

1. 요약

<본 발표의 내용은 발표자가 1996년 1년간 교육부 교수 해외연구지원프로그램에 의해 스웨덴의 왕립공과대학(Royal Institute of Technology)에서 수행한 연구내용을 주로 하고 있으며, 연구주제는 스웨덴 핵폐기물관리기관(SKB)의 수행연구과제들 중 하나이다.>

컴퓨터를 이용한 영상분석기법은 컴퓨터 공학에서는 이미 오래전부터 하나의 분야로 자리잡아 발전되어 오고 있는 분야로써, 사진기나 디지털라이저(digitizer) 또는 비디오 카메라 등에 의해 포착된 영상을 수치화하여 컴퓨터 메모리에 저장한 후, 영상으로부터 최대한의 정보를 얻기 위하여 이용 목적에 맞도록 처리하는 방법을 말한다. 초기에는 군사적인 목적하에 위성사진의 분석을 위하여 시작되었으나 현재는 기상사진의 처리, 자원의 원격탐사, 지리정보 데이터베이스의 구축 등 고도의 기술적 분야에서부터 방송용 영상처리, 예술사진, 의료진단, 물류계통의 관리, 생산공정 관리 등 광범위한 분야에서 없어서는 안될 부분으로 자리하고 있다.

지하공간의 개발을 위한 지질조사 분야에서는 90년대 이후인 비교적 최근에 들어 시추공내 영상촬영장비인 보어홀 스캐너나 보어홀 텔레뷰어 등의 정밀 영상 포착용 장비가 개발되었으며, 이러한 장비들로부터 수치화된 영상자료의 획득이 가능해짐에 따라 컴퓨터를 이용한 영상분석기법에 대한 연구가 활성화되고 있는 추세이다. 영상분석기법을 이용할 경우 현장에서의 작업을 컴퓨터상의 영상으로 전환하여 수행함으로써 자료의 보존성이나 처리비용의 절감을 이룰 수 있고 또한 결과에 대한 정밀성이나 처리속도 등을 향상시킬 수 있다. 이러한 이점들로 인하여 최근 암반공학분야에서의 선진국들이라고 할 수 있는 미국, 스웨덴, 일본 등에서는 지질조사과정에서 컴퓨터 영상처리기술을 개발하기 위한 연구를 활발하게 추진하고 있으며,

특히 미국과 스웨덴의 경우, 현재 추진중인 고준위핵폐기물처분장 건설사업을 성공적으로 추진하기 위하여 영상처리를 이용한 정밀지질조사기술의 개발과 적용에 연구 방향을 집중시키고 있는 추세이다.

우리나라의 경우도 핵폐기물처분장의 건설과 같은 국가적 당면 과제뿐만아니라 원유비축기지 등 에너지 관련 지하공간시설, 민간차원에서 국토의 이용효율을 높이기 위한 지하공간 개발사업들이 활발하게 추진되고 있는 형편에 있으므로, 지하공간이 위치할 암반에 대한 고차원적 지질조사 기술의 개발이 요구되는 시점에 와 있다고 할 수 있다.

본 연구의 대상지역은 스웨덴에서 현재 고준위핵폐기물처분장의 건설을 목표로 선정되어 연구가 진행되고 있는 Aspo지역의 심부지반조사용 시추공 KAS03에서 borehole scanning을 실시하여 획득된 시추공벽 영상을 대상으로 하였다. KAS03 시추공은 96년 3월 현재 고준위핵폐기물처분장의 건설 목표심도인 1,000m 하부까지 굴착된 공이다. Aspo지역에서는 현지암반조건을 반영한 연구를 수행하기 위한 HRL(Hard Rock Laboratory)이 운영되고 있는데 이는 핵폐기물처분장 건설목표심도인 900-1,000m의 상부인 심도 450-500m 지점의 암반내에 위치하고 있다.

본 연구는 크게 3가지 부분 - 시추공벽 영상의 포착, 절리해석을 위한 시추공벽 영상의 영상분석 그리고 분석된 영상자료로부터 JRC의 산정 - 으로 구성되어 있다.

시추공벽 영상 자료를 얻기 위한 장비로는 종래까지 borehole camera가 보편적으로 사용되어 왔으며 이는 이미 국내에 도입되어 활용되고 있다. 그러나 이 장비는 시추공내의 상태를 정성적으로 검색하기 위한 목적으로 개발되어 공내영상 검출장비로서의 기본적 기능은 수행할 수 있으나 시추공벽으로부터 정량적이고도 세부적인 지질자료 즉, 암종의 판별에서부터 절리의 방향, 상태, 이격, 충전물의 검색 등을 파악하기에는 다소 미흡하다고 할 수 있을 것이다. 80년대 후반 borehole camera는 발전을 거듭하여 borehole scanner의 형태로 나타나게 되었는데 이는 공벽의영상을

공간좌표의 설정하에 포착하고 또한 영상의 해상도를 높힘으로써 공벽으로부터 유용한 지질자료를 획득하는데 획기적인 발전을 이루게 되었다. 연구에 사용된 장비는 borehole scanner의 일종인 BIPS(Borehole Image Processing System)로써 scanning probe 및 영상기록장비와 영상해석용 S/W로 구성되어 있다. 포착된 공벽 영상의 해상도는 가로 1 pixel/degree, 세로(시추공방향) 1-10 pixel/mm 이다. 시추공방향의 해상도가 가변적인 것은 scanning probe의 주행속도에 따른 것으로 장비의 최대 허용 주행속도는 약 70m/hr이다.

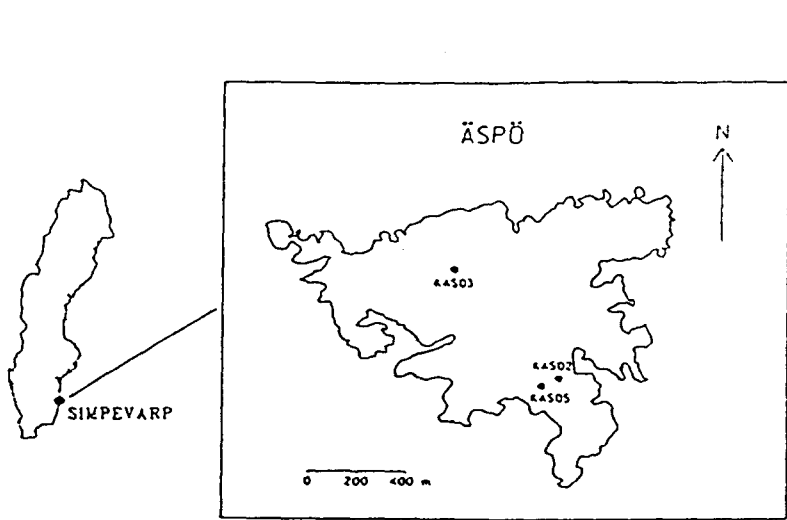
공벽영상 처리를 위하여 사용된 영상분석기(Image Analyzer)는 IBAS 시스템으로써 일반적으로 수치화도니 영상에 대해 영상의 변조 및 filtering 영상 내에서의 측정 등의 기본적인 기능을 내장하고 있으며 사용자에게 따라 특수한 영상처리 알고리즘을 개발하여 수행할 수 있는 기능을 갖고 있다.

영상분석기에 의해 시추공벽 영상으로부터 존재하는 절리의 영상을 추출하고 절리의 궤적을 공간좌표에 의거하여 측정함으로써 JRC산정을 위한 자료를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이 자료로부터 JRC를 산정하는 과정을 PC를 이용하여 프로그램화함으로써 전체적으로 시추공벽 영상의 추출에서부터 JRC산정에 이르기까지의 전 과정이 연계적으로 처리될 수 있도록 하였다.

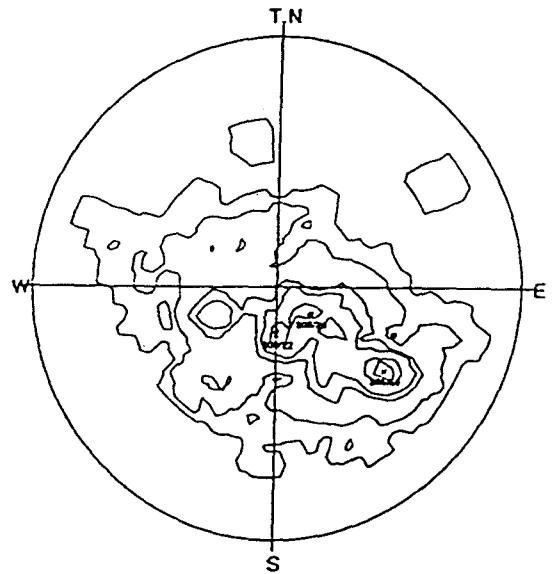
암반의 공학적 평가나 절리면의 역학적 상태를 정량적으로 나타내기 위한 수단으로 널리 적용되고 있는 JRC의 산정을 위하여 지금까지는 profilometer를 이용한 실제적인 측정에 주로 의존하여 왔으나 본 연구에서와 같이 시추공의 영상을 이용한 산정이 가능하여짐으로써 해서 보다 광범위한 시추공벽 자료를 대상으로 많은 양의 결과를 신속히 처리할 수 있게 되었으며, 이 결과는 암반내 절리 구조의 파악과 아울러 설계과정에서 필요한 암반 절리의 모델링 등에 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

또한, BIPS를 이용한 영상자료로부터 얻을 수 있는 시추공 주변암반의 logging, 절

리면의 이격(aperture), 충전물의 판별, 절리면의 상태 등에 대한 자료는 database화가 가능하므로, 앞으로 암반내 절리구조 뿐만아니라 전반적인 지질자료에 관한 정리 기준이 수립될 경우 국내 또는 국외에 이르기까지 획득된 자료의 종합적이고도 체계적인 축적이 가능해지리라고 본다.

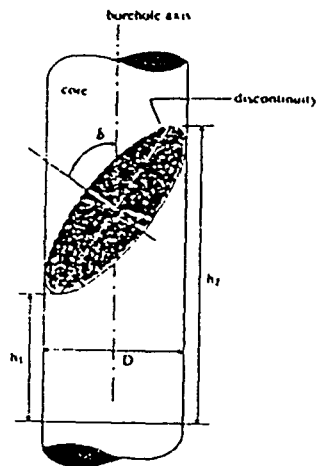


Geographical location of the Simpevarp area and the location of borehole KAS03 at Äspö

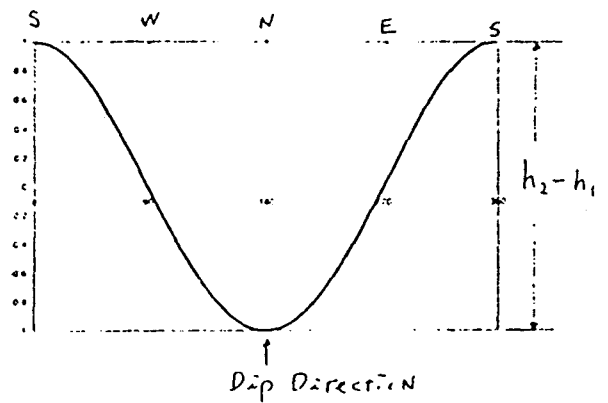


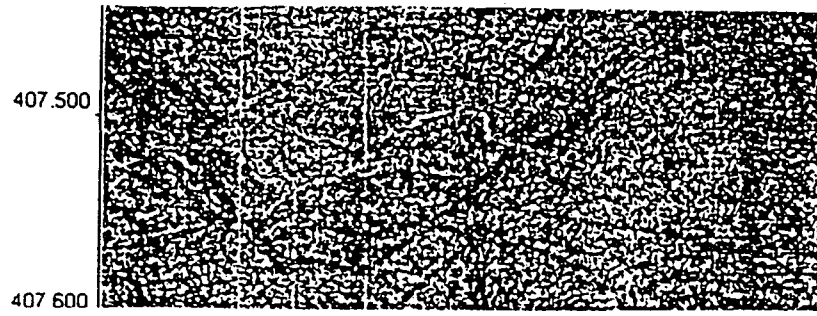
Number of Data : 309
 Joint Set 1 : 306/59 7% or more
 Joint Set 2 : 308/20 6-7%
 Joint Set 3 : 000/22 6-7%
 Sampling Depth : 370.3 - 426.3

$$\tan \delta = \frac{h_2 - h_1}{D}$$



Intersection geometry for a discontinuity and borehole core





Original borehole wall image at depth 407.51m of KAS03 borehole.
Dip direction and dip angle of the fracture in the image was analysed to be 306/59.

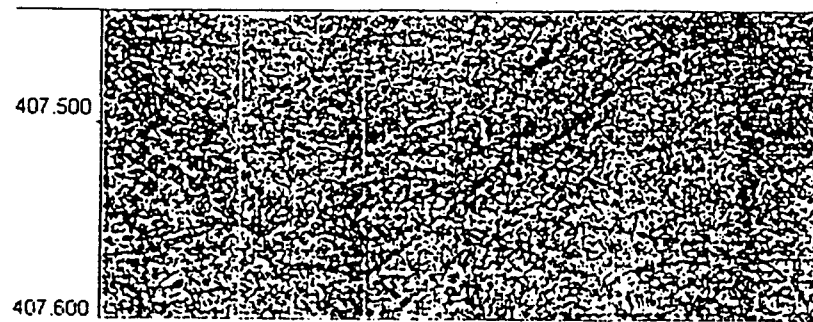


Image after DELIN process

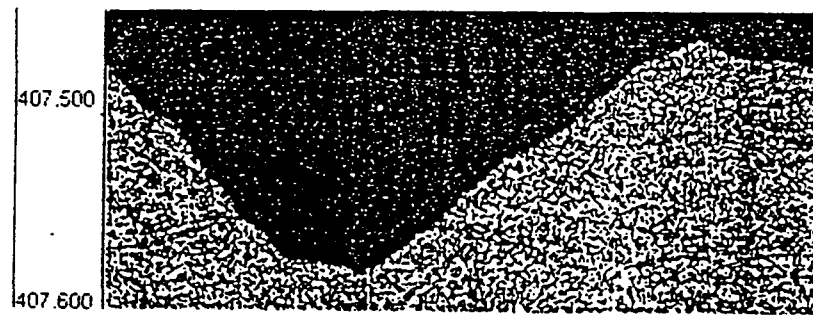
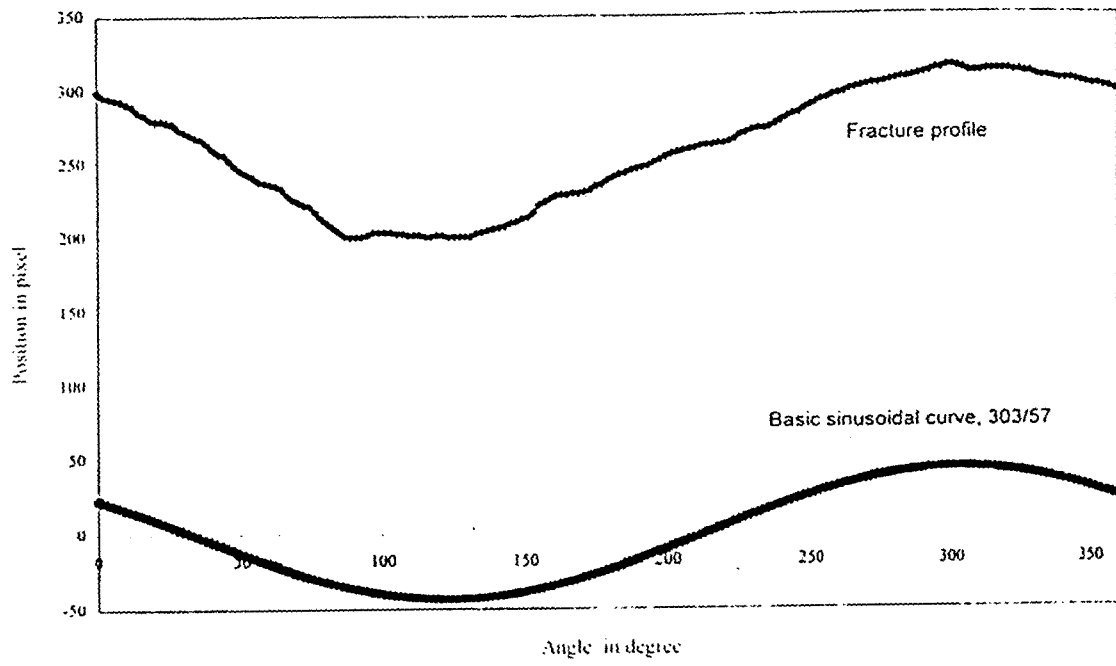


Image after erasing upper part of fracture

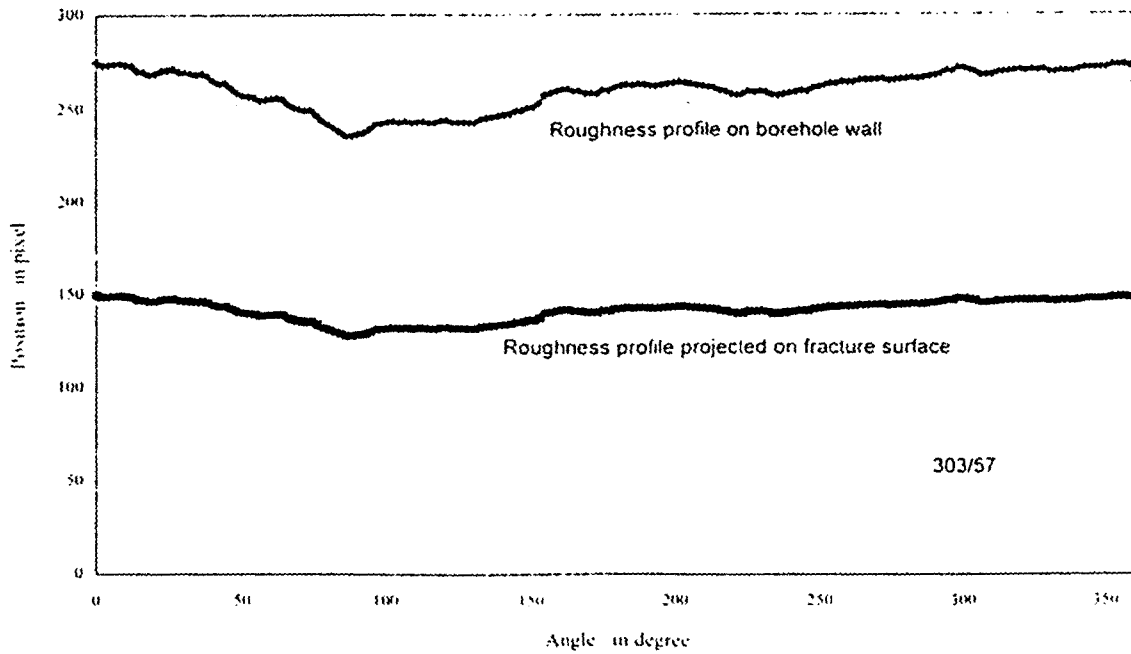


Image after converting grey value of lower part of fracture to white color.

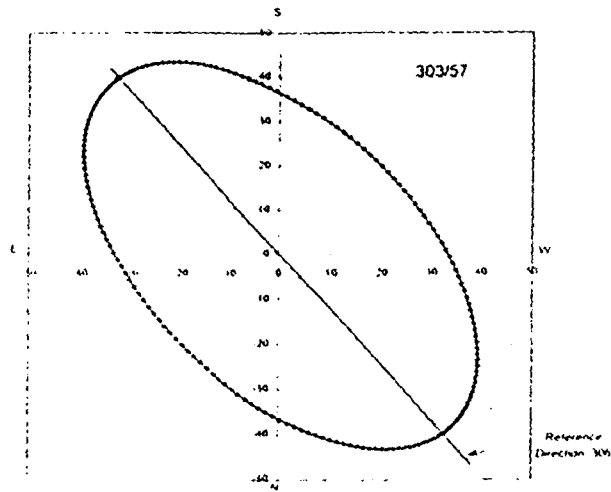
Fracture profile along the borehole wall



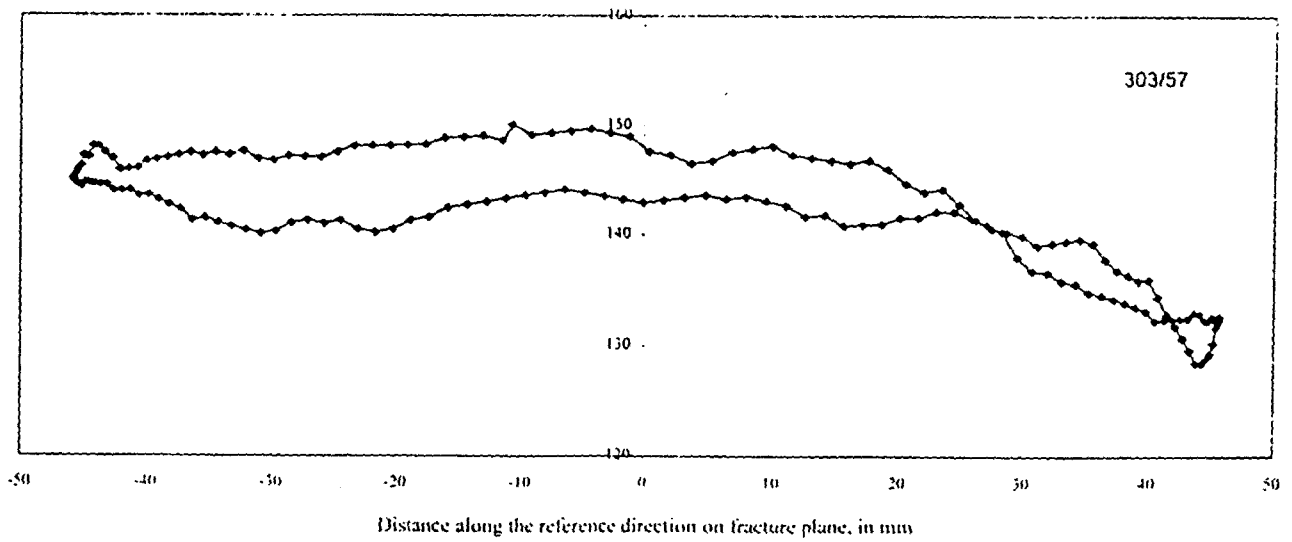
Correction of roughness profile by projecting on the fracture surface



Projection of fracture plane on Z13 surface



Roughness profile projected on the reference direction of 306



$$Z_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^M (y_{i+1} - y_i)^2}{M(\Delta x)^2}}$$

Z_2 : Root Mean Square

Δx : sampling interval

Tse and Cruden :

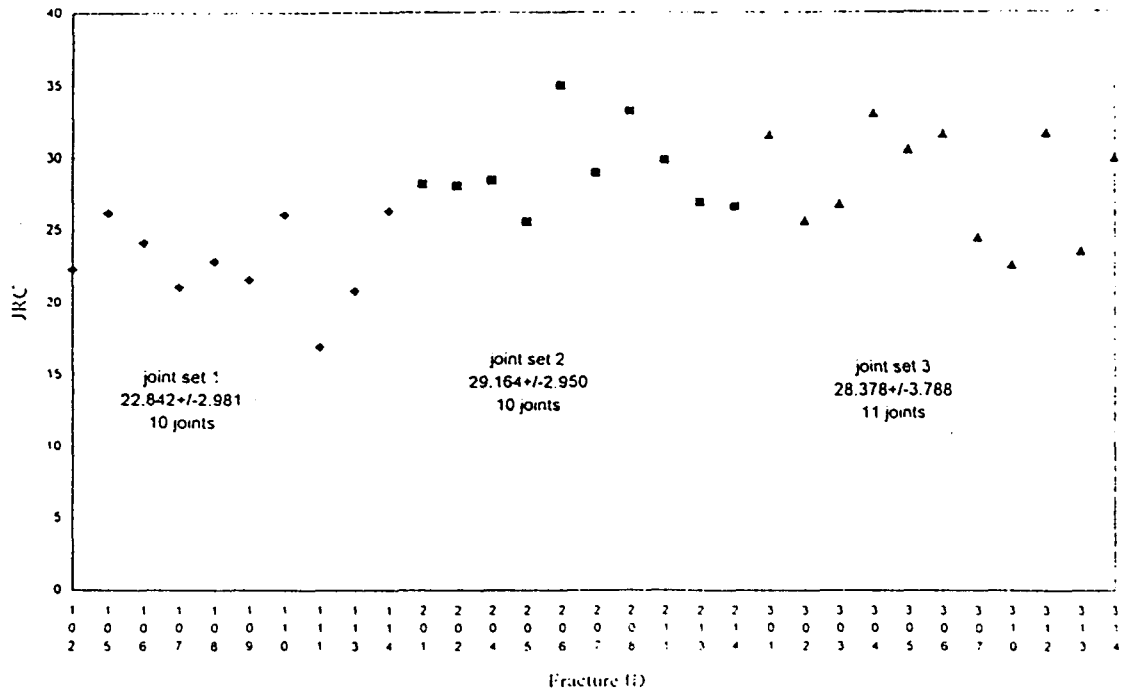
$$JRC \approx 32.2 + 32.47 \log_{10} Z_2$$

MacWilliams, Roberts, ... :

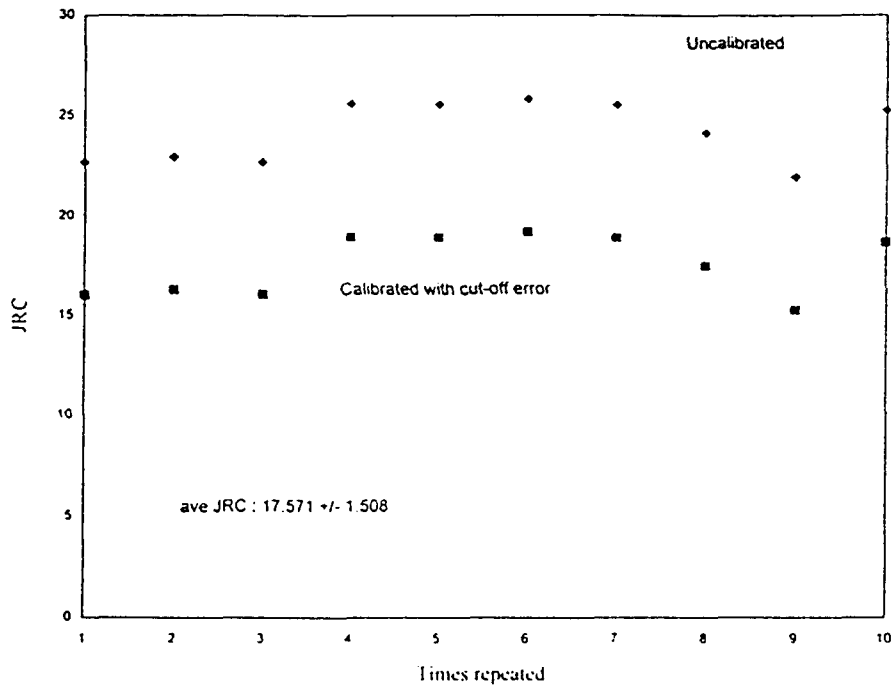
$$JRC \approx AZ_2 - B$$

Δx	A	B
0.25mm	60.32	4.51
0.5	61.79	3.47
1.0	64.22	2.31

Results of JRC evaluation for fractures



JRC obtained from repeated manual scanning



Cut-off error according to dip angle

