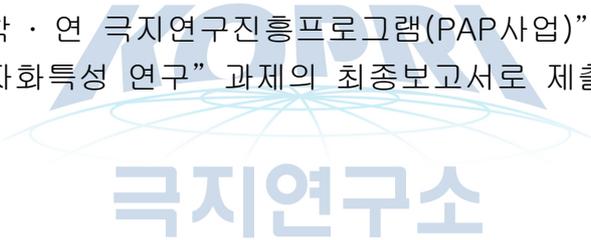


# 제 출 문

## 극지연구소장 귀하

본 보고서를 “국내 학·연 극지연구진흥프로그램(PAP사업)”에 관한 연구 “콘드라이트를 이용한 미세소행성의 자화특성 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



극지연구소

2018. 05. 31.

연구기관명 : 충남대학교

연구책임자 : 유 용 재

# 요 약 문

## I. 제 목

콘드라이트를 이용한 미세소행성의 자화특성 연구

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

금번 연구에서는 콘드라이트의 자기특성 규명을 통하여 지구행성과학계에서 아래에 제시된 소행성체와 관련된 문제점들을 구체적으로 해결하여, 아직까지 전 세계적으로 해결하지 못한 지구행성과학 분야에서 중요하면서도 기본이 되는 기초 자료를 제공하는데 있다.

- 콘드라이트의 주 자성 광물은 무엇인가?
- 콘드라이트가 자화를 획득할 당시 자화를 유도한 자기장 강도는 얼마인가?
- 콘드라이트가 내재한 자성 광물의 자화상실온도(Curie point)는 얼마인가?
- 콘드라이트에 자화를 유도한 자기장의 기원은 현재 지구자기장과 유사한 쌍극 자기장 기원인가 혹은 달의 암석에 자화를 유도한 것과 유사한 플라즈마 기원인가?

## III. 연구개발의 내용 및 범위

금번 연구에서는 일차적으로 44종의 콘드라이트(극지연구소 제공)로부터 분리한 150개의 시편과 1종의 아콘드라이트(극지연구소 제공)로부터 분리한 12개의 시편을 사용하였다. 또한 연구 결과의 완성도를 높이기 위해 24종의 콘드라이트(기타 연구소 제공)에서 분리한 169개 시편을 추가로 실험에 사용하였다.

콘드라이트의 자화 특성 연구를 위해 2개의 독립적인 실험을 진행하였다. 일차적으로 총 69개 운석의 331개 시편을 대상으로 자연잔류자화의 자화안정도를 측정하였다. 자화안정도 평가를 통해 잔류자화의 안정도를 확인한 총 45개 운석의 162개 시편을 대상으로 자연잔류자화, 비자기이력잔류자화, 등온포화잔류자화의 비율을 측정하였다.

#### IV. 연구개발결과

금번 연구에서 실험에 사용한 운석을 대상으로 측정된 자연잔류자화 대비 자기이력잔류자화의 비는  $10^{0.38 \pm 0.72}$ 이다. 따라서 운석의 자연잔류자화를 유도한 외부기원 자기장의 강도는  $\approx 4.6 \times 10^{-4}$  mT인  $10^{0.38 \pm 0.72}$ 로 결정된다.

금번 연구에서 실험에 사용된 운석을 대상으로 측정된 자연잔류자화 대비 비자기이력잔류자화의 비는  $10^{-1.78 \pm 0.81}$ 이다. 따라서 운석의 자연잔류자화를 유도한 외부기원 자기장의 강도는  $\approx 2.3 \times 10^{-4}$  mT인  $10^{1.36 \pm 0.81}$ 로 결정된다.

#### V. 연구개발결과의 활용계획

극지연구소의 연구팀과 꾸준한 협업을 통해 창출 가능한 연구 활용 방안은 다음과 같다.

- (1) 향후 달 탐사로 대표되는 우주탐사시대의 도래에 맞추어 극지연구소와의 협업을 통해 국가적 과제수행의 구심점 역할을 수행한다.
- (2) 미세소행성체의 생성과 진화과정에 대한 기초 자료를 제공함으로써, 미세소행성체 및 내행성의 핵-맨틀-지각 분화과정을 이해하고 나아가 태양계 진화에 관한 이해도를 증진시킨다.
- (3) 단위 시료에 대한 광물학-암석학-자기학을 융합한 자료를 생산하여 상대적으로 인지도 높은 국제학술지에 그 결과를 발표하려 한다.
- (4) 운석의 자화특성 연구를 통하여 21세기 미래 유용광물자원 개발을 위한 행성탐사 추진 시 기초 자료를 제공한다.
- (5) 행성과학 분야에서 경쟁력 있는 대학원생을 교육하여, 향후 이 분야의 핵심 고급 전문인력으로 양성한다.

# 목 차

제 1 장 서론	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	9
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	11
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	184
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	187
제 6 장 참고문헌	190

# 제 1 장 서론

## 가. 연구개발의 목적

운석은 초신성 폭발의 잔해인 성운가스가 응축하며 형성된 태양계 탄생의 비밀을 간직한 우주화석이다. 집적과 용융에 의해 초기 진화 정보가 사라진 행성체와는 달리 운석은 태양계 형성 초기 진화 규명에 관한 정보를 보유한다 (그림 1). 그러나 대부분의 운석 연구는 사례탐구형으로, 동일 운석 시편을 대상으로 물리/화학적인 분석이 유기적으로 수행된 예는 희귀하다.

우주개발 국가로의 진입이라는 대과제를 목전에 두고, 행성연구 인프라를 구축하는 것은 대한민국이 과학선진국으로 진입하는데 있어 반드시 거쳐야 할 관문이다. 본격적인 우주개발 경쟁시대 도래에 발맞추어 태양계 형성에 관한 과학적 이해가 요구되고 있다. 그러나 대한민

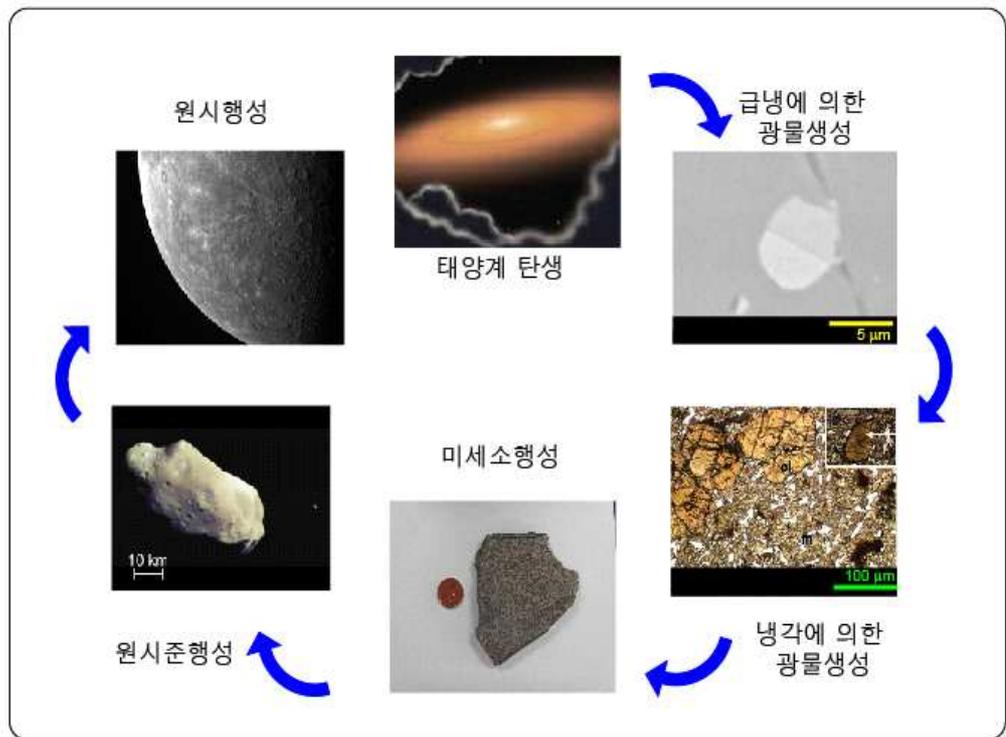


그림 1. 태양계 내행성체의 진화

국의 우주개발 연구는 근본적인 태양계의 이해를 도외시하고 상대적으로 성과창출이 가시적으로 용이한 공학적 문제에 집중하고 있다. 반면 효용을 크게 따지지 않는 순수한 과학의 이치에 부합되는 국제공인 수준의 SCI급 연구결과는 부족한 양상이다. 이는 국내연구자들의 역량부족 문제라기보다 충분한 양의 운석 시료 확보와 실험장비 부재 등의 연구인프라 장애 때문인 것으로 판단된다.

## 나. 연구개발의 필요성

태양계의 형성은 기존에 존재하던 초신성 폭발의 잔해로 이뤄진 원시성운의 냉각과 수축에 의해 시작된다. 냉각과 수축에 의해

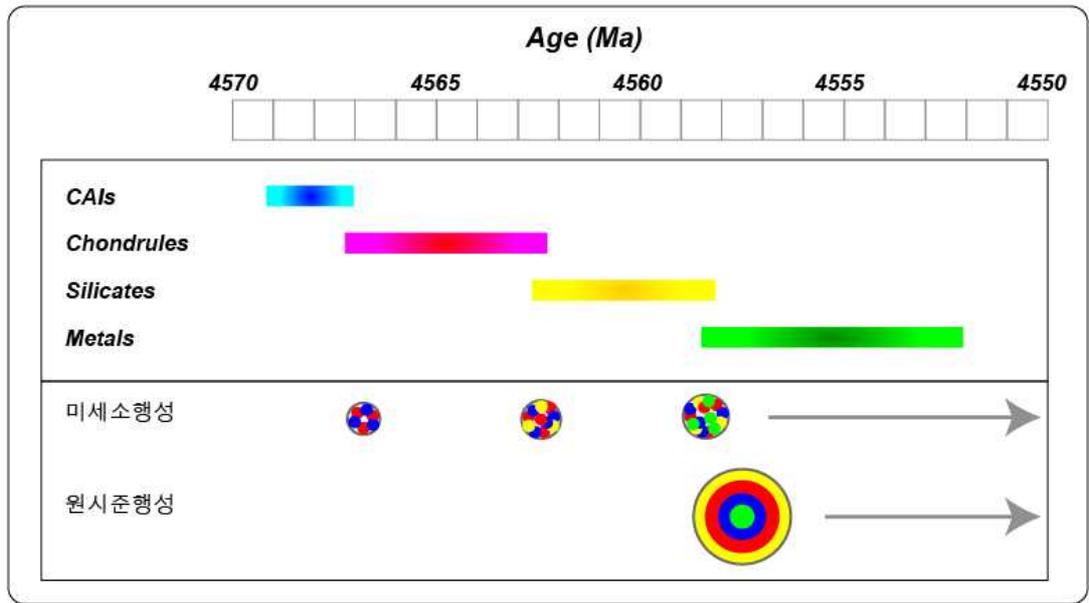


그림 2. 태양계 초기 진화 단계의 CAIs, Chondrules, Silicates, Metals 응축연대 및 개략적인 미세소행성(Planetesimals) 및 준행성(Planetary embryos) 성장 모델

물질이 응축되며 고온 기체상태의 화합물 가운데 최초로 고화되는 물질은 기체에서 고체로 곧바로 응축되는 Corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1758 K)과 Perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ , 1647 K)이며 이들을 통칭하여 Ca-Al-rich inclusions (CAIs)라 한다(그림

2). 온도가 감소하며 1400-1500 K 정도에서 응축되는 두 번째 종류의 물질은 Mg-rich Olivine ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), Pyroxene Diopside ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), Ca-rich Plagioclase ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )으로 내행성의 맨틀에서 흔히 관찰되는 광물이

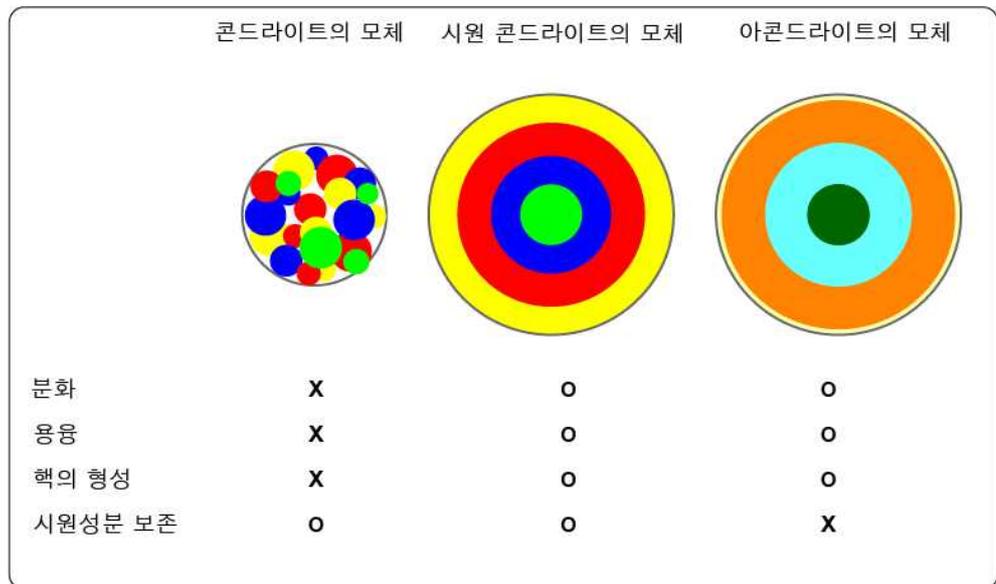


그림 3. 개략적으로 도시한 미분화운석(Chondrites), 원시분화운석(Primitive Achondrites), 분화운석(Achondrites)의 모체

다. 최초로 응축된 CAIs는 주변보다 월등한 질량으로 중력을 유발하여 물질의 집적(accretion)을 유도한다. 이후 응축된 chondrules과 활발한 집적으로 소규모 미세소행성을 생성하는데, 이 시기의 소규모 미세소행성은 단순한 CAIs와 chondrules의 집적체이다. 이후 소규모 미세소행성은 silicates를 포함하는 집적체로 진화하며, 최종적으로는 합금을 포함하는 미세소행성으로 성장한다(그림 2).

동일 궤도상의 미세소행성들은 가장 규모가 커진 미세소행성의 중력으로 인해 준행성(Planetary Embryos)을 형성하게 된다. 편의상 질량을 기준으로  $10^{22}$  kg을 초과하면 준행성, 미달이면 미세소행성으로 분류한다. 준행성 생성 과정에서 각 궤도별로 대형 미세소행성의 개수만큼 소행성 충돌이 발생하며, 빈번한 충돌이 집적열(accretional heat)을 발생시켜 준행성을 녹이고, 이로 인해 준행성의 물리적 분화(Physical differentiation)가 발생한다(그림 3). 미세소행성 가운데 작은 규모로 행성의 생성에서 소외되어 내행성 궤도를 배회하다가 지구의 중력에 의해 지표로 낙하하며 대기마찰을 견뎌낸 부분이 콘드라이트 운석으로 지표에서 회수된다(그림 3). 반면 대부분의 미세소행성은 준행성 혹은 상대적으로 큰 미세소행성을 형성하는데 사용되며, 집적열에 의해 생성 초기 분화의 과정을 겪으면서, 질량이 무거운 금속성 원소가 준행성소행성의 중심부로 이동된다(그림 3).

분화의 과정에서 태양계 형성 초기의 성분이 유지되기도 하지만 새로운 화합물의 형태로 분화되기도 한다(그림 4). 전자의 경우 원시분화운석(Primitive Achondrites)의 모체가 되며 후자의 경우 분화 운석(Achondrites)의 모

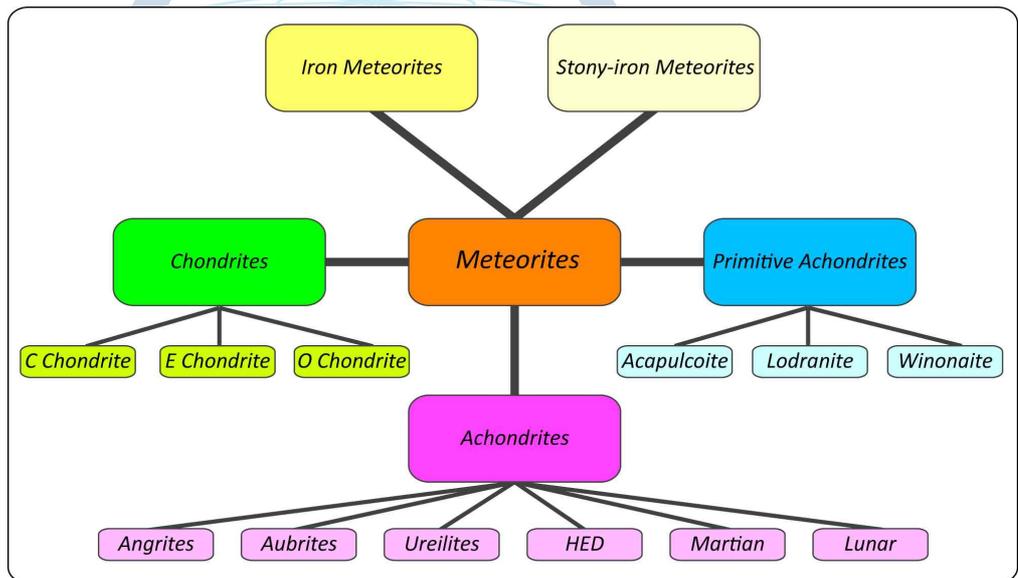
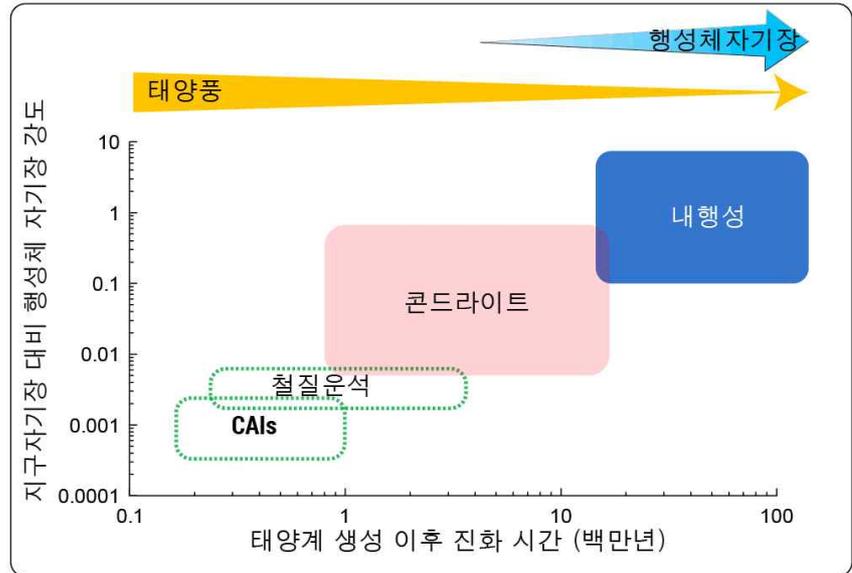


그림 4. 운석의 분류

체가 된다(그림 4). 특히 미세소행성/준행성의 상층부에서 분리된 아콘드라이트 운석은 금속성 원소가 결여되어 있는 규산염 광물로 주로 구성되어 있다. 이로 인하여 아콘드라이트 운석은 지구형 내행성의 화성암과 매우 유사하며, 칼슘(Ca) 함유량에 따라 Angrite, Eucrite, Howardite, Aubrite, Diogenite, Ureilite로 6대분된다(그림 4).

금번 연구에서는 콘드라이트의 자기특성 규명을 통하여 지구행성과학계에서 아래에 제시된 소행성체와 관련된 문제점들을 구체적으로 해결하여, 아직까지 전 세계적으로 해결하지 못한 지구행성과학 분야에서 중요하면서도 기본이 되는 기초 자료를 제공하는데 있다 (그림 5).

- 콘드라이트의 주 자성 광물은 무엇인가?
- 콘드라이트가 자화를 획득할 당시 자화를 유도한 자기장 강도는 얼마인가?



- 콘드라이트가 내재한 자성 광물의 자화상실온도(Curie point)는 얼마인가?

그림 5. 태양계 내행성체의 진화와 행성체 생성 자기장 강도의 상관관계

- 콘드라이트에 자화를 유도한 자기장의 기원은 현재 지구자기장과 유사한 쌍극자기장 기원인가 혹은 달의 암석에 자화를 유도한 것과 유사한 플라즈마 기원인가?

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

대한민국은 현재 운석을 이용하여 국제공인 수준의 SCI급 연구결과를 독자기술로 양산하려 한다. 특히 극지연구소가 중심이 되어 운석의 수집 및 기재를 총괄하여, 체계적인 연구결과를 만들어 내려고 노력중이다. 2000년대 초 까지만 하더라도 국내의 연구기반이 취약하여, 국외 연구기관의 도움없이 수준있는 연구결과의 도출이 어려웠다. 그러나 최근 급격히 성장한 국력과 과학기술 인프라의 도움으로 국내 과학자들의 운석 연구가 꾸준히 증가하고 있다(Min and Reiners, 2007; Yurimoto et al., 2008; Rubin and Choi, 2009; Rubin et al., 2009; Yu et al., 2009, 2011; Ahn et al., 2012; Nakamura-Messenger et al., 2012; Warren et al., 2013, 2014; Harju et al., 2014). 이와같은 국내운석 연구의 발전에 기여하고자 금번 연구를 통해 콘드라이트의 자화특성에 관한 국제공인 수준의 SCI급 연구결과를 제시하고자 한다.

금번 연구에서는 일차적으로 44종의 콘드라이트(극지연구소 제공)로부터 분리한 150개의 시편과 1종의 아콘드라이트(극지연구소 제공)로부터 분리한 12개의 시편을 사용하였다. 또한 연구 결과의 완성도를 높이기 위해 24종의 콘드라이트(기타 연구소 제공)에서 분리한 169개 시편을 추가로 실험에 사용하였다 (그림 6).

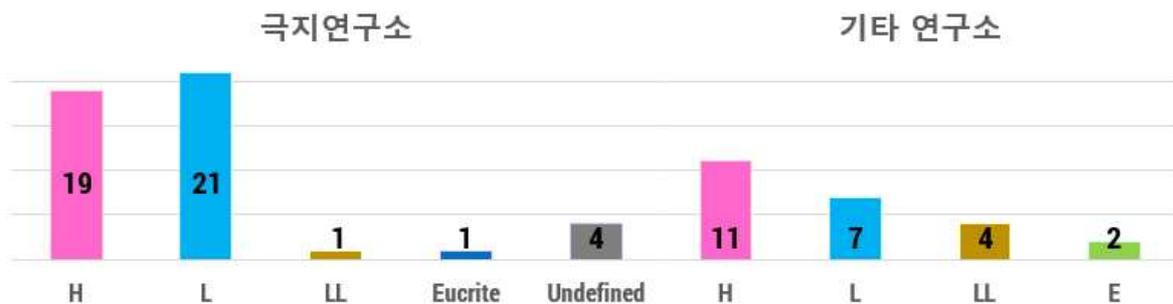


그림 6. 실험에 사용한 운석 시료의 구분

연구동향	국내	국외
기술현황	○ 대한민국은 현재 소행성체 진화규명 분야에서 국제공인 수준의 SCI급 연구결과를 독자기술로 제시하기 시작하는 연구 초기 단계	○ 세계 최고 수준의 연구기관들은 첨단 연구장비를 사용하여 운석을 이용한 소행성체 진화규명 분야의 선도 연구를 주도
시장현황	○ 극지연구소가 주도하는 국내 연구자들의 운석 수집 및 기체가 시도되는 초기 연구 단계로 체계적인 과제 개발이 시급	○ 과학 선진국의 경우 우주과학 연구는 각국의 정부가 개발계획의 청사진을 제시하고 대학과 연구소의 협업으로 연구 주도
우수연구 기관현황	○ 서울대학교 연구팀 — 운석의 화학적인 분석 — SCI급 결과보고 가능  ○ 충남대학교 연구팀 — 동일 운석의 자화특성 분석 — SCI급 결과보고 가능	○ 세계 최고 수준의 연구기관 — 미국: 미항공우주국(NASA)-MIT-Caltech-UCSD Scripps-Arizona State University — 중국: Chinese Academy of Science — 일본: Jaxa-University of Tokyo — 프랑스: IPGP-Aix-Marseille III 대학
지식 재산권 현황	○ 국제공인 수준의 SCI급 연구 결과 도출 시도	○ 국제공인 수준의 SCI급 연구결과 다수 보고
표준화 현황	○ 연구 인프라의 결여	○ 세계 최고 수준의 연구기관들은 첨단 연구장비를 사용하여 우주탐사 분야를 선점
기타	○ 연구비와 장비 부분에 대한 현실적인 지원이 뒷받침된다면, 소행성체 진화규명 분야에서 10여년 안에 세계적인 저명 연구팀으로 성장 가능	○ 운석을 이용한 소행성체 진화규명 분야 최고 수준과의 기술 격차는 10년 정도라 판단

### 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

#### 가. 연구내용

콘드라이트의 자화 특성 연구를 위해 2개의 독립적인 실험을 진행하였다. 일차적으로 총 69개 운석의 331개 시편을 대상으로 자연잔류자화(Natural Remanent Magnetization, NRM)의 자화안정도를 측정하였다. 교류소자기(Alternating-field Demagnetizer)를 이용하여 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25, 30, (35), 40, (50), (60), (80), (100) mT의 소자단계를 적용하였다.

자화안정도 평가를 통해 잔류자화의 안정도를 확인한 총 45개 운석의 162개 시편을 대상으로 자연잔류자화(NRM), 비자기이력잔류자화(Anhysteretic Remanent Magnetization, ARM), 등온포화잔류자화(Saturation Isothermal Remanent Magnetization, SIRM)의 비율을 측정하였다. ARM은 100 mT의 교류(alternating-field)에 0.1 mT의 직류자기(direct-field)를 중첩하여 시료의 z방향으로 생성하였다. 시료를 1 T에 노출시켜 시료의 z방향으 SIRM을 생성하였다. 운석의 표준분류법을 사용하여 구분한 실험대상 운석 시료 목록은 아래와 같다 (그림 7).

극지연구소					기타 연구소			
콘드라이트			아콘드라이트		콘드라이트			
H	L	LL	Eucrite	Undefined	H	L	LL	E
Buzzard Coulee	EET 14016	EET 14064	TIL 07014	FLE 10003	Dar al Gani 475	Dalgety Downs	Begaa	Abee
EET 14036	EET 14019			GRI 11001	Dashoguz	Dhofar 1250	Bensour	Sahara 97072
EET 14039	EET 14031			JOH 10001	Dimmitt	Dhofar 978	NWA 980	
EET 14044	EET 14037				Djoumine	Goronyo	NWA 1933	
EET 14052	EET 14045				Estacado	Kunashak		
EET 14054	EET 14050				Jilin	RC 102		
Favett	EET 14055				Korra korrabes	Tjerebon		
RKP 14003	EET 14059				Lamesa			
TIL 06001	EET 14060				Ouirique			
TIL 06005	EET 14073				Thuathe			
TIL 07001	Neenach				Zag			
TIL 07004	RKP 14001							
TIL 07005	TIL 06002							
TIL 07011	TIL 06003							
TIL 07015	TIL 06004							
TIL 08002	TIL 07002							
TIL 08005	TIL 07006							
TIL 08006	TIL 07010							
TIL 08008	TIL 07013							
	TIL 08001							
	TIL 08003							
19	21	1	1	3	11	7	4	2

그림 7. 표준분류법에 따른 운석의 구분

시편 제작 전의 L6 Neenach 운석 사진이다 (그림 8). 통상적으로 화살표의 방향은 운석의 내부(interior)에서 외부(rim)를 향하므로, Fusion crust를 기준으로 화살표를 설정하였다. 측정된 자기기록의 상호 상관관계 분석을 위하여 설정된 화살표는 측정 자력계의 x축으로 설정하였다. 그림의 우상단에 위치한 1 cm<sup>3</sup>의 노란색 cube와 대비하여 실험에 사용한 운석의 크기 비교가 가능하다 (그림 8).



그림 8. 시편 제작 전의 L6 Neenach 운석

L6 Neenach 운석의 경우 총 8개의 시편을 제작하였다(그림 9). 운석 시편의 일련 번호는 기설정된 x축 방향의 열증가에 이어 행증가 방향으로 시료명의 접미부분이 Neenach-01 부터 Neenach-08의 순서로 정해진다. 통상적인 벡터법을 적용하여 행증가 방향은 y축과 동일하다 (그림 9).

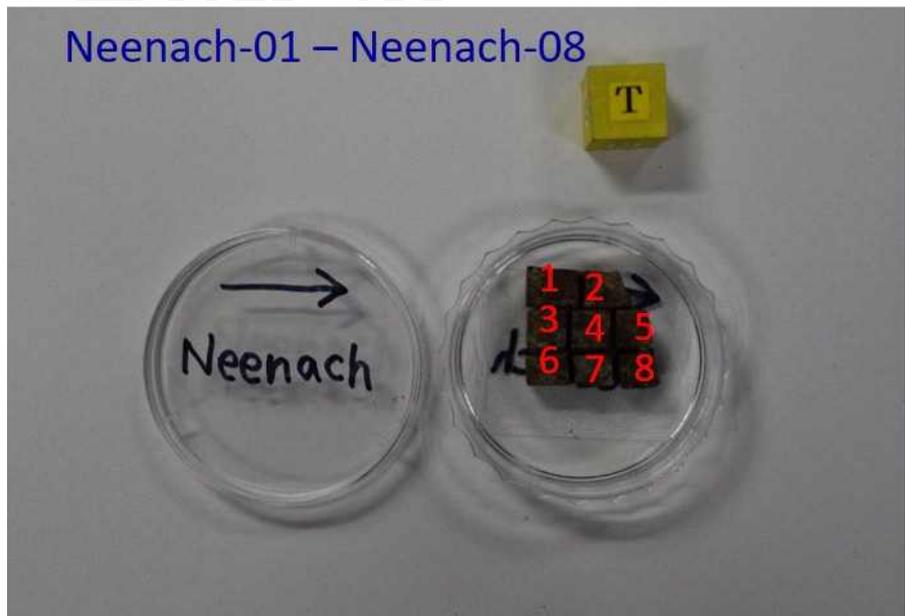


그림 9. 시편 제작 후의 L6 Neenach 운석

## 다. 연구결과

### 다-1. 미세소행성체의 자화강도 결정

미세소행성체의 집적과 냉각 과정에서 유도되는 잔류자화는 주어진 외부 기원 자기장의 강도에 비례한다. 동일한 물리학적 원리를 적용하면 인위적으로 가해진 2차 잔류자화는 실험실에서 사용한 외부자기장의 강도에 비례한다. 따라서 비례식을 활용하여 과거 미세소행성체 형성 당시 미세소행성체 표면에 유도된 자기장의 강도를 결정하게 된다. 금번 연구에서는 미세소행성체의 외부 기원 자기장 강도 결정을 위해 자연잔류자화/비자기이력잔류자화 와 자연잔류자화/등온포화잔류자화의 비를 비교하였다.

#### ◎ ARM을 사용한 자화강도 결정

실험실에서 ARM을 유도하기 위해 사용한 외부자기장 강도( $B_{\text{laboratory}}$ )에 자연잔류자화 대비 비자기이력자화의 비를 사용한다. 이를 토대로 미세소행성체의 잔류자화를 유도한 외부기원 자기장 강도( $B_{\text{nature}}$ )를 결정하게 된다. 금번 연구에서 실험에 사용한 운석을 대상으로 측정된 자연잔류자화 대비 자기이력잔류자화 비는  $10^{0.38 \pm 0.72}$ 이다(그림 10). 따라서 운석의 자연잔류자화를 유도한 외부기원 자기장의 강도는  $\approx 4.6 \times 10^{-4}$  mT인  $10^{0.38 \pm 0.72}$ 로 결정된다(그림 10).

#### ◎ SIRM을 사용한 자화강도 결정

실험실에서 유도한 SIRM은 포화 상태의 등온잔류자화이므로 운석이 획득 가능한 최대 잔류자화의 값에 해당한다. 따라서 외부자기장 강도( $B_{\text{laboratory}}$ )는 자연잔류자화 대비 비자기이력자화의 비와 비례상수를 사용하여 계산된다. 이를 토대로 미세소행성체의 잔류자화를 유도한 외부기원 자기장 강도( $B_{\text{nature}}$ )를 결정하게 된다. 금번 연구에서 실험에 사용된 운석을 대상으로 측정된 자연잔류자화 대비 비자기이력잔류자화 비는  $10^{-1.78 \pm 0.81}$ 이다(그림 11). 따라서 운석의 자연잔류자화를 유도한 외부기원 자기장의 강도는  $\approx 2.3 \times 10^{-4}$  mT인  $10^{1.36 \pm 0.81}$ 로 결정된다(그림 11).

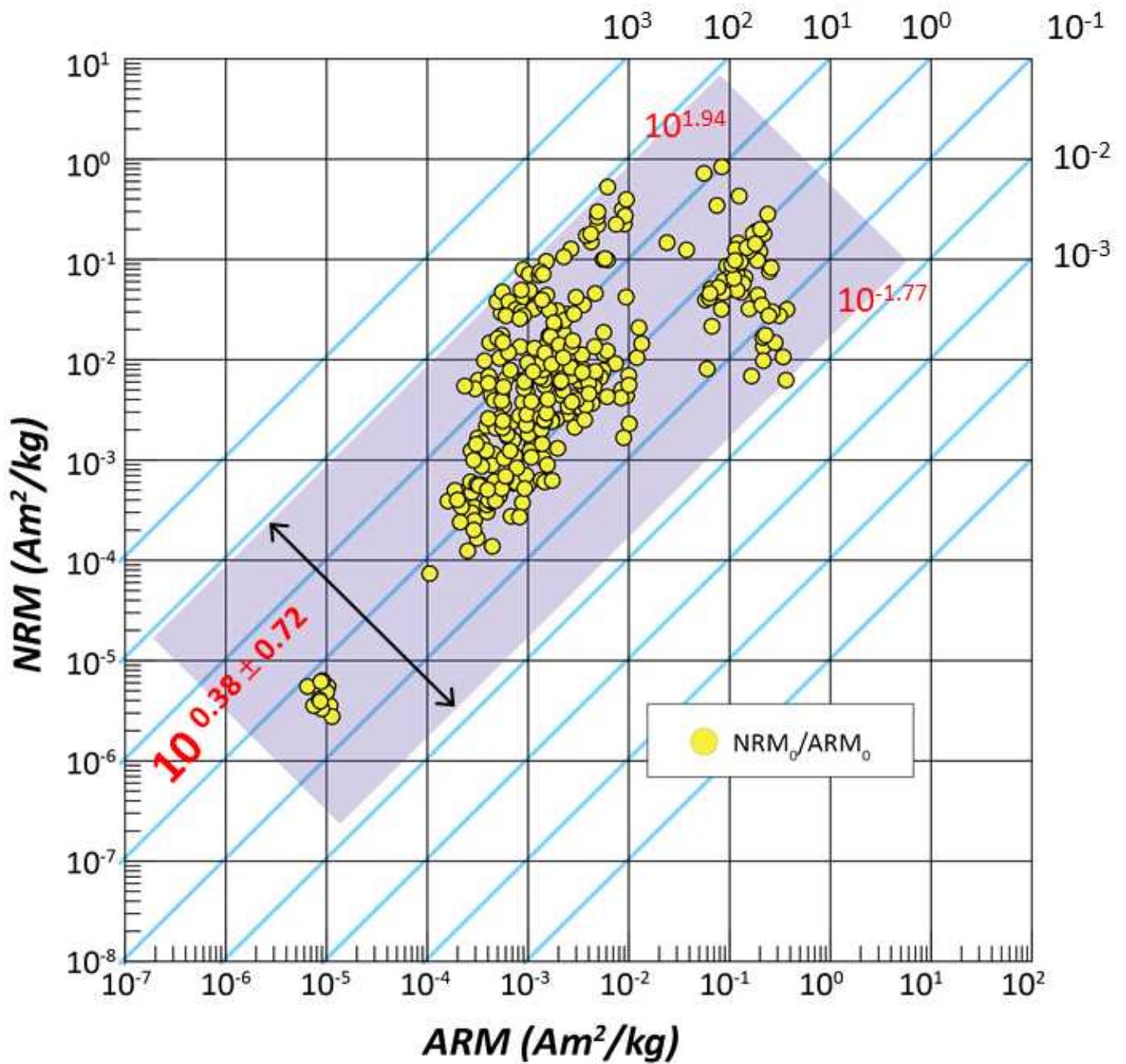


그림 10. 자연잔류자화 대비 비자기이력잔류자화 비를 이용한 자화강도 결정

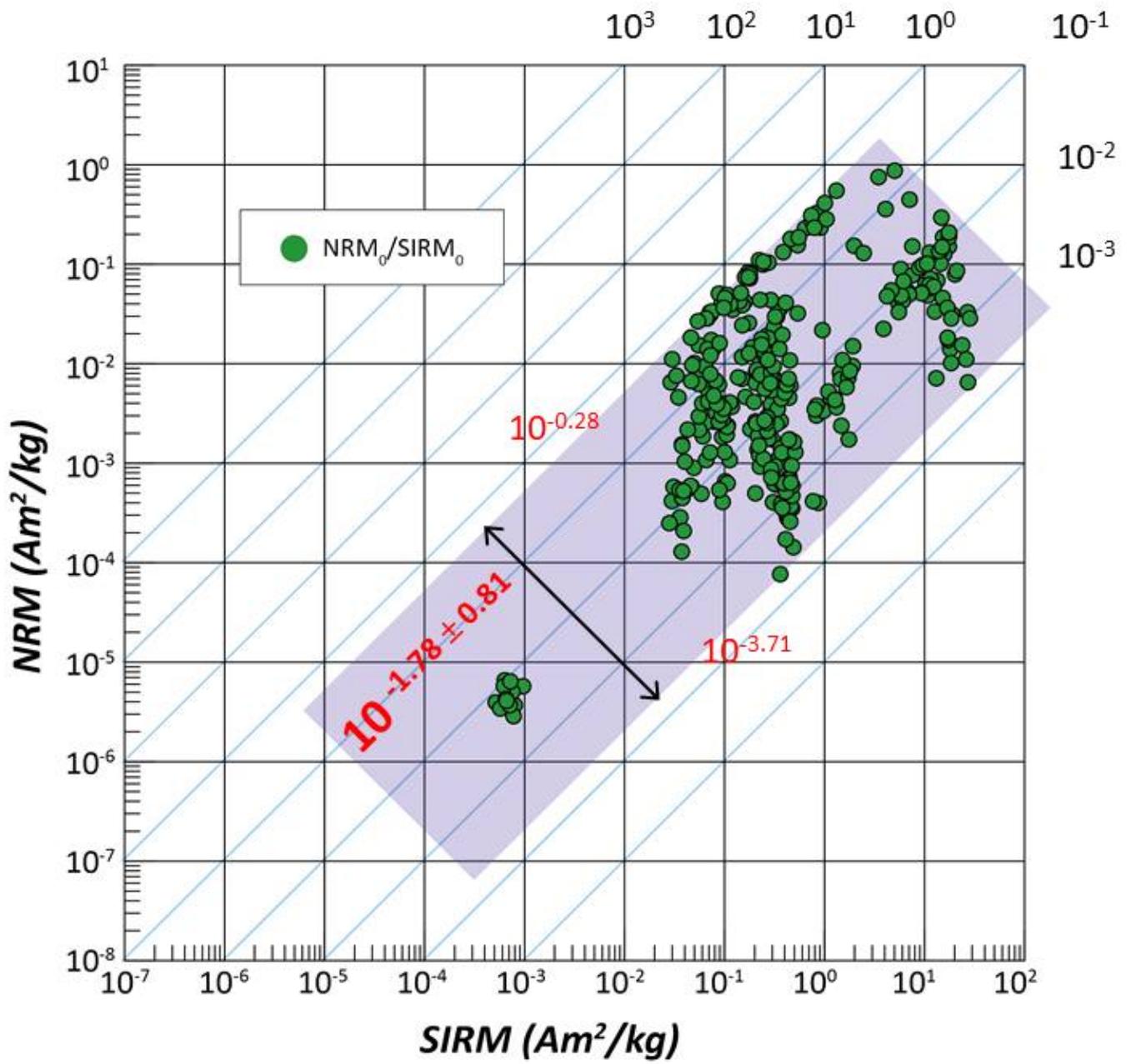


그림 11. 자연잔류자화 대비 포화등온잔류자화 비를 이용한 자화강도 결정

## 다-2. 실온(300 K) 자기이력곡선 실험

자기장의 세기를 -1 Tesla 부터 +1 Tesla까지 증가시킨 후, 다시 -1 Tesla로 감소시키며, 자기이력곡선을 측정하였다 (그림 12). 잔류자화를 유지하는 자성 광물의 입자 크기가 작을수록 자기이력곡선은 불일치하며 Hysteresis를 보여준다. 자기이력곡선은 일반적으로 사용되는 공개소프트웨어인 hystcrunch

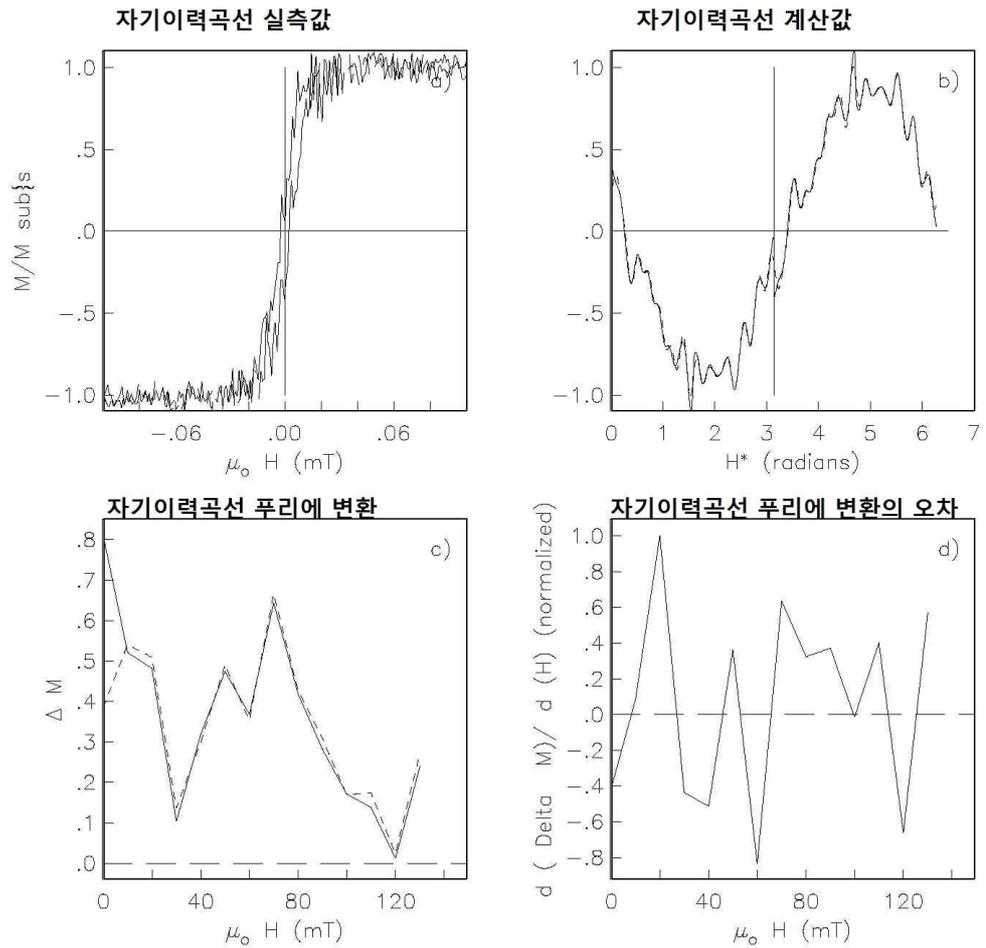


그림 12. 실온 자기이력곡선 (Room-temperature magnetic hysteresis loops)

(<https://earthref.org/PmagPy/cookbook/>)를 사용하여 분석하였다. 잔류자화비와 잔류자화 변절도를 기준으로 판단하면 0.1 mm 내외의 크기를 갖는 Fe-Ni합금이 잔류자화 기록광물이다 (표1).

구분	결과
포화잔류자화	$0.372 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$
포화자화	$1.930 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$
잔류자화비	0.193
잔류자화변절도	29.5 mT

표 1. 실온 자기이력곡선 실험 결과

### 다-3. 저온(100 K) 자기이력곡선 실험

실온인 300 K에서 측정된 자료에 비해 잔류자화, 포화자화, 잔류자화비, 잔류자화변절도가 모두 증가하였다(그림 13). 100 K에서 측정된 잔류자화비와 잔류자화 변절도가 실온에서 측정된 자료에 비해 증가하였다. 기존에 보고된 0.1 mm 내외의 크기를 갖는 Fe-Ni합금의 잔류자화 기록과 대동소이하다(표 2).

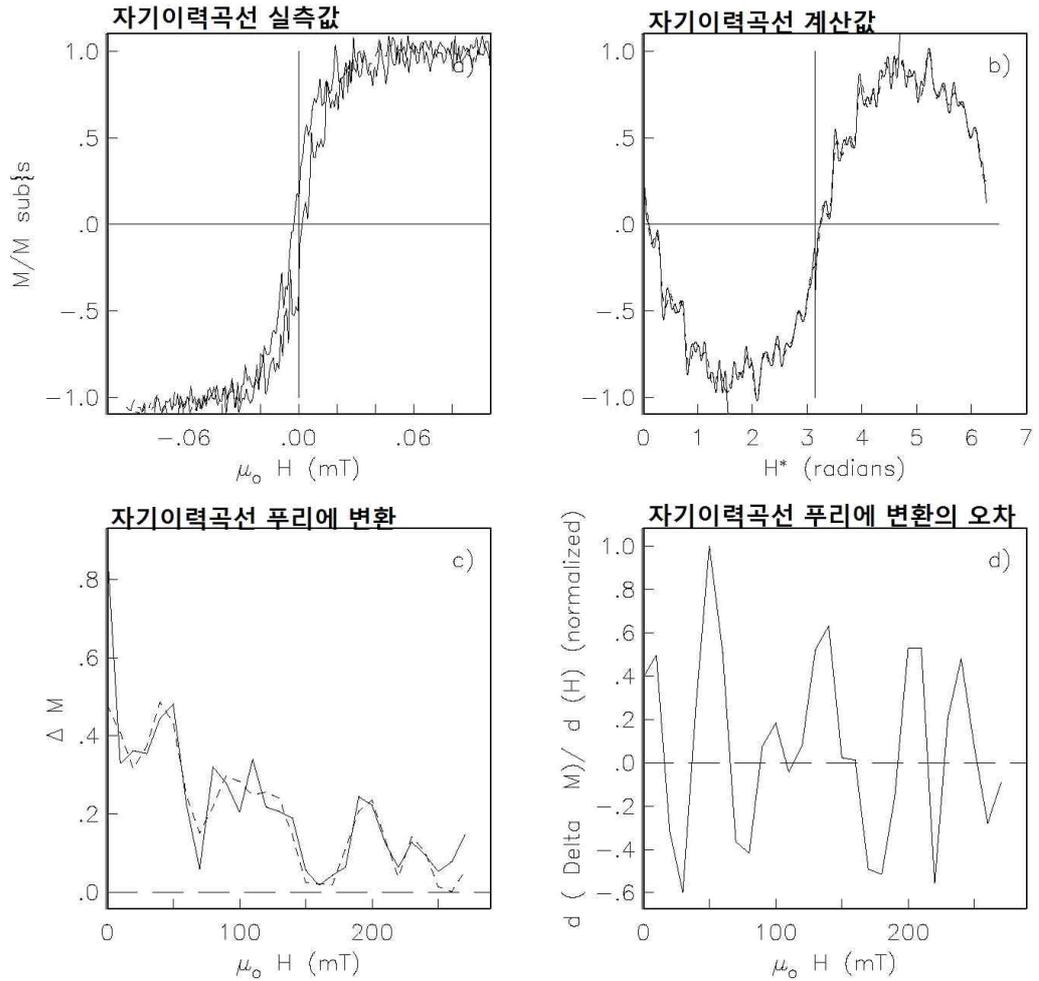


그림 13. 저온 자기이력곡선 (Low-temperature magnetic hysteresis loops)

구분	결과
포화잔류자화	$0.564 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$
포화자화	$2.350 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$
잔류자화비	0.240
잔류자화변절도	61.5 mT

표 2. 저온 자기이력곡선 실험 결과

#### 다-4. 운석의 자성광물 판독

고온자기기록 실험을 통해 온도 증가에 따른 잔류자화의 변화를 측정된 자료가 표 3에 정리되어 있다. 분석에 사용된 시료는 H3 Korra Korrabes-01이며 NRM은  $2.36 \times 10^{-6} \text{ Am}^2$  이다.

T (°C)	M ( $10^{-6} \text{ Am}^2$ )	D (°)	I (°)	M <sub>x</sub> ( $10^{-9} \text{ Am}^2$ )	M <sub>y</sub> ( $10^{-9} \text{ Am}^2$ )	M <sub>z</sub> ( $10^{-9} \text{ Am}^2$ )
20	2.36	110.7	-64.6	-360.73	951.09	-2133.28
100	2.31	106.7	-64.0	-292.15	973.07	-2077.98
150	2.37	109.4	-66.2	-319.23	904.67	-2173.91
200	2.35	112.7	-64.2	-398.17	949.20	-2120.09
250	2.50	115.4	-64.7	-460.42	968.68	-2260.24
300	2.47	112.4	-64.4	-409.13	991.27	-2231.28
350	2.55	117.9	-62.0	-564.72	1062.15	-2254.40
400	2.55	111.0	-63.7	-409.12	1061.54	-2292.56
450	2.37	108.3	-64.2	-325.57	983.73	-2135.41
500	2.34	102.8	-63.8	-231.07	1010.08	-2099.74
540	0.58	89.8	-10.4	1.73	573.97	-104.45
580	1.67	55.5	-33.3	792.93	1156.28	-920.59

표 3. 온도 증가에 따른 잔류자화의 변화를 추적한 고온자기기록 실험 자료

극지연구소

Korra Korrabes-01의 자연 잔류자화는 섭씨 500°C이하에서 거의 일정하게 유지된다(그림 14). 그러나 대략 70%의 자기 기록이 540°C의 가열에서 상실된다(그림 14). 이후 580°C의 가열에서는 오히려 잔류자화의 값이 증가하여, 광물의 일부가 변질되었다고 해석된다. Korra Korrabes의 경우 잔류자화는 540°C 이하에서 안정하다고 판단된다.

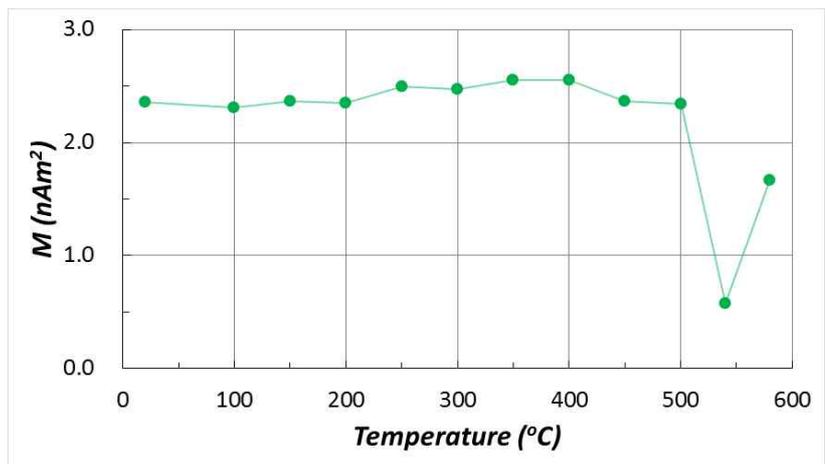


그림 14. 고온자기기록 변화 곡선

전자현미경 관찰을 통해 10 마이크로미터 이상의 크기를 갖는 Troilite가 다수 관찰된다(그림 15). Troilite는 주로 규산염 광물인 감람석, 휘석, 사장석의 광물경계부에 존재하며 대부분 반자형으로 관찰된다(그림 15).

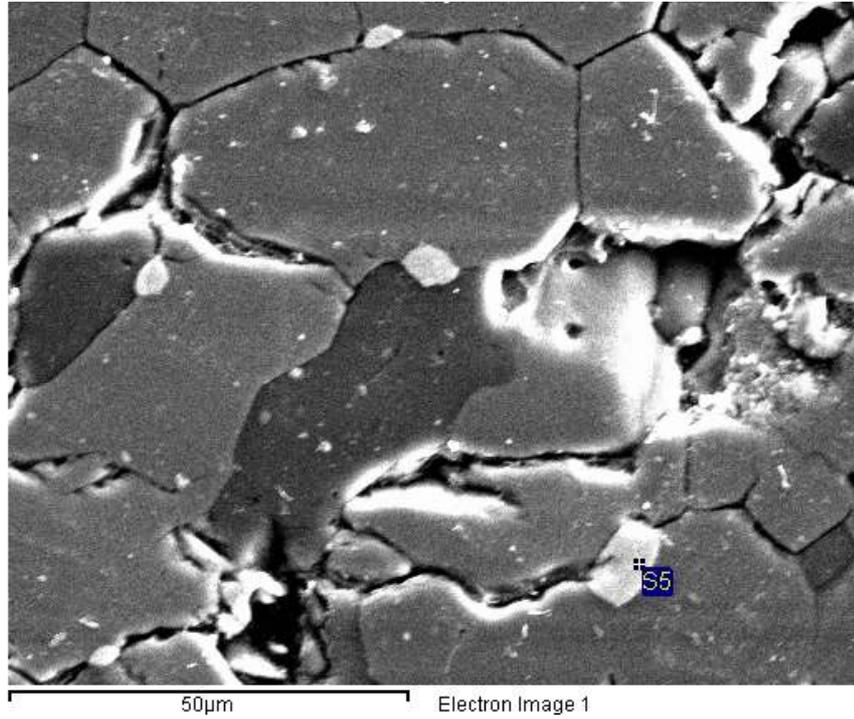


그림 15. Troilite는 규산염 광물의 경계부에 존재

철황화물은 철/황의 비율이 50% 이하인 특수한 경우에 광물의 자성에 기여한다. 반면 대부분의 철황화물은 상자성광물(Paramagnetic mineral)로 운석의 잔류자화에 기여하지 못한다. Troilite의 성분분석을 위해 원소함량을 무게비(Weight %)와 원소비(Atomic %)로 환산하였다(표 4). 성분비로 판단한 Troilite는  $Fe_5S_4$  이며 철/황의 비율이 50%를 넘어 잔류자화에 기여하지 못하는 상자성광물로 판단된다(표 4).

Element	Weight %	Atomic %
S	29.57	43.80
Fe	66.09	56.20
Total	95.66	

표 4. Troilite의 성분 분석

전자현미경 관찰을 통해 10 마이크로미터 내외의 크기를 갖는 Fe-Ni 합금이 관찰된다(그림 16). Fe-Ni 합금은 규산염 광물인 감람석, 휘석, 사장석의 광물 내부에 내포물의 형태로 관찰된다(그림 16). 이는 Fe-Ni 이 규산염 광물과 거의 동시에 냉각되며 형성된 광물임을 지시한다.

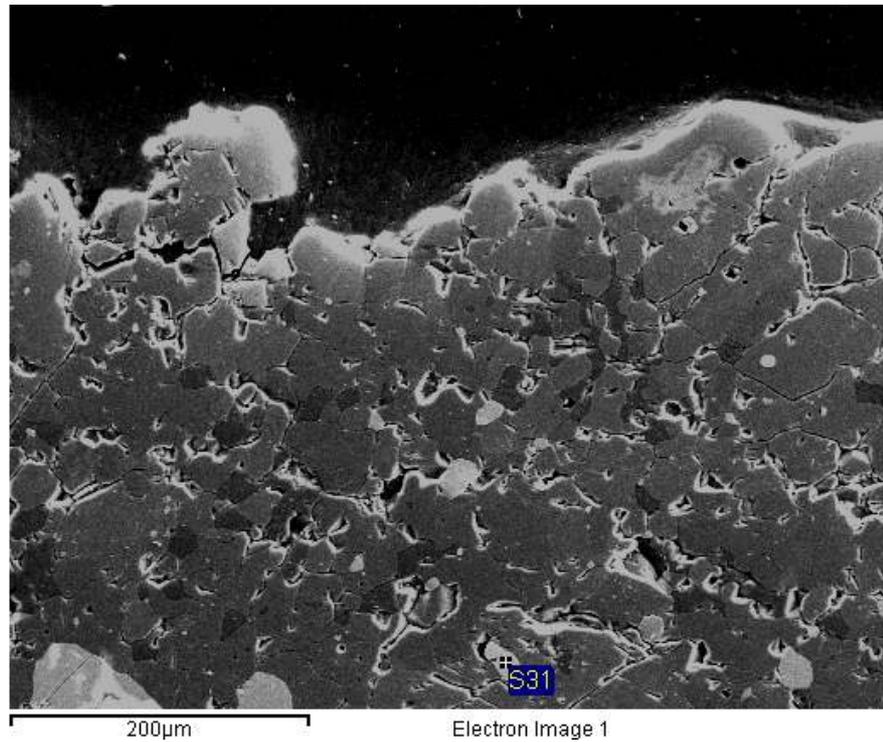


그림 16. Fe-Ni 합금은 규산염 광물 내부에 내포물의 형태로 존재

Fe-Ni 합금은 철/니켈의 비율이 50% 이상인 경우 자성광물이 된다. Fe-Ni의 성분분석을 위해 원소함량을 무게비(Weight %)와 원소비(Atomic %)로 환산하였다(표 5). 성분비로 판단한 Fe-Ni는  $Fe_{0.92}Co_{0.05}Co_{0.03}$ 로 강자성 광물인 Kamacite로 판단된다(표 5).

Element	Weight %	Atomic %
Fe	100.18	92.20
Co	5.36	4.67
Ni	3.57	3.12
Total	109.10	

표 5. Fe-Ni의 성분 분석

## 다-5. 자화안정도

운석이 함유하는 자연잔류자화에 대한 소자를 통해 얻어진 특성잔류자화의 안정도를 표6과 같이 구분하였다.

구분	통계적 조건	시편 수
Type A	$\alpha_{95} < 5^\circ$	27
Type B	$5^\circ < \alpha_{95} < 10^\circ$	38
Type C	$10^\circ < \alpha_{95} < 15^\circ$	40
Type D	$\alpha_{95} > 15^\circ$ (Unstable)	57
<b>Total</b>		<b>162</b>

표 6. 특성잔류자화의 자화안정도 구분

- Type A: 특성잔류자화의 방향성이 95% 구면통계(Fisher Statistics) 신뢰구간에서 5°이하로 유지되는 최우등급 자료이다.
- Type B: 특성잔류자화의 방향성이 95% 구면통계(Fisher Statistics) 신뢰구간에서 5-10°로 유지되는 우등급 자료이다.
- Type C: 특성잔류자화의 방향성이 95% 구면통계(Fisher Statistics) 신뢰구간에서 10-15°로 유지되는 준우등급 자료이다.
- Type D: 특성잔류자화의 방향성이 95% 구면통계(Fisher Statistics) 신뢰구간에서 15°를 벗어나 통계학적으로 특성자화의 방향성이 무의미한 자료이다.

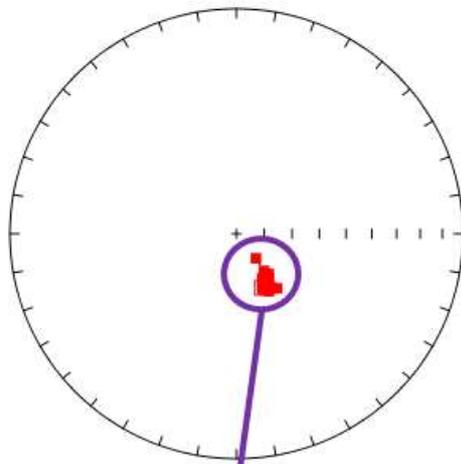
Class	Group	A	B	C	D	Total
콘드라이트	H	15	8	11	28	62
	L	8	21	20	25	74
	LL	1	0	2	0	3
아콘드라이트	Eucrite	1	7	4	1	13
	Undefined	2	2	3	3	10
<b>Total</b>						<b>162</b>

표 7. 특성잔류자화의 자화안정도 구분

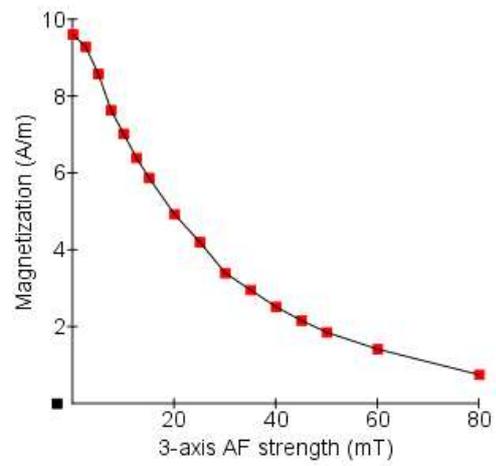
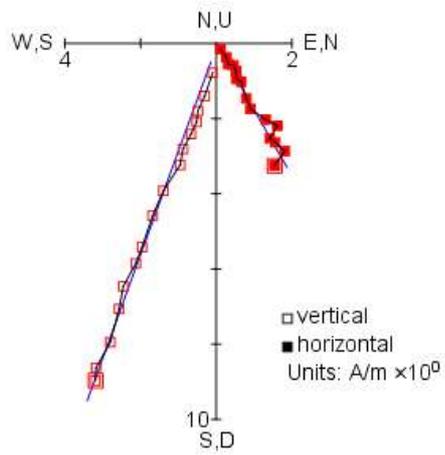
자화안정도 결정에 사용한 162개 운석 시편의 자연잔류자화의 소자 결과를 등면적투-영도, 직교좌표도, 자화감쇠곡선의 형태로 정리하였다 (22쪽-183쪽).

Buzzard Coulee - 01

Type A

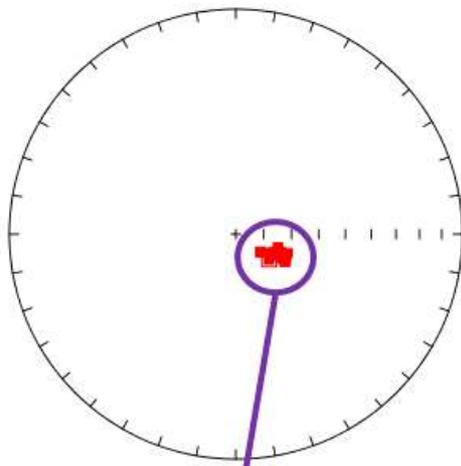


$D = 150.45^\circ$   
 $I = 67.37^\circ$   
 $\alpha_{95} = 1.92^\circ$

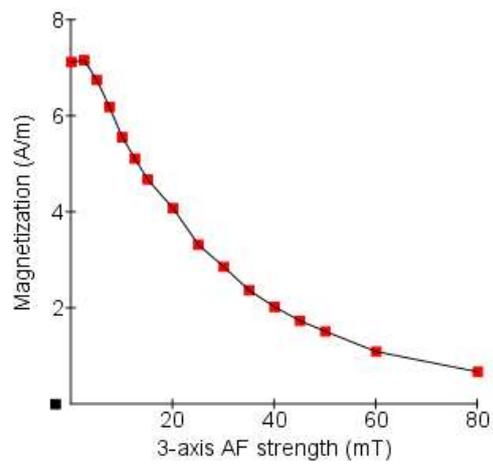
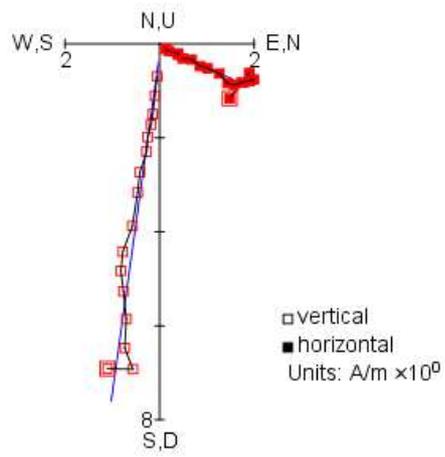


Buzzard Coulee - 02

Type A

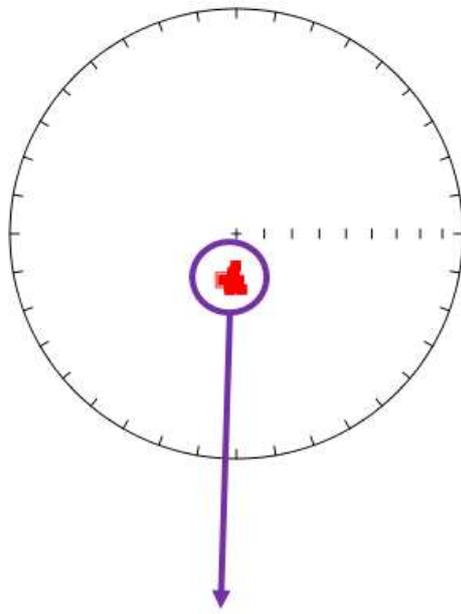


$D = 115.53^\circ$   
 $I = 70.22^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.82^\circ$

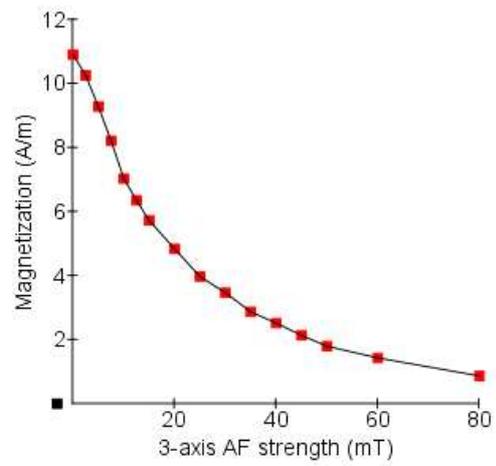
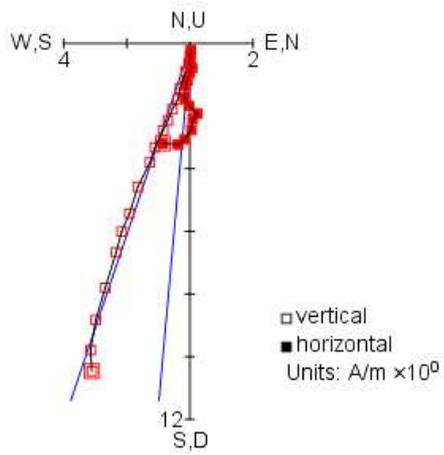


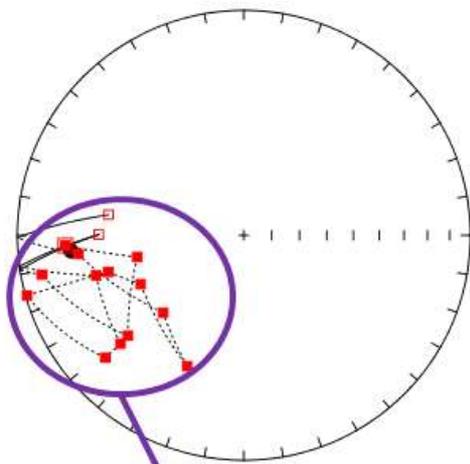
Buzzard Coulee - 03

Type A

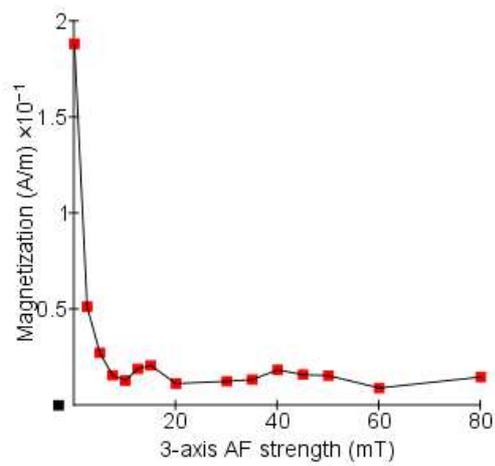
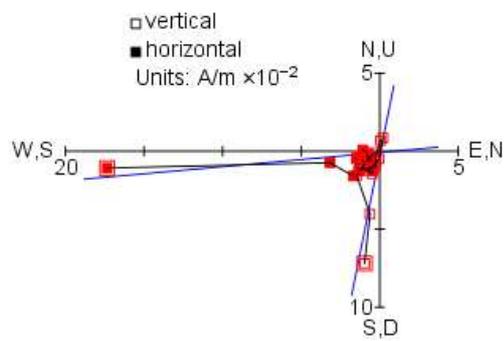


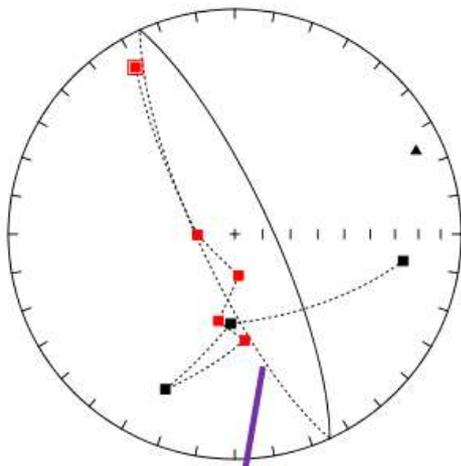
$D = 185.1^\circ$   
 $I = 71.39^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.34^\circ$



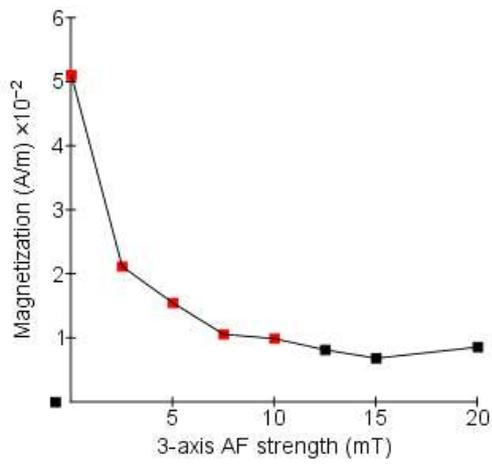
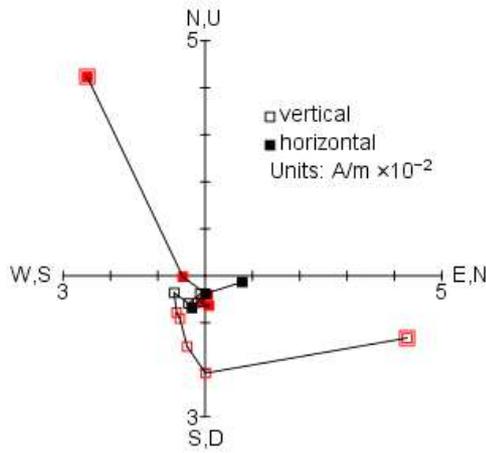


$D = 264.81^\circ$   
 $I = 24.36^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.67^\circ$



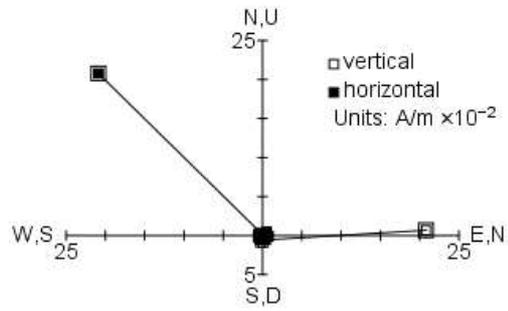
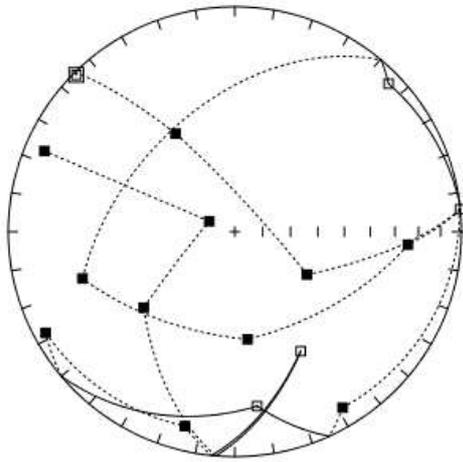


$D = 65.23^\circ$   
 $I = 12.92^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.4^\circ$

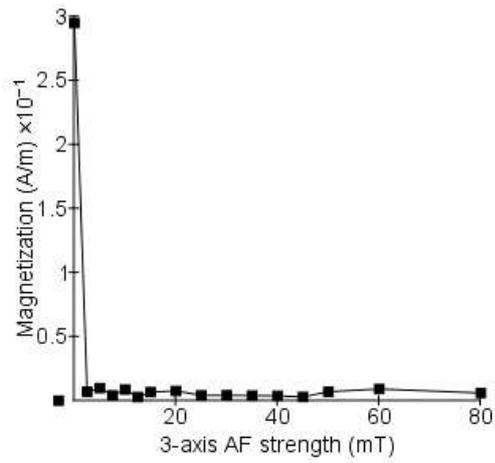


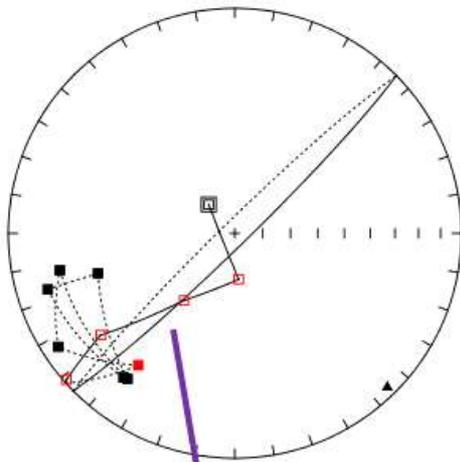
EET 14016 - 03

Type D

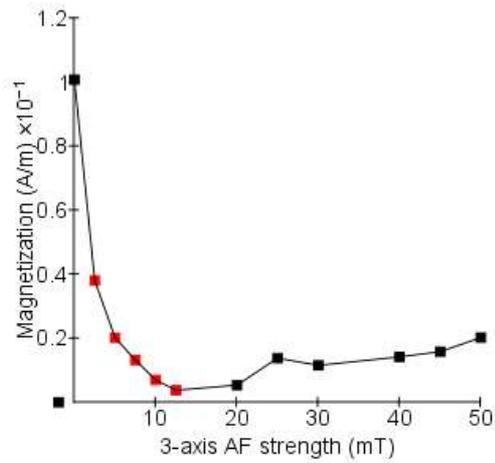
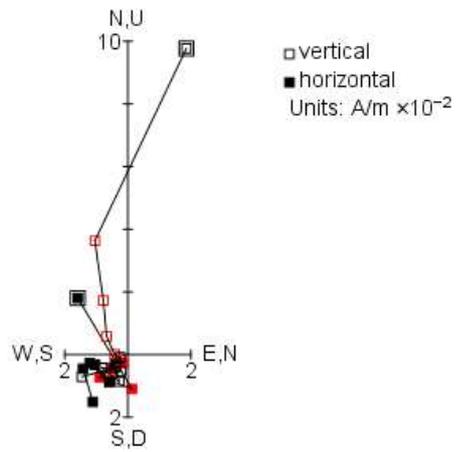


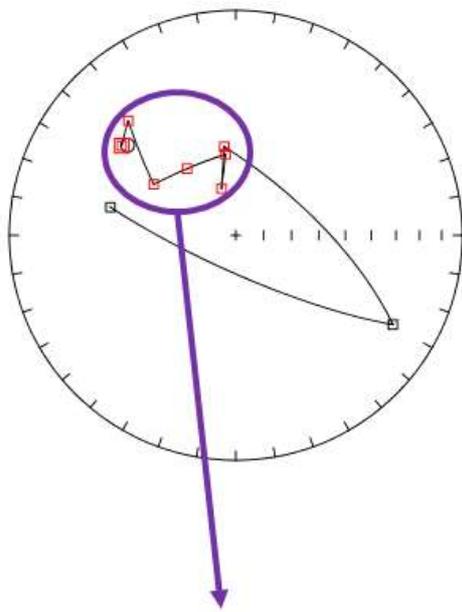
Unstable



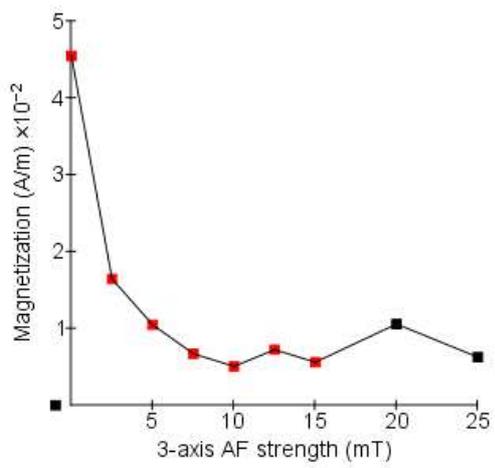
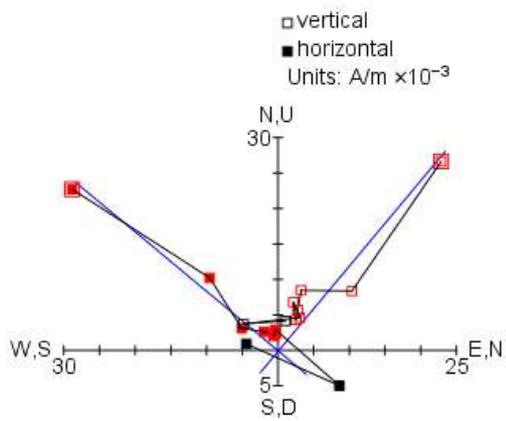


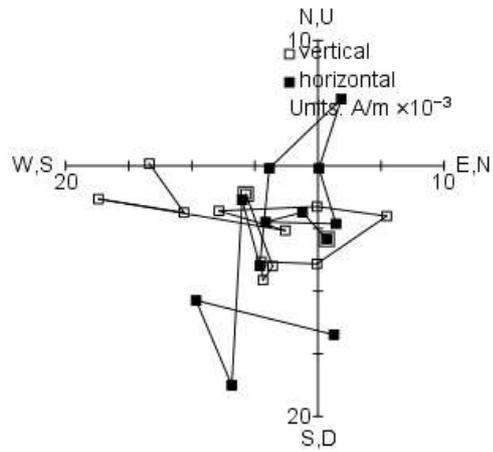
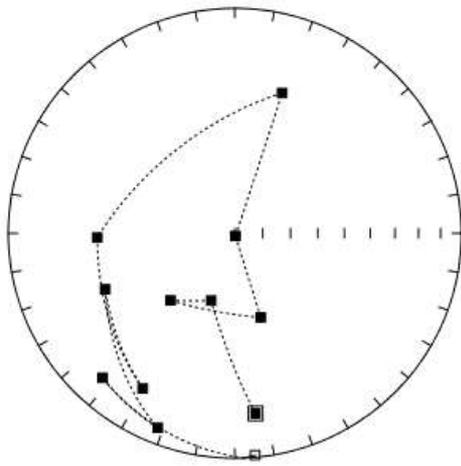
$D = 135.48^\circ$   
 $I = 4.49^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.83^\circ$



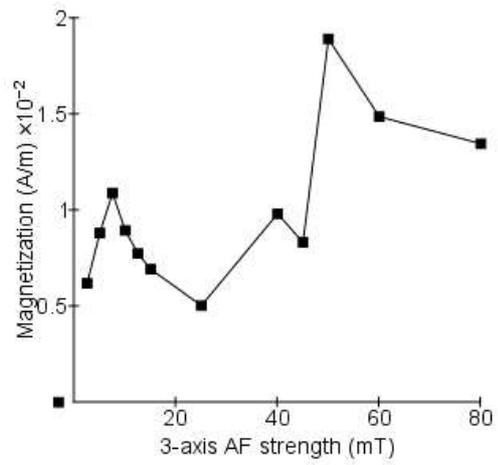


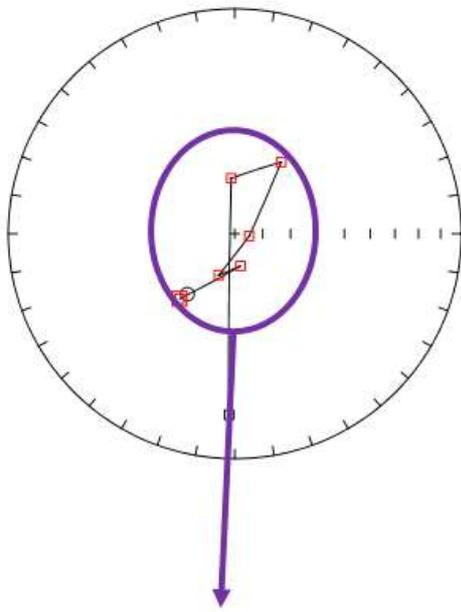
$D = 309.95^\circ$   
 $I = -37.73^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.14^\circ$



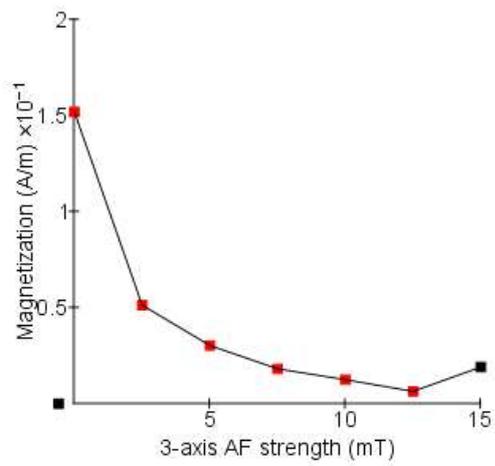
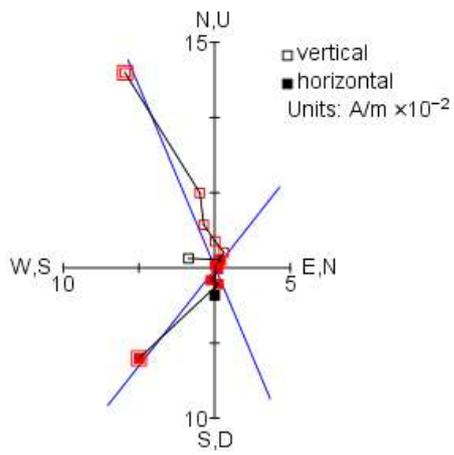


Unstable



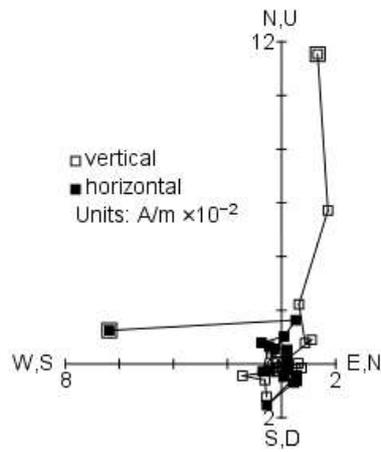
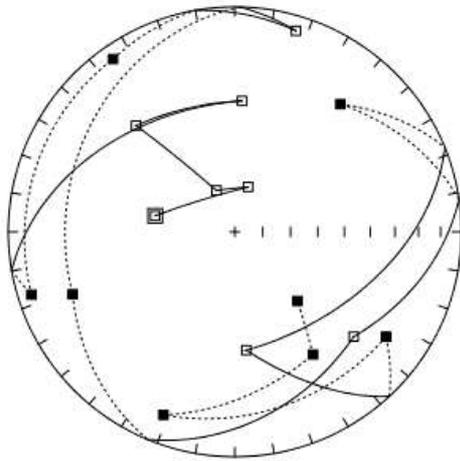


$D = 218^\circ$   
 $I = -62.12^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.27^\circ$

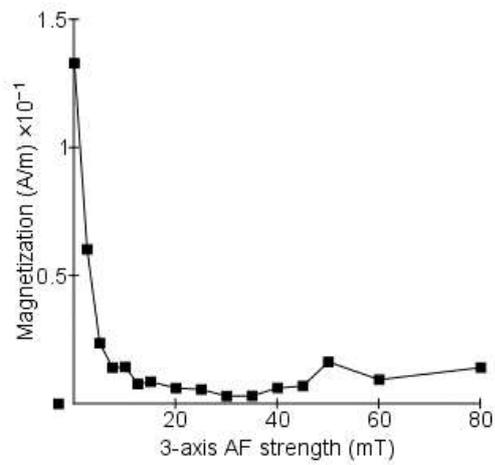


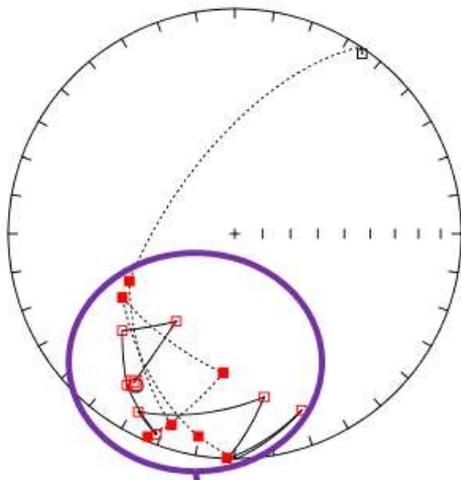
EET 14031 - 02

Type D

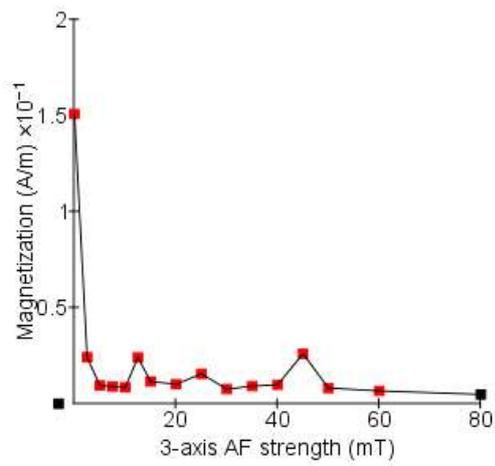
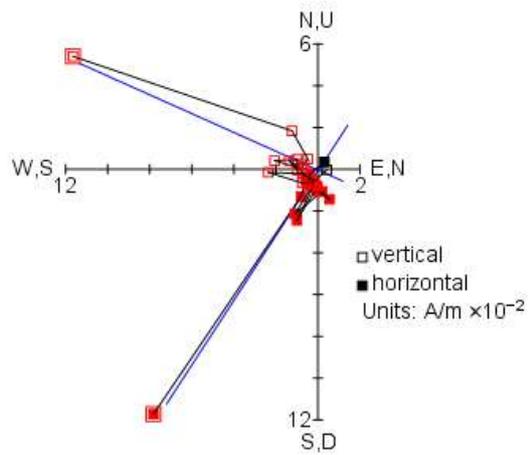


Unstable



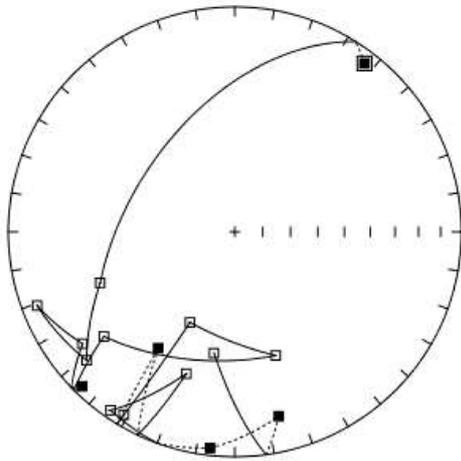


$D = 212.85^\circ$   
 $I = -20.72^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.09^\circ$

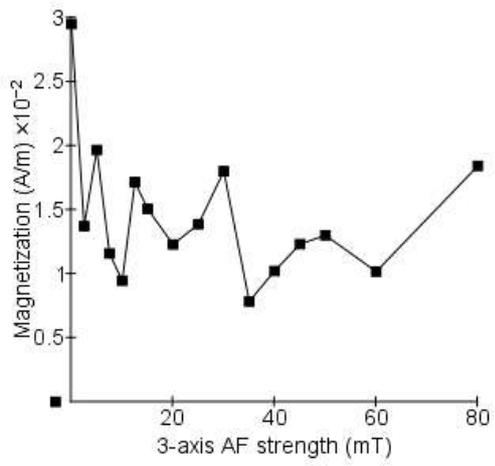
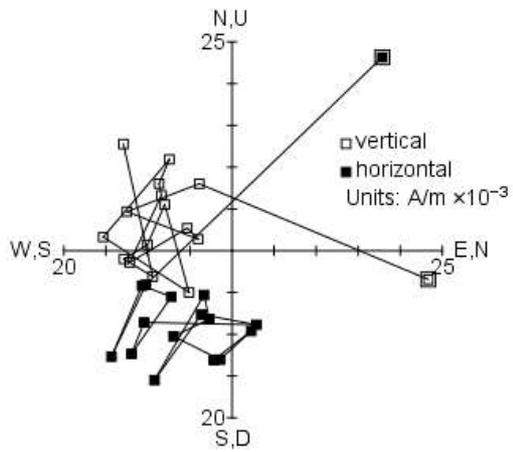


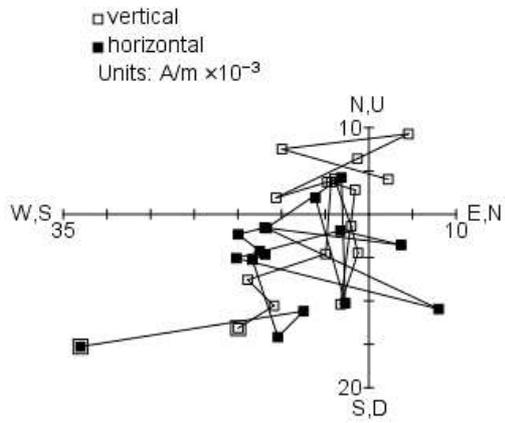
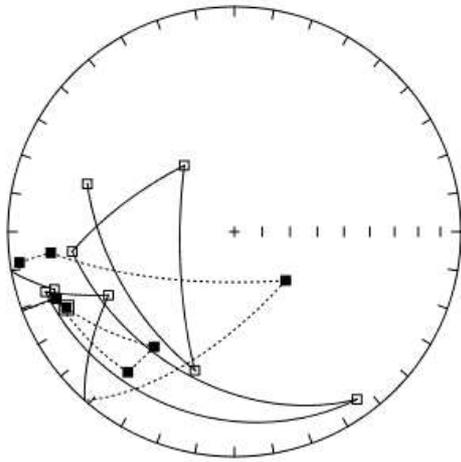
EET 14036 - 01

Type D

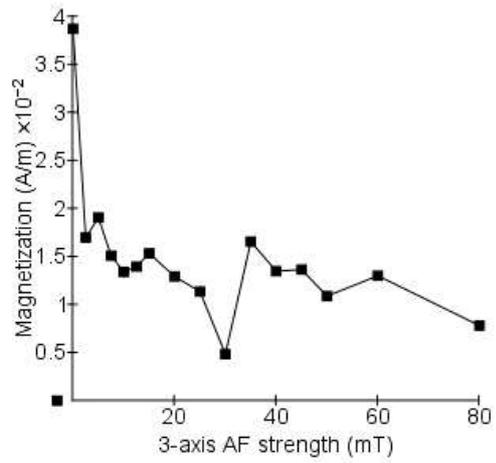


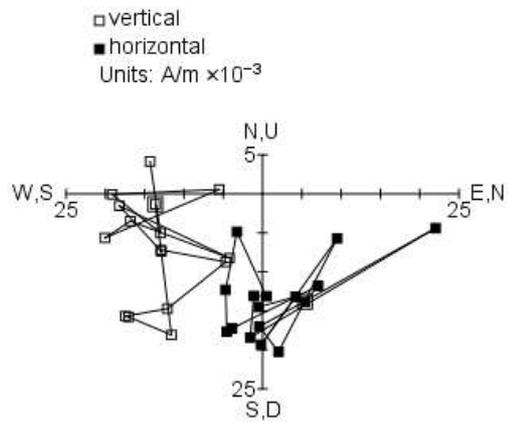
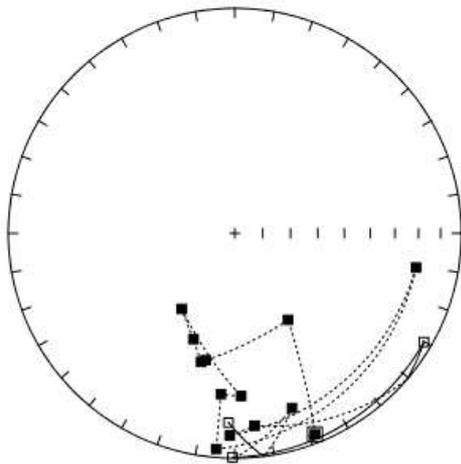
Unstable



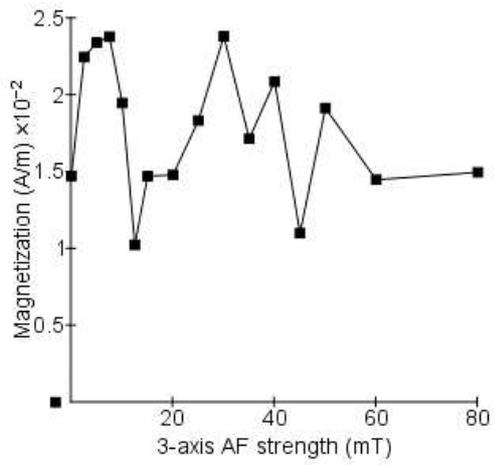


Unstable



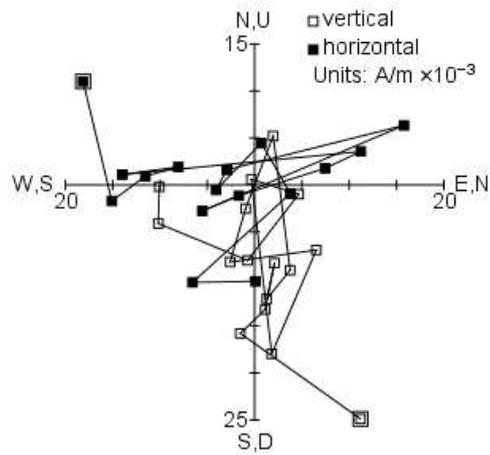
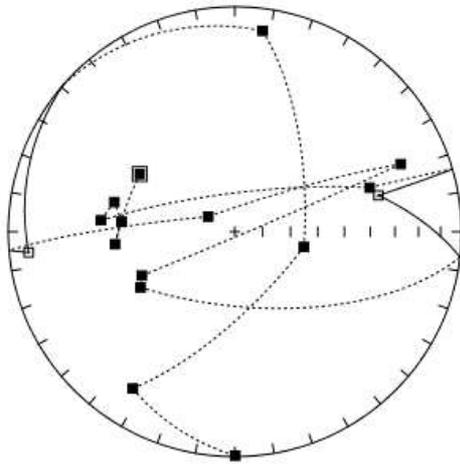


Unstable

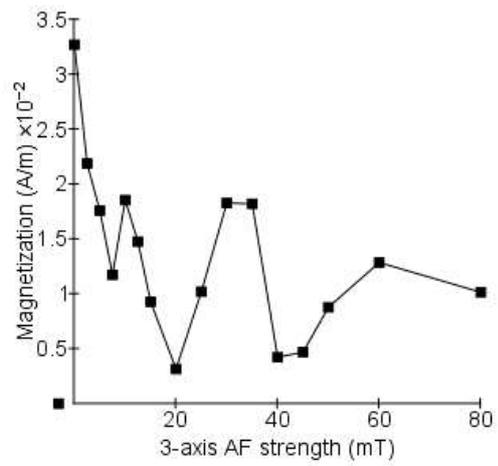


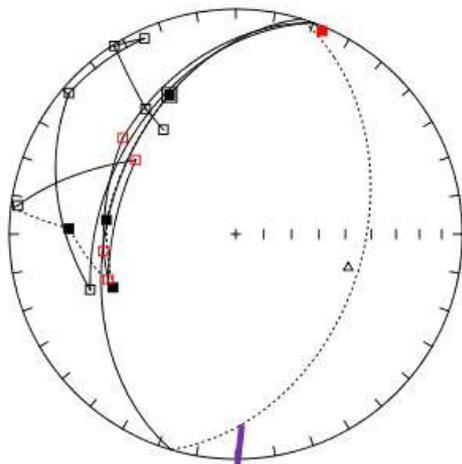
EET 14037 - 01

Type D

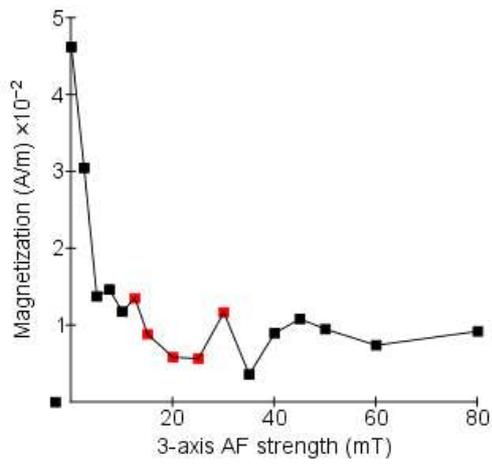
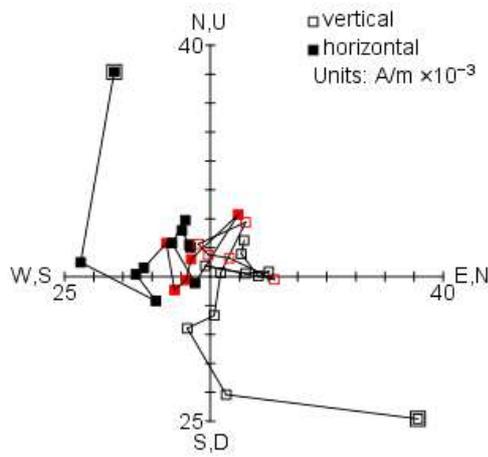


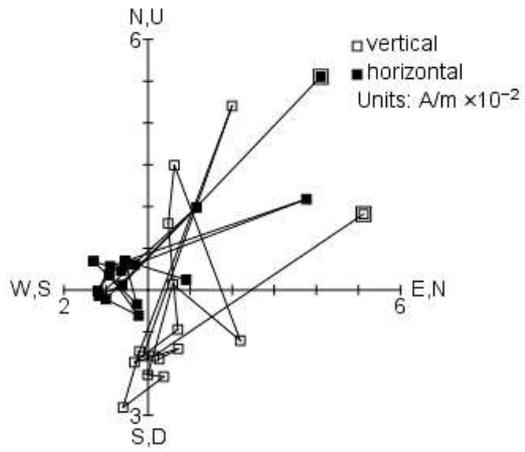
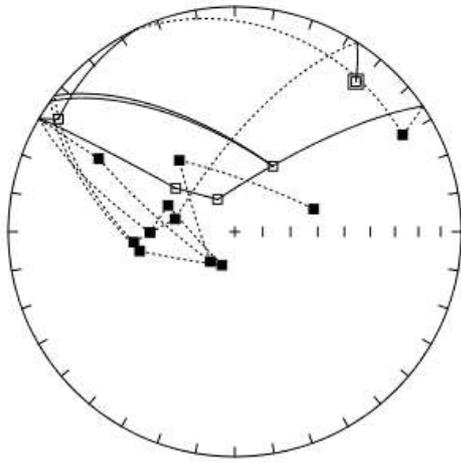
Unstable



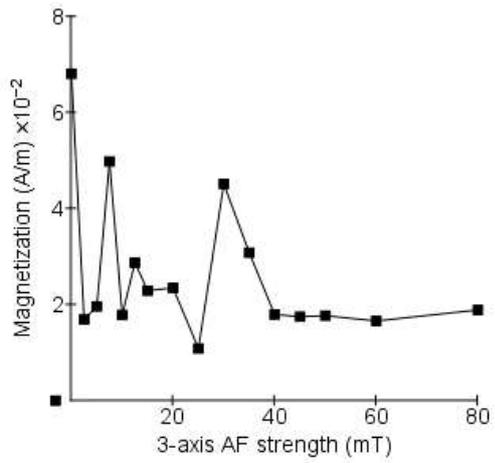


$D = 106.68^\circ$   
 $I = -47.03^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.19^\circ$



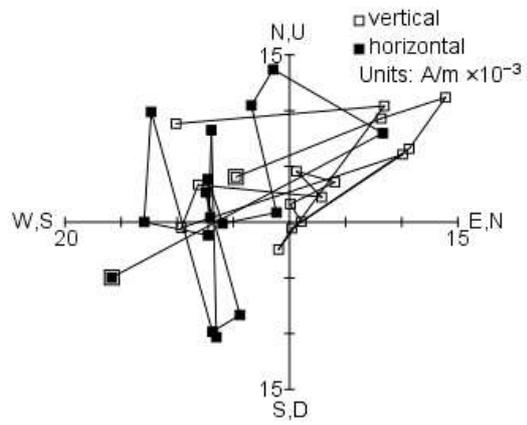
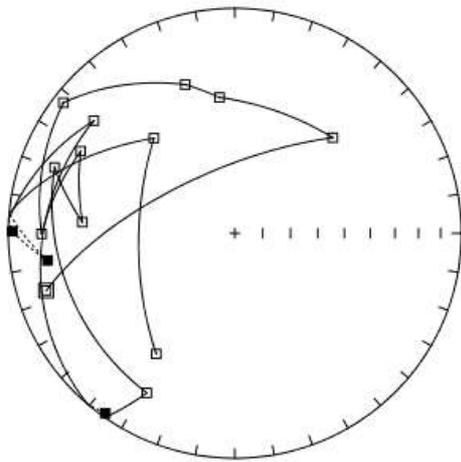


Unstable

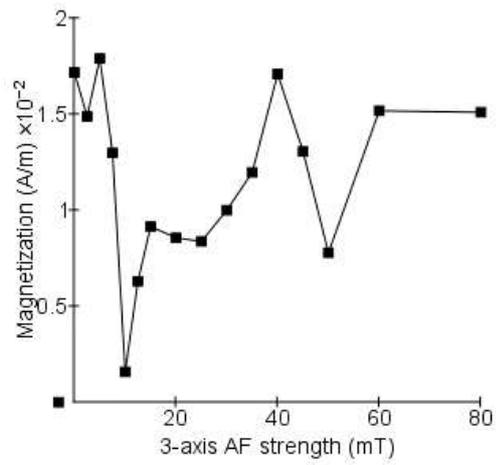


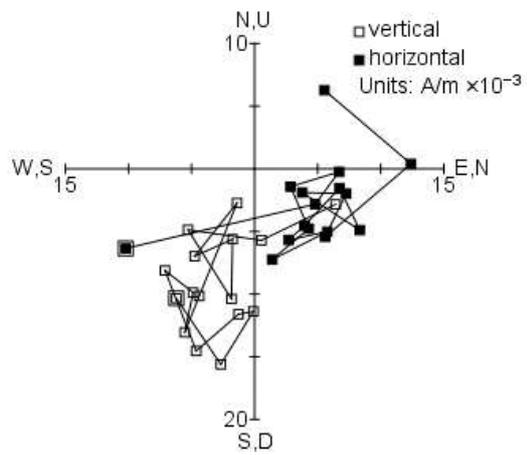
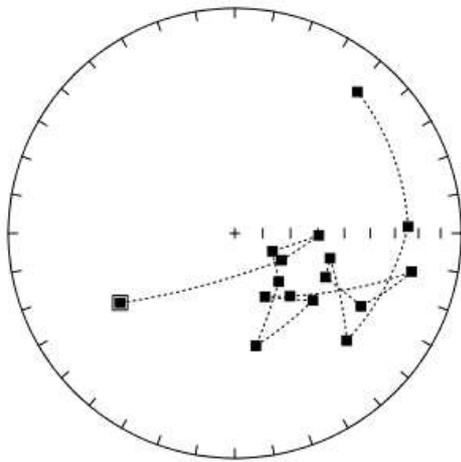
EET 14037 - 04

Type D

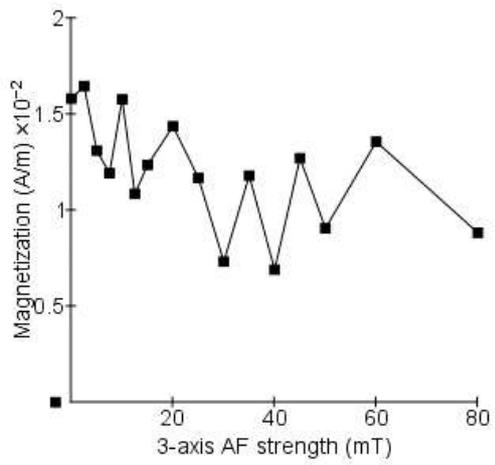


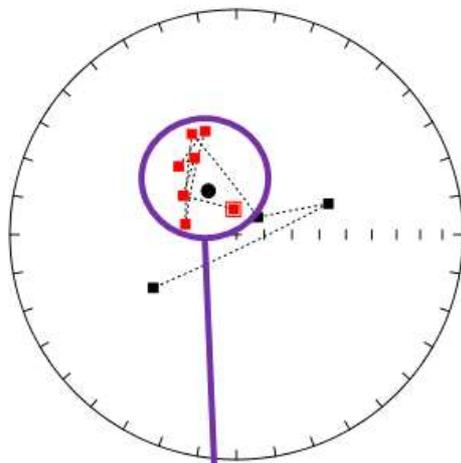
Unstable



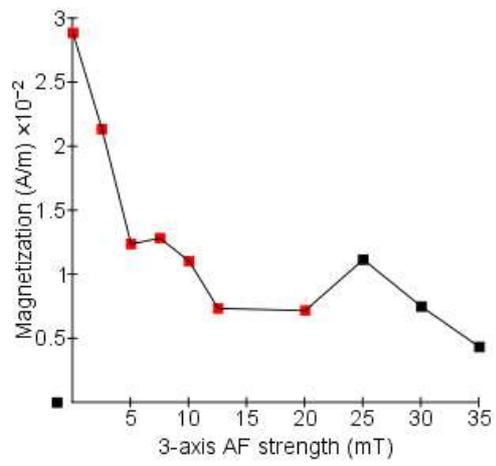
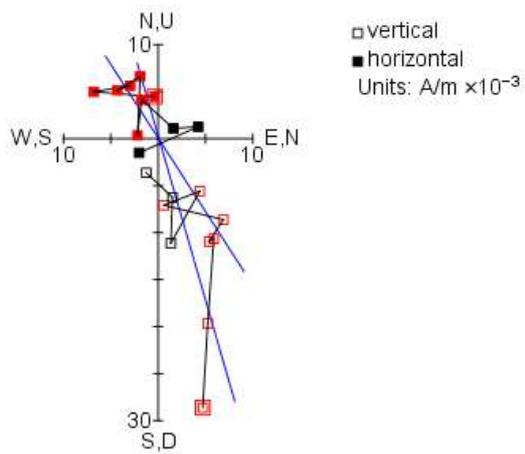


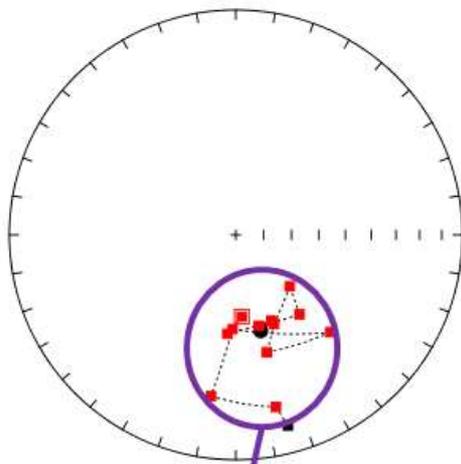
Unstable



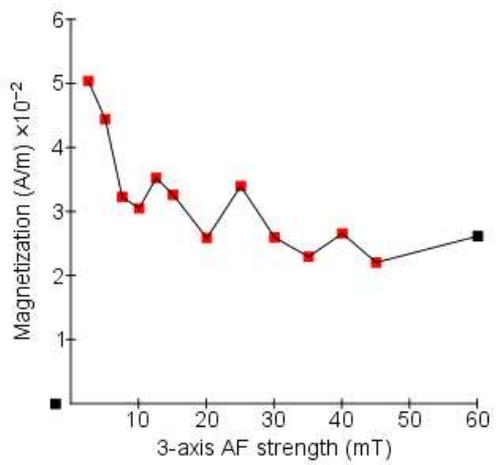
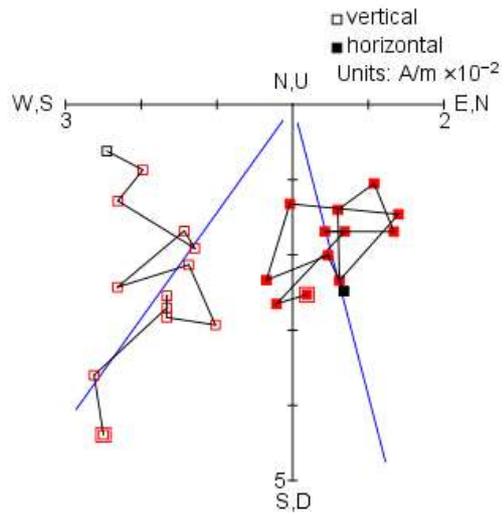


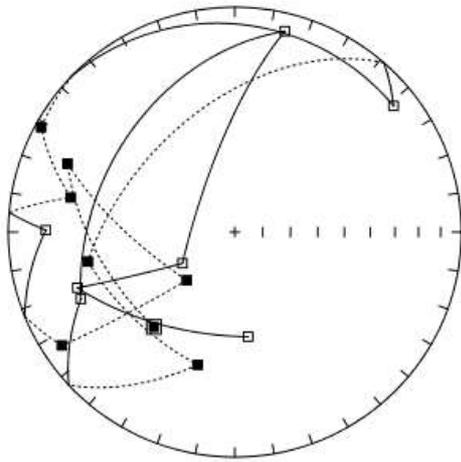
$D = 327.43^\circ$   
 $I = 71.23^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.7^\circ$



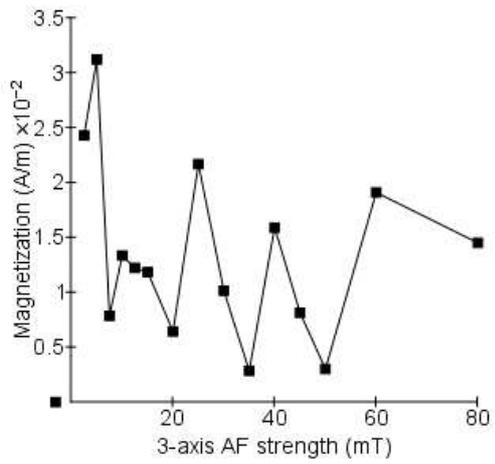
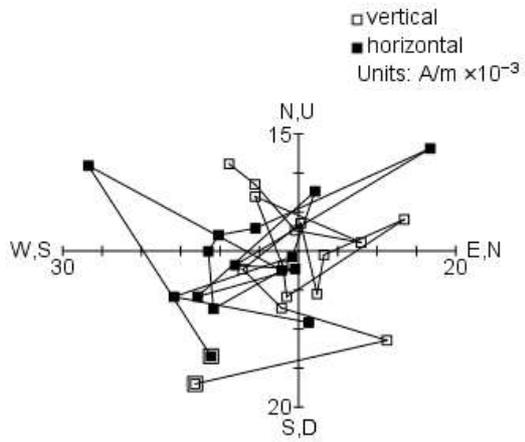


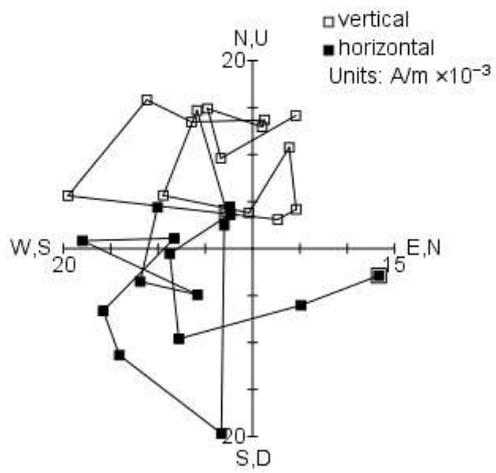
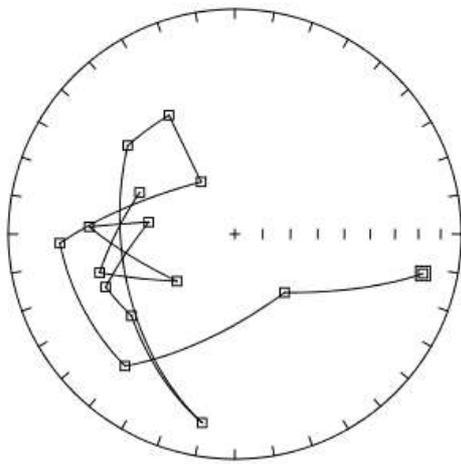
$D = 165.55^\circ$   
 $I = 53.72^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.37^\circ$



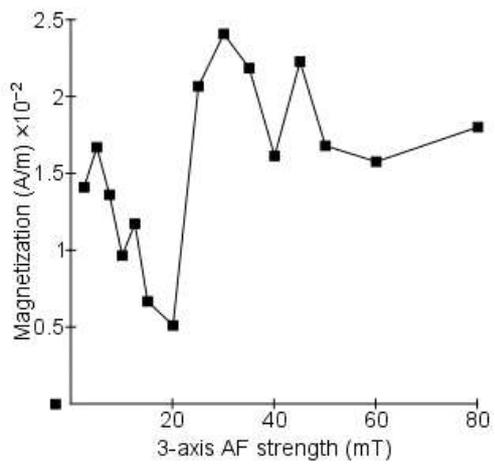


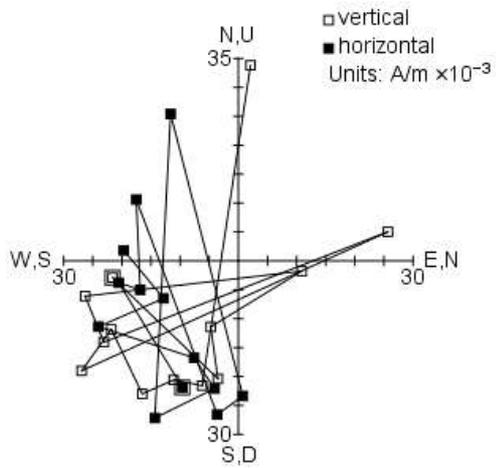
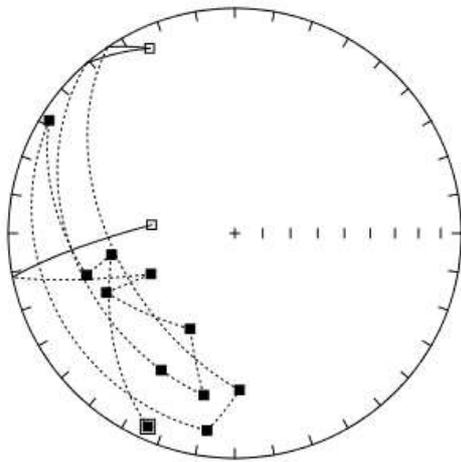
Unstable



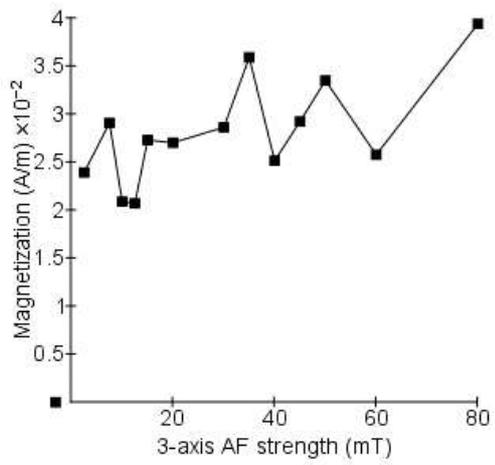


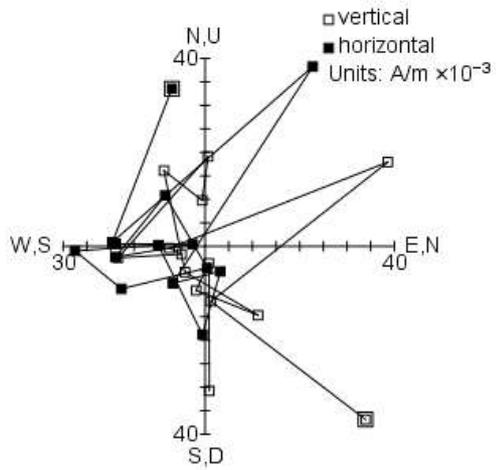
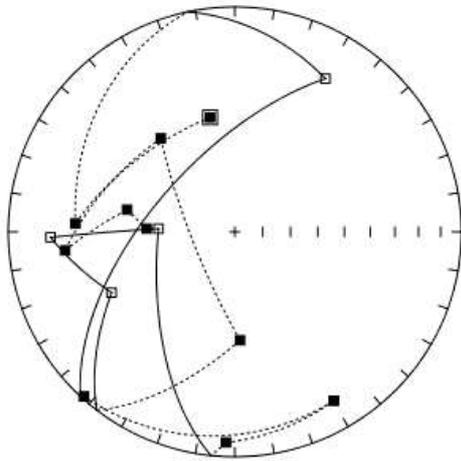
Unstable



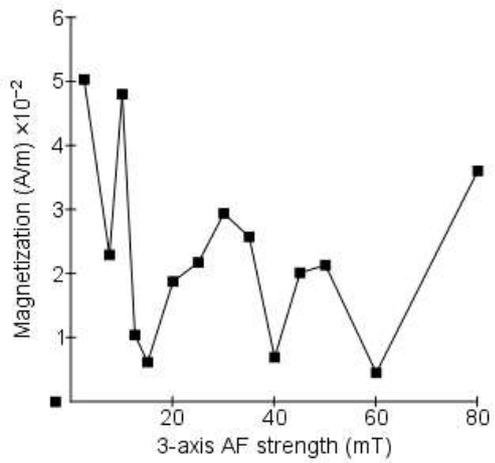


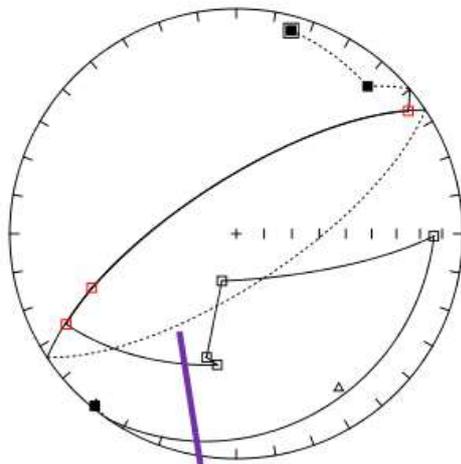
Unstable



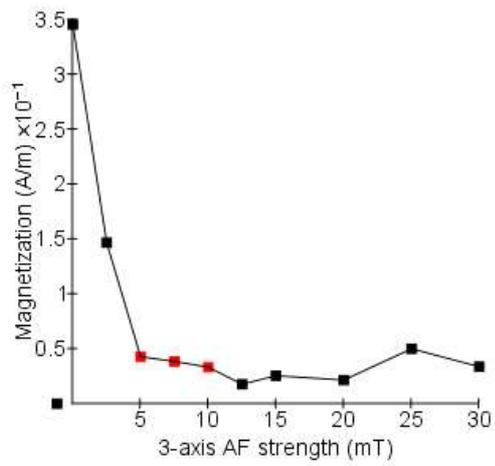
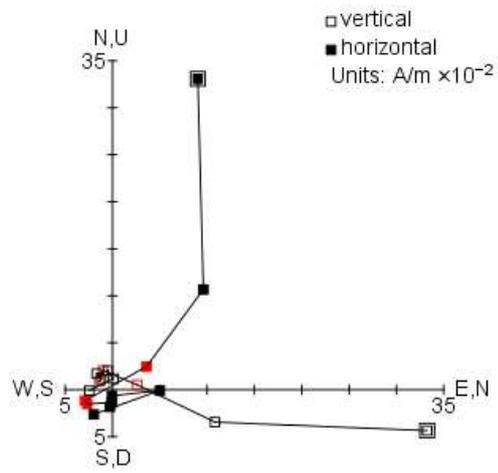


Unstable



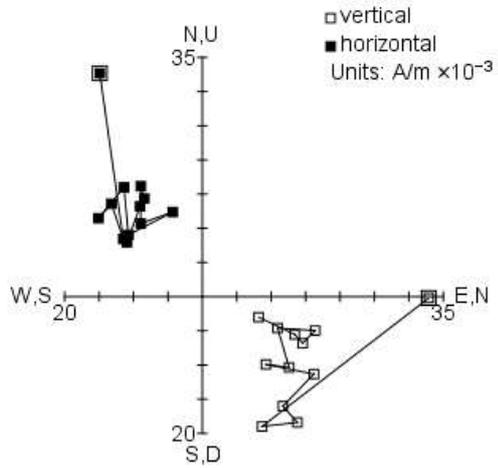
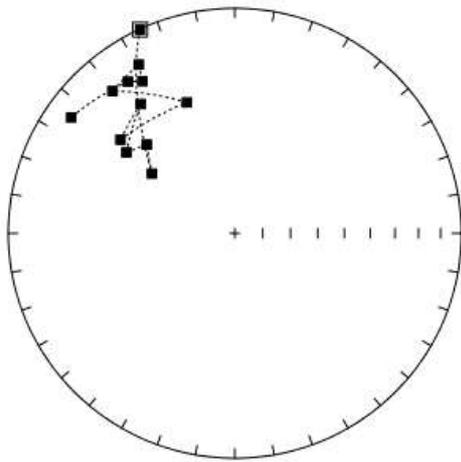


$D = 146.6^\circ$   
 $I = -18.86^\circ$   
 $\alpha_{95} = 0.91^\circ$

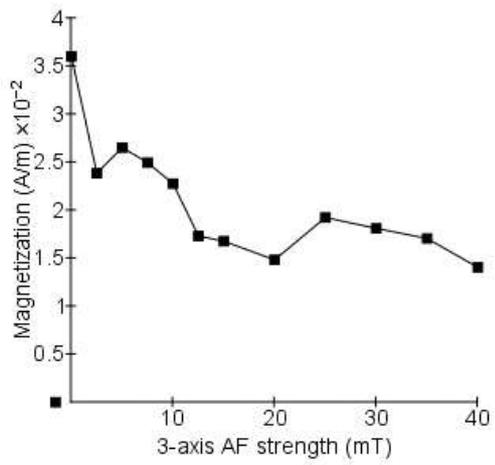


EET 14045 - 01

Type D

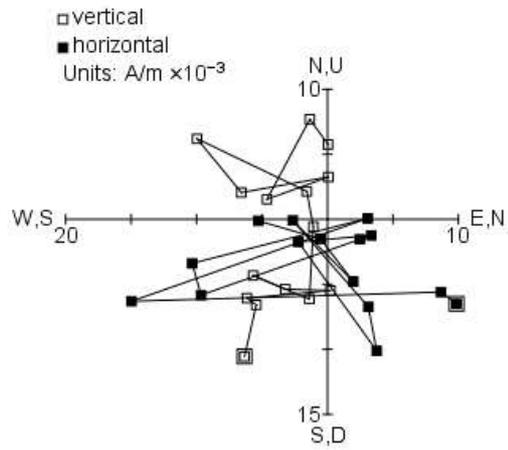
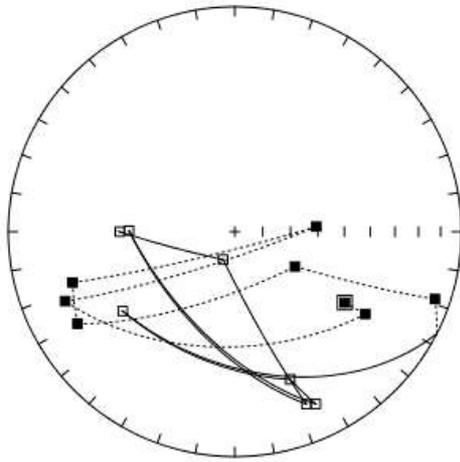


Unstable

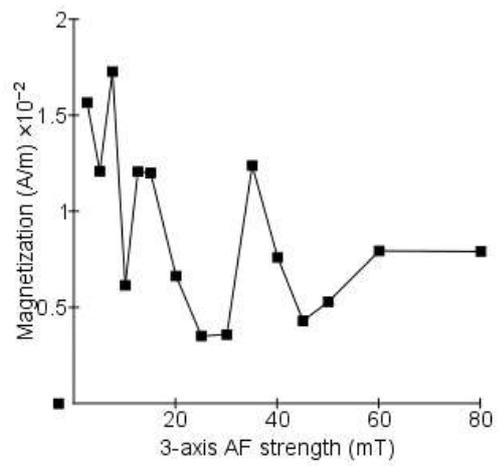


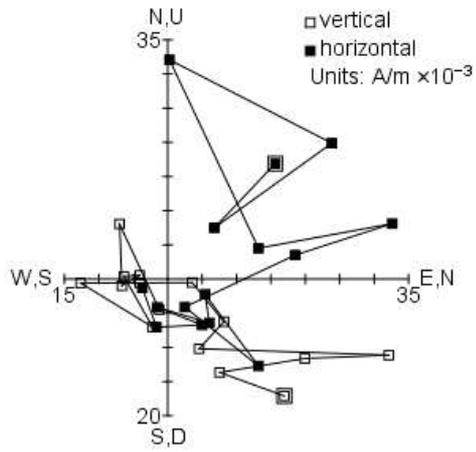
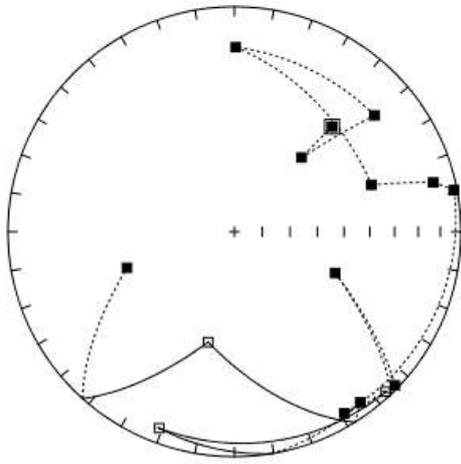
EET 14045 - 02

Type D

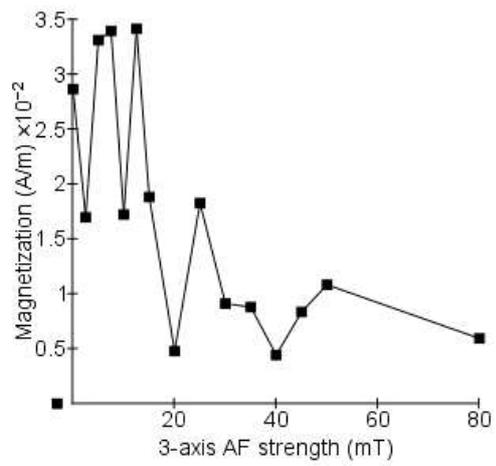


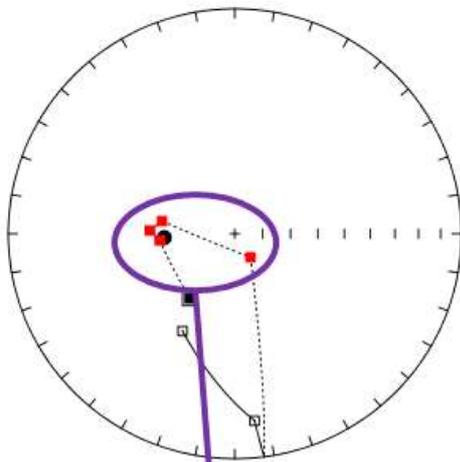
Unstable



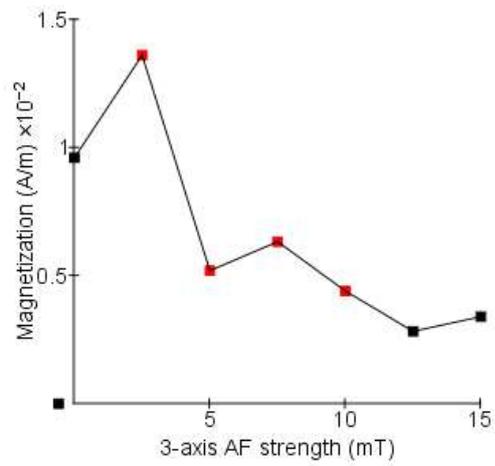
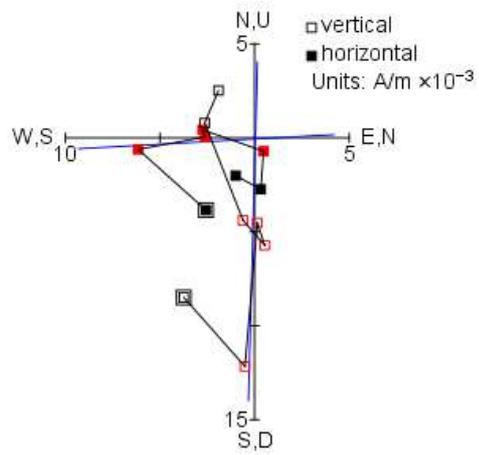


Unstable



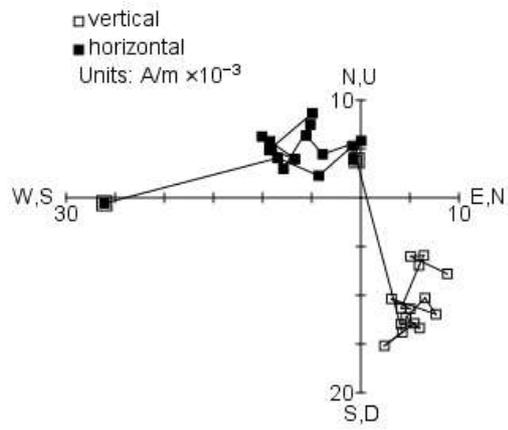
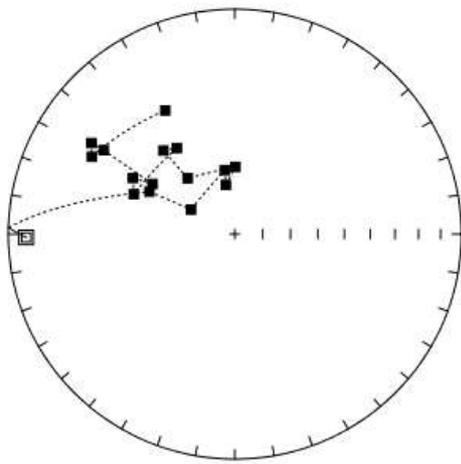


$D = 266.81^\circ$   
 $I = 64.5^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.75^\circ$

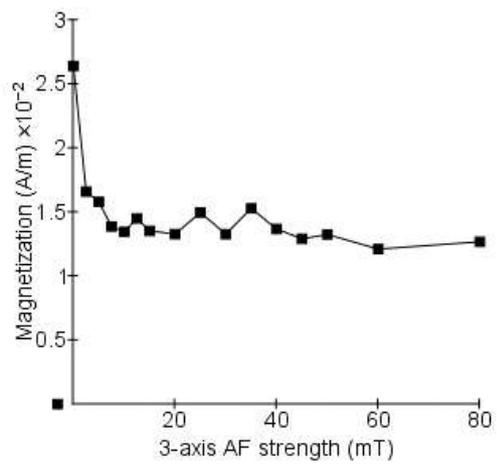


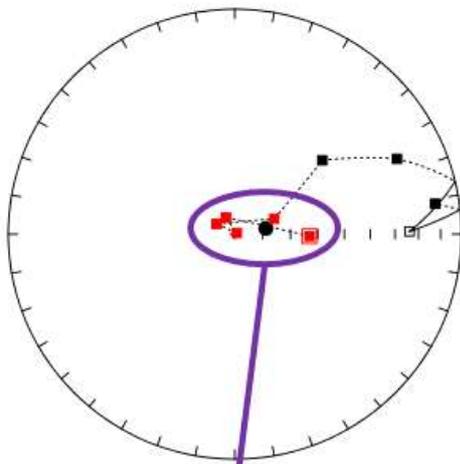
EET 14045 - 05

Type D

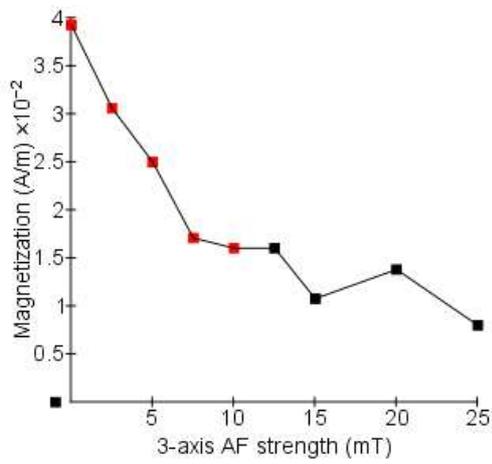
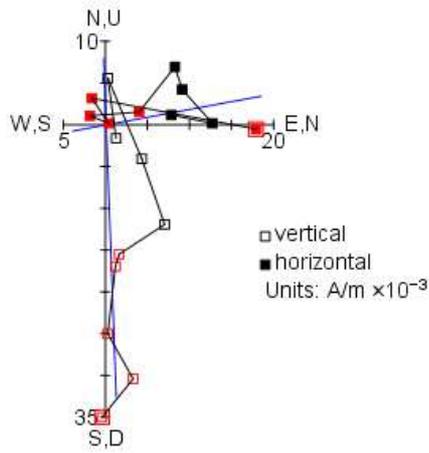


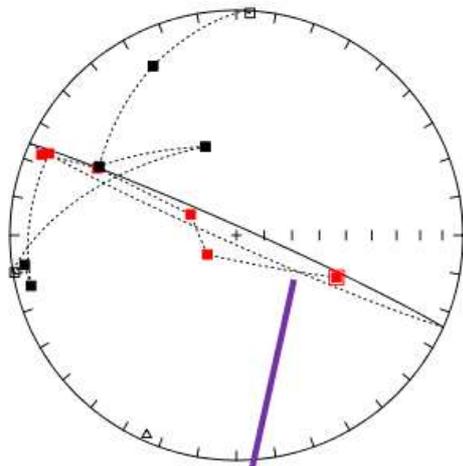
Unstable



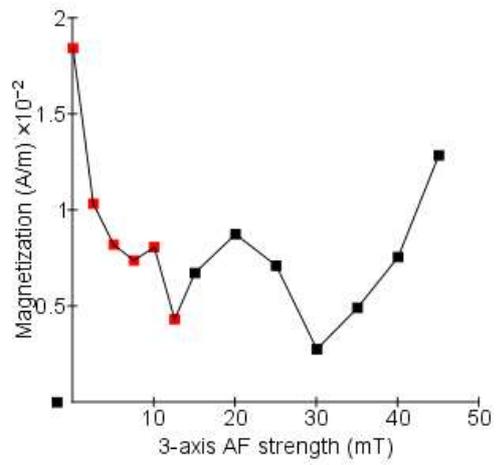
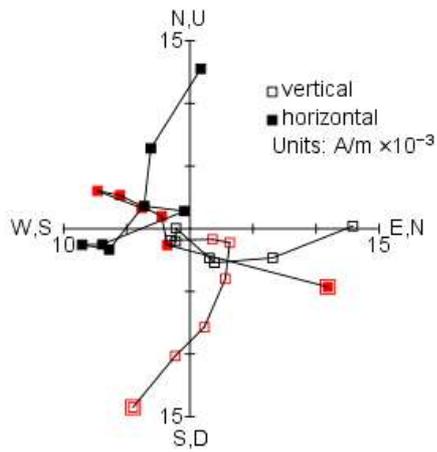


$D = 79.42^\circ$   
 $I = 78.69^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.53^\circ$



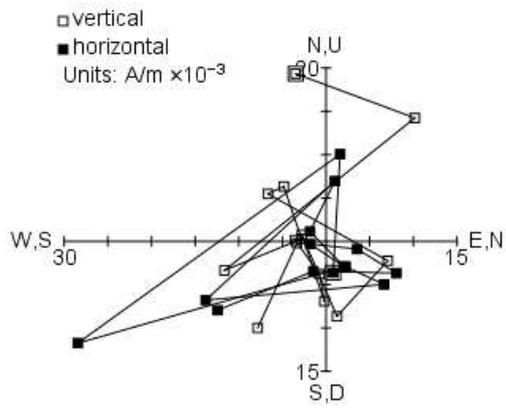
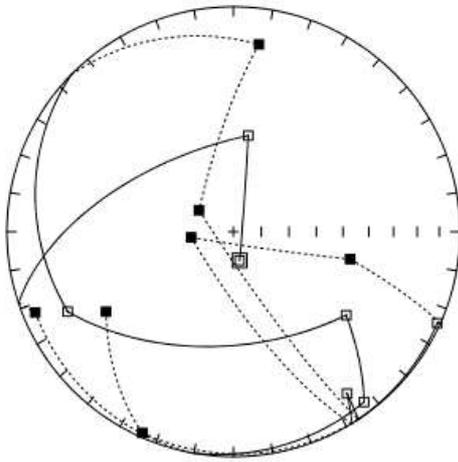


$D = 204.09^\circ$   
 $I = -3.24^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.76^\circ$

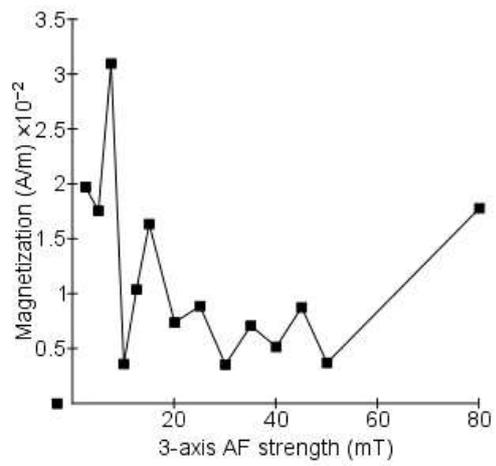


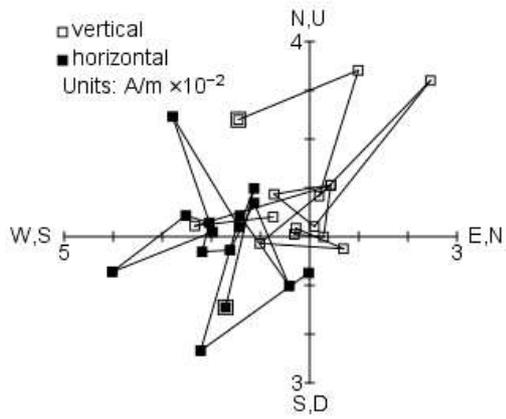
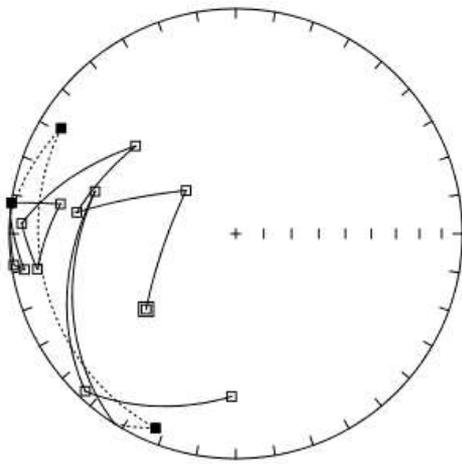
EET 14050 - 01

Type D

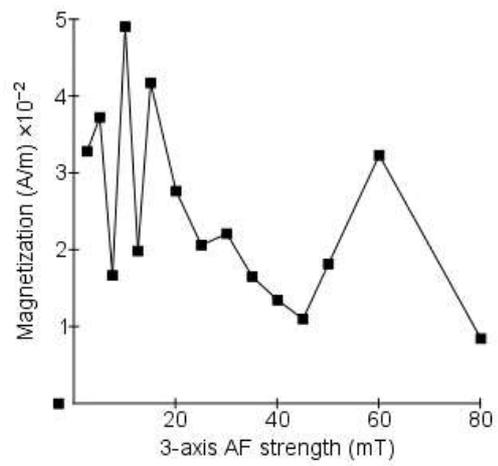


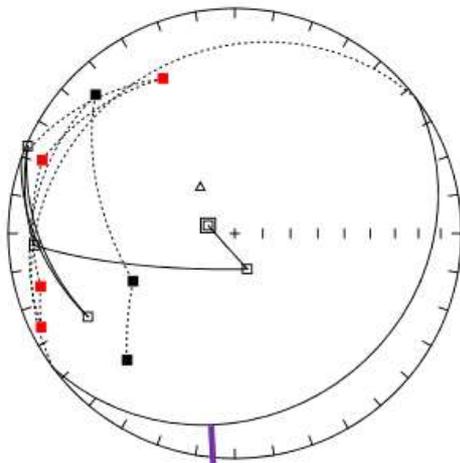
Unstable



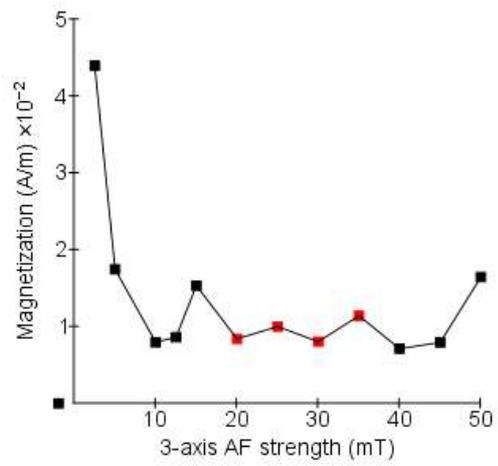
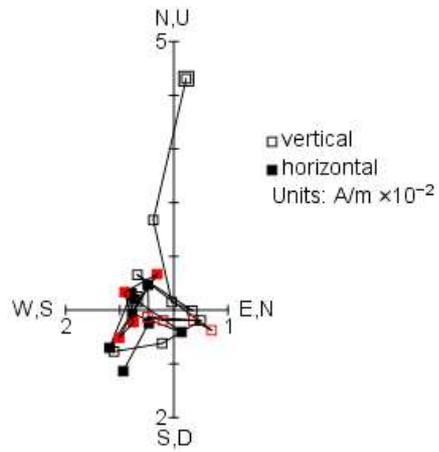


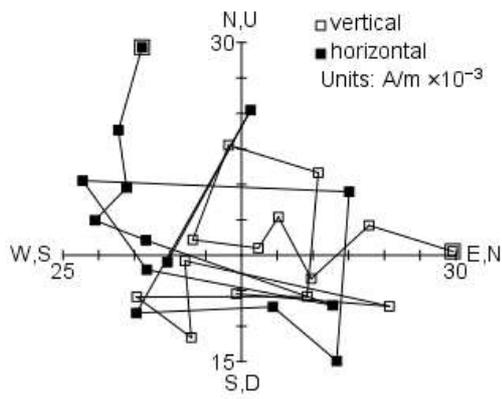
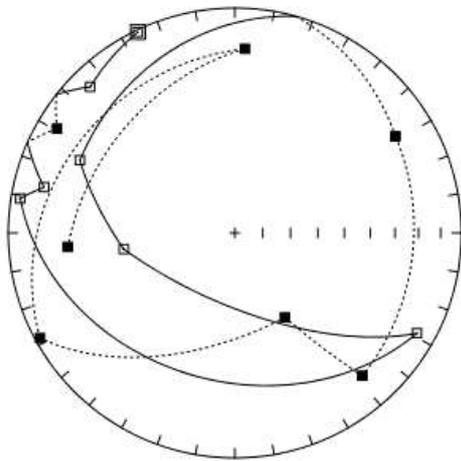
Unstable



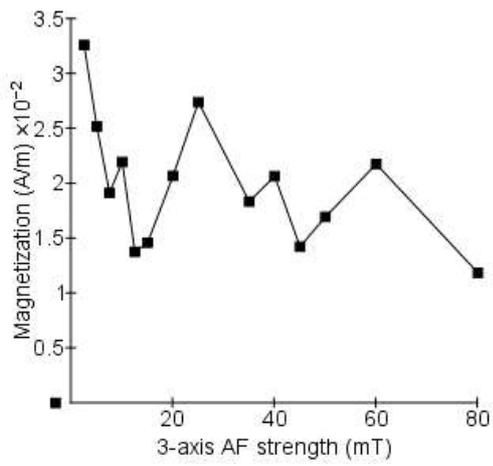


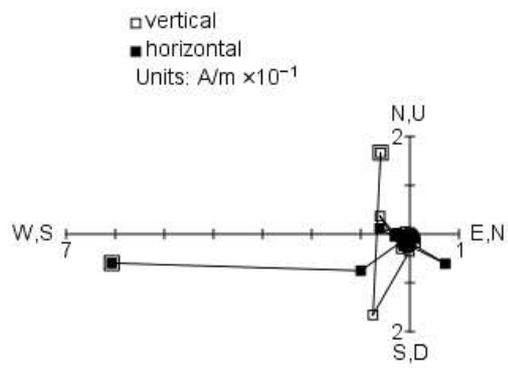
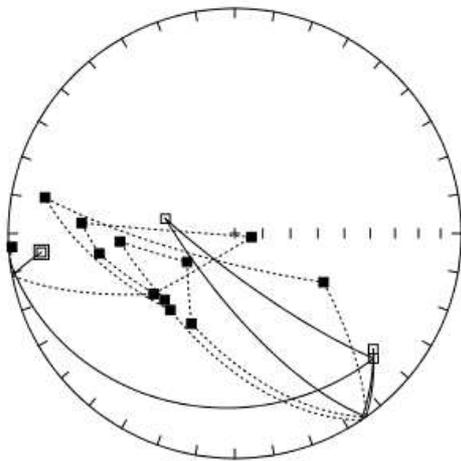
$D = 323.29^\circ$   
 $I = -69.24^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.01^\circ$



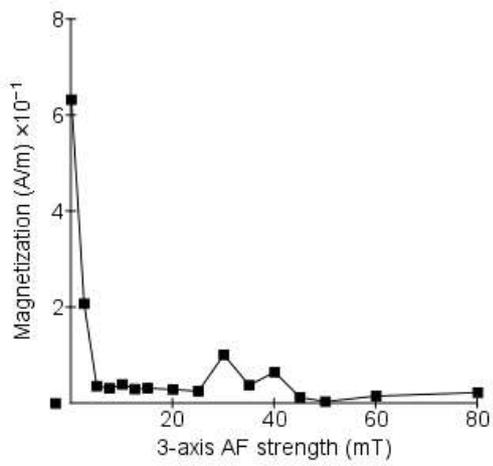


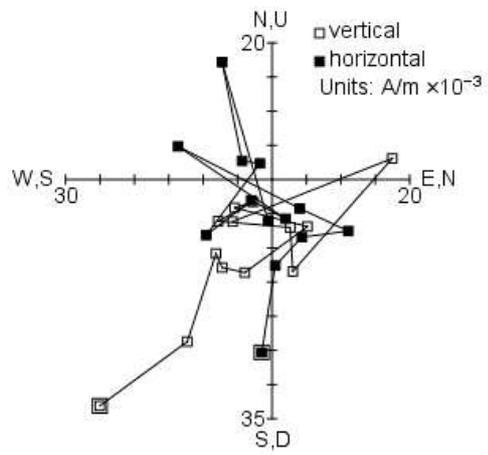
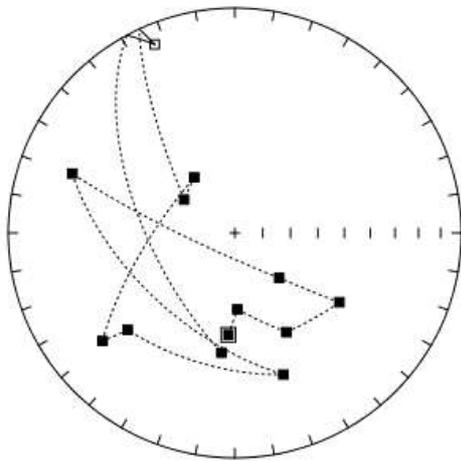
Unstable



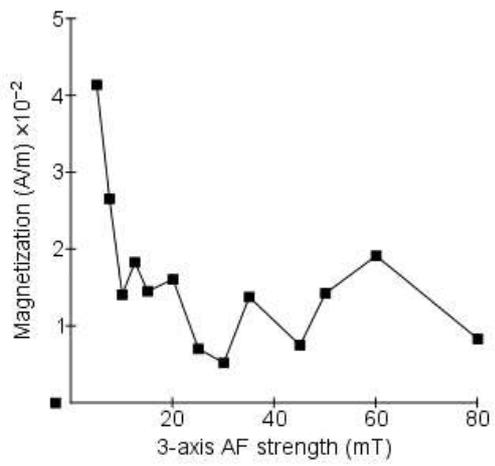


Unstable



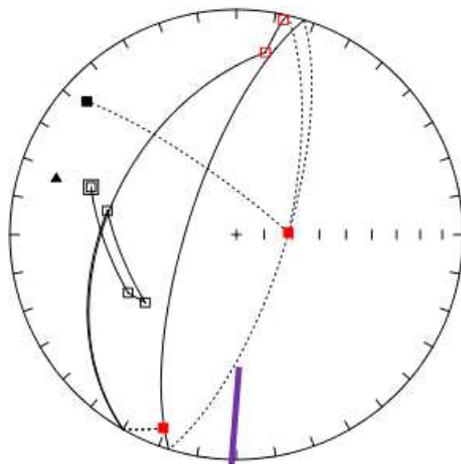


Unstable

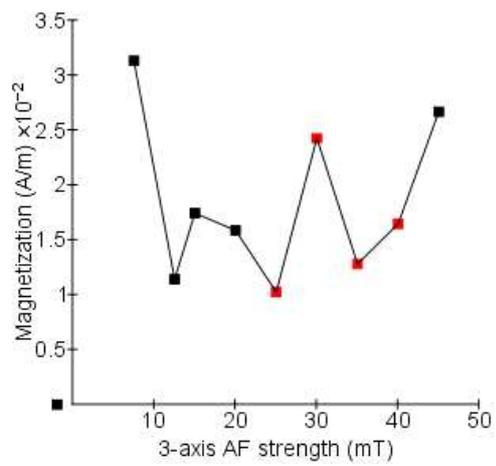
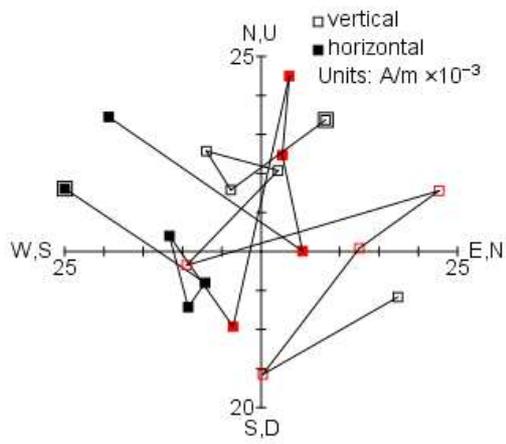


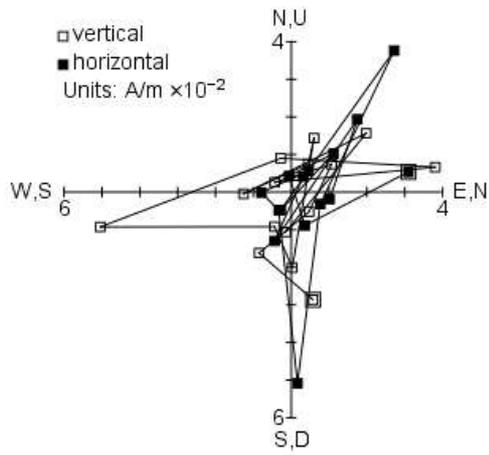
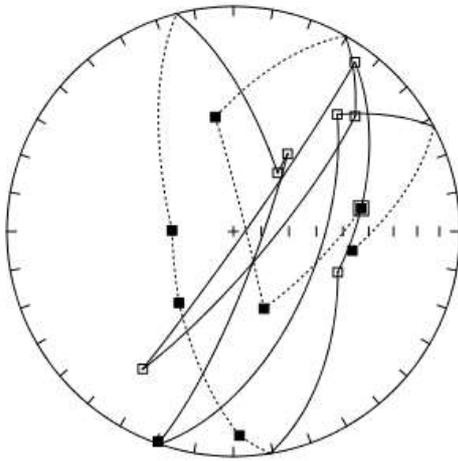
EET 14054 - 01

Type B

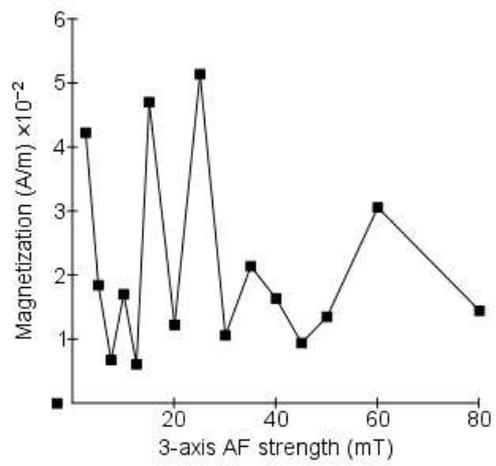


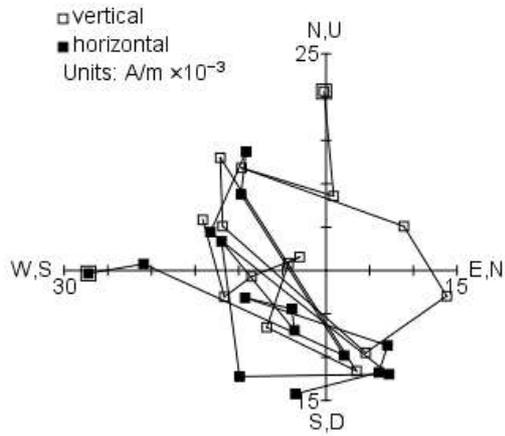
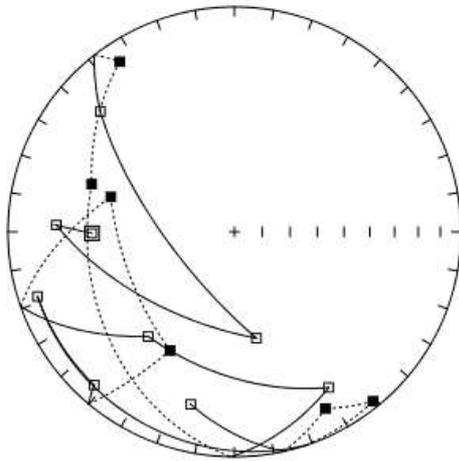
$D = 287.35^\circ$   
 $I = 17.82^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.29^\circ$



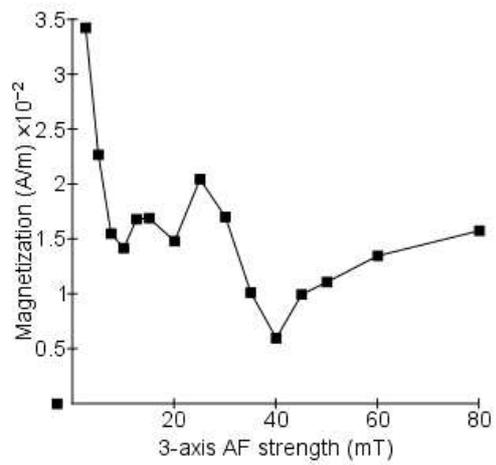


Unstable



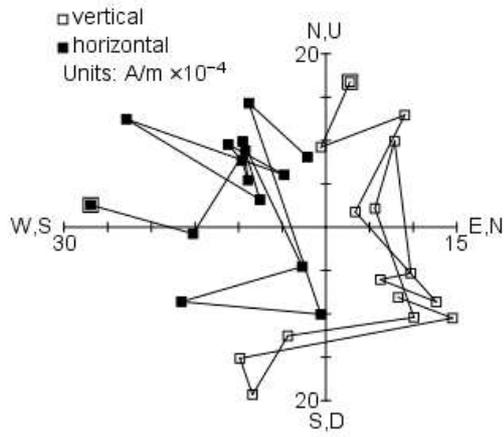
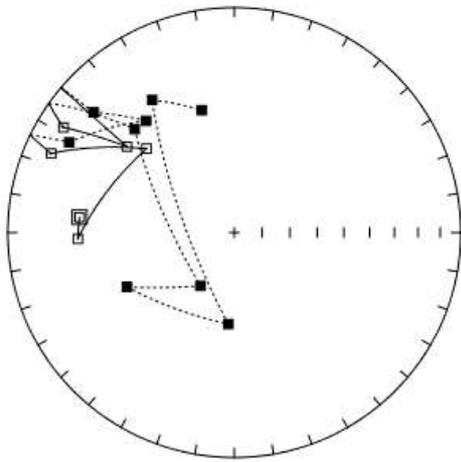


Unstable

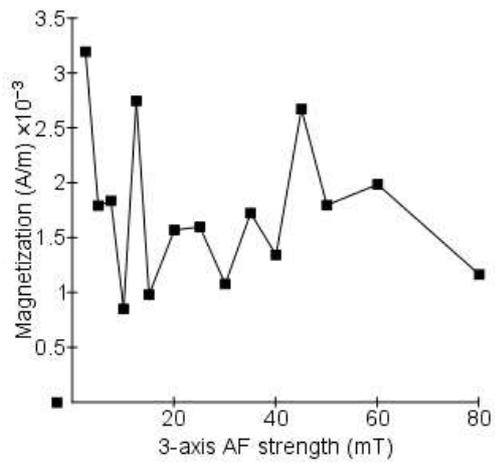


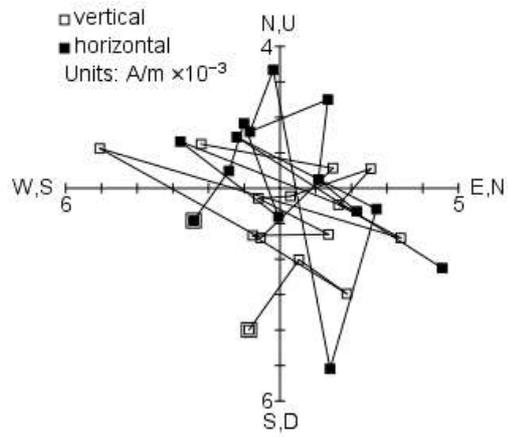
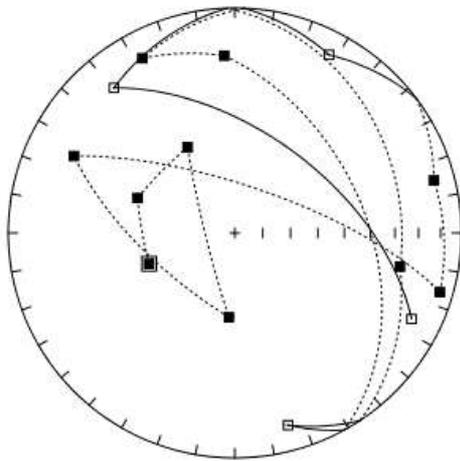
EET 14055 - 01

Type D

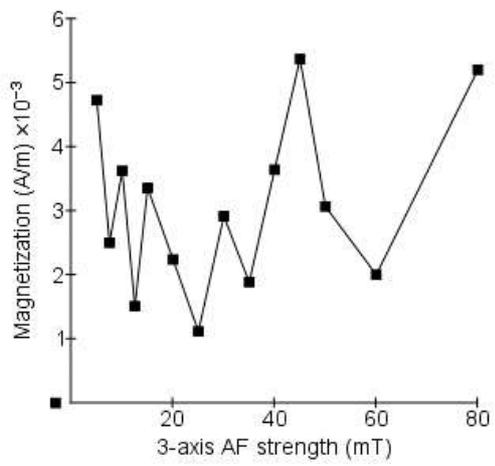


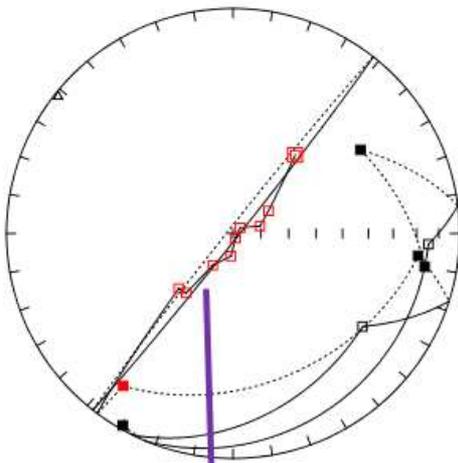
Unstable



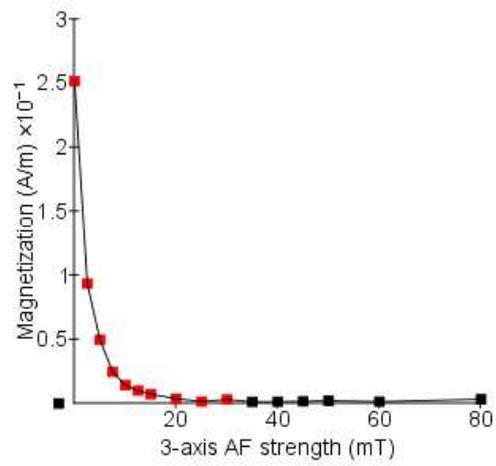
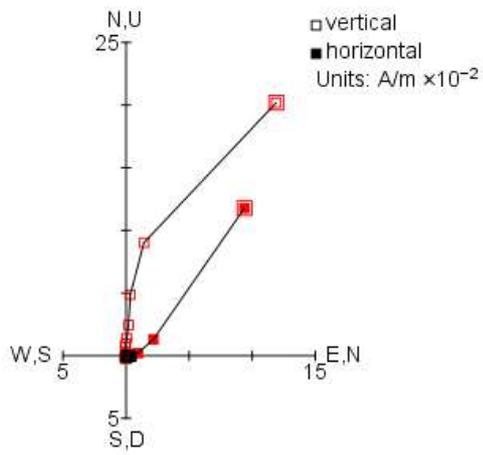


Unstable



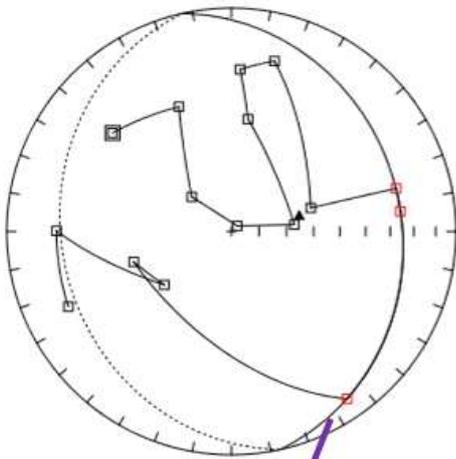


$D = 308.25^\circ$   
 $I = -1.92^\circ$   
 $\alpha_{95} = 6.72^\circ$

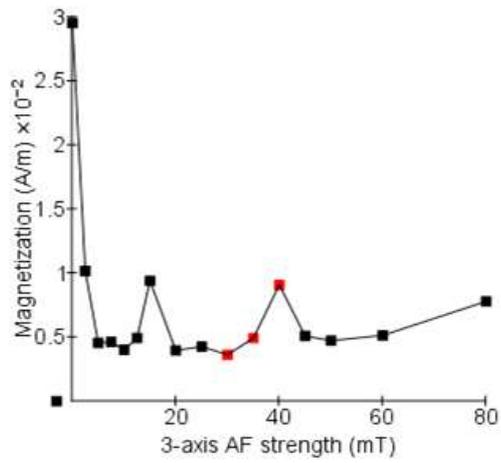
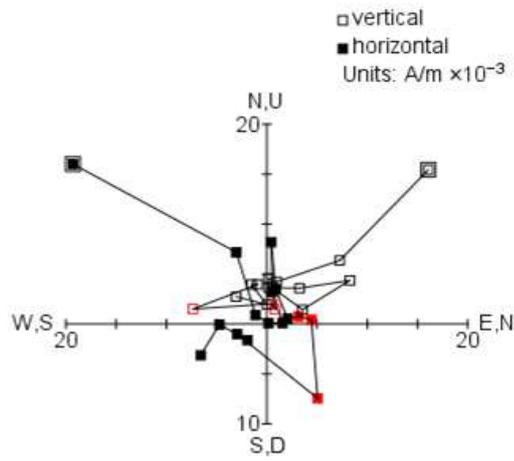


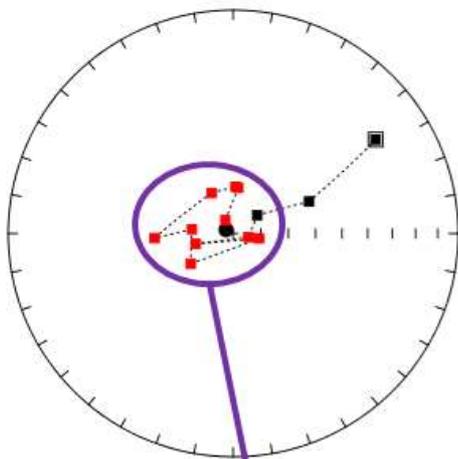
EET 14059 - 01

Type A

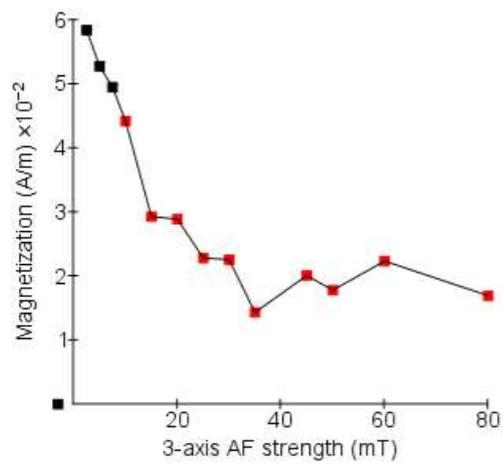
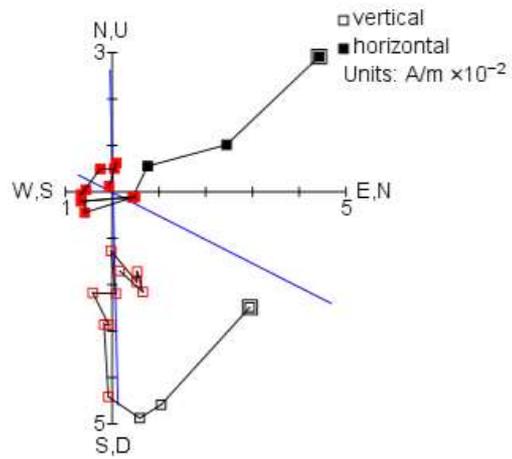


$D = 77.46^\circ$   
 $I = 64.71^\circ$   
 $\alpha_{95} = 0.09^\circ$



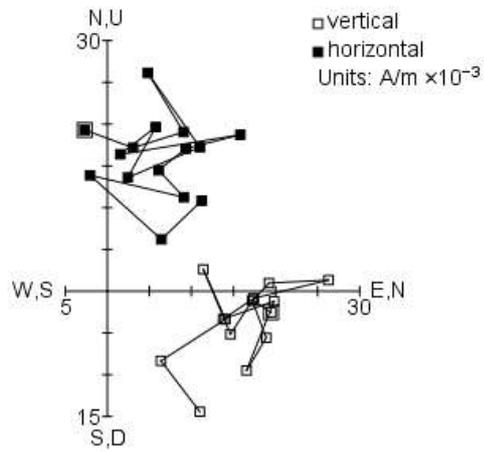
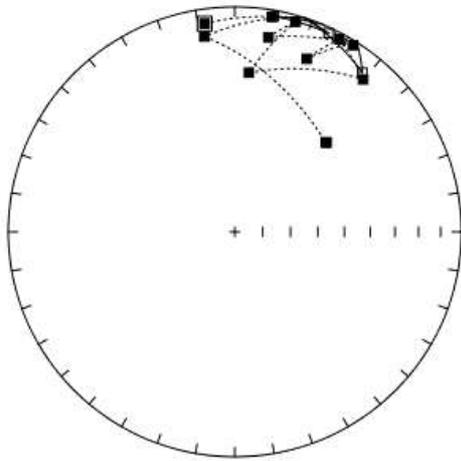


$D = 297.09^\circ$   
 $I = 87.08^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.88^\circ$

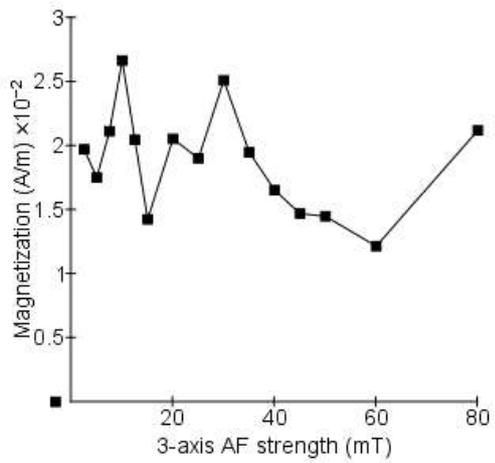


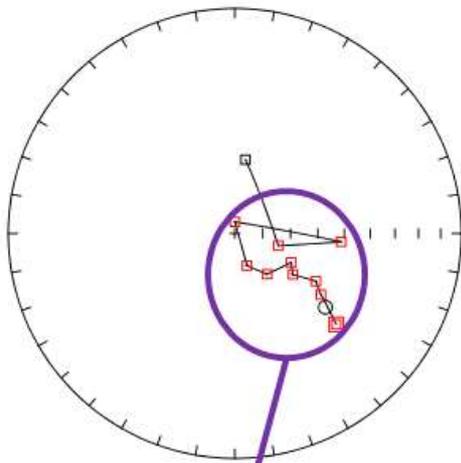
EET 14059 - 03

Type D

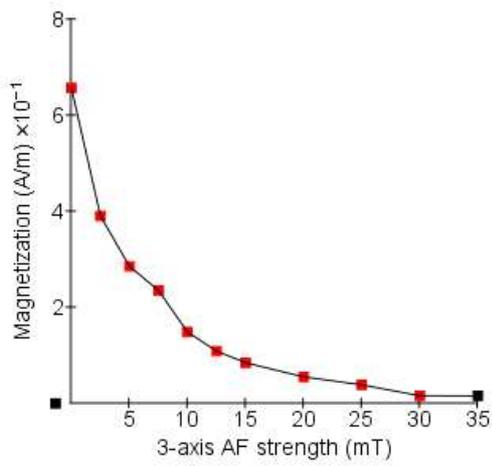
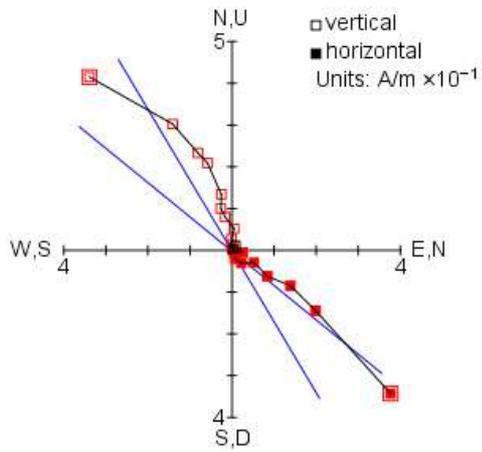


Unstable



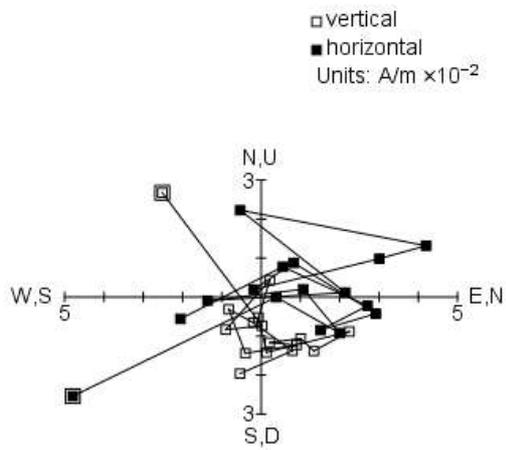
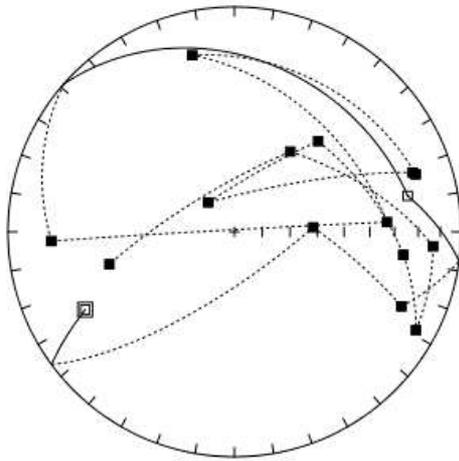


$D = 129.39^\circ$   
 $I = -47.11^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.52^\circ$

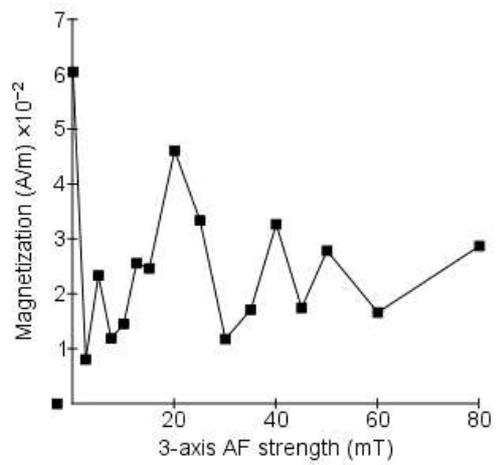


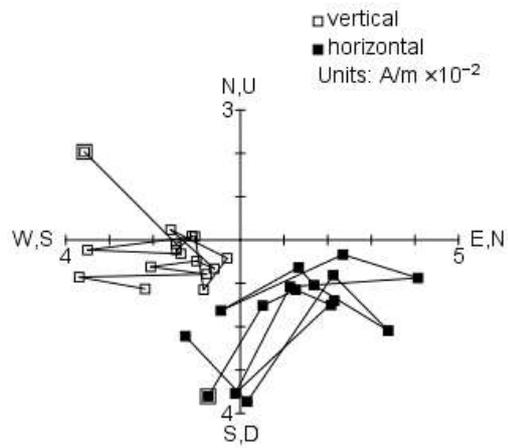
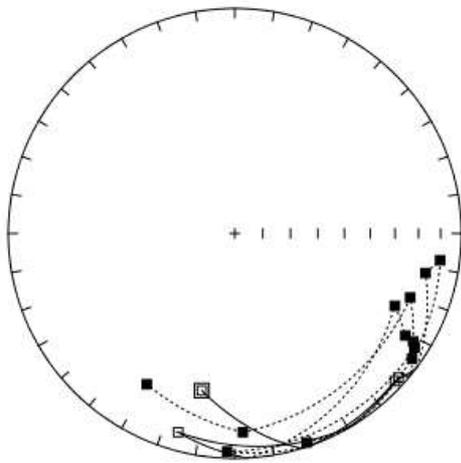
EET 14060 - 02

Type D

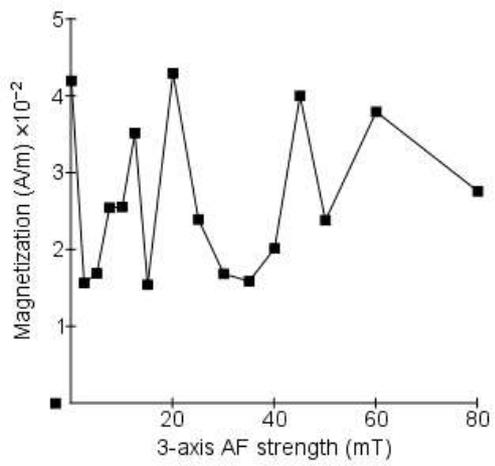


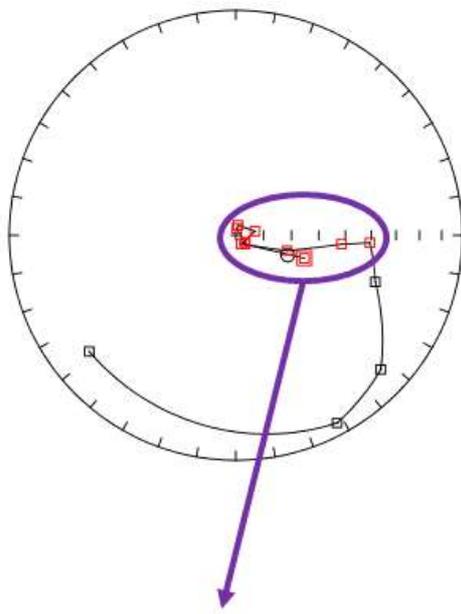
Unstable



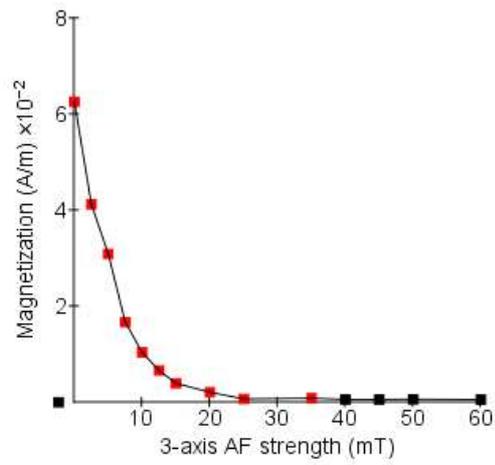
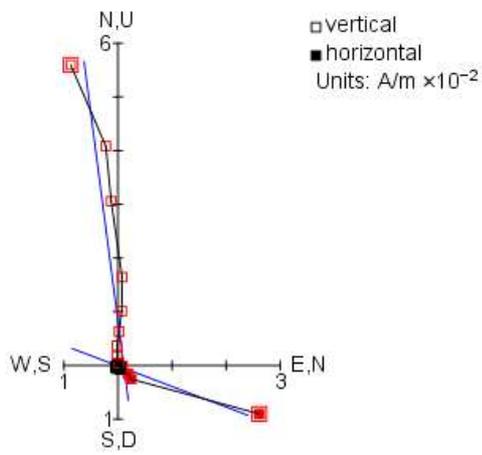


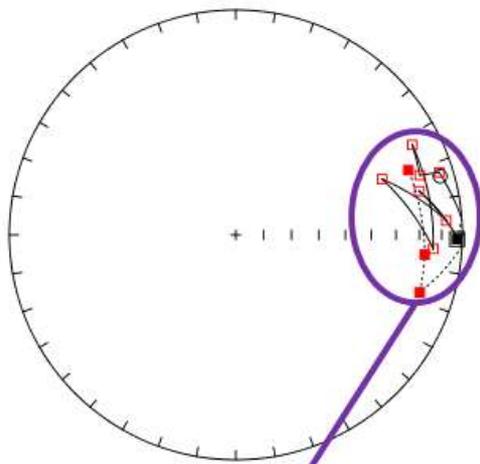
Unstable



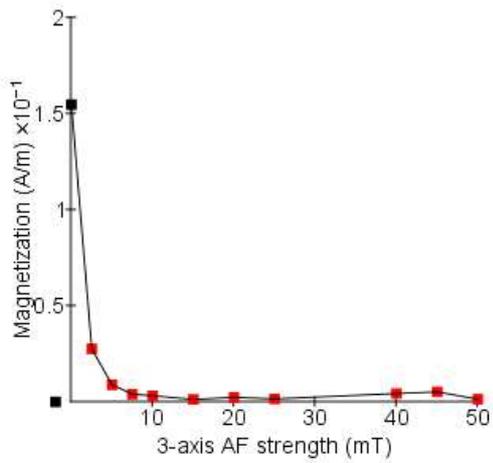
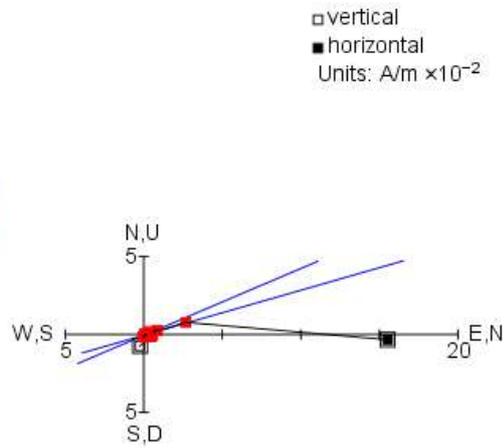


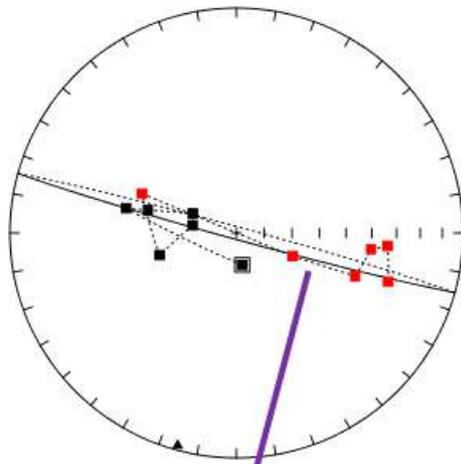
$D = 110.93^\circ$   
 $I = -70.05^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.98^\circ$



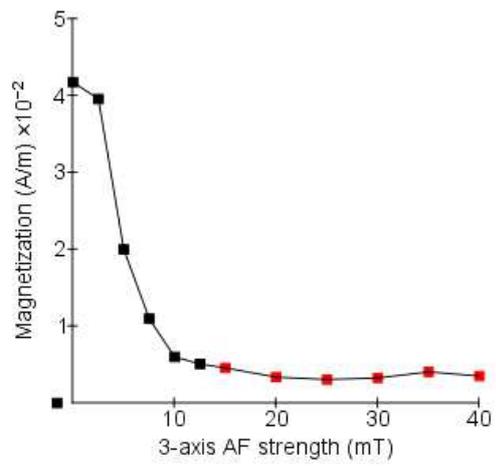
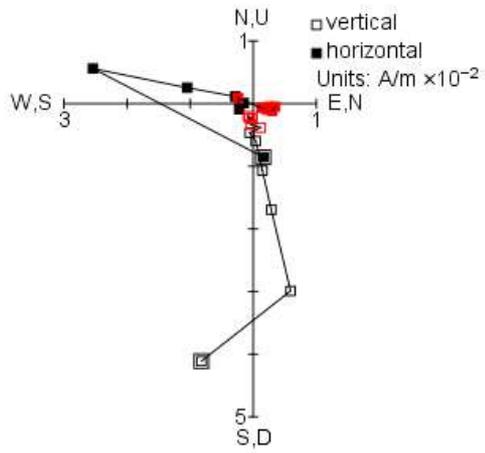


$D = 73.89^\circ$   
 $I = -6.79^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.64^\circ$



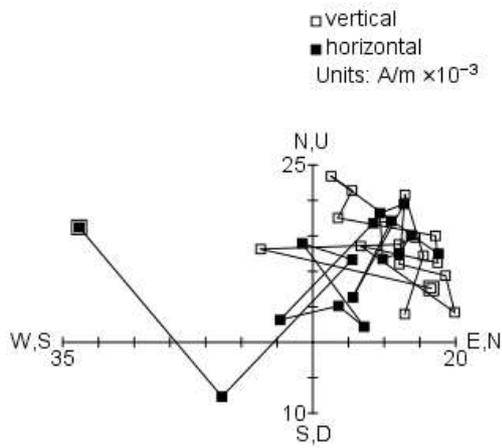
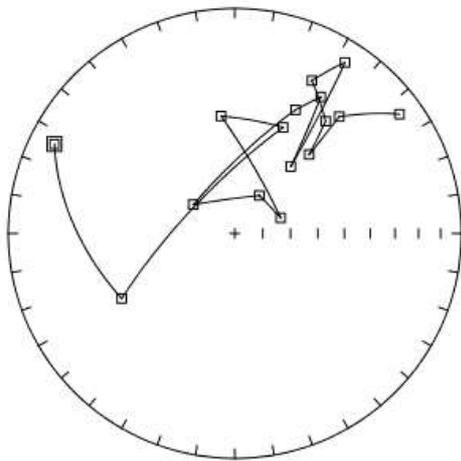


$D = 195.35^\circ$   
 $I = 2.27^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.02^\circ$

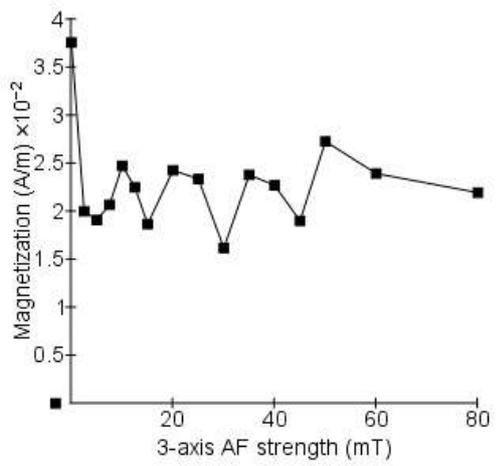


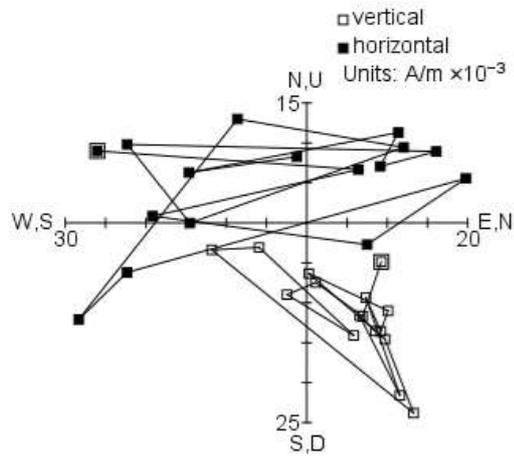
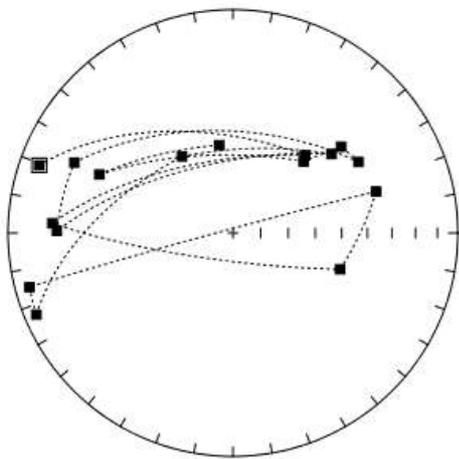
EET 14073 - 01

Type D

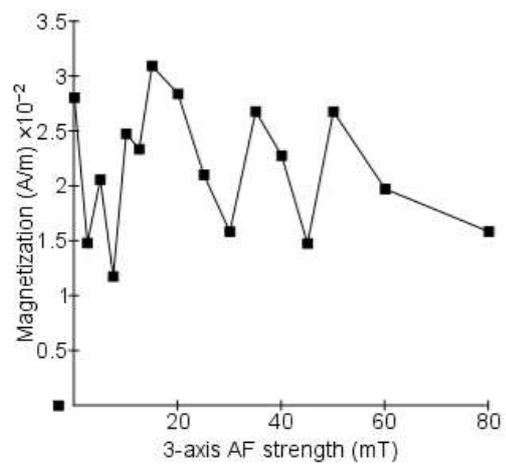


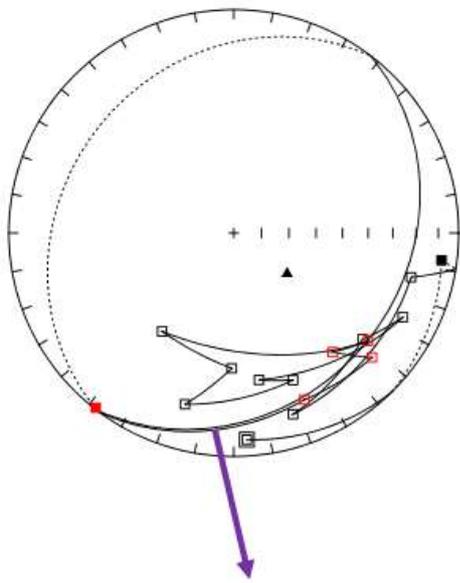
Unstable



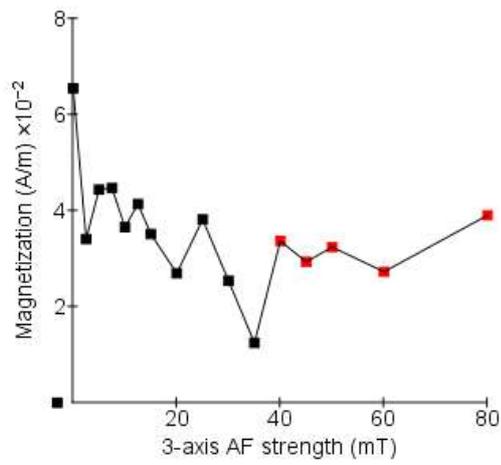
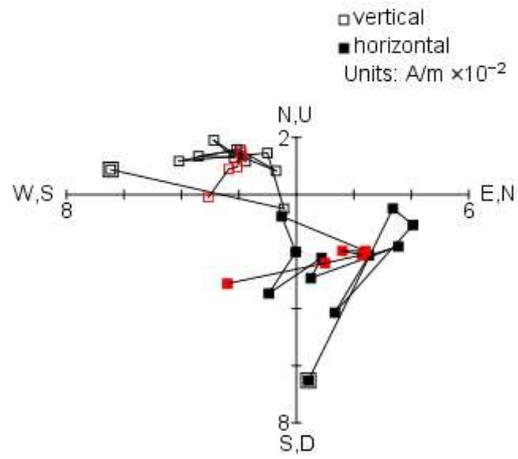


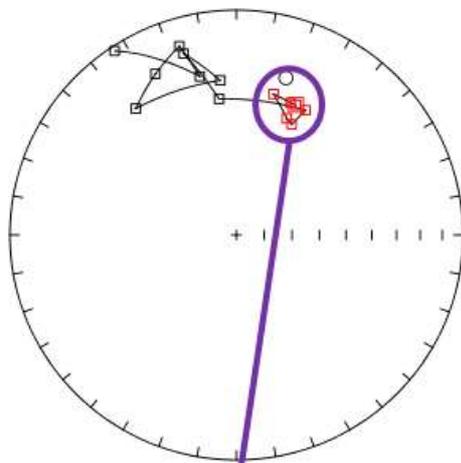
Unstable



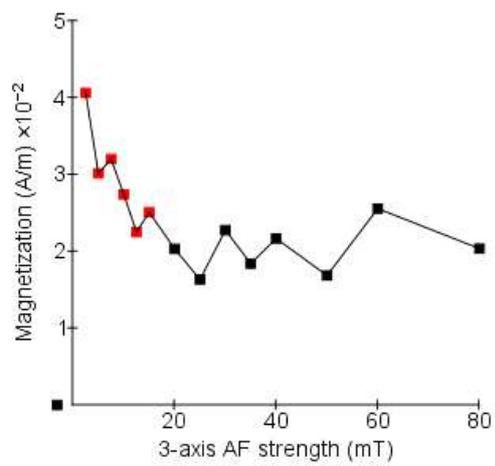
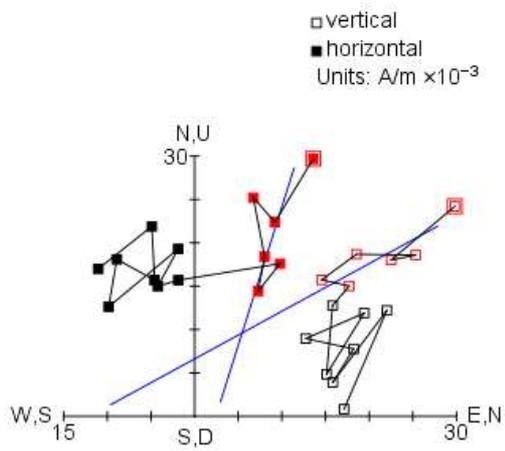


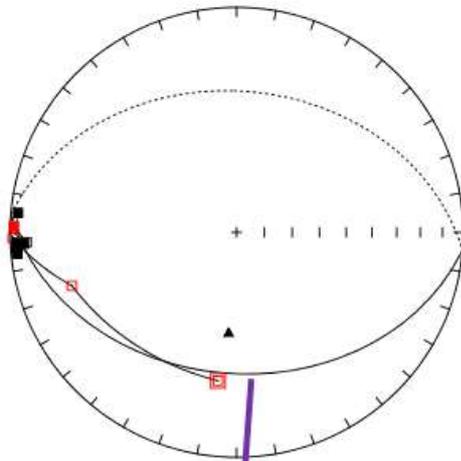
$D = 127.48^\circ$   
 $I = 65.6^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.58^\circ$



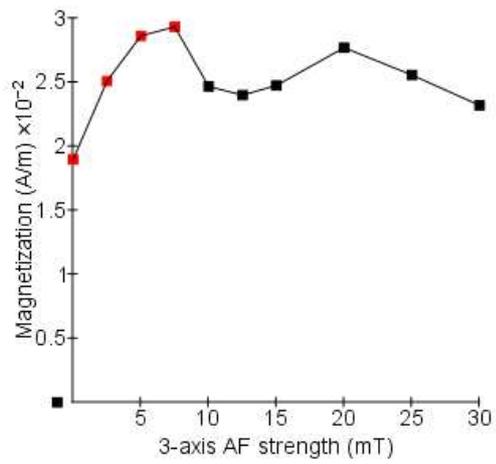
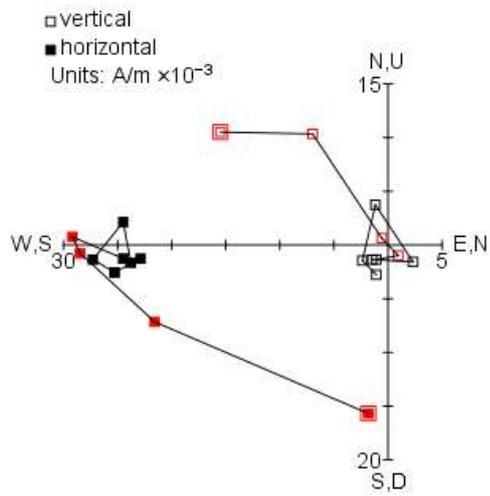


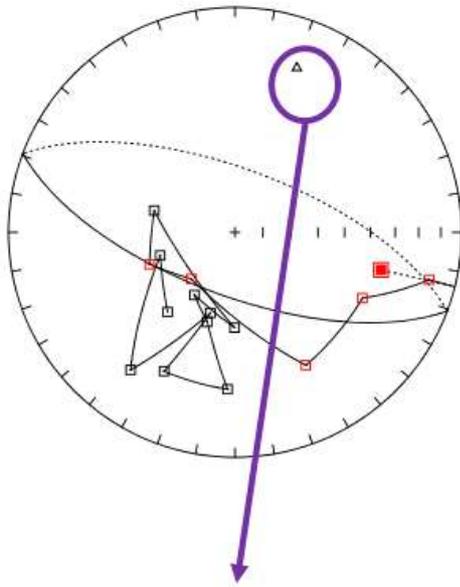
$D = 21.1^\circ$   
 $I = -28.78^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.61^\circ$



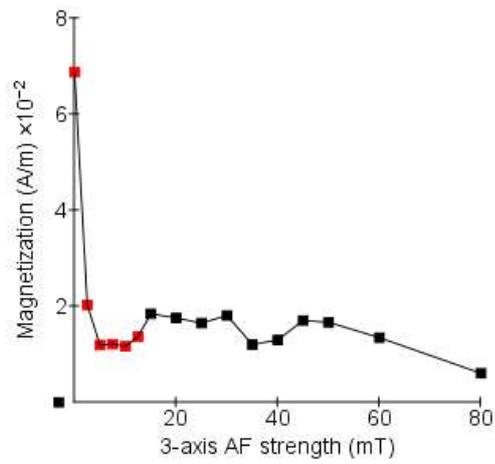
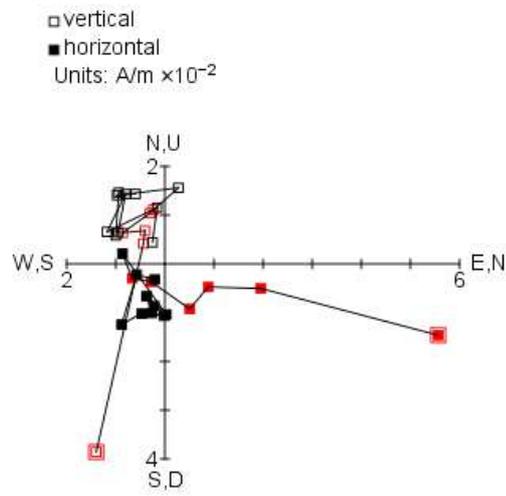


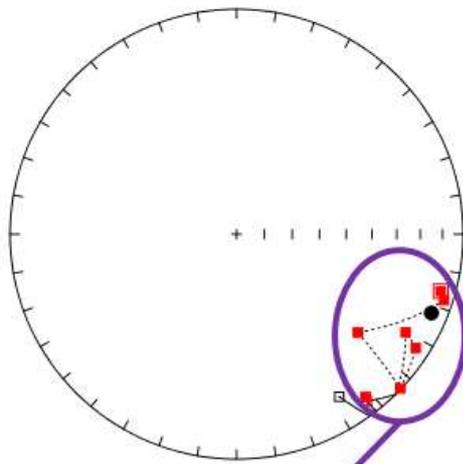
$D = 184.48^\circ$   
 $I = 52.76^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.6^\circ$





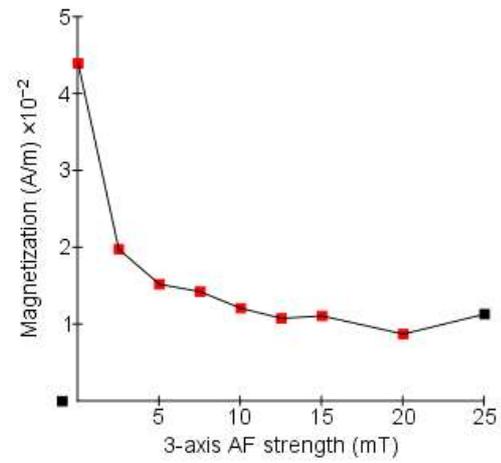
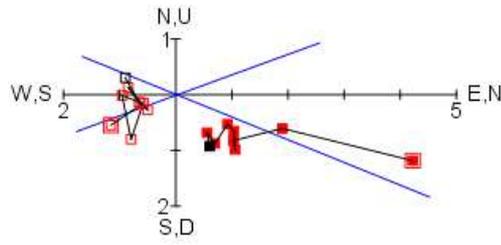
$D = 196.95^\circ$   
 $I = 13.71^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.17^\circ$





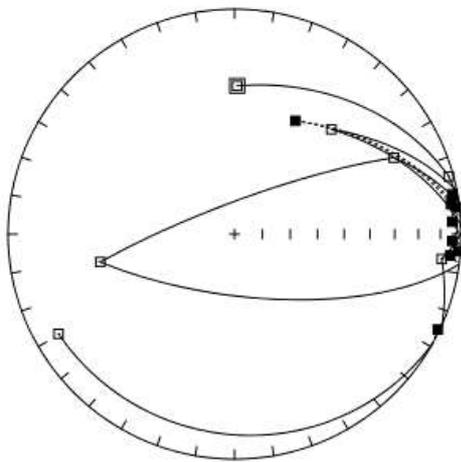
$D = 112.17^\circ$   
 $I = 7.89^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.47^\circ$

□ vertical  
 ■ horizontal  
 Units: A/m  $\times 10^{-2}$

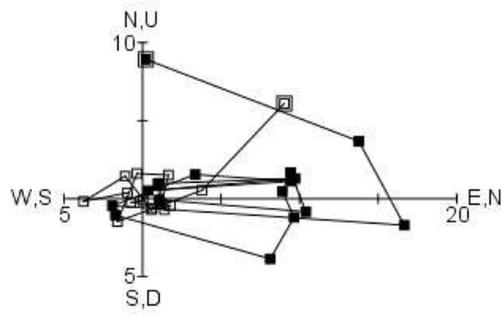


Favett - 01

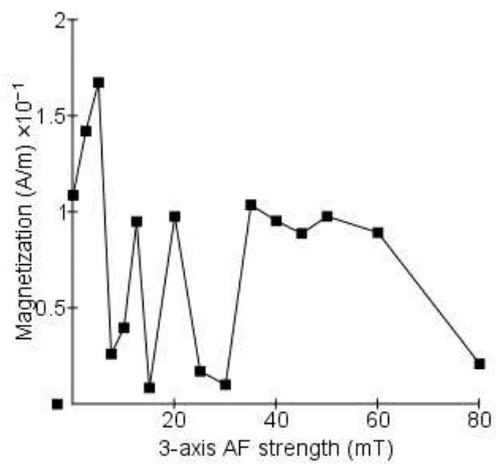
Type D



□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-2}$

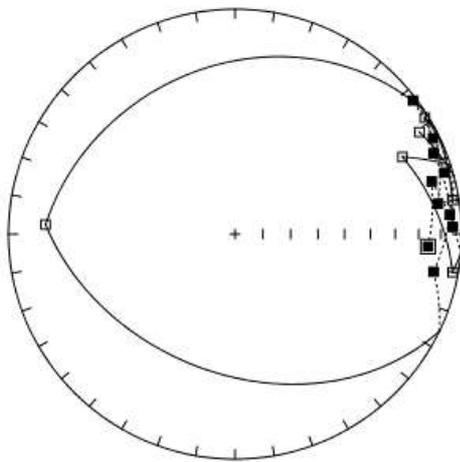


Unstable

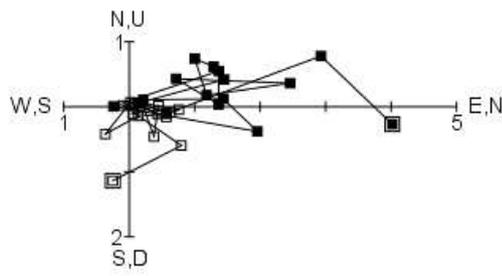


Favett - 02

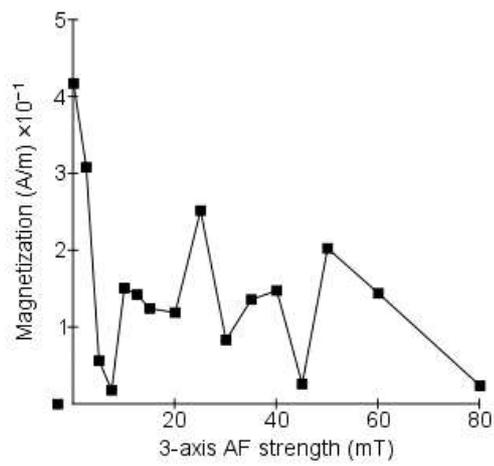
Type D



□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-1}$

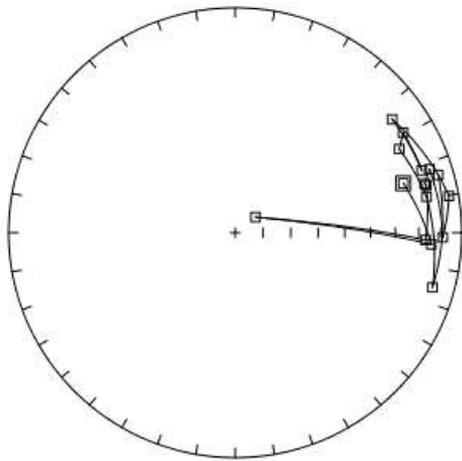


Unstable

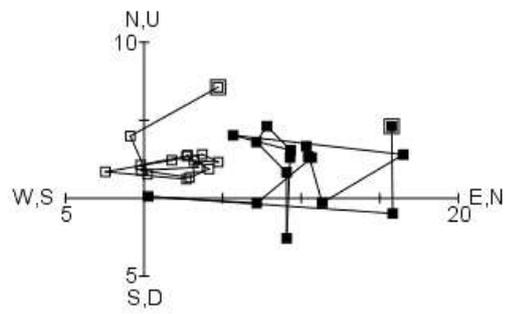


Favett - 03

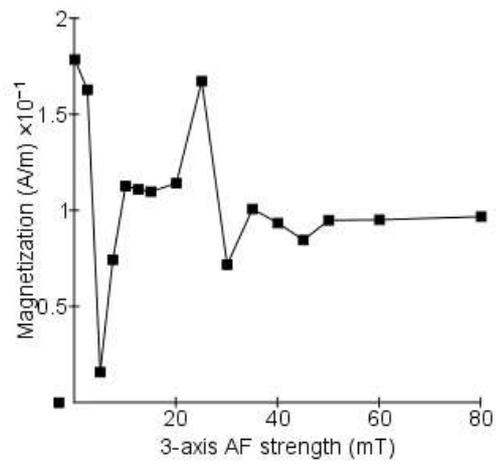
Type D



□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-2}$

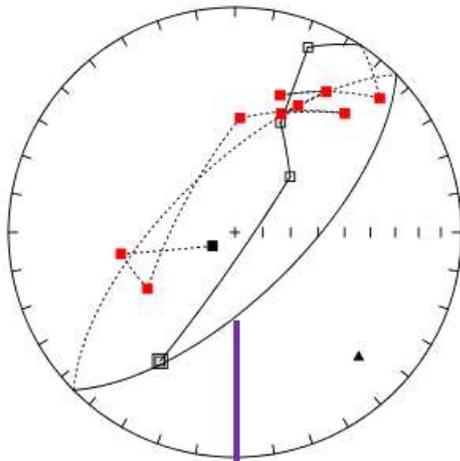


Unstable

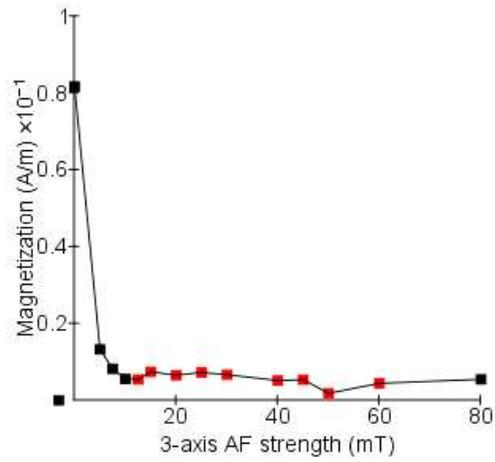
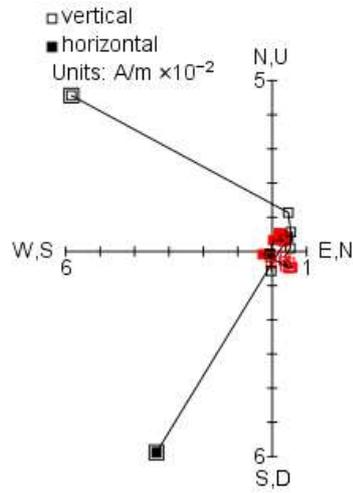


FLE 10003 - 01

Type C

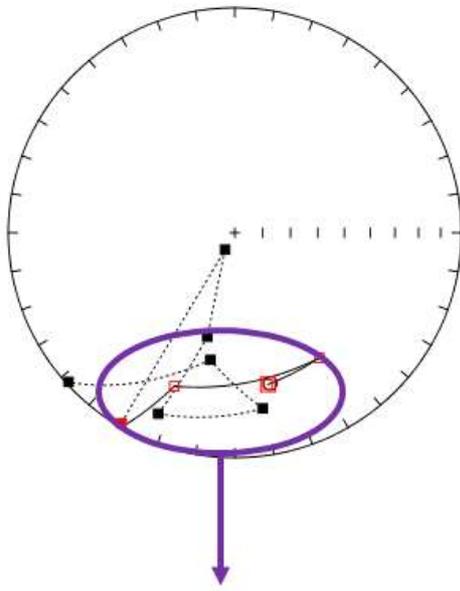


$D = 135.46^\circ$   
 $I = 23.15^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.89^\circ$

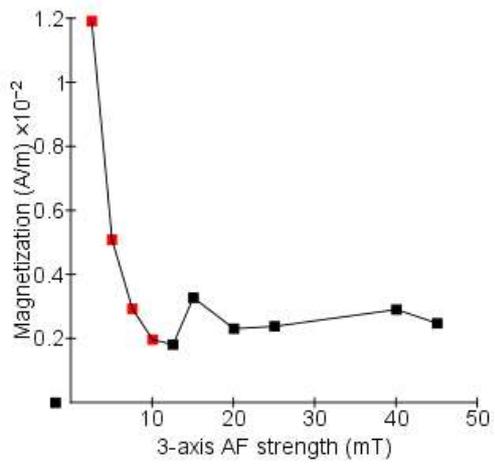
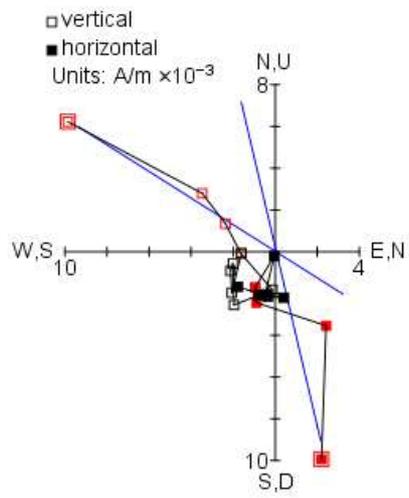


FLE 10003 - 02

Type A

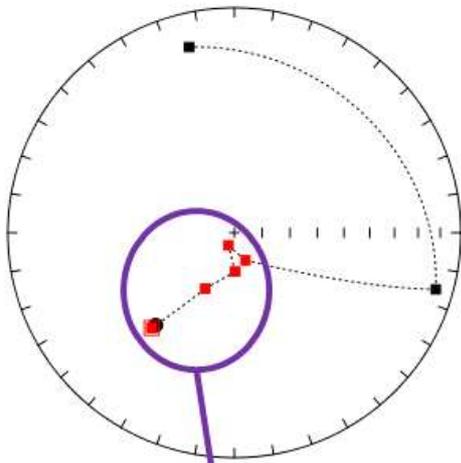


$D = 204.46^\circ$   
 $I = 69.07^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.94^\circ$

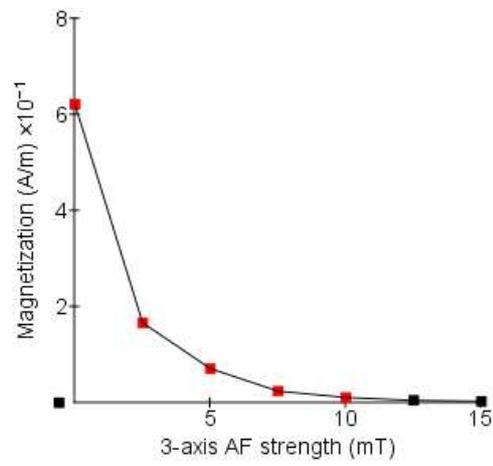
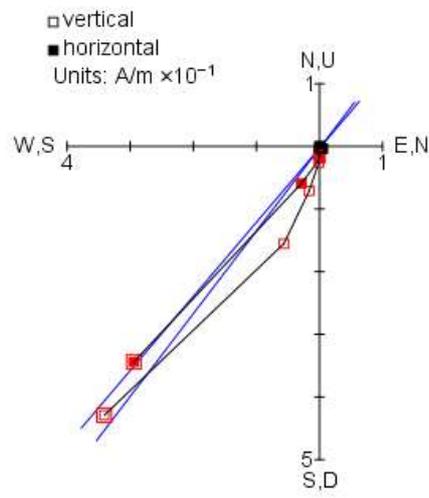


FLE 10003 - 03

Type B

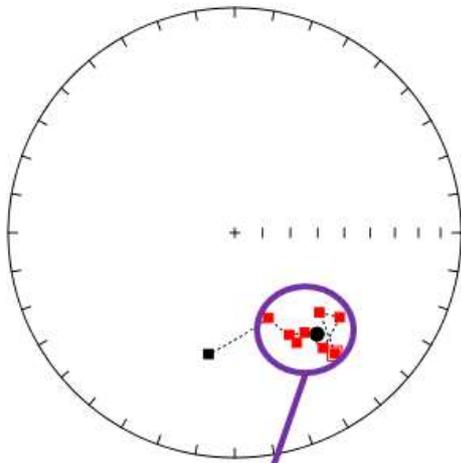


$D = 220.21^\circ$   
 $I = 45.23^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.21^\circ$



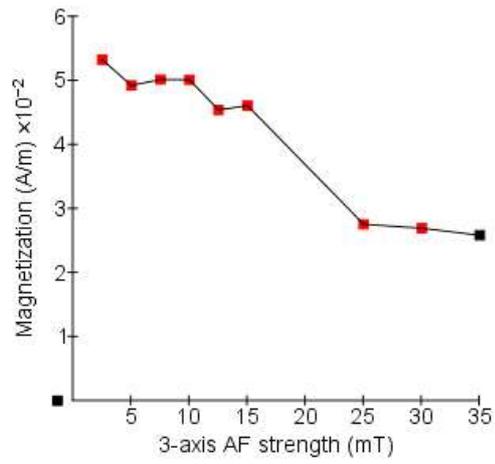
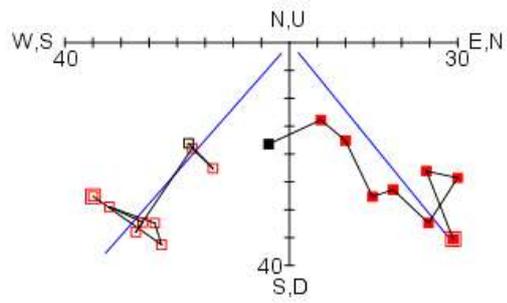
GRI 11001 - 01

Type B



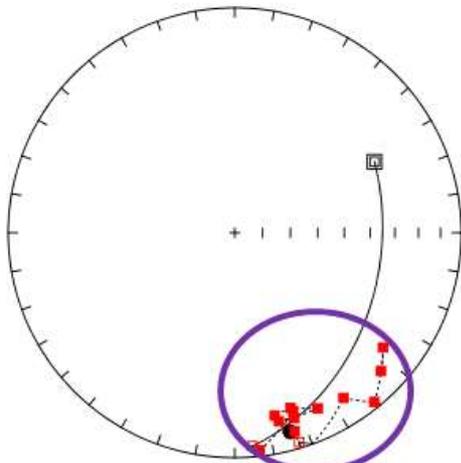
$D = 141.11^\circ$   
 $I = 41.71^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.01^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units:  $A/m \times 10^{-3}$

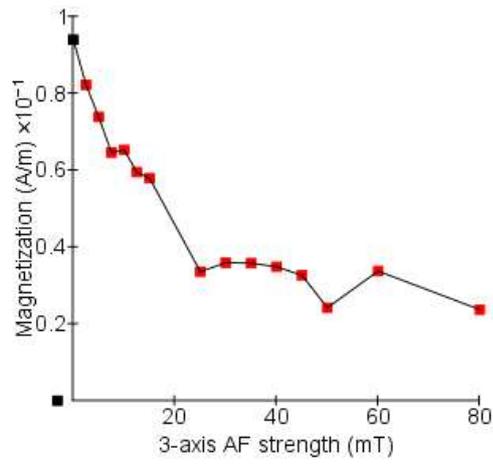
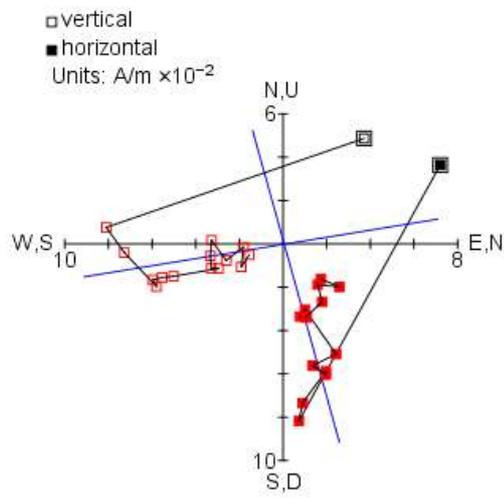


GRI 11001 - 02

Type C

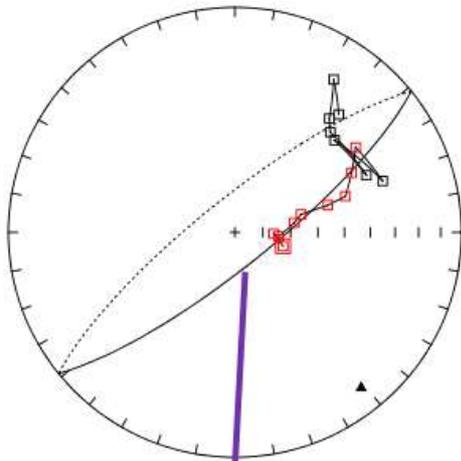


$D = 164.55^\circ$   
 $I = 8.99^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.77^\circ$

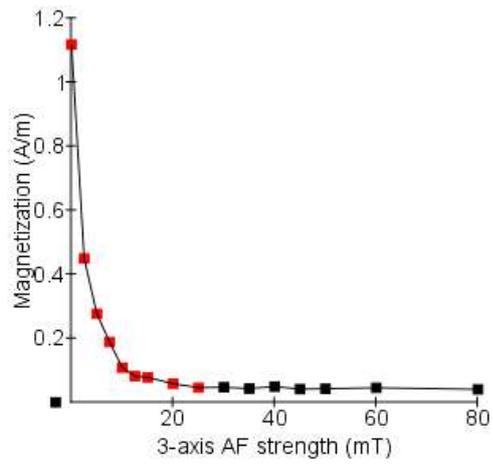
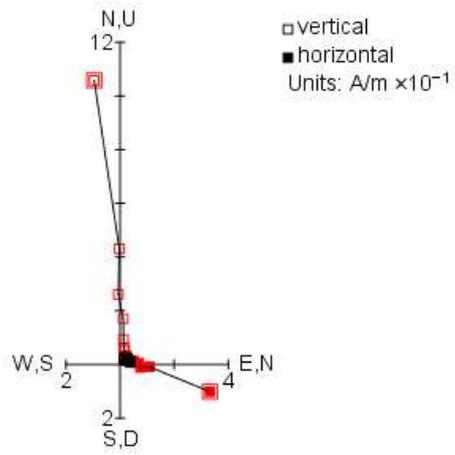


GRI 11001 - 03

Type C

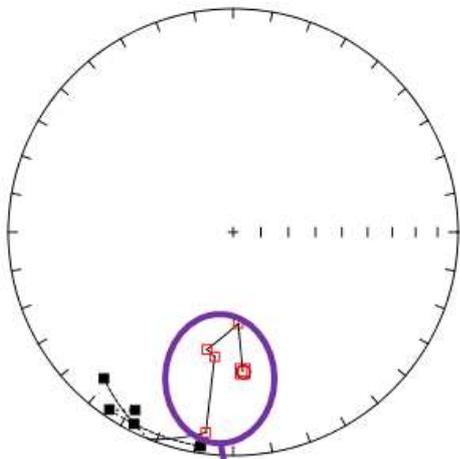


$D = 141.14^\circ$   
 $I = 12.15^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.1^\circ$

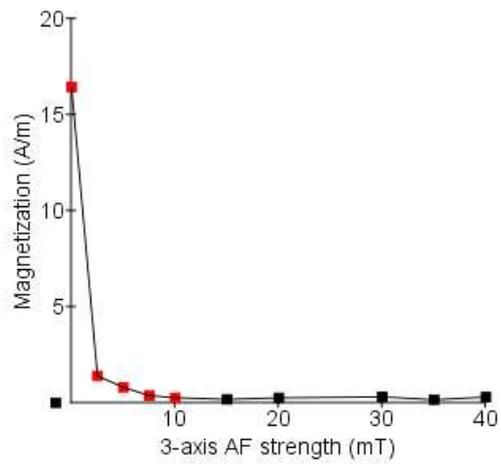
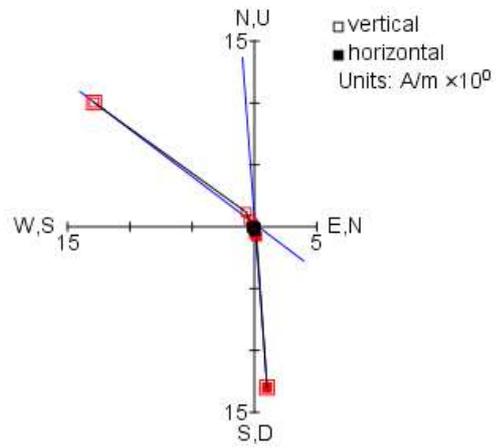


JOH 10001 - 01

Type A

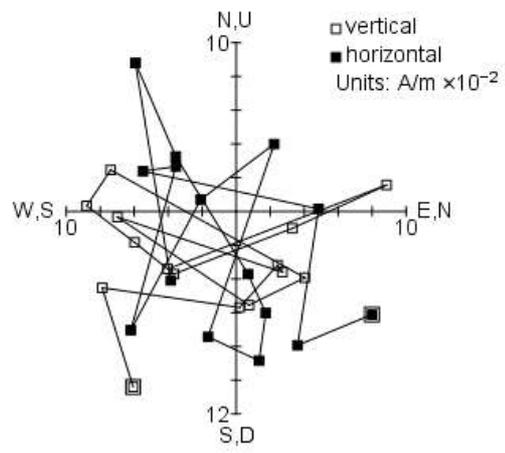
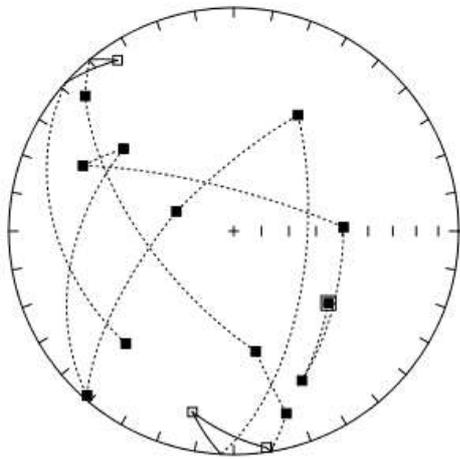


$D = 175.77^\circ$   
 $I = -37.25^\circ$   
 $\alpha_{95} = 1.76^\circ$

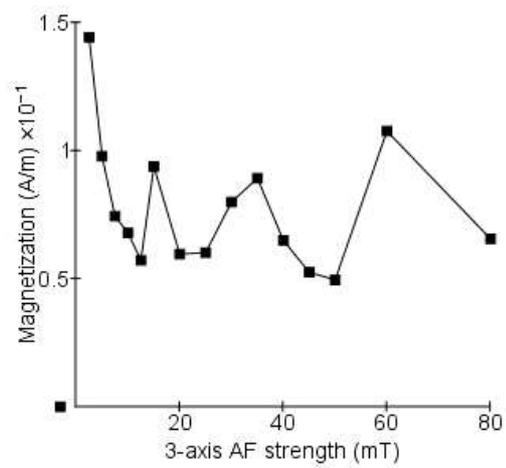


JOH 10001 - 02

Type D

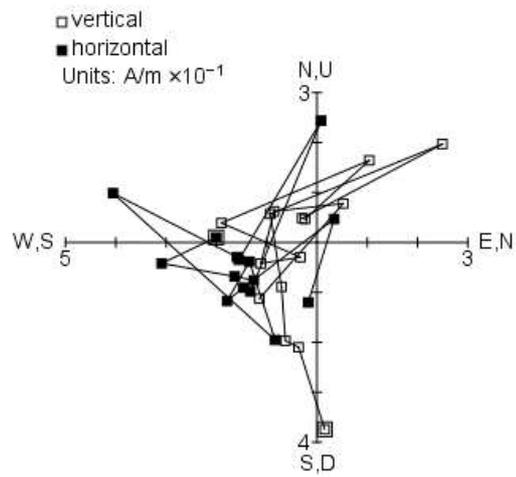
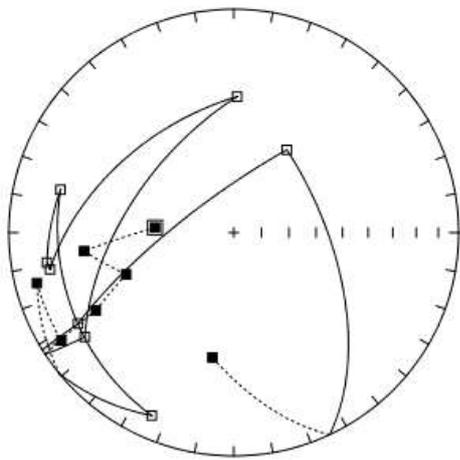


Unstable

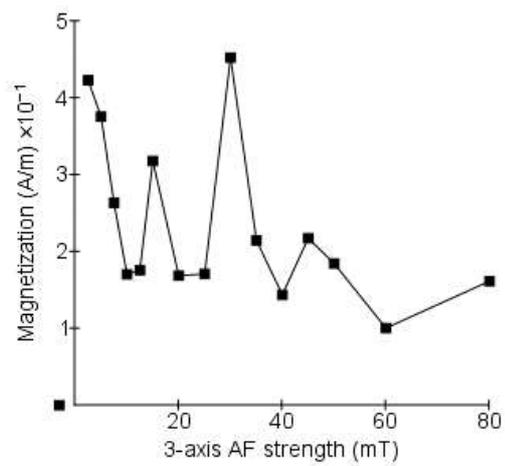


JOH 10001 - 03

Type D

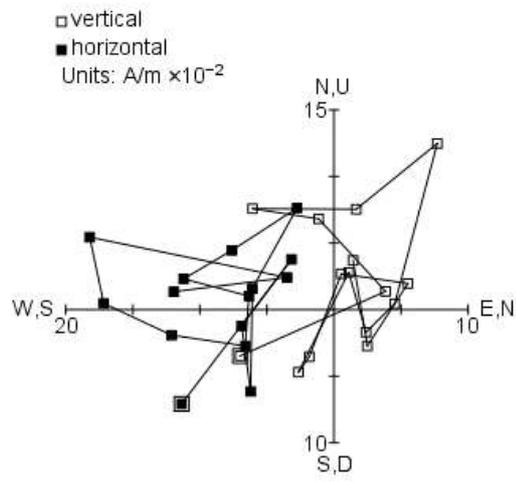
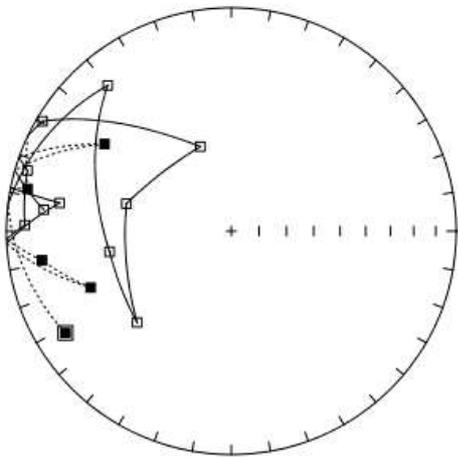


Unstable

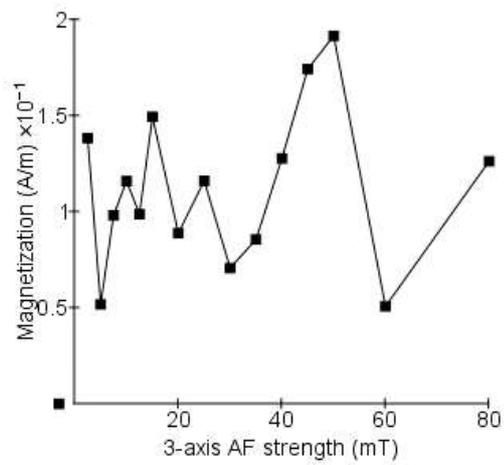


JOH 10001 - 04

Type D

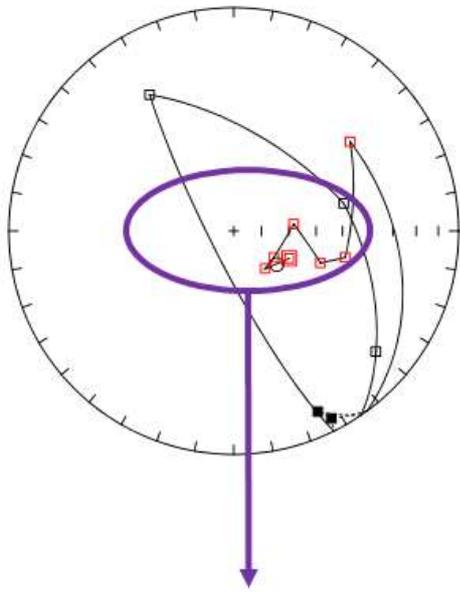


Unstable

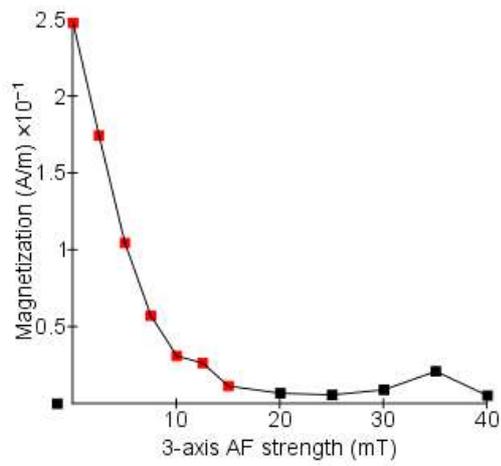
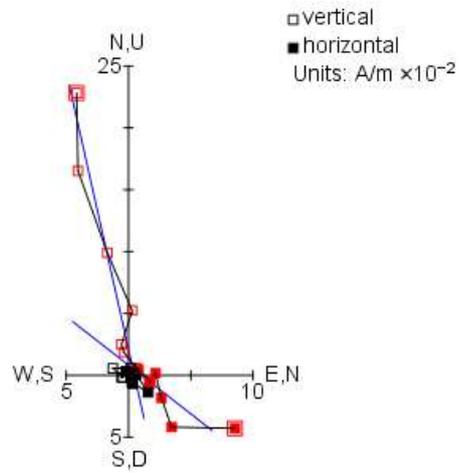


Neenach - 01

Type B

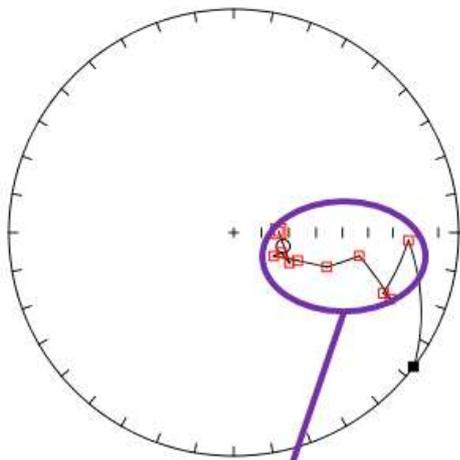


$D = 128.19^\circ$   
 $I = -70.18^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.65^\circ$

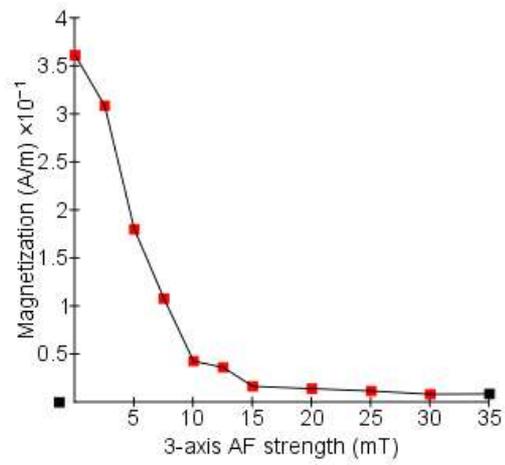
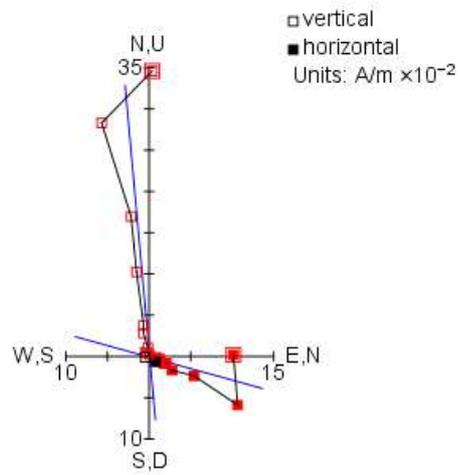


Neenach - 02

Type B

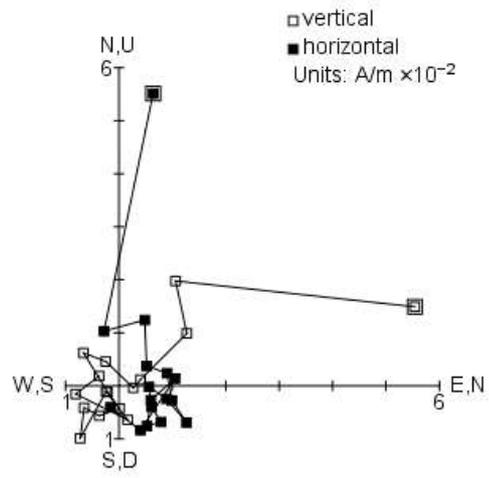
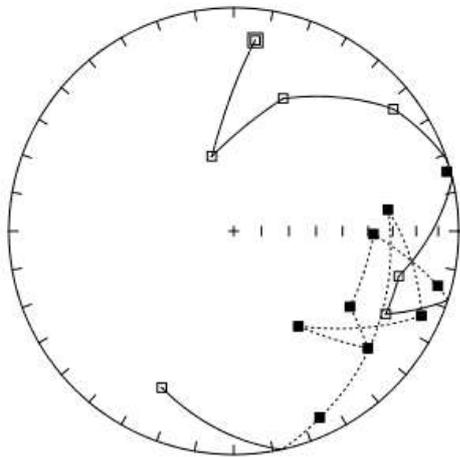


$D = 105.58^\circ$   
 $I = -71.45^\circ$   
 $\alpha_{95} = 6.03^\circ$

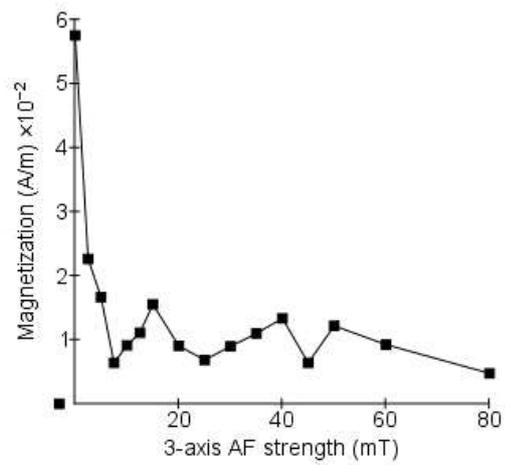


Neenach - 03

Type D

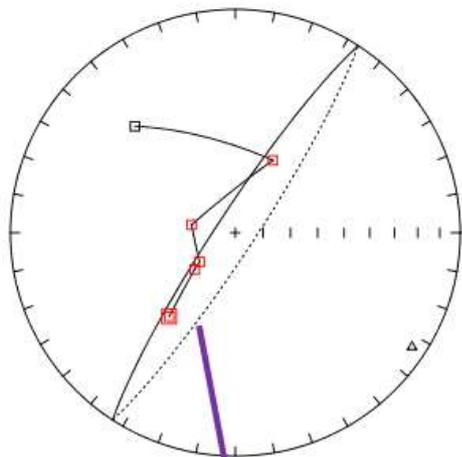


Unstable

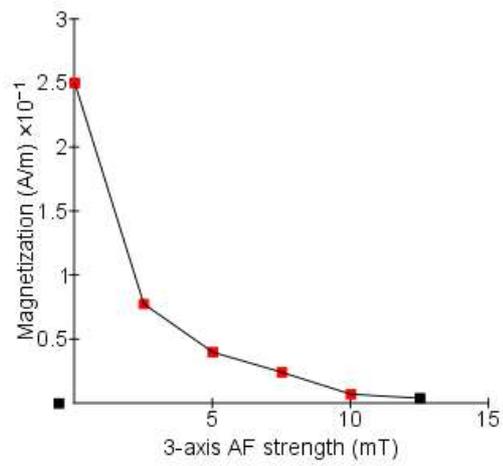
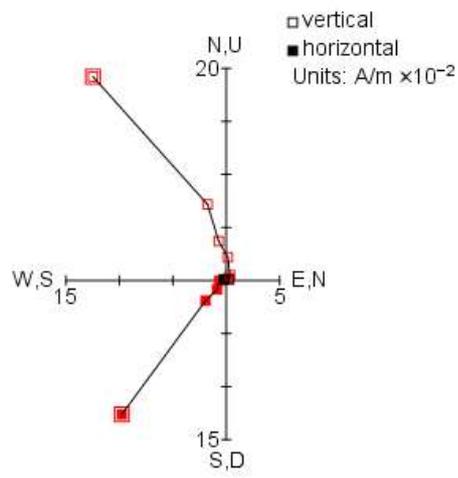


RKP 14001 - 01

Type C

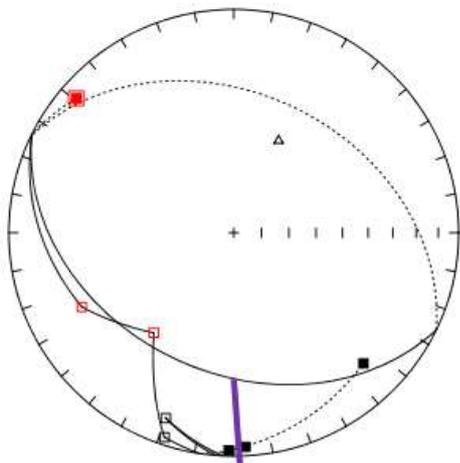


$D = 123.07^\circ$   
 $I = -6.99^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.67^\circ$

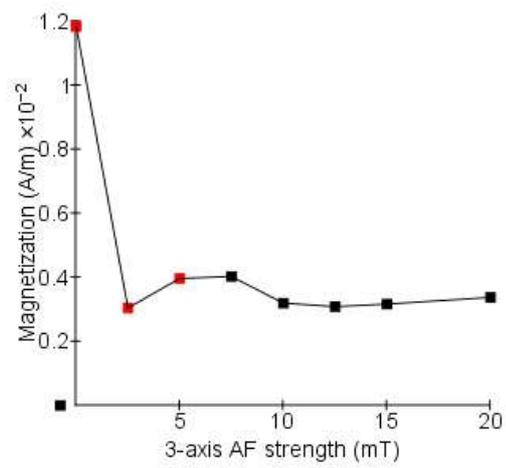
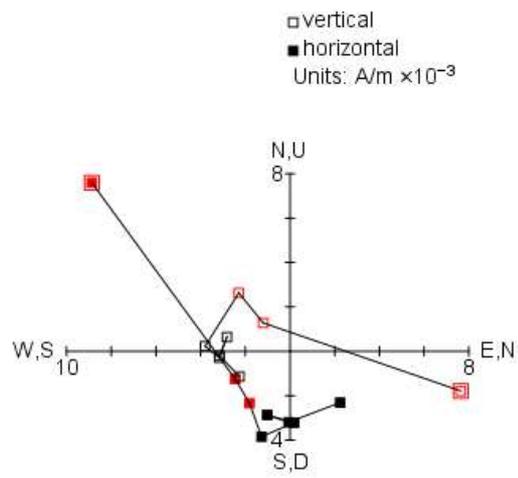


RKP 14001 - 02

Type B

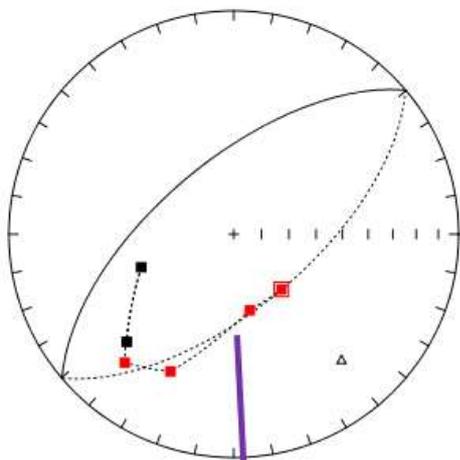


$D = 25.84^\circ$   
 $I = -52.21^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.21^\circ$

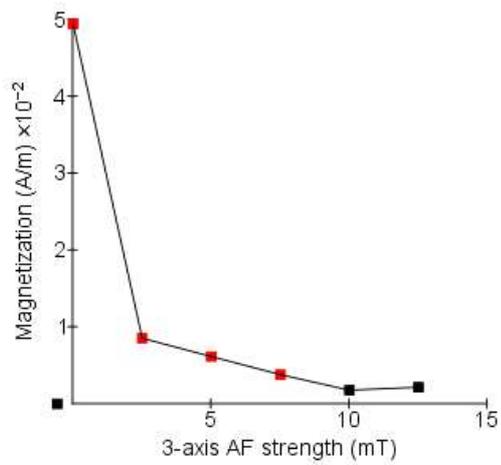
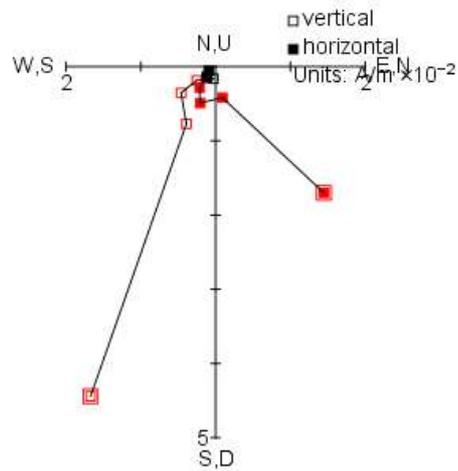


RKP 14001 - 03

Type B

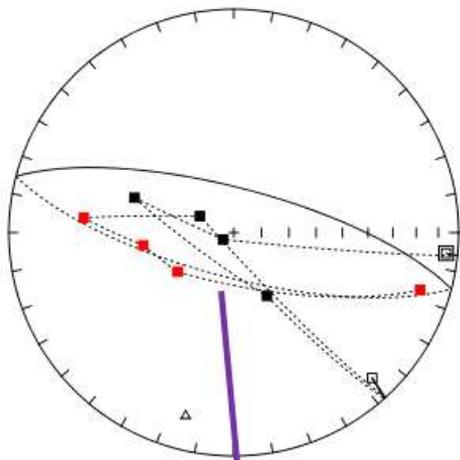


$D = 139.81^\circ$   
 $I = -26.72^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.18^\circ$



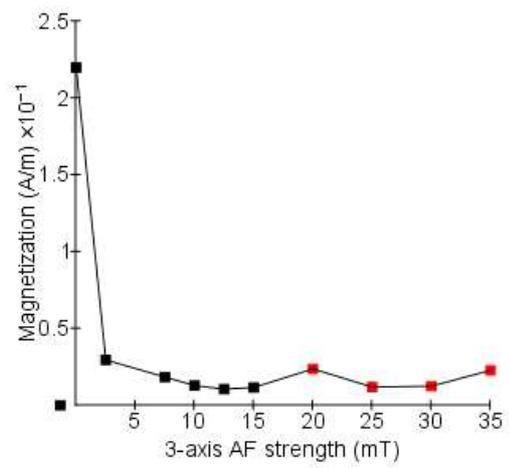
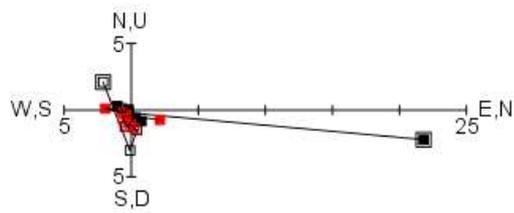
RKP 14003 - 01

Type A



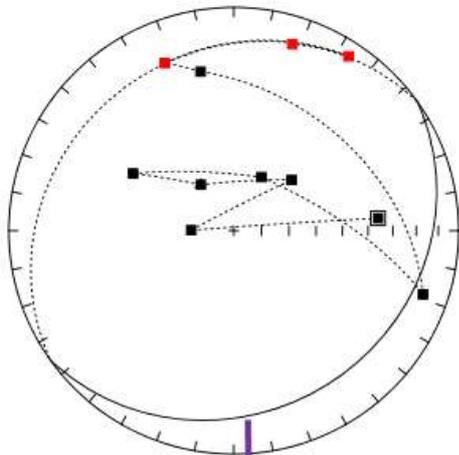
$D = 194.62^\circ$   
 $I = -16.32^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.8^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-2}$

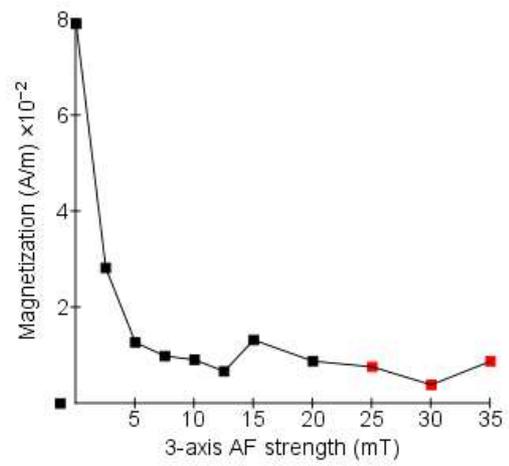
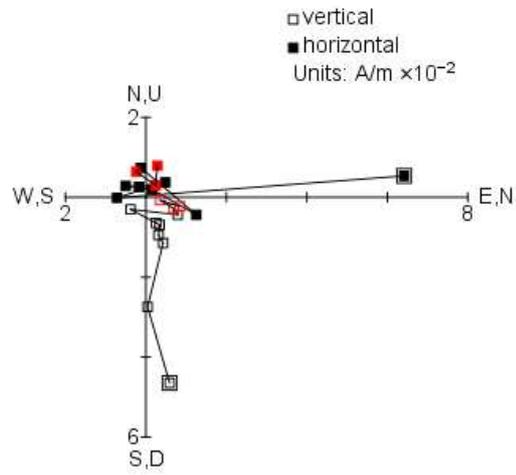


RKP 14003 - 02

Type A

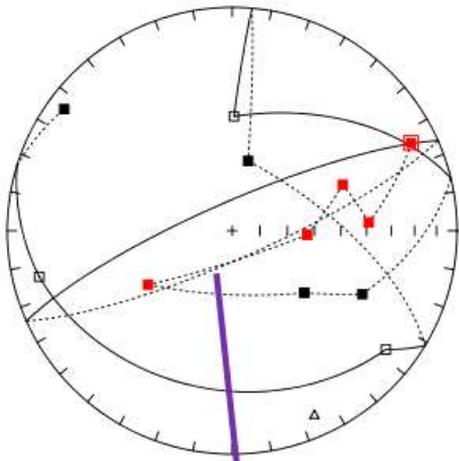


$D = 324.62^\circ$   
 $I = -69.3^\circ$   
 $\alpha_{95} = 1.21^\circ$

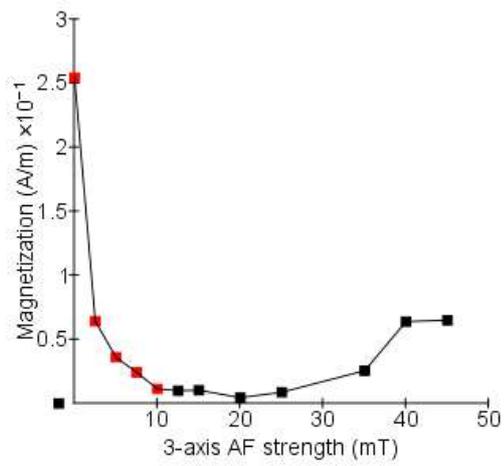
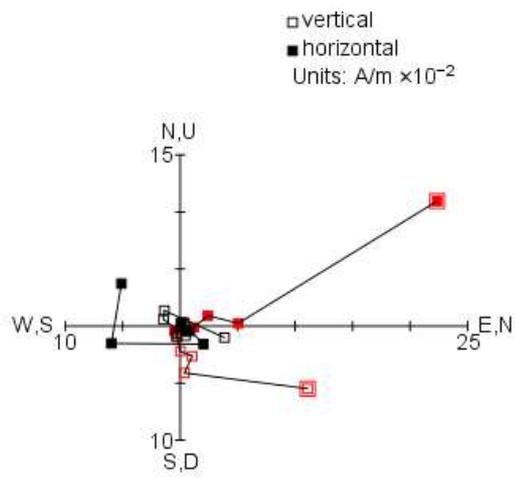


RKP 14003 - 03

Type C

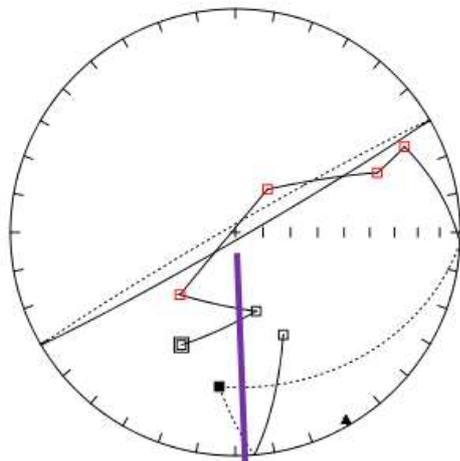


$D = 156.18^\circ$   
 $I = -10.41^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.25^\circ$

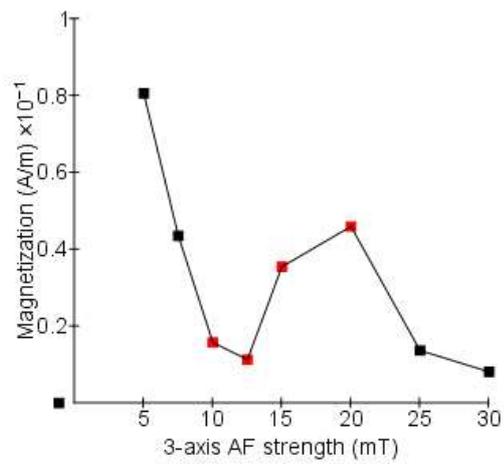
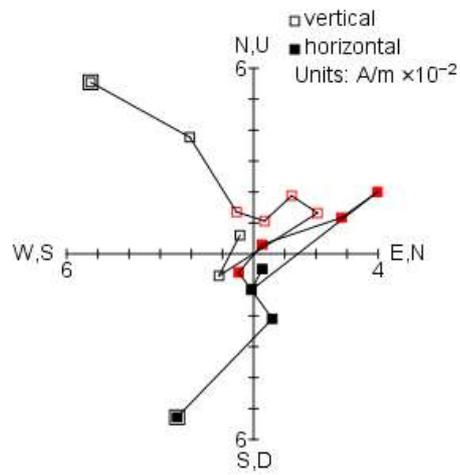


TIL 06001 - 01

Type C

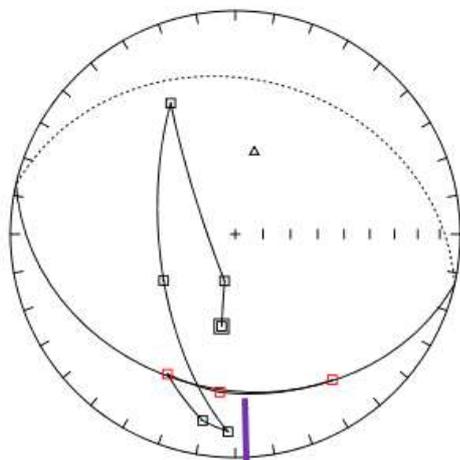


$D = 149.72^\circ$   
 $I = 2.58^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.73^\circ$

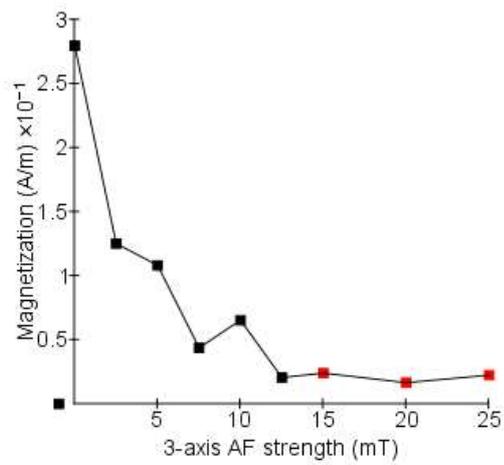
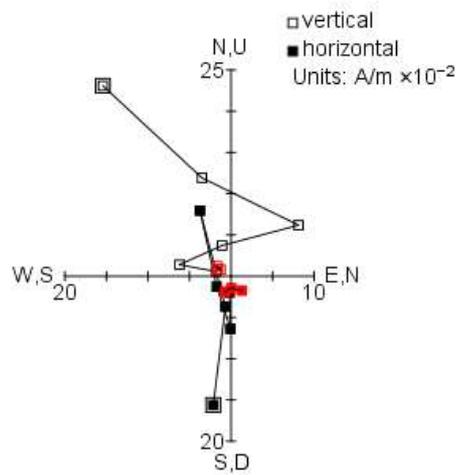


TIL 06001 - 02

Type A

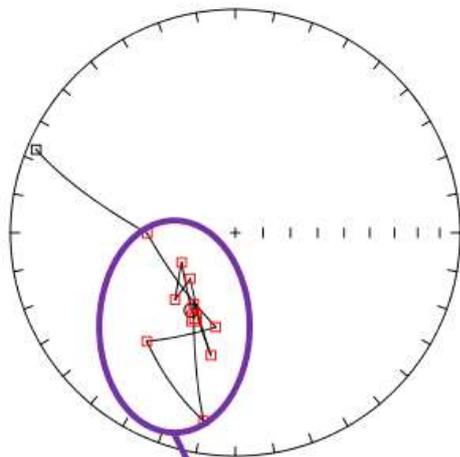


$D = 12.9^\circ$   
 $I = -59.04^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.29^\circ$

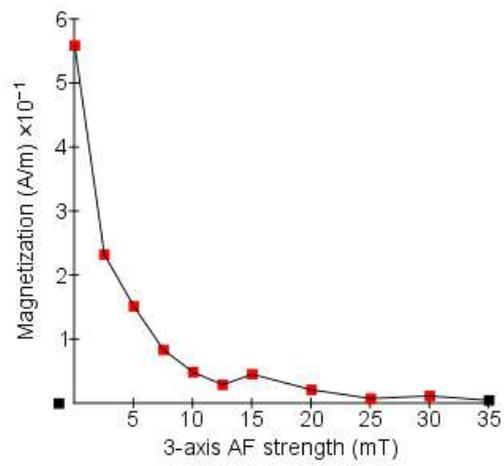
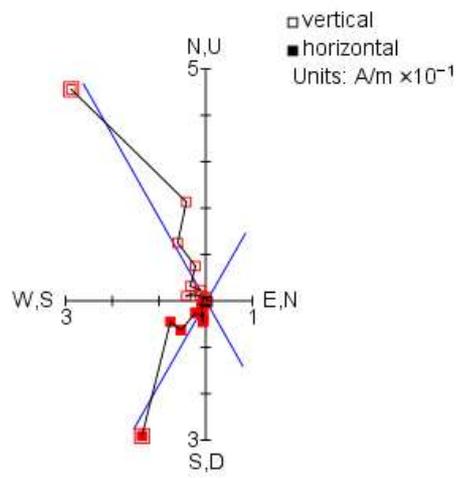


TIL 06001 - 03

Type B

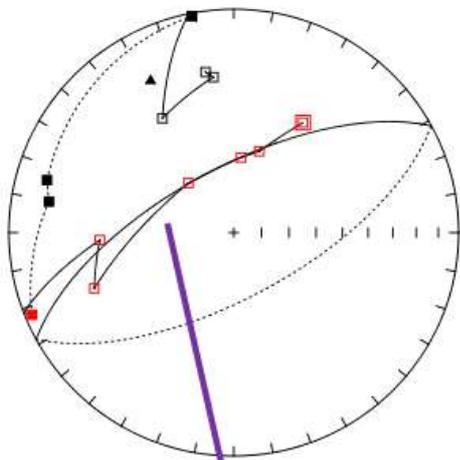


$D = 209.53^\circ$   
 $I = -57.21^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.99^\circ$

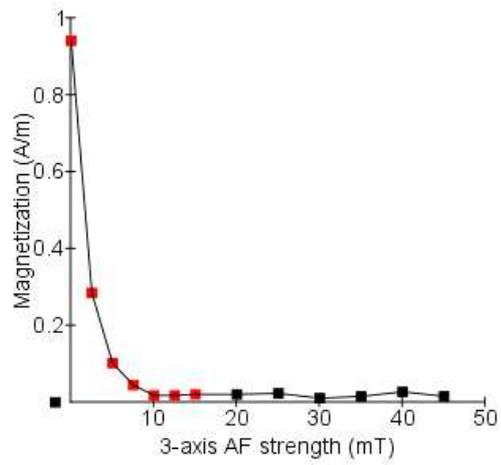
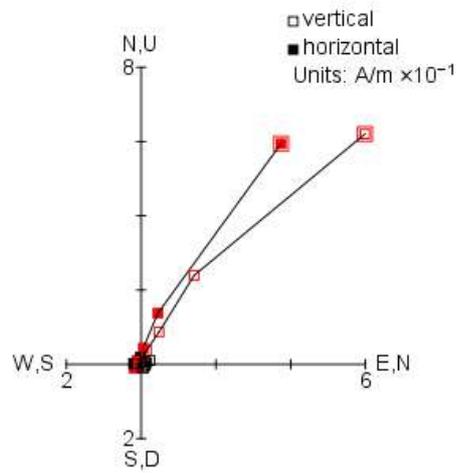


TIL 06001 - 04

Type B

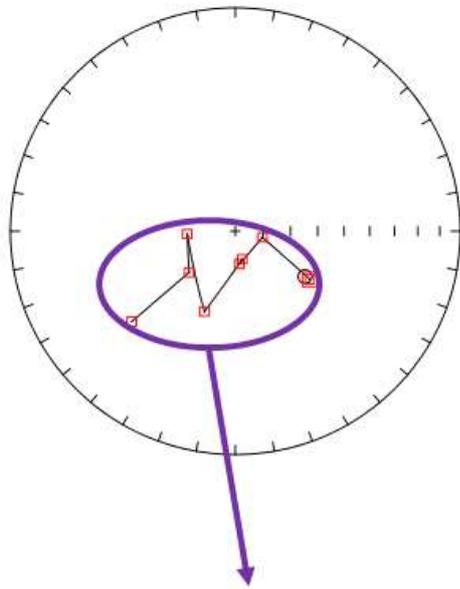


$D = 331.46^\circ$   
 $I = 23.63^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.82^\circ$

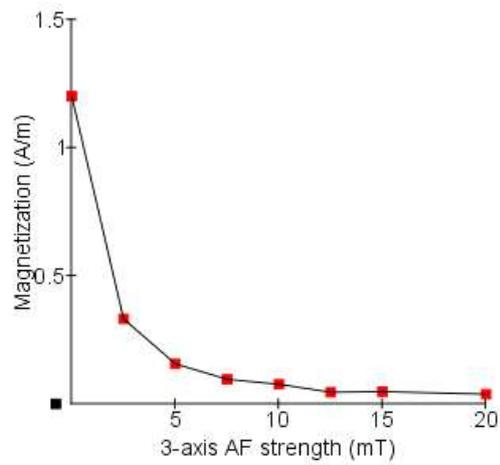
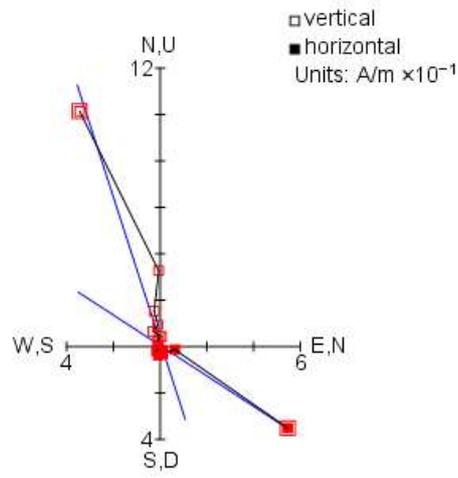


TIL 06001 - 05

Type B

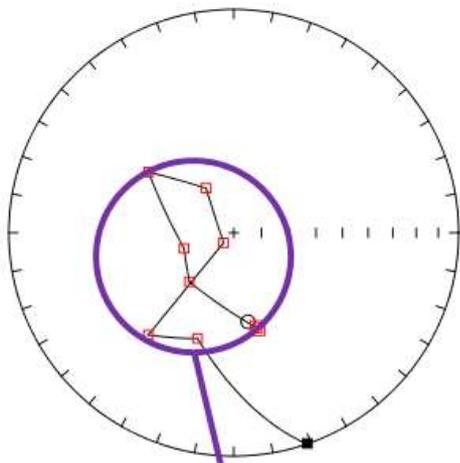


$D = 123.26^\circ$   
 $I = -59.67^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.5^\circ$

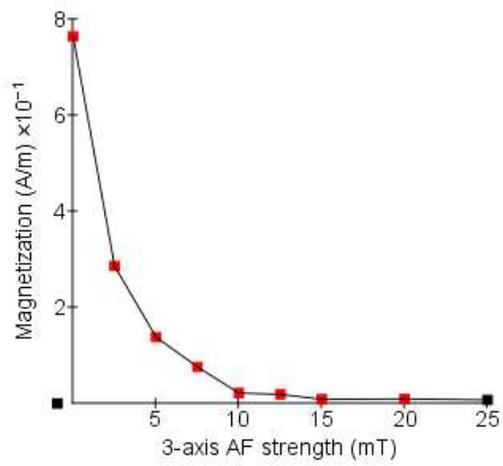
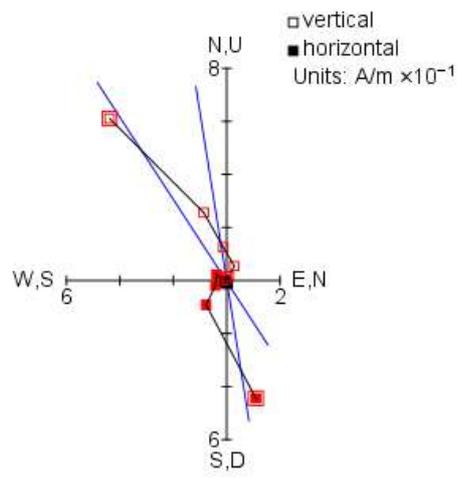


TIL 06001 - 06

Type C

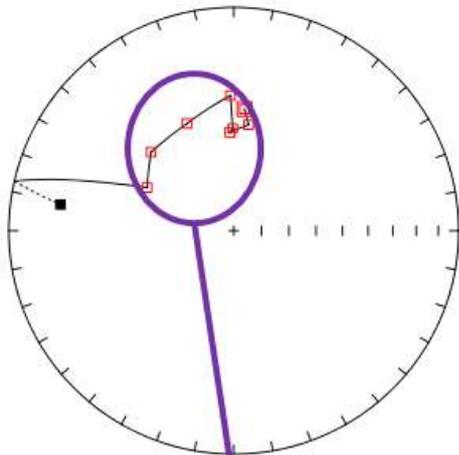


$D = 171.03^\circ$   
 $I = -56.83^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.9^\circ$

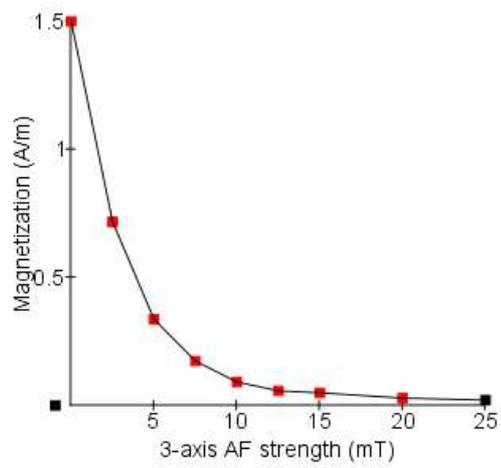
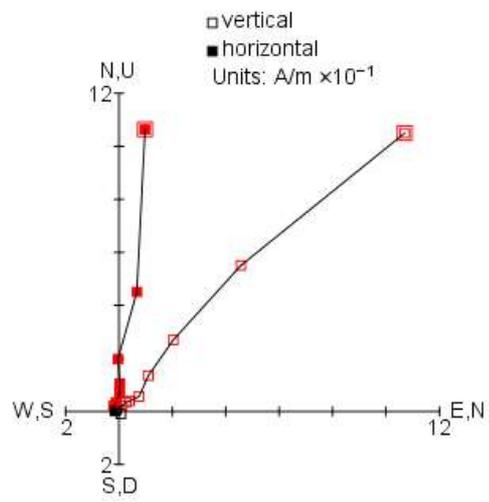


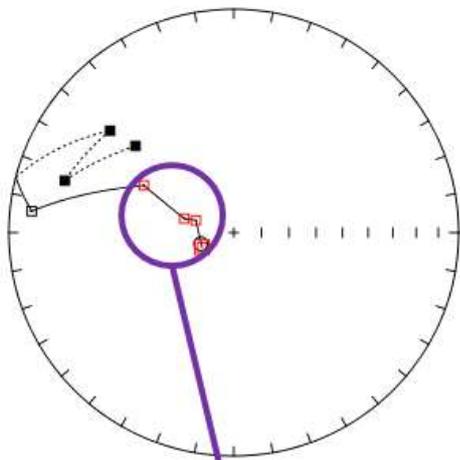
TIL 06001 - 07

Type A

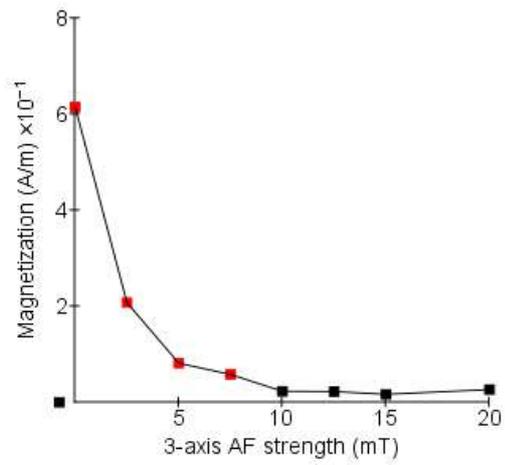
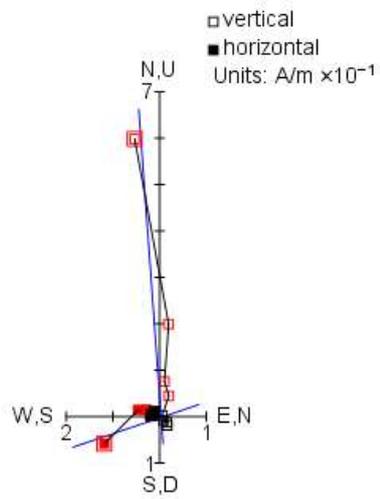


$D = 5.09^\circ$   
 $I = -45.99^\circ$   
 $\alpha_{95} = 3.36^\circ$



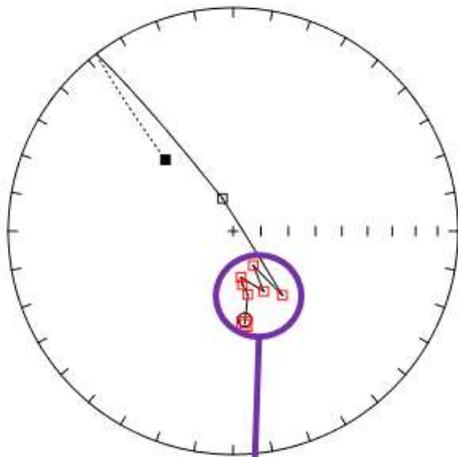


$D = 251.15^\circ$   
 $I = -77.43^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.14^\circ$

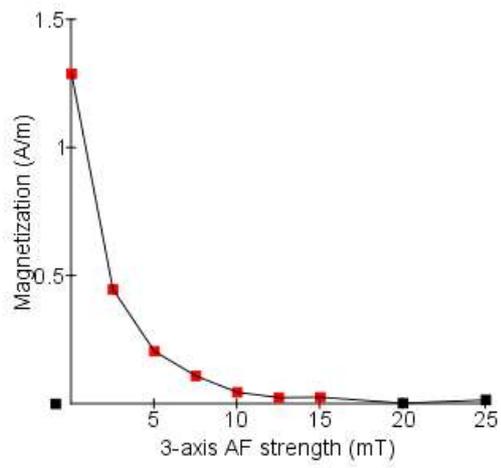
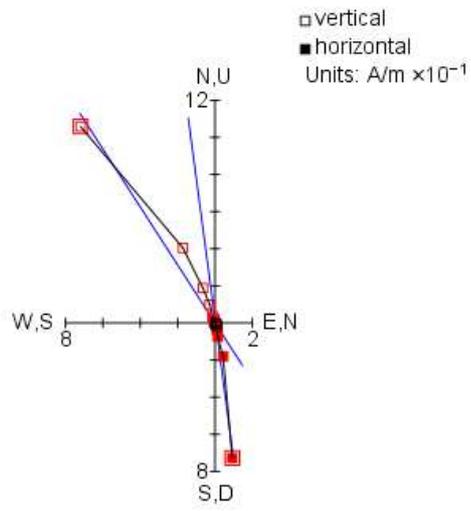


TIL 06001 - 09

Type A

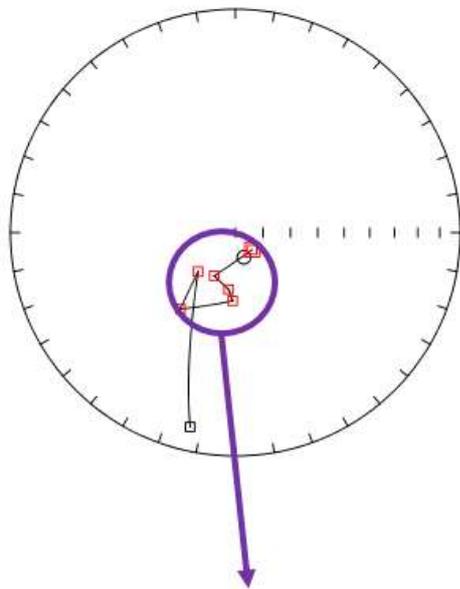


$D = 172.48^\circ$   
 $I = -57.14^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.13^\circ$

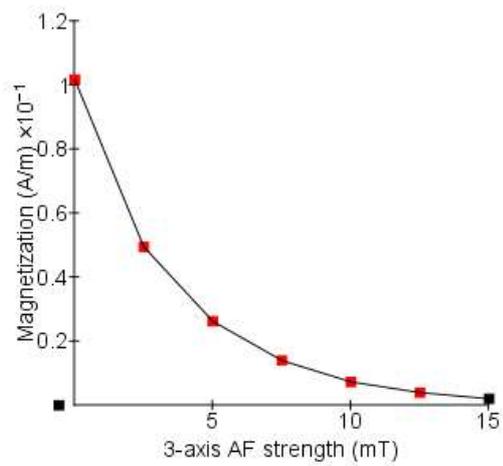
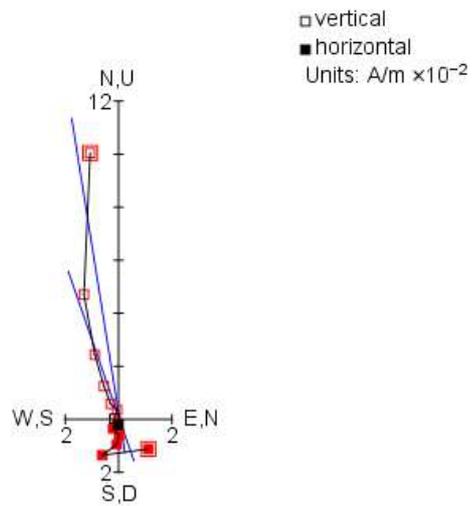


TIL 06002 - 01

Type B

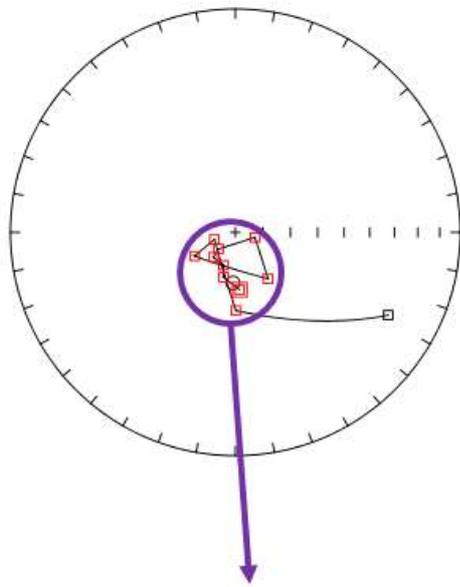


$D = 161.01^\circ$   
 $I = -80.51^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.49^\circ$

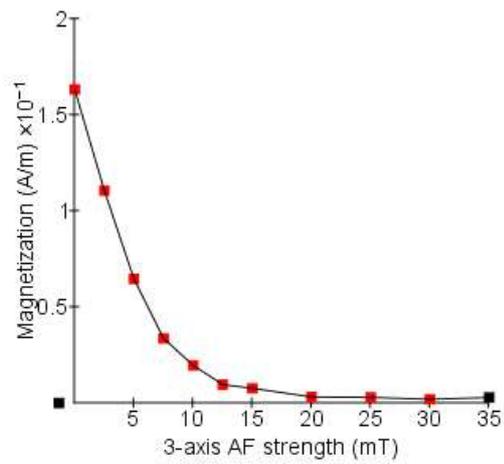
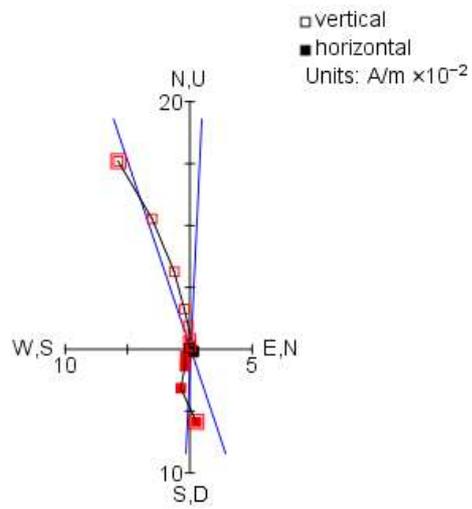


TIL 06002 - 02

Type A

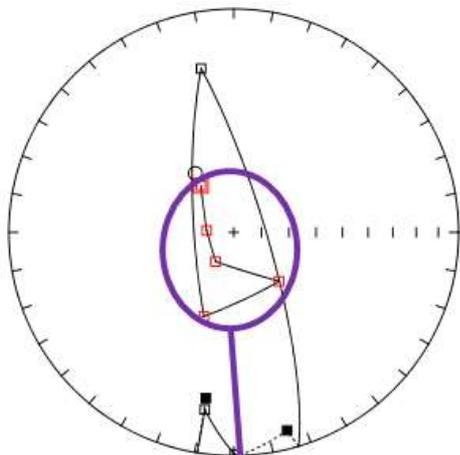


$D = 182.69^\circ$   
 $I = -71.57^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.71^\circ$

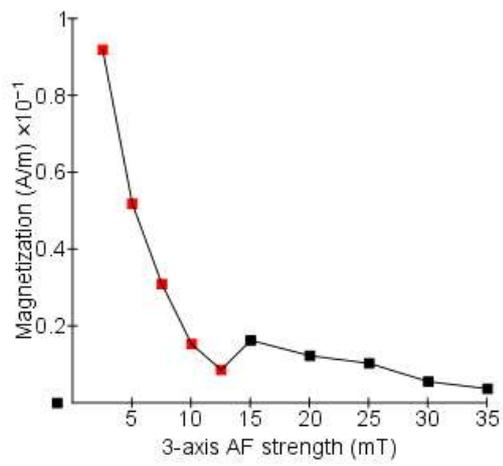
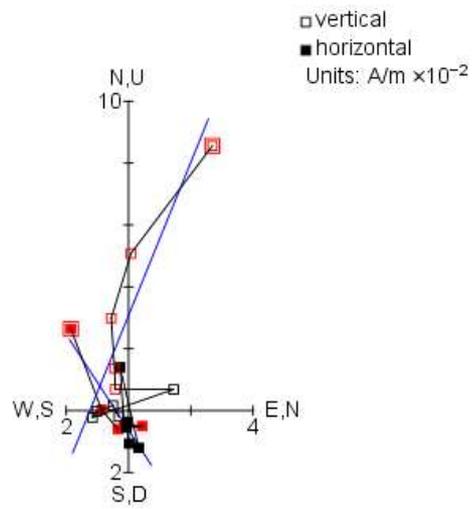


TIL 06002 - 03

Type B

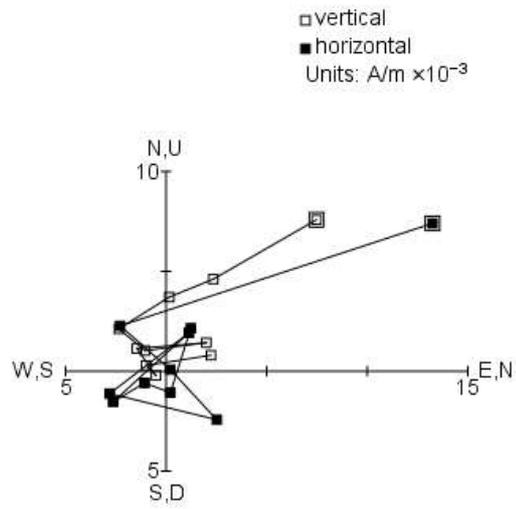
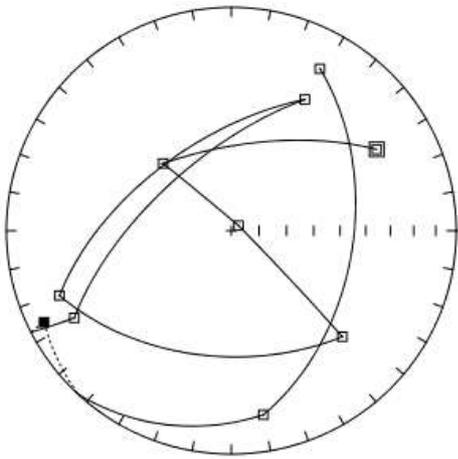


$D = 327.08^\circ$   
 $I = -64.32^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.68^\circ$

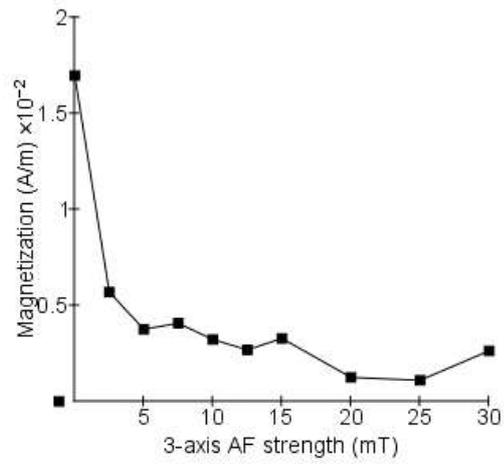


TIL 06003 - 01

Type D

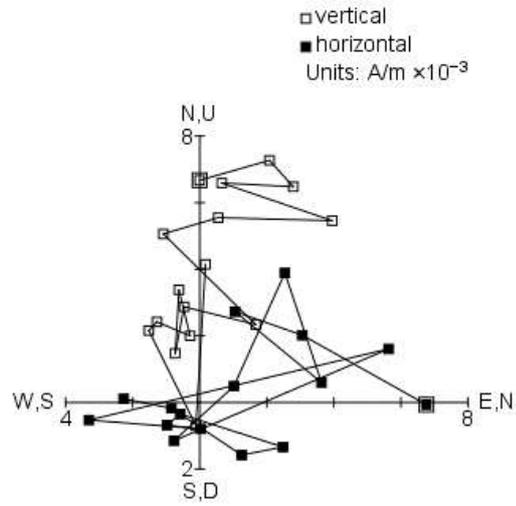
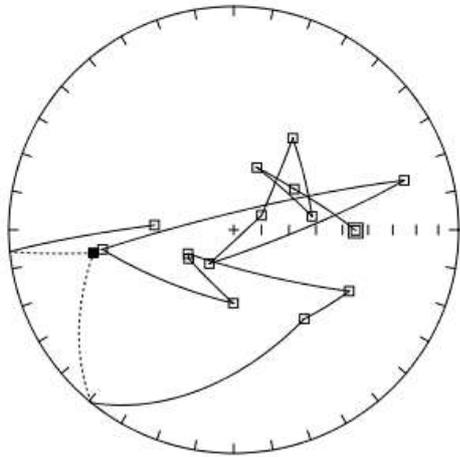


Unstable

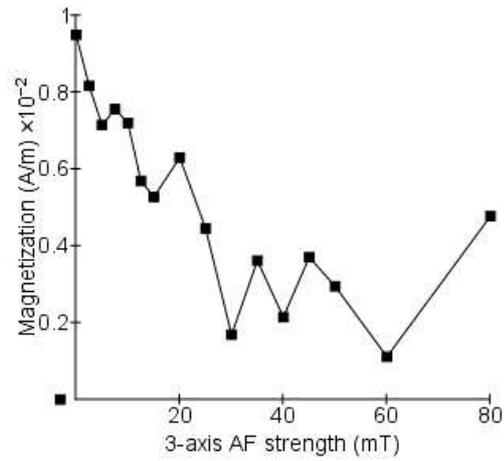


TIL 06003 - 02

Type D

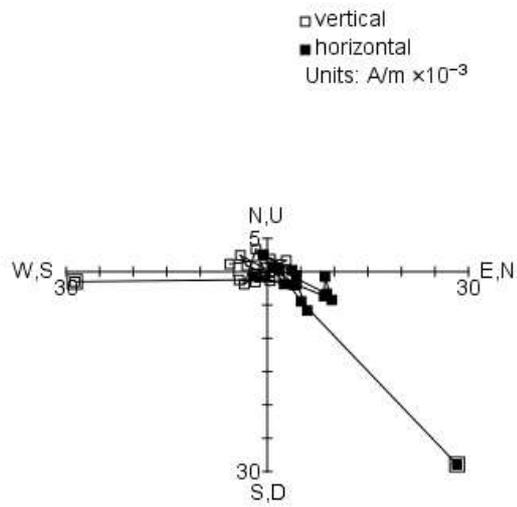
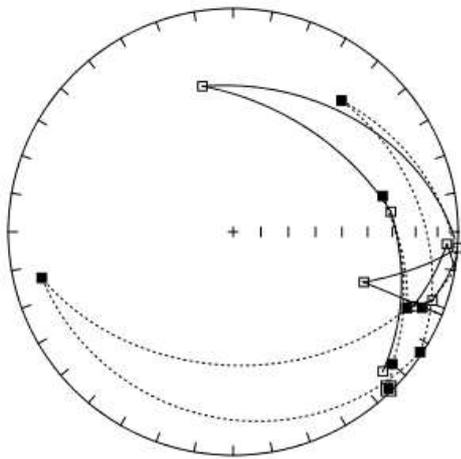


Unstable

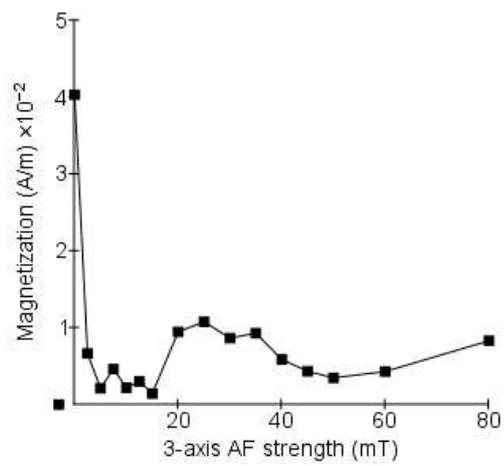


TIL 06003 - 03

Type D

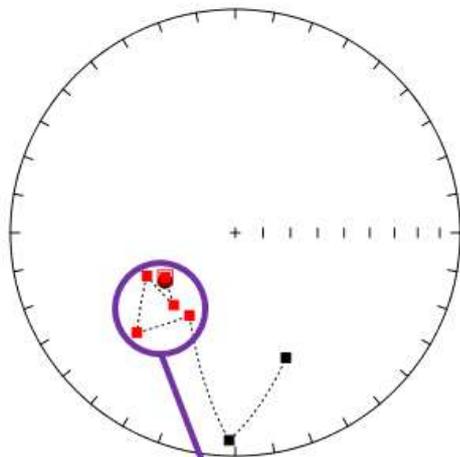


Unstable

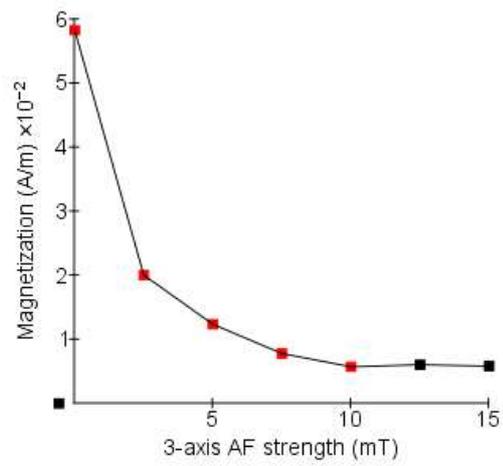
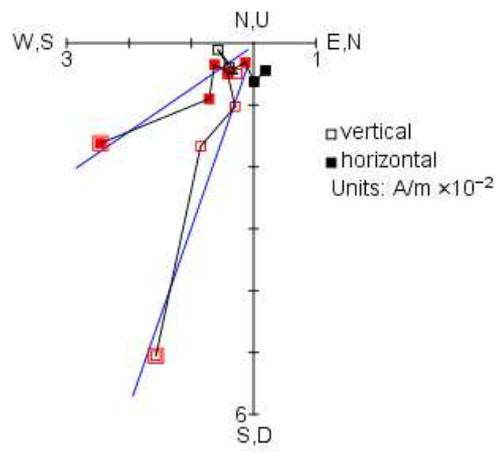


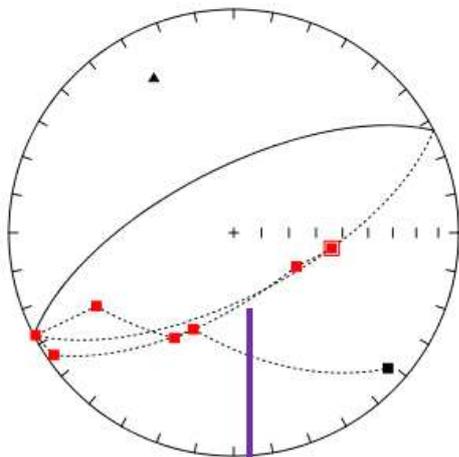
TIL 06004 - 01

Type A

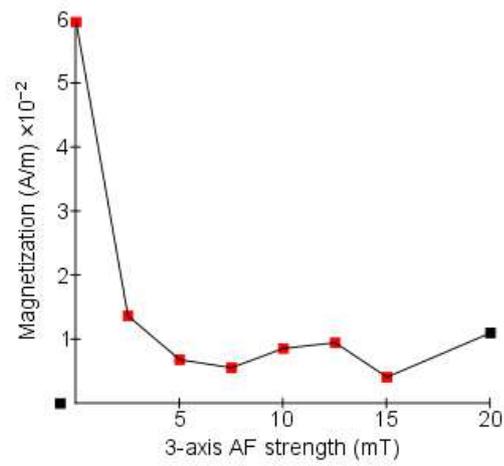
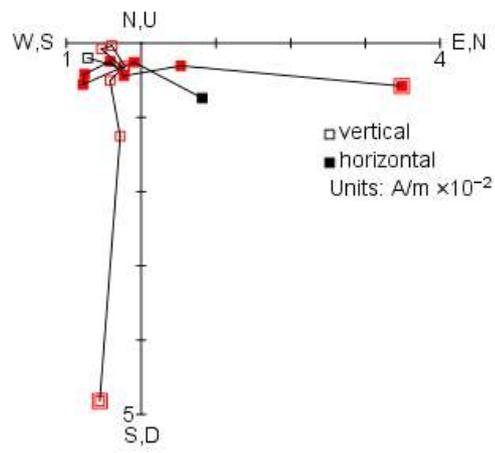


$D = 235.24^\circ$   
 $I = 58.76^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.48^\circ$



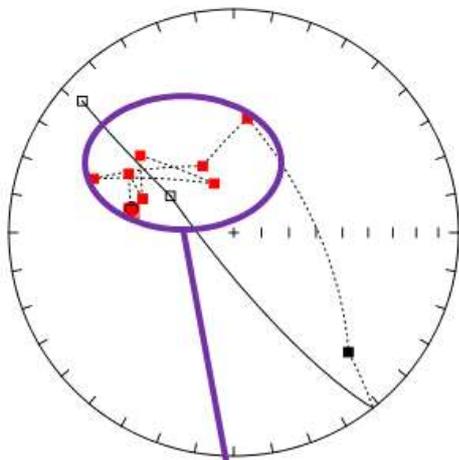


$D = 332.74^\circ$   
 $I = 23.51^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.34^\circ$

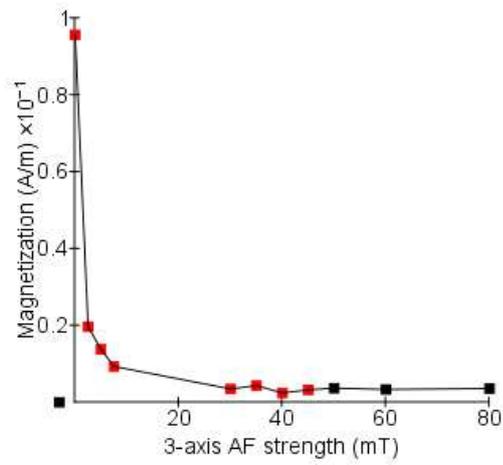
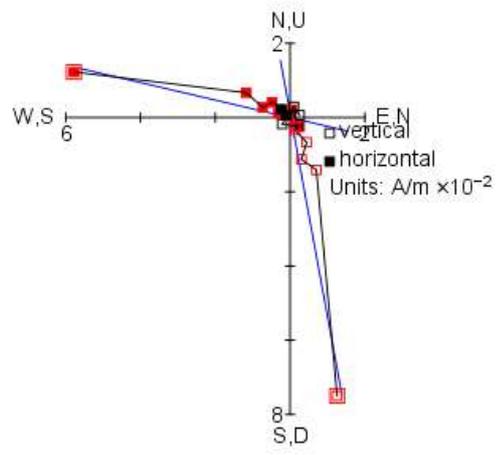


TIL 06004 - 03

Type A

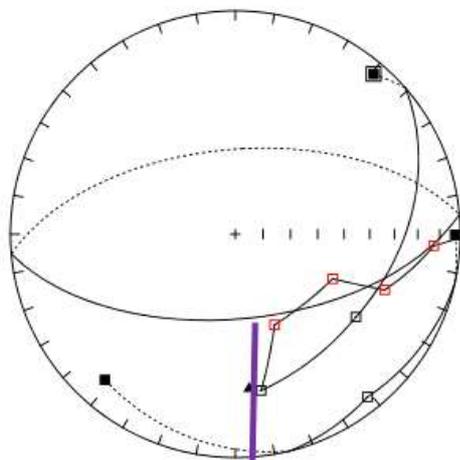


$D = 280.61^\circ$   
 $I = 51.26^\circ$   
 $\alpha_{95} = 3.15^\circ$

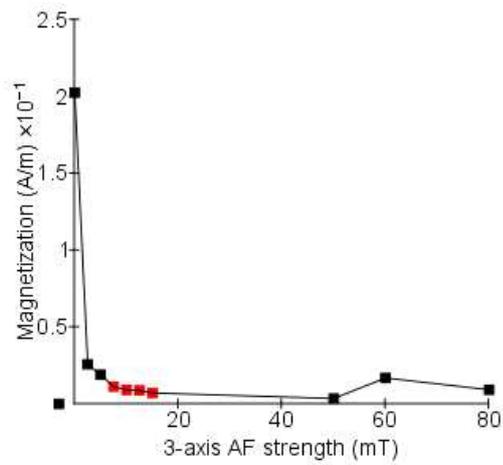
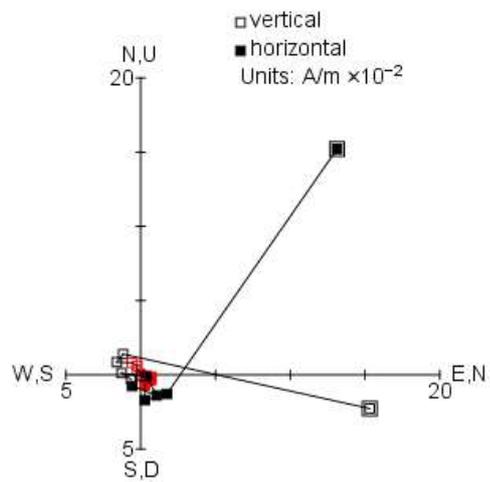


TIL 06005 - 01

Type C

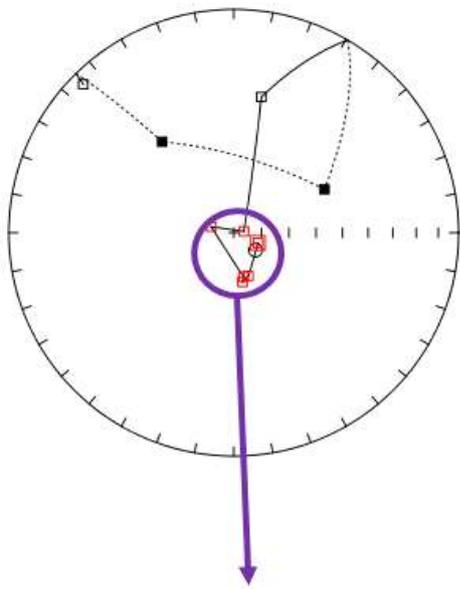


$D = 174.94^\circ$   
 $I = 31.16^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.49^\circ$

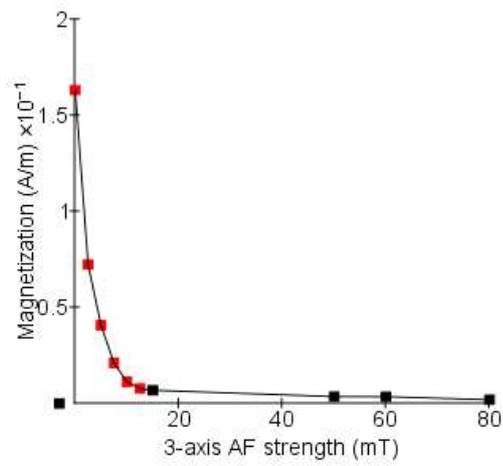
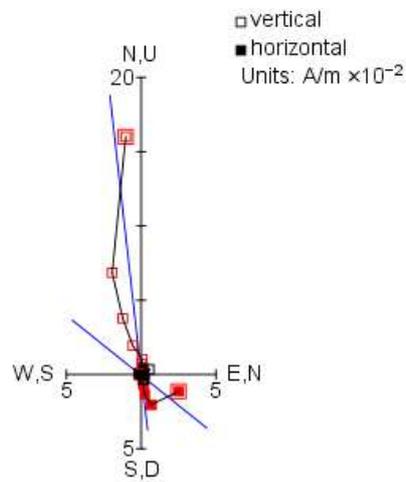


TIL 06005 - 02

Type B

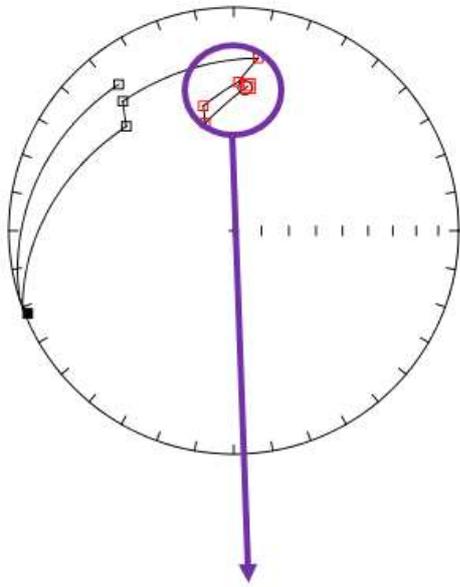


$D = 128.92^\circ$   
 $I = -79.91^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.51^\circ$

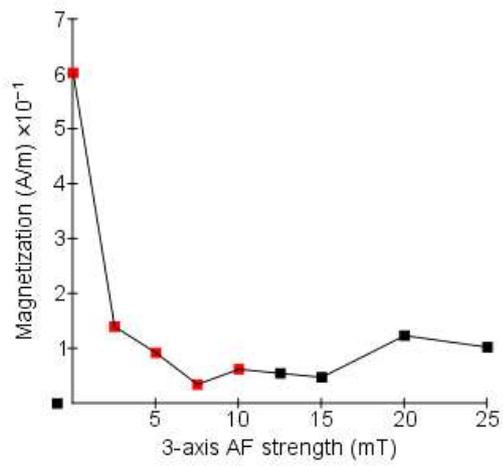
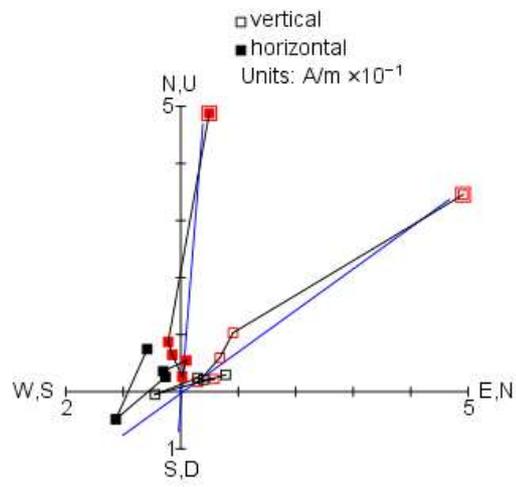


TIL 07001 - 01

Type B

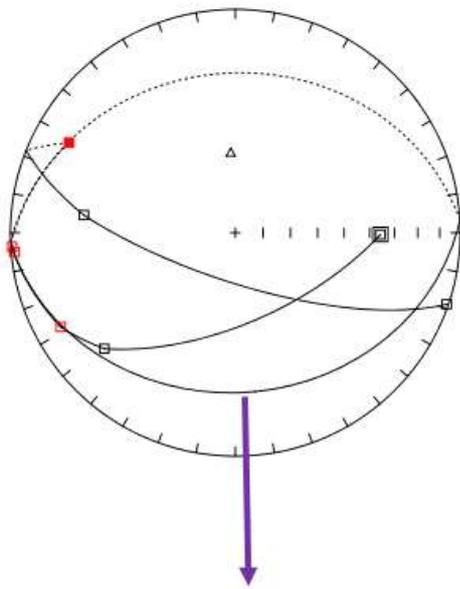


$D = 4.49^\circ$   
 $I = -35.94^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.01^\circ$

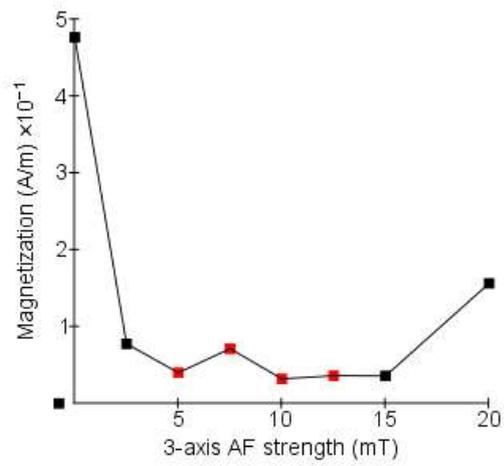
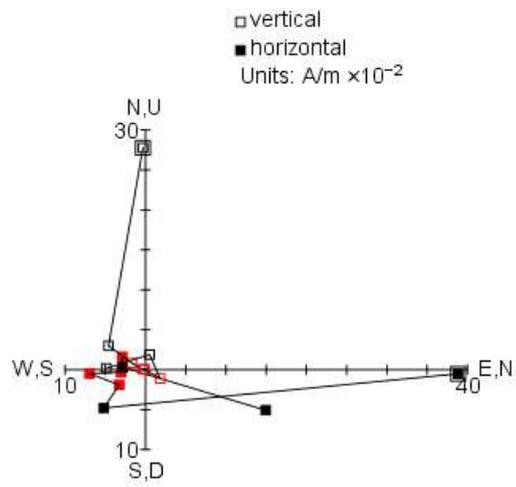


TIL 07001 - 02

Type A

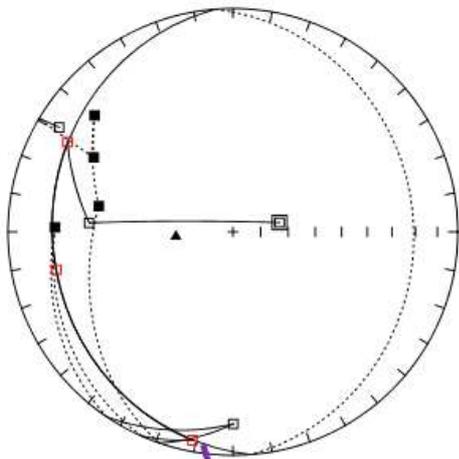


$D = 356.74^\circ$   
 $I = -60.855^\circ$   
 $\alpha_{95} = 1.44^\circ$

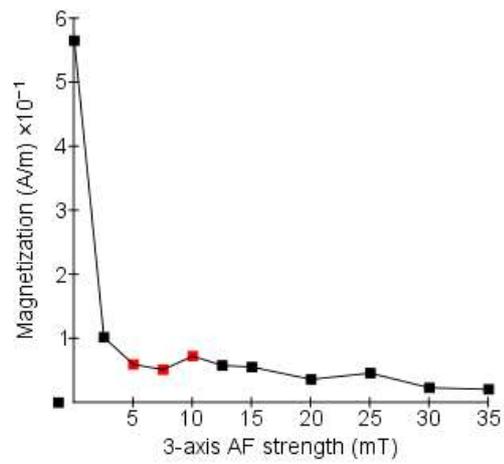
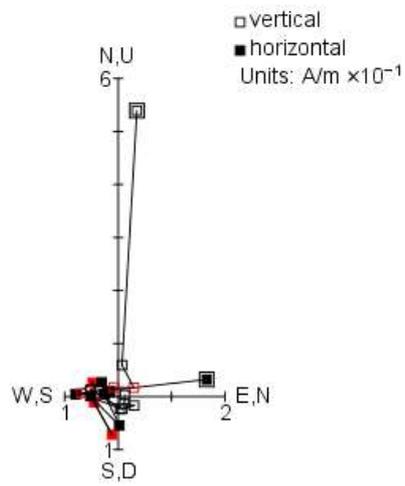


TIL 07001 - 03

Type A

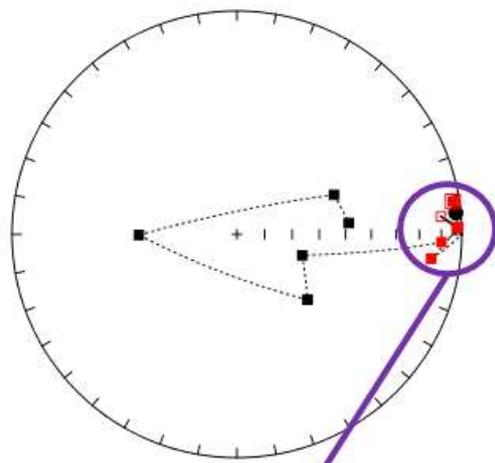


$D = 265.4^\circ$   
 $I = 69.28^\circ$   
 $\alpha_{95} = 0.45^\circ$



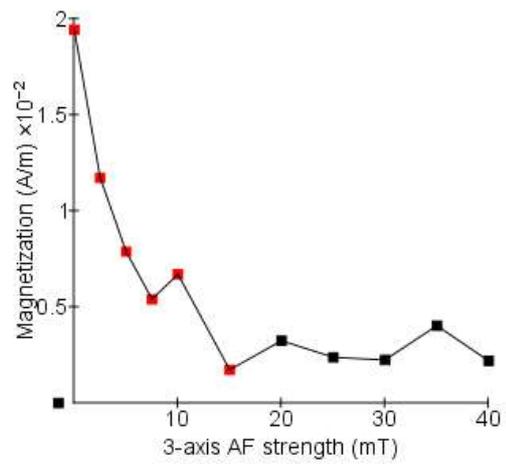
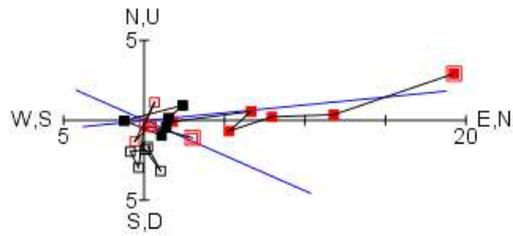
TIL 07002 - 01

Type B



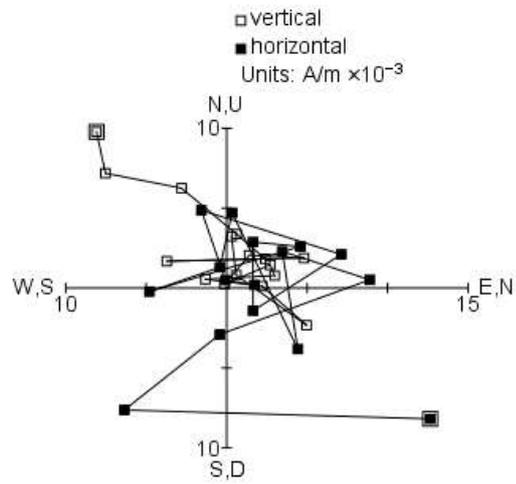
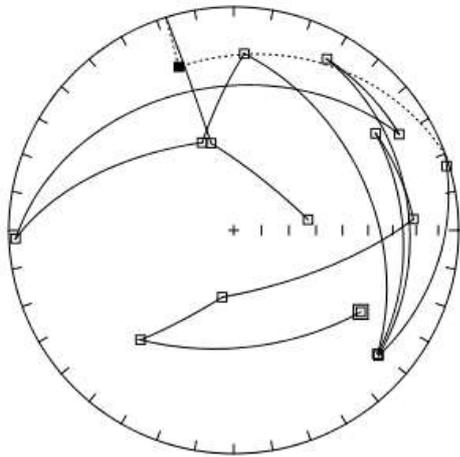
$D = 84.39^\circ$   
 $I = 2.49^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.82^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units:  $A/m \times 10^{-3}$

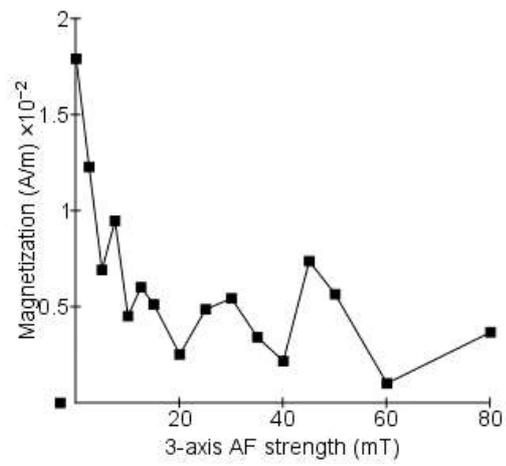


TIL 07002 - 02

Type D

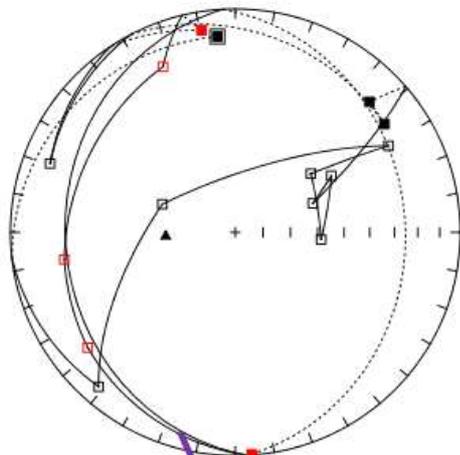


Unstable

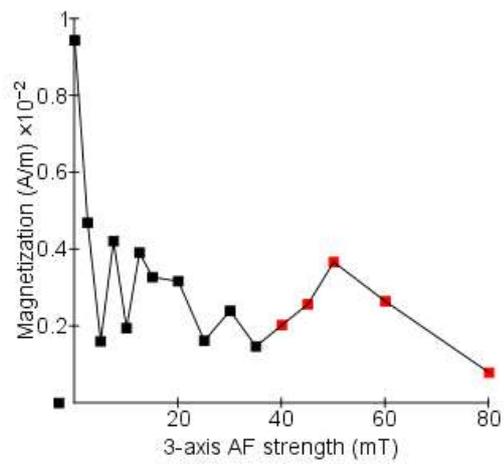
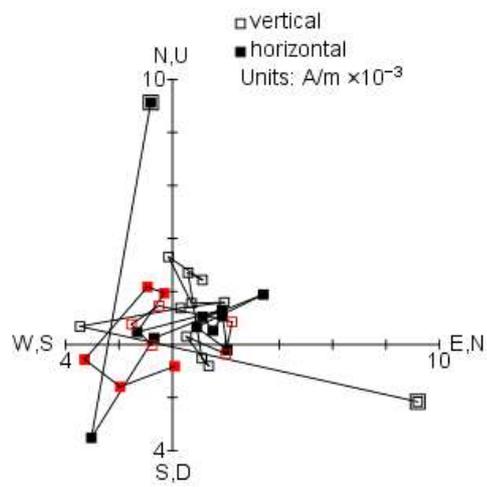


TIL 07002 - 03

Type C

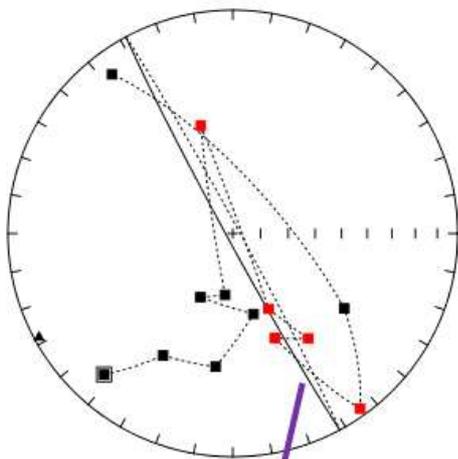


$D = 266.84^\circ$   
 $I = 64.67^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.86^\circ$

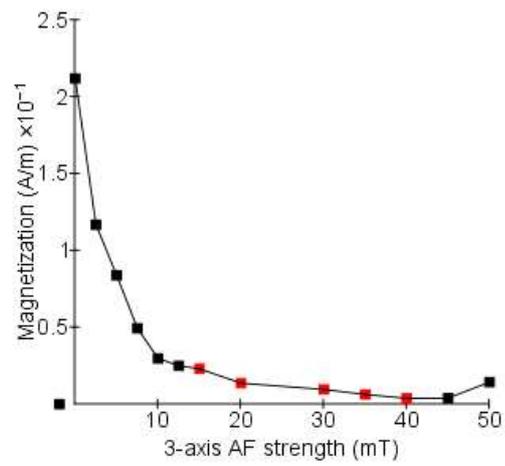
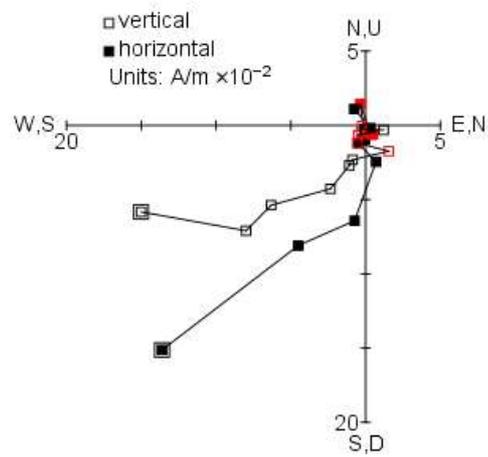


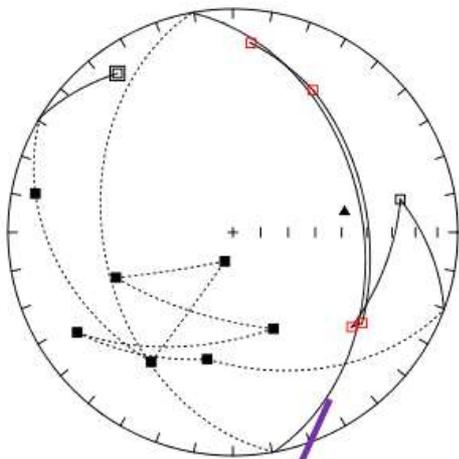
TIL 07004 - 01

Type C

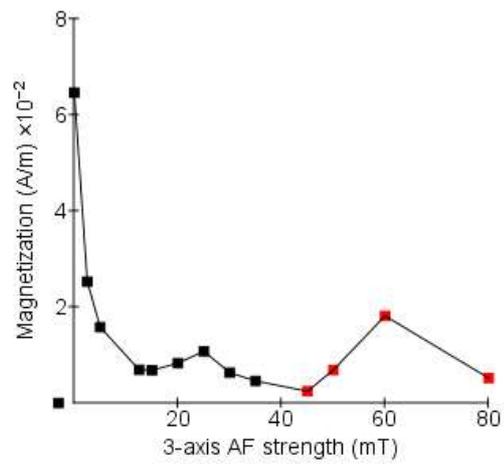
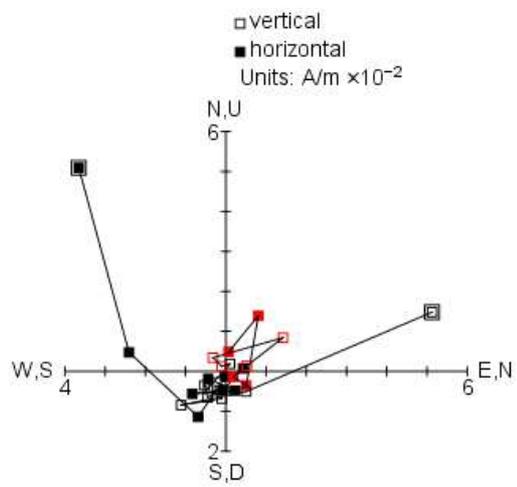


$D = 241.62^\circ$   
 $I = 2.33^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.08^\circ$



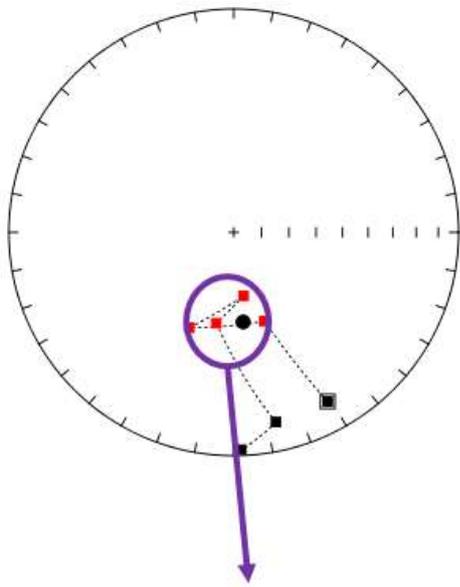


$D = 79.5^\circ$   
 $I = 48.2^\circ$   
 $\alpha_{95} = 3.52^\circ$

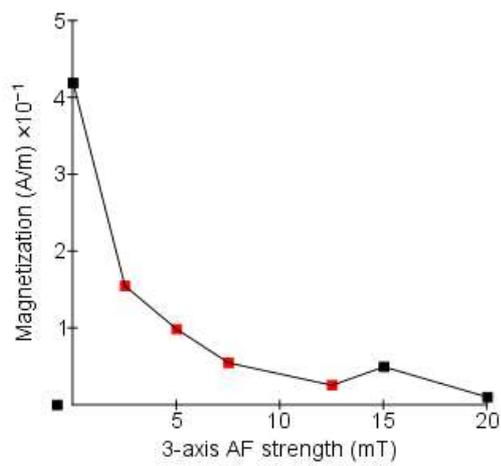
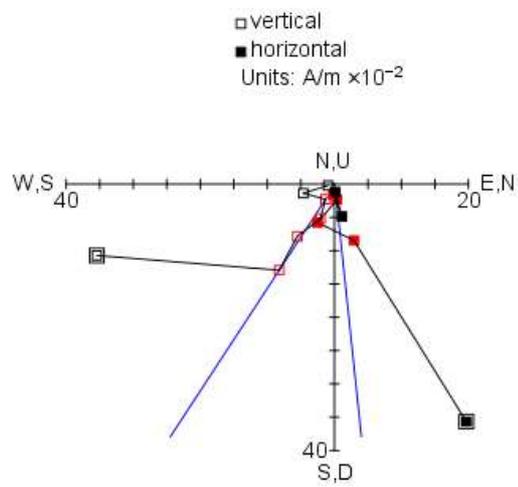


TIL 07004 - 03

Type C

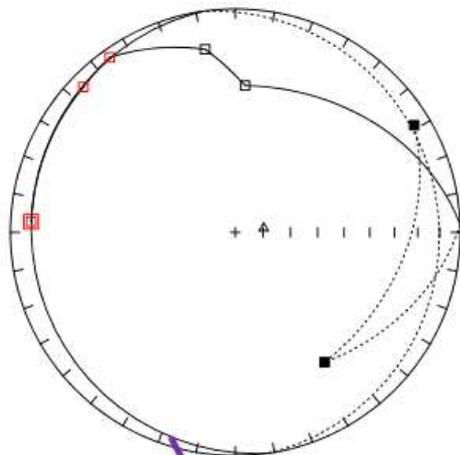


$D = 174.03^\circ$   
 $I = 56.84^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.52^\circ$



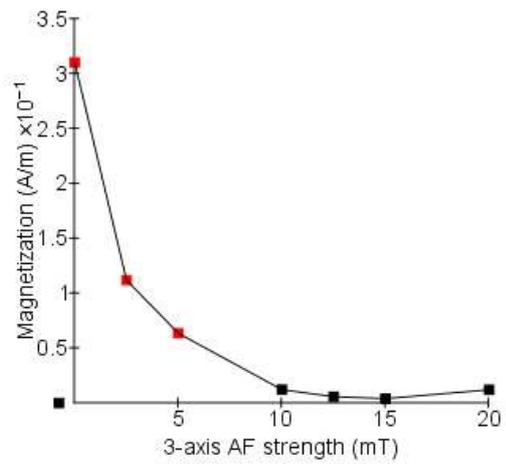
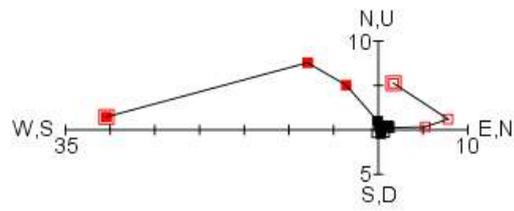
TIL 07005 - 01

Type A



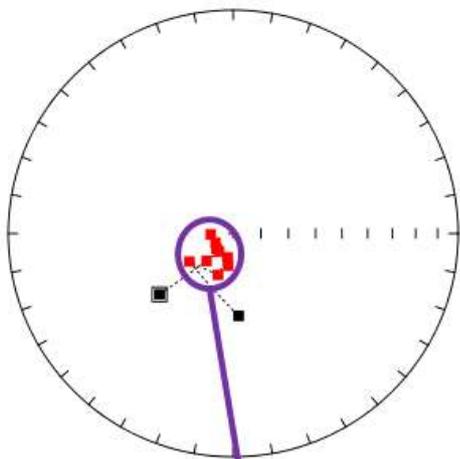
$D = 81.63^\circ$   
 $I = -79.67^\circ$   
 $\alpha_{95} = 1.18^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-2}$

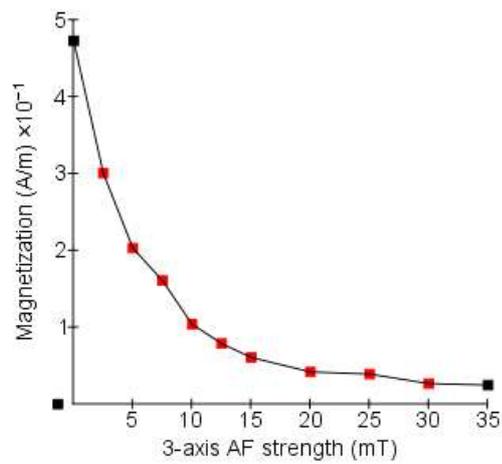
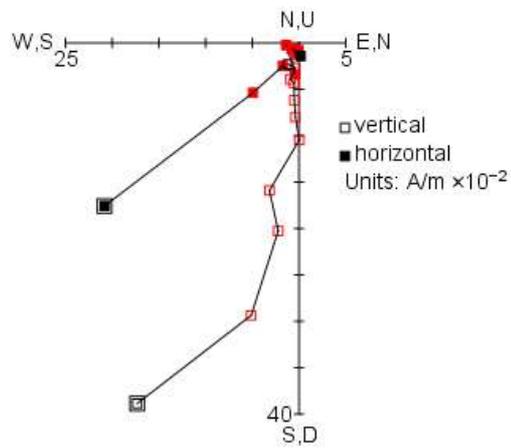


TIL 07005 - 02

Type A

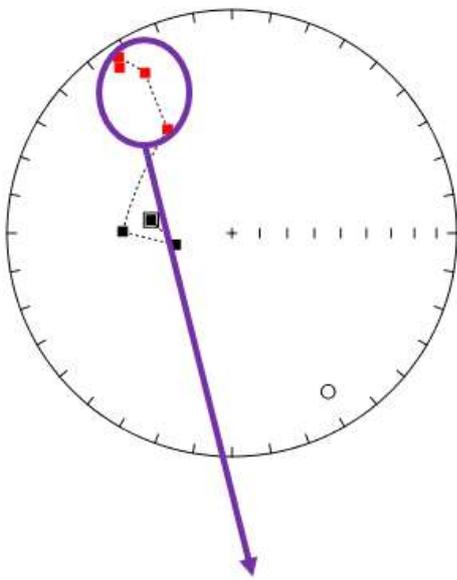


$D = 219.39^\circ$   
 $I = 78.77^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.36^\circ$

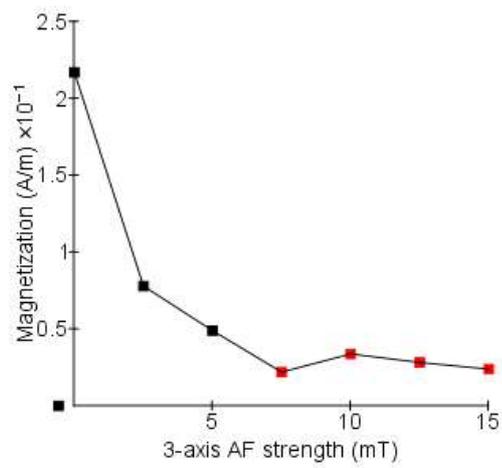
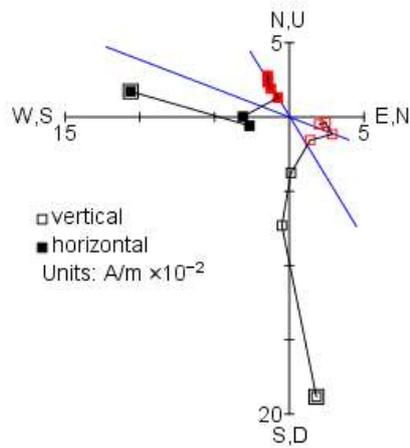


TIL 07005 - 03

Type C

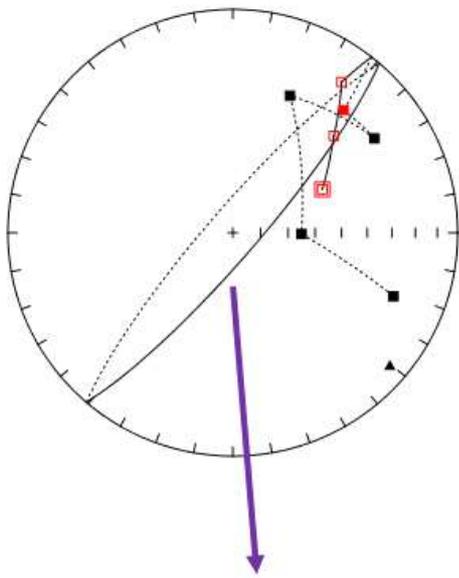


$D = 148.93^\circ$   
 $I = -18.3^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.37^\circ$

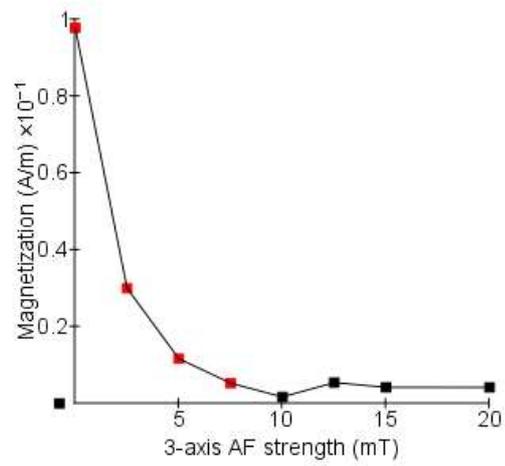
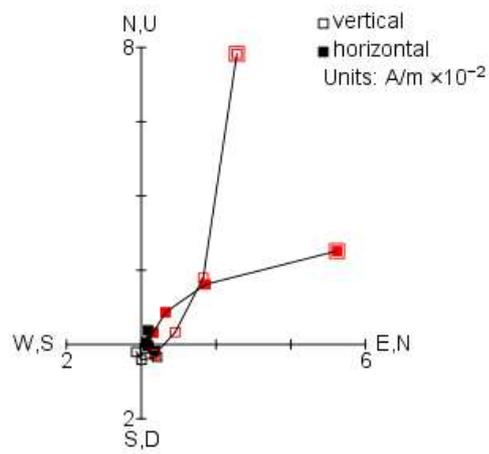


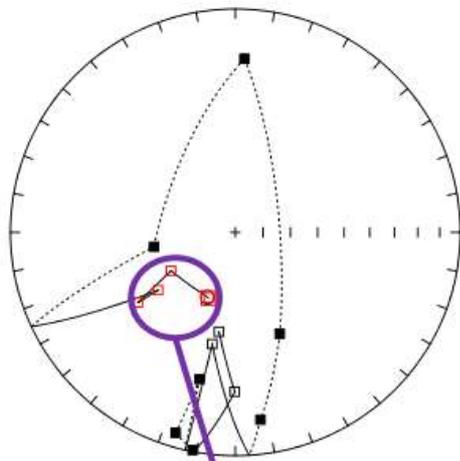
TIL 07006 - 01

Type C

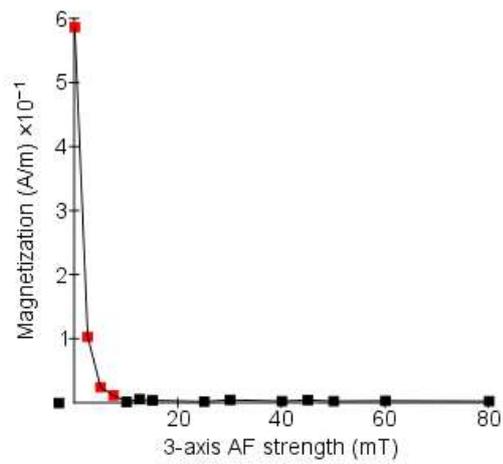
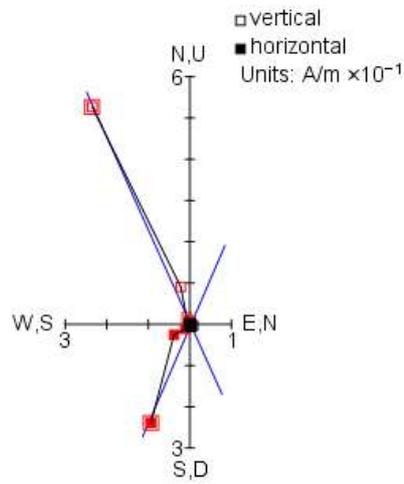


$D = 130.63^\circ$   
 $I = 8.85^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.82^\circ$



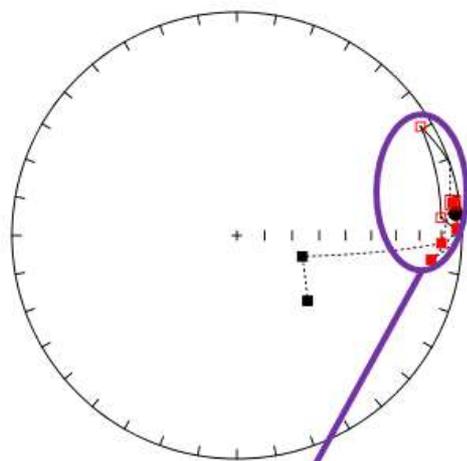


$D = 203.14^\circ$   
 $I = -64.17^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.95^\circ$



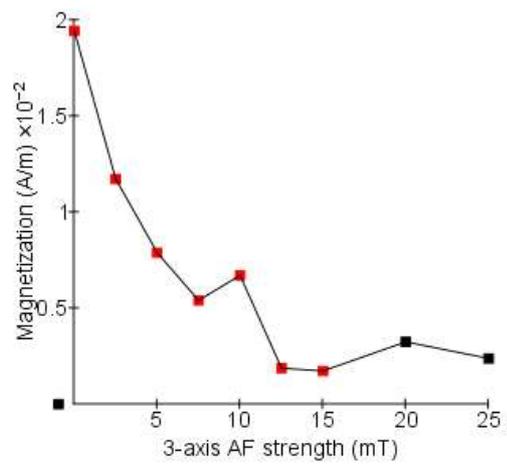
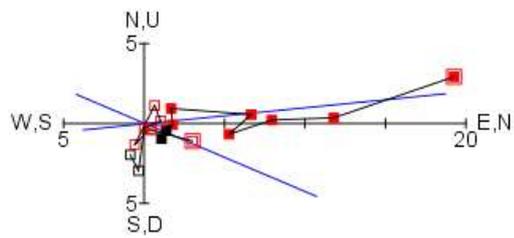
TIL 07006 - 03

Type B



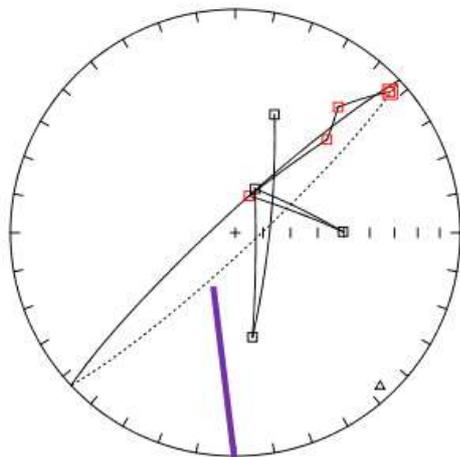
$D = 84.26^\circ$   
 $I = 2.45^\circ$   
 $\alpha_{95} = 6.1^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units:  $A/m \times 10^{-3}$

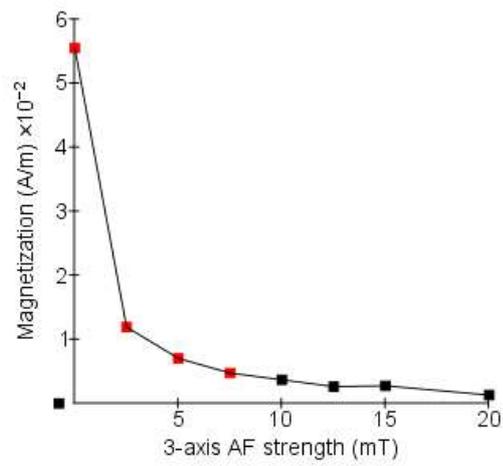
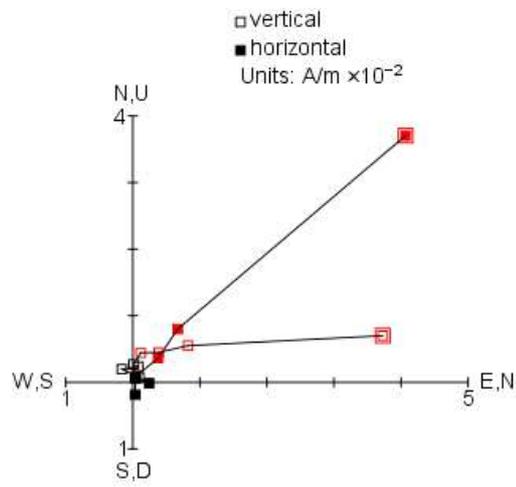


TIL 07010 - 01

Type B

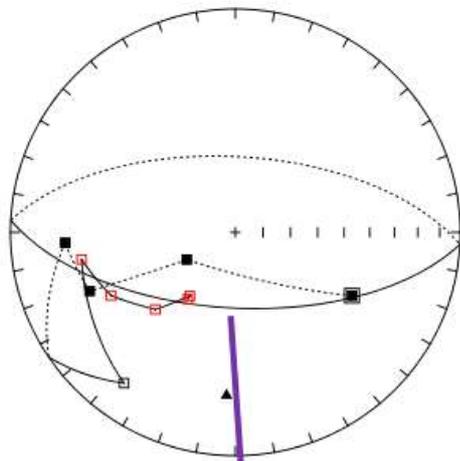


$D = 136.88^\circ$   
 $I = -6.53^\circ$   
 $\alpha_{95} = 6.11^\circ$

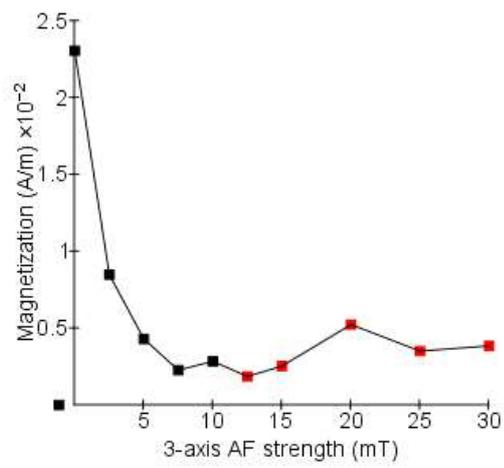
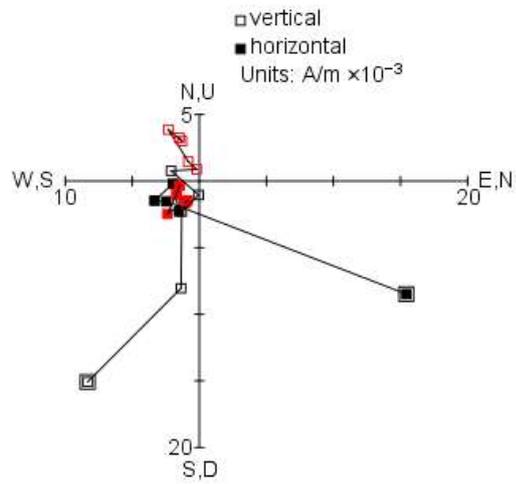


TIL 07010 - 02

Type C

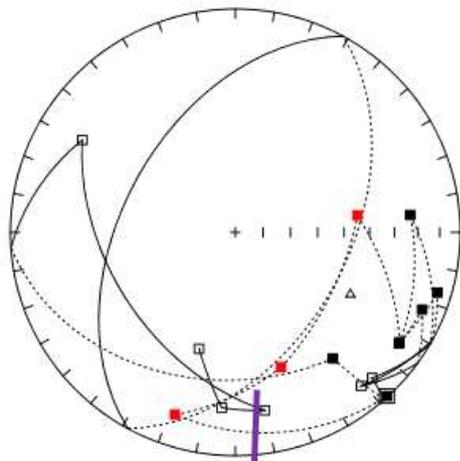


$D = 183.08^\circ$   
 $I = 27.76^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.67^\circ$

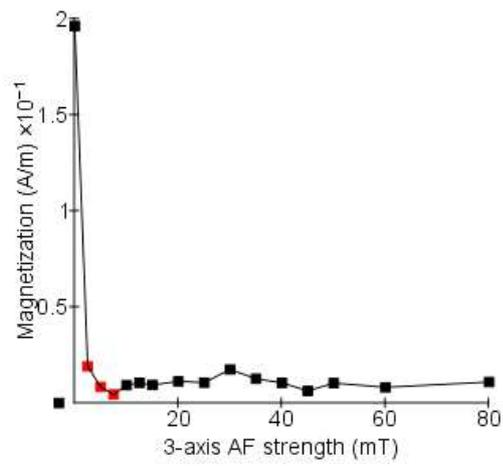
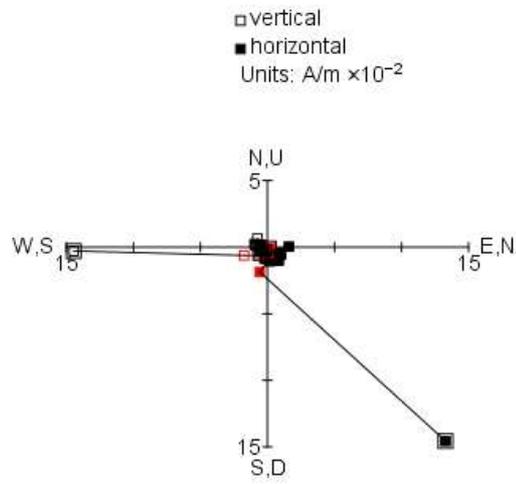


TIL 07010 - 03

Type B

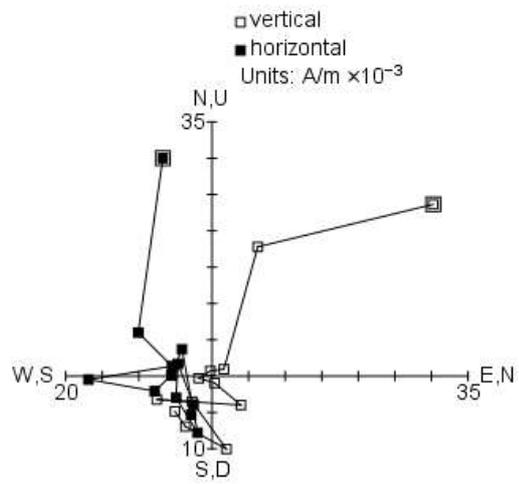
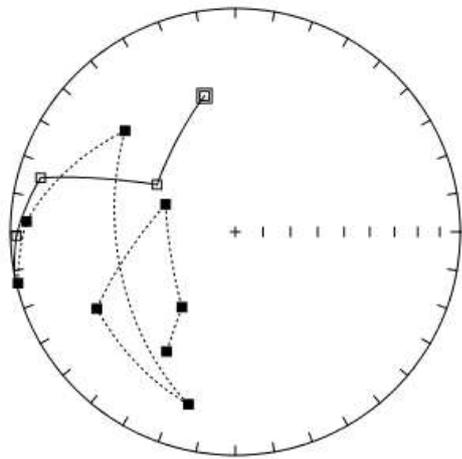


$D = 118.54^\circ$   
 $I = -41.38^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.04^\circ$

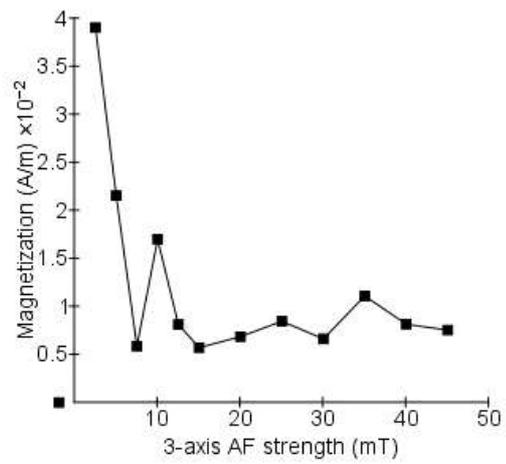


TIL 07011 - 01

Type D

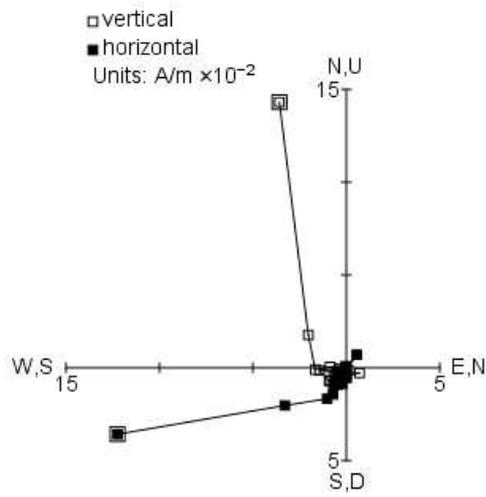
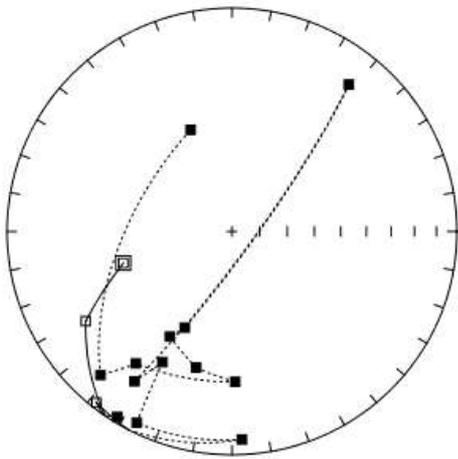


Unstable

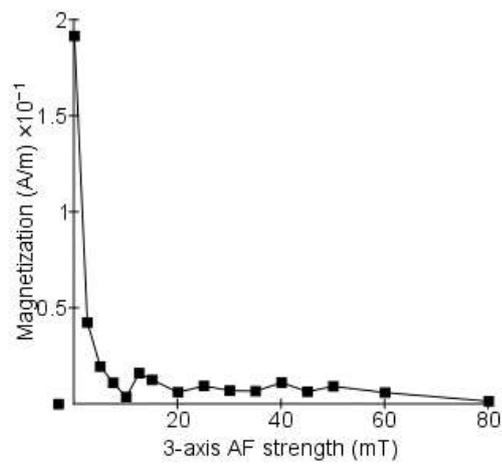


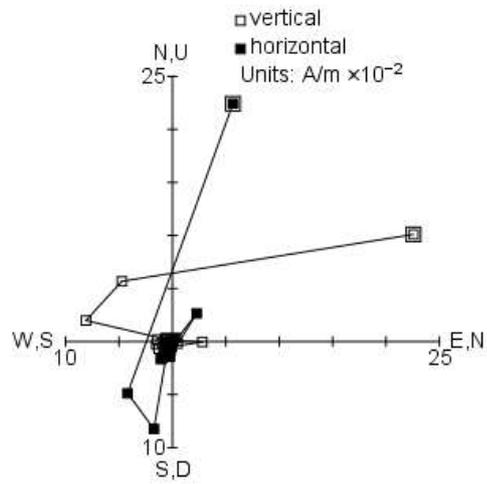
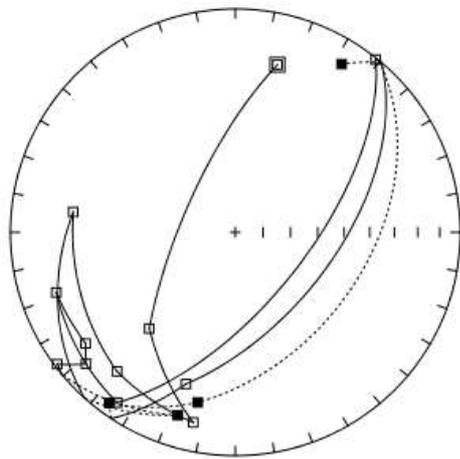
TIL 07011 - 02

Type D

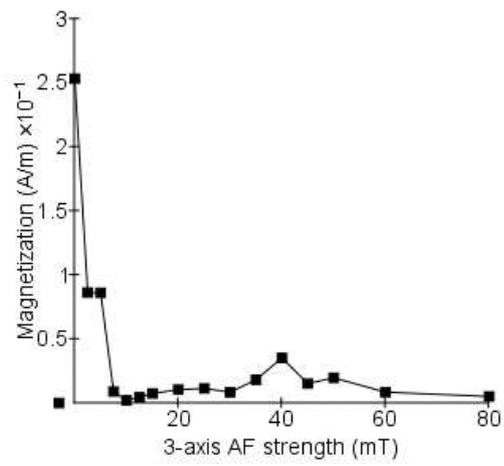


Unstable



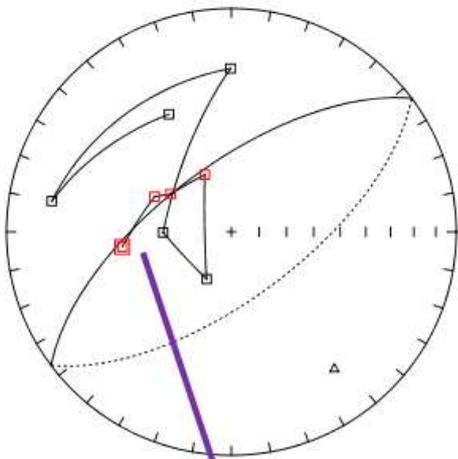


Unstable

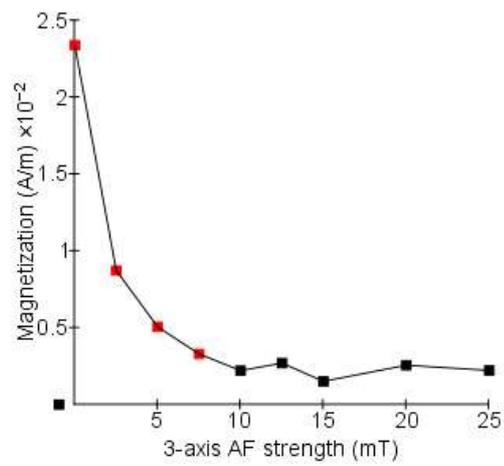
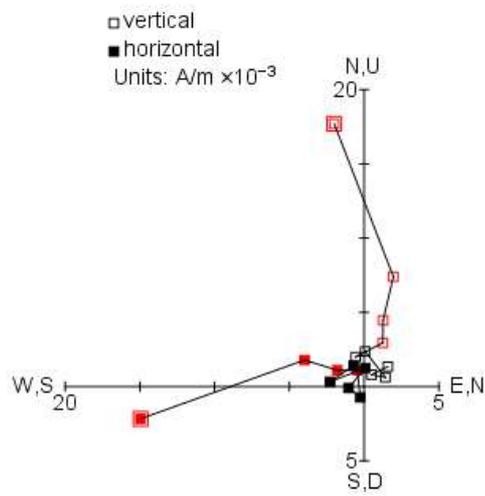


TIL 07013 - 01

Type B

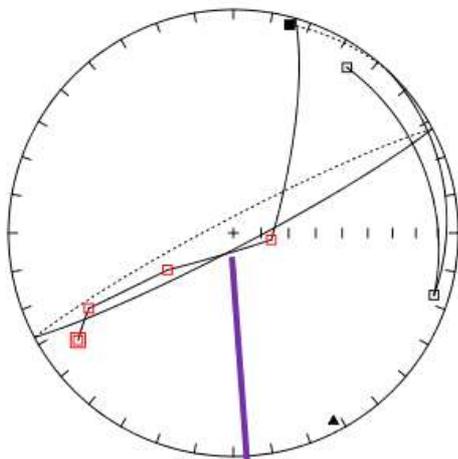


$D = 143.29^\circ$   
 $I = -24.42^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.61^\circ$

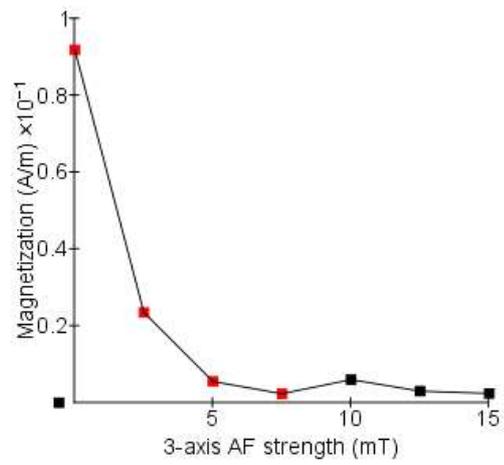
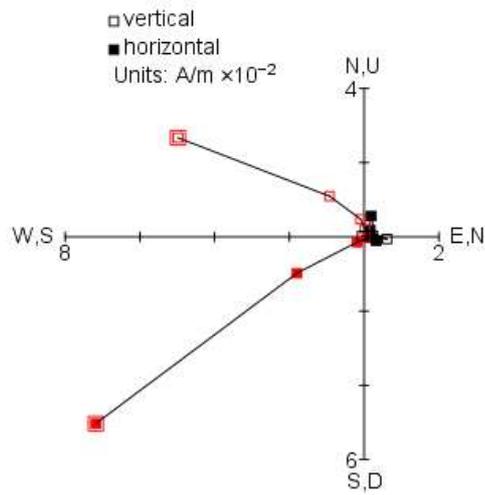


TIL 07013 - 02

Type B

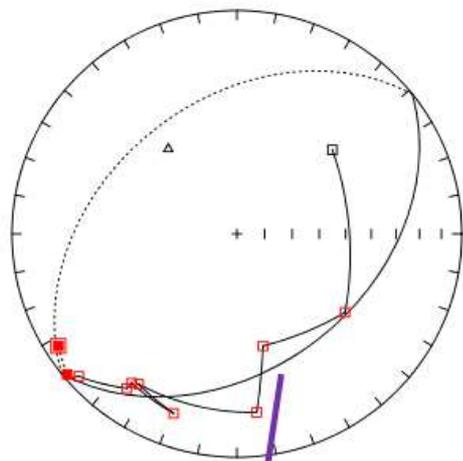


$D = 152.15^\circ$   
 $I = 5.31^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.67^\circ$

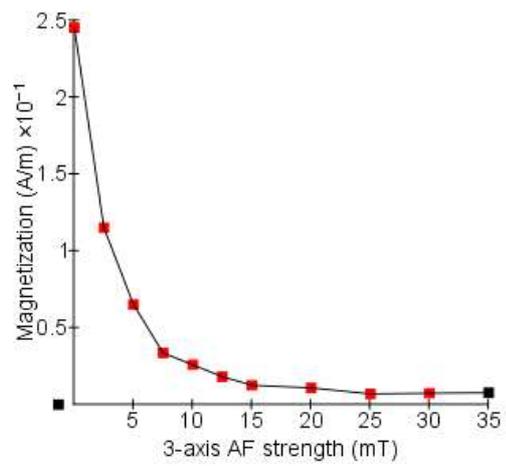
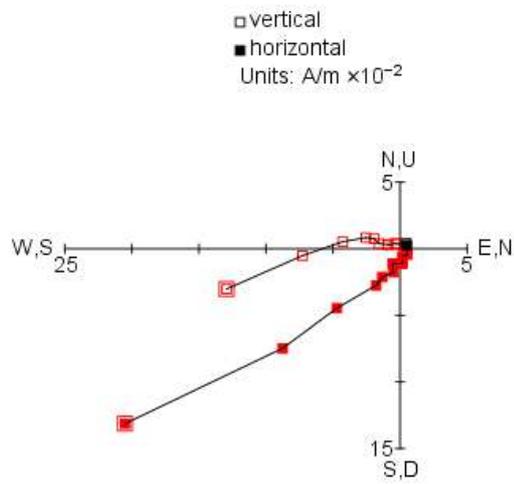


TIL 07013 - 03

Type C

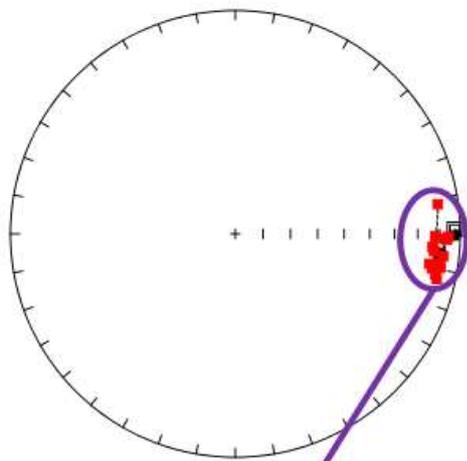


$D = 321.25^\circ$   
 $I = -49.68^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.36^\circ$



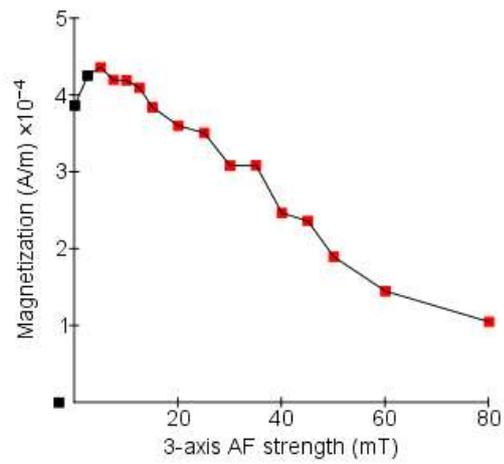
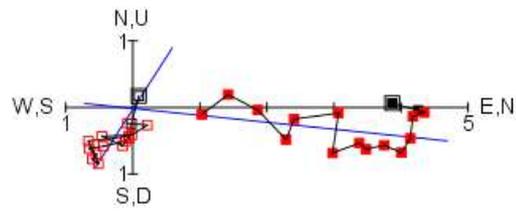
TIL 07014 - 01

Type A



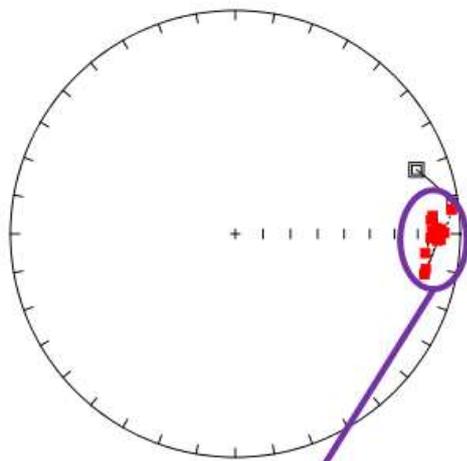
$D = 95.94^\circ$   
 $I = 9.2^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.95^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-4}$



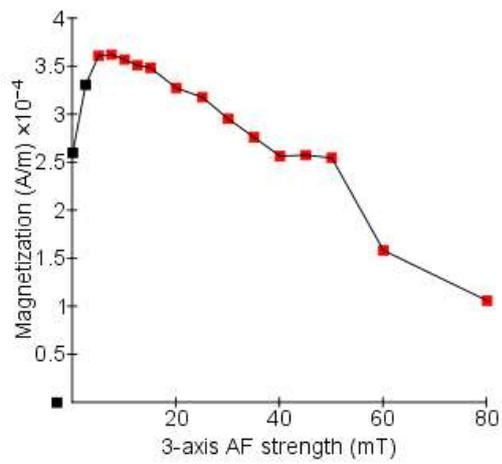
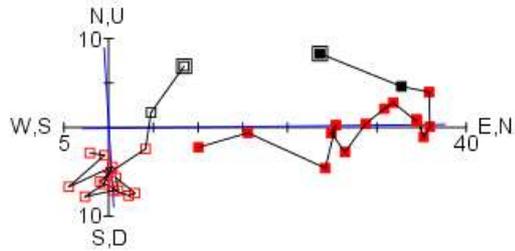
TIL 07014 - 02

Type B



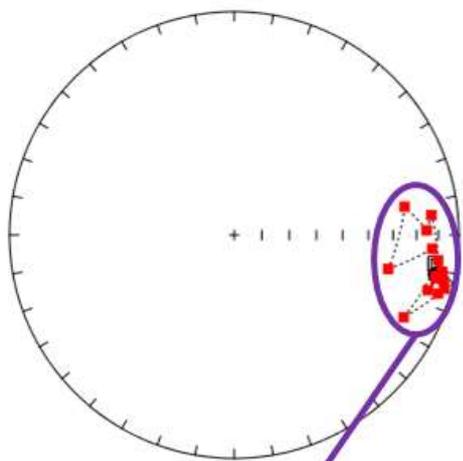
$D = 89.34^\circ$   
 $I = 10.91^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.38^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units:  $A/m \times 10^{-5}$

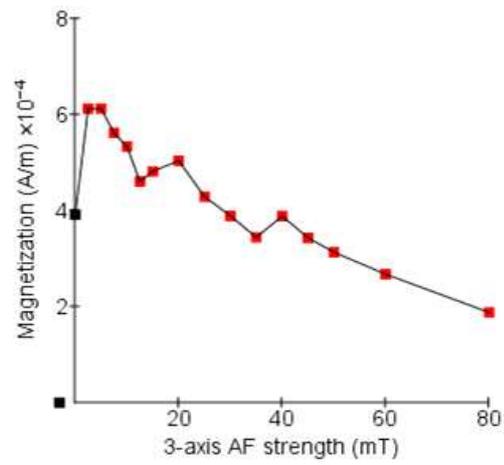
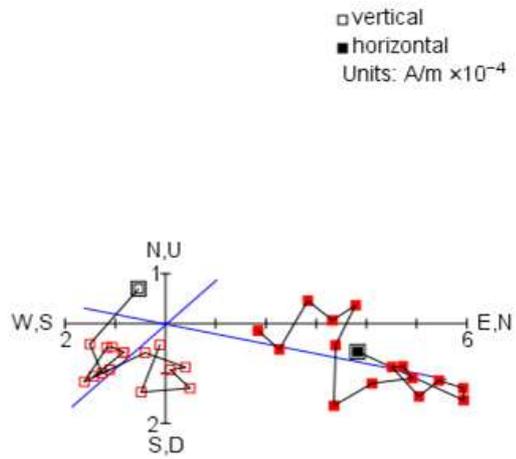


TIL 07014 - 03

Type B

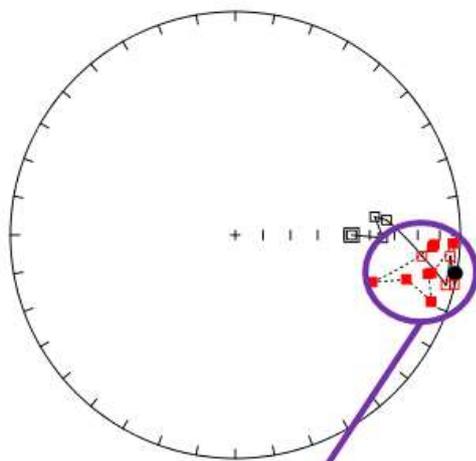


$D = 101.16^\circ$   
 $I = 9.69^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.86^\circ$

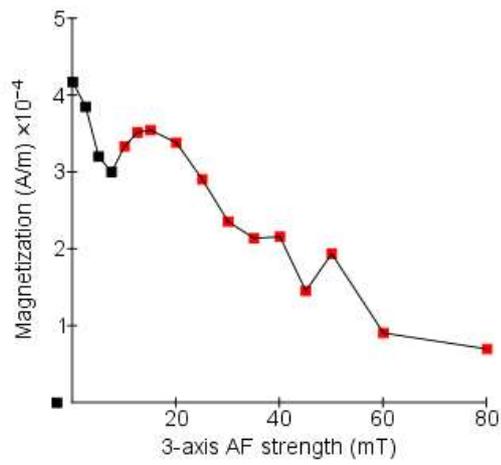
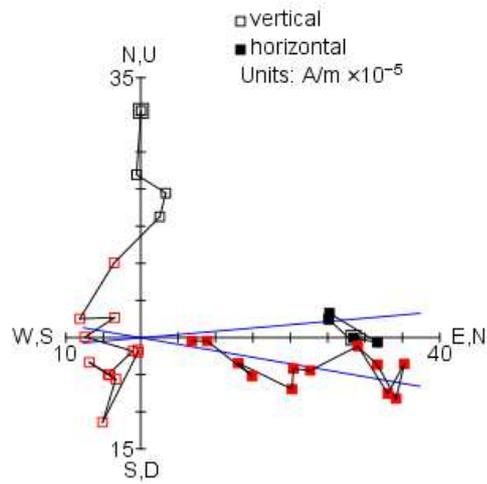


TIL 07014 - 04

Type C

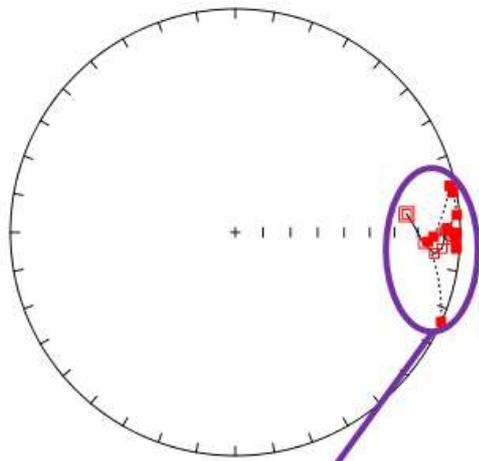


$D = 99.93^\circ$   
 $I = 0.87^\circ$   
 $\alpha_{95} = 13.07^\circ$



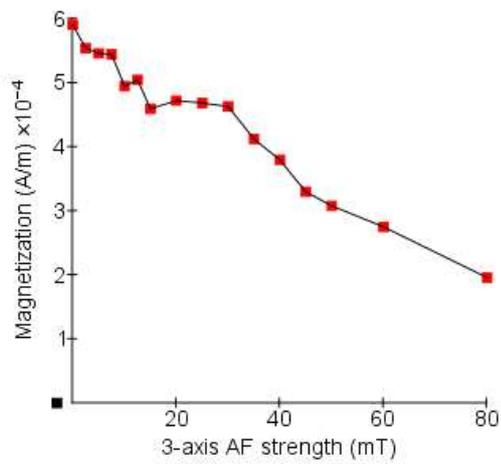
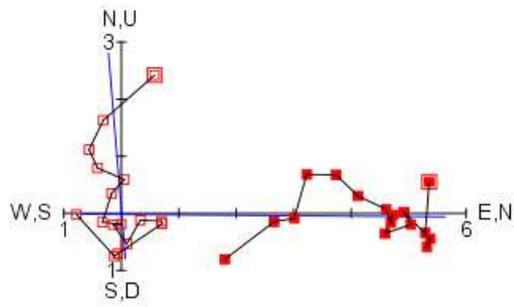
TIL 07014 - 05

Type C



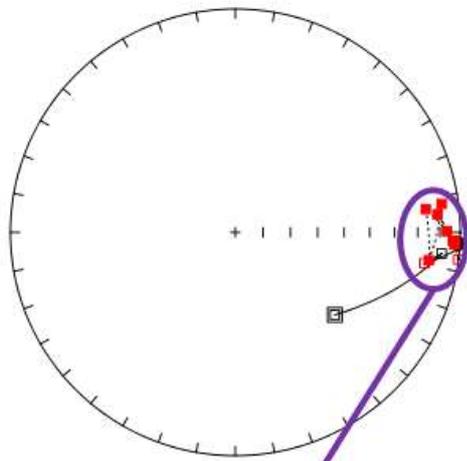
$D = 90.42^\circ$   
 $I = -5.15^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.5^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-4}$

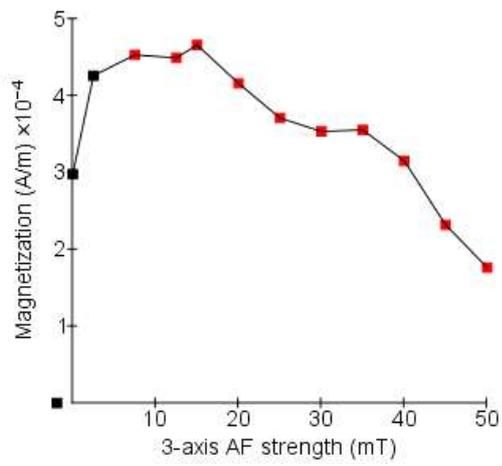
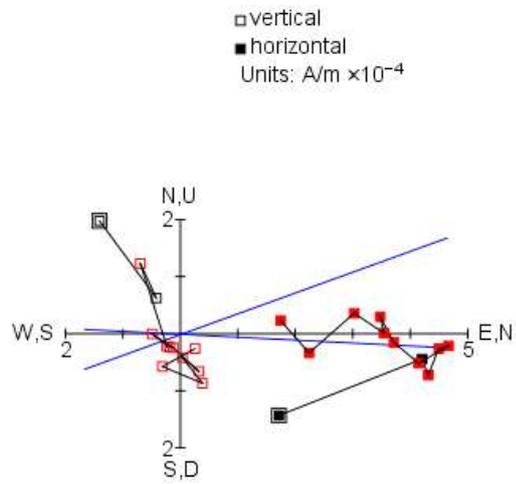


TIL 07014 - 06

Type C

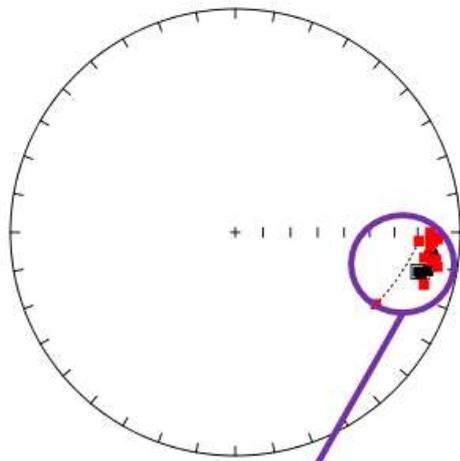


$D = 92.51^\circ$   
 $I = 2.39^\circ$   
 $\alpha_{95} = 10.08^\circ$



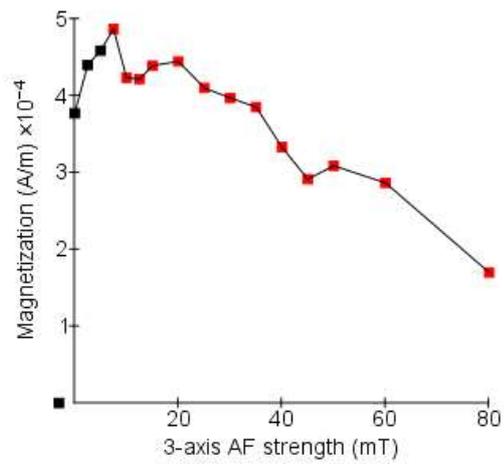
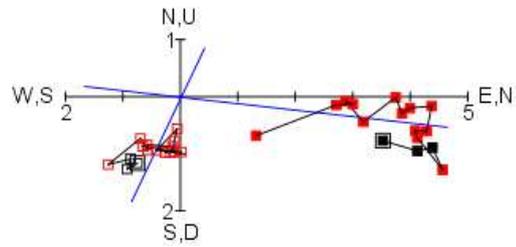
TIL 07014 - 07

Type B



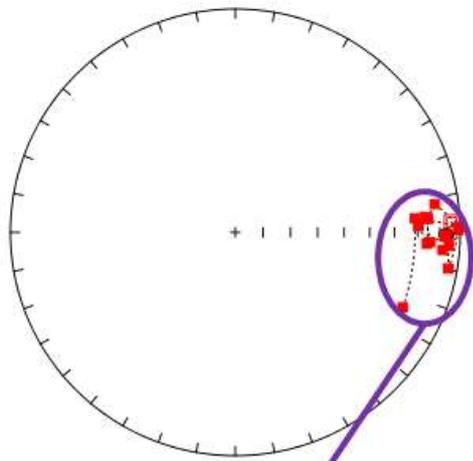
$D = 96.46^\circ$   
 $I = 13.39^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.95^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-4}$



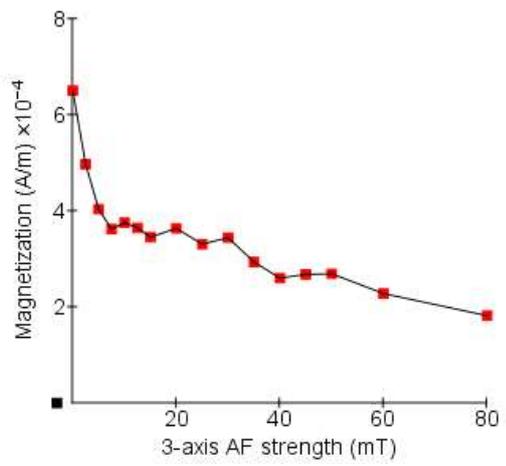
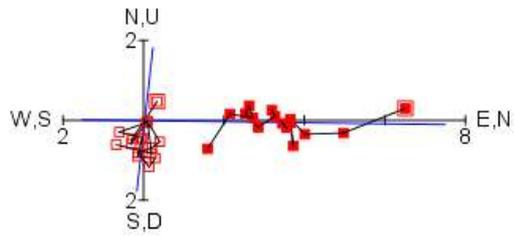
TIL 07014 - 08

Type B



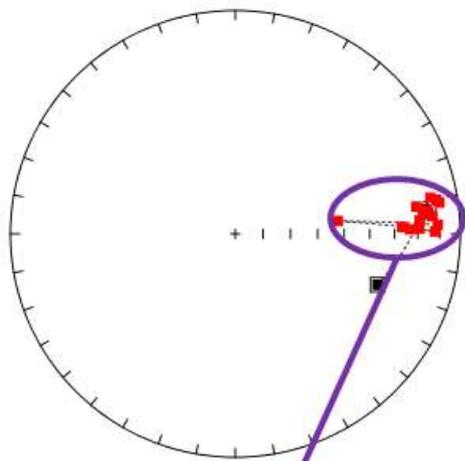
$D = 90.77^\circ$   
 $I = 6.87^\circ$   
 $\alpha_{95} = 9.2^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-4}$

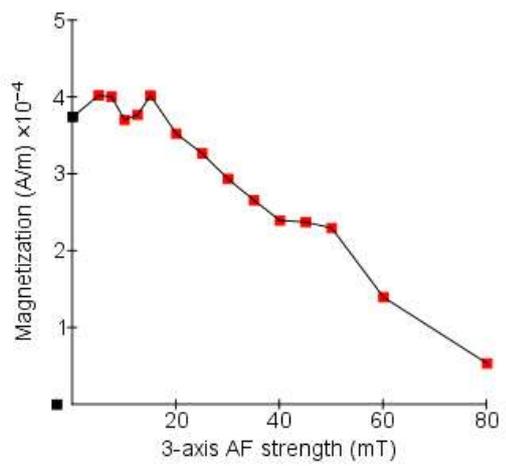
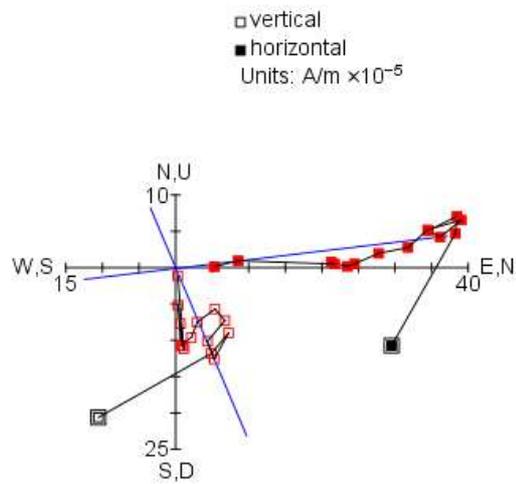


TIL 07014 - 09

Type B

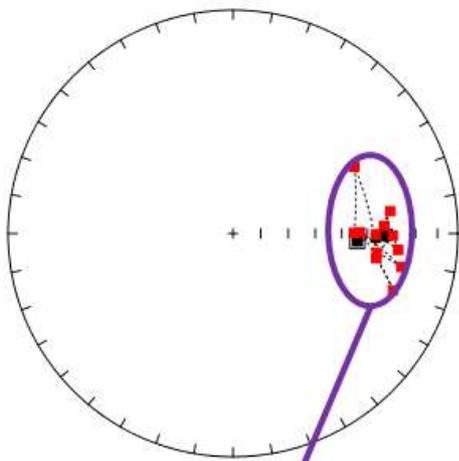


$D = 83.15^\circ$   
 $I = 15.88^\circ$   
 $\alpha_{95} = 6.79^\circ$

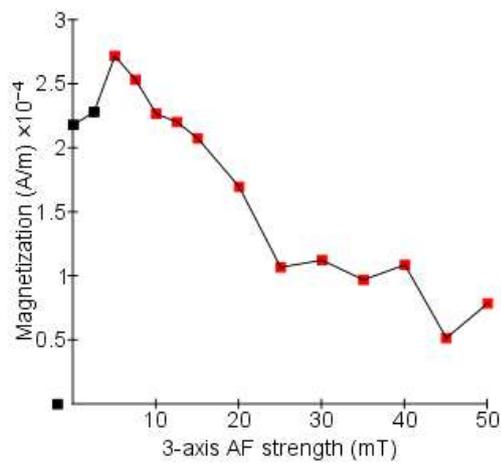
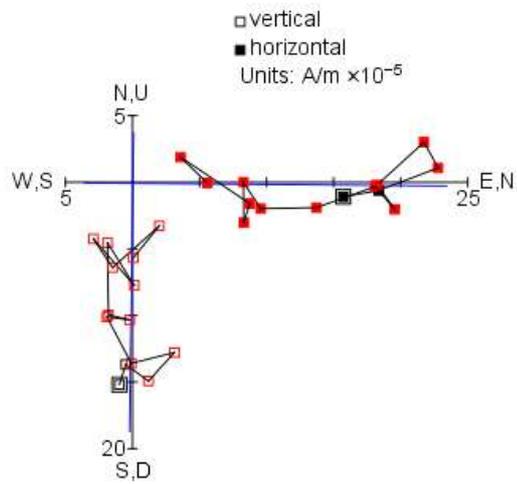


TIL 07014 - 10

Type B

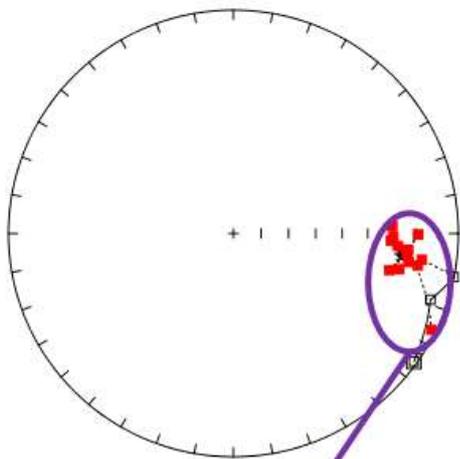


$D = 90.49^\circ$   
 $I = 32.43^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.19^\circ$



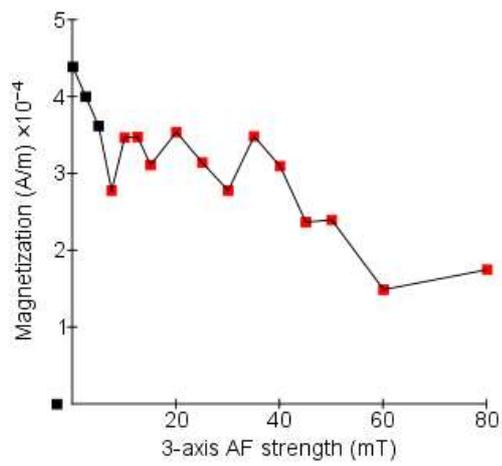
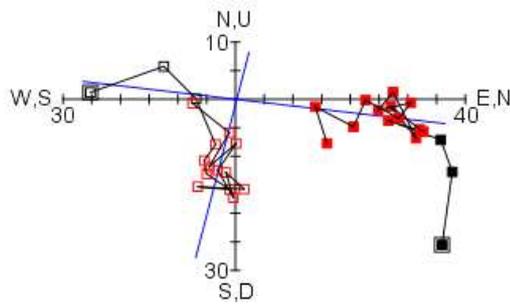
TIL 07014 - 11

Type B



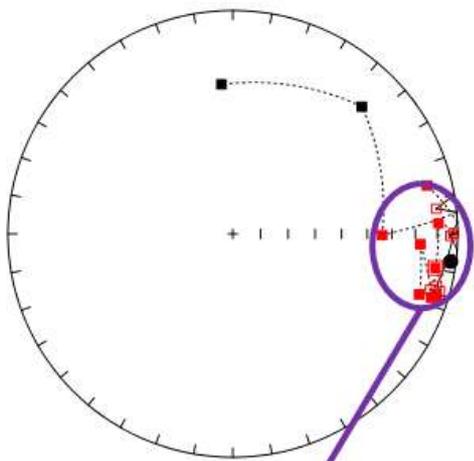
$D = 96.68^\circ$   
 $I = 24.32^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.91^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units:  $A/m \times 10^{-5}$



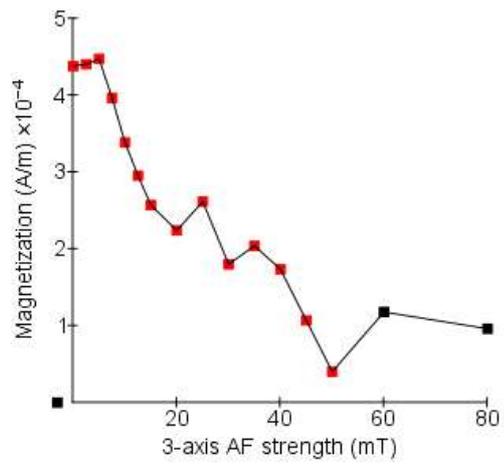
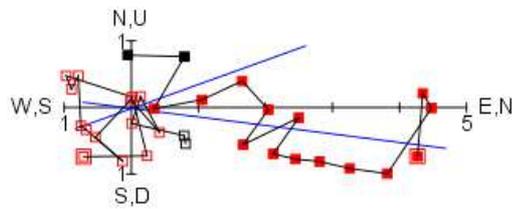
TIL 07014 - 12

Type C



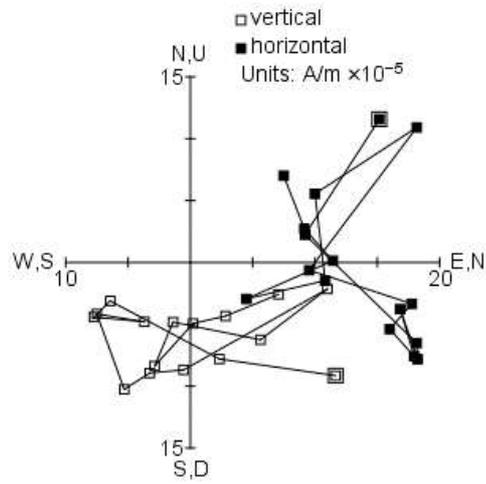
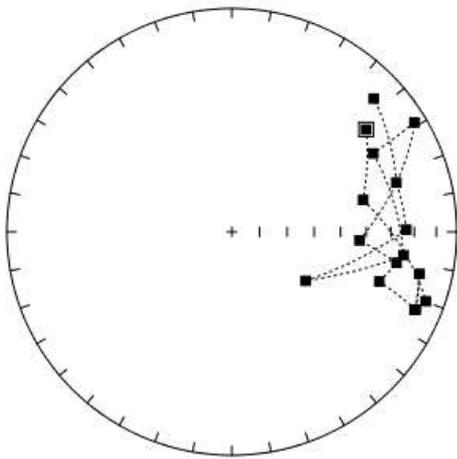
$D = 97.29^\circ$   
 $I = 2.63^\circ$   
 $\alpha_{95} = 11.82^\circ$

□ vertical  
■ horizontal  
Units: A/m  $\times 10^{-4}$

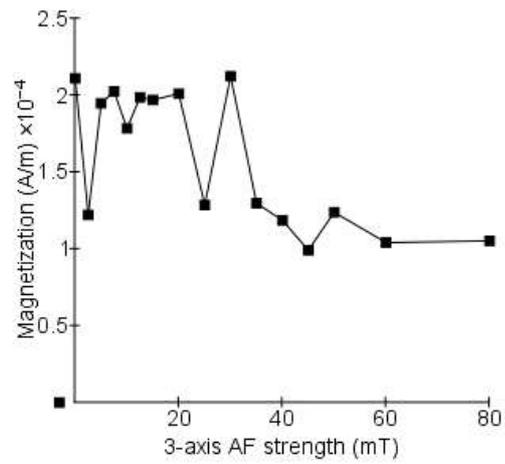


TIL 07014 - 13

Type D

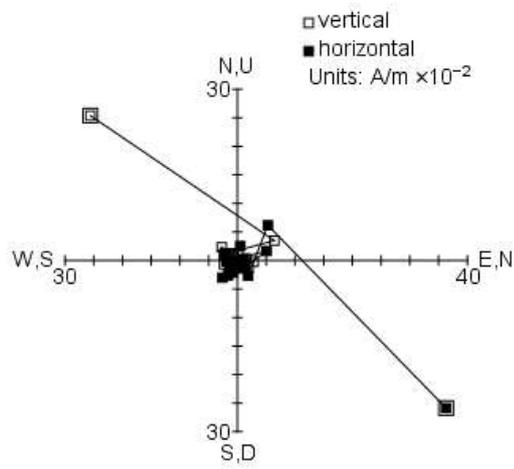
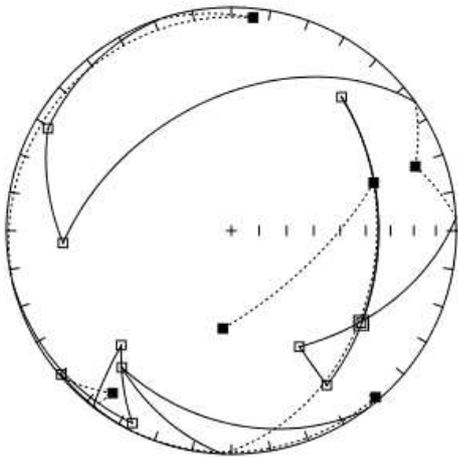


Unstable

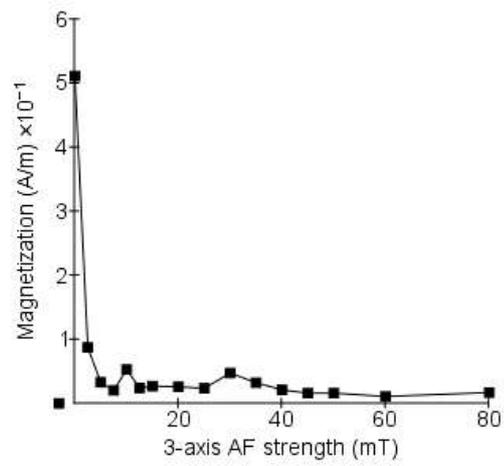


TIL 07015 - 01

Type D

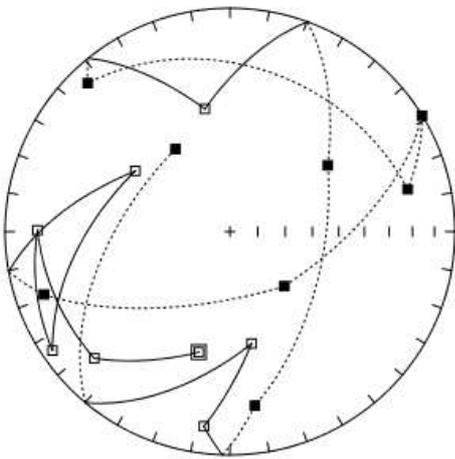


Unstable

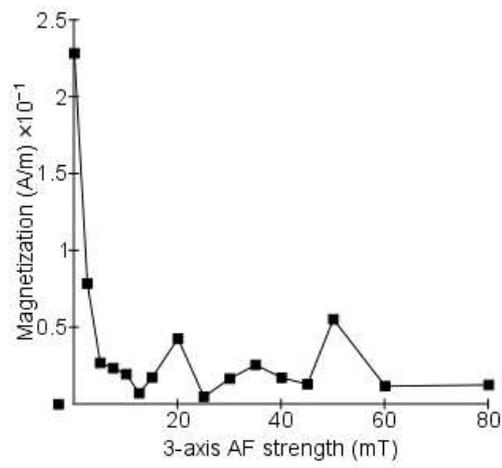
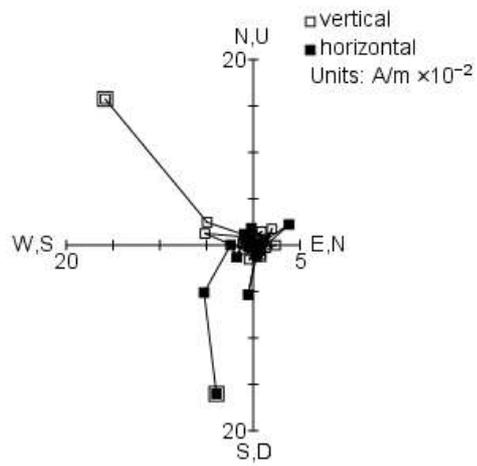


TIL 07015 - 02

Type D

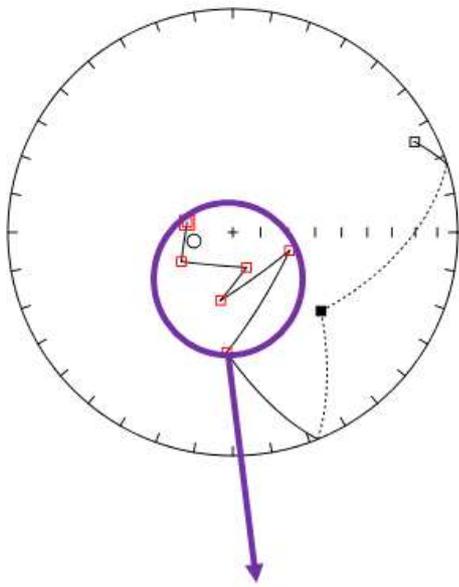


Unstable

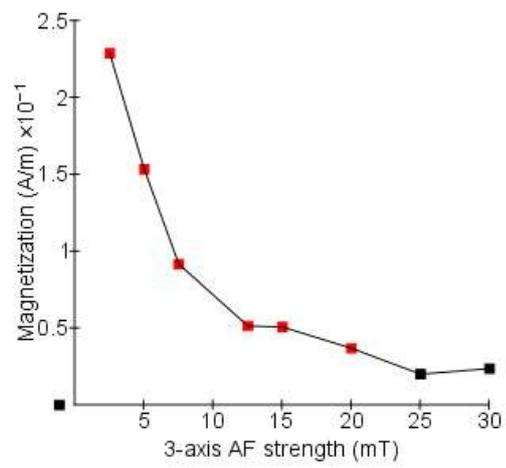
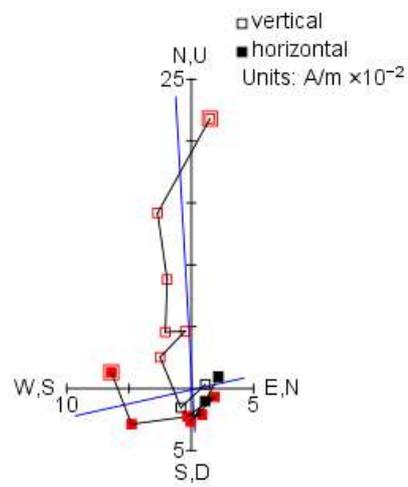


TIL 07015 - 03

Type C

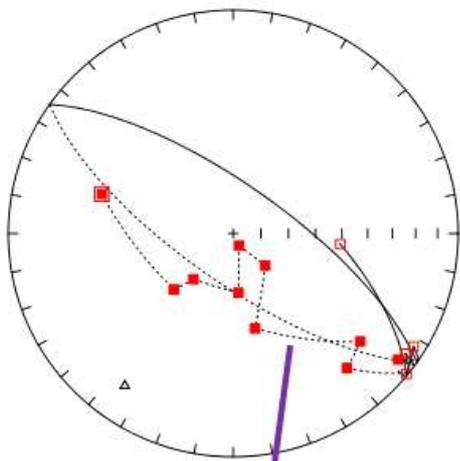


$D = 257.28^\circ$   
 $I = -75.62^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.6^\circ$

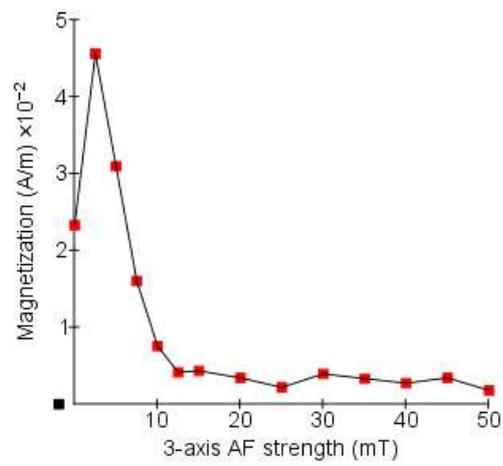
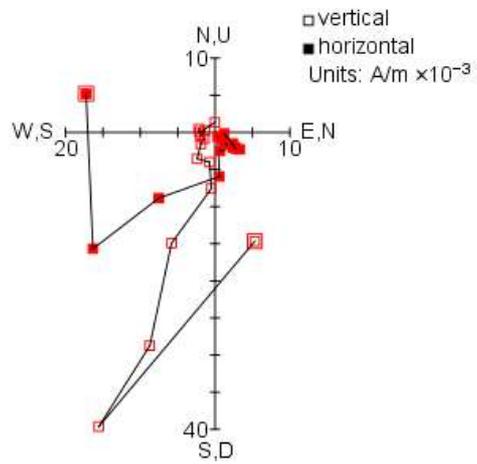


TIL 08001 - 01

Type C

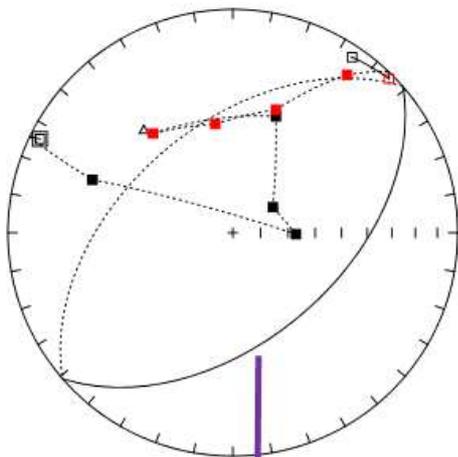


$D = 215.27^\circ$   
 $I = -17.63^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.2^\circ$

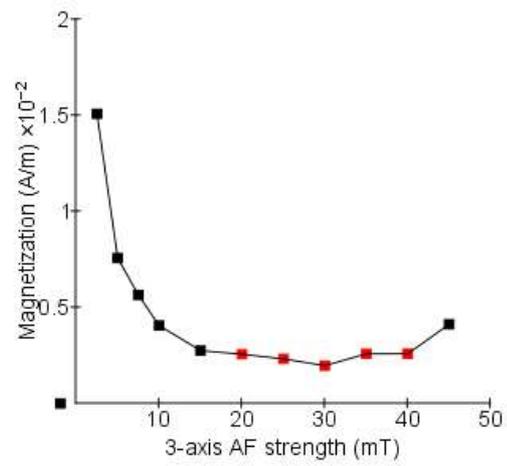
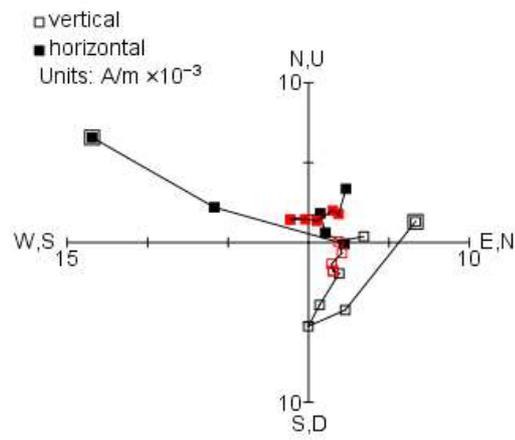


TIL 08001 - 02

Type C

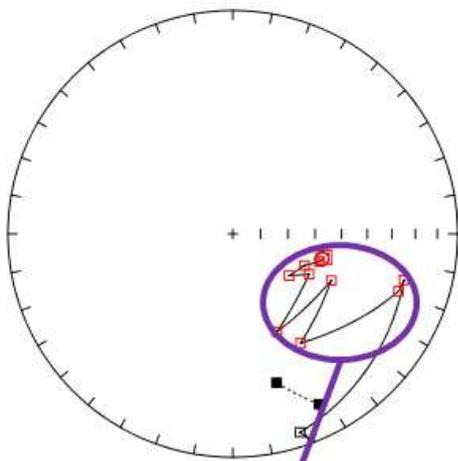


$D = 319.14^\circ$   
 $I = -39.4^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.22^\circ$

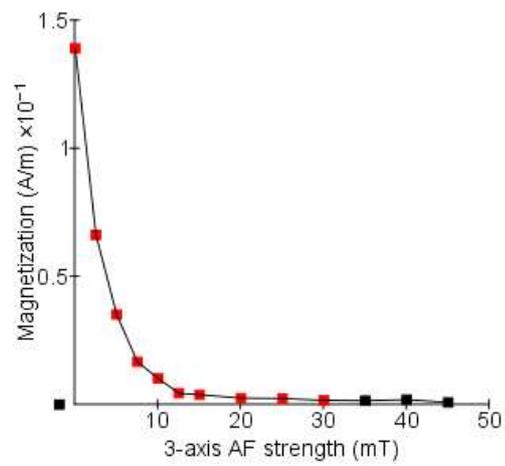
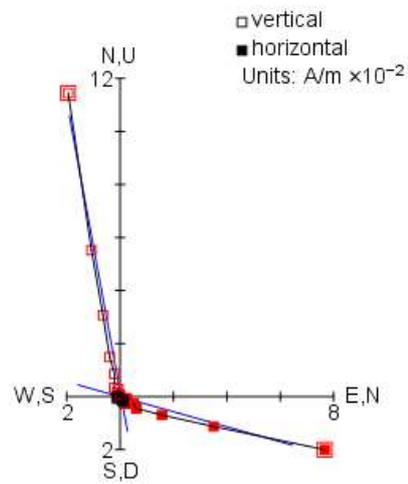


TIL 08001 - 03

Type A

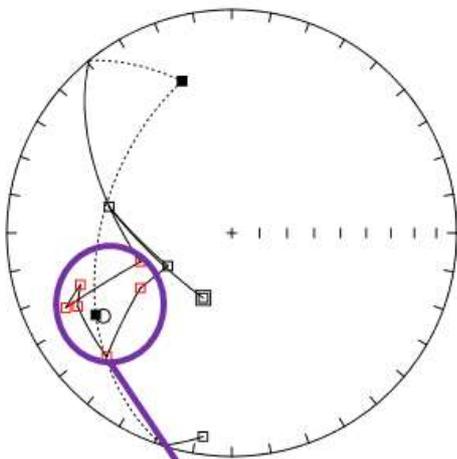


$D = 105.82^\circ$   
 $I = -56.13^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.55^\circ$

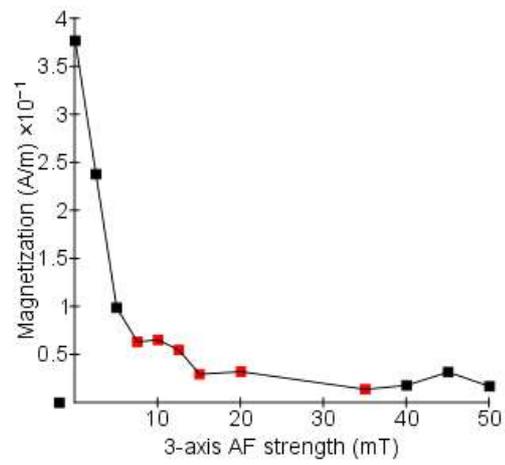
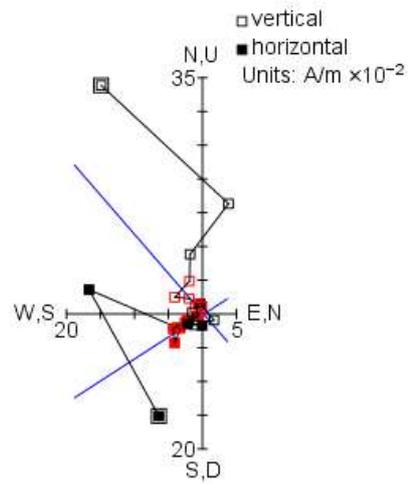


TIL 08002 - 01

Type C

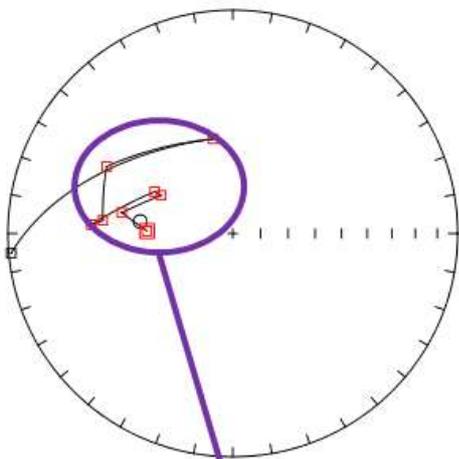


$D = 236.92^\circ$   
 $I = -32.39^\circ$   
 $\alpha_{95} = 14.92^\circ$

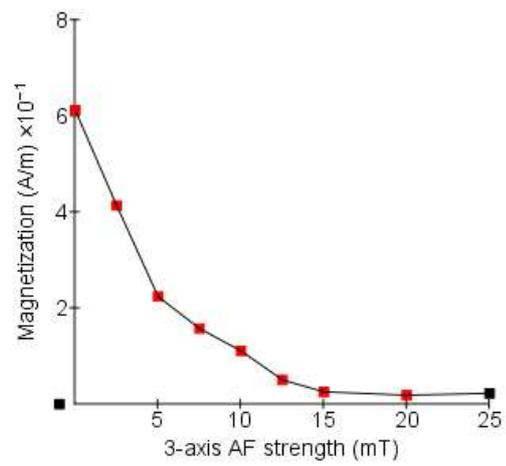
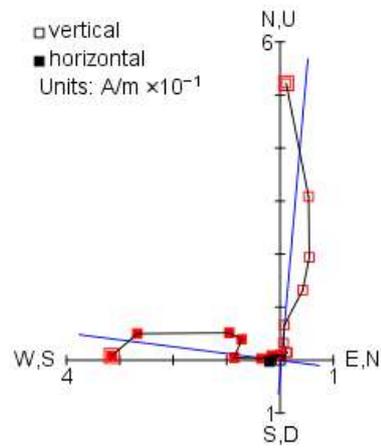


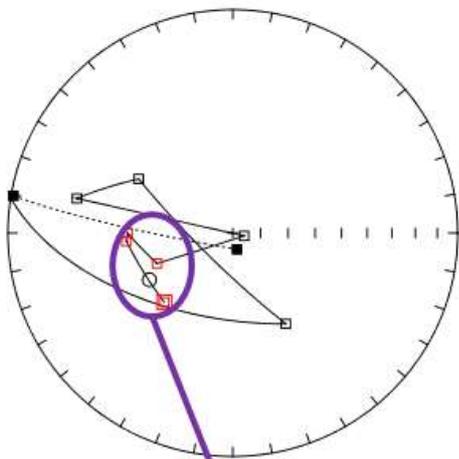
TIL 08002 - 02

Type B

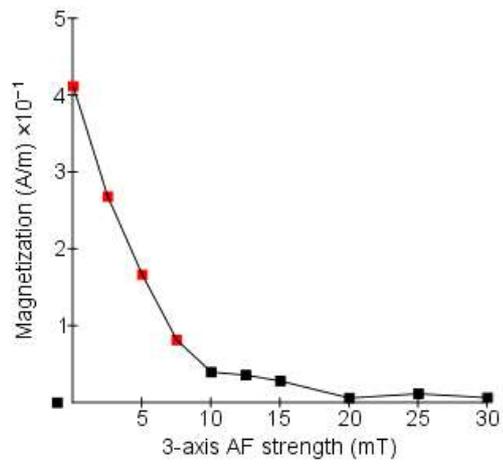
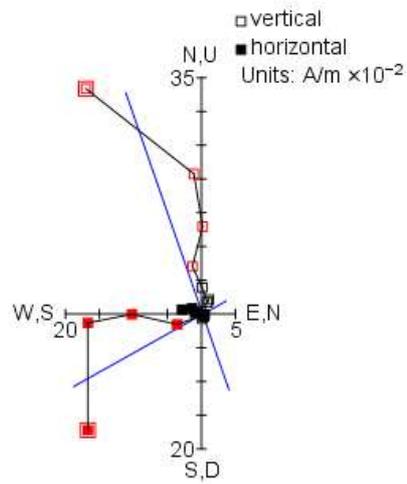


$D = 277.36^\circ$   
 $I = -55.83^\circ$   
 $\alpha_{95} = 7.17^\circ$



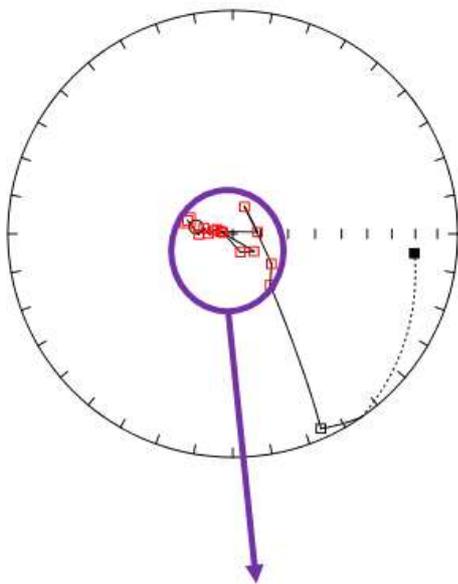


$D = 240.56^\circ$   
 $I = -54.95^\circ$   
 $\alpha_{95} = 12.21^\circ$

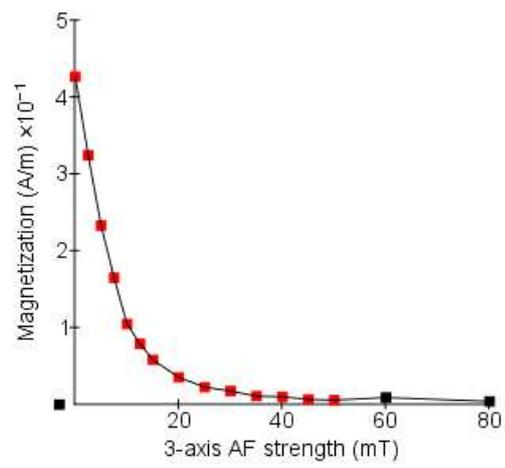
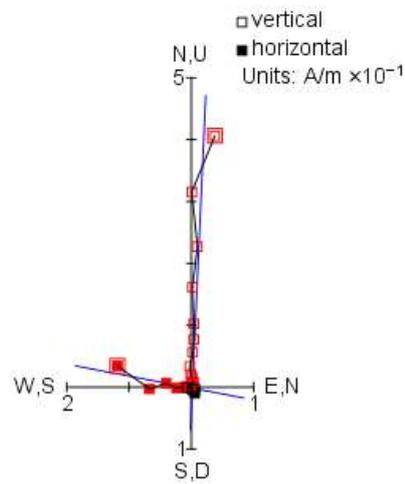


TIL 08003 - 01

Type A

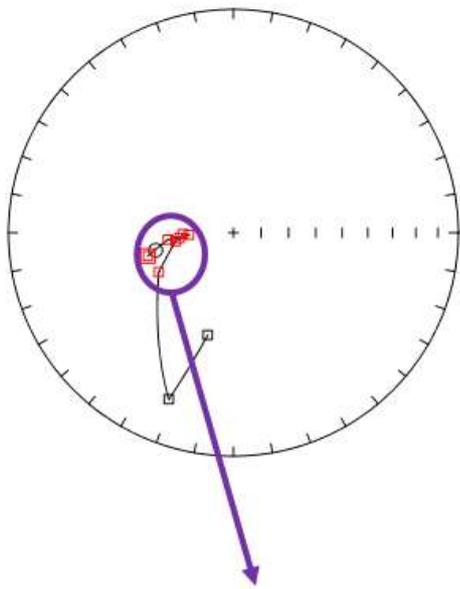


$D = 105.82^\circ$   
 $I = -56.13^\circ$   
 $\alpha_{95} = 2.55^\circ$

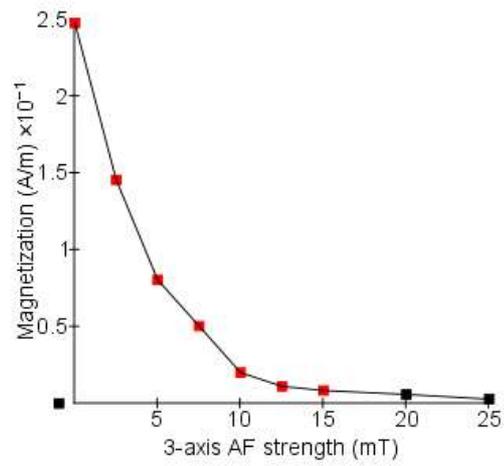
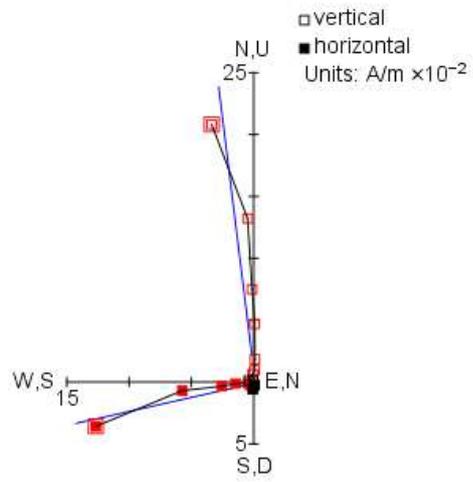


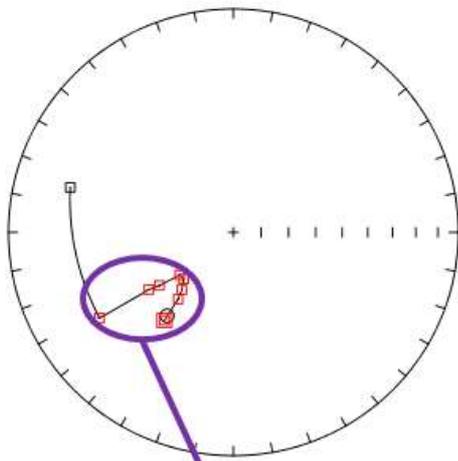
TIL 08003 - 02

Type B

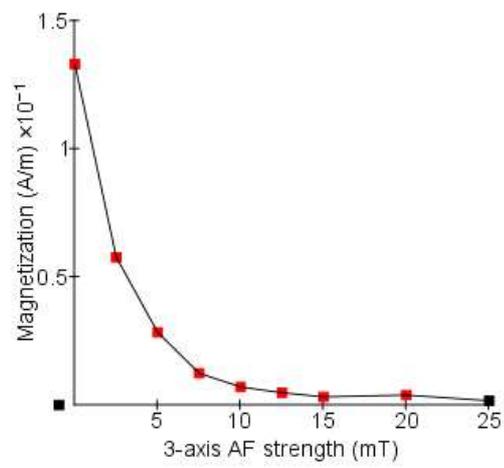
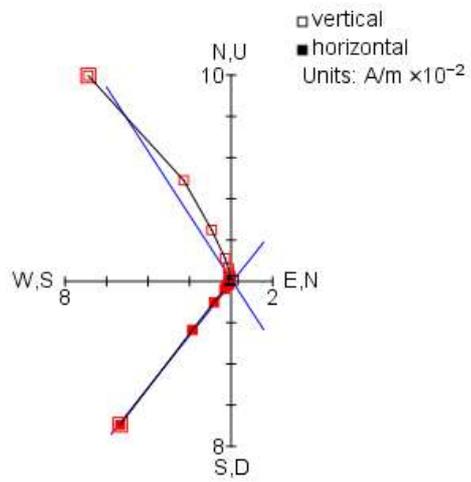


$D = 257.22^\circ$   
 $I = -60.97^\circ$   
 $\alpha_{95} = 5.31^\circ$



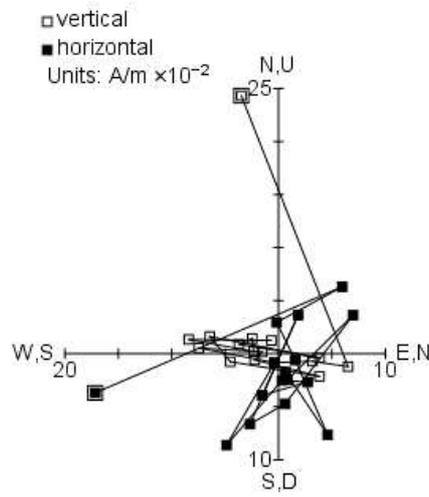
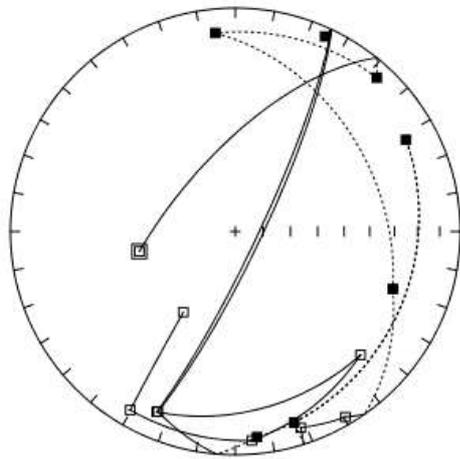


$D = 218.28^\circ$   
 $I = -50.65^\circ$   
 $\alpha_{95} = 4.4^\circ$

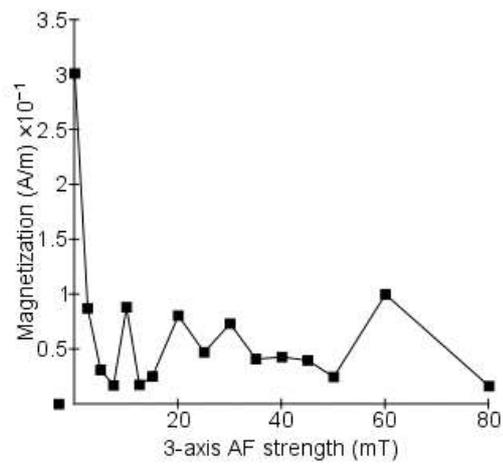


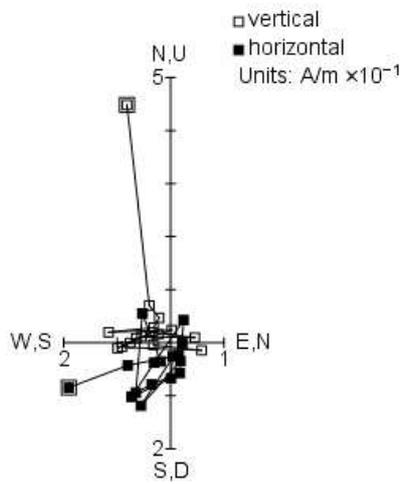
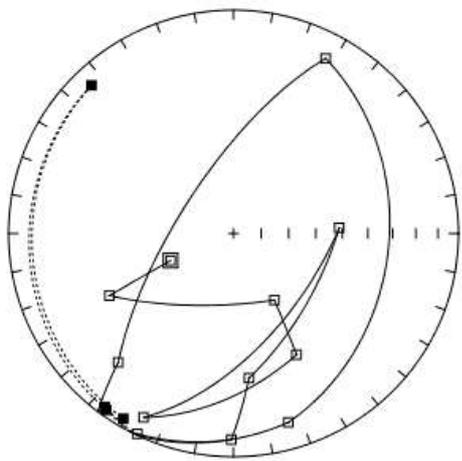
TIL 08005 - 01

Type D

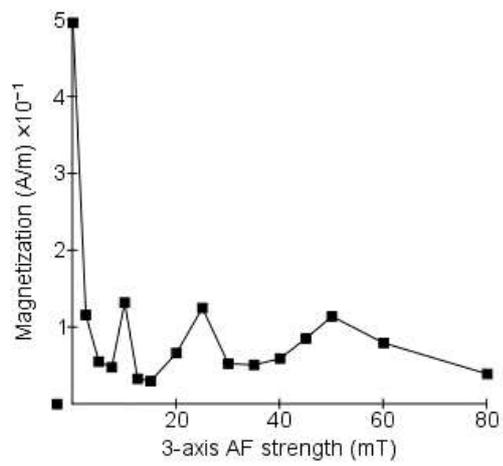


Unstable



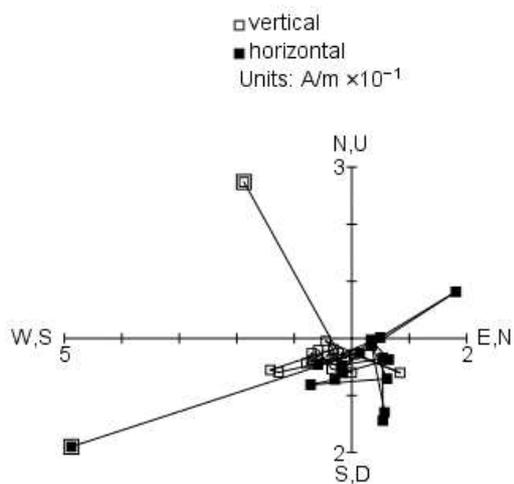
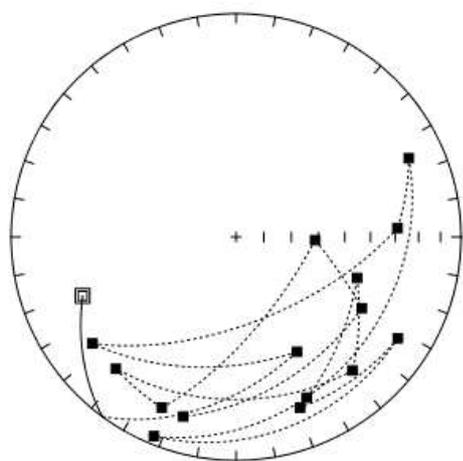


Unstable

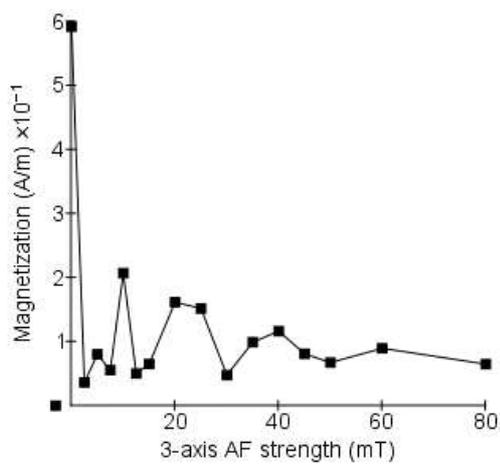


TIL 08005 - 03

Type D

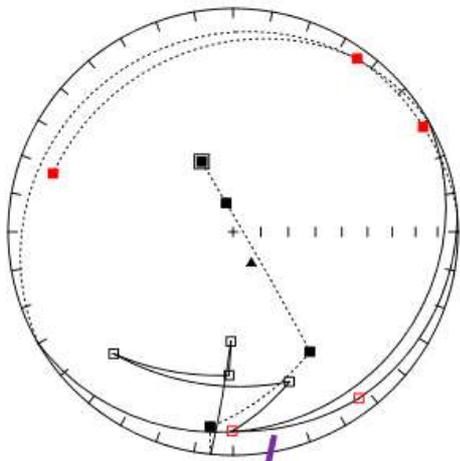


Unstable

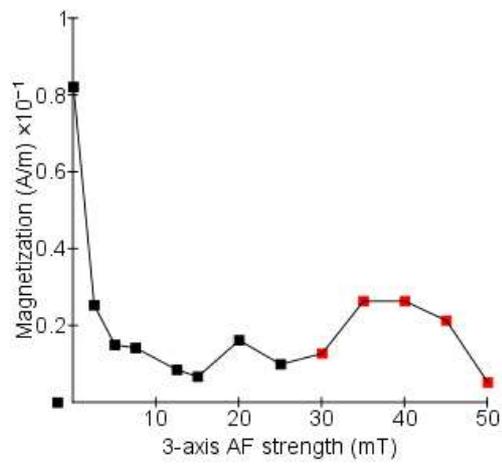
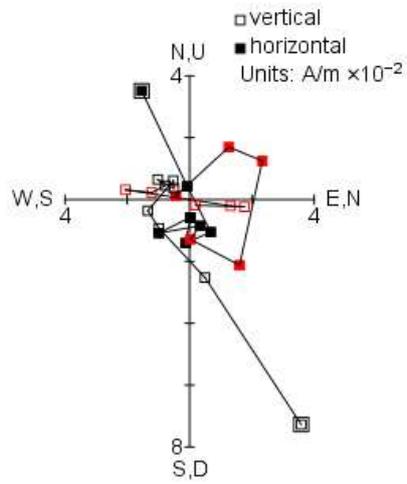


TIL 08006 - 01

Type B

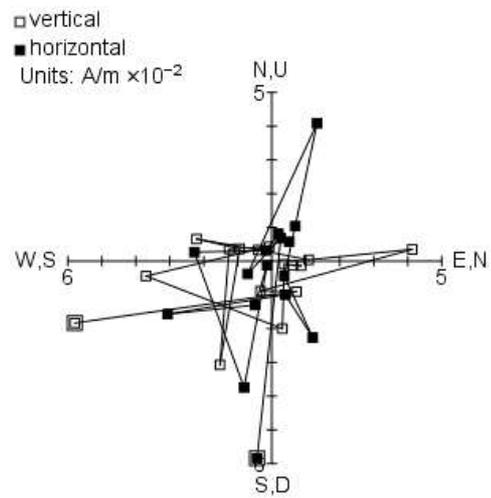
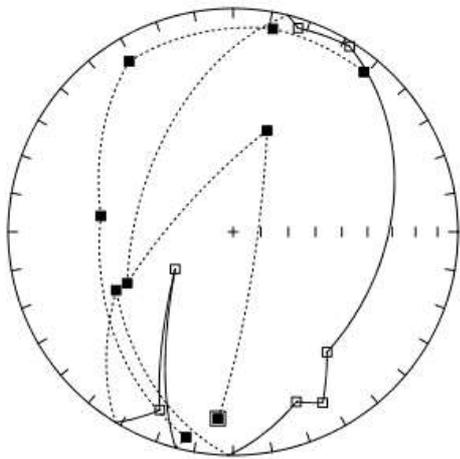


$D = 150.1^\circ$   
 $I = 76.79^\circ$   
 $\alpha_{95} = 8.59^\circ$

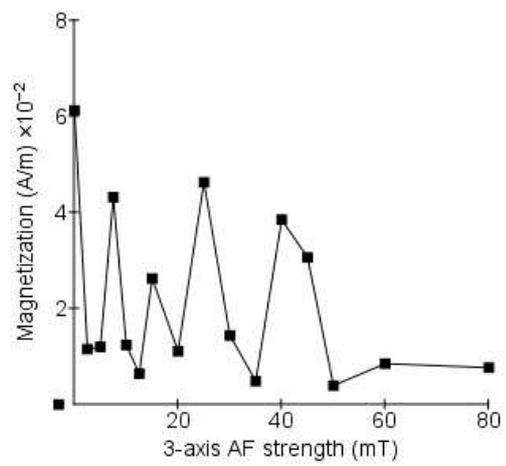


TIL 08006 - 02

Type D

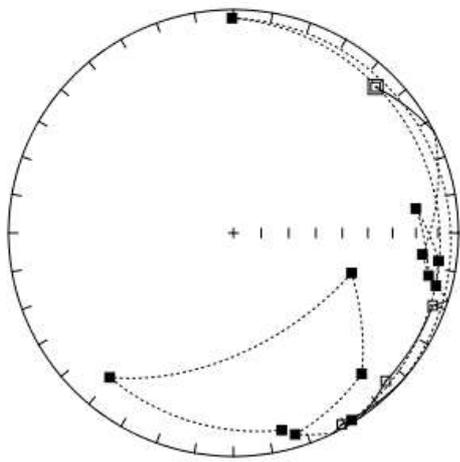


Unstable

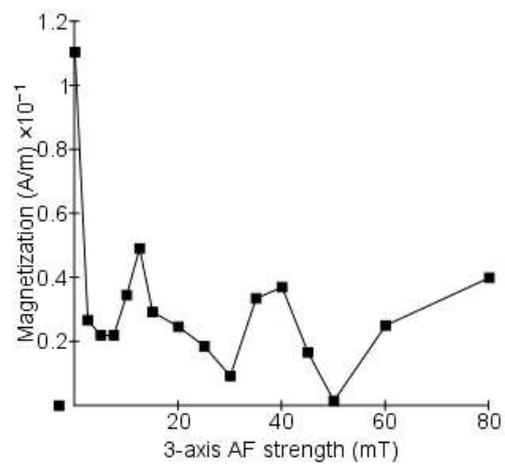
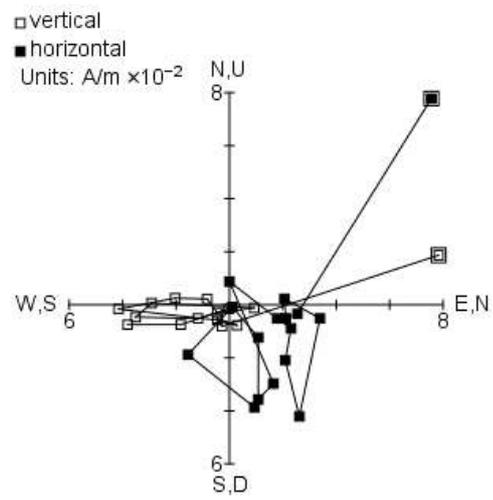


TIL 08006 - 03

Type D

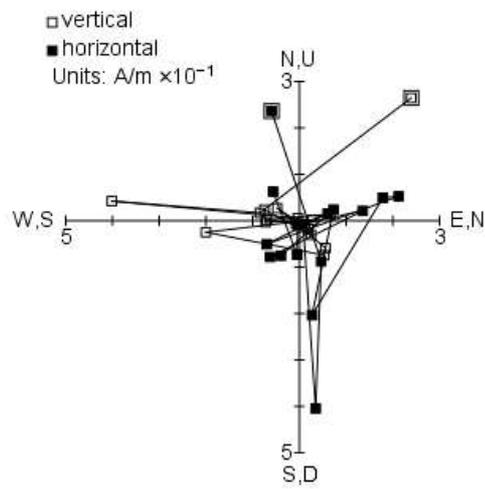
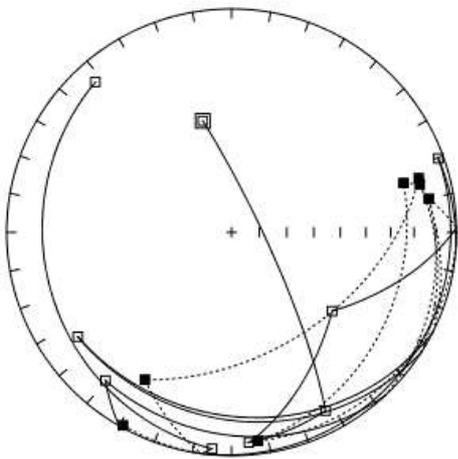


Unstable

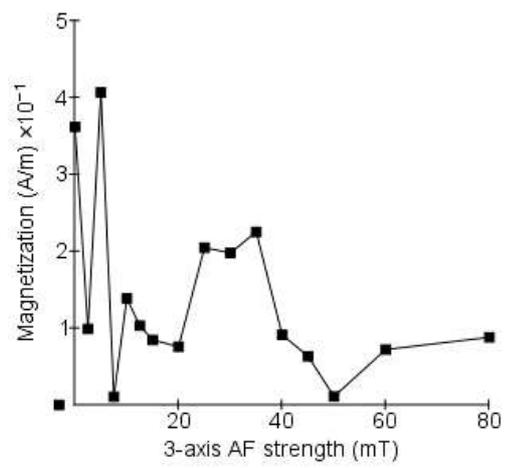


TIL 08008 - 01

Type D

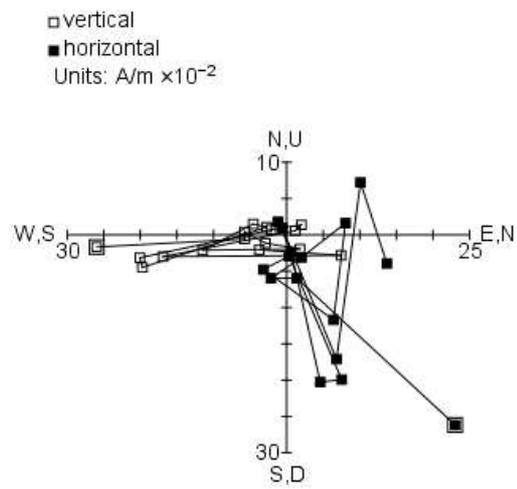
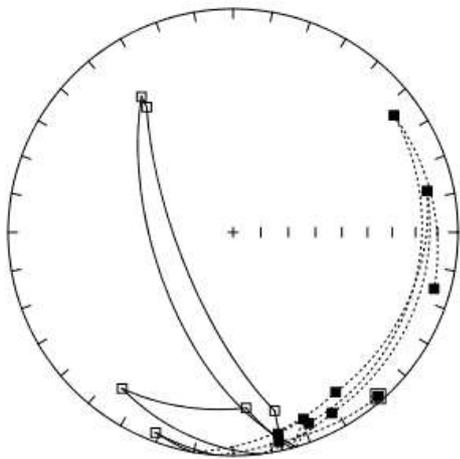


Unstable

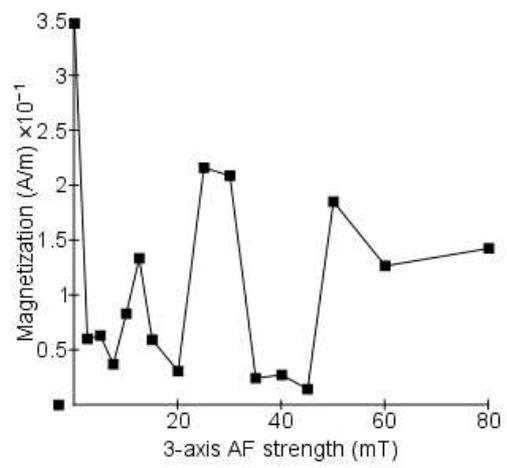


TIL 08008 - 02

Type D

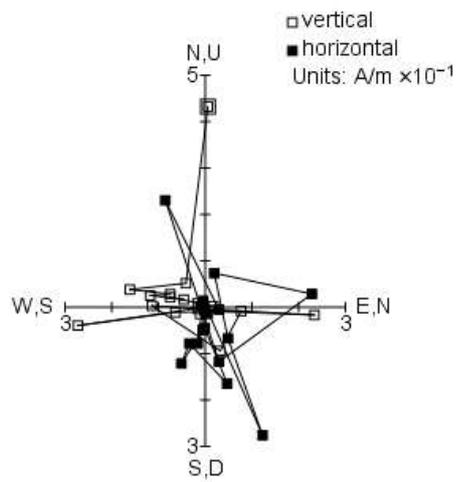
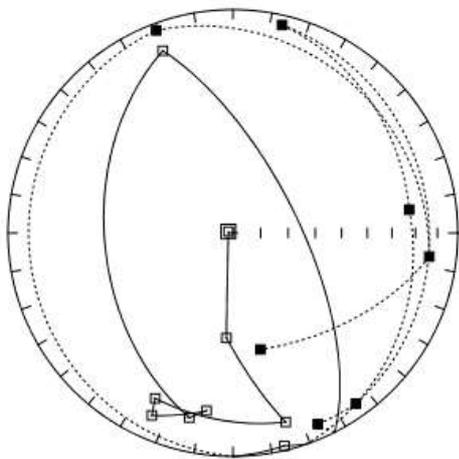


Unstable

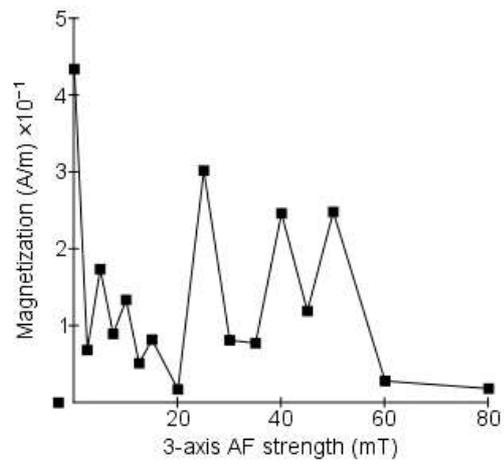


TIL 08008 - 03

Type D



Unstable



## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 가. 연구개발목표 달성도

#### 가-1. 정성적 목표 및 연구 목표 요약

구분	내용
최종목표	콘드라이트의 자기특성 규명을 통하여 아래 “세부목표”에 제시된 미세소행성체와 관련된 문제점들을 구체적으로 해결하려 한다. “세부목표”에 나열된 미세소행성체의 자화특성 연구를 통해, 태양계 형성 초기 미세소행성체의 분화 발현유무 가능성을 판단하고자 한다.
세부목표	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 콘드라이트 광물의 자기특성 규명</li> <li>(2) 미세소행성체의 충돌과 집적이 잔류자화에 미치는 영향</li> <li>(3) 운석 내 광물의 변질과 자화안정성의 상관관계</li> <li>(4) 콘드라이트 자성광물이 기록하는 미세소행성체 자화 강도</li> </ol>

극지연구소

#### 가-2. 정성적 목표달성도

연구개발목표	달성내용
○ 콘드라이트의 자기장 변화 연구 (69개 운석의 331개 운석 시편 실험 자료)	○ 콘드라이트의 자화 특성 연구 1 - 잔류자화비율 측정 - 잔류자화비율 계산
○ 콘드라이트의 자기장 변화 연구 (45개 운석의 162개 운석 시편 실험 자료)	○ 콘드라이트의 자화 특성 연구 2 - 자화안정도 결정 - 안정한 특성잔류자화 계산

### 가-3. 정량적 목표 요약

구분	국외논문(편)				국내논문(편)				특허출원(건)		인력양성	
	SCI		SCIE		SCI		등재지		국외	국내	석사	박사
	주저자	공저자	주저자	공저자	주저자	공저자	주저자	공저자				
1차년도	주저자 1편						주저자 1편				1	
2차년도	주저자 1편						주저자 1편				1	1

### 가-4. 정량적 목표달성도

구분		목표(건)	달성실적(건)	주저자 실적	달성도		비고
국외 논문	SCI	2	2	주저자 2건	100	%	SCI 논문 2건
	SCIE						
국내 논문	SCI						
	등재지	2	0		0	%	
특허출원							
기타				주저자 1건	100	%	Scopus/ESCI 논문 1건

## 나. 대외기여도

지구의 화성암은 액체 상태의 마그마가 고체 결정으로 냉각되는 과정에서 당시의 지구자기장 방향으로 열잔류자화(TRM, Thermoremanent Magnetization)를 획득한다. 운석의 자성광물도 지구 화성암과 유사한 방식으로 냉각당시 운석의 주변부에 존재하던 외부자기장 방향으로 열잔류자화를 획득한

다. 특히 미분화운석의 경우 운석입자(Chondrules)의 초기 냉각 과정에서 운석입자 주변부의 자기장 방향으로 잔류자화를 획득한다. 운석에 자화를 유도한 자



그림 17. 운석의 자화특성 분석 요약

기장의 기원이 현재 지구자기장과 유사한 쌍극자기장 기원인가 혹은 달의 암석에 자화를 유도한 것과 유사한 플라즈마 기원인가를 구분하면, 운석 모암체의 물리적인 분화시기 규명이 가능하다 (그림 17).

금번 연구의 일차 목표는 콘드라이트 내 존재하리라 생각되는 자성 광물의 열잔류자화에 대한 특성을 규명하는 일이다. 향후 여타 콘드라이트로부터 다양한 결과가 축적될 경우, 이를 토대로 지구를 포함하는 우주 개발의 기본이 되는 태양계 진화의 기초자료를 제공할 수 있다. 최근 지구를 포함한 태양계의 진화를 규명하기 위하여, 콘드라이트의 기원과 연령을 주제로 한 연구에 많은 진척이 있었다. 그러나 대부분의 연구가 화학적인 동위원소방법을 통하여 콘드라이트의 기원을 밝히는데 초점을 맞추어 왔다. 현재 운석의 회수-보관-분류 위주의 남극운석 큐레이션시스템을 등록-분배-연구로 전이하는 단계에서 우리나라 과학기술력으로 우리나라 남극운석 연구에 도전하여 극지연구소의 위상을 위시한 우리나라 과학기술의 경쟁력을 배양한다. 특히 첨단 운석 연구를 위한 핵심 원천기술 확보에 동참하여, 극지연구소가 추진하는 세계 4대 남극운석 큐레이션 시스템 구축에 기여할 수 있다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 가. 활용방안

태양계 진화사 연구는 과학계가 해결하지 못한 미답의 영역이다. 특히 콘드라이트의 자기특성을 이용한 미세소행성체의 진화 연구는 국외 우수과학자들의 전유물로 여겨진다. 금번 연구를 통해 운석의 물리적인 자화특성을 이용하여 원시태양계 진화의 단면을 엿볼수 있는 핵심기술 확보에 한걸음 다가섰다고 판단한다. 과제가 종료된 이후에도 연구경험과 결과를 확대하여 국가과제로 추진되고 있는 달과 행성탐사 등의 우주개발분야에서 주요 과제로 도약시키려 한다.

2년의 연구기간 동안 60 여 종 운석의 자화특성을 결정하였다. 지구상에서 보고된 운석이 60,000점에 이르는 것을 감안하면 장기적인 관점에서 운석의 자화특성 연구가 지속적으로 수행되어 보다 다양한 자료 축적이 필요하다고 본다. 미래 우주기술 R&D 강화의 관점에서 운석의 자화특성 분야를 중점 공략하여 선도적인 연구그룹으로 성장할 가능성이있다. 특히 운석을 다루는 연구는 분야의 특성상 대중의 과학적 호기심 충족을 유발하여 일정부분 과학저변화에도 기여한다.

극지연구소의 연구팀과 꾸준한 협업을 통해 창출 가능한 연구 활용 방안은 다음과 같다.

- (1) 향후 달 탐사로 대표되는 우주탐사시대의 도래에 맞추어 극지연구소와의 협업을 통해 국가적 과제수행의 구심점 역할을 수행한다.
- (2) 미세소행성체의 생성과 진화과정에 대한 기초 자료를 제공함으로써, 미세소행성체 및 내행성의 핵-맨틀-지각 분화과정을 이해하고 나아가 태양계 진화에 관한 이해도를 증진시킨다.
- (3) 단위 시료에 대한 광물학-암석학-자기학을 융합한 자료를 생산하여 상대적으로 인지도 높은 국제학술지에 그 결과를 발표하려 한다.
- (4) 운석의 자화특성 연구를 통하여 21세기 미래 유용광물자원 개발을 위한 행성탐사 추진시 기초 자료를 제공한다.
- (5) 행성과학 분야에서 경쟁력 있는 대학원생을 교육하여, 향후 이 분야의 핵심 고급 전문인력으로 양성한다.

## 나. 기대효과

구분	기대 효과
기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지구행성 과학분야 원천·핵심기술 확보를 위한 기초연구</li> <li>— 콘드라이트를 포함하는 운석의 자기특성은 태양계 형성 초기 미세소행성체의 진화사를 밝혀내 줄 유일한 과학적 단서</li> <li>— 체계적인 콘드라이트의 자기특성 규명 연구를 시도하여 태양계 내 미세소행성체의 진화에 관한 원천·핵심기술 확보가 가능</li> <li>— 초기 태양계의 진화과정 규명 분야에서 세계 최고 수준과의 격차는 10년 정도라 판단</li> <li>— 일부 고해상도의 우수 장비만 추가로 구비되어도 조만간 운석 연구 분야에서 세계적인 선도 연구가 가능할 것으로 예상</li> </ul>
경제적 산업적 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현장 실무 능력을 갖춘 운석연구 신규 인력 배출</li> <li>— 연구조원으로 대학원 재학생과 더불어 학부생도 연구에 일부 참여시킴</li> <li>— 연구조원에게 자화특성 연구가 태양계 초기 진화를 규명하는데 유용한 도구가 된다는 사실을 교육</li> <li>— 콘드라이트를 포함하는 운석의 자기특성 규명에 대한 흥미를 유발시켜 우주탐사 분야 과학자가 되고자하는 동기를 부여</li> <li>— 연구결과를 국.내외 학회에서 적극적으로 발표하여 과학자로서의 자질을 교육.훈련</li> <li>— 국제적인 연구동향을 파악토록 함으로써 지구행성분야 분야 우수 연구 인력으로 양성</li> </ul>

## 다. 연구종료후 성과창출 계획

구분	주요내용	의의(시사점)	비고
논문	(연구종료 이전) 연구과제 사사가 명기된 SCI 논문 2편과 Scopus 논문 1편	콘드라이트 운석의 자화특성에 관한 국제 선도적 연구 수행의 가능성 제시	
	(연구종료 이후) 1. 연구수행 시 도출된 연구 결과를 이용하여 논문화 작업을 지속 2. 연구과제 사사가 명기된 SCI 논문을 2편정도 지구행성과학계에서 권위를 인정받는 국제 저명 SCI 학술지에 게재	향후 실적 발생 시 해당 과제번호(PD16010)를 사사에 명기	
지적재산권	 해당사항 없음		
인력양성	<p style="text-align: center;">극지연구소</p> <p style="text-align: center;">극지연구소 지구과학 운석 및 자화특성 연구 분야 전문가로 양성</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 충남대학교 김하늘 2020년 예정</li> <li>2. 충남대학교 하래경 2021년 예정</li> <li>3. 중국남방과학기술대 정두희 박사</li> <li>4. 중국북경대학교 홍화빈 박사</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현재 국내에 운석의 자화특성 연구 분야는 전문 연구인력이 부족</li> <li>2. 운석 연구를 위한 핵심 원천기술 확보에 동참</li> <li>3. 초기 행성물질 형성 물리화학적 진화 규명에 일조</li> <li>4. 남극장보고과학기지 활용 남극 빅토리아랜드 운석탐사대 지원 희망</li> </ol>	
기타	달탐사 및 우주개발사업과 같은 거대과학 국가연구개발사업에 극지연구소 연구인력과 공동참여 가능	세계 4대 남극운석 큐레이션 시스템 구축에 기여	

## 제 6 장 참고문헌

- Ahn, I., Lee J., Kusakabe M. and Choi B.-G., 2012, Oxygen isotope measurements of terrestrial silicates using a CO<sub>2</sub>-laser BrF<sub>2</sub> fluorination technique and the slope of terrestrial fractionation line. *Geosciences Journal*, 16, 7-16.
- Harju, E. R., Rubin A. E., Ahn I., Choi B.-G., Ziegler K. and Wasson J. T., 2014, Progressive aqueous alteration of CR carbonaceous chondrites. *Geochemica and Cosmochimica Acta*, 139, 267-292.
- Min, K., and P.W. Reiners, 2007, High-temperature Mars-to-Earth transfer of meteorite ALH84001, *Earth and Planetary Science Letters*, 260, 72-85.
- Nakamura-Messenger, K., Clemett S. J., Rubin A. E., Choi B. G., Zhang S., Rahman Z., Oikawa K. and Keller L. P., 2012, Wassonite: A new titanium monosulfide mineral in the Yamato 691 enstatite chondrite. *American Mineralogist*, 97, 807-815.
- Rubin, A. E. and Choi B. G., 2009, Origin of halogens and nitrogen in enstatite chondrites. *Earth, Moon and Planets*, 105, 41-53.
- Rubin, A. E., Griset C. D., Choi B. G. and Wasson J. T., 2009, Clastic matrix in EH3 chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 44, 589-601.
- Warren, P. H., Rubin A. E., Isa J., Brittenham S., Ahn I. and Choi B. G., 2013, Northwest Africa 6693: A new type of FeO-rich, low- $\Delta^{17}\text{O}$ , poikilitic cumulate achondrite. *Geochemica and Cosmochimica Acta*, 107, 135-154.
- Warren, P. H., Rubin A. E., Isa J., Gessler N., Ahn I. and Choi B. G., 2014, Northwest Africa 5738: Multistage fluid-driven secondary alteration in an extraordinarily evolved eucrite. *Geochemica and Cosmochimica Acta*, 141, 199-227.
- Yu, Y., and J. S. Gee, 2005, Spinel in Martian meteorite SaU 008: Implications for Martian magnetism, *Earth and Planetary Science Letters*, 232, 287-294.
- Yu, Y., S.-J. Doh, W. Kim, and K. Min, 2009, Ancient stable magnetism of the Richardton H5 chondrite, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 177, 12-18.
- Yu, Y., S.-J. Doh, W. Kim, and K. Min, 2011, Origin of stable remanent magnetization in LL6 Chondrite, St. Séverin, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 187, 292-30.
- Yurimoto, H., Krot A. N., Choi B. G., Aleon J., Kunihiro T. and Brearley A. J., 2008, Oxygen isotopes of chondritic components. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry series*, 68, 141-168.



1. 이 보고서는 극지연구소 PAP사업 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 PAP 사업으로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.