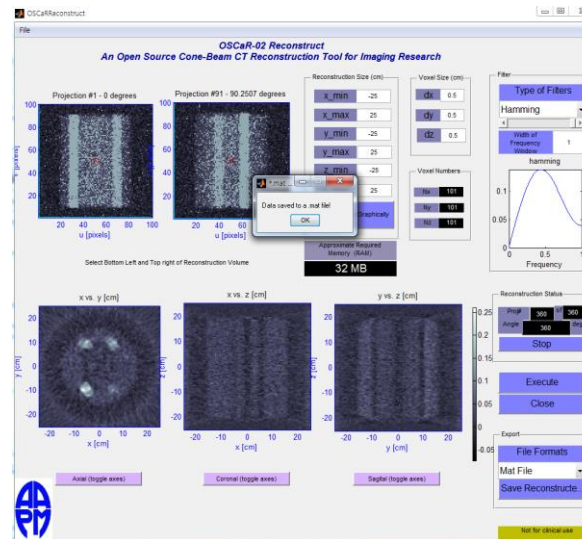
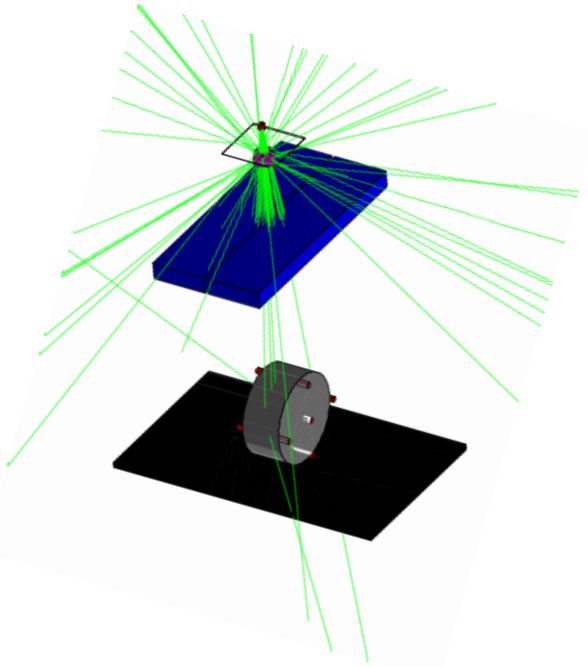


# GATE CT 시뮬레이션

## :SRS-78을 이용한 X-ray 스펙트럼 생성 및 OSCaR를 이용한 FDK reconstruction



2015.02.17.  
강한규

# CT 시뮬레이션 과정

1 – Define the Scanner geometry

(CTscanner의 **geometry**설정)

2 – Define the Phantom geometry (팬텀의 geometry 설정)

3 – Set up the Physics processes (physics list설정)

4 – Initialization the simulation : Compute cross-section

tables for particles, Initialization 이후엔 매크로에서 1,2,3의

설정 값을 바꾸지 못함.

5 – Digitizer Description (Hits->Pulses->Singles로 감마선 사건 저장)

6 – **Define the source** (X-ray activity, angle 설정)



SRS-78 스펙트럼 시뮬레이션  
->매프코드->**GATE source**

7 – Output setup (ASCII, ROOT등의 출력 파일의 포맷 설정)



Projection데이터->매프코드->  
OSCaR에서 사용가능한 projection data  
->**OSCaR FDK recon!**

8 – Start the acquisition (시뮬레이션 시작과 스캔 시간 설정)

# CT GATE 매크로 파일의 구성

- benchmarkCT → Main 매크로!
- CTScanner → CTscanner geometry 설정
- acquisition → CT 스캔 시간 설정
- AnalyzeCT → CT output(.root 분석파일)
- digitizer
- output → 출력파일 :Root, ASCII, Projection.bin
- phantom → Phantom geometry 설정
- physics
- source → X-ray 에너지스펙트럼, intensity 설정  
(보통 SRS78 시뮬레이션 데이터를 사용함)
- verbose
- visu
- Materials XML 문서 → Plastic섬광체, Epoxy등의 optical 정보 보관.
- Surfaces XML 문서 → Polished, s8550등의 optical surfaces 정보 보관.
- GateMaterials Data Base File → GateMaterials.db 파일

# 1. CT 검출기 Geometry 설정

```
#####
# VISUALIZATION PARAMETERS #
#####
#/control/execute visu.mac
/vis/disable ➡ Visualisation 매크로 파일 실행x
```

```
#####
# SET MATERIAL DATABASE #
#####
/gate/geometry/setMaterialDatabase ./GateMaterials.db
```

```
#####
# WORLD #
#####
/gate/world/geometry/setXLength 50. cm
/gate/world/geometry/setYLength 50. cm
/gate/world/geometry/setZLength 50. cm
/gate/world/setMaterial Air
```

```
#####
# CT scanner for small animal imaging #
# 150x200 pixels #
# size of pixels : 0.5x0.5x1.0 mm3 #
# pixels are made up of silicon #
#####
```

```
/control/execute CTScanner.mac ➡ CTScanner 검출기 geometry의
매크로 실행명령 매크로 파일명 매크로 파일 실행
```

# 1. CT scanner, module 생성

```
#####
```

```
# CTscanner system #
```

```
#####
```

```
/gate/world/daughters/name CTscanner ➡ System type을 scanner로 함.
```

```
/gate/world/daughters/insert box
```

```
/gate/CTscanner/placement/setTranslation 0. 0. 150.5 mm ➡ CTscanner의 +z축 translation
```

```
/gate/CTscanner/geometry/setXLength 50. mm
```

```
/gate/CTscanner/geometry/setYLength 50. mm
```

```
/gate/CTscanner/geometry/setZLength 1. mm
```

```
/gate/CTscanner/setMaterial Air
```

```
/gate/CTscanner/vis/forceWireframe
```

```
/gate/CTscanner/vis/setColor white
```

```
#####
```

```
#####
```

```
# CTSCANNER # ----> # MODULE #
```

```
#####
```

```
#####
```

```
/gate/CTscanner/daughters/name module ➡ CTscanner 하부볼륨으로 module을 생성
```

```
/gate/CTscanner/daughters/insert box
```

```
/gate/module/geometry/setXLength 50. mm
```

```
/gate/module/geometry/setYLength 50. mm
```

```
/gate/module/geometry/setZLength 1. mm
```

```
/gate/module/setMaterial Silicon
```

```
/gate/module/vis/forceWireframe
```

```
/gate/module/vis/setColor white
```

# 1. module -> cluster -> pixel 생성

```
#####
# MODULE # ----> # CLUSTER_0 #
#####
```

/gate/module/daughters/name cluster ➡ Module 하부볼륨으로 cluster를 생성

```
/gate/module/daughters/insert box
/gate/cluster/geometry/setXLength 50. mm
/gate/cluster/geometry/setYLength 50. mm
/gate/cluster/geometry/setZLength 1. mm
/gate/cluster/setMaterial Air
/gate/cluster/vis/forceWireframe
/gate/cluster/vis/setColor white
```

```
#####
# MODULE # ----> # CLUSTER_0 # ----> # PIXEL_0 #
#####
```

/gate/cluster/daughters/name pixel

```
/gate/cluster/daughters/insert box
/gate/pixel/geometry/setXLength 0.5 mm
/gate/pixel/geometry/setYLength 0.5 mm
/gate/pixel/geometry/setZLength 1. mm
/gate/pixel/setMaterial Silicon ➡ pixel의 재질을 Silicon으로 설정
/gate/pixel/vis/setColor red
```

## 1. pixel에 CrystalSD 붙이기

```
# REPEAT PIXEL_0
```

```
/gate/pixel/repeaters/insert cubicArray ➡ pixel을 직사각형으로 repeat시킴.
```

```
/gate/pixel/cubicArray/setRepeatNumberX 100
```

```
/gate/pixel/cubicArray/setRepeatNumberY 100
```

```
/gate/pixel/cubicArray/setRepeatNumberZ 1
```

```
/gate/pixel/cubicArray/setRepeatVector 0.5 0.5 0.00 mm
```

```
/gate/pixel/cubicArray/autoCenter true
```

```
# ATTACH SYSTEM
```

```
/gate/systems/CTscanner/module/attach module ➡ systems에 module을 붙임
```

```
/gate/systems/CTscanner/cluster_0/attach cluster ➡ systems에 cluster를 붙임
```

```
/gate/systems/CTscanner/pixel_0/attach pixel ➡ systems에 pixel을 붙임
```

```
# ATTACH LAYER
```

```
/gate/pixel/attachCrystalSD ➡ Pixel에 CrystalSD를 붙임!
```


## 2. Phantom 설정

```
#####
# phantom in rotation (1 deg/s) : #
# * 1 water cylinder      #
# * 4 balls                #
#####
```

```
/control/execute phantom.mac
/gate/waterCylinder/moves/insert rotation
/gate/waterCylinder/rotation/setSpeed 1. deg/s
/gate/waterCylinder/rotation/setAxis 0 0 1
```

 phantom.mac 매크로 파일 실행

waterCylinder phantom을 z축에 대해 1초당 1도씩 회전시킴.

 Gatry를 회전시키는 대신에 phantom을 회전시킴.



# 2. Phantom 설정

```
#####
# phantom in rotation (1 deg/s) : #
# * 1 water cylinder      #
# * 4 balls                #
#####
```

```
/control/execute phantom.mac
/gate/waterCylinder/moves/insert rotation
/gate/waterCylinder/rotation/setSpeed 1. deg/s
/gate/waterCylinder/rotation/setAxis 0 0 1
```

phantom.mac 매크로 파일 실행

waterCylinder phantom을 z축에 대해 1초당 1도씩 회전시킴.

Gatry를 회전시키는 대신에 phantom을 회전시킴.


## 2. Phantom 설정

```
#####
# Water Cylinder #
#####
/gate/world/daughters/name waterCylinder → waterCylinder 생성
/gate/world/daughters/insert cylinder
/gate/waterCylinder/geometry/setRmin 0. mm
/gate/waterCylinder/geometry/setRmax 8. mm
/gate/waterCylinder/geometry/setHeight 20. mm
/gate/waterCylinder/placement/setRotationAxis 1 0 0
/gate/waterCylinder/placement/setRotationAngle 90. deg } waterCylinder를 x축에 대해 90도 회전
/gate/waterCylinder/setMaterial Water → waterCylinder의 재질 : Water
/gate/waterCylinder/vis/forceWireframe
/gate/waterCylinder/vis/setColor cyan
```


```
# Aluminium Balls #
/gate/waterCylinder/daughters/name aluminiumBall → waterCylinder의 하위볼륨으로 aluminiumBall생성
/gate/waterCylinder/daughters/insert cylinder
/gate/aluminiumBall/placement/setTranslation 4.76314 -2.75 -6. mm
/gate/aluminiumBall/geometry/setRmin 0. mm
/gate/aluminiumBall/geometry/setRmax 1. mm
/gate/aluminiumBall/setMaterial Aluminium
/gate/aluminiumBall/vis/setColor white
```

## 2. Phantom 설정


# PVCBall #

```
/gate/waterCylinder/daughters/name PVCBall  waterCylinder의 하위볼륨으로 PVCBall생성  
/gate/waterCylinder/daughters/insert sphere  
/gate/PVCBall/placement/setTranslation 4.76314 2.75 -6. mm  
/gate/PVCBall/geometry/setRmin 0. mm  
/gate/PVCBall/geometry/setRmax 1. mm  
/gate/PVCBall/setMaterial PVC  
/gate/PVCBall/vis/setColor cyan
```

# glassBall #

```
/gate/waterCylinder/daughters/name glassBall  waterCylinder의 하위볼륨으로 glassBall생성  
/gate/waterCylinder/daughters/insert sphere  
/gate/glassBall/placement/setTranslation -4.76314 -2.75 6. mm  
/gate/glassBall/geometry/setRmin 0. mm  
/gate/glassBall/geometry/setRmax 1. mm  
/gate/glassBall/setMaterial Glass  
/gate/glassBall/vis/setColor red
```

# glassBall #

```
/gate/waterCylinder/daughters/name spineBoneBall  waterCylinder의 하위볼륨으로  
spineBoneBall생성  
/gate/waterCylinder/daughters/insert sphere  
/gate/spineBoneBall/placement/setTranslation -4.76314 2.75 6. mm  
/gate/spineBoneBall/geometry/setRmin 0. mm  
/gate/spineBoneBall/geometry/setRmax 1. mm  
/gate/spineBoneBall/setMaterial SpineBone  
/gate/spineBoneBall/vis/setColor yellow
```

benchmarkCT.mac -> physics.mac

### 3. Physics setting

```
#####  
# PHYSICS #  
#####
```

/control/execute physics.mac ➡ **physics.mac 매크로 파일 실행**

#### physics.mac 의 내용

```
#####  
# EM PROCESS #  
#####  
/gate/physics/addProcess PhotoElectric  
/gate/physics/processes/PhotoElectric/setModel StandardModel  
  
/gate/physics/addProcess Compton  
/gate/physics/processes/Compton/setModel PenelopeModel  
  
/gate/physics/addProcess RayleighScattering  
/gate/physics/processes/RayleighScattering/setModel PenelopeModel  
  
/gate/physics/addProcess ElectronIonisation  
/gate/physics/processes/ElectronIonisation/setModel StandardModel e-  
  
/gate/physics/addProcess Bremsstrahlung  
/gate/physics/processes/Bremsstrahlung/setModel StandardModel e-  
  
/gate/physics/addProcess MultipleScattering e-  
  
/gate/physics/processList Enabled  
/gate/physics/processList Initialized
```

## 4 – Initialization the simulation :

(Compute cross-section tables for particles)

```
#=====
# INITIALISATION
#=====

/gate/run/initialize
```

**Initialization 이후엔 매크로에서 아래 설정 값을 바꾸지 못함.**

1. Scanner의 geometry
2. Phantom의 geometry
3. Physics process

# 5. Digitizer

```
#####  
# DIGITIZER #  
#####
```

/control/execute digitizer.mac ➡ digitizer.mac 매크로 파일 실행

## digitizer.mac의 내용

```
#####  
# DIGITIZER #  
#####
```

- /gate/digitizer/Singles/insert adder ➡ 1. adder는 hits들을 pulses per volume들로 합침.
- /gate/digitizer/Singles/insert readout ➡ 2. Readout은 같은 volume(depth)에 있는 pulse들을 하나의 최종 pulse로 합침. (최종 pulse 즉, Singles가 감마선 사건으로 기록됨)
- /gate/digitizer/Singles/readout/setDepth 2 ➡ volume(depth=2) cluster에 있는 pulse들을 하나의 최종 pulse로 합침 pulse 즉, Singles가 감마선 사건으로 기록됨
- /gate/digitizer/Singles/insert thresholder
- /gate/digitizer/Singles/thresholder/setThreshold 10 keV ➡ 에너지 thresholder
- /gate/digitizer/convertor/verbose 0
- /gate/digitizer/verbose 0

# 6. Source (gamma)

```
#####
# SOURCE GPS #
#####
```

/control/execute source.mac ➡ source.mac 매크로 파일 실행

## source.mac 매크로 내용

```

/gate/source/addSource xraygun ➡ Xraygun은 그냥 임의의 이름임.
/gate/source/verbose 0
/gate/source/xraygun/setActivity 350000. becquerel ➡ X-선의 Activity 설정
/gate/source/xraygun/gps/verbose 0
/gate/source/xraygun/gps/particle gamma ➡ Particle type= gamma (감마선)
/gate/source/xraygun/gps/energytype Arb ➡ 에너지타입을 Arb로 설정.(히스토그램 분포로 나타내기 위해)
/gate/source/xraygun/gps/histname arb
/gate/source/xraygun/gps/emin 10.00 keV } X-선의 최소, 최대 에너지 설정
/gate/source/xraygun/gps/emax 40.00 keV }
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0100 7 }
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0102 4 }
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0104 4 }
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0105 4 }
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0106 6 }

```

↓                      ↓  
 E[MeV]                  Phthon의  
                                   개수

# 6. Source (gamma)

## source.mac 매크로 내용

```
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0397 0  
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0398 0  
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0399 0  
/gate/source/xraygun/gps/histpoint 0.0400 0
```



```
/gate/source/xraygun/gps/arbint Lin  
/gate/source/xraygun/gps/type Plane  
/gate/source/xraygun/gps/shape Rectangle  
/gate/source/xraygun/gps/halfx 0.025 mm  
/gate/source/xraygun/gps/halfy 0.025 mm  
/gate/source/xraygun/gps/mintheta 0 deg  
/gate/source/xraygun/gps/maxtheta 6.8 deg  
/gate/source/xraygun/gps/centre 0. 0. -15.0 cm  
/gate/source/xraygun/gps/angtype iso  
/gate/source/list
```

X-선원의 모양과 크기 방출각도 설정

➔ Z축으로 소스 이동



benchmarkCT.mac -> output.mac

## 7. Output

```
#####
```

```
# OUTPUT #
```

```
#####
```

```
/control/execute output.mac ➡ output.mac 매크로 파일 실행
```

### source.mac 매크로 내용

```
#####
```

```
# ROOT #
```

```
#####
```

```
/gate/output/root/enable
```

```
/gate/output/root/setFileName benchmarkCT ➡ ROOT출력파일명
```

```
/gate/output/root/setRootHitFlag 0
```

```
/gate/output/root/setRootSinglesFlag 1 ➡ ROOT출력은 Singles만 있으면 됨.
```

```
/gate/output/root/setRootNtupleFlag 0
```

```
/gate/output/verbose 2
```

```
#####
```

```
# CT Image #
```

```
#####
```

```
/gate/output/imageCT/verbose 0
```

```
/gate/output/imageCT/enable
```

```
/gate/output/imageCT/setFileName benchmarkCT ➡ CT projection 출력파일명(binary, 확장자 .dat)
```

```
/gate/random/setEngineName MersenneTwister ➡ Random number
```

```
/gate/output/imageCT/setStartSeed 567489
```

benchmarkCT.mac -> verbose.mac

# Verbosity

```
#####
```

```
# VERBOSITY #
```

```
#####
```

```
/control/execute verbose.mac → Verbose.mac 매크로 파일 실행
```

## **verbose.mac** 매크로 내용

```
/control/verbose 0
```

```
/run/verbose 0
```

```
/run/particle/verbose 0
```

```
/run/particle/dumpCutValues
```

```
/event/verbose 0
```

```
/tracking/verbose 0
```

```
/tracking/verbose 0
```

```
/gate/generator/verbose 0
```

```
/gate/source/verbose 0
```

```
/run/particle/verbose 0
```

benchmarkCT.mac -> acquisitoin.mac

# 8. Start the acquisition (시뮬레이션 시작과 스캔 시간 설정)

```
#####  
# ACQUISITION #  
#####  
/control/execute acquisition.mac ➡ output.mac 매크로 파일 실행
```

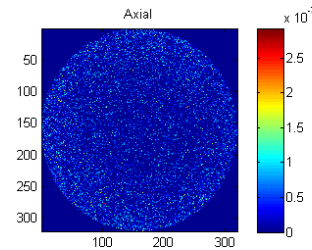
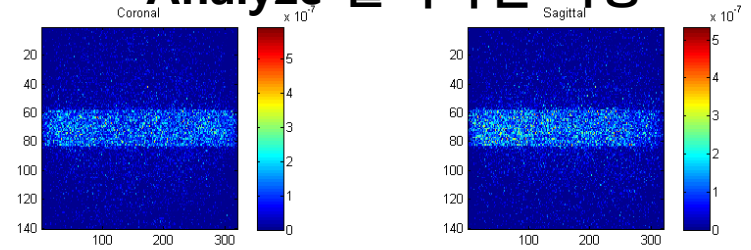
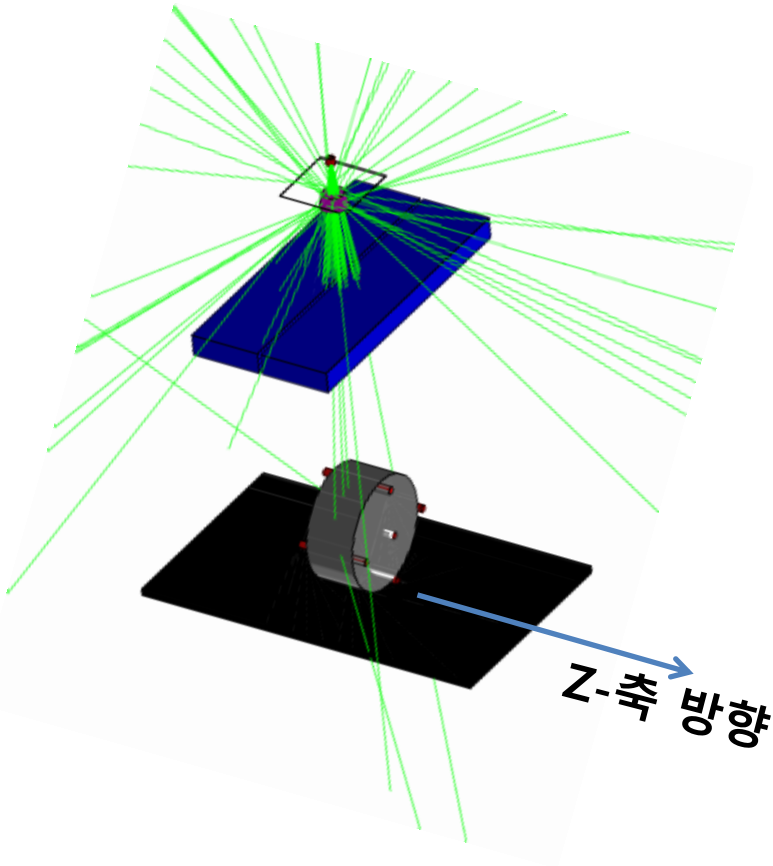
## acquisitoin.mac 매크로 내용

```
#####  
# ACQUISITION with 360 projections #  
#####  
/gate/application/setTimeSlice 1. s ➡ 한 슬라이스의 시간  
/gate/application/setTimeStart 0. s ➡ 시뮬레이션 시작 시간  
/gate/application/setTimeStop 360. s ➡ 시뮬레이션 종료 시간  
  
/gate/application/startDAQ ➡ GATE 시뮬레이션 시작!
```

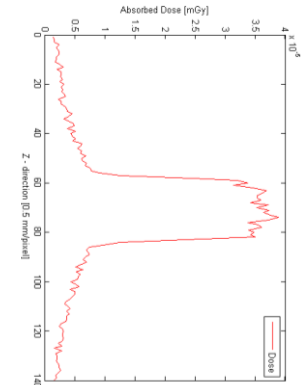
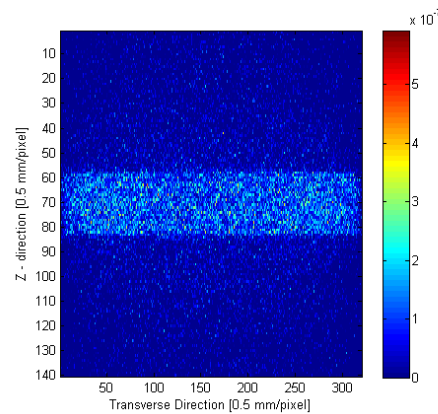
Number of Run =  
 $(\text{setTimeStop} - \text{setTimeStart}) / \text{setTimeSlice}$

# GATE CT 시뮬레이션 화면

<CTDI와 profile측정>  
Dose Actor에 의해 생성된  
Analyze 출력파일 이용



Dose (PMMA)  
Beam = CT X-ray Source  
Tube Voltage = 120 kVp  
**Integral Dose = 1.364 [mGy]**



# Projection data 출력파일

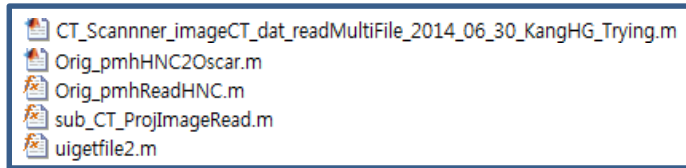
Root파일	benchmarkVRTCT.root	2014-07-01 오후...	ROOT 파일	12KB
	benchmarkVRTCT_000	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_001	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_002	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_003	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_004	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_005	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_006	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_007	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
Projection data파일	...			
	benchmarkVRTCT_353	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_354	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_355	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_356	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_357	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_358	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
	benchmarkVRTCT_359	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB

# CT 시뮬레이션 -> OSCaR FDK Recon과정

GATE CT시뮬레이션  
↓  
Projection 파일(.dat)

benchmarkVRTCT_000	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_001	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_002	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_003	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_004	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_005	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_006	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB
benchmarkVRTCT_007	2014-07-01 오후...	DAT 파일	40KB

↓  
맷랩코드

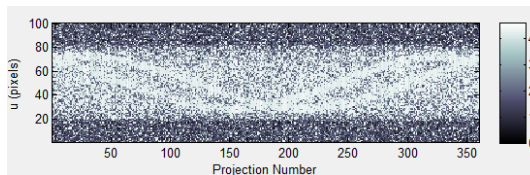


- Projection 파일(.tiff)
- OSCaR입력파일.xls

benchmarkCT_OSCaR_data	2014-07-14 오후 7:41	Microsoft Excel ...	41KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_000	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_001	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_002	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_003	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_004	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_005	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_006	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB
Proj_2014_07_14_source_100kBq_Acq_360sec_benchmarkVRTCT_007	2014-07-14 오후 7:41	TIFF 이미지	18KB

↓  
OSCaR(Load Projection)

↓  
Sinogram



↓  
OSCaR(Reconstruction)

↓  
Reconstructed images

