

홍삼 내공검출을 위한 X-선 영상처리기술

X-ray Image Processing for the Korea Red Ginseng Inner Hole Detection

손재룡*	최규홍*	이강진*	최동수*	김기영*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
J.R. Son	K.H. Choi	K.J. Lee	D.S. Choi	G.Y. Kim

1. 서론

국내 인삼산업은 지난 100여년 동안 홍삼의 제조·판매를 국가가 독점하는 전매제도로 운영되어 왔으나 '96년 7월 전매제가 폐지됨에 따라 개인이나 조합에서도 홍삼과 가공유통이 가능하게 되어 부가가치 증대를 위한 고품질의 홍삼 생산은 필수적이다.

최근 인삼제품의 수출실적은 전반적으로 수출물량과 수출액이 감소하는 추세에 있으며, 특히 백삼관련 제품의 수출은 급격히 감소하였지만 홍삼의 수출비중이 점차 증가하여 전체의 50%이상을 차지하고 있다.

홍삼은 품질등급에 따라 크게 천, 지, 양삼으로 구분하여 판매하고 있다. 이중 천삼은 내부에 내공이나 내백 등이 포함되지 않아야 하며 양삼에 비해 3배 이상의 고가로 거래되고 있다. 현재까지 내공 및 내백검출은 암실에서 백열구나 할로젠 램프 등의 back light 투시에 의한 육안검사로 행하여지고 있으며 이것은 검사자의 주관과 피로도 등에 따라 판정기준이 변할 수 있으며, 특히 주근의 동체부분은 빛의 투시가 어렵기 때문에 작업자가 표피의 일부를 깎아서 검사해야 하는 번거로움이 있으며, 특히 장시간 검사하면 눈의 피로가 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 고품질의 홍삼 선별 자동화장치를 개발하기 위하여 x-ray투시에 의한 내공판정 영상처리 알고리즘을 개발하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

부여에 있는 고려인삼장에서 제품판매를 위해 선별된 6년 근 홍삼을 천, 지, 양삼으로 등급 판정된 시료를 대상으로 하였으며, 너두는 절단하여 내공 및 내백의 상태를

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

확인하고, x-선 투과영상의 내부상태와 비교하였다.

나. 실험장치

이 연구에 사용된 x-선 투과영상처리시스템 (TVX-1000, Techvalley Co.)은 그림 1과 같이 형광판 위에 설치된 x-선 발생기에서 x-ray가 발생되면 대상체의 내부상태에 따라 각 지점에서의 투과량이 달라지게 되고 형광판에 반응된 투과량의 크기에 따라 0~255의 gray 값을 갖게 되고 렌즈를 통하여 CCD소자에 촬상되어 영상이 생성된다.

사용된 공시기의 사양은 x-선관 source가 최대 150 kV/50mA, Focal spot size 0.3mm, Image Field Size 300mm, Limiting resolution 4.0Lp/mm의 것을 사용하였다. 또한 영상처리를 위하여 Image board는 Meteor 2/standard, 컴퓨터는 Pentium II 를 이용하였다.

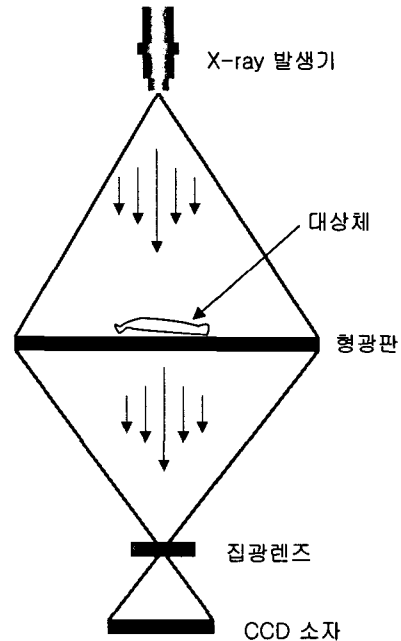


Fig. 1 Schematic diagram of X-ray image system

다. 영상처리 알고리즘

영상처리프로그램은 windows 98 환경하에서 Visual C++6.0을 이용하였고, 영상 입력을 위한 버퍼와 처리된 결과를 저장하고 시각적으로 나타내기 위한 버퍼로 구성하였다. X-선관에서 발생되어 조사되는 x-ray의 밝기 값을 x-선관 위치와 조사강도별로 농담분포 특성을 조사하고 x-선관에 놓인 홍삼의 위치에 따른 밝기 값 편차를 동일한 조사강도에서 얻은 “[원 영상 - 빈 영상]”을 뺀 감산영상(Frame Subtraction)을 만들어 보정하였다. 조사강도는 34kV/(2.25mA, 3.45mA, 4.15mA), 36kV/(2.25mA, 3.45mA, 4.15mA), 39kV/(2.25mA, 3.45mA, 4.15mA)의 총 9수준으로 측정하였다.

이렇게 만들어진 감산영상은 내공이 존재하는 부분과 없는 부분의 gray 값 차이가 뚜렷하게 구분이 안되기 때문에 농도차를 높이기 위한 전처리 영상을 “[원 영상 - 빈 영상] × 4”로 하는 Multiple 감산영상을 새로이 만들었다. 그러나 카메라에 입력되는 홍삼은 x-선관의 중심뿐만 아니라 가장자리까지 놓이게 되므로 중심에 위치한 홍삼에 비해 가장자리에 있을 때 동일한 부위에 대해서 gray 값이 낮게 나타나기 때문에 이를 보정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

라. 성능시험

동일한 홍삼을 대상으로 X-선관의 위치(중심 및 가장자리)에 따라 내공판정에 미치는 영향을 분석하였고, 또한 홍삼의 굵기에 따른 영향을 분석하기 위하여 주근의 동체부분과 지근을 일정크기 만큼 절단하여 동일한 위치에서 내공판정정도를 조사하였다. 그리고 완전한 홍삼에 대해서 내공판정정도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. X-선관 조사 강도별 밝기 값의 농담분포 특성

그림 2는 x-선관에서 조사되어 CCD 카메라에 입력된 x-선 영상이고 그림 3은 x-선관의 중심을 가로지르는 각 위치에 대한 gray 값의 농담분포를 나타낸 것이다. 가장자리에 비해 중심으로 갈수록 값이 높게 나타나는 경향이 나타났으며, 조사강도에 따라서도 값의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 같은 전압에서 전류가 높을수록 gray 값은 높게 나타났으며, 전압/전류의 값이 일정 값(36kV/4.15mA, 39kV/4.15mA) 이상이면 더 이상의 피크는 올라가지 않았다.

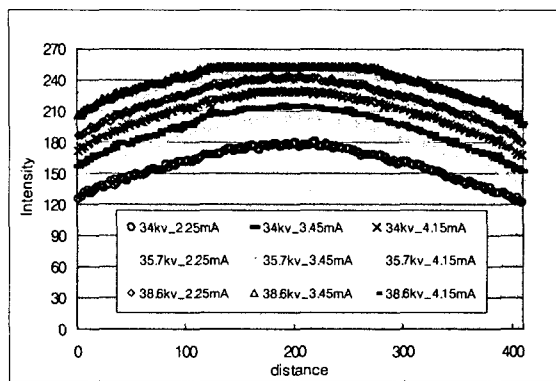
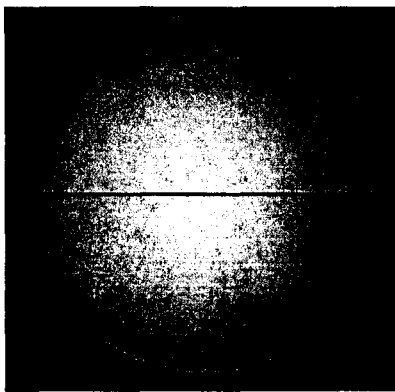


Fig. 2 Picture of empty image

Fig. 3 Distribution of gray value

나. X-선관의 밝기 값 편차보정

(1) 내공검출에 적합한 전처리 영상

내공검출을 위해서는 홍삼과 주변 배경을 구별할 수 있는 2치화 영상을 만들어야 하고 정상부분과 내공부분의 gray 값 차이가 뚜렷이 나타날 수 있는 전처리 영상이 필요하다.

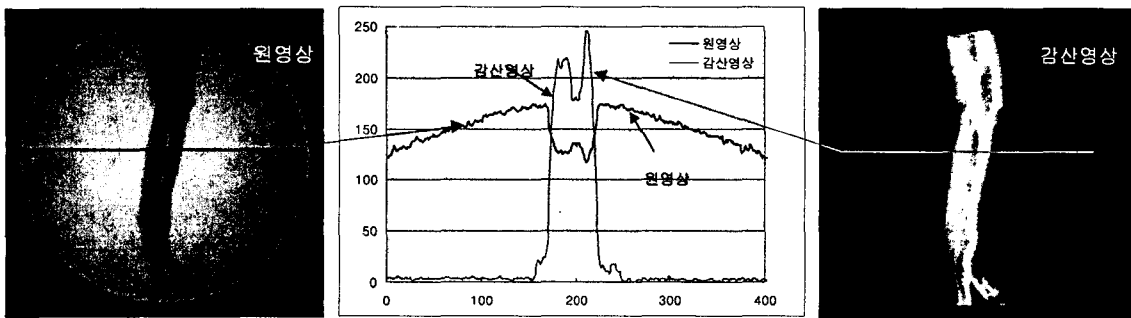


Fig. 4 Graph of original and subtraction image

그림 4는 카메라에 입력된 x-선 영상과 전처리영상에 대해서 x-선관을 가로지르는 각 지점에서의 gray 값의 분포를 나타낸 것이다. 그림 4에 나타난 바와 같이 원 영상에서는 정상

부분의 gray 값이 배경보다도 오히려 높게 나타나는 부분이 발생하여 2차화 영상 뿐만 아니라 내공 검출에 적합하지 않았으나, 원 영상에서 빈 영상(원 영상과 동일한 조사강도에서 홍삼 없이 촬영한 x-선 영상)을 뺀 감산영상에서는 배경과 홍삼의 gray 값 차이가 뚜렷이 나타났고 정상부분과 내공 부분의 밝기도 뚜렷이 나타났다.

(2) 조사 강도별 감산영상처리 결과

그림 5는 x-선 조사 강도별 감산영상처리 결과를 나타낸 것으로써 전압/전류의 값이 34kV/(2.25mA, 3.45mA, 4.15mA), 36kV/(2.25mA, 3.45mA, 39kV/(2.25mA, 3.45mA)에서는 영상의 손실 없이 감산영상처리가 가능하였으나, 36kV/4.15mA와 39kV/4.15mA에서는 홍삼 지근 부분의 영상이 손실되는 경우가 발생하였다.

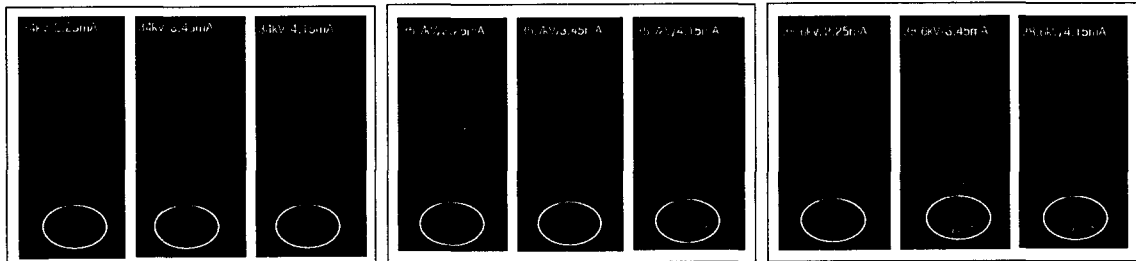


Fig. 5 Subtraction images by intensity of x-ray

(3) 감산 영상별 gray값의 농담분포 특성

(가) 단순 감산영상

그림 6에서는 원 영상에서 빈 영상을 뺀 단순 감산영상에서 주근과 지근에 대한 Line profile 분석 결과이다. 정상부분과 내공부분의 뚜렷한 밝기 차이가 나타나지 않았으며, 특히 지근 부분에서의 정상부분에 있는 gray 값이 주근의 내공 부분에 위치한 값보다 오히려 더 낮게 나타나 내공을 검출하는데 적합하지 않는 것으로 나타났다.

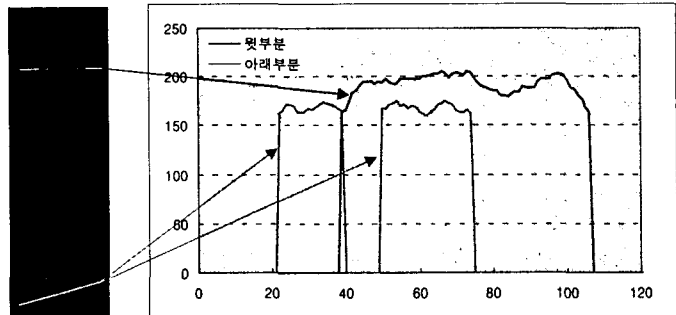


Fig. 6 Characteristic of gray value in simple subtraction image

(나) Multiple 감산영상

그림 7은 내공부분의 영상과 정상부분의 밝기 값 차이를 크기 하기 위하여 원 영상에서 빈 영상을 뺀 후 모든 영상평면의 화소에 대하여 4를 곱하는 multiple 감산영상을 만들어 홍삼의 주근과 지근에 대해서 Line profile 분석을 실시하였다. Line 위에 존재하는 각 지점에서의 gray 값은 주근 및 지근 모두 내공부분과 정상부분의 밝기 값 차이가 뚜렷이 나타

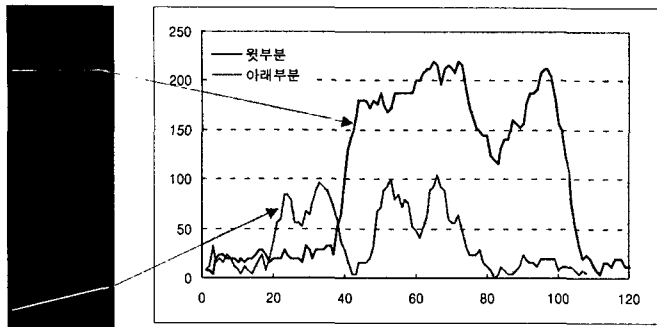


Fig. 7 Characteristic of gray value in multiple subtraction image

(다) 홍삼 위치별 부분 보정된 감산영상

X-선관에 조사되는 x-선 양은 가운데에서 가장자리로 갈수록 조사량이 감소하기 때문에 영상으로 만들어질 때 가장자리부분에서 희미하게 나타나는 원인이 된다. 따라서 multiple 감산영상으로 만들어도 가장자리의 gray 값은 전체적으로 낮게 생성되게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로는 한 라인씩 스캔해 가면서 각 라인에서의 최대가 되는 gray 값을 찾아 그 값을 250으로 나누어 생성되는 실수 값을 구한다. 한 라인에서 생성된 실수 값은 그 라인에 존재하는 모든 화소 값에 곱하여 새로운 영상을 생성한다. 또한, 이 연구에 사용된 영상 버퍼는 640×480 pixel 이므로 이 같은 과정을 480 라인이 될 때까지 반복하여 수행하고 480 이상이면 종료하게 된다. 그림 8은 부분 보정된 감산영상을 만드는 알고리즘을 나타낸 것이고, 그림 9는 이와 같은 과정으로 생성된 감산영상에 대해서 Line profile 분석 결과이다.

내공부분과 정상부분의 gray 값 차이는 크게 유지하고 지근의 희미한 영상을 주근과 전체적으로 비슷한 수준으로 만들어 줌으로써 내공을 판정을 위한 문턱값을 찾는 데 용이한 전처리 영상을 만들었다.

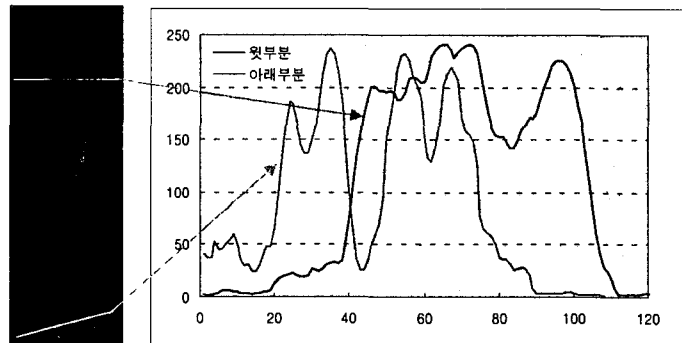


Fig. 9 Characteristic of gray value in partly corrected subtraction image

났으나, 지근 부분의 영상이 주근에 비해 전체적으로 희미하기 때문에 이 부분에서의 gray 값 피크는 주근 부분의 내공에 위치한 값 보다 오히려 더 낮게 나타나 내공판정에 어려움이 있기 때문에 전처리 영상에 대한 개선의 여지가 있었다.

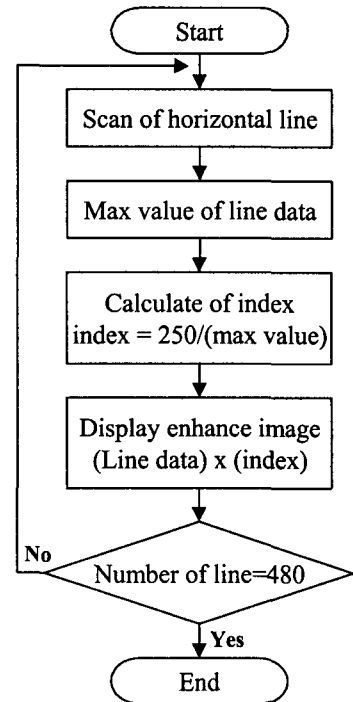


Fig. 8 Flowchart of partly correction image

다. 홍삼내공판정 정도

(1) X-선관에 놓인 위치 및 홍삼 굵기에 따른 내공판정 정도

그림 10은 x-선관에 놓인 위치와 동일한 위치에서 굵기가 다른 홍삼을 대상으로 내공판정 정도를 나타낸 것으로써 내공으로 판정된 부분은 선으로 연결하여 표시하였다.

X-선관의 놓인 위치에 따른 내공판정은 지근을 대상으로 시험하였으며 그림과 같이 가장자리 부분에서 전처리 영상을 만들 때 일부 데이터 손실이 발생하였고, 내공 판정에 있어서도 중심위치에 비해 판정정확도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

동일한 위치에서 굵기가 다른 지근과 주근을 대상으로 내공판정 시험결과 모두 양호한 내공판정 결과가 나타났다.

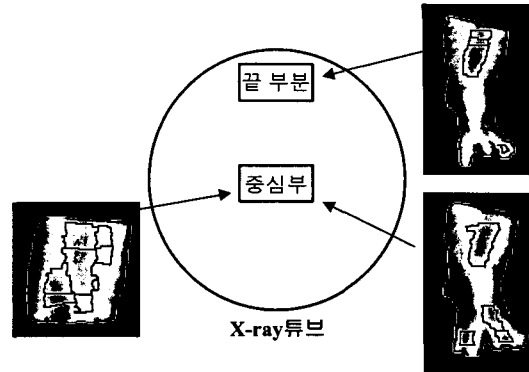


Fig. 10 Result of inner hole detection by x-ray tube position and diameter

(2) 내공 동시판정 결과

그림 11은 완전한 홍삼을 대상으로 내공판정시험을 실시한 결과이다. 왼쪽의 그림에서 홍삼 안쪽에 선으로 연결된 부분이 내공으로 판정된 부분이지만 실제 내공보다 크게 검출되기 때문에 이를 보정하기 위하여 선으로 연결된 각 blob만 따로 추출하여 blob의 시작위치에서 끝 지점까지 모든 영역에 대해서 line profile에 의해 재차 내공검출을 위한 알고리즘을 개발하였다. 가운데 그림에서 알 수 있듯이 골짜기 부분을 찾고 양쪽 피크의 gray 값보다 일정 값 이하가 되는 부분에서 문턱값을 설정하면 오른쪽 그림에서와 같이 내공만을 추출할 수 있었다.

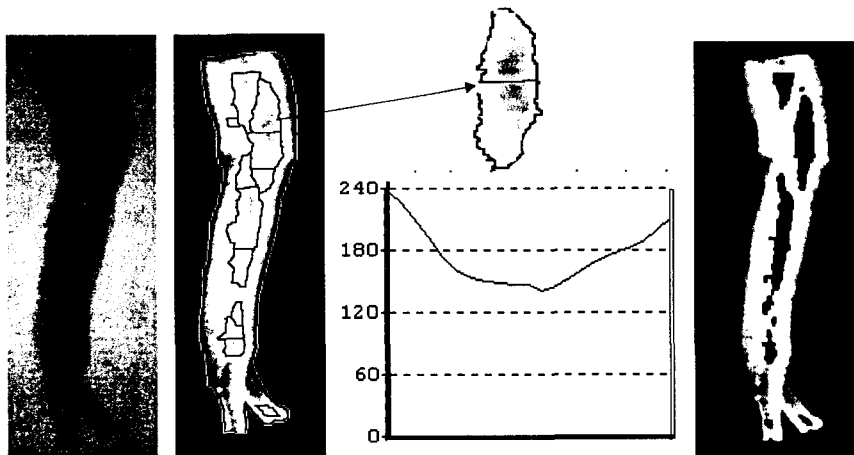


Fig. 11 Result of inner hole detection

4. 요약 및 결론

이 연구는 x-선 투과영상을 이용하여 홍삼의 내공을 검출하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 x-선관에 조사되는 x-ray 양의 차이에 따른 위치별 밝기 값 차이를 보정하고 내공 검출에 적합한 영상처리 알고리즘을 개발하였다. 주요연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) x-선관에 조사되는 x-ray 양은 중심에서 가장자리로 갈수록 감소하며, 이것은 위치에 따른 gray 값의 분포가 달라지게 되는 원인이 되었다.

2) 홍삼을 2치화 하기 위해서는 동일한 x-선 조사강도에서 입력된 원 영상에서 빈 영상을 뺀 감산 영상을 만들어 줌으로써 가능하였다.

3) 조사강도별 감산영상처리 결과 36kV/4.15mA와 39kV/4.15mA에서는 조사량이 많아서 홍삼 지근 부분의 영상이 손실되는 경우가 발생하였다.

4) 내공 검출을 위해서는 정상부분과 내공부분의 밝기 값 차이를 크게 하는 전처리 영상을 만들 필요가 있었고, multiple 감산영상에서 뚜렷한 골짜기가 나타났으나 주근의 내공부분의 밝기값 보다 지근의 정상부분의 밝기 값이 더 낮게 나타나 이를 보정하기 위하여 홍삼 위치에 따라 부분 보정된 알고리즘을 개발하였다.

5) x-선관의 놓인 위치에 따라서 내공판정시험 결과 중심에 있을 때에 비해 가장자리에 있을 때는 영상이 일부 손실되었으며, 중심 위치에서 서로 다른 굵기의 홍삼에 대해서는 모두 양호한 결과가 나타났다.

6) 완전한 홍삼으로 내공판정시험 결과 내공주위의 정상부분까지도 일부 내공으로 잘못 검출되었으나 이것을 재차 line profile에 의해 한 라인씩 문턱 값을 설정하여 내공만을 정확하게 판정하는 알고리즘을 개발하였다.

참고문헌

1. T.F. Schatzki, R.P. R. young. Haff., CamI., Le. L-C and N. Toyofuku. 1997. Defect Detection in Apples by Means of X-ray Imaging. Transactions of the ASAE 40(5) : 1407~1415(in USA).
2. Abbott, J,A,D., R,Massie. B,L. Upchurch and W,R. Hruschka. 1995. Nondestructive sonic firmness measurement of apples. Transaction of the ASAE 38(5) : 1461~1466(in USA).
3. Brown, G,K., L.J. Segerlind and R. Summit. 1972. Apple bruise detection using near infra-red light. ASAE Paper No.72-650.St. joseph, Mich. : ASAE(in USA).
4. Hung, Y.C., Y.-Y.Hao., E.W.Tollner and B. L. Upchurch. 1994. Physical properties and storage stability of apples affected with watercore disorder. Transactions of the ASAE 37(4) : 1249~1253(in USA).
5. Son, J.R., C.H. Kang, K.S. Han, S.R. Jung and Kwon, K.Y. 2001. Recognition of Bad Seedlings via Color Image Processing. J. of the KSAM 26(3) : 253~262(in Korea).