{yr})} = 0.000 \text{ 17(mg/kg} \cdot \text{day)}$$

- 브롬산염의 최대농도 (0.005 3 mg/L), 하루 평균 물섭취량 (2 L/day), 노출기간 (70 year), 평균체중(64.2 kg), 노출시간(70 year)

표 13. 노출량 평가 결과

구분	연번	항목	물질 농도 ('15년 ~ '17년)			노출량	
			평균	최소	최대	(ING 또는 CDI)	
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/kg/day	
비오염지역 비오염지역	먹는물 수질기준	1	망간	0	0	0.007	0.000 22
		2	아연	0.002	불검출	0.07	0.002 18
		3	붕소	0.01	불검출	0.02	0.000 62
		4	클로로포름	0.013	불검출	0.036	0.001 1
		5	클로랄하이드레이트	0.0006	불검출	0.007 9	0.000 25
		6	디브로모아세토니트릴	불검출	불검출	0.000 9	0.000 028
		7	디클로로아세토니트릴	불검출	불검출	0.000 32	0.000 010
	서울시 감시항목	8	몰리브덴	불검출	불검출	0.001	0.000 03
		9	바륨	0.019	0.014	0.029	0.000 90
		10	스트론튬	0.097	0.070	0.138	0.004 3
	미규제	11	브로모클로로메탄	불검출	불검출	0.003	0.000 093
발암성 물질	먹는물 수질기준	12	브롬산염	불검출	불검출	0.0053	0.000 17
		13	브로모디클로로메탄	0.005	불검출	0.016	0.000 50
		14	디브로모클로로메탄	0.001	불검출	0.005	0.000 16
	서울시 감시항목	15	N-니트로소디메틸아민	불검출	불검출	0.000 008	0.000 000 25
		16	N-니트로소디에틸아민	불검출	불검출	0.000 005	0.000 000 16
		17	디클로로아세트산	0.001	불검출	0.008	0.000 25
		18	트리클로로아세트산	0.001	불검출	0.009	0.000 28

비발암성 물질의 노출량(ING) 산출결과, 수질 분석 결과 검출농도가 0.036 mg/L로 가장 고농도인 클로로포름의 노출량(ING)이 0.001 l (mg/kg/day)로 가장 높았으며, 0.000 1 mg/L로 가장 낮은 농도인 디클로로아세토니트릴의 노출량이 0.000 010 (mg/kg/day)으로 가장 낮게 산출되었다. 망간 등 비발암성 물질 11항목의 노출량(ING)은 0.000 010 ~ 0.001 l (mg/kg/day) 분포 범위를 보였다.

발암성 물질의 경우, 수질 분석 결과 검출농도가 낮은 나이트로사민류인 N-니트로디에틸아민(0.000 005 mg/L)의 만성 1일 평균 노출량(CDI)이 0.000 000 161 (mg/kg/day)으로 가장 낮았으며, 0.005 mg/L로 가장 높은 농도로 검출된 디브로모클로로메탄의 노출량이 0.000 50 (mg/kg/day)으로 가장 높게 산출되었다. 비발암성 물질과 발암성 물질의 노출량은 수질 조사에서 높은 농도로 존재하는 물질일수록 높게 나타났다.

4.3.3 위해도 평가

아리수 수질 검출 항목에 대해 인체위해성은 미국 환경청(EPA), 국제암연구소(IARC) 등의 용량반응 평가 결과값과 노출량값을 이용하여 위해도를 평가하였다.

비발암성 물질의 경우 노출량(ING) 값과 용량반응 평가의 독성참고치(RfD)를 이용하여 위해도지수(HQ, hazard quotient)를 산출하였으며, “위해도지수 (HQ) > 1 : 위해가 있음, 위해도지수 (HQ) < 1 : 위해가 없음” 으로 평가하였다.

또한 발암성 물질의 경우 만성 1일 섭취량(CDI)와 독성잠재력(SF) 값을 이용하여 초과발암위해도(ECR, excess cancer risk)를 산출하였으며, “초과발암위해도 (ECR) < 10^{-6} : 위해가 있음, 초과발암위해도(ECR) > 10^{-4} : 위해가 없음” 으로 평가하였다.

1) 비발암성 물질의 위해도 결정

비발암성 물질인 망간의 최대 검출농도에 대한 노출량(ING, mg/kg·day)과 미국 환경청(EPA) 등에서 조사된 물질의 독성참고치(RfD)를 이용하여 위해도지수(HQ)를 산정하면 다음과 같다.

$$\text{위해도지수(HQ)} = \frac{\text{ING}}{\text{RfD}} = \frac{0.14 \text{ (mg/kg} \cdot \text{day)}}{0.00022 \text{ (mg/kg} \cdot \text{day)}} = 0.00156$$

노출량(ING)와 독성참고치(RfD)로부터 산출된 망간 등 비발암성 물질 11항목에 대한 위해도지수(HQ)를 표 14에 나타내었다.

표 14. 비발암성 물질에 대한 위해성 평가 결과

구분	연번	항목	EPA 자료	노출량	위해도지수(HQ)
			독성참고치(RfD)	(ING)	최대농도
			mg/kg/day	mg/kg/day	HQ < 1 : 위해 없음
먹는물 수질기준	1	망간	0.14	0.000218	0.0016
	2	아연	0.3	0.002181	0.0073
	3	붕소	0.2	0.000623	0.0031
	4	클로로포름	0.01	0.00112	0.11
	5	클로랄하이드레이트	0.1	0.00025	0.0025
	6	디브로모아세토니트릴	0.011	0.000028	0.0025
	7	디클로로아세토니트릴	0.0027	0.000010	0.0037
서울시 감시항목	8	몰리브덴	0.005	0.0000312	0.0062
	9	바륨	0.2	0.00090	0.0045
	10	스트론튬	0.6	0.00430	0.0072
미규제 신 중물질	11	브로모클로로메탄	0.01	0.000093	0.0093

** 클로로포름, 디브로모아세토니트릴, 디클로로아세토니트릴 등 3항목은 발암물질로 분류 되지만 발암잠재력(SF) 데이터 미존재로 비발암물질로 평가함

망간 등 먹는물 수질기준 7항목의 위해도지수(HQ)는 0.0016 ~ 0.11로 조사되었다. 망간의 위해도지수(HQ)는 0.0016으로 가장 낮게 나타났으며, 위해기준 1보다

약 1/640배 정도 낮게 나타나 매우 안전한 것으로 판정되었으며, 클로로포름을 제외한 땅간 등 10항목의 위해도는 0.001 6 ~ 0.009 3으로 위해기준 1보다 약 10 ~ 640배 정도 안전한 것으로 판명되었다. 클로로포름의 경우, 위해도지수(HQ)는 0.11로 가장 높은 값이지만 위해기준 1보다 약 1/10배 가량 낮은 값으로 위해가 없는 것으로 판정되었다.

몰리브덴 등 서울시 감시항목 3항목의 위해도지수(HQ)는 0.004 5 ~ 0.007 2로 나타났으며, 미규제 신종물질인 브로모클로로메탄의 위해도지수(HQ)는 0.009 3으로 4항목 모두 위해기준 1보다 약 1/150 배 낮아 매우 안전한 것으로 판정하였다.

비발암성 물질 11항목(땅간 등 먹는물 수질기준 7항목(몰리브덴 등 수질기준 3항목, 브로모클로로메탄 미규제 신종물질 1항목 등)의 위해도 평가결과 안전 기준인 1 보다 약 1/10 ~ 1/1000배 낮아 모든 항목이 ‘위해 없음’ 으로 판정되어 아리수의 안전함을 확인하였다.

2) 발암성 물질 브롬산염의 위해도 결정

발암성 물질인 브롬산염의 위해도는 최대 검출농도로부터 산출된 만성 1일 노출량(CDI, mg/kg · day)과 미국 환경청(EPA) 등에서 조사된 용량반응 평가 자료에서 조사된 독성잠재력(SF)을 이용하여 초과발암도(ECR)를 산출하면,

$$\begin{aligned}\text{발암초과위해도(ECR)} &= \text{CDI} \times \text{SF} \\ &= 0.19(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) \times 0.000165(\text{mg/kg} \cdot \text{day})^{-1} \\ &= 3.14 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

만성 1일 노출량(CDI)과 독성잠재력(SF)에서 산출된 브롬산염 등 발암성 물질에 대해 초과발암위해도(ECR)은 표 15에 나타내었다.

표 15. 발암성 물질에 대한 위해성 평가 결과

구분	연번	항목	EPA 자료	노출량	초과발암도(ECR) 10 ⁻⁶ 이하 : 위해 없음 10 ⁻⁴ 이상 : 위해 있음
			발암잠재력(SF)	만성1일노출량(CDI)	
			(mg/kg/day) ⁻¹	mg/kg/day	
먹는물 수질기준	1	브롬산염	0.19	0.000 17	3.14 x 10 ⁻⁵
	2	브로모디클로로메탄	0.062	0.000 50	3.09 x 10 ⁻⁵
	3	디브로모클로로메탄	0.084	0.000 16	1.31 x 10 ⁻⁵
서울시 감시항목	4	N-니트로소디메틸아민	51	0.000 000 25	1.27 x 10 ⁻⁵
	5	N-니트로소디에틸아민	150	0.000 00016	2.34 x 10 ⁻⁵
	6	디클로로아세트산	0.05	0.000 25	1.25 x 10 ⁻⁵
	7	트리클로로아세트산	0.07	0.000 28	1.96 x 10 ⁻⁵

브롬산염 등 발암성물질 7항목에 대해 초과발암도(ECR)는 디클로로아세트산의 초과발암도(ECR)가 1.25 x 10⁻⁵로 가장 낮았고, 브롬산염은 3.14 x 10⁻⁵으로 가장 높게 나타났다. 가장 높게 산출된 브롬산염 초과발암도(ECR)는 안전기준인 1x10⁻⁴보다 약 1/3배 낮게 산출되었다.

브롬산염 등 먹는물 3항목, N-니트로소에틸아민 등 서울시 감시항목 4항목 등 발암물질 7항목의 초과발암도(ECR)는 1.25 x 10⁻⁵ ~ 3.14 x 10⁻⁵으로 안전기준인 1 x 10⁻⁴보다 약 1/3 ~ 1/8배 낮게 계산되어 모두 안전한 것으로 판정되었다.

따라서, 서울시 수돗물인 아리수 수질관리항목 18항목(발암성 11항목, 비발암성 7항목)에 대하여 급·만성 위해도를 평가한 결과 위해도지수(HQ)와 초과발암도(ECR)가 위험기준 보다 상당히 위해기준보다 상당히 낮게 계산되어 아리수의 안전성이 확인되었다.

5. 결론

지금까지 최근 3년(2015년 ~ 2017년) 동안 아리수 수질검사 315항목 먹는물 수질기준 60항목 중 23항목, 감시항목 110항목 중 25항목, 미규제 신종물질 145항목 중 9항목 등 57항목이 1회 이상 검출되었으며, 인체유해성(발암도) 평가가 가능한 항목은 18항목이었다. 아리수 수질 검출현황, EPA 등에서 조사된 인체유해성(발암도) 조사와 평가대상 18항목에 대한 위해도평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

* 아리수 위해도 평가 대상 18항목 : 먹는물 수질기준 10항목(망간, 아연, 붕소, 브롬산염, 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 클로랄하이드레이트, 디브로모아세토니트릴, 디클로로아세토니트릴), 서울시 감시항목 7항목(몰리브덴, 바륨, 스트론튬, N-니트로소디메틸아민, N-니트로소디에틸아민, 디클로로아세트산), 미규제 신종물질 1항목(브로모클로로메탄)

1. 2015년부터 2017년까지 3년 동안 아리수 315항목을 조사한 결과 먹는물 수질기준 37항목, 감시항목 85항목, 미규제 신종물질 136항목 등 258항목이 불검출되어 위해도가 전혀 없는 것으로 판정되었다.
2. 미국 환경청(EPA) 등의 인체위해성(발암성) 조사된 발암성 물질 91항목(먹는물 수질기준 23, 감시 40, 미규제 신종물질 28) 중 총 14항목(먹는물 수질기준 7, 서울시 감시 6, 미규제 신종물질 1)이 검출한계 및 수질기준 이내 검출되었고, 나머지 67항목은 불검출되어 아리수의 수질안전성을 확인하였다.
 - 먹는물 수질기준 유해성(발암성) 조사 29항목(발암성 23, 비발암성 6) 중 질산성질소(2A), 브롬산염(B2), 클로로포름(B2), 브로모디클로로메탄(B2), 디브로모클로로메탄(C), 디브로모아세토니트릴(3), 디클로로아세토니트릴(3) 등 7항목이 수질기준 이내 검출되었고, 크롬 등 22목은 모두 불검출되었다.
 - 서울시 감시 수질기준 유해성(발암성) 조사 54항목(발암성 40, 비발암성 14) 중 브롬이온(B2), 과불화옥탄산(2B), N-니트로소디메틸아민(B2), N-니트로소디에틸아민(B2), 디클로로아세트산(B1), 트리클로로아세트산(C) 등 6항목이 수질기준 이내 검출되었고, 니켈 등 48항목은 모두 불검출되었다.
 - 미규제 신종물질 유해성(발암성) 조사 43항목(발암성 28, 비발암성 15) 중 브

로모클로로메탄(D) 1항목만이 정량한계 수준으로 검출되었고, 17 α -에티닐 에스티라디올 등 42항목은 불검출되었다.

3. 환경부 먹는물 수질기준 60항목 중 EPA, IARC 등에 인체노출평가 자료(RfD 또는 SF)가 있는 27항목과 수질분석결과 검출된 23항목 중 인체노출 평가 가능한 10항목(비발암성 7, 발암성 3)에 대해 위해도를 평가한 결과
 - 비발암성물질 7항목의 위해도지수(HQ)는 망간 0.001 6, 아연 0.007 3, 붕소(0.003 1, 클로로포름 0.11, 클로랄하이드레이트 0.002 5, 디브로모아세토니트릴 0.002 5, 디클로로아세토니트릴 0.003 7 등으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과는 ‘위해 없음’ 기준인 1이하로 평가되어 안전한 것으로 나타났으며
 - 발암성물질 3항목의 초과발암도(ECR)는 브롬산염 3.14×10^{-5} , 브로모디클로로메탄 3.09×10^{-5} , 디브로모클로로메탄 1.31×10^{-5} 으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과 ‘위험성 있음’ 기준인 10^{-4} 이하로 안전한 것으로 판정되었다.
4. 서울시 감시항목 110항목 수질분석 결과 검출된 25항목과 EPA에 RfD 또는 SF의 인체노출평가 자료 53항목 중 7항목(비발암물질 3, 발암물질 4)에 대한 위해도를 평가한 결과
 - 비발암성물질 3항목의 위해도지수(HQ)는 몰리브덴 0.006 2, 바륨 0.004 5, 스트론튬 0.007 2 등으로 평가결과 ‘위해 없음’ 기준인 1이하로 안전한 것으로 나타났으며
 - 발암성물질 4항목의 초과발암도(ECR)는 N-니트로소디메틸아민 1.27×10^{-5} , N-니트로소디에틸아민 2.34×10^{-5} , 디클로로아세트산 1.25×10^{-5} , 트리클로로아세트산 1.96×10^{-5} 등으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과 ‘위험성 있음’ 기준인 10^{-4} 이하로 안전한 것으로 판정되었다.
5. 미규제 신종물질 145항목 중 검출된 9항목 중 인체노출평가 자료(RfD 또는 SF)가 있는 비발암성물질인 브로모클로로메탄 1항목에 대한 위해도 평가 결과 위해도지수(HQ)는 0.009 3으로 계산되었으며, 위해도 평가 결과 ‘위해 없음’ 기준인 1이하로 평가되어 안전한 것으로 판정되었다.
6. 2015년부터 2017년까지 3년 동안 아리수 315항목을 조사한 결과 258항목이

불검출되었으며, 수질검사결과 검출된 수질오염물질 18항목 대한 인체 노출 위험도 평가 결과 위해가 없는 것으로 판정되어 아리수의 안전성을 확인하였다.

6. 참 고 문 헌

김오식, 1993, “환경화학물질의 위해성 평가”, 신광문화사, pp 46-56.

유동구, 2005, “서울지역 약수터 수질특성 및 인체유해성 평가”, 서울시립대학교 석사학위논문, pp8-10.

조수현, 김현, 홍윤철, 강종원, 임형준, 이영주, 이경호, 윤현병, 2006, “서울의 수돗물(아리수)의 인체에 미치는 영향 분석 및 평가”, p58.

국립환경과학원, 2014, 화학물질 유해성평가의 구체적 방법등에 관한 규정(고시 제2014-48호), pp 1-5.

환경부, 2010, 위해성 평가해설서, pp10-13.

환경부, 2018, 환경백서, p308.

<https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc>(국제암연구소 홈페이지)

<https://www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects>(미국 환경청 홈페이지)

Rochester, J. R., 2013, “Bisphenol A and human health : A review of the literature,” *Reproductive Toxicology*, 42, 132~155.