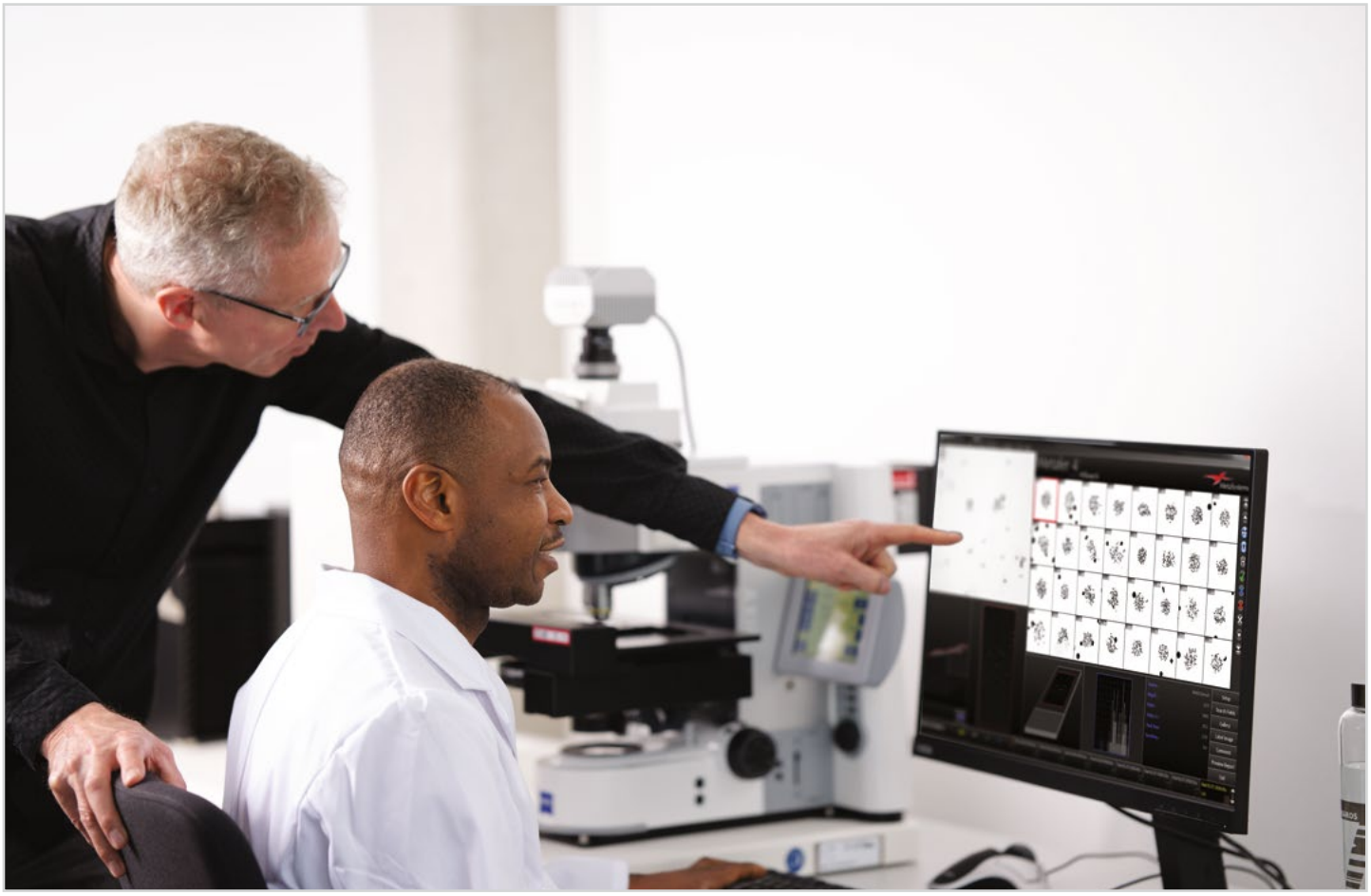
MetaSystems White Paper

Metafer Software in Genetic Toxicology Testing

WHITE PAPER

규제 기준을 요구하는 시험 환경에서 효율성, 표준화 및 문서화 수준을 높이기 위해 유전독성학 분야 내 자동 이미지 분석 기술의 도입이 점차 확대되고 있습니다. Metafer 플랫폼 소프트웨어는 이 분야에서 널리 활용되는 솔루션 중 하나로 자리 잡았습니다.

기존에 발표된 유전독성학 관련 연구 사례들을 검토해보면 Metafer는 제약 업계, 임상시험수탁기관 (CROs), 공공기관 등 GLP를 준수하는 검사실에서도 일상적으로 사용되고 있으며, 높은 수준의 규제 요건이 적용되는 환경에서도 폭넓게 사용되고 있음을 확인할 수 있습니다.



MetaSystems

Genetic Toxicology in Preclinical Studies

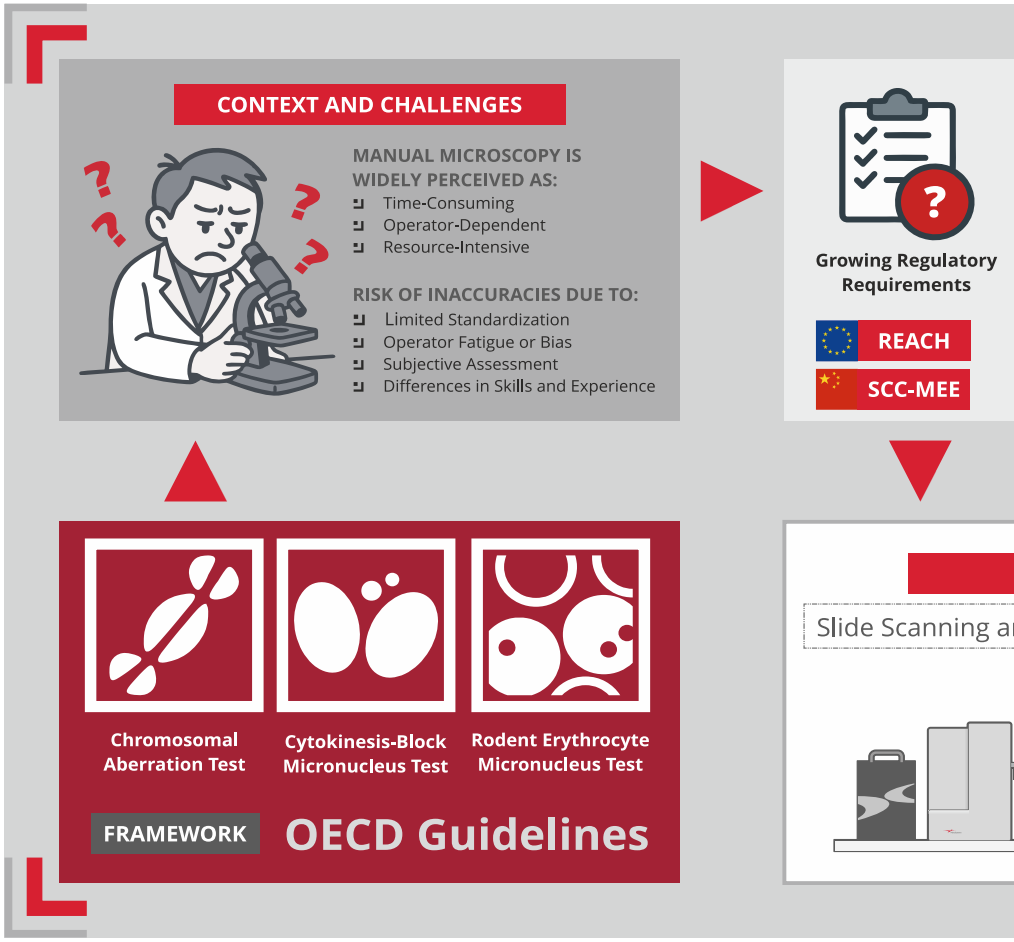
유전독성 시험은 돌연변이, 암 또는 유전성 질환으로 이어질 수 있는 DNA 및 염색체 손상을 검출하기 위해 수행됩니다. 유럽의 REACH, 미국의 FDA/EPA, 중국의 SCC-MEE, 한국의 K-REACH를 비롯한 여러 규제 지침에서는 아래와 같은 시험을 통해 유전독성을 평가하도록 요구합니다.

- The chromosome aberration (CA) test,
- The cytokinesis-block micronucleus (MN) test, or
- The rodent erythrocyte MN test.

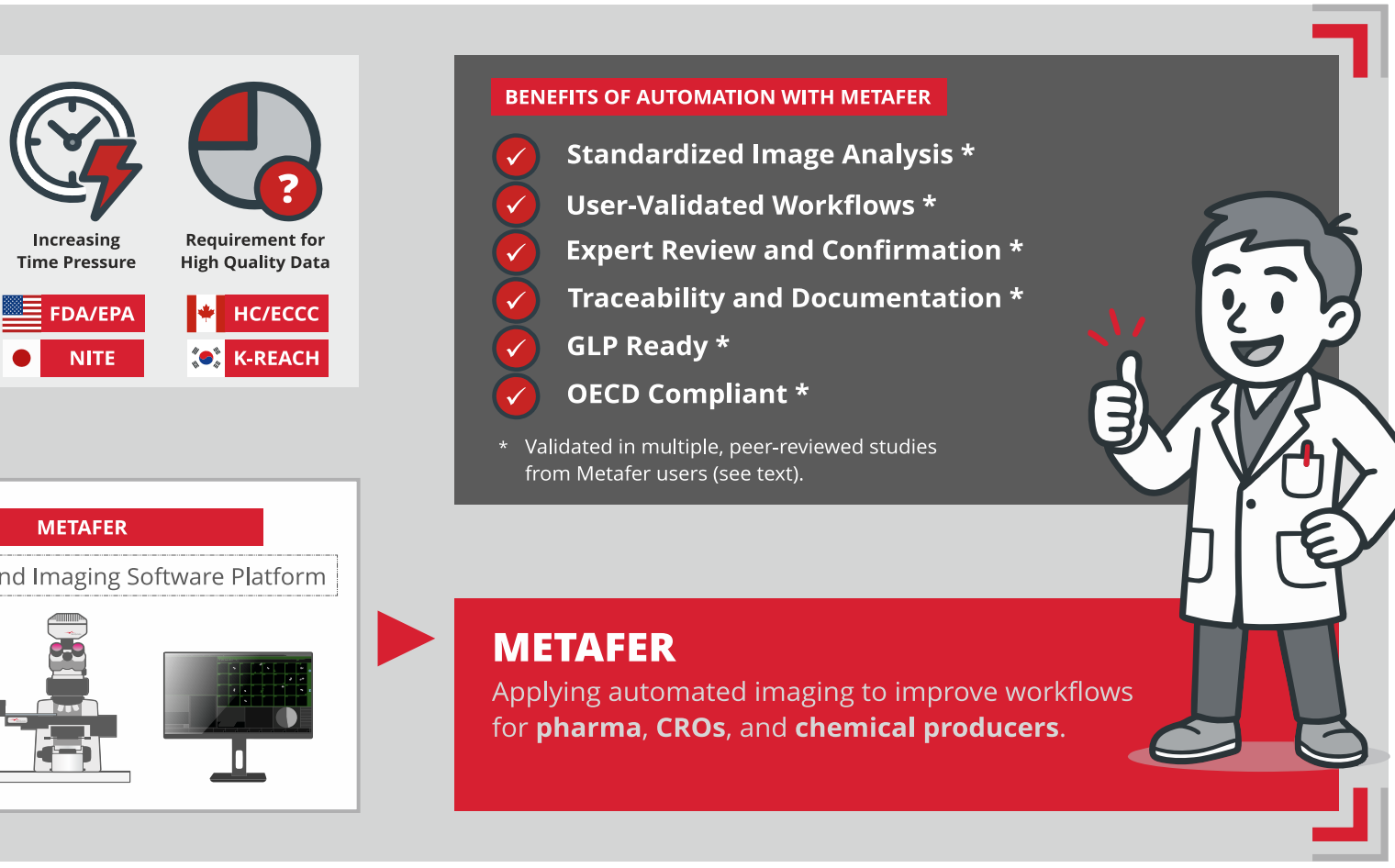
이러한 평가 항목을 기존의 방식대로 현미경을 통해 수동으로 판독하는 방법은 시간이 많이 소요되고, 검사자에 따라 결과가 달라질 수 있으며, 상당한 인력과 자원이 필요합니다. 특히 넓은 범위의 투여량에 대한 시험이나 반복 시험이 요구될 경우 이러한 문제는 더욱 두드러집니다. 데이터 분석의 표준화 부족, 검사자의 피로, 검사자 편향, 주관적 해석, 그리고 개인별 훈련 수준이나 경험의 차이로 인해 분석 결과가 부정확해질 위험도 중요한 문제입니다.

전임상 유전독성 시험은 규제 당국의 기대 수준 상승, 일정 단축에 대한 압박, 재현성 높은 고품질 데이터의 필요성으로 인해 구조적 변화를 겪고 있습니다. OECD 유전 독성 시험 가이드라인 역시 견고한 시험 설계, 재현성, 명확한 문서화를 강조하고 있습니다.

Metafer 스캔 플랫폼 소프트웨어는 동료 평가 연구를 통해 그 유효성이 검증되었을 뿐 아니라 GLP 준수 검사실에서 일상적으로 사용되고 있으며, OECD 가이드라인에 부합하는 유전독성 시험에서 재현성 있는 데이터 생성을 뒷받침하는 표준화되고 추적 가능한 이미지 기반 판독을 지원합니다. 그 결과, 제약회사, 임상시험수탁기관 (CROs), 화학물질 안전성 평가 실험실에서 전략적으로 활용할 수 있는 도구로 자리매김하고 있습니다.



MetaSystems


Increasing
Time Pressure
Requirement for
High Quality Data
FDA/EPA
NITE
HC/ECCC
K-REACH
METAFER
nd Imaging Software Platform
BENEFITS OF AUTOMATION WITH METAFER
Standardized Image Analysis *
User-Validated Workflows *
Expert Review and Confirmation *
Traceability and Documentation *
GLP Ready *
OECD Compliant *
* Validated in multiple, peer-reviewed studies
from Metafer users (see text).
METAFER
Applying automated imaging to improve workflows
for pharma, CROs, and chemical producers.



The Chromosomal Aberration Test

체외 염색체 이상 (CA) 분석은 OECD 시험 가이드라인 473에 정의된 바와 같이, 포유류의 세포에서 구조적 염색체 손상을 검출하기 위한 표준 규제 시험법입니다. 제약 및 화학물질의 안전성평가에서 시험 물질이 염색체 절단을 유발하는지 확인하는 데 널리 사용됩니다.

이 분석법의 핵심 요건 중 하나는 통계적으로 신뢰할 수 있는 평가를 위해 충분한 수와 품질을 갖춘 중기 염색체의 분열상을 식별하고 평가하는 것입니다. 기존의 워크플로우에서는 이 과정이 주로 수동 스캔과 현미경을 통한 평가에 의존하는데, 이는 시간이 오래 걸리고, 노동 집약적이며, 검사자 간 편차가 발생할 수 있습니다. 이러한 제약들로 인해 현대 유전독성학 분야에서는 보조적 도구로서 자동화된 중기분열상 검출 및 이미지 획득 시스템을 도입하게 되었습니다.

SOURCE CITATION

Covance Laboratory SAS [...]에서, Metafer 플랫폼은 사용자 인터페이스를 통해 유사분열 지수를 자동으로 스코어링하고 염색체 이상을 수동으로 판독할 수 있도록 [...] 밸리데이션을 완료했습니다.

Cited from: Finot *et al.*, 2011

CENTRAL CONCLUSION

종합하면, 본 페이지에 인용된 문헌들은 Metafer가 염색체 이상 검사를 위한 반자동화된 검증 플랫폼으로 자리잡았으며, 중기세포 탐색에 필요한 작업 부담을 줄이고 문서화를 개선하는 동시에 전문가 주도의 염색체 이상 분류를 유지한다는 것을 보여줍니다.

Metafer Validation Studies and Use in GLP Labs

Covance Laboratories (France)의 Finot 연구팀 (2011)은 Metafer 소프트웨어에 대한 초기 유효성 검증 연구를 보고한 바 있습니다. 이들은 사람 림프구를 이용한 염색체 이상 시험을 지원하고 분열지수를 자동으로 측정하기 위해 Metafer를 활용했습니다. 저자들은 Metafer를 사용하면 영상 기반의 화면상 염색체 이상 분석이 가능해지며, 직접 현미경을 들여다보는 수동 방식 대신 저장된 디지털 중기상 이미지를 바탕으로 세포유전학 평가를 수행할 수 있다고 강조합니다.

이후, 동일 연구 그룹과 공동 연구자들은 에틸파라벤의 유전 독성을 평가하는 과정에서 염색체 이상 분석에 이러한 반자동화된 이미지 기반 접근 방식을 적용한 추가 연구들을 발표했습니다 (Finot et al., 2017).

체외 염색체 이상 시험을 다룬 저서의 한 부분에서, Registre와 Proudlock (2016)은 앞선 연구 결과들을 지지하며, 자동화된 이미지 시스템이 일상적인 염색체 이상 시험에서 슬라이드 스캔 및 중기 세포 탐색에 소요되는 시간을 상당히 단축해준다고 언급합니다. 이들은 자동화된 중기 세포 탐색 및 이미지 획득 기술이 OECD 가이드라인을 준수하는 시험에서 적절한 보조 도구가 될 수 있음을 인정합니다. 단, 염색체 이상의 최종적인 판단 및 분류는 반드시 숙련된 세포유전학 전문가의 책임하에 이루어져야 한다는 점을 전제로 합니다.

실제 적용 사례로, Römer 등 (2015)은 Metafer를 중기 세포의 탐색, 위치 확인 및 회수를 위한 반자동 시스템으로 활용하여 OECD 가이드라인을 준수하는 체외 염색체 이상 시험에 통합 운영할 수 있음을 입증했습니다. 염색체 이상에 대한 최종 판독은 숙련된 전문가가 직접 수행하도록 유지하면서 자동화를 통해 업무 부담과 데이터 변동성을 유의미하게 감소시켰습니다. 본 연구는 Metafer 기반의 염색체 이상 분석이 OECD TG 473에 따라 수행되는 유전독성 연구에 매우 적합하다는 명확한 근거를 제공합니다.

MetaSystems


Metafer 4
MSearch



The Cytokinesis-Block Micronucleus Test

세포 분열 차단 소핵 시험 (IN VITRO 소핵 시험이라고도 함)은 염색체의 구조적 이상 및 수적 이상을 모두 감지하는 핵심 규제 시험입니다. OECD 시험 가이드라인 (TG) 487에 정의된 바와 같이 이 시험은 포유류의 간기세포 내에 존재하는 소핵을 정량화함으로써 염색체 손상이나 염색체 분리 이상을 평가하는 지표로 활용됩니다.

OECD TG 487은 2010년에 처음 채택되었고, 2014년에 개정되었으며, 가장 최근인 2023년 7월에 수정되었습니다. 이 시험법은 REACH, FDA/EPA 및 기타 안전성 가이드라인 체계 하에서 규제 제출용으로 널리 인정받고 있습니다.

Metafer Validation Studies and Use in GLP Labs

Finot et al. (2011)은 또한 단핵 L5178Y 세포와 이핵 인간 림프구 분석을 위해 Metafer 구동 시스템을 사용했습니다. 저자들은 결론에서 자동화된 분석을 통해 실험당 훨씬 더 많은 수의 세포를 분석할 수 있었으며, 그 결과 생성된 데이터의 통계적 유의성과 신뢰성이 향상되었다는 점을 강조했습니다.

이후, 영국 Swansea 대학교의 Seager et al. (2014)는 포유류 세포를 이용한 체외 소핵 시험 위해 Metafer 소프트웨어를 평가하고 검증했습니다. 이 연구는 표준화된 슬라이드 제작, 최적화된 분류기, 그리고 전문가의 제한적인 검토가 뒷받침될 경우 Metafer는 기존의 수동 현미경 관찰 방식과 대등할 정도로 신뢰할 수 있고 재현 가능하며 생물학적으로 유의미한 결과를 제공하는 것으로 나타났습니다. 동시에 처리량, 통계적 유의성, 운영 효율성은 크게 향상되었습니다. 연구 결과는 다음과 같습니다:

- 자동 분석과 수동 분석은 매우 높은 상관관계의 선량-반응 관계를 나타냈습니다 (화합물에 따라 R2 값이 최대 0.99).
- 벤치마크 선량 (BMD) 및 하한 신뢰한계 (BMDL) 추정치는 두 분석 방식 간에 유사하게 나타났습니다.
- 슬라이드당 분석 시간은 약 45분 (수동 방식)에서 약 15분 (반자동 방식)으로 단축되었으며, 이는 약 3배의 효율성 향상을 의미합니다.

본 연구와 관련한 서한에서, 캐나다 보건부의 Maertens와 White (2015)는 동일한 연구 설정을 바탕으로 Metafer를 자동화 분석 도구로 사용하여 진행한 세포분열 차단 증식 지수 (CBPI) 분석에 대한 정보를 추가로 제공했습니다.

마찬가지로 Swansea 출신인 Verma et al. (2017)은, 표준 유전독성 물질에 노출된 인간 림프구 유래 TK6 세포를 대상으로, Metafer 이미지 분석 플랫폼을 기존의 수동 판독 및 유세포 분석 기반 방법과 비교하여 포괄적으로 평가하였습니다. 주요 연구결과는 다음과 같습니다:

- Metafer 와 수동 분석 간의 대등한 선량-반응 관계 확인
- 구조적 염색체 이상 유발 물질 (methyl methanesulfonate), 수적 염색체 이상 유발 물질 (carbendazim), 그리고 약한 유전독성 발암 물질 (ochratoxin A) 에 대한 정확한 감지
- 벤치마크 선량 모델링에 적합한 높은 재현성

Astra Zeneca (영국)의 Doherty et al. (2016)은 제약 업계 실무자의 관점에서 in vitro 소핵 분석에서 Metafer 시스템의 활용, 검증 및 역할을 중점적으로 다루었습니다. 이들은 규제 기관의 요구사항을 고려하여 체외 포유류 소핵 분석에 대한 포괄적인 개요를 제시하였으며 수동 방식, 반자동 방식 (이미지 분석 기반), 그리고 유세포 분석 기반의 판독 방법에 관한 상세한 지침을 제공하였습니다. 이와 관련하여 해당 챕터에서는 Metafer 이미지 분석 플랫폼 소프트웨어가 반자동 소핵 판독을 위한 강력한 도구임을 인정하고, 이에 대한 실질적인 검증 데이터를 제공합니다.

MetaSystems

SOURCE CITATION

결론적으로, 반자동 Metafer 시스템은 다양한 인간 세포주에서 수행되는 in vitro CBMN 분석을 판독하는데 있어 신뢰할 수 있고 정확하며 효율적인 방법을 제공합니다.

Cited from: Seager *et al.*, 2014

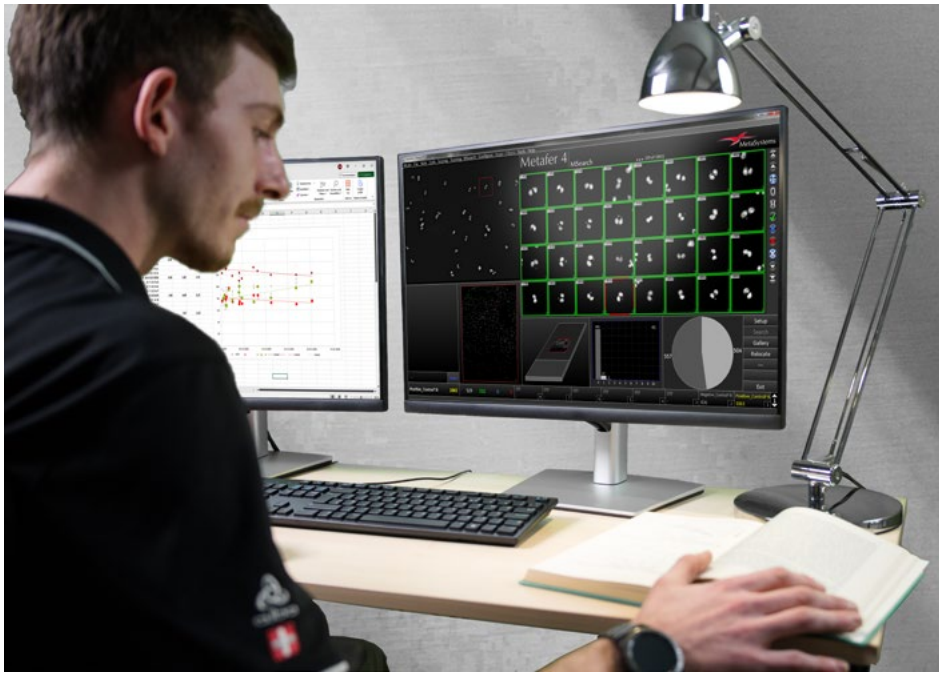
CENTRAL CONCLUSION

요약하면, 인용된 연구들은 Metafer를 이용한 이미지 분석 기반의 소핵 분석이 검증 단계를 넘어 이미 실무에 활용하는 단계로 발전했음을 보여줍니다. 이는 규제 당국에 제출하는 자료를 뒷받침하는 동시에, 대량의 검체 처리와 정량 분석을 가능하게 합니다.

Routine Application in OECD-Compliant and GLP Laboratories

이러한 독립적인 검증 노력 전반에서 일관된 패턴이 나타납니다: 공공 부문의 유전독성 검사실에서 규제 준수, 대량의 검체 처리, 정량적 위험 평가가 동시에 요구되는 환경에서 검사실들이 반복적으로 Metafer를 선택하고 평가하여 도입하고 있습니다. 자동화된 이미지 분석의 장점은 OECD 가이드라인을 준수하고 우수 검사실 운영 기준 (GLP) 조건 하에서 수행되어야 하는 연구에서 특히 두드러집니다. 유전독성학 분야의 소핵 시험 표준화를 위한 신뢰할 수 있는 도구로 Metafer의 인지도가 높아짐에 따라, 이 소프트웨어는 제약 개발의 전임상 시험 단계를 넘어 점차 적용 범위를 넓혀가고 있습니다. 현재는 확실하고 재현 가능하며 규제 기관이 인정하는 유전독성 데이터를 필요로 하는 임상시험 수탁기관 (CROs)과 산업용 및 특수 화학물질 제조업체 등으로 그 활용이 확대되었습니다.

최근 발표된 논문들의 일부 사례를 간략하게 살펴보면, 독일 Reemtsma (Wieczorek et al., 2020), 벨기에 Sciensano (Sanders et al., 2025), 그리고 독일 Eurofins (Laux et al., 2026)는 규제 기관 및 Metafer가 GLP를 준수하며 일상적으로 적용되고 있음을 보여줍니다.





The Rodent-Erythrocyte Micronucleus Assay

생체 내 설치류 적혈구 소핵 시험은 생명체 내에서 염색체 이상 유발 물질 (염색체 절단)이나 수적 이상 유도 물질 (염색체 분리 이상)에 의해 유발되는 염색체 손상을 검출하는 유전독성학의 핵심 시험법입니다. 일반적으로, 쥐나 생쥐같은 설치류에 시험 물질을 투여한 후, 골수나 말초혈액에서 추출한 미성숙 적혈구 (polychromatic erythrocytes; PCE) 내의 소핵을 관찰합니다. 적혈구는 성숙 과정에서 주요 핵을 방출하기 때문에, 남아 있는 소핵을 쉽게 관찰할 수 있어 민감도와 생물학적 타당성이 높은 검사법입니다. 이 방법은 체외 시험에서 확인된 유전독성 영향을 생체 내에서 확인할 수 있으며, 체내 흡수, 분포, 대사, 배설 과정을 모두 반영합니다. 또한 국제적으로 표준화되어 OECD 시험 가이드라인 474에 따라 수행되며, 유럽연합, 일본, 미국 등 여러 국가의 의약품 및 화학물질 안전성 평가와 규제프로그램에서도 핵심적인 시험법으로 활용되고 있습니다.

Application of Automated Metafer-based Scoring in the in vivo Micronucleus Assay

2016년, Zeller et al. (Roche, Switzerland)은 대표적인 직접 작용성 알킬화제 methyl methanesulfonate (MMS)를 사용하여 설치류를 대상으로 한 종합적인 다중 평가지표 체내 유전독성 연구를 보고했습니다. 이 연구의 일환으로 대퇴골 골수를 세척 및 전처리한 후 슬라이드에 원심분리 도말하는 방식으로 골수 소핵 시험이 수행되었습니다. 고정 과정을 거친 슬라이드는 변형 May-Grünwald-Giemsa 염색으로 염색되었습니다. PCE 내 소핵은 Metafer를 사용하여 분석되었으며, 이를 통해 규제 기관의 요건에 부합하도록 동물 한 마리당 4,000개의 PCE를 자동으로 분석했습니다. 해당 연구에서 Metafer를 이용한 골수 소핵 시험은 생물학적 결론 (MMS의 주된 염색체 이상 유발 작용)과 방법론적 제안(비율 기반의 임계 효과 크기; CES) 모두에 핵심적인 기여를 했습니다.

Lovell et al. (2019)은 단일 연구 수준의 검증을 넘어 실험실 간 재현성을 평가하기 위해, 유럽과 북미 전역의 숙련된 규제 시험 기관들로부터 제공받은 설치류 체내 소핵 시험의 과거 음성 대조군 데이터에 대한 대규모 다기관 분석을 시행하고 그 결과를 보고했습니다. 국제 유전독성 실무 그룹을 통해 수집된 이 데이터에는 제약 업계, 임상시험 수탁기관, 그리고 학계 연구실에서 생성된 데이터가 포함되어 있으며, 기저 소핵 발생 빈도에 대한 신뢰성 높은 기준 범위를 제공합니다.

다기관 연구 데이터에서, 참여 실험실 중 한 곳(논문 내 „Lab G“)은 기존의 슬라이드 제조법에 따라 Metafer 소프트웨어를 이용한 자동 슬라이드 판독 방식을 도입하여 슬라이드 분석을 수행하였습니다. 이 자동화 방식을 통해 도출된 소핵 빈도는 참여한 모든 실험실에서 관찰된 전체 과거 음성 대조군 범위에 부합하였으며, 별도의 조건이나 제한 없이 통합 통계 분석에 그대로 포함되었습니다. 평가 방식에 기인한 시스템적인 차이는 확인되지 않았으며, Metafer를 사용한 실험실의 결과는 수동 현미경 관찰이나 유세포 분석을 통해 얻은 데이터와 비교했을 때 값의 크기 및 변동성 면에서 대등한 수준을 나타냈습니다. 이는 체내 소핵 시험에서 자동화된 이미지 분석이 적합함을 뒷받침합니다. 특히, Metafer로 생성된 데이터를 별도의 조건 없이 다국적 과거 대조군 데이터에 포함했다는 점은 자동화된 평가 방식에 대한 규제기관의 신뢰를 확보하는데 중요한 기준점이 됩니다.

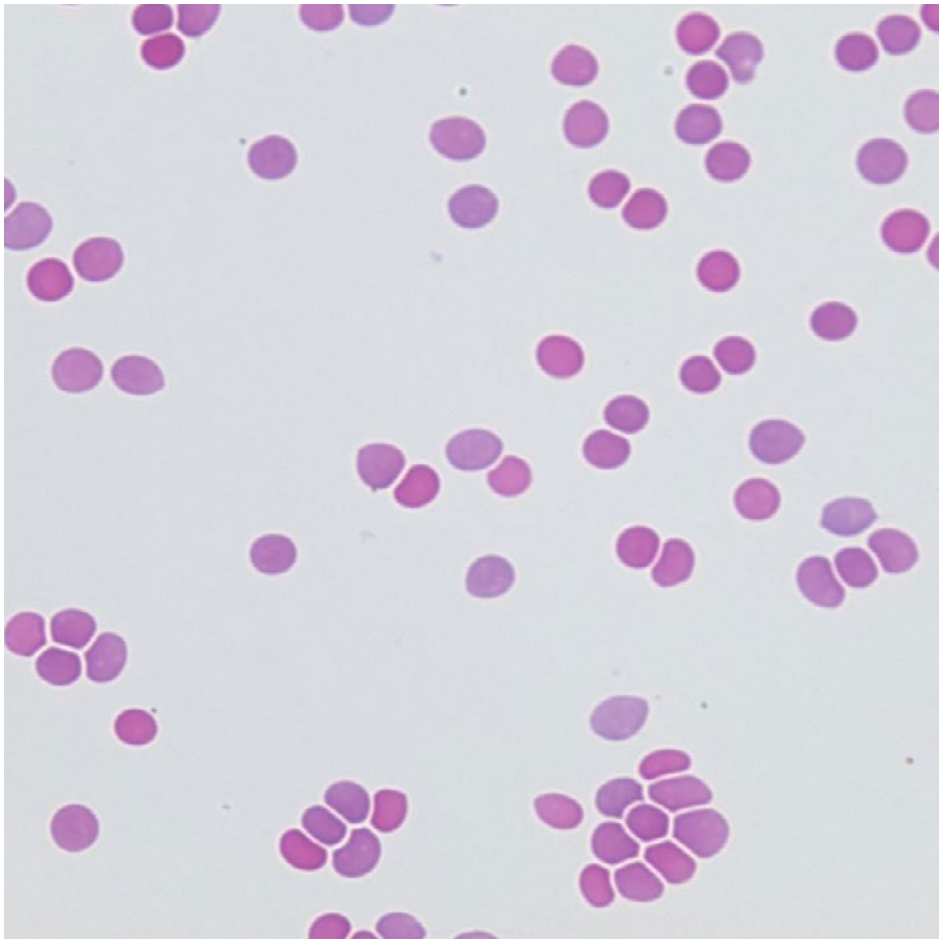
한-일 공동 동물 생체 분석 연구에서, Kim et al. (2026)은 휴대전화 무선 주파수(RF) 방사선에 대한 장기 노출이 발암성 또는 유전독성을 유발하는지 평가하였습니다. 이 연구는 기존 문헌들에서 상충하는 결과들이 보고된 점, 특히 미국 국립 독성 프로그램 (NTP)과 Ramazzini 연구소의 보고서에서 설치류에게 RF 관련 종양이 발생할 가능성이 제시된 점을 계기로 수행되었습니다.

본 연구의 유전독성 평가 부문에서, 저자들은 한국 대전에 위치한 국가독성과학연구소(KIT)에 구축된 Metafer 기반 자동 분석 시

CENTRAL CONCLUSION

본 연구에서 평가된 결과들은 Metafer와 같은 자동화 이미지 분석 플랫폼이 OECD TG 474를 준수하는 체내 소핵 시험과 완벽하게 호환될 수 있음을 보여줍니다. 또한, 이 플랫폼은 과학적으로 신뢰할 수 있고, 재현 가능하며 규제 기준에 부합하는 결과를 도출할 수 있습니다.

다양한 실험 환경, 시험 물질, 그리고 노출 조건 전반에 걸쳐 Metafer를 이용한 분석은 염색체 이상 유발 효과를 안정적으로 검출하고, 과거 대조군 데이터와 일치하는 기저 빈도 데이터를 산출하며, 생물학적으로 의미 있는 해석을 뒷받침하는 것으로 나타났습니다. 이러한 연구 기술이 규제 유전독성 평가에 요구되는 민감도와 신뢰성을 유지하는 동시에 처리량을 높이고 표준화를 향상시키는 고도화되고 검증된 접근법임을 강조합니다.



스템을 사용했습니다. 연구진은 국제 인체 안전 가이드라인에서 제시하는 기준 노출 수준에 해당하는 4 W/kg의 전신 전자파 흡수율(SAR) 조건에서 900 MHz CDMA 변조 RF에 Harlan Sprague-Dawley계 쥐를 노출시켰습니다. 연구과정에서 Metafer는 무작위로 코드화된 표준화 검체를 대상으로 최소 4,000개의 PCEs 및 정상 적혈구 (NCEs)를 분석하여 소핵 다염성 적혈구 (MNPCE)를 검출 및 수량화하고, PCE/NCE 비율을 산출하는 데 사용되었습니다. RF에 노출된 동물군에서는 MNPCE 빈도의 통계적으로 유의미한 증가가 나타나지 않았으나, 양성 대조군인 EMS 투여군에서는 소핵이 명확하고 통계적으로 유의미하게 증가하여 Metafer 기반 워크플로우가 염색체 이상 유발 효과를 민감하게 감지할 수 있음이 확인되었습니다.

본 연구는 Metafer 기반 스코어링 방식이 까다로운 노출 조건에서도 분석 민감도를 유지하며 음성 결과와 검증된 양성 대조군의 결과를 정확하게 판별해 낼 수 있음을 보여줍니다.

Summary and Regulatory Context

Evidence Base Across Genetic Toxicology Assays

본 문헌에서 검토된 연구는 Metafer 자동화 이미지 분석 소프트웨어 플랫폼이 체외 염색체 이상 시험, 체외 소핵 시험, 체내 포유류 적혈구 소핵 시험 등을 포함하여 규제 안전성 평가에 사용되는 주요 유전독성 시험들 전반에 걸쳐 광범위하게 검증되었음을 입증합니다. 이러한 다양한 시험 분야에서 Metafer 기반의 이미지 분석은 기존의 수동 현미경 판독과 대등한 수준의 평가지표 빈도, 선량-반응 관계 및 통계적 해석 측면에서 일관되게 유사한 결과를 도출하였습니다.

이러한 연구 결과는 다양한 세포 유형, 종, 시험 물질 및 실험 환경에 걸쳐 확인되었으며, 이는 해당 결과가 특정 연구 조건에만 의존하는 것이 아니라 다양한 실험 환경에서도 안정적으로 유지함을 보여줍니다.

Role of Automation Within Established Methodologies

다양한 유형의 분석에서, Metafer는 독립적으로 작동하는 완전 자동 분석 시스템이라기보다는 기존의 검사 체계 내에서 활용되는 보조 도구로서 적용됩니다. 슬라이드 스캔, 이미지 획득, 자동화된 개체 탐지 및 예비 분류 기능 단계를 통해 수동 작업 부담을 크게 줄여주며, 생물학적 해석과 최종 결과 판정은 전문가의 검토를 통해 이루어집니다. 이러한 통합 방식은 기존 가이드라인에 따른 분석 방법과의 일관성을 유지하며, 유전독성 평가의 기반이 되는 과학적 원리를 변경하지 않으면서도 자동화를 통해 효율성과 일관성을 향상시킵니다.

Data Quality, Reproducibility, and Traceability

검토된 연구들에서 공통적으로 강조되는 장점 중 하나는 디지털 이미지 보관을 통해 데이터의 표준화와 추적성이 개선된다는 점입니다. 이미지 기반의 문서화 방식은 판독 결정에 대한 검증, 재검토, 연구 간 비교를 가능하게 함으로써 규제 대상 시험 환경의 투명성을 뒷받침합니다.

또한, 현실적인 시간 내에 더 많은 수의 세포를 분석할 수 있게 됨으로써 통계적 검정력이 향상되며 기준 선량 모델링과 같은 정량적 분석이 가능해집니다. 여러 실험실에서 수집한 과거 대조군 데이터에 자동화된 이미지 분석 데이터를 포함하는 것은 분석 방식에서 기인할 수 있는 시스템적 편향이 발생하지 않는다는 근거를 제공합니다.

Positioning Within Contemporary Genetic Toxicology Practice

종합해보면, Metafer가 효율성, 일관성 및 문서화 방식을 개선함으로써 현재의 유전독성학 실무를 지원하는 고도화된 이미지 획득 및 분석 시스템임을 입증합니다. 이 시스템의 도입은 기존 가이드라인 시험법의 프로토콜 및 전문가 중심의 평가 방식을 그대로 유지하면서도, 안전성 평가 분야에서 디지털화 및 표준화로 나아가는 더 넓은 흐름을 반영합니다.

Concluding Remarks

결론적으로, Metafer 기반의 이미지 분석은 기존 유전독성학 방법론을 기술적으로 타당하게 확장한 것입니다. 검증된 워크플로우 내에서 구현되고 적절한 전문가의 검토가 뒷받침될 때, 이 시스템은 가이드라인에 따른 분석법의 과학적 또는 해석적 기반을 변경하지 않으면서도 재현성 있는 데이터의 생성, 추적성 강화, 효율적인 연구 수행을 가능하게 합니다.



References

01. Doherty, A., Bryce, S. M., and Bemis, J. C. (2016). The in vitro micronucleus assay. In Genetic Toxicology Testing. Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800764-8.00006-9

02. Finot, E., Bichet, N., Essahli, A., and Paillard, F. (2011). Metafer image analysis platform: A useful tool for chromosome damage assessment in genetic toxicology. Toxicology Letters, 205(Suppl.), S104. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.05.376

03. Finot, F., Kaddour, A., Morat, L., *et al*. (2017). Genotoxic risk of ethyl-paraben could be related to telomere shortening. Journal of Applied Toxicology, 37(6), 758–771. https://doi.org/10.1002/jat.3425

04. Kim, H. S., Han, K. H., Kim, Y. B., *et al*. (2026). International collaborative animal study of carcinogenicity and genotoxicity of mobile phone radiofrequency radiation. Toxicological Sciences, 209(3), kfag001. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfag001

05. Laux, R., Avellaneda, T., Colon Bolea, P., *et al*. (2026). In vitro assessment of genotoxic potential of in-shell nut ingredients according to OECD TG 471 and 487. European Journal of Nutrition & Food Safety, 18(3), 208–225. https://doi.org/10.9734/ejnfs/2026/v18i31988

06. Lovell, D. P., Fellows, M., Saul, J., *et al*. (2019). Analysis of historical negative control data from the rat in vivo micronucleus assay. Mutation Research / Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 849, 503086. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.503086

07. Maertens, R. M., and White, P. A. (2015). RE: Recommendations, evaluation and validation of a semi-automated scoring protocol for micronucleus testing. Mutagenesis, 30(2), 311–312. https://doi.org/10.1093/mutage/geu066

08. Registre, M., and Proudlock, S. (2016). The in vitro chromosome aberration test. In Genetic Toxicology Testing. Elsevier, Amsterdam. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800764-8.00007-0

09. Römer, E., Zenzen, V., Conroy, L. L., *et al*. (2015). Automation of the in vitro micronucleus and chromosome aberration assay for genotoxicity assessment of cigarette smoke. Toxicology Mechanisms and Methods, 25(4), 320–333. https://doi.org/10.3109/15376516.2015.1037413

10. Sanders, J., Anthonissen, R., Johnson, G. E., Vanhaecke, T., and Mertens, B. (2025). Benchmark concentration-based evaluation of combined genotoxic compounds in TK6 cells. Archives of Toxicology, 99(4), 1581–1589. https://doi.org/10.1007/s00204-025-03971-y

11. Seager, A. L., Shah, U. K., Brusehafer, K., *et al*. (2014). Recommendations, evaluation and validation of a semi-automated scoring protocol for micronucleus testing. Mutagenesis, 29(3), 155–164. https://doi.org/10.1093/mutage/geu008

12. Verma, J. R., Rees, B. J., Wilde, E. C., *et al*. (2017). Evaluation of automated MicroFlow® and Metafer™ platforms for high-throughput micronucleus scoring. Archives of Toxicology, 91(7), 2689–2698. https://doi.org/10.1007/s00204-016-1903-8

13. Wieczorek, R., Phillips, G., Czekala, L., *et al*. (2020). Comparative in vitro toxicity assessment of electronic vaping products and cigarette smoke. Toxicology in Vitro, 66, 104866. https://doi.org/10.1016/j.tiv.2020.104866

14. Zeller, A., Tang, L., Dertinger, S. D., *et al*. (2016). A proposal for a novel rationale for critical effect size based on a multi-endpoint in vivo study with methyl methanesulfonate. Mutagenesis, 31(3), 239–253. https://doi.org/10.1093/mutage/gev077

About MetaSystems

MetaSystems는 지난 40여 년간 의료 및 생명공학 분야에 적용되는 자동 현미경 기반 이미징 솔루션을 혁신적으로 개발해 왔습니다. 본사는 독일 하이델베르크 인근 남서부 지역에 위치하고 있습니다.

독일을 중심으로 북남미, 유럽, 인도, 중국 등에 현지 법인을 운영하고 있으며 전세계 100여개 국의 연구기관, 병원 및 대학 등 다양한 곳에서 당사의 제품을 사용하고 있습니다.

당사는 사용자들과 긴밀한 소통을 바탕으로 제품을 지속적으로 개발함으로써 전통의 가치 위에 혁신을 결합하고 있습니다. 당사의 현대적인 접근 방식에는 선진화된 워크플로우 관리와 인공지능의 활용이 포함됩니다. 이러한 노력을 통해 여러 분야에서 세계 최고 수준의 입지를 확보할 수 있었습니다.



MetaSystems의 소프트웨어는 영상 처리 기능을 비롯한 다양한 기능을 제공하며, 여기에는 패턴 인식을 위한 장비 작동 및 딥러닝 알고리즘의 활용 등이 포함되지만 이에 국한되지는 않습니다. 이 과정을 통해 생성되는 결과는 예비 제안으로 간주해야 하며, 어떠한 경우에도 해당 결과를 숙련된 전문가가 검토하고 평가하는 절차가 반드시 필요합니다.

MetaSystems는 표준 Metafer 플랫폼 기능을 활용하여 고객 검사실에 성공적으로 구현된 애플리케이션 워크플로우에 대한 사용자 맞춤형 패키지를 제공합니다. 이 패키지는 유사한 워크플로우와 슬라이드 전처리 과정을 사용하는 다른 검사실에도 적용할 수 있을 것입니다. 사용자 맞춤형 패키지를 구매하면, MetaSystems의 제품 전문가들이 유사한 애플리케이션 적용 사례에서 얻은 경험을 바탕으로 고객 검사실의 요구사항에 맞게 Metafer 소프트웨어 설정을 조정할 수 있도록 지원합니다. 솔루션의 성능은 고객이 제작한 슬라이드의 품질과 사용자의 숙련도에 따라 달라지므로, MetaSystems는 구체적인 성능 매개변수를 지정하거나 이를 보장하지 않습니다. 해당 솔루션을 임상 용도로 사용하기 위한 검증은 전적으로 고객의 책임입니다.

WORLDWIDE OFFICES

EUROPE

Germany, Altlussheim
info@metasystems-international.com

Italy, Milan
info@metasystems-italy.com

AMERICAS

USA, Medford
info@metasystems.org

Argentina, Buenos Aires
info@metasystems-latam.com

ASIA

China, Hong Kong
info@metasystems-asia.com

China, Taizhou
info@metasystems-china.com

India, Bangalore
info@metasystems-india.com

Japan, Tokyo
info@metasystems-japan.com

CONTACT US

OR YOUR LOCAL
MetaSystems
REPRESENTATIVE

metasystems-international.com

MetaSystems Hard & Software GmbH
Robert-Bosch-Str. 6
68804 Altlussheim | Germany

© 2026 by MetaSystems
Document No. WPC-MS-Toxicology-KR-2026-04-01