

碩士學位論文

DCT 변환 영역에서의 효과적인
워터마킹 설계



濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科

康 璟 姬

2004年 12月

DCT 변환 영역에서의 효과적인 워터마킹 설계

指導教授 金 壯 亨

康 璟 姬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.



康璟姬의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審查委員長 安 基 中 印

委 員 郭 鎬 榮 印

委 員 金 壯 亨 印

濟州大學校 大學院

2004年 12月

A Watermarking Scheme Using the Visual Properties DCT Transform

Kyung-Hee Kang

(Supervised by professor Jang-Hyung Kim)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2004. 12.

목 차

SUMMARY	9
I. 서 론	1
II. 워터마킹	3
1. 디지털 워터마킹의 개념	3
2. 디지털 워터마킹의 요구사항	5
3. 워터마킹 기술의 응용	6
4. 정지영상 디지털 워터마킹의 분류	8
III. DCT 변환 영역에서의 효과적인 워터마킹 설계	11
1. DCT의 개요	11
2. 워터마크 삽입	13
2-1. FDCT(Forward DCT) 변환	13
2-2. 삽입 위치 선정	15
2-3. 워터마크 데이터 생성	17
2-4. 워터마크 삽입	18
2-5. IDCT(Inverse DCT)	19
3. 워터마크 추출	20
IV. 실험결과	22
1. 실험 환경	22
2. 워터마킹 성능 평가	23

2-1. 주파수 대역별 워터마크 삽입 결과.....	24
2-2. 워터마크 공격에 대한 강인성 실험.....	29
3. 기존의 방법과 성능 비교.....	39
V. 결 론	42
참고문헌	44



[그림 목차]

Fig. 1	워터마크 삽입 예	4
Fig. 2	워터마크 추출 예	4
Fig. 3	공간영역에서의 워터마크 삽입 및 추출 알고리즘.....	8
Fig. 4	주파수영역에서의 워터마크 삽입 및 추출 알고리즘.....	10
Fig. 5	DCT	12
Fig. 6	DCT 양자화 결과.....	14
Fig. 7	지그재그 스캔 블록도	16
Fig. 8	랜덤 워터마크 생성 과정	18
Fig. 9	워터마크 삽입 블록도.....	19
Fig. 10	DCT 기반 워터마크 추출과정.....	20
Fig. 11	실험에 사용된 영상들	22
Fig. 12	고주파 영역 워터마크 삽입 결과.....	25
Fig. 13	중간주파수 영역 워터마크 삽입 결과.....	26
Fig. 14	저주파 영역 워터마크 삽입 결과.....	27
Fig. 15	블러링 공격 후 워터마크 추출결과.....	29
Fig. 16	Blurring 공격에 대한 비교 그래프	30
Fig. 17	손실 압축 후 추출된 워터마크의 상관계수 비교.....	31
Fig. 18	압축률에 따른 NC 비교.....	32
Fig. 19	고주파수와 중간주파수 워터마킹 영상에 대한 크로핑 공격..	33
Fig. 20	Cropping 공격 후 결과 비교	34
Fig. 21	밝기 및 대비변화에 대한 워터마크 추출결과	35
Fig. 22	밝기, 대비 변화에 따른	36
Fig. 23	주파수 대역별 잡음(Noise) 공격에 따른 워터마크	36
Fig. 24	Noise 공격에 따른	37

Fig. 25 주파수별 미디언필터(Median Filter) 공격 후 워터마크 추출결과...38

Fig. 26 미디언 필터링에 따른 워터마크 상관계수.....39

Fig. 27 단계별 JPEG 압축 공격에 따른 비교41



[표 목차]

Table 1. 양자화 테이블	14
Table 2. 워터마크 삽입 후 영상손실에 대한 실험 결과.....	28
Table 3. 주파수 대역별 NC 비교	30
Table 4. 손실 압축 후 추출된 워터마크의 상관계수 비교.....	32
Table 5. 크로핑(Clipping)공격에 대한 워터마크 상관계수(NC).....	34
Table 6. 주파수 대역별 밝기, 대비 변화에 따른 워터마크 상관계수.....	35
Table 7. 가우시안 잡음 첨가에 따른 워터마크 추출결과.....	37
Table 8. 미디언 필터링에 따른 워터마크 상관계수.....	38
Table 9. 워터마크 삽입 후 화질열화 비교.....	39
Table 10. 각종 공격에 따른 강인성 비교.....	39



Summary

The purpose of this paper is find effective watermark insertion part.

A watermark image inserted to frequency domain of image.

DCT transform image to frequency range.

A watermark image inserted to high frequency of image, low frequency, middle frequency range. And Quality of image was compared watermarked image with original image. A watermarked image encountered various attack of compression, noise, cropping etc.

A watermark image that is inserted to image should not be seen visually. And watermark image should not be removed by intentional attack.

Experiment result is as following.

First, watermark image was the most effective that insert in middle frequency range.

Second, binary image watermark was more effective than PN-Code watermark.

Third, watermark inserted to compression process in DCT conversion. Therefore, it could become strong watermarked image in compression attack.

I. 서 론

인터넷 네트워크 환경이 급속히 확산되고 문서, 음성 사진 및 동화상등의 자료들이 디지털 형태로 데이터베이스화 되어 제공되면서 디지털 그림이나 음악 비디오 등 디지털 콘텐츠의 불법적인 복제나 유통으로 인한 지적재산권 문제가 크게 대두되고 있다. 디지털 데이터는 그 특성상 원본을 복제하면 새로운 원본이 쉽게 생성되므로 불법복제시 원본의 소유권을 증명하는데 매우 어렵다. 따라서 디지털 콘텐츠의 불법 복제와 유통은 저작자의 창작의욕을 상실 시키며, 심각한 경제적 손실을 입히게 되는 매우 중요한 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호 기술이 필요하다.

디지털 데이터를 보호하기 위한 기술로는 암호화 기법이나 방화벽을 이용한 접근 제어 기술이 많이 발전해 왔지만, 한 번 암호가 풀린 디지털 콘텐츠는 불법적으로 복사되고 배포될 수 있고, 또 접근이 허가된 사용자가 디지털 콘텐츠를 악용하려고만 하면 그럴 수도 있는 단점으로 인해 디지털 콘텐츠 자체에 소유권 정보를 삽입하여 불법적인 복제나 배포를 막고, 효율적으로 저작권을 보호하기 위한 기술인 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)에 관심이 집중되고 있다. 효과적인 워터마킹은 인간 시각이 느끼지 못하도록 삽입된 워터마크가 보이지 않아야 하고, 이를 제거하려는 시도나 데이터의 손상에도 불구하고 견고하게 남아있어야 한다. 이런 강인함(Robustness)을 위해서는 변환 영역에서 중요한 에너지를 가지는 부분을 선택해 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다. 기존의 연구들은 이러한 조건들을 충족시키기 위해 공간영역(Spatial Domain)보다는 주파수 영역(Frequency Domain)에서의 워터마크 삽입과 추출방법을 제안하며, 삽입 워터마크의 형태는 PN(Pseudo Noise)코드 같은 잡음 형태의 값들을 사용하였다. 그런데 PN(Pseudo Noise)코드를 워터마크로 삽입할 경우 워터마크를 추출했을 때 시각적으로 워터마크임을 식별하기 어려운 단점이 있다. 따라서 의미있는 영상을 워터마크로 사용할 필요가 있다.

그리고 주파수 영역에 워터마크를 삽입할 경우 영상 데이터를 DCT(Discrete Cosine Transform)[1],[2], DWT(Discrete Wavelet Transform)[3], DFT[4] 변환 등을 적용한

후 그 주파수 영역들 중에서 시각적으로 덜 민감한 부분에 워터마크를 삽입하는 방법들이 제시되는데 삽입영역의 선택에 따라 여러 가지 다른 결과가 나올 수 있다.

본 논문에서는 디지털 영상 데이터에 워터마크를 삽입할 때 인간의 시각적 특성을 이용하여 영상의 손실을 최소화하면서 강하게 워터마크 삽입할 수 있는 최적의 워터마크 삽입대역을 찾아내어 워터마크를 삽입함으로써, 영상의 전송이나 고의적인 공격 후에도 영상 내에 숨겨진 정보를 추출하여 소유권을 증명할 수 있도록 한다.

제안한 방법은 DCT 과정에서 DCT 변환 계수 중 고주파, 저주파, 중간주파수 별로 특정한 부분의 계수에 워터마크를 삽입하여 결과를 비교하며, 이때 삽입되는 워터마크는 기존의 방법[3]과 달리 추출시 워터마크로써 식별하기 어려운 PN(Pseudo Noise)코드를 사용하지 않고 시각적으로 인지하기 용이한 이진영상을 워터마크로 사용하였다. 기존의 방법들은 워터마크로 일반 이미지를 사용하지 않고 정상 분포(Normal Distribution)을 갖는 가우시안 노이즈(Gaussian)나, PN(Pseudo Noise)코드를 워터마크로 사용하는 방법으로 비록 영상의 질은 향상시켰지만 워터마크의 강인성은 향상시키지 못했었다. 그리고 워터마크 삽입시 워터마크 영상을 그대로 삽입할 경우 삽입된 영상의 화질 열화와 함께 삽입된 워터마크가 쉽게 노출될 수 있는 점을 고려하여 사용자 키(key)에 해당하는 Seed를 이용한 랜덤(random) 생성기를 사용하여 삽입할 워터마크를 재 정렬한 후 삽입한다. 그리고 삽입된 워터마크에 대해 손실 압축, 크로핑(Cropping), 노이즈(Noise) 등의 다양한 공격을 가한 후 워터마크를 추출하여 주파수 대역별 강인성을 비교분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 디지털 워터마킹에 대한 정의 및 응용분야와 특성을 설명하고, 기존의 방법들에 대해 알아본다. 3장에서는 DCT 변환 영역에서의 효과적인 워터마킹 삽입방법을 제시한다. 4장에서는 실험결과를 비교분석하고, 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

II. 워터마킹

1. 디지털 워터마킹의 개념

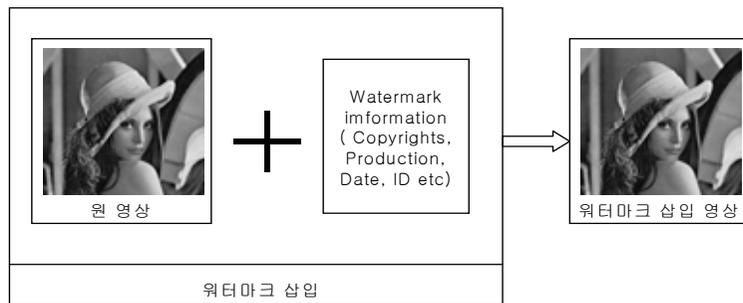
워터마킹이란 용어는 물에 젖어있는 상태에서 그림을 인쇄하는 데서 유래하였다. 지폐의 제작과정에서 위조지폐 여부를 가리기 위해 젖어있는 상태에서 특정 정보를 삽입하고, 말린 후 인쇄를 하여 불빛에 비춰 보았을 때 그림이 보이도록 하는 기술을 말한다. 또 중세기에는 군사적인 목적의 통신문이나 비밀편지에 특수잉크 또는 약품 등을 사용하여, 받는 쪽에서 특별한 처리를 해야만 볼 있도록 하였다. 또한 미술작품이나 책의 저자 또는 저작권을 갖고 있는 사람이 자신의 것이라는 것을 표시하기 위해 특별한 방식으로만 볼 수 있도록 실제 작품에 표시해 두는 기술로도 사용하였다. 이때 삽입되는 저작권, 소유정보 또는 원본여부를 확인할 수 있도록 숨겨놓은 데이터, 사용권한을 부여 받은 사용자의 ID등의 식별정보를 워터마크라 한다.

최근 컴퓨터와 네트워크, 디지털 기술의 급진적인 발달과 함께 디지털 콘텐츠의 불법적인 복제나 유통으로 인한 지적재산권 문제가 크게 대두되면서, 저작권을 보호하기 위하여 디지털 데이터에 워터마킹의 개념을 적용한 것이 바로 디지털 워터마킹이다. [5]

디지털 콘텐츠는 아무리 많은 복사가 일어나도 품질에 변화가 없으며 손쉽게 복사될 수 있다는 점 때문에 저작권을 보호하기 위한 기술적 조치가 필요한데 현재 제시되고 있는 방안은 크게 두 가지 유형으로 나눌 수 있다. 첫째, Active (Explicit) Content Protection 이다. 이것은 콘텐츠를 사용을 제한하는 기술로 사용 규칙을 정의하고 그 범위 내에서만 콘텐츠가 사용되도록 하는 기술이다. 대표적인 기술로는 DRM(Digital Rights Management)가 있다. 둘째, Passive(Implicit) Content Protection 이다. 이것은 콘텐츠의 사용은 제한하지 않으나 저작권자의 정보나 사용자의 정보를 안전하게 표시하는 기술로 Watermaking등의 기술이 여기에 속한다.

현재 연구되고 있는 워터마킹 기법은 워터마크를 삽입하기 위한 방법이나 응용의

목적에 따라 다음과 같이 분류된다. 먼저 워터마크의 삽입에 따른 변환식의 사용여부에 따라서 공간영역(Spatial Domain) 워터마킹과 주파수 영역(Frequency Domain) 워터마킹으로 나눌 수 있다. 그리고 워터마크 추출 시 원영상의 사용 여부에 따라서 원영상 없이 추출 가능한 블라인드(Blind) 워터마킹과 원영상과 워터마킹 영상 둘 다 있어야 워터마크가 추출 가능한 넌-블라인드(Non-Blind) 워터마킹 기법이 있다. 이러한 워터마크 삽입과 추출과정은 Fig. 1, Fig. 2 와 같은 과정을 통해 처리된다.



제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig. 1 워터마크 삽입 예

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 저작권 보호를 할 대상인 원본 이미지에 저작권 정보를 삽입하며, 삽입된 워터마크는 시각적으로 인지되지 않아야 한다. 워터마킹이 삽입된 이미지는 원본 이미지와 동일 포맷으로 존재하게 되며, 따라서 워터마킹이 삽입된 이미지라고 해서 일반적으로 사용되는 이미지 뷰어에서 이용상 어떠한 제한도 통제되지 않는다.

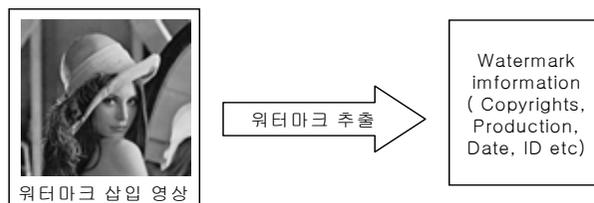


Fig. 2 워터마크 추출 예

추출된 워터마크의 정보는 원본 이미지의 소유자가 누구인지 등의 저작권 정보를 포함하고 있기 때문에 해당 이미지에 대한 저작권 분쟁이 발생하였을 경우 저작자를 증명할 수 있다. 따라서 워터마크는 시각적으로 워터마크임을 증명할 수 있는 로고 또는 영상 등의 형태로 삽입하는 것이 바람직하다.

2. 디지털 워터마킹의 요구사항

디지털 워터마킹 기술이 저작권 또는 소유권을 효과적으로 보호하기 위해서는 비가시성, 강인성, 명확성, 보완성, 신뢰성, 정보의 양, 다중 워터마킹 등의 특성을 가져야 한다.[6,7,8]

첫째, 비가시성(Invisibility)

워터마크 삽입 후에도 원본의 변화가 거의 없고, 워터마크를 감지할 수 없어야 한다. 이는 콘텐츠의 품질을 저하시키지 않는 특성으로 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않아야 하는 것인데 응용환경에 따라서 가시적인(Visible) 워터마킹 기법들이 사용되기도 한다.

둘째, 강인성(Robustness)

워터마크를 신호의 중요한 부분에 삽입하여 전송이나 저장을 위해 압축할 때 워터마크가 손상되지 않아야 된다. 그리고 전송 중에 생길 수 있는 노이즈나 여러 가지 형태의 변형과 공격에도 추출이 가능해야 한다. 강인성의 경우도 사용환경에 따라 의도적으로 잘개지는(Fragile)워터마킹 기법을 사용할때가 있다. 이는 주로 인증용으로 많이 쓰이며, Semi-Fragile 기법을 이용하여 불법 조작의 정확한 위치 등을 알아내기도 한다.

셋째, 명확성(Unambiguity)

추출된 워터마크가 확실한 소유권을 주장할 수 있도록 공격 등에 대해 정확성을

유지해야 된다.

넷째, 보안성(Security)

워터마크의 삽입과정이 알려졌다 해도 관련된 파라미터 값들을 알고 있지 않는 한 워터마크를 삭제하려는 시도가 불가능해야 한다.

다섯째, 다중 워터마크(multi watermark)

연속적인 서로 다른 워터마크를 동일한 이미지에 삽입할 수 있어야 하며 각 워터마크는 유일한 키를 이용하여 검출할 수 있어야 한다. 이러한 특징은 이미 워터마크된 영상을 다른 사람이 다시 워터마킹 하는 것을 막을 수 없기 때문에 필요하며 또한 소유주가 한 소유주로부터 다른 소유자로 이동된 경우에 편리하다. 결과적으로 저작자는 많은 콘텐츠를 워터마킹 하기 위해서 동일한 키를 이용할 수 있다.

여섯째, 숨길 정보의 양을 고려한다.

워터마크를 필요로 하는 환경에 따라 삽입될 정보는 미리 정해진다. 저작권 보호를 위해서는 ISBN(International Standard Book Numbering) 코드 (약 40bit 정도), 혹은 ISRC(International Standard Recoding Code) 코드 (약 96bit 정도)의 데이터를 요구한다. 일반적으로 ISBN, ISRC 코드 이외에 사용자의 권리 등을 담은 정보 등 추가적인 정보를 포함해 300~400bit 가량의 정보를 삽입한다.

3. 워터마킹 기술의 응용

디지털 워터마킹 기술은 인터넷 영상, 디지털 도서관 디지털 카메라, 의료영상, 이미지와 비디오, 데이터베이스 등의 영역에서 응용되어 사용되고 있다. 워터마킹 기술을 디지털 콘텐츠 분야에 적용하게 된 것은 1990년 K. Tanaka 등에 의해서 제안되었는데 콘텐츠 자체에 공급자 정보나, 사용자 혹은 구매자에 대한 정보를 은닉하는 기술이기 때문에 콘텐츠에 항상 따라다니는 정보라는 장점을 가지고 있어 많은 분야

에서 응용하고 있다.

가장 널리 사용되는 응용분야는 저작권 보호(Copyright), 불법 복제 추적을 위한 지문(Fingerprinting), 복제방지(Copy Protection), 인증(Authentication)등의 분야이다.

- 저작권 보호분야에서는 지적 재산권의 보호를 위해서 콘텐츠 소유자가 자신의 콘텐츠에 저작권 정보를 나타내는 워터마크를 삽입하고, 누군가 자신의 저작권을 침해했을 때 법정에서 자신의 소유권을 증명할 수 있는 정보로 사용한다.

- 불법 복제 추적 (핑거프린팅)에서는 불법복제의 원천지를 추적하기 위해서 콘텐츠 소유자가 핑거프린팅 기술을 사용할 수 있다. 이 경우에 콘텐츠 소유자는 콘텐츠를 공급받는 사용자마다 ID나 일련번호와 같은 다른 워터마크를 삽입함으로써 라이선스 계약을 위반하고 불법배포를 한 사용자를 찾아내는데 사용할 수 있다.

- 복제방지 (기기 제어) 분야에서는 워터마크로 저장된 정보는 복제방지를 위한 목적으로 직접 디지털 기록장치를 제어할 수 있다. 이 경우에 워터마크는 복제방지 비트를 나타내고, 기록장치의 워터마크 검출기는 콘텐츠가 복제 가능한 것인지 아닌지를 결정한다. MP3 Player, PDA, Wireless Phone 등의 휴대용 기기(Portable Device)에 워터마크 검출용 칩을 decoder와 같이 장착하여 오디오, 비디오 등의 불법 사용을 방지한다.

- 방송 모니터링분야에서 응용으로는 상업성 광고 속에 워터마크를 삽입하는 것에 의해서 자동화된 모니터링 시스템이 광고가 계약대로 방송되고 있는지를 확인할 수 있다. 광고뿐 아니라 TV 프로그램도 이러한 방법으로 보호될 수 있다. 뉴스와 같은 경우에 시간당 \$100,000의 가치가 있으나 지적재산권 침해를 받기 쉬운 콘텐츠이다. 방송 감시 시스템은 모든 방송채널을 체크할 수 있고 발견여부에 따라서 TV방송국에 과금을 할 수 있다.

- 위변조 적발 및 방지분야에서 사용되는 연약한 워터마크는 데이터의 위변조 여부를 체크하는데 사용할 수 있다. 연약한 워터마크는 데이터가 위조되었는지 여부와 위조된 위치에 대한 정보를 제공한다.

- 데이터 은닉 워터마킹 기술은 비밀스럽고 개인적인 메시지의 전송에도 활용될 수 있다. 암호화 서비스의 이용은 많은 정부가 제재를 가하기 때문에 다른 데이터에 자

신의 메시지를 숨길 수 있다.,

4. 정지영상 디지털 워터마킹의 분류

(1) 공간영역(Spatial Domain)에서의 워터마킹

공간영역에서의 워터마크를 삽입하는 방법은 화소의 픽셀들을 임의적으로 선택하여 그것의 밝기 값의 LSB(Least Significant Bit)를 변형시키는 방법[Cox97a][1]과 화소들을 두 개씩 선택한 후 일정한 크기로 하나는 증가시키고 하나는 감소시키는 Patchwork 방법[2] 등이 있다. 이 방법들은 간단하고 빠르게 워터마크를 삽입할 수 있다는 장점이 있으나 잡음과 손실압축, 편집, 필터링 같은 일반적인 신호처리에 쉽게 손상되는 단점을 가지고 있다.

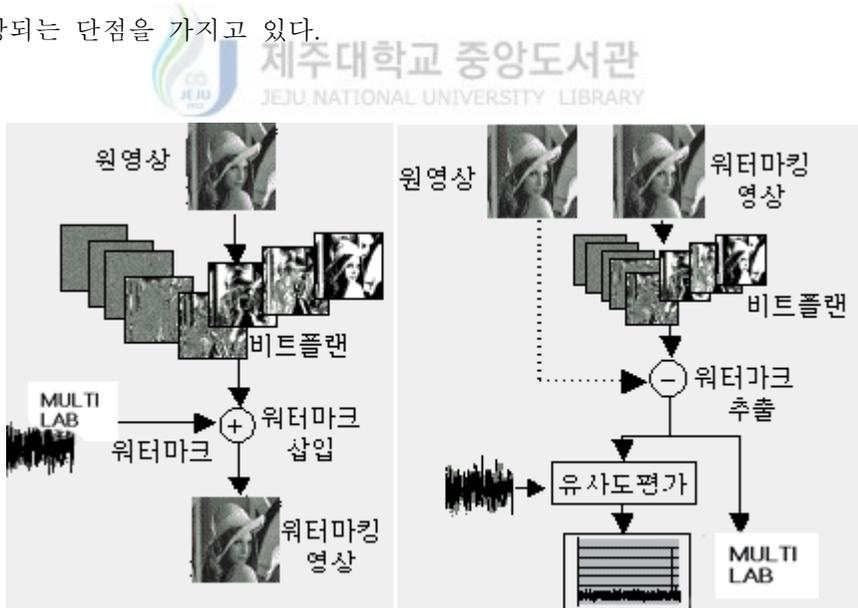


Fig. 3 공간영역에서의 워터마크 삽입 및 추출 알고리즘,

(2) 주파수 영역에서의 워터마킹

주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 신호 데이터를 주파수 성분의 신호로 변환하고 이 주파수 영역에 워터마크 신호를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 대부분의 신호 처리는 물론 고 압축률에서도 워터마크 데이터를 추출할 수 있기 때문에 현재 워터마크 처리 방법들은 대부분 주파수 영역을 이용하고 있다.

주파수 변환에 이용되는 대표적인 기법은 DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 등이 있다. Cox[3,9]등은 전체영상에 대해 FDCT(이산 역현 변환)하는 방법을 이용하여 영상에서 DC성분을 제외한 영역에서 크기 값에 비례하는 랜덤 잡음을 워터마크 신호로 임의의 개수만큼 삽입하는 방안을 제안하였다. 이 방법은 원 영상과 대상 영상의 차 영상에서 신호 열을 추출한 후 상관관계를 계산하여 워터마크의 존재여부를 구하는데, 영상의 크기 변화, 잡음, JPEG 손실 압축 등에 강한 특성을 보인다. 블록 기반 이산 역현 변환을 기반으로 하는 방법으로는 중간 대역에 특별한 정보를 삽입하는 방법[10]등이 제시되었는데 이러한 방법들은 JPEG 손실 압축 알고리즘에 기반을 두고 손실 압축에서 견고함을 갖게 하는데 목적을 두고 있다. 또, Watson의 인간의 시각 시스템(HVS)을 이용하여 주파수 영역에서의 계수 값에 JND 값을 구한 후, 그 값을 기준으로 워터마크 삽입 여부를 결정하여 JND를 곱한 값을 워터마크 신호로 삽입하는 방법도 제시되었다.[11]

웨이블릿(Wavelet) 변환을 기반으로 하는 방법에는 제일 낮은 저주파 영역을 제외한 모든 고주파 영역에 각 대역별로 길이가 서로 다른 워터마크 신호를 삽입하는 방법[12,13]와 HVS를 고려하여 스케일링 상수를 계산한 후 큰 값의 계수에 계산된 상수 값을 곱하여 삽입하는 방법[14]등 다양한 주파수 기반 워터마킹 방법들이 연구되어 왔다. 하지만, 이러한 방법들은 계수 값의 크기에 따라 서로 다른 가중치를 곱한 랜덤 잡음을 워터마크로 삽입하는 방식으로 영상의 지역적 또는 전체적인 특성이나 변환방식에 따라 서로 다른 에너지 분포를 갖는 워터마크 신호가 삽입되기 때문에 어떠한 주파수 영역 기반 변환 방식이 영상에 대한 워터마킹에 더 효율적인가에 대한 객관적인 성능 평가가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 객관적인 비교를 하기위해 영상의 특성을 고려하지 않고 동일한 형태의 워터마크를 삽입하며, 주파수 변환방식으로는 JPEG 압축의 기본 알고리즘인 DCT 변환을 이용한다.

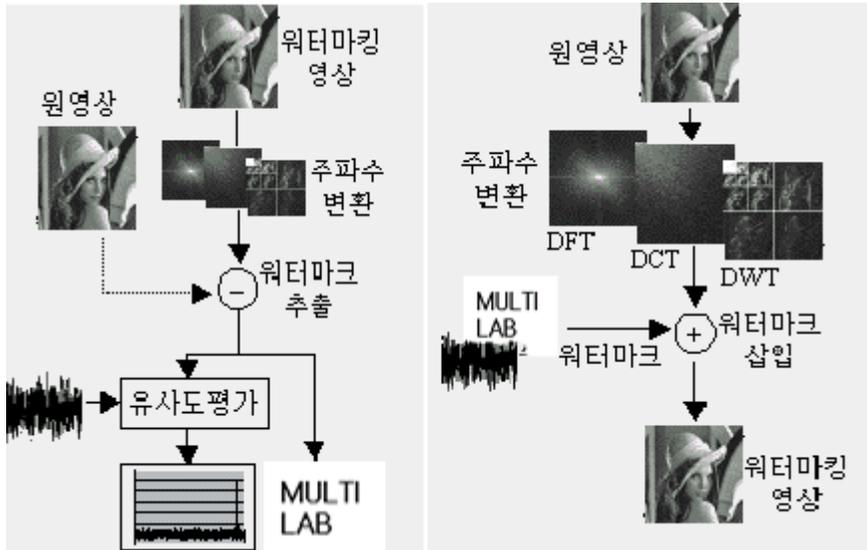


Fig. 4 주파수영역에서의 워터마크 삽입 및 추출 알고리즘

III. DCT 변환 영역에서의 효과적인 워터마킹 설계

1. DCT 개요

DCT(discrete cosine transform) 변환은 코사인 함수를 이용한 직교 변환의 하나로 상관성이 높은 영상 신호나 음성 신호에 대해 좋은 성능을 나타낸다. 입력 영상을 DCT 변환 후에는 영상 내에 어떤 주파수 성분이 얼마만큼 포함되어 있는지를 알 수 있다. 주파수 성분 중 영상의 저주파 성분은 시각적으로 큰 정보를 가지고 있고, 고주파 성분은 상대적으로 정보량이 적기 때문에, 영상을 시각적으로 정보량이 많은 부분과 적은 부분으로 분리한 후 시각적으로 정보량이 적은 부분에 손실을 줌으로써, 시각적 손실을 최소화하면서 데이터량을 줄일 수 있다.

DCT 변환 과정은 보통 입력영상을 8 x 8 또는 16 x 16크기의 블록으로 나누어 2차원 DCT 를 수행하는데, 픽셀간의 변화율이 큰 복잡한 영상은 고주파 성분을 나타내는 계수가 크게 나오고 변화율이 작은 밋밋한 영상은 저주파 성분을 나타내는 계수가 크게 나온다. 이러한 특징을 가진 DCT 변환은 정지영상 압축 JPEG와 동영상 압축 국제표준규격인 MPEG 등에서 영상의 공간 중복 정보를 제거하는 기본 알고리즘으로 사용되고 있다.

DCT 변환 알고리즘은 아래의 식으로 표현되며 DCT 변환과정은 식(1), 역 변환인 IDCT(Inverse DCT)는 식(2) 와 같다.

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u) C(v) \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i, j) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$f(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u) C(v) F(u, v) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

여기서 f(i, j) 는 입력 영상, F(u,v)는 변환 영상이고, 계수 C(u)는 ,

$$u = 0 \text{ 일 때, } C(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad u \neq 0 \text{ 일 때, } C(u) = 1$$

$$v=0 \text{ 일 때 } C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad v \neq 0 \text{ 일 때, } C(v) = 1$$

으로 결정된다. 이 수식은 영상블록을 서로 다른 주파수 성분의 코사인 함수로 분해한다. 영상을 주파수 영역으로 변환하면 1개의 DC성분과 63개의 AC성분으로 나뉘게 된다.

2차원 DCT는 x및 u가 가로방향을, y및 v가 세로방향을 나타낸다. u=0, v=0의 기본 화상은 직류성분을 나타내고 u가 클수록 높은 수평주파수를 v가 클수록 높은 수직주파수를 나타낸다. 따라서 일반적인 화상 데이터 분포가 직류성분(u=0, v=0)에 가장 많고 수평 및 수직의 높은 주파수 쪽으로 갈수록 적은 값(절대 값 기준)을 갖는다.



Fig. 5 DCT 변환

Fig. 5 에서 보듯이 공간상의 영상을 DCT 변환을 통해 주파수상의 에너지 분포로 변환시키면, 일반적으로 왼쪽 최상단 즉, DC계수는 블록의 평균에너지가, 나머지 AC 계수들은 대각선 방향으로 고주파 성분의 에너지 값들이 분포된다. 워터마크 삽입 영역의 선정시에는 DC성분은 시각적으로 중요한 정보를 가지고 있기 때문에 워터마크 삽입시 강인성은 보장할 수 있으나 화질열화로 비가시성을 만족시키지 못함으로 대부분 DC를 제외한 AC 계수들을 지그재그(Zig-Zag) 스캔하여 비가시적이면서도 강

인하게 워터마크를 삽입할 계수들을 선택한다.

2. DCT 기반 워터마크 삽입

본 논문에서는 원 영상을 8 x 8 블록 DCT 변환 후 주파수 영역에서 DC성분을 제외한 AC계수들을 저주파, 고주파, 중간주파수 영역으로 나누어 각각 동일한 이진 로고 형태의 워터마크를 삽입하여 워터마크의 비가시성과 강인성을 비교한다.

DCT 변환영역에서 워터마크를 삽입하는 기존의 방법들 중에 Cox[9]의 방법은 영상을 DCT 변환 후 DC성분을 제외한 전체 영역에 PN-Code 형태의 워터마크신호를 확산시켜 삽입하는 대역확산통신(spread spectrum communication)방식을 사용하였다. 이것은 특정 주파수 대역의 에너지는 감지할 수 없을 정도로 작지만 주파수의 위치와 변화량을 알고 있는 소유권자에 의해 산재해 있는 주파수 성분을 모으면 높은 신호 대 잡음비로 신호를 검출할 수 있다는 이론이다. 따라서 워터마크를 영상이 갖고 있는 여러 주파수 영역으로 확산시킴으로써 워터마크 삽입 시 영상의 변화를 감지 못하도록 하면서 시각적으로 중요한 영역에 정보를 삽입할 수 있다는 것이다. 그런데 이 방법은 워터마크를 추출했을 때 시각적으로 워터마크임을 인지하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 의미 있는 영상을 워터마크로 삽입하여 추출한다. 그리고 워터마크를 삽입할 시기는 DCT 과정에서 양자화 이후에 삽입하며, 워터마크를 삽입할 위치를 선정할 때는 영상에 블록단위, 전체영역, 라인 단위로 정보를 삽입할 것인지를 고려하여야 하는데 본 논문에서는 블록단위로 DCT를 수행해 워터마크를 삽입한다.

2-1 FDCT 변환

원 영상(Original Image)을 FDCT(Forward DCT) 처리하는 단계이다. NxN 크기의 원 영상을 8 x 8 블록으로 나누고, 이 블록내의 화소에 대해서 식(1)에 의해 순방향 DCT를 수행하여 주파수 공간으로 변환한다. 변환 후에는 8 x 8 블록의

저주파와 고주파 성분의 DCT계수가 구성된다.

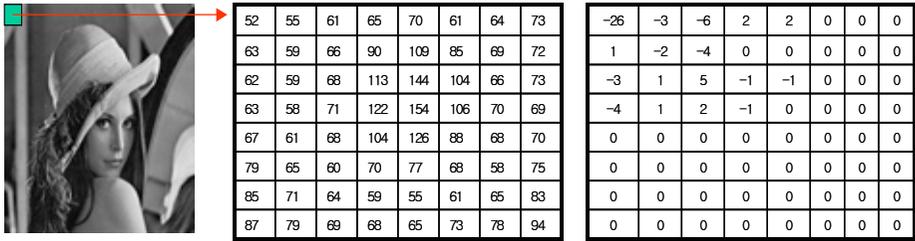
이론적으로 DCT 자체로서는 영상에 손실이 일어나지 않으며, DCT계수들을 기억하고 있는 DCT 역변환을 통해 원 영상을 그대로 복원해 낼 수 있다. 실제로 데이터량을 줄이는 부분은 DCT계수를 양자화 하는 부분이다.

계수 양자화란 여러 개의 값을 하나의 대표 값으로 대치시키는 과정을 말한다. 양자화를 조밀하게 하면 데이터의 손실이 적어지며, 성기게 할수록 데이터의 손실은 많아지는 대신 데이터 량은 그만큼 많이 줄게 된다. 따라서 시각 정보가 많이 들어 있는 저주파 성분의 DCT 계수는 조밀하게 양자화를 하고, 시각 정보가 적게 들어 있는 고주파 성분의 DCT 계수는 성기게 양자화를 하면 전체적으로 영상의 손실을 최소화하면서 데이터 량의 감소를 극대화시킬 수 있다. 현재는 ISO에서 실험적으로 결정한 양자화 테이블을 이용하여 양자화를 수행하고 있다. Table. 1 은 실험적으로 결정된 양자화 테이블이며 본 논문에서도 이 테이블을 이용하여 양자화를 수행한다.

Table. 1 양자화 테이블
 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Fig. 6 에서는 실험영상의 일부분의 8 x 8 블록 화소에 대한 DCT 양자화 결과를 나타내고 있다.



(a) 샘플영상 (b) 8 x 8 영상데이터 (c) 양자화 한 결과

Fig. 6 DCT 양자화 결과

지금까지 진행되어온 워터마킹 기법들은 대부분 압축과정 속에서 워터마크를 삽입하지 않고 워터마킹 후, 전송을 위해 다시 압축을 한다. 이러한 방법에 의한 워터마킹은 고의적인 공격을 하지 않음에도 불구하고 공격을 한 것과 마찬가지로 압축에 따르는 워터마크의 손실을 가져온다. 따라서 압축 과정 속에 워터마크를 삽입하면 이와 같은 손실을 막을 수 있으며 워터마킹된 영상에 대한 압축 공격에도 보다 강인한 워터마킹을 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 양자화 이후 단계에서 워터마크를 삽입한다.

2-2. 삽입 위치 선정

워터마크의 삽입 위치를 결정 하는 방법은 다양하다. 인간의 시각이 높은 휘도(Luminance)성분 값을 갖는 변화에 둔감하다는 사실(weber의 법칙)에 근거해 휘도성분을 조작하여 워터마크를 삽입하거나, 각 주파수 성분마다 서로 다른 민감도(sensitivity)를 갖는다는 JND(Just Noticeable Difference) 특성을 이용하여 주파수 대역별(저주파, 고주파, 중간주파수 영역)로 삽입강도를 조절하여 워터마크를 삽입하기도 한다.

본 논문에서는 JND 특성을 이용하여 주파수 대역별로 워터마크를 삽입하되 각 주파수 영역내에서 가장 강인하게 워터마크를 삽입할 수 있는 위치를 선택하였다.

워터마크 삽입위치를 선정하기 위해서 양자화 이후 DCT 계수들을 지그재그(Zig-Zag) 스캔하여 재 정렬한다. Fig. 7 은 지그재그 스캔 과정을 그림으로 보여주

음과 같다.

저주파 영역에서 $V_L = \{f_i, f_{i+1}, f_{i+2}, \dots, f_n\}$

중간주파수 영역에서 $V_M = \{f_i, f_{i+1}, f_{i+2}, \dots, f_n\}$

고주파 영역에서 $V_H = \{f_i, f_{i+1}, f_{i+2}, \dots, f_n\}$ 이다. 이때 n =위터마크 영상의 크기이다.

선택되는 계수는 다양하게 변화될 수 있으나 위터마크의 강인성을 고려하여 각 영역에서 가장 시각적으로 중요하다고 생각되는 위치의 계수들을 선택하였다. 즉, 각 영역에서 정렬순서로 보았을 때 왼쪽에 있는 값들이 시각적으로 민감한 영역이며 여기에 위터마크를 삽입하면 다양한 공격에서도 위터마크의 추출률이 다른 선택계수에 비해 더 나은 결과를 볼 수 있을 것이기 때문이다. 따라서 각 영역을 앞에서 정한 것과 같은 비율로 구분하였을 때 각 영역의 블록 DCT 계수 중 가장 왼쪽에서부터 일정한 계수를 차례로 선택하여 위터마크가 삽입된 대상으로 선정하였다. 이 과정에서 위터마크 삽입 후 화질의 열화를 고려하여 저주파일 경우 DC 계수는 선택대상에서 제외시켰다.



2-3. 위터마크 데이터 생성

영상에 삽입되는 위터마크의 형태는 의미 있는 시각정보가 포함되어 있지 않는 난수를 발생시켜 삽입하는 경우와 시각적으로 의미 있는 로고(logo)를 삽입하는 두 가지 경우로 나눌 수 있다. Cox는 영상을 DCT 변환 후 시각적으로 중요한 계수를 선택하여 난수형태의 PN-Code를 위터마크로 삽입하였고, Wong[15]은 원 영상을 블록 별로 DCT 변환 후 각 블록에 문자 및 숫자들의 조합으로 구성된 위터마크를 삽입하는 방안을 제안하였으며, Hsu[16,17]는 DCT 영역의 중간주파수 대역에 가시적으로 의미 있는 이진영상 위터마크를 삽입하는 방안을 연구하였다.

본 논문에서는 이진로고 형태의 시각적으로 쉽게 인지할 수 있는 영상을 위터마크로 사용하였다. 이러한 일정한 형태를 가지고 있는 영상은 그대로 삽입할 경우 삽입 후 영상의 화질을 저하시키거나 노출되어 고의적으로 위터마크를 없애려는 공격자에 의해 쉽게 공격당할 수 있으므로 랜덤화 하여 삽입한다.

우선 사용자 키(key)에 해당하는 Seed를 이용한 랜덤 생성기를 사용하여 삽입할 워터마크의 크기만큼 랜덤 수를 발생시킨다. 이때 워터마크의 크기가 가로 세로 각각 $N \times M$ 이라면, 이때 생성된 랜덤 수는 최소 0에서 최대 $N \times M - 1$ 까지의 중복되지 않는 랜덤 수이다. 발생한 랜덤 수를 N 으로 나눈 몫을 랜덤 워터마크의 가로축의 값으로 M 으로 나눈 나머지를 랜덤 워터마크의 세로축의 값으로 좌표를 할당하여 워터마크를 재 정렬하게 된다. 이러한 과정을 마크의 크기인 $N \times M$ 번 반복함으로써 랜덤화된 워터마크를 생성할 수 있다. 사용자 키(key)는 워터마크 추출시 랜덤화된 워터마크를 원 형태의 워터마크로 재구성하는데 사용되며, 고의적으로 워터마크를 제거하려는 공격자로부터 워터마크를 보호할 수 있다.

Fig. 8 은 랜덤 워터마크 생성 과정을 나타내고 있다.

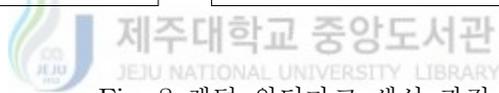
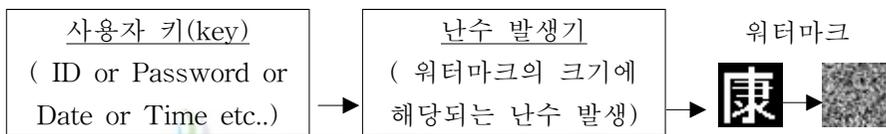


Fig. 8 랜덤 워터마크 생성 과정

재구성된 워터마크는 일반 잡음과 같이 명확히 인식할 수 없는 형태로 삽입되기 때문에 영상의 손실을 줄이면서 강인하게 삽입할 수 있다.

2-4. 워터마크 삽입

원 영상 데이터에서 선정된 DCT 계수는 워터마크 영상 데이터 테이블 값과 각각 1 대 1 대응으로 삽입 및 변경하는데 식(3)를 사용하여 워터마크를 삽입한다.

$$Xi' = Xi + \alpha Wi \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

여기서 Xi 는 원 영상이고, w_i 는 워터마크, Xi' 는 워터마크가 삽입된 영상이다. α 는 스케일링 파라미터로 워터마크의 삽입 양을 조절할 수 있는데, α 의 값이 크면 워터마크의 삽입 양이 증가하지만 비가시성이 커지게 되고, 반대로 α 의 값이 작으면 비

가시성은 감소하지만 워터마크의 삽입 양이 작아 워터마크의 강인성에 문제가 있다. 따라서 비가시성과 강인성을 모두 만족시킬 수 있도록 적절한 α 의 값을 선정하여야 한다.

본 논문에서는 이진영상의 워터마크의 픽셀 값을 작은 정수로 대체하여 명도 값이 0일 경우 픽셀 값을 정수 10으로 변환하고 명도 값이 1인 경우 픽셀 값을 1로 변환하였다. α 값은 0에서 1.0까지 0.1씩 변환하면서 실험한 결과 0.5의 값이 가장 적절하다고 판단되어 0.5를 적용한다.

워터마크의 삽입과정 표현하면 Fig. 9 와 같다.

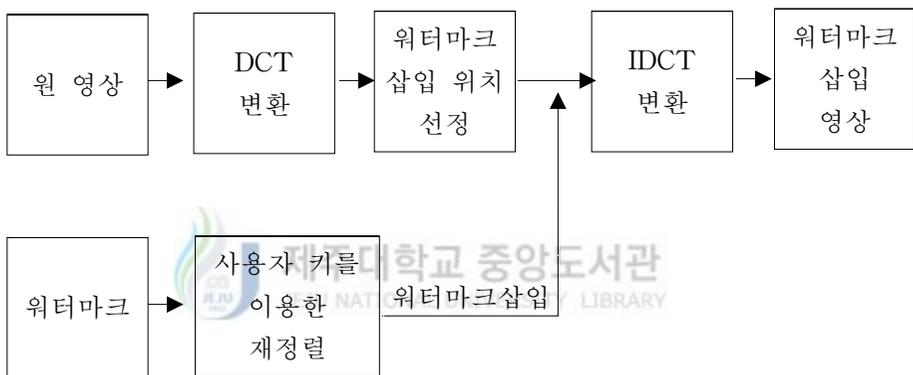


Fig. 9 워터마크 삽입 블록도

2-5. IDCT(Inverse DCT)

워터마크가 삽입된 후 주파수 형태의 영상을 다시 2차원 공간상의 영상으로 변환시키는 작업이다. 이 단계를 거치면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

역변환 과정은 앞에서 수행한 DCT 과정의 역순으로 진행되며, 이때 사용되는 수식은 식(2)이다. 역변환된 영상은 원 영상과 비교하여 워터마크의 삽입여부가 가시적으로 판단되지 않아야 하며 시각적으로 원 영상과의 차이를 구별할 수가 없어야 한다. 객관적인 판단을 위해 원 영상과 워터마크 삽입 후의 영상의 유사도를 비교하기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 계산한다. 일반적으로 35dB 이상이면 시

각적으로 원 영상과 워터마킹된 영상간의 차이를 구별할 수 없다.

3. 워터마크 추출

본 논문에서 제안하는 워터마크 추출 알고리즘은 손실 압축과 잡음 등의 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하기 위하여 워터마크가 삽입되지 않은 원 영상과 워터마크 된 영상, 워터마크 영상, 워터마크를 삽입한 원 영상의 DCT 계수의 위치(Seed Number)를 알고 있어야 한다. 워터마크의 검출 과정은 삽입과정의 각 단계를 역순으로 수행한다. Fig. 10 은 워터마크 추출과정을 나타내고 있다.

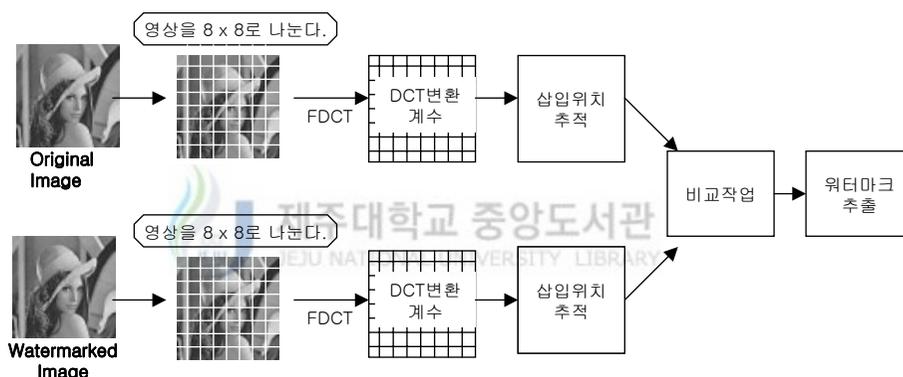


Fig. 10 DCT 기반 워터마크 추출과정

워터마크는 추출과정은 다음과 같은 단계에 따라 처리된다.

3-1. FDCT 변환

주파수 영역에 삽입된 워터마크를 추적하기 위해 원 영상과 워터마크된 영상을 DCT변환 처리한 후 주파수 영역값인 DCT 계수의 블록을 구성한다. 이를 각각 $O[v][u]$ 와 $W[v][u]$ 라고 한다.

3-2. 삽입위치 추적

각각의 $O[v][u]$ 와 $W[v][u]$ 에서 워터마크를 삽입했던 위치를 찾아낸다. 삽입 위치의 추적은 워터마크 삽입시 위치 선정 방법과 같은 방법으로 하고 찾아낸 계수는 $O'[v][u]$ 와 $W'[v][u]$ 로 하고 별도의 테이블로 구성한다.

3-3. 비교작업

$O'[v][u]$ 와 $W'[v][u]$ 의 차($Sub[v][u]$)를 구한다.

계수의 차가 일정한 임계치(T) 이상이면 명도 값을 1로 하고 아닐 경우는 명도 값을 0으로 하여 워터마크의 존재여부를 판단한다. 임계(Threshold)값 T 는 식(4)과 같이 결정한다.

$$T = \alpha / 2 \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

임계값의 결정은 실험을 통해 경험적 수치로 결정되며, 본 실험에서는 워터마크에 대한 다양한 공격으로 워터마크가 변형이 되어도 가장 높은 확률로 워터마크가 검출될 수 있도록 하기위해 식(5)에 의해 워터마크의 유무를 판단한다..

$$\text{Watermark}[i][j] \begin{cases} 1, & \text{if } (Sub[v][u] \geq T) \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots \text{식(5)}$$

이와같이 추출된 값은 사용자 키에 의해 랜덤하게 재배열된 워터마크의 형태이므로 다시 원 형태의 워터마크로 역 변환시켜 워터마크임이 시각적으로 증명되도록 한다.

추출된 워터마크는 시각적으로 워터마크임이 증명될 수 있어야 하며, 객관적으로도 워터마크임을 증명하기 위해 워터마크와 추출된 워터마크간의 상관계수를 구한다. 상관계수는 1에 가까울수록 상관도가 높음을 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험환경

본 논문에서는 다음과 같은 환경에서 실험하였다. 시스템은 Windows 98 운영체제를 사용하였고, CPU는 셀러론, RAM 128MB를 갖춘 PC를 사용하여 C++ 6.0으로 프로그래밍 하여 구현하였다.

워터마크에 대한 공격은 StirMark 의 StirMarkBenchmark를 사용하였다. 실험영상으로는 256 x 256 크기의 그레이 영상과 워터마크는 32 x 32 크기의 시각적으로 쉽게 인지 할 수 있는 이진영상의 워터마크를 사용하였다. Fig. 11 은 실험에 사용한 원영상과 워터마크 영상들을 나타낸다.



(a) 실험영상 (256 x 256)



(b) 이진마크영상

Fig. 11 실험에 사용된 영상들

2. 워터마킹 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능평가는 고주파, 저주파, 중간주파수 대역에 각각 워터마크 삽입 후, 원 영상의 손실 정도를 측정하여 원 영상의 질을 얼마나 잘 유지하는지에 대한 실험을 하였다. 다음으로 손실압축과 노이즈, 명도 및 대비변화, 필터링 등의 다양한 영상처리와 변형 등의 삽입된 워터마크를 제거하려는 공격을 대해서 내장된 워터마크의 추출 결과를 서로 비교하였다.

워터마크 검출의 척도로는 식(8)과 같은 정규화된 상관계수 C_n 을 사용하였으며 각 경우에 대한 값을 Table. 3 에 나타내었다.

실험결과를 비교하여 보면 저주파 영역에 워터마크를 삽입한 경우는 워터마크를 삽입한 후 원 영상의 화질열화가 발생하여 워터마크 삽입대역으로 적절하지 않다고 판단 이후 실험에서는 워터마크 삽입 대역으로는 중간주파수와 고주파를 선택하였다.

원 영상과 워터마크된 영상의 화질변화를 비교하기 위해 식(7)를 이용하여 PSNR(peak signal to noise ratio)을 분석하였다. PSNR은 ITU-R Recommendation BT.500-11(주관적인 quality의 평가에 대한 여러가지 시험 절차들 정의)에서 실험하는 방법들이 측정법의 복잡함과 비용 때문에 문제가 발생하자 이에 대한 대안책으로

나온 여러 가지 방법 중 하나이다. PSNR은 알고리즘을 사용하여 자동으로 Quality를 측정함으로써 쉽고 빨리 계산이 가능하며, Quality의 비교를 위해서는 손상되지 않은 원본 이미지가 필요하다.

Table. 1 은 주파수 대역별 PSNR 비교 결과이다.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{MN \max f(x, y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2} \dots\dots\dots \text{식(7)}$$

여기서 $f(x, y)$ 는 원영상이며, $\hat{f}(x, y)$ 는 워터마킹된 영상이고, $\max f(x, y)$ 는 영상의 최대 값이다.

그리고 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성을 측정하기 위하여 Cox의 방법에 의해 식(8)을 사용하였다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i, j) \hat{w}(i, j)}{\sum_i \sum_j [w(i, j)]^2} \dots\dots\dots \text{식(8)}$$

여기서 $w(i, j)$ 는 원 워터마크이며, $\hat{w}(i, j)$ 는 추출된 워터마크이다.

2-1. 주파수 대역별 워터마크 삽입 결과

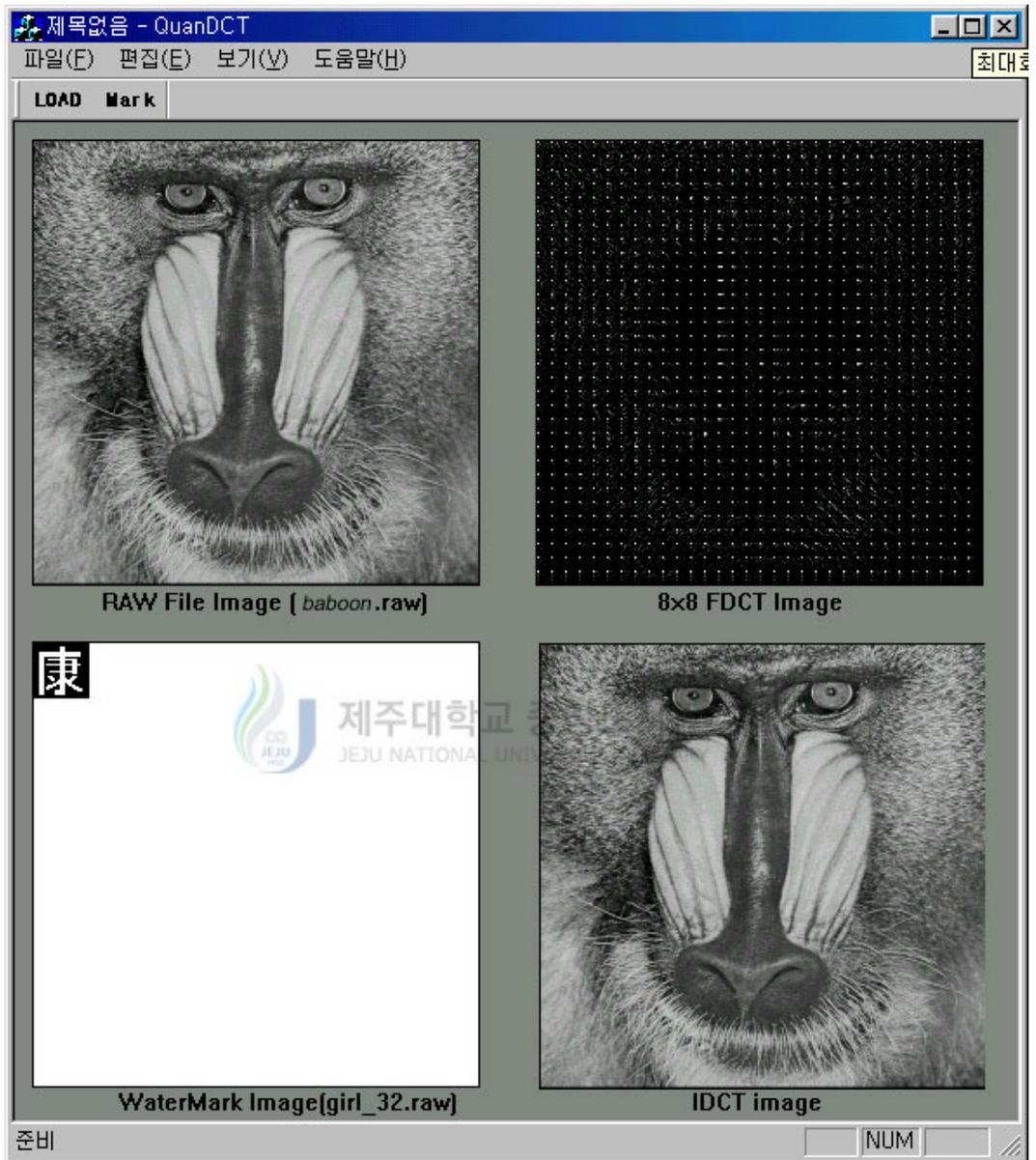


Fig. 12 고주파 영역 워터마크 삽입 결과

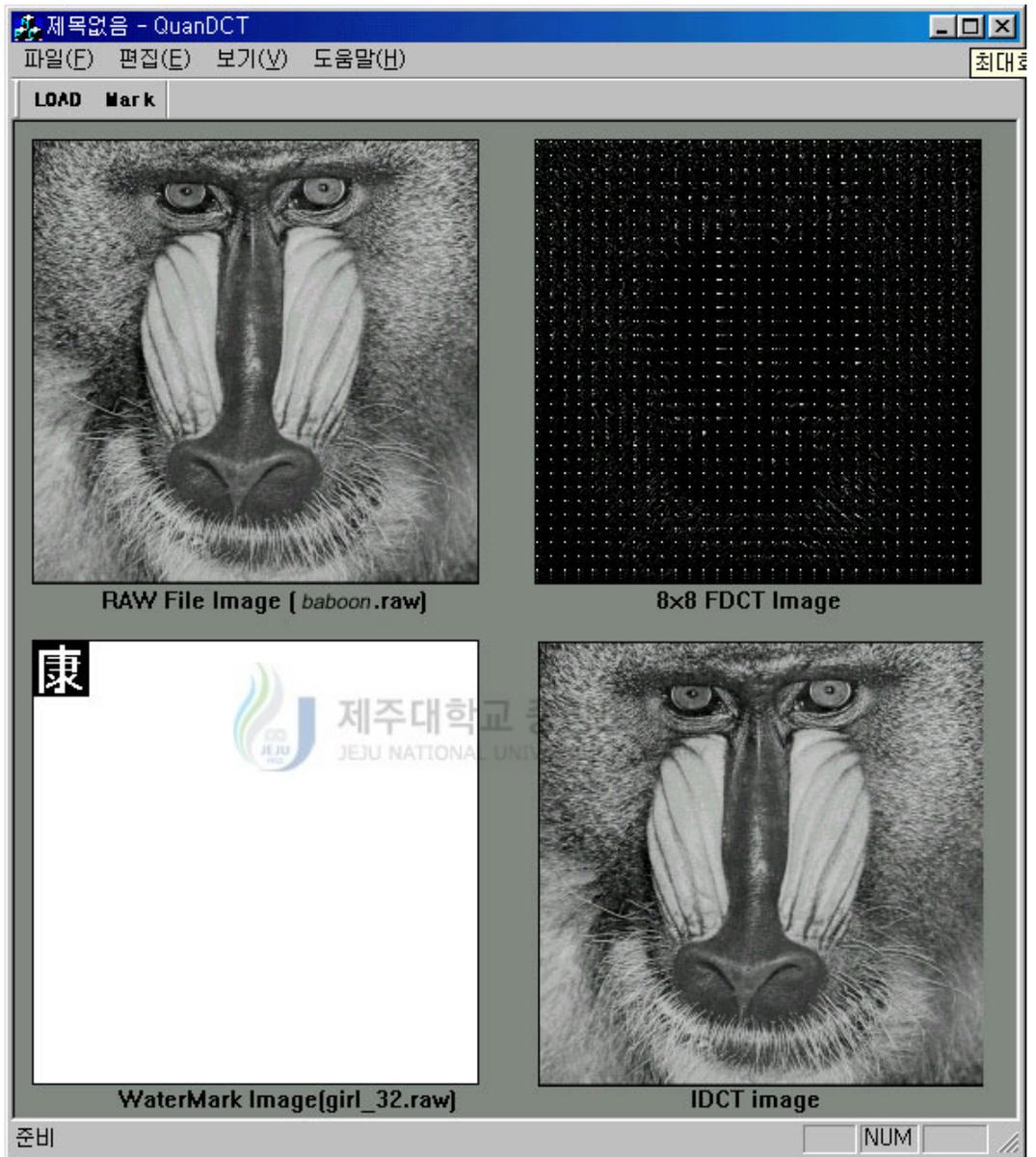


Fig. 13 중간주파수 영역 워터마크 삽입 결과

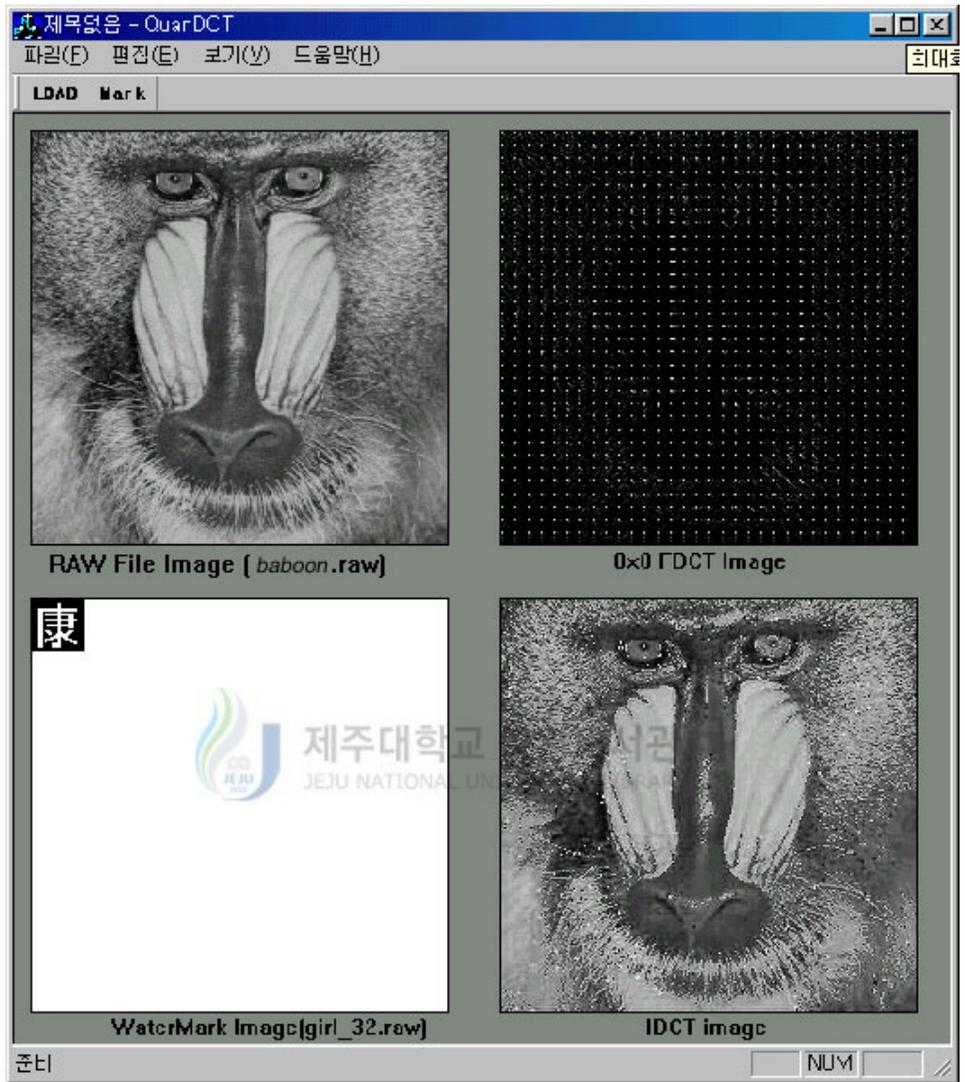
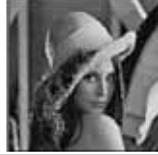
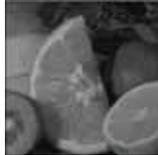
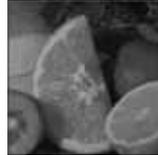
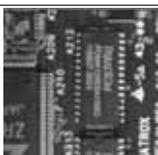
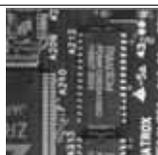
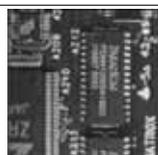
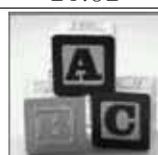


Fig. 14 저주파 영역 워터마크 삽입 결과

Table 2. 워터마크 삽입 후 영상손실에 대한 실험 결과

실험 영상	고주파	중간주파수	저주파
Lena			
PSNR(dB)	44.78	38.02	14.19
Citrus			
PSNR(dB)	45.85	38.89	19.21
Pepper			
PSNR(dB)	43.75	36.79	18.89
Door			
PSNR(dB)	42.97	37.51	23.56
IC_ref			
PSNR(dB)	44.01	39.41	25.02
Block			
PSNR(dB)	41.21	38.43	22.06

워터마크 삽입 후 영상손실에 대한 실험결과, 영상의 고주파와 중간주파수대역에 삽입했을 때는 영상의 시각적인 손실을 거의 알아 볼 수 없었으며, PSNR측정에서도

평균적으로 40dB이상을 유지하였다. (35dB 이상이면 인간의 시각특성(HVS)상 손실 여부를 알아볼 수 없다.)

저주파에 삽입한 워터마크 영상은 시각적으로도 화질의 열화가 보이고, PSNR측정에서도 평균 17dB정도로 원 영상의 손실이 상대적으로 컸다.

2-2. 워터마크 공격에 대한 강인성 실험

삽입된 워터마크의 강인성을 주파수 별로 비교하기 위해 블러링(blurring), 손실압축, 크로핑(Cropping), 밝기변화, 대비변화, 노이즈, 필터링 등의 다양한 공격에 대해 실험하였다. 블러링, 밝기변화 등은 삽입된 워터마크를 제거하려는 고의적인 공격을 할 경우에 생길 수 있는 현상들이다. 그리고 압축은 효율적인 저장이나 전송을 위하여 행해질 수 있으며, 가장 흔하게 워터마크의 손실이 생길 수 있는 경우이다. 그리고 전송 중 영상에 노이즈(Noise)가 생길 수 있는데 이 경우에도 워터마크에 손상이 있게 된다. 이러한 공격들에 대해서 삽입된 워터마크를 추출하여 주파수별 워터마크의 상관계수를 비교하였다.



■ 블러링 공격에 대한 실험

블러링 공격후의 결과영상과 추출된 워터마크의 상관관계를 주파수 별로 비교한다.

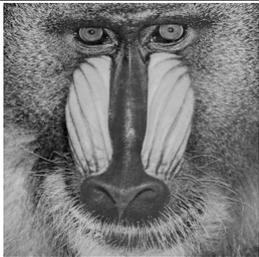
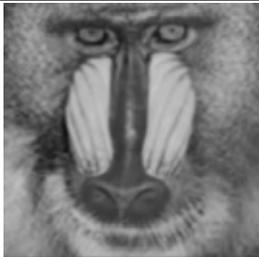
원영상	블러링 영상	추출된 워터마크	
		고주파	중간주파수
		 NC=0.67	 NC=0.8965

Fig. 15 블러링 공격 후 워터마크 추출결과

다른 영상에서도 비슷한 결과를 보였으며 실험영상별 Blurring 처리 후의 상관계수 NC는 Table. 3 과 같으며, Fig. 16 을 이용해 비교결과를 나타내었다.

Table. 3 주파수 대역별 NC 비교

실험영상	중간주파수대역	고주파수 대역
	NC	NC
Lena	0.8114	0.6913
Pepper	0.8521	0.6632
Block	0.8795	0.6965
IC_ref	0.8124	0.6665
Door	0.7991	0.6544
Citrus	0.8475	0.6532

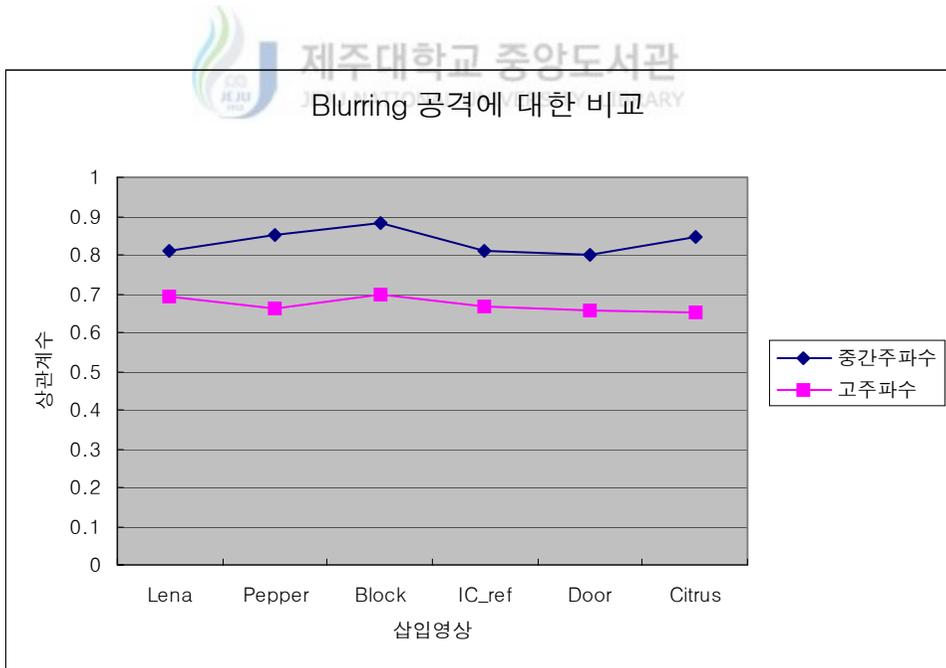


Fig. 16 Blurring 공격에 대한 비교 그래프

고주파와 중간주파수에 워터마크를 삽입 후, 추출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관관계를 측정하여 블러링에 대한 워터마크의 강인성에 대한 실험을 하였다. 중간주파수대역에 삽입된 워터마크가 고주파수 대역에 삽입된 워터마크보다 워터마크가 덜 손상됨을 볼 수 있다.

■ JPEG 압축 공격 후 주파수 대역별 워터마크 추출결과

Fig. 17 은 워터마킹된 영상에 손실 압축 공격 후 삽입 대역별 워터마크의 강인성에 대한 실험 결과이다.

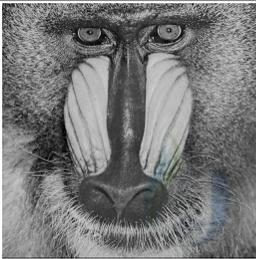
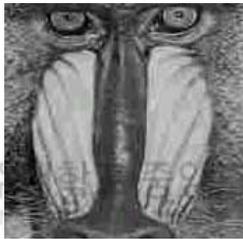
원영상	JPEG Quality 30%	추출된 워터마크	
		고주파	중간주파수
		 NC=0.19	 NC=0.52

Fig. 17 손실 압축 후 추출된 워터마크의 상관계수 비교

Jpeg 손실압축은 90%에서 10%까지의 압축률에 따른 워터마크 추출 후 상관계수를 비교하였다. Fig. 17 에서처럼 압축 후 영상의 블록화 현상으로 인해 화질이 열화됨을 확인할 수 있다. Table. 4 는 실험 영상별 상관계수(NC) 이며, 이에 대한 비교는 Fig. 18 에서 볼 수 있다.

Table. 4 주파수 영역별 JPEG Quality에 따른 상관계수

실험영상	압축 Quality와 상관계수(NC)									
	고주파					중간주파수				
	90%	70%	50%	30%	20%	90%	70%	50%	30%	20%
Lena	0.84	0.79	0.56	0.29	0.12	0.99	0.91	0.89	0.52	0.45
Pepper	0.88	0.81	0.62	0.29	0.13	0.97	0.88	0.75	0.44	0.31
Block	0.88	0.71	0.49	0.19	0.12	0.92	0.87	0.71	0.35	0.27
IC_ref	0.92	0.69	0.51	0.22	0.17	0.94	0.82	0.74	0.49	0.37
Door	0.92	0.70	0.51	0.23	0.17	0.96	0.80	0.69	0.52	0.39
Citrus	0.93	0.70	0.53	0.26	0.20	0.95	0.88	0.71	0.52	0.41

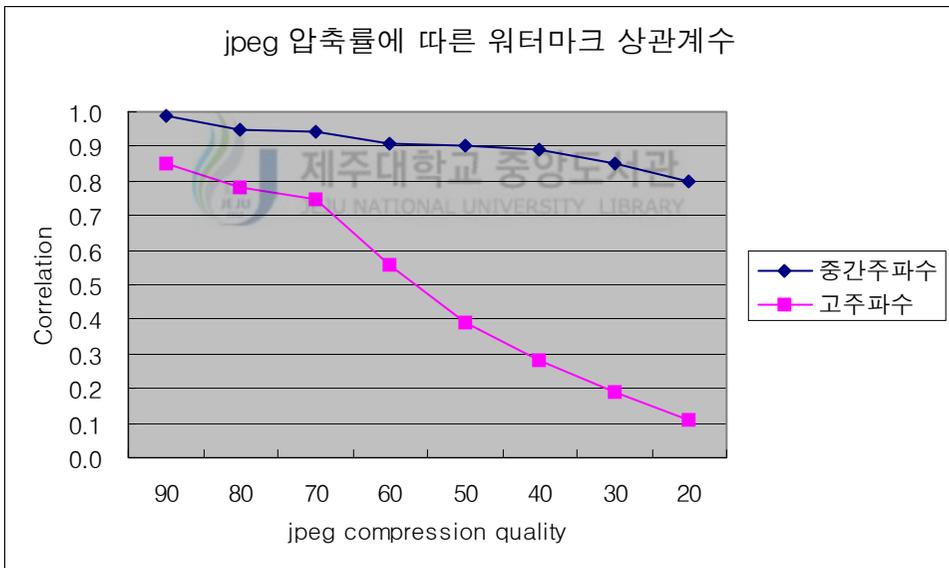


Fig. 18 압축률에 따른 NC 비교

실험결과 중간주파수와 고주파에 대한 압축률의 차이는 Quality 60%부터 급격한 차이를 보이며, 전체적으로 상관계수의 값을 기존의 Cox등의 방법과 비교하였을 때 중간주파수 부분에서는 더 나은 결과를 볼 수 있었다. .

■ 크로핑(Cropping)공격에 대한 주파수 대역별 워터마크 추출결과

외곽 20%		좌상단 25%	
			
중간주파수	고주파수	중간주파수	고주파수
			
NC=0.79	NC=0.71	NC=0.94	NC=0.89

Fig. 19 고주파수와 중간주파수 워터마킹 영상에 대한 크로핑 공격

기존의 방법[7]으로 이진영상을 워터마크로 삽입하는 경우에는 크로핑 공격 후 워터마크의 추출에서 워터마크가 많이 손상되었으나 본 실험에서는 워터마크를 랜덤하게 재구성하여 삽입함으로써 중간주파수나 고주파수 모두 크로핑 공격에 강한 결과를 보였다. 실험영상들에 대한 크로핑 공격에 대한 결과는 <표 5>와 같으며, 크로핑된 영역이 고주파영역이 많은 경우와 저주파 영역이 많은 경우에 따라 상관계수의 값이 차이가 있다.

Table. 5 크로핑(Clipping)공격에 대한 워터마크 상관계수(NC)

실험영상	외곽 20% 크로핑	왼쪽 상단 25% 크로핑
	고주파	중간주파수
Lena	0.58	0.86
Pepper	0.72	0.88
Block	0.52	0.75
IC_ref	0.63	0.83
Door	0.70	0.87
Citrus	0.61	0.79

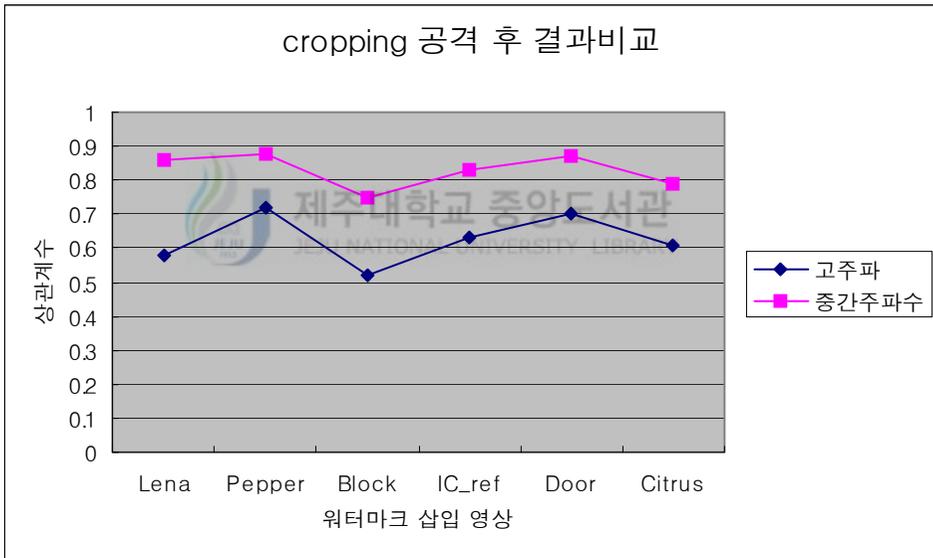


Fig. 20 Cropping 공격 후 결과 비교

■ 밝기 및 대비변화 공격에 대한 실험 결과

밝기변화 50%	대비변화 50%	중간주파수	
		밝기변화	대비변화
		 NC=0.98	 NC=0.95

Fig. 21 밝기 및 대비변화에 대한 워터마크 추출결과

Table. 6 주파수 대역별 밝기, 대비 변화에 따른 워터마크 상관계수

실험영상	밝기변화 50%		대비변화 50%	
	고주파	중간주파수	고주파	중간주파수
Lena	0.87	0.97	0.96	0.95
Pepper	0.82	0.92	0.98	0.96
Block	0.82	0.91	0.75	0.77
IC_ref	0.93	0.96	0.87	0.91
Door	0.82	0.92	0.87	0.89
Citrus	0.91	0.89	0.86	0.81

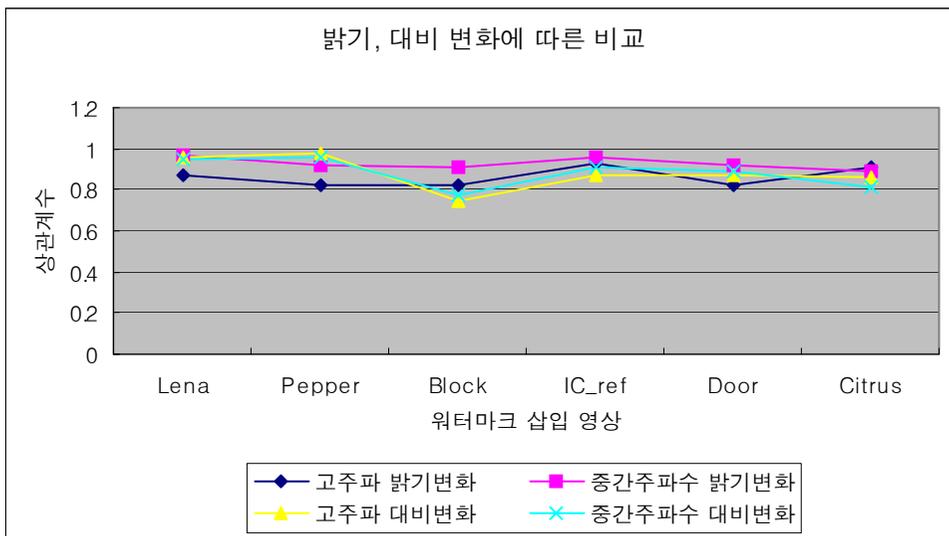


Fig. 22 밝기, 대비 변화에 따른 비교

밝기변화, 대비변화 에서는 고주파와 중간주파수 모두 워터마크 추출율이 우수하였다.

■ 잡음 공격에 대한 실험 결과

가우시안 노이즈	고주파수	중간주파수
	 NC=0.67	 NC=0.94

Fig. 23 주파수 대역별 잡음(Noise) 공격에 따른 워터마크 추출결과

워터마킹된 실험 영상에 대해 가장 일반적으로 발생되는 가우시안 잡음을 영상 크기만큼 발생시켜 전 영역에 잡음을 첨가한 후 워터마크를 추출하였다. 결과는 Table. 7 과 같다.

Table. 7 가우시안 잡음 첨가에 따른 워터마크 추출결과

실험영상	고주파	중간주파수
Lena	0.72	0.95
Pepper	0.72	0.92
Block	0.69	0.89
IC_ref	0.68	0.90
Door	0.70	0.91
Citrus	0.61	0.89

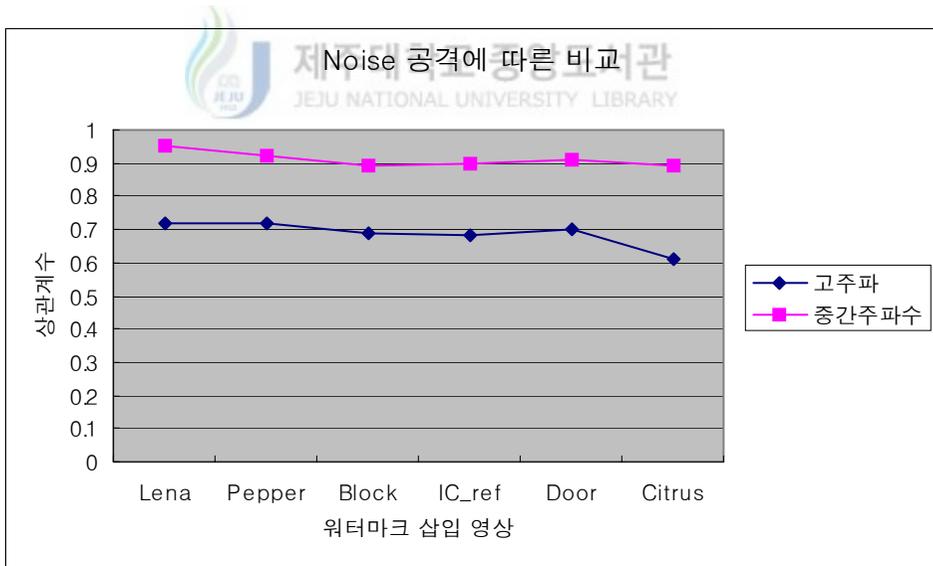


Fig. 24 Noise 공격에 따른 비교

■ 미디언 필터 공격에 대한 실험 결과

미디언 필터는 영상데이터의 edge를 흐리지 않고 잡음을 제거할 수 있도록 고안된 필터로 어떤 화소 주변의 영역 내의 화소 농도의 중간 값을 구하여 원하는 화소의 농도로 처리하는 것이다. 고의적으로 워터마크를 공격하지 않는 경우에도 흔히 있을 수 있는 공격의 형태이다. 실험에서는 미디언 필터를 5회 실시한 후 워터마크를 추출하였다.

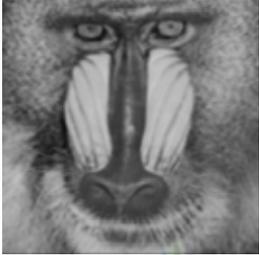
미디언 필터	고주파수	중간주파수
	 NC=0.24	 NC=0.92



Fig. 25 주파수별 미디언 필터(Median Filter) 공격 후 워터마크 추출결과

Table. 8 미디언 필터링에 따른 워터마크 상관계수

실험영상	고주파	중간주파수
Lena	0.32	0.92
Pepper	0.22	0.90
Block	0.29	0.89
IC_ref	0.28	0.80
Door	0.30	0.91
Citrus	0.25	0.87

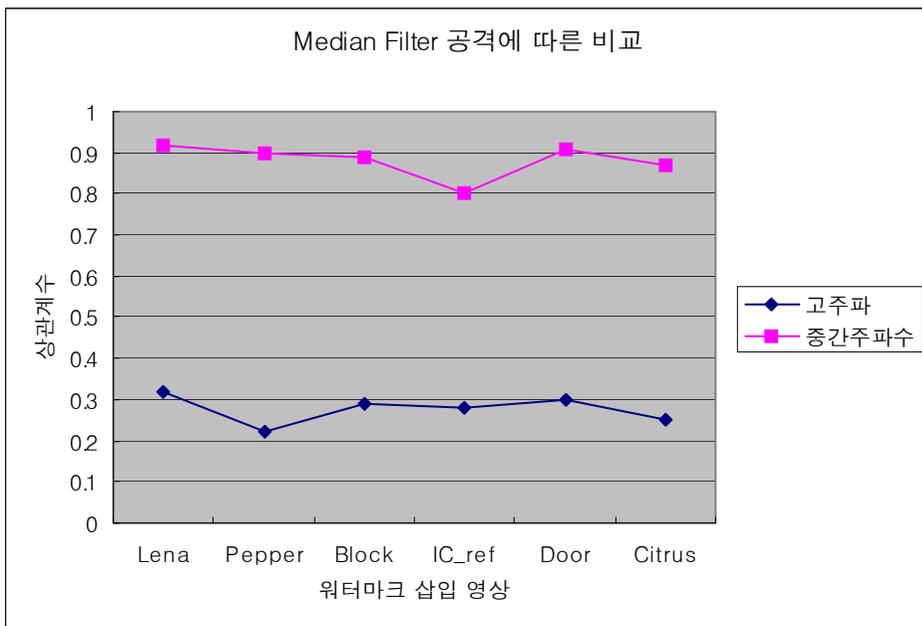


Fig. 26 Median Filter 공격에 따른 비교

3. 기존의 방법과 성능 비교

다음은 중간주파수 영역에 워터마크를 삽입한 기존의 방법들과 성능을 비교한 것이다.

Table 9. 워터마크 삽입 후 화질열화 비교

	Proposed	Ohnish	Hsu
주파수 변환방법	DCT	Wavelet	Wavelet
PSNR	38.02	46.03	37.98

위의 표에서 보면 PSNR 측정값에서는 제안한 방법보다 Ohnish[18]의 방법이 더 좋은 결과를 보이거나 Ohnish의 방법은 나머지(mod) 연산으로 각 계수의 LSB를 이용

하기 때문에 정수 연산을 하는 5/3필터를 적용할 경우, 워터마킹된 영상의 화질은 우수하나 실수연산을 하는 9/7필터에서는 적용이 불가능할 뿐만 아니라 공격에 가장 약한 특성을 보인다. 비슷한 결과를 보이는 Hsu[17]의 방법은 에지(Edge)의 반전 현상이 생겨 이를 보완하기 위해 특정 임계치를 넘는 계수는 워터마크를 첨가할 부분에서 제외시키고 워터마크를 삽입해야 하는 단점이 있다.

Tabel. 10 은 기존의 방법들과 제안한 방법에 대해 다양한 공격을 가한 후 강인성을 비교한 결과이다.

Tabel. 10 각종 공격에 따른 강인성 비교

	Proposed	Ohnish	Hsu
JPEG(60)	0.85	0.46	0.82
밝기변화(60)	0.97	1.00	0.98
대비변화(60)	0.96	0.56	0.95
잡음첨가	0.95	0.53	0.91
미디어필터링	0.92	0.49	0.81

위의 표에서 보면 제안한 방법은 여러 가지 공격에 대하여 상대적인 워터마크의 추출정도를 나타내는 NC가 0.85 이상을 유지하고 있다. 그러나 Ohnish의 방법은 밝기변화를 제외하고, 약 0.5의 값을 나타내어 공격에 취약함을 보인다.

Hsu의 방법은 제안한 방법과 공격(Attack)에 대해서 비슷한 결과를 보인다. 그러나 워터마크 삽입과 추출과정이 제안한 방법에 비해 상대적으로 복잡하고 어려우며, 압축이 증가함에 따라 NC값이 급격히 떨어진다.

Fig. 27 은 단계별 JPEG 압축률에 따른 비교 결과이다.

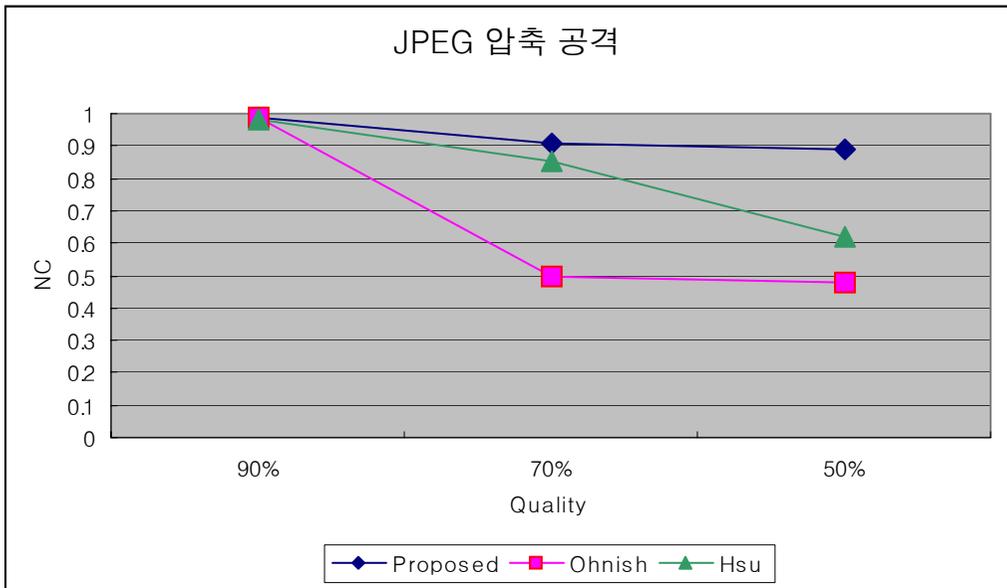


Fig. 27 단계별 JPEG 압축 공격에 따른 비교 결과



V. 결 론

본 논문에서는 멀티미디어 콘텐츠의 저작권을 보호하기 위한 기술인 디지털 워터마킹의 다양한 기법들 중 2차원 디지털 정지 영상을 대상으로 보다 효율적이고 적합한 워터마크 삽입 영역을 찾기 위해 DCT 변환과정을 이용하여 고주파수, 저주파수, 중간주파수 영역에 대한 워터마킹 기법에 대해 비교 분석하였다.

객관적인 성능평가를 위해서 영상의 특징에 의존하지 않는 동일한 이진 영상을 워터마크로 삽입하였으며, 워터마크 삽입 강도는 주관적으로 몇 개의 값을 정해 실험하여 가장 적절하다고 생각되는 값을 선택하여 적용하였다..

지금까지 진행되어온 워터마킹 기법들이 대부분 시각적으로 워터마크임을 구분할 수 없는 PN-Code 형태를 워터마크로 사용하여 주파수 영역에 대한 워터마크 삽입 방법들을 제시하였는데 이 방법은 워터마크의 삽입량을 고려하는 측면에서는 좋은 방법일 수 있으나 시각적으로 의미 없는 형태이기 때문에 삽입 후 추출하였을 때 워터마크임을 인지하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 시각적으로 의미 있는 영상을 워터마크로 사용하였다.

시각적으로 의미 있는 이진 영상은 PN-Code와 같은 워터마크에 비해 삽입 후 화질열화가 상대적으로 더 생길 수 있다. 그리고 삽입된 워터마크가 쉽게 노출될 수 있기도 하다. 따라서 이런 단점을 보완하고자 워터마크를 랜덤하게 재 정렬하여 PN-Code 와 같은 잡음의 형태로 워터마크를 삽입하였다.

워터마크 삽입 후 Jpeg 압축, 블러링(Blurring), 크로핑(Cropping), 밝기 및 대비변화, 잡음(Noise), 미디언 필터(Median Filter) 등의 공격 후 워터마크의 상관계수를 구하여 주파수 대역별로 강인성을 비교하였다. 그 결과 저주파수에 대한 워터마크 삽입은 가장 강한 워터마킹이 될 수 있지만 워터마크 삽입 후 화질열화가 시각적으로도 분명히 판단되어 워터마크 삽입대역으로 적절치 않았다. 따라서 저주파수 대역은 실험대상에서 제외시키고 중간주파수와 고주파 영역만 워터마크 삽입 대상으로 실험하였다.

실험결과 워터마크 삽입 후 원 영상과의 비교에서는 고주파 영역에 워터마크를 삽

입했을 때 가장 좋은 PSNR 결과를 보였으며, 저주파 영역에 대한 결과는 시각적으로도 화질의 열화가 분명하고 PSNR 값에서는 가장 낮은 결과 값을 보였다. 중간주파수 영역에서의 결과는 PSNR 값에서는 차이가 있었지만 시각적으로는 고주파 영역에서와 별 큰 차이를 느낄 수 없었다.

워터마크 삽입 후 여러 가지 공격에서는 전반적으로 중간주파수 영역에 삽입된 워터마크가 고주파 영역에 비해 강인함을 보였고, 특히 Cropping 공격에서는 랜덤하게 재정렬된 워터마크를 삽입함으로써 기존[7]에 워터마크 영상 그대로 삽입한 결과 보다 더 나은 추출결과를 보였다.

그리고 제안한 방법에서는 워터마크 삽입시기를 DCT변환 후 양자화 과정을 거치고 난 후에 삽입하는 JPEG 압축과정 중에 삽입함으로써 기존의 방법에 비해 추가적인 워터마크의 손실을 막을 수 있었다. 기존의 대부분의 연구에서는 압축과정 속에 워터마크를 삽입하지 않고 워터마크 삽입 후 전송 또는 저장을 위해 다시 압축하여 고의적인 공격과 마찬가지로 압축에 따르는 워터마크의 손실이 내재해 있었다.

이와같은 결과를 전반적으로 분석하고 비교해 보았을 때 워터마크의 강인성과 워터마크 삽입 후 비가시성의 두 조건을 모두 만족시킬 수 있는 삽입대역으로는 중간주파수 영역이 가장 적합하다고 판단된다.

본 논문에서는 실험대상으로 흑백 영상을 사용하였다. 그런데 칼라영상을 사용하였을 때는 같은 방법을 적용시키기에 어려움이 예상된다. 칼라영상은 흑백영상보다 시각적으로 훨씬 민감하기 때문이다. 따라서 앞으로는 칼라영상에서의 워터마크의 삽입시 영상의 특성에 상관없이 가장 적합한 워터마크 삽입대역의 선택과 삽입방법에 대한 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] I. J. Cox and M. L. Miller. "A Review of Watermarking and the importance of Perceptual Modeling," Proc. SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II, Vol 3016. pp.92-99, February 1997.
- [2] I. Pitas, T. Kaskalis, "Applying Signatures on Digital Image", Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Noes Marmars, Jun, 1995
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shanmoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Trans. on Image Processing, vol.6, no.12, pp.1673-1687, Dec.1997.
- [4] K. K. Wong, C. H. Tse, K.S.Ng, T.H.Lee, and L.M.Cheng, "Adaptive watermarking", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.43, no.4, pp.1003-1009, Nov.1997.
- [5] S. Katzenbeisser, F. A. P. Petitcolas, Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House, 2000.
- [6] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital Watermarking : An Overview, "Proc. of EUSIPCO'98, Sep., 8-11, Rhodes, Greece, 1998.
- [7] E. T. Lin and E. J. Delp : "A review of data hiding in digital images," Proceedings of the Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference, PICS'99, Savannah, Georgia, pp. 274-278, April. 1999.
- [8] G. C. Langelaar, Setyawan, and R. L. Lagendijk, "Watermarking digital Image and Video Data," IEEE SP Mag., Vol. 17, no. 5, pp. 20-46, Swp. 2000.
- [9] I. J. Cox, "A Secure Robust Watermarking for Multimedia," in Information Hiding, First International Workshop, Proceedings, vol. 1174, pp. 185-206, 1996.
- [10] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Signatures in Images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 3, pp. 743-746, Sep. 1996.
- [11] Christine I. Podilchuk, Wenjun Zeng, "Image-Adaptive Watermarking Using Visual Modes," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 16,

- no. 4, May. 1998.
- [12] Wenwu Zhu, Ziziang Xiong, and Ya-Qin Zhang, "Multiresolution Watermarking for Images and Video," IEEE Trans on Circuits and System for Video Technology, vol. 9, no. 4, June. 1999.
- [13] Xiang-Gen Xia, Charles G. Boncelet, Gonzalo R. Arce, "A Multiresolution watermark for digital images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, Oct. 1997, vol. 1, pp. 548-551.
- [14] Young-Sik Kim, O-Hyung Kwon and Rae-Hong Park, "Hidden Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," IEEE trans. Electronics Letters. vol. 35. no. 6, March. 1999.
- [15] K. K. Wong, C. H. Tse, K. S. Ng, T. H. Lee, and L. M. Cheng, "Adaptive watermarking", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.43, no.4, pp.1003-1009, Nov.1997.
- [16] C.T.Hsu and J.L.Wu, "Hidden digital watermarks in images", IEEE Trans. on Image Processing, vol.8, no.1, pp.58-68, Jan. 1999
- [17] C.T.Hsu and J.L.Wu, "Multiresolution watermarking for digital images", IEEE Trans. Circuits Syst.-II:Analog and Digital Signal Processing vol.45, no.8, pp.1097-1101, Aug. 1998
- [18] J.Ohniah, K.Matsui, "Embedding a Seal Into a Picture Orthogonal Wavelet Transform, "IEEE Computer Society, pp.514~521, 1996.

감사의 글

설레임과 기대로 시작했던 2년간의 대학원 생활이 벌써 졸업을 앞두고 있습니다. 처음에는 모든 것이 낯설고 힘들었지만 교수님들과 선배님들 그리고 같이 공부하고 연구하던 동기들이 있어 힘이 되었고, 열심히 대학원 생활을 할 수 있었습니다.

이제 대학원 생활의 마지막 자리에 서면서, 언제나 관심을 가지고 끝까지 성심 성의껏 지도해 주신 김장형 지도 교수님과, 이렇게 좋은 결과를 맺을 수 있도록 조언해 주신 안기중 교수님, 변상용 교수님, 곽호영 교수님, 이상준 교수님, 고성만 교수님, 박창희 교수님, 송왕철 교수님, 변영철 교수님께 먼저 감사의 마음을 전합니다.

또한 연구실에서 공부하는 동안 언제나 대학원 생활과 연구에 대해 조언을 아끼시지 않으시고, 관심을 가져주신 강영도 선생님, 강진석 선생님, 김정호 선생님, 강길봉 선생님, 변태보 선생님께도 진심으로 감사드립니다.

그리고 같이 연구하고 생활하던 석사과정 양동호 선생님, 송경수 선생님과 멀티미디어 연구실의 여러 식구들과 대학원에 같이 들어와서 함께 열심히 공부했던 저의 동기들 및 학과 사무실에서 저희들을 위해 애써주신 이정하 조교 선생님, 정은경 조교선생님께도 감사의 마음을 전하는 바입니다.

끝으로 언제나 가슴 졸이면서 막내딸의 대학원 생활을 뒷바라지 하고, 걱려의 말씀들을 아끼시지 않으시던 아버님, 어머님, 그리고 든든한 후원자인 언니, 형부, 오빠에게 마지막으로 진심 어린 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 언제나 이 모든 분들께 살아가면서 언제나 좋은 일만 있으시길 빌겠습니다. 감사합니다.