

디지털 시네마 플랫폼 구축과 보안에 관한 연구

A study on the implementation of Digital Cinema platform and its security system

김종안*, 김진한, 김종흠
(Jongan Kim, Jinhan Kim and Jongheum Kim)

Abstract : Film has been used widely since Auguste and Louis Lumière hold the first private screening in 1895. Star Wars Episode II: Attack of the Clones directed by George Lucas released on May 16, was the first motion picture both to be shot completely on a high definition digital 24-frame system and to be projected by digital projectors. Its success showed us that the digital cinema era is imminent. Digital Cinema will enable the studios and movie distributors to low the expenses of making and delivering film prints and also enable the movie goers to experience the crisper sound and image quality than the film projecting. Since the digital cinema content is in digital format from encoding to transporting to storing and finally until playing back at the theater, the illegal hacking and dissemination of it can put the entire digital cinema ecosystem in great jeopardy. Therefore DRM and other security policies are used for digital cinema content protection. In this paper it will be discussed how the digital cinema platform can package (encode & encrypt), transport, and project the digital cinema contents safely

Keywords: DRM (Digital Rights Management), FM (Forensic Marking), Digital Cinema, Digital Projector

I. 서론

1895년 루미에르 형제가 세계 최초로 영화를 상영한 후 최근까지 영화산업의 제작과 상영에 셀룰로이드(아나로그) 필름을 사용해 왔다. 영화산업은 크게 제작, 배급(전달), 상영 분야로 나눌 수 있는데, 전달(전송)을 제외한 전 분야가 디지털화의 경험이 있다. 2002년 5월 영화감독 조지 루카스가 HD(High Definition) 디지털 카메라를 이용하여 “스타워즈 에피소드 2”를 촬영하고, 디지털 영사기로 미국 내에서 상영하였으나, 현재 영화 제작은 디지털 카메라를 이용하여 제작하기 보다는, 아나로그 필름을 이용하여 테일리를 만들고 이것을 디지털 스캐너를 이용하여 디지털 파일로 만들어 각종 후반작업을 하는 것이 일반적인 추세이다. 후반 작업(post production) 또한 영상편집, 특수효과, 사운드 편집/믹싱, 색보정 작업 등 많은 과정에서 디지털 처리 기술이 도입되어 사용되어 있다.

본 논문에서는 디지털 시네마를 영화제작의 최종단계에서 나온 산출물이 디지털의 형태로 상영관의 디지털 영사기를 통해 스크린에 투사되는 것이라고 정의하고자 한다. 현재 디지털 시네마는 제작과 상영 부문에 많은 디지털화가 되어 있으나, 전송 부문은 컴퓨터 파일 형태의 디지털 필름을 하드 디스크에 저장한 후, 우편이나 택배를 이용하여 극장에 배송하는 아나로그 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 제작분야를 제외한 디지털 전송(인터넷 망을 이용하여 영화 콘텐츠를 배포)과 디지털 상영을 가능하게 해주는 디지털 시네마 플랫폼과 영화콘텐츠 보호 시스템에 대해서 자세히 다루고자 한다

1.1 디지털 시네마의 장점

디지털 시네마는 관객, 제작/배급사, 그리고 극장주에게 다음과 같은 장점을 제공한다. 관객은 필름영화보다 선명한 화질(4K 해상도 제공)의 화질 변색, Noise 등이 없는 영상을 감상

할 수 있다. 배급사는 동시 개봉에 필요한 필름 프린트를 없앨 수 있고, 전송이 인터넷을 통해 이루어지기 때문에 신속하고 안전한 전달과 배급비용을 줄이게 된다. 또한 디지털 필름을 사용하면 원본과 동일한 품질의 복사본을 만들 수 있기 때문에 디지털 시네마 플랫폼이 도입된 모든 상영관에서 동시 개봉이 가능하여 최단 기간 내에 극장 수익을 극대화할 수 있고, DVD 출시 후 P2P, 웹 하드 등을 통한 불법 콘텐츠 유통으로 인한 수익 누수를 방지하는 효과도 볼 수 있다. 극장주는 고 화질의 영화를 고객에게 제공하고, 디지털 영사기에 인터넷 광고, 실시간 중계하는 등 극장을 다양한 정보 및 행사 제공의 장으로도 활용 가능하다.

표 1은 디지털 영화와 필름 영화의 차이점을 정리한 자료이다.

표 1. 디지털영화 필름영화의 비교
(자료: 한국영화 동향과 전망, 2004.6)

	디지털 영화	필름 영화
해상도	4K(4096 X 2160 24fps), 2K(2048x1080 24fps or 48 fps)	2048 X 1536 24fps
밝기	28,000 ANSI Center Lu- men까지 지원	18,000 ANSI Lumen 까지 지원
화질	디지털 재생으로 화면진 동 없음	영사기 모터 진동으로 인한 떨림 현상 발생
화질의 지속 성	디지털 파일을 사용하여 동일한 화질의 무한재생 이 가능	필름과 영사시스템의 특 성 때문에 열화와 마찰 로 인한 화질의 손실발 생
음향	16채널 디지털 사운드	8 채널 아나로그 및 디 지탈 사운드
운영비용	원격제어 시스템 구성을 통한 인건비 절감 가능	상영관 숫자에 비례하여 인건비 증가
전송방법	위성, 인터넷을 통한 배 급 가능	필름을 직접 운반하는 과정 필요

김종안*, 김진한, 김종흠 : KT 미래기술연구소*, KT BcN본부
(joankim@kt.co.kr, jinhan@kt.co.kr, jinah0719@kt.co.kr)

환경문제	친환경	필름 조각 등으로 환경 오염
------	-----	-----------------

1.2 디지털 시네마 표준화 동향

표2는 국가별로 진행 중인 디지털시네마 표준화 및 추진 현황을 나타낸다. 세계 디지털 시네마 표준화는 영화계에 영향력이 큰 허리우드 7대 주요영화사가 결성되어 작성한 미국의 DCI 표준을 참조하거나 호환성을 유지하면서 자국의 영화계 현실을 감안하여 진행될 것으로 생각된다. 따라서 본 고에서는 DCI 표준을 준수하는 디지털 시네마 플랫폼에 대해서 논하고자 한다.

표 2. 국가별 디지털시네마 표준화 활동 현황

국가	주도기관	세부내용
미국	DCI (Digital Cinema Initiatives)	<ul style="list-style-type: none"> 7개 메이저 영화사(Disney, FOX, MGM, Paramount, SONY, Universal, Warner Brothers)의 합작벤처로 2002년 3월 설립. 2005년 소니가 MGM을 인수함으로써 6개 회원사로 축소 2005년 7월: DCI 표준 버전1.0 발표 JPEG2000, DRM 기술 채택(AES 알고리즘)
일본	DCCJ (Digital Cinema Consortium of Japan)	<ul style="list-style-type: none"> DCTF(Digital Cinema Technology Forum: 디지털시네마의 네트워크 분배 기초기술 연구 등 수행)의 회원으로 2002년 5월 비영리기관으로 출범 초고품질 디지털 시네마 포맷과 관련 인프라의 개발, 시험, 평가 및 표준화 주도
	DCCSDP	<ul style="list-style-type: none"> Digital Cinema Common Specification Development Projects & Committee in Japan HD급 디지털시네마 도입을 위한 프로젝트 HD급 화면구조 및 색채공간 구조 연구 및 표준안 개발
유럽	EDCF (Europe Digital Cinema Forum)	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 영화, TV, 비디오, 통신분야의 30개 대표기관으로 2001.6.13일 스톡홀름에서 결성 유럽내 E-cinema(1.3K 이하의 디지털영상기 사용)D-cinema 활동간 상호협력 기능 수행, 유럽 디지털 시네마 관련 R&D를 선도하거나 조직하는 역할 수행 DCI 수용 또는 100% DCI 호환 가능 기술(AFNOR) 개발 중

중국	SARFT (광파전영진시총국)	<ul style="list-style-type: none"> 자국 내에 적합한 시스템 규격 및 포맷 표준화 완료 300억에 가까운 정부지원, 5년 이내 2500개 이상 디지털 스크린 보급 목표 % The State Administration of Radio Film and Television
영국	DCTB (Digital Cinema Test Bed)	<ul style="list-style-type: none"> 영국은 2000년부터 BFC(British Film Council)에 국가적 차원의 DCTB 운영. UK Film Council이 DSN사업의 주체가 되어 AADC라는 사업체가 실무를 맡아 250개 극장의 DLP도입 발표
한국	문화부 디지털시네마비전위원회	<ul style="list-style-type: none"> 2005년 8월에 결성되어 디지털영화 제작부터 상영에 이르는 전 과정을 검증할 수 있는 테스트베드 구축 등 임무 수행
	KDCF	<ul style="list-style-type: none"> 2003년9월 영화진흥위원회가 Korea Digital Cinema Forum 결성 디지털시네마에 대한 기술적인 테스트를 시연할 수 있는 공간마련과 기술분석, DCI와의 관계설정 등 수행

II. 디지털 시네마 플랫폼 구성요소

제작과정에서 만들어진 디지털 시네마 파일을 압축, 암호화하여 상영관까지 전송하고, 상영관에서 디지털 영사 업무를 수행하는 시스템으로 구성된 디지털 시네마 플랫폼은 마스터링 시스템, 전송시스템, 극장시스템으로 이루어진다. 마스터링시스템은 압축(compression), 패키징(packaging)을 수행한다. 이미지 압축은 경제적으로 전달하고 저장하기 위하여 데이터의 크기를 줄이는 기술을 말하며 인코딩이라고(encoding)도 한다. DCI 표준은 압축 표준으로 wavelet 방식의 JPEG2000 코덱을 채택했다. 패키징은 압축된 디지털 시네마 파일을 암호화하고 배급과 상영을 위해 암호화된 파일을 패키징하는 작업이다. 패키징된 파일은 전송시스템(인터넷 망과 전송 프로토콜)을 사용해 극장 내에 설치된 스토리지 서버에 저장된다. 극장시스템은 극장에 설치된 시스템 장비(시네서버, 디지털 영사기 등)의 제어, 스케줄링, 기록(logging), 감시를 위해서 사용된다. 그림 1은 본 고에서 정의한 디지털시네마 플랫폼과 DCI 표준의 상관 관계, 그리고 영화 작업 흐름도를 나타낸다

2.1 마스터링 시스템

디지털 소스 마스터(DSM: Digital Source Master)는 영화제작 작업의 최종 결과물로 아카이브, 필름 복사 마스터, 홈비디오 마스터로 변환할 때 사용하는 형태로서 영화 상영을 위한 마스터는 아니다. 영화 상영을 위한 마스터는 DCDM이다.

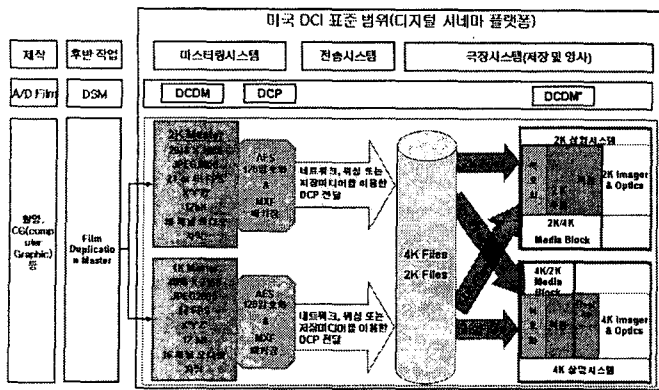


그림 1. DCI 표준과 디지털시네마 플랫폼 작업도

DSM을 DCDM(Digital Cinema Distribution Master)으로 변환하기 전에 필요한 것은 컴포지팅(Compositing)인데 여기서 말하는 컴포지팅은 영화에 트레일러, 광고, 로고 등을 삽입하거나 실제 상영을 할 때 나올 영상과 오디오를 넣어 순서대로 배열한 것이다. DSM은 영화제작자에 따라 이미지, 오디오, 서브타이틀 등의 규격(컬러공간, 해상도, 표본 주파수 등)이 제각기 다를 수 있기 때문에 디지털 시네마 시스템에서 표준화 된 교환 요소로서 DCDM을 이용한다. DCI는 DCDM 구성 요소(이미지, 오디오, 서브타이틀과 보조 데이터)의 규격을 정의하였다.

DCDM은 DCP(Digital Cinema Package)로 다시 변환을 하는데 이것이 바로 영화관에 전달되는 형태이다. 영화관에 전달되는 것은 콘텐츠가 외부로 반출됨을 뜻하기 때문에 콘텐츠를 보호하기 위한 암호화 및 패키징 과정이 필요하다. DCDM DRM(Digital Rights Management)기술을 사용하여 암호화되고 MXF(Material Exchange Format) 포맷을 이용하여 패키징 된 형태가 DCP이다. 영화관에서는 이러한 DCP를 시네마 서버에 저장하여 상영시 복호키를 받아 재생하게 된다. DCDM*은 DCP가 영화관에서 적절한 장치를 통해 암호해독 및 디코딩되어 다시 DCDM과 같은 영상과 음성 정보를 갖게 되는 것을 뜻한다. 표 3은 DCDM 생성시 필요한 DCI 표준 규격을 나타낸다.

표 3. DCI 기술표준

대상항목	세부 내용
압축방식	JPEG 2000
영상	<ul style="list-style-type: none"> ● 12bit X' Y' Z' color ● 2048 x 1080 24fps/48fps ● 4096 x 2160 24fps
사운드	<ul style="list-style-type: none"> ● 16ch max, 24bits deep, 48/96Ks/sec ● NO COMPRESSION
암호화방식	AES 128bit(콘텐츠) RSA 2048bit(키분배)
Distribution Packaging	MXF 포맷을 사용하여 암호화된 콘텐츠 전송
디지털시네마 보안	DRM, KDM, FM, logging(기록), LE/LD

2.2 전송시스템

전송시스템은 DCP 스토리지 서버에서 다수의 극장 시스템으로 DCP 콘텐츠를 배포하는 역할을 수행한다. DCI 규격에 따르면 3 시간용 고화질 DCP 용량은 415GB 이나 되므로, 극장시스템의 숫자가 적을 경우에는 중앙서버에서 point-to-point 로 접속하여 ftp 프로토콜을 사용하여 DCP 전송이 가능하나, 노드수가 많아지면 전송에 많은 시간이 소요되므로 전용선이나 VPN(Virtual Private Network)을 각 극장까지 구성하여 멀티캐스팅 프로토콜을 이용하여야 전송 시간을 줄일 수 있을 것이다.

2.3 극장시스템

미디어 블록과 디지털 영사기가 극장시스템을 구성한다.

2.3.1 미디어 블록(시네마 서버)

미디어 블록은 압축, 암호화, 패키징된 데이터를 원래의 이미지, 사운드, 서브타이틀, 보조데이터로 바꾸는 일을 담당한다. 구현 방법에 따라 미디어 블록은 디지털 영사기 내부에 구현될 수도 있는데 이 경우에는 DCP 가 디지털 영사기 내부에서 복호/복원/재생이 일어나므로 보안성이 더 강하다고 할 수 있으나, 미디어 블록의 기능 변경이 영사기까지 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다. 미디어 블록이 영사기와 분리되어 구현된 하드웨어를 시네마서버 혹은 시네서버(cine server)라고 하며 Dol by, Doremi, GDC, Kodak, Qubis 사 등의 시네서버 제품이 있다. 시네 서버는 DCP 가 복호/복원되어 스트리밍 형식으로 디지털 영사기로 Dual link HD SDI(High Definition Serial Digital Interface)의 출력단자를 통해 평문의 디시네마 콘텐츠가 흘러가므로 시네서버 출력단에서는 링크암호화(Link Encryption)를 영사기 입력단에서는 링크 복호화(Link Decryption) 프로토콜을 사용하여야 한다

2.3.2 디지털 영사기(Digital Projector)

디지털 영사기는 Xenon 램프(제논가스 속에서 일어나는 방전발광을 이용하는 램프)를 사용한다. 제논램프는 각종의 광원(光源) 중에서 자연광에 가장 가까운 빛을 낸다. 그러나 이 램프의 발열로 인하여 프로젝터를 통과하는 필름은 열화가 쉽게 되어, 스크린에 비치는 영사 품질이 떨어지게 된다. 디지털 영사기는 구현방식에 따라 DLP(Digital Light Processing) 영사기와 LCoS(Liquid-Crystal on Silicon) 영사기로 구분된다. DLP 영사기는 Text Instrument 사에서 제작한 DMD (Digital Micromirror Device)라고 하는 광반도체를 사용하여 만든 영사기로 Christie, Barco, NEC 사에서 생산하는 DLP 영사기가 있으며, 최대 해상도는 2K(2048x1080)이다. LCoS 는 패널이 편광을 선택적으로 반사하는 고정화소 비디오 소자로서 소니에서는 4,096x2,160 해상도의 4K SXRD(Silicon X-tal Reflective Display)를 발표하였다. LCOS 방식은 고휘도, 고해상도를 구현하지만, 깊은 흑

색을 재현하기 어렵다는 것이다. DLP 영사기는 밝기가 18,000~ 2000 ANSI(American National Standards Institute) Lumen (ANSI 루멘은 미국 표준 협회 IT 7.228 의 측정 방법으로 밝기에 대해 표준이 되는 측정 방법이 없기 때문에 제조업체에 따라 규격이 달라진다.)으로 LCOS의 10,000 ANSI Lumen 보다 더 밝으나, 해상도 면에서는 4K LCOS 영사기의 제품보다 뒤 떨어져 있다.

디지털 시네마 콘텐츠가 제작국가와 다른 외국에서 상영될 경우에는 현지화를 위해 자막 파일이 필요한데 이 자막도 경우에 따라서는 암호화하여 보호할 필요가 있다. 자막 보호는 TI 사의 CineLink™ security management 제품을 사용하는 데 미디어블럭 출력단에 하드웨어 filter 를 통해 scrambling 을 하고 영사기의 입력단에서 descrambling 작업이 일어난다.

III. 디지털시네마 보안

디지털 시네마 플랫폼은 생성, 분배, 재생 전반에 걸쳐 콘텐츠를 보호해야 한다. 디지털시네마 콘텐츠 보호에는 DRM, PKI(Public Key Infrastructure), FM(Forensic Marking), Logging(기록), KDM(Key Delivery Message), VPN 등의 다양한 방법이 디지털 시네마 플랫폼의 모든 구성요소에서 사용되고 있다. 그림 3에서는 디지털 시네마 구성요소를 나타낸 플랫폼과 다양한 보안 조치들을 보여준다

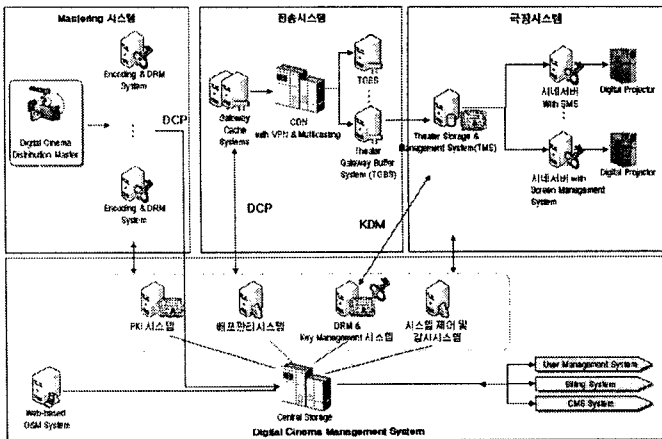


그림 3. 디지털시네마 플랫폼과 보안요소

3.1 DRM 및 키 관리 시스템

DRM(Digital Rights Management: 디지털 저작권 관리) 시스템은 정당한 권리를 획득한 시네서버에서만 재생이 가능하도록 콘텐츠를 암호화하고 전송하며 콘텐츠를 재생하기 위해 필요한 키와 권리 메타데이터를 안전하게 전달하기 위한 매커니즘을 제공한다. 세부 시스템으로는 DRM 패키지(마스터링시스템의 (Encoding & DRM 시스템), 라이선스서버(시네마 관리시스템의 DRM 시스템), DRM Agent(극장시스템의 시네서버에 포팅)로 구성된다.

DRM 패키지(Packager)는 원본 디지털 시네마 콘텐츠(압축을 완료한 DCDM)를 입력으로 받아들여 암호화 속도가 빠른 128bit CBC(Cipher Block Chaining)모드의AES(Advanced Encryption Standard) 대칭키 암호화 알고리즘을 이용하여 암호화된

DRM 콘텐츠(DCP)를 출력하게 된다. 패키지를 통해 나온 DCP는 전송시스템(CDN: Content Delivery Network)을 통해 극장시스템의 극장 스토리지 시스템에 전송된다. 극장 스토리지 시스템에 저장된 DCP는 상영 일정에 맞추어 각 상영관에 설치된 시네서버로 전송한다. 시네서버의 DRM Agent는 DRM 라이선스 서버가 발급한 KDM(Key Delivery Message)를 이용하여 시네마 콘텐츠를 상영하게 한다. KDM에는 콘텐츠 소유자가 허용한 사용 권한 (극장명, 시네서버 고유 ID, 상영기간 등)과 복호화키가 담겨있다. DRM 및 키관리시스템은 라이선스의 발행과 관리, 시네서버로 라이선스 KDM을 전달하는 업무를 담당한다.

3.2 PKI 시스템

디지털시네마시스템은 인증된 객체에게만 영화상영에 관련된 정보를 제공하기 위해 PKI 시스템을 사용한다. 여기에서 객체란 극장시스템에 설치된 극장관리시스템, 시네서버, 디지털영사기(미디어블럭이 포함된 일체형일 경우) 등이 될 수 있다. 안전한 극장상영을 위해서는 DRM 시스템이 생성한 암호화된 콘텐츠와 그 암호화키 및 권리메타데이터가 의도된 객체 이외에서는 해석되지 못하도록 암호화된 형태로 제공되어야 하며 극장에서 생성된 각종 로그정보들은 악의적인 목적으로 변경되지 않아야 한다. PKI는 이러한 디지털시네마의 데이터 무결성, 기밀성 및 부인방지 요구사항을 충족시키기 위해 사용된다. 극장시스템의 각 객체들은 디지털시네마 중앙관리서버에서 발급한 인증서와 해당 개인키를 설치하고 있으며 개인키는 임의의 사용자에게 노출되지 못하도록 하드웨어적으로 안전한 secure silicon에 저장된다.

중앙관리서버(PKI 시스템 및 DRM&KM 시스템)는 시네서버의 공개키로 KDM이나 기타 중요 메시지를 암호화한 후 자신의 개인키로 전자서명을 하여 시네서버에 전달한다. 중앙관리서버에서 메시지를 전달받은 시네서버는 전자서명 검증과정을 통해 중앙관리서버에서 발급한 메시지임을 확인하고 secure silicon에 저장되어 있는 자신의 개인키를 이용해 메시지를 복호화한다. 그리고 디지털시네마 시스템은 배급사에 보고할 극장상영에 관련 로그를 의무적으로 생성하도록 되어 있는데 여기에도 데이터의 무결성과 부인방지를 위해 시네서버의 전자서명이 사용된다. 또한 극장시스템 장비간의 중요데이터 통신을 위한 공개키기반 TLS (Transport Layer Security)에 인증서가 사용된다.

3.3 FM(Forensic Marking)과 로깅(Logging)

DCP 콘텐츠는 시네서버에서 재생되는 시점에 평문 (clear text)의 콘텐츠로 해킹에 무방비 상태로 되는 순간이 발생한다. 이러한 결점을 보완하기 위해서 FM 기술을 사용한다. FM은 상영극장 장소와 상영시간등을 시네서버가 재생하는 콘텐츠에 실시간으로 워터마크 (watermark) 기술들을 이용하여 추가하고, FM이 삽입된 콘텐츠가 불법 유통될 경우에는 식별정보를 추출해서 어느 극장의 시네서버에서 언제 재생된 콘텐츠가 유출

되었는가를 밝혀내는 기술이다. DCI에서는 FM과 더불어 시네 서버에서의 각종 재생 및 키 사용 관련 활동을 기록하도록 의무화하고 있다.

V. 결론

디지털 시네마는 현재 디지털 카메라의 기술적 제약으로 디지털 필름(메모리) 보다는 재래의 필름을 많이 사용하고, 해킹의 우려로 인한 인터넷(혹은 위성) 망 보다는 하드디스크를 이용한 전송으로 구현 운영되고 있다. 본 논문에서는 DRM 기술, FM, PKI 시스템, 로깅 등의 보안 솔루션을 적절히 사용한다면, 촬영부문을 제외한 마스터링, 전송, 상영의 모든 부문이 완전 디지털화 되어 사용할 수 있는 디지털 시네마 플랫폼에 대해 알아보았다.

HD 디지털 카메라의 기술적 발전과 4K 해상도 디지털 영사기의 성능(밝기, contrast 비율)이 향상되고, 가격도 재래 필름영사기와 경쟁력이 있게 된다면 디지털 시네마 보급이 더욱 가속화 되리라 생각된다.

참고문헌

- [1] LLC member representative committee, "Digital Cinema System specification v1.0", July 20, 2005
- [2] 찰스 S. 스와츠, "디지털시네마의 이해", 책과길 미디어
- [3] 권은경, 가치사슬에 따른 디지털 영화산업의 분석, 정보통신정책 제17권21호 24-50
- [4] EDCF, "DIGITAL CINEMA - The EDCF Guide for Early Adopters", June 2005
- [5] " 디지털 영화의 주요한 컨셉 " , 기술정보, <http://bp.sony.co.kr/>



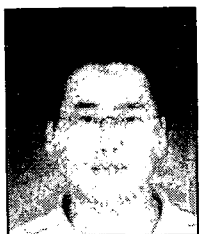
김진한

1986년 고려대학교 전자공학과 졸업
1988년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
1992년 한국과학기술원 전기및전자공(공학박사)
1992년~현재 KT BcN본부 수석연구원, 관심분야는 DRM, IPTV, On-Demand 서비스, 디지털컨텐츠, WiBro 등임



김종안

1984년 고려대학교 전기공학과 졸업.
1988년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1988년~현재 KT 미래기술연구소 수석연구원, 관심분야는 DRM, CAS, 디지털시네마 등임



김종호

1999년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업
2001년 포항공과대학교 전기전자공학과(공학석사)
2004년~현재 KT BcN본부 전임연구원, 관심분야는 DRM, CAS, 암호화 알고리즘 등임.

김 등임.