

금강 중류 하상 퇴적층의 기원과 형성시기 및 퇴적율

오근창 · 김주용* · 양동윤 · 홍세선 · 이진영 · 임재수

한국지질자원연구원 지표환경변화연구실

Origin, Age and Sedimentation Rate of Mid-Geum River Sediments

Keun-Chang Oh, Ju-Yong Kim*, Dong-Yoon Yang, Sei-Sun Hong, Jin-Young Lee and Jaesoo Lim

Dept. of Surficial Environment and Global Change Department, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Fluvial sediments are widely distributed in present and old river-beds of the mid-Keum River, the tributaries of which are the Yugu and Jeongan Rivers. The basement of the mid-Keum River area consists of Mesozoic granites which are easily eroded compared to Precambrian gneisses, which are exposed in the upper-Keum River area. The provenance of the fluvial sediments includes both the Precambrian gneisses and Mesozoic granites, which occur in the catchment of the mid-Keum River. The coarse-grained sediments were probably transported from the river-beds and the overbank floodings of the main Keum River and its tributaries when the climate was warm and wet. The oldest mud deposits were dated at ca. 9,400 yr BP by the radiocarbon method. It has been estimated that the sand deposits below the dated muds were formed in a period from the Late Pleistocene to the Early Holocene. However we have revealed that the major part of the present river-bed sediments was formed at ca. 3,000-6,000 yr BP, i.e., in the mid- to late Holocene, when summer monsoon was very strong due to climatic changes. We have calculated fluvial sedimentation rates of 0.12-0.16 cm/yr and 0.02-0.09 cm/yr for borehole KJ-29 river-bed sediments and borehole KJ-28 floodplain deposits, respectively. We conclude that the sedimentation rate is higher near the present stream channel than near the floodplain.

Key words : fluvial sedimentation, river-bed, flooding, summer monsoon, sedimentation rate

금강의 지류인 유구천과 정안천은 공주시 일대에서 금강 본류에 합류하는데 금강 중류는 현하상과 구하상에 모래를 많이 포함하는 하천 퇴적물이 널리 분포하고 있다. 금강 중류유역에서는 풍화에 상대적으로 약한 중생대의 화강암이 주요한 기반암이지만 금강 상류로 갈수록 풍화에 강한 선캠브리아기의 편마암이 기반암을 형성한다. 하천퇴적물의 주요 기원암은 연구지역 일대의 유구천과 정안천 하류를 포함하는 금강 중류수계 주변에 분포하는 선캠브리아기의 편마암과 중생대의 화강암이며, 석영과 장석이 우세한 특징을 보인다. 금강중류에 분포하는 조립질 퇴적물은 기후가 온난 다습해지는 기후조건하에서 강우량 증가에 따라 하상을 따라 운반된 퇴적물과 금강 본류와 지류들의 합류부 주변에서 조성된 범람환경하에서 형성되었다. ^{14}C 연대분석을 통하여 금강중류 유역의 가장 오래된 니질퇴적층의 연대가 약 9,430 yr BP임을 확인하였으며, 이에 따라 더 하부에 분포하는 사질퇴적층은 플라이스토세말에서 홀로세 초기에 퇴적된 것으로 판단된다. 그러나 대부분 현하상에 분포하는 퇴적층은 3,000-6,000 yr BP로 나타나며, 이는 그 형성시기가 홀로세 중기와 그 이후로서 기후변화로 인해 여름몬순(summer monsoon)이 강하게 작용했던 시기이다. 금강 중류의 하상과 범람원 퇴적층의 퇴적율을 보면, 하상사질층은 KJ-29 시추공에서 0.12 cm/yr-0.16 cm/yr, KJ-28 시추공의 범람원 퇴적층은 0.02 cm/yr-0.09 cm/yr로 각각 산정되었으며, 범람원보다 현하상에 가까울수록 퇴적율이 높게 나타났다.

주요어 : 하천퇴적, 하상, 범람, 여름몬순, 퇴적율

*Corresponding author: ksj@kigam.re.kr

1. 서 론

남한의 주요 하천 유역에서는 하부로 갈수록 모래성분을 포함하는 하상퇴적물이 많이 분포하며, 보통 하천은 하류로 갈수록 니질과 세립질 모래성분이 우세한 반면, 하천의 상류에서는 사력층과 조립질 모래성분이 우세한 하천 퇴적물이 많이 분포한다. 이러한 하상 퇴적층은 하천세굴재 자원 획득을 위하여 하상 준설이나 제방보수 등을 통하여 관찰되어 지며, 이러한 하천퇴적층의 정보화를 위하여 하천을 대상으로 하는 골재자원조사가 진행되어 오고 있다(한국지질자원연구원, 2007, 2008, 2009; Oh *et al.*, 2008). 본 연구는 모래자원의 조사를 포함하는 하천 퇴적물의 형성시기 확인하기 위하여 추가로 수행된 연구이다. 전 세계적으로 하천퇴적층, 특히 신생대와 제4기 하상퇴적층에 대한 연구는 IGCP 449 와 IGCP 518 연구결과로 널리 발표되어 있다 (Vital and Stattegger, 2000; Srivastava *et al.*, 2003; Knox, 2006; Li *et al.*, 2006; Srivastava *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2007; Lair *et al.*, 2009; Hanson *et al.*, 2009; Zong *et al.*, 2009).

한국의 하천 퇴적환경에 관련된 논문은 최근에 발간되고 있으며(Yum *et al.*, 2004; Ryu *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2008), 하상에 분포하는 모래를 대상으로 하는 연구는 거의 없으며, 이들의 퇴적율이나 형성시기를 다룬 논문도 드문 실정이다 (Nahm *et al.*, 2008; Yi *et al.*, 2008). 선행연구들은 한국을 포함하여 전 세계에 분포하는 하천퇴적층이 형성된 시기는 주로 늦은 플라이스토세부터 홀로세 동안에 걸쳐 형성된 것으로 보고하고 있으며, 한국의 하천퇴적물의 퇴적시기도 이와 유사할 것으로 추정된다(Kim, 2001). 한국에서도 주요 수계 주변에 분포하는 하상 퇴적층의 형성시기에 대한 연구결과는 빈약하나 최근에 몇몇 연구결과가 발표된 바 있다. Nahm *et al.*(2008)은 영산강 하구의 퇴적층이 약 3만년 전인 플라이스토세말기에 퇴적된 것으로 연구하였다. 또한 Yi *et al.*(2008)은 한강의 지류하천인 청계천의 화분분석구간의 퇴적층이 약 5,720 yr BP인 홀로세 중기 이후에 형성된 것으로 발표하였다.

본 연구는 공주 일원의 금강 중류 수계 중, 유구천과 정안천이 합류하는 구간의 현재 하상과 구하상에 대한 시추코어자료를 근거로 하여 하상퇴적물의 기원과 형성시기 및 퇴적율을 산정하는데 목적이 있다. 본 연구를 위하여 현하상과 구하상 시추공 코어를 기재하고, 지화학분석 및 탄소연대측정을 실시하였다.

2. 연구지역 개관

금강은 총 401 km의 유로를 갖는 한국에서 3번째로 긴 강으로서 남서방향에서 공주시를 지나 황해도 흘러든다. 금강유역의 상류수계는 곡류하천이 발달하지만 중류 및 하류 수계에는 넓은 범람원과 낮은 하천 바닥을 이루며 황해도 흘러든다. 연구지역은 행정구역상으로는 공주시에 속하며, 유구천과 정안천이 합류하는 금강의 중류수계에 위치한다(Fig. 1). 유구천과 정안천을 포함하는 금강 중류유역의 지표에는 주변 산지의 침식에 의하여 운반된 산사면의 퇴적물과 더불어 하천의 범람에 의하여 홀로세 동안에 퇴적된 층층층이 우세하게 분포한다. 다른 지역 하천의 상류 및 중류지역의 하천퇴적층처럼 한국의 금강중류유역의 하천퇴적층도 늦은 플라이스토세부터 홀로세 동안에 퇴적된 것으로 판단된다. 특히 금강중류수계에 분포하는 조립질의 퇴적물은 기후가 온난 다습해지면서 강우량이 증가함에 따라 주변의 계곡에서 운반된 조립질의 퇴적물이 주로 하천 유로의 기저면을 채우면서 형성되었을 것으로 판단된다. 금강유역 상류의 기반암은 풍화에 강한 선캄브리아기의 편마암으로 구성된 반면 연구지역을 포함한 금강유역 중류와 하류유역에는 풍화에 약한 중생대 화강암 및 백악기의 퇴적암이 주로 분포한다. 따라서 선캄브리아기의 편마암과 중생대 화강암은 연구지역에서 가장 우세한 기반암을 형성하며, 하천 퇴적물의 중요한 공급원이 된다. 유구천과 정안천을 포함하는 금강중류의 범람원 및 하상퇴적물을 무수유압식 로터리시추방식으로 채취하였으며, 시추 위치, 깊이, 그리고 다른 시추 정보들은 Table 1에 제시되었다.

3. 시료채취 및 분석방법

유구천과 정안천을 포함하는 금강유역 중류수계에 분포하는 모래가 많이 포함된 퇴적물의 퇴적환경 및 연대를 연구하기 위하여 2007년에 시추한 7개 시추코어를 선정하였다(한국지질자원연구원, 2007). 7개의 시추코어에 포함된 모래크기의 퇴적물에 대한 입도분석 및 XRF분석을 통하여 퇴적물의 동질성 및 기원을 확인하였으며, 이들 7개의 코어에 포함된 17개의 유기물 질에 대하여 AMS ^{14}C 연대분석을 실시하여 보정된 2s-range로부터 더욱 안정된 퇴적연대를 계산하였다.

3.1. 시료채취 및 코아획득 방법

구하상과 현재하천을 대상으로 하는 사력층과 사질

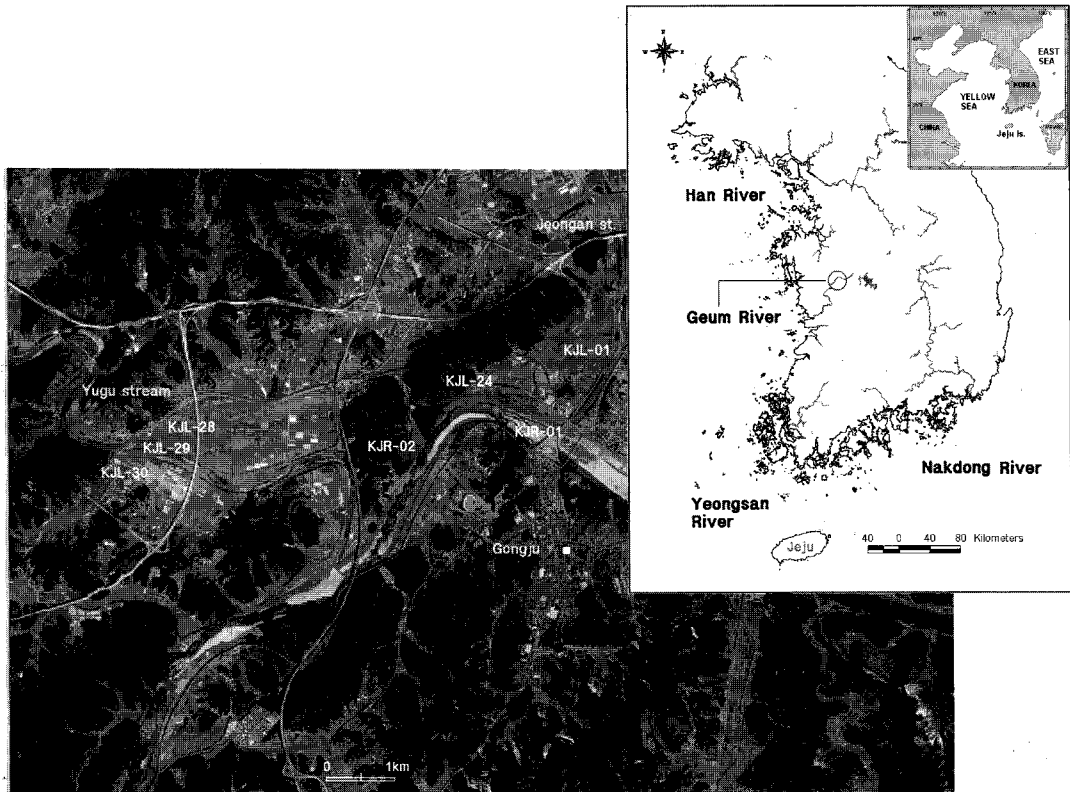


Fig. 1. Location of study area and core-sampling sites.

층 및 니질층을 대상으로 하는 시추를 위하여 시료 회수율이 양호한 방법으로 시추하였다. 실제 시추를 위하여 NX 직경의 시료회수가 가능한 케이싱을 삽입한 후, 무수유압식 방식으로 기반암 풍화대에 이르기 까지 굴진하였다. 시추위치는 유구천과 정안천 합수부의 하상에 대하여 총 7공을 시추하였다(Table 1). 시추는 현하상에 대하여 2개공(KJR-01, KJR-02), 구하상이나 범람원에 5개공(KJL-01, KJL-24, KJL-28, KJL-29, KJL-30)을 각각 시추하였으며, 하천 합류부의 배후습

지가 조성되는 위치를 유의하여 시추하였다.

3.2. 화학분석 방법

지화학 분석으로서 주성분원소를 분석하였으며, 이들은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, MnO, P₂O₅와 LOI를 포함한 총 11개 성분이다. 주성분 분석을 위하여 X선 형광분석기(XRF, X-ray fluorescence spectrometer, Shimadzu MXF-2100)를 이용하였다. 도가니는 25 ml의 백금도가니(5:95 Au-Pt

Table 1. Descriptions of core samples

Borehole	Location (latitude, longitude)	Elevation (m)	Depth of bedrock (m)	Topography	Bedrock
KJR-01	N 36°28'13", E 127°07'12"	7.69	11.0	Recent riverbed	kk1
KJR-02	N 36°27'57", E 127°06'11"	7.49	11.0	Recent riverbed	kk1
KJL-01	N 36°28'34", E 127°07'43"	12.51	8.9	floodplain	kk1
KJL-24	N 36°28'29", E 127°06'56"	8.61	13.3	floodplain (Old riverbed)	kk1
KJL-28	N 36°28'06", E 127°04'15"	12.67	9.5	floodplain	Jgr
KJL-29	N 36°27'50", E 127°04'03"	13.71	7.8	floodplain	Jgr
KJL-30	N 36°27'37", E 127°03'46"	14.72	8.0	floodplain	Jgr

kk1: Lower Kongju group of Cretaceous (Sedimentary rock)
 Jgr: Granite of Jurassic (Igneous rock)

합금)를 이용하였으며, 유리구슬 시편(glass bead)은 직경이 30 mm, 두께가 3 mm이다. 유리구슬 시편은 표준 시료, 분석시료, 용제를 dry oven에서 105°C로 24시간 건조하고, 데시케이터에서 30분 정도 냉각한 후, 시료 1.8 g과 혼합용제 3.6 g을 혼합하여 만들었으며, 혼합용제는 lithium tetraborate($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)와 lithium metaborate (LiBO_2)를 4:1의 비율로 섞어 제작하였다.

3.3. 탄소 연대분석 방법

퇴적물내의 유기물질과 목재 연대를 알기 위하여 가속질량분석기(Accelerator Mass Spectrometer, AMS)를 이용한 ^{14}C 연대측정을 실시하였다. AMS ^{14}C 연대 측정 방법은 Cs 이온빔으로 graphite로 바꾸어진 탄소 시료를 조사하여 탄소를 음이온 상태로 만들고, 이를 가속하여 ^{14}C , ^{13}C , ^{12}C 원자의 수를 직접 측정하는 방법이다. 연대측정을 위한 시료는 주로 식물 파편과 유기질 퇴적물 등이며, 연대 측정 장비는 한국지질자원 연구원에서 보유하는 HVEE 4110Be-AMS-3(Tandem, TV=1MV, Netherlands)를 이용하였다.

4. 결과 및 해석

4.1. 층서 및 퇴적 특성

유구천과 정안천을 포함하는 금강 중류유역의 하상과 현생 범람원의 퇴적층에서는 전반적으로 모래를 많이 포함하는 퇴적물이 기반암 풍화대 상부에 주로 분포하며, 토층 상부로 갈수록 실트/점토 성분이 우세한 토층을 형성한다. 반면, 현하상 퇴적층에서는 모래성분이 우세한 조립질의 퇴적물과 점토/실트성분으로 구성된 세립질의 퇴적층이 교호하는 분포특징을 나타낸다. 시추코어의 주상도별로 하상퇴적층과 범람원 퇴적층의 퇴적상을 4.1.1과 4.1.2와 같이 기재하였다.

4.1.1. 현하상 퇴적층(KJR-01, KJR-02)과 구하상 퇴적층(KJL-24)

KJR-01, KJR-02, 그리고 KJL-24 core는 세립질의 퇴적물과 조립질의 퇴적물이 호층을 이루며, 해발고도가 높아질수록 점차 세립질의 비율이 높은 퇴적상을 보여준다. 이들 시추공의 기반암풍화대 상부에 분포하는 Charcoal의 탄소연대 측정을 통하여 금강중류에 합류하는 유구천의 형성시기를 확인하였다. 시추코어 중에서 현재는 범람원에 해당하지만 퇴적의 초기단계에는 하상에 위치하였던 KJL-24 core에서는 주변의 금강 본류 및 지류 하천에 비하여 상대적으로 두꺼운 13.3m의 층적

층을 형성하는데, 이는 금강 본류에 의한 하방침식의 영향으로 깊은 골짜기를 이룬 지형을 따라 하천의 범람에 의한 퇴적물이 운반되어 퇴적된 결과로 해석된다.

4.1.2. 범람원 퇴적층(KJL-01, KJL-28, KJL-29, KJL-30)

KJL-01, KJL-28, KJL-29, 그리고 KJL-30 등의 core 퇴적물은 유구천과 정안천의 수계주변에서 전형적으로 범람원 퇴적층의 산상을 보여준다. 이들 core들은 토층의 상부로 갈수록 세립질의 퇴적물 비율이 증가하는데, 이들은 구릉완사면 말단부와 하천사이에 분포하는 범람원에서의 퇴적상으로 해석된다. 세립질 퇴적물은 공통적으로 10 m이하의 두께를 갖는다.

4.2. 모래퇴적물의 입도 및 화학성분

모래를 많이 포함하는 하천퇴적물의 입도분포를 백분율로 계산하여 누적분포그래프를 작성하였다. 누적분포그래프에 의하면 이들의 입도특성은 하상에 퇴적된 모래퇴적물과 범람원에 퇴적된 모래퇴적물의 입도특성이 거의 유사한 입도특성을 갖는 결과를 보여준다(Fig. 2). 몇 가지 주성분원소 성분을 이용하여 Kroonenberg (1990)에 의해 제안된 SAM(silica-alkali-mafic) 다이어그램을 작성하였다. SAM(silica-alkali-mafic) 다이어그램은 기원암의 조성 및 차이를 이용하여 퇴적물의 동일기원을 확인하기 위해 이용된다. 대부분의 금강유역 하천퇴적물은 제4기 동안에 기저로부터 들어 올려지고 해체된 화강암의 성분을 나타내는 D & E-type 범주에 일치하는 결과를 나타낸다(Fig. 3). SAM(silica-alkali-mafic) 다이어그램에 의하면 연구지역 일대의 모래들이 금강유역 일대의 주요한 기반암을 이루는 주라기 화강암과 선캠브리아기의 편마암으로부터 기원한 것으로 확신하게 되었다. Fig. 2와 Fig. 3의 분석결과에 의하면, 금강 중류수계의 하천퇴적물은 대부분이 동일한 기원을 가지며, 이들의 퇴적환경은 비교적 단순한 것으로 확인되었다.

4.3. AMS ^{14}C 연대

17개의 시료가 추출되어 AMS ^{14}C 연대자료가 계산되었으며, 모래/자갈 퇴적물의 퇴적연대는 분석연대와 심도의 관계로부터 추정하였다(Table 2, Fig. 4).

4.3.1. 층적 퇴적층의 형성시기

유구천과 정안천을 포함하는 금강 중류유역의 범람원 퇴적층에 포함된 탄화물 및 유기물에 대한 AMS ^{14}C dates는 최근(Modern)-9,430 yr BP의 범위를

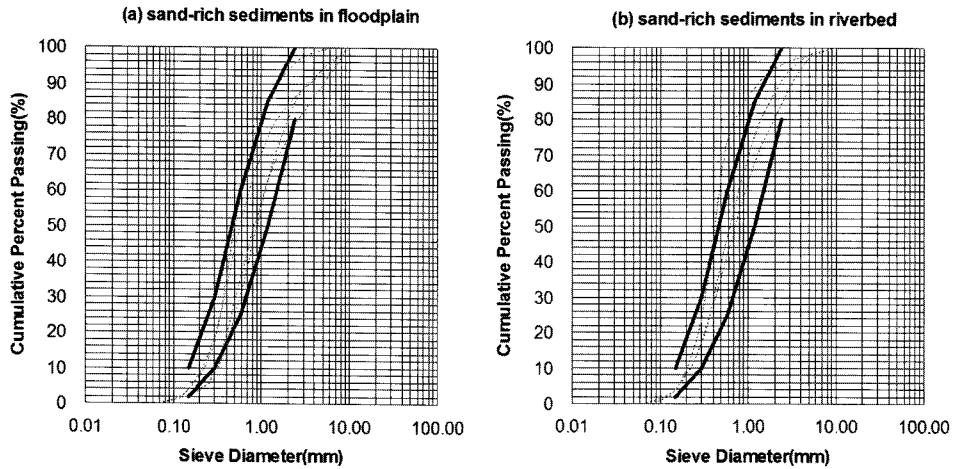


Fig. 2. Grain size analysis for the sand-rich sediments.

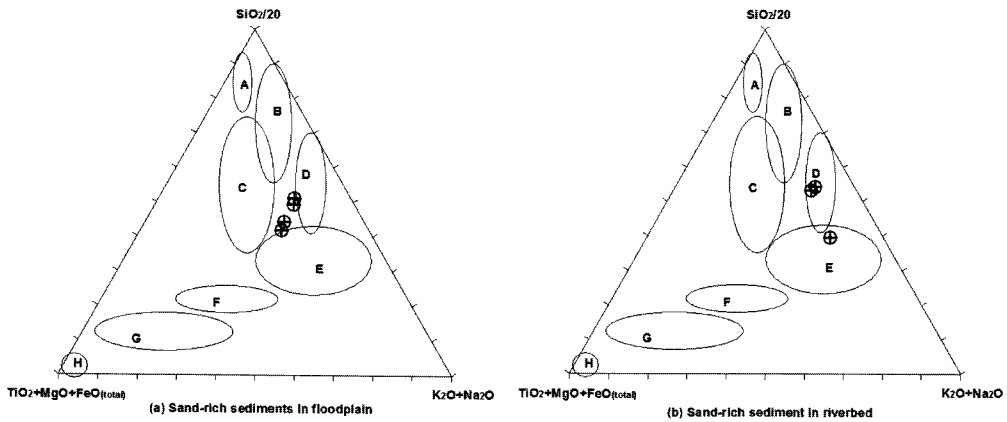


Fig. 3. Ternary plots of $SiO_2/20$, Na_2O+K_2O and $TiO_2+MgO+FeO_{(total)}$ (wt%) for the sand-rich sediments of this study (\oplus), modified by Kroonenberg (1990). A: Tertiary quartz sands (Amazonian provenance). B: Pleistocene Meuse+Rhine sands, North Limburg, the Netherlands. C: Pleistocene Meuse sands, South Limburg, the Netherlands. D: Plio-Pleistocene quartzofeldspathic Allier sands, France. E: Pleistocene-Holocene basement-rich, basalt-poor Allier sands, France. F: Pleistocene alkalibasalt-rich, basement-poor sands, Allier River, France. G: Holocene andesitic sands, Atlantic Zone rivers, Costa Rica. H: Placers, Costa Rica Atlantic beach and Caqueta river, Colombian Amazonas (almost purely ferromagnesian sands).

나타낸다. ^{14}C 연대분석을 통하여 금강중류유역의 KJL-28 core의 실트/점토층이 가장 오래된 시기, 즉 약 9,430 yr BP에 형성된 것으로 확인되었다. 따라서 이보다 먼저 퇴적된 하부의 모래/자갈층은 late(후기) Pleistocene부터 early(초기) Holocene에 이르는 기간 동안에 퇴적되었을 것으로 판단된다. 그러나 KJL-28 core 지점을 제외한 대부분의 조사지점의 하천퇴적물이 퇴적된 시기는 최근(Modern) - 6,320 yr BP로서 현재의 기후조건과 큰 차이가 없는 Asian Monsoon Optimum의 시기(Colls *et al.*, 2001; Brooks, 2002 Pratt-Sitaula *et al.*, 2004; Williams *et al.*, 2006; Huang *et al.*,

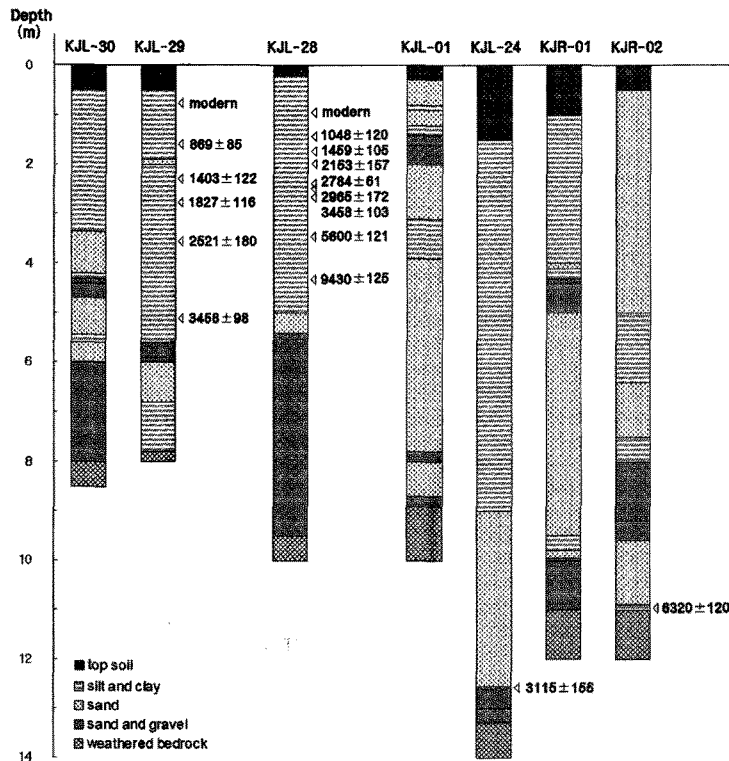
2007), 즉 mid-Holocene의 시기 동안에 퇴적된 결과를 나타내었으며, Yi *et al.*(2008)이 조사한 한강의 청계천 일대의 범람원 퇴적층 중 화분분석구간의 형성시기인 5,720 yr BP와도 거의 일치하는 결과이다.

4.3.2. 퇴적율 산정

KJ-28 및 KJ-29 시추공의 구간시료의 ^{14}C 연대를 이용하여 퇴적율을 산정하였다. 하천제방에 인접한 KJ-29 시추공에서의 퇴적율은 0.12 cm/yr - 0.16 cm/yr인 반면 상대적으로 제방에서 먼 거리에 위치한 KJ-28 시추공에서의 퇴적율은 0.03 cm/yr - 0.09 cm/yr로 나타

Table 2. Results of AMS ^{14}C dating and calibrated dates for 4 selected cores

Lab. code	Uncal. yr BP ($\pm\sigma$ 1 σ)	$\delta^{13}\text{C}$ of sample	Cal. yr BP ($\pm 2\sigma$)	Depth of samples (cm)	Dated materials
IWd080003	5520 \pm 60	-26.59 \pm 0.7	6320 \pm 120	1100cm of KJR-02	Charcoal
IWd080001	2960 \pm 50	-28.6 \pm 0.5	3115 \pm 155	1255cm of KJL-24	Charcoal
ISa080003	modern	-27.2 \pm 0.7	modern	81cm of KJL-29	Organic matter
ISa080004	960 \pm 40	-23.9 \pm 0.7	869 \pm 85	158cm of KJL-29	Organic matter
ISa080061	1470 \pm 50	-21.3 \pm 0.4	1403 \pm 122	230cm of KJL-29	Organic matter
ISa080062	1890 \pm 50	-21.6 \pm 0.5	1827 \pm 116	281cm of KJL-29	Organic matter
ISa080063	2400 \pm 50	-21.3 \pm 0.4	2521 \pm 180	363cm of KJL-29	Organic matter
ISa080008	3210 \pm 40	-22.7 \pm 0.1	3458 \pm 98	510cm of KJL-29	Organic matter
ISa080001	modern	-20.5 \pm 0.7	modern	100cm of KJL-28	Organic matter
ISa080064	1100 \pm 50	-24.3 \pm 0.5	1048 \pm 120	142cm of KJL-28	Organic matter
ISa080066	1580 \pm 50	-22.7 \pm 0.4	1459 \pm 105	179cm of KJL-28	Organic matter
ISa080065	2140 \pm 50	-22.5 \pm 0.4	2153 \pm 157	200cm of KJL-28	Organic matter
ISa080067	2640 \pm 40	-21.8 \pm 0.7	2784 \pm 61	240cm of KJL-28	Organic matter
ISa080002	2830 \pm 50	-23.6 \pm 0.4	2965 \pm 172	251cm of KJL-28	Organic matter
ISa080068	3210 \pm 50	-26.8 \pm 0.9	3458 \pm 103	272cm of KJL-28	Organic matter
ISa080069	4870 \pm 50	-24.4 \pm 0.3	5600 \pm 121	353cm of KJL-28	Organic matter
ISa080145	8480 \pm 70	-21.9 \pm 0.3	9430 \pm 125	428cm of KJL-28	Organic matter

**Fig. 4.** Core-logging results. Numbers shown beside KJL-28 and KJL-29 represent radiocarbon dates.

나 하천에서 가까울수록 상대적으로 퇴적율이 높은 결과를 보여준다. 하천에 인접한 KJ-29 시추공은 퇴적의 초기단계(2.52 ka - 3.46 ka)에 0.16 cm/yr로 가장 높은 퇴적율을 나타내지만 1.40 ka - 2.52 ka기간에는 퇴적

률이 0.12 cm/yr로 감소하는 결과를 나타낸다. 그러나 0.87 ka - 1.40 ka기간에는 퇴적률이 0.13cm/yr로 다소 증가하는 결과를 나타낸다. 하천에서 먼 거리에 위치한 KJ-28 시추공은 퇴적의 초기단계(5.60 ka - 2.97 ka)에

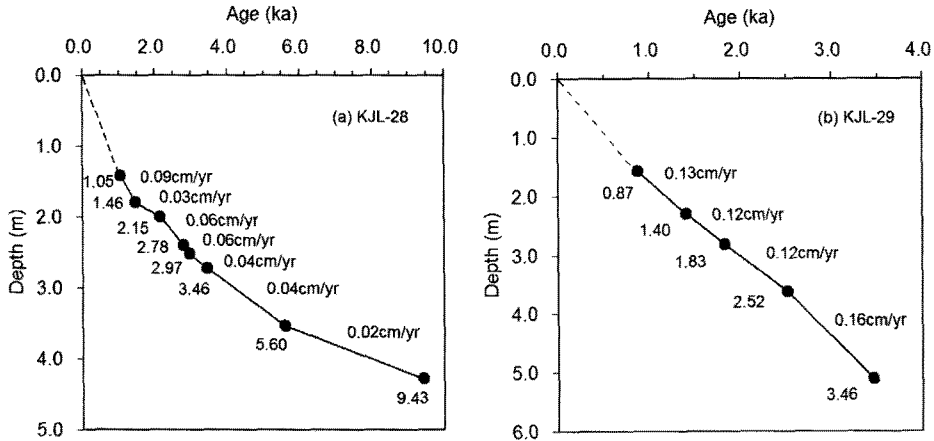


Fig. 5. Age-depth relation and calculated sedimentation rates.

0.04 cm/yr로 낮은 퇴적률을 나타내며 2.15 ka-2.78 ka 기간에는 0.06 cm/yr로 퇴적률이 다소 증가하는 결과를 보이다가 1.46 ka-2.15 ka기간에는 퇴적률이 0.03 cm/yr로 급감하는 결과를 나타낸다. KJ-29 시추core와 마찬가지로 1.05 ka - 1.46 ka기간의 퇴적률은 0.09 cm/yr로 급증하는 결과를 나타낸다(Fig. 5).

5. 종합 논의

5.1. 유구천과 정안천이 합류하는 금강 중류의 퇴적 기원암

금강의 상류수계에는 풍화에 강한 선캠브리아기의 편마암이 기반암을 형성하지만 금강의 중류 및 하류유역에는 풍화에 약한 중생대 화강암이 주로 분포하고 있다. 유라기의 흑운모화강암과 백악기의 퇴적암류는 연구지역을 중심으로 비교적 가까운 지역에서 분포하는 반면 선캠브리아기의 편마암은 상대적으로 먼 거리에 분포하는 지질적인 특징으로 구분된다. SAM(silica-alkali-mafic) diagram을 통하여 금강중류수계유역에 분포하는 모래퇴적물의 동질성을 조사한 결과, 이들 퇴적물의 대부분은 비교적 유사하고 단순한 퇴적환경을 나타내는 결과를 확인하였다. 분석에 의하면 이들 하천퇴적물은 D & E-type에 분포하며, 이러한 결과는 이 일대에 분포하는 유라기의 흑운모화강암과 비교적 먼 거리에 분포하는 선캠브리아기의 편마암 등의 단순한 기반암의 종류에 기인하는 결과이다.

5.2. 퇴적층 형성시기 논의

유구천과 정안천이 합류하는 금강중류수계에서 수습된 17개의 목탄 및 유기물 포함 점토시료를 이용하여

AMS ¹⁴C 연대를 측정 한 결과, 최근(Modern)부터 9,430 yr BP까지의 기간 동안에 퇴적이 이루어진 것으로 분석되었다. 따라서 금강중류유역의 퇴적층의 형성 시기는 강의 유량이 증가하고 홀로세 최적의 기후(Holocene Climatic Optimum)를 거쳐서 현재의 시기에 이르는 기간을 포함하며(Colls *et al.*, 2001; Brooks, 2002; Pratt-Sitaula *et al.*, 2004; Williams *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2007), 특히, 한강의 지류하천인 청계천의 pollen zone의 퇴적시기와도 거의 일치하고 있다(Yi *et al.*, 2008).

Namibia의 해양 시추코어연구(Gingele, 1996)에 의하면, 22,000 cal yr BP부터 18,000 cal yr BP사이에 건조한 기후였지만 18,000 cal yr BP부터 12,000 cal yr BP사이에는 강한 몬순기후의 영향으로 수분과 강의 범람이 증가하는 시기였음을 입증한다. 또한, 강의 유량이 증가하는 두 번째의 시기가 11,000 cal yr BP부터 6,000 cal yr BP사이에 발생하였으며, 7,000 cal yr BP부터 6,000 cal yr BP사이에는 Holocene climatic optimum과 상응하는 최고의 습도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 현재의 기후조건은 약 5,000 cal yr BP에 도달한 것으로 보고하고 있다.

한편, Eitel 등(2006)은 최종빙기최성기(LGM)동안에 Namibia 북서지역의 Hoanib River 상류의 집수지역에서는 건조한 기후의 영향으로 하천의 작용 및 퇴적이 거의 중단되었으며, 1만 2천년 전의 시기와 Mid-Holocene의 사이에 발생한 최고의 강우 및 범람은 대량퇴적을 일으켜 강바닥의 상승(aggradation)을 가져왔다고 보고하였다. 중부Himalaya, Nepal의 Marsyandi River의 단구 퇴적물에 대한 ¹⁴C 연대, ¹⁰Be 및 ²⁶Al exposure 연대를 통하여 강한 남아시아 몬순기인 9-6

ky BP의 퇴적시기를 규명한 바 있으며(Pratt-Sitaula *et al.*, 2004), Canada의 Red River에서는 적어도 Mid-Holocene의 시기에 퇴적된 범람원 퇴적물임을 입증하는 3,760 cal BP부터 6710 cal BP까지의 연대가 연구된 바 있다(Brooks *et al.*, 2002).

본 연구결과 KJL-28 core의 심도 428 cm부근의 실트/점토 퇴적물에서 9430 yr BP의 연대가 분석된 결과를 고려한다면, KJL-28 core의 심도 500 cm - 950 cm 구간의 모래/사갈층은 9430 yr BP보다 훨씬 더 오래 전에 퇴적된 것으로 판단된다. 앞서의 많은 논문에서 하천 퇴적물이 주로 late Pleistocene부터 mid-Holocene까지의 기간에 퇴적된 결과를 나타내므로, KJL-28 core의 심도 500 cm - 950 cm 구간의 모래/사갈층은 9,430 yr BP보다 이른 late Pleistocene부터 early Holocene까지의 기간에 퇴적되었던 것으로 해석된다. 그럼에도 불구하고 KJL-28 core 시료를 제외한 금강중류수계의 퇴적물 코아에서의 대부분 하천 퇴적물은 mid-Holocene optimum의 시기 이후에 퇴적된 결과를 나타낸다(Table 2, Fig. 4). 이는 현하천에서 멀어질수록 구하상의 유로발달과 구하상의 기준면이 높아지는데 기인하는 것으로 추정된다.

현재의 하상에서 적당한 거리를 갖는 KJL-28 core는 퇴적의 초기단계(9.43 ka BP to 5.60 ka BP)에 0.02 cm/yr로 가장 낮은 퇴적율을 나타냈으며, 5.60 ka BP부터 2.97 ka BP까지의 기간에 0.04 cm/yr로 퇴적율이 증가하고 있다. 이는 다시 2.97 ka BP부터 2.15 ka BP까지의 기간에 0.06 cm/yr로 증가하였지만 2.15 ka BP부터 1.46 ka BP까지의 기간에는 0.03 cm/yr로 감소하는 결과를 나타낸다. 그리고 KJL-29 core와 마찬가지로 1.46 ka BP부터 1.05 ka BP까지의 기간에는 0.09 cm/yr로 퇴적율이 급하게 증가하는 결과를 보여준다. 금강중류유역에서의 최고의 퇴적율은 0.16 cm/yr로서 KJL-29 core에서 2.52 ka BP부터 3.46 ka BP까지의 기간에 퇴적된 결과이며, 최저의 퇴적율은 0.02 cm/yr로 KJL-28 core에서 5.60 ka BP부터 9.43 ka BP까지의 기간에 퇴적된 결과이다(Fig. 5).

반면, 한강의 지류하천인 청계천에서 화분분석구간의 연대-심도 연구에 의하면, 2.0 ka BP부터 5.7 ka BP까지의 퇴적율은 0.02 cm/yr이지만 1.4 ka BP부터 2.0 ka BP까지의 기간에는 퇴적율이 0.12 cm/yr로 급증하는 것으로 보고하고 있다(Yi *et al.*, 2008).

한강수계와 금강수계에서 비슷한 시기에 퇴적된 퇴적물의 퇴적율이 때로는 비슷하거나 또는 전혀 상이한 결과를 나타내지만 한강의 지류하천인 청계천의 화분

분석구간에서 계산된 0.02 cm/yr - 0.12 cm/yr의 퇴적율은 유구천과 정안천이 합류하는 금강중류유역에서 계산된 0.02 cm/yr - 0.16 cm/yr의 퇴적율과 거의 비슷한 범위를 갖는다. 이처럼 다른 수계에서 형성된 퇴적층의 퇴적율이 거의 일치하는 결과는 이들 수계유역의 퇴적층이 서로 유사하거나 또는 동일한 퇴적환경에서 퇴적되었기 때문인 것으로 판단된다.

6. 결 론

유구천과 정안천이 합류하는 금강중류 수계주변의 퇴적층에서 회수한 코어시료에 대한 실험 및 토의를 통하여 아래의 결론을 도출하였다.

1) Grain size distribution curve는 범람원과 하상 시료가 거의 유사한 입도특성을 나타냈으며, SAM (silica-alkali-mafic) diagram에서도 범람원과 하상시료가 거의 유사한 D & E-type에 해당하는 결과를 나타냈다. 금강중류수계의 범람원과 하상에 분포하는 모래의 입도 및 화학성분 특성이 거의 일치하는 결과는 이 일대에 분포하는 Jurassic Biotite Granite와 하천의 상류수계주변에 분포하는 Pre-Cambrian Gneiss 등의 암상이 비교적 단순하기 때문으로 판단된다.

2) 유구천과 정안천이 합류하는 금강중류수계의 시추 코어시료에 대한 ^{14}C 연대결과에 의하면, KJL-28 core의 모래/사갈층은 late Pleistocene부터 early Holocene의 시기에 퇴적된 것으로 판단된다. 그러나 KJL-28 core site를 제외한 나머지 대부분의 core site의 퇴적물은 Mid-Holocene Maximum의 시기 이후에 퇴적된 결과를 나타낸다.

3) 유구천과 정안천이 합류하는 금강중류유역에서는 최근(Modern)에 가까울수록 퇴적률이 증가하는 반면, late Pleistocene과 early Holocene의 시기에 가까울수록 퇴적률이 감소하는 결과를 나타낸다.

4) 유구천과 정안천이 합류하는 금강중류유역의 퇴적율은 KJL-28 호공과 KJL-29 호공을 종합 고려하면 0.02 cm/yr - 0.16 cm/yr로 Han River의 지류하천인 청계천에서 계산된 0.02 cm/yr - 0.12 cm/yr와 거의 일치하는 결과를 나타낸다.

한강수계와 금강수계의 퇴적율은 퇴적시기별로 서로 퇴적율이 비슷하거나 또는 상이한 결과를 나타내지만 전체적으로는 서로 다른 수계에서 형성된 하천퇴적층의 퇴적율이 거의 일치하는 결과를 나타낸다. 이러한 결과는 이들 수계주변의 퇴적층이 서로 동일하거나 또는 유사한 퇴적환경에서 퇴적되었기 때문으로 해석된다.

참고문헌

- Brooks, G.R. (2002) Floodplain Chronology and Vertical Sedimentation Rates Along the Red River, Southern Manitoba. *Geographie physique et Quaternaire* v.56, p.171-180.
- Colls, A.E., Stokes, S., Blum, M.D. and Straffin, E. (2001) Age limits on the Late Quaternary evolution of the upper Loire River. *Quaternary Science Reviews* v.20, p.743-750.
- Eitel, B., Kadereit, A., Blumel, W.D., Huser, K., Lomax, J. and Hilgers, A. (2006) Environmental changes at the eastern Namib Desert margin before and after the Last Glacial Maximum: New evidence from fluvial deposits in the upper Hoanib River catchment, north-western Namibia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* v.234, p.201-222.
- Gingele, F.X. (1996) Holocene climatic optimum in southwest Africa-Evidence from the marine clay mineral record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* v.122, p.77-87.
- Hanson, P.R., Joeckel, R.M., Young, A.R. and Horn, J. (2009) Late Holocene dune activity in the Eastern Platte River Valley, Nebraska. *Geomorphology* v.103, p.555-561.
- Huang, C.C., Pang, J., Zha, X., Su, H., Jia, Y. and Zhu, Y. (2007) Impact of monsoonal climatic change on Holocene overbank flooding along Sushui River, middle reach of the Yellow River, China. *Quaternary Science Reviews* v.26, p.2247-2264.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) (2007) Aggregate Resources Investigation (Gongju and Wanju Areas). KIGAM Research Report.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) (2008) Aggregate Resources Investigation (Yengi and Muan Areas). KIGAM Research Report.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) (2009) Aggregate Resources Investigation (Naju Area). KIGAM Research Report.
- Kim, J.Y. (2001) Quaternary geology and assessment of aggregate resources of Korea for the national industrial resources exploration and development. *Quaternary International*, v.82, p.87-100.
- Knox, J.C. (2006) Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: Natural versus human accelerated. *Geomorphology* 79, 286-310.
- Kroonenberg, S.B. (1990) Geochemistry of Quaternary fluvial sands from different tectonic regimes. In: *Proceedings of 2nd International Symposium, Aix en Provence*, p.28.
- Lair, G.J., Zehetner, F., Hrachowitz, M., Franz, N., Maringer, F.J. and Gerzabek, M.H. (2009) Dating of soil layers in a young floodplain using iron oxide crystallinity. *Quaternary Geochronology* v.4, p.260-266.
- Li, Z., Saito, Y., Matsumoto, E., Wang, Y., Tanabe, S. and Vu, Q.L. (2006) Climate change and human impact on the Song Hong (Red River) Delta, Vietnam, during the Holocene. *Quaternary International* v.144, p.4-28.
- Liu, J.P., Xu, K.H., Li, A.C., Milliman, J.D., Velozzi, D.M., Xiao, S.B. and Yang, Z.S. (2007) Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea. *Geomorphology* v.85, p.208-224.
- Nahm, W.H., Kim, J.C., Bong, P.Y., Kim, J.Y., Yang, D.Y. and Yu, K.M. (2008) Late Quaternary stratigraphy of the Yeongsan Estuary, Southwestern Korea. *Quaternary International* v.176-177, p.13-24.
- Oh, K.C., Kim, J.Y., Yang, D.Y., Lee, J.Y. and Hong, S.S. (2008) An assessment of the sand resources in old riverbeds and flood plain deposits within a branch of the Geum River, South Korea. *Quaternary International*, v.176-177, p.156-171.
- Pratt-Sitaula, B., Burbank, D.W., Heimsath, A. and Ojha, T. (2004) Landscape disequilibrium on 1000-10000 year scales Marsyandi River, Nepal, central Himalaya. *Geomorphology* v.58, p.223-241.
- Ryu, E., Lee, S.J., Yang, D.Y. and Kim, J.Y. (2008) Paleoenvironmental studies of the Korean peninsula inferred from diatom assemblages. *Quaternary International* v.176-177, p.36-45.
- Srivastava, P., Sharma, M. and Singhvi, A.K. (2003) Luminescence chronology of incision and channel pattern changes in the River Ganga, India. *Geomorphology* v.51, p.259-268.
- Srivastava, P., Brook, G.A., Marais, E., Morthekai, P. and Singhvi, A.K. (2006) Depositional environment and OSL chronology of the Homeb site deposits, Kuiseb River, Namibia. *Quaternary Research* v.65, p.478-491.
- Vital, H. and Statterger, K. (2000) Lowermost Amazon River: evidence of late Quaternary sea-level fluctuations in a complex hydrodynamic system. *Quaternary International* v.72, p.53-60.
- Williams, M.A.J., Pal, J.N., Jaiswal, M. and Singhvi, A.K. (2006) River response to Quaternary climatic fluctuations: evidence from the Son and Belan valleys, north-central India. *Quaternary Science Reviews* v.25, p.2619-2631.
- Yang, D.Y., Kim, J.Y., Nahm, W.H., Ryu, E., Yi, S., Kim, J.C., Lee, J.Y. and Kim, J.K. (2008) Holocene wetland environmental change based on major element concentrations and organic contents from the Cheollipo coast, Korea. *Quaternary International* v.176-177, p.143-155.
- Yi, S., Kim, J.Y., Yang, D.Y., Oh, K.C. and Hong, S.S. (2008) Mid- and Late-Holocene palynofloral environmental change of Korean central region. *Quaternary International* v.176-177, p.112-120.
- Yum, J.G., Yu, K.M., Takemura, K., Naruse, T., Kitamura, A., Kitakawa, H. and Kim, J.C. (2004) Holocene evolution of the outer lake of Hwajinpo Lagoon on the eastern coast of Korea: Environmental changes with Holocene sea-level fluctuation of the East Sea (Sea of Japan). *Radiocarbon* v.46, p.797-808.
- Zong, Y., Yim, W.W.S., Yu, F. and Huang, G. (2009) Late Quaternary environmental changes in the Pearl River mouth region, China. *Quaternary International* v.206, p.35-45.