

\* 유웨이어플라이 입학지원 사이트에서 작성하고 저장 완료한 입학원서, 제출서류 목록, 연구계획서 및 자기소개서를 인쇄하거나 또는 PDF 파일로 다운로드 받아 다른 지원자 제출서류 들과 함께 제출서류 목록 순서대로 취합 및 정리하여 스캔 후 하나의 PDF 파일을 생성해 제출 바람

\* 평가 시 식별이 잘 되도록 제출서류를 최대한 선명하고 깔끔하게 제출 바람  
(파일용량 32MB 이하의 PDF 파일만 업로드 가능)

## Ulsan National Institute of Science and Technology

(Application for 2026 Fall Graduate Admission)

Application Number

scholarship Scholarship(Government or UNIST) ( ) Other Scholarship(Company, Institute, Yourself, etc.) ( )  
Academic-Institutional Scholarship ( )

Intended Degree Master ( ) Master-Doctor ( ) Doctor ( )

Application Unit (Major) \_\_\_\_\_

Applicant Name \_\_\_\_\_ Nationality \_\_\_\_\_

Date of Birth \_\_\_\_\_ (yy/mm/dd) ID Number \_\_\_\_\_

Address \_\_\_\_\_ Military \_\_\_\_\_

Phone number \_\_\_\_\_ Cell phone \_\_\_\_\_

Fax Number \_\_\_\_\_ E-Mail \_\_\_\_\_

College / University Attended

Undergraduate

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Graduate

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

English Proficiency English Test Scores

TOEFL(iBT) \_\_\_\_\_ TOEIC S \_\_\_\_\_ (Test Date / / : : )

TOEIC \_\_\_\_\_ TOEIC W \_\_\_\_\_

G-TELP \_\_\_\_\_ TOEIC S+W \_\_\_\_\_

IELTS \_\_\_\_\_ OPIc \_\_\_\_\_

TEPS \_\_\_\_\_ Exemption ( )

\* 공인영어성적 미제출 시 영어성적 항목 선택 필요 없음 (에너지화학공학 모집단위 지원자 중 제출 면제사유 해당자는 해당 항목 선택하지 않고 관련 증빙서류만 지원자 제출서류에 포함 제출-영어로 학위과정을 이수했다는 증명서류)

I agree to provide my personal information and academic information (UNIST & Dormitory)  Agree  Not Agree

I Apply for entrance to this graduate school with some documents

Signature \_\_\_\_\_ Date 2026/C / / (yy/mm/dd)





\* 재학생은 원서접수 시점에서 발급 가능한 학기까지의 성적증명서 제출

\* 전자문서(용도:교육기관용, 제출처:UNIST, 유효기간:2022-10-02)

# 성적증명서

제 : 7 호

구분	교과목명	학점	성적	구분	교과목명	학점	성적	구분	교과목명	학점	성적																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <tr> <td>학번</td> <td colspan="2"></td> <td>소속</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>성명</td> <td colspan="2"></td> <td>원입.예과 수료</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>입학년월일</td> <td colspan="2"></td> <td>졸업</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td>주민등록번호</td> <td colspan="2"></td> <td>학위등록번호</td> <td colspan="8"></td> </tr> </table>												학번			소속									성명			원입.예과 수료									입학년월일			졸업									주민등록번호			학위등록번호																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
학번			소속																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
성명			원입.예과 수료																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
입학년월일			졸업																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
주민등록번호			학위등록번호																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">* 2015학년도 1학기 *</td> <td colspan="4">* 2018학년도 2학기 *</td> <td colspan="4">* 2020학년도 1학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>B</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td colspan="4">15.0학점 평균3.87</td> <td colspan="4">19.0학점</td> <td colspan="4">2020학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td colspan="12">* 2015학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td colspan="4">20.0학점 평균3.48</td> <td colspan="4">1.0학점</td> <td colspan="4">* 2018학년도 1학기 *</td> </tr> <tr> <td colspan="12">* 2018학년도 1학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td colspan="4">20.0학점 평균3.48</td> <td colspan="4">1.0학점</td> <td colspan="4">* 2020학년도 1학기 *</td> </tr> <tr> <td colspan="12">* 2020학년도 1학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>3.0</td> <td>C+</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td colspan="4">1.0학점</td> <td colspan="4">* 2018학년도 2학기 *</td> <td colspan="4">* 2020학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td colspan="12">* 2018학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>2.0</td> <td>B+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>2.0</td> <td>B+</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td colspan="4">2.0학점</td> <td colspan="4">* 2020학년도 2학기 *</td> <td colspan="4">* 2020학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td colspan="12">* 2020학년도 2학기 *</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>2.0</td> <td>B+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>2.0</td> <td>B+</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>교필</td> <td>영어</td> <td>3.0</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>소양</td> <td>공학개론</td> <td>0.0</td> <td>P</td> </tr> <tr> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>수학</td> <td>미분적분학</td> <td>3.0</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>3.0</td> <td>A+</td> </tr> <tr> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> <td>전산</td> <td>컴퓨터시스템개론</td> <td>1.0</td> <td>P</td> <td>과학</td> <td>일반물리학1</td> <td>1.0</td> <td>A+</td> </tr> </table>												* 2015학년도 1학기 *				* 2018학년도 2학기 *				* 2020학년도 1학기 *				교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+	15.0학점 평균3.87				19.0학점				2020학년도 2학기 *				* 2015학년도 2학기 *												교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+	20.0학점 평균3.48				1.0학점				* 2018학년도 1학기 *				* 2018학년도 1학기 *												교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+	20.0학점 평균3.48				1.0학점				* 2020학년도 1학기 *				* 2020학년도 1학기 *												교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+	1.0학점				* 2018학년도 2학기 *				* 2020학년도 2학기 *				* 2018학년도 2학기 *												교필	영어	2.0	B+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	2.0	B+	교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B	교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	1.0	A+	2.0학점				* 2020학년도 2학기 *				* 2020학년도 2학기 *				* 2020학년도 2학기 *												교필	영어	2.0	B+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	2.0	B+	교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B	교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B	소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	소양	공학개론	0.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	수학	미분적분학	3.0	A	과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	3.0	A+	과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	1.0	A+
* 2015학년도 1학기 *				* 2018학년도 2학기 *				* 2020학년도 1학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
15.0학점 평균3.87				19.0학점				2020학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
* 2015학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
20.0학점 평균3.48				1.0학점				* 2018학년도 1학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
* 2018학년도 1학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
20.0학점 평균3.48				1.0학점				* 2020학년도 1학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
* 2020학년도 1학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	교필	영어	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	3.0	C+	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1.0학점				* 2018학년도 2학기 *				* 2020학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
* 2018학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
교필	영어	2.0	B+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	2.0	B+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2.0학점				* 2020학년도 2학기 *				* 2020학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
* 2020학년도 2학기 *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
교필	영어	2.0	B+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	2.0	B+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
교필	영어	3.0	B	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	교필	영어	3.0	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
소양	공학개론	0.0	P	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	소양	공학개론	0.0	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
수학	미분적분학	3.0	A	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	수학	미분적분학	3.0	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	3.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	3.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
과학	일반물리학1	1.0	A+	전산	컴퓨터시스템개론	1.0	P	과학	일반물리학1	1.0	A+																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

	학점 취득 현황					----------	----	-----	-----		교양	29	교적	2		자유	4	1전공	101		2전공	0	3전공	0		부전공	0	Mic	0		취득학점		평균			한산평균		석차						위와 같이 이수하였음을 증명합니다.   2022년 07월 04일							
A+(4.5 or 95-100), A(4.0 or 90-94), B+(3.5 or 85-89), B(3.0 or 80-84), C+(2.5 or 75-79), C(2.0 or 70-74), D+(1.5 or 65-69), D(1.0 or 60-64), F(Failure), P(Passed)   (M) 위 학점은 법령에 의거 군복무 중 취득한 학점임 Mic:마이크로전공																																																			

https://icert.dankook.ac.kr/icerti/compare.jsp에 접속하여 증명서 원본과 인증번호를 입력하면 증명서 원본과 일치 여부를 확인할 수 있습니다. QR코드를 이용하면 더욱 편리합니다. (발급일로부터 90일 이내) \*Fax 발급의 경우 발급기의 출력 해상도에 따라 QR코드가 읽히지 않을 수 있습니다.  
 전자문서(PDF파일)로 발급받은 경우, 마이크로 리더와 전자문서 검증 프로그램으로 원본과 일치 여부를 확인할 수 있습니다. 또한, 서명한 제출처 및 용도 외 사용시 그로 인한 리스크 및 법적 문제가 발생할 수 있음을 유의하시기 바랍니다.

# 성적증명서

제 ) 호

소 속	대학원		성 명	주민등록번호
입학일	과 정	학 과	전 공	
학 위 수여일	학위명	학위등록번호	번호	

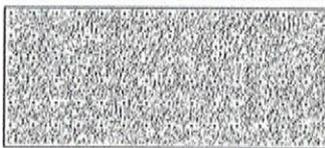
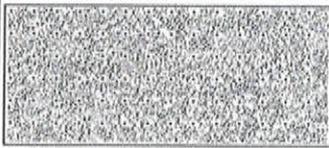
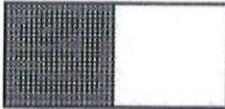
논문제목

취득년도 및 학기	이수구분	과 목 명	학 점	성 적
2021 - 1			3	
2021 - 1			3	
2021 - 1			3	
2021 - 2			3	
2021 - 2			3	
2021 - 2	전		3	
2021 - 2	인		3	
2022 - 1	선		3	
2022 - 1			3	
2022 - 1			3	1

- 이하 여백 -

취득학점 : :      평균점수 : :      평점평균 : 4

상기 성적을 증명함.      2022년 07월 04일



95-100	90-94	85-89	80-84	75-79	70-74	69 이하
A+	A	B+	B	C+	C	F

성적 'P'는 전적대학원인정학점 과목 또는 Pass과목임.  
보충과목 이수는 취득학점에 포함되지 않음.

\* <https://icert.dankook.ac.kr/icerti/compare.jsp>에 접속하여 증명서 원본확인번호를 입력하면 증명서 원본내용 및 유효성을 검증할 수 있습니다. QR코드를 이용하면 더욱 편리합니다. (발급일로부터 90일 이내) \*Fax 발급의 경우 발급기의 출력 화질도에 따라 QR코드가 읽히지 않을 수 있습니다.  
전자문서(이메일)로 발급받은 경우, 아코보넷 이더와 전자문서 검증 프로그램으로 위변조 여부 확인이 가능합니다. 또한 지정한 제출처 및 용도 외 사용시 그로 인한 피해나 법적분쟁이 생길 수 있음을 유의하시기 바랍니다.

\* 재학생은 원서접수 시점에서 발급 가능한 졸업예정증명서 또는 재학증명서 제출

\* 전자문서[용도:교육기관용, 제출처:UNIST, 유효기간:2022-10-02]

제

호



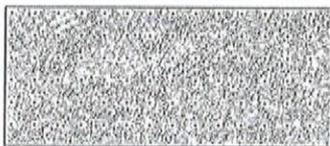
# 졸업증명서

성 명 : \_\_\_\_\_  
 주민등록번호 : \_\_\_\_\_  
 소 속 : \_\_\_\_\_  
 입학일자 : \_\_\_\_\_  
 졸업년월일 : \_\_\_\_\_  
 학위번호 : \_\_\_\_\_  
 학위명 : \_\_\_\_\_  
 제 1 전공 : \_\_\_\_\_

위의 사실을 증명합니다.

2022년 07월 04일

총



<https://icert.dankook.ac.kr/icert/compro.jsp>에 접속하여 증명서 원본확인번호를 입력하면 증명서 원본내용 및 유효성을 검증할 수 있습니다. QR코드를 이용하면 더욱 편리합니다. (발급일로부터 90일 이내) \*Fax 발급의 경우 발급기의 종이 재질도에 따라 QR코드가 읽히지 않을 수 있습니다.  
전자문서(EF파일)로 발급받은 경우, 아크로벳 리더와 전자문서 검증 프로그램으로 원본소 여부 확인이 가능합니다. 또한 지정한 제출처 및 용도 외 사용시 그로 인한 피해나 법적문제가 생길 수 있음을 유의하시기 바랍니다.

제 4A4A-206E6-2391-62771 호

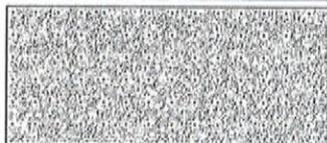
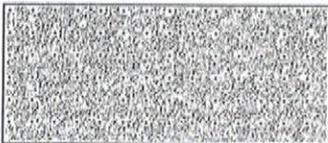
# 재학증명서

성 명 :  
 생년월일 :  
 소속 :  
 학과 및 전공 :  
 과정 및 학기 : 석사과정 3학기  
 입학일자 :

위의 사실을 증명합니다.

2022년 07월 04일

총장



<https://icert.dankook.ac.kr/icertl/compare.jsp>에 접속하여 증명서 원본확인번호를 입력하면 증명서 원본내용 및 유효성을 검증할 수 있습니다. QR코드를 이용하면 더욱 편리합니다. (발급일로부터 90일 이내) Fax 발급의 경우 발급기의 종이 색상도에 따라 QR코드가 읽히지 않을 수 있습니다.  
 전자문서(EVF 파일)로 발급받은 경우, 아크로벳 리더와 전자문서 검증 프로그램으로 위변조 여부 확인이 가능합니다. 또한 직렬번호 제출처 및 용도 외 사용시 그로 인한 리해나 법적분쟁과 관련 수 있음을 유의하시기 바랍니다.

## Study Plan and Personal Statement (연구계획서 및 자기소개서)

1. Name (성명) \_\_\_\_\_, 2. Application number (수험번호) \_\_\_\_\_

3. Scholarship (장학 구분)

Scholarship(Government or UNIST)     Other Scholarship(Company, Institute, Yourself, etc.)

4. Degree Proposed (지원 학위)     Master     Combined Master-Doctor     Doctor

5. Application Unit (Major) (지원 모집단위) Artificial Intelligence  
(기재 사항: \_\_\_\_\_ )

6. Colleges/Universities Attended (학력 사항)

구분	University (대학명)	Major (전공)	Dates Attended (입학일)	GPA/Scale (평점/만점)
Bachelor (학사)				
Master (석사)				
Doctor (박사)				

7. Research Achievements (연구실적)

No.	Author (저자)	Title (제목)	Journal (출판)	Date Issued (발행일)
1				
2				
3				

8. Preferred study field in detail (관심연구 분야 - 영문으로 줄 바꿈, 띄어쓰기 포함 500자 이내 작성)

9. Study Plan (학업계획서 - 영문으로 줄 바꿈, 띄어쓰기 포함 3,000자 이내 작성)

10. Personal Statement (자기소개서 - 영문으로 줄 바꿈, 띄어쓰기 포함 3,000자 이내 작성)

- \* 공인영어성적은 원서접수 마감일을 기준으로 2년 이내 응시한 시험의 성적만 유효함 (지원자가 입학지원서 상에 공인영어성적 입력 시 해당 공인영어성적표를 반드시 제출해야 함)
- \* 에너지화학공학 모집단위 지원자는 모집요강에서 인정하는 공인영어성적을 필수로 제출하되, 제출 면제사유에 해당할 경우에는 공인영어성적 제출의 면제 가능



## OFFICIAL SCORE CERTIFICATE



	Name	G. J.	<b>LISTENING</b>	Your Score <b>465</b> ▲89 99% Percentile Rank	<b>TOTAL SCORE</b>  <b>845</b>
	Registration number	115965			
	Date of birth (yyyy/mm/dd)		<b>READING</b>	Your Score <b>380</b> ▲77 99% Percentile Rank	
	Test date (yyyy/mm/dd)	2022/01/23			
Date of birth (yyyy/mm/dd)	2024/01/23	Valid until (yyyy/mm/dd)			

ETS, the ETS logo, TOEIC and 토픽 are registered trademarks of ETS in the United States and other countries, and used under license in the Republic of Korea by YBM.



### 발급번호 :

한국TOEIC위원회는 성적표 위변조 및 부정사용 방지를 위해 스마트폰 앱과 TOEIC 홈페이지를 통해 성적진위확인 서비스를 제공하고 있습니다. "YBM NET" 앱을 스마트폰에 설치한 후, 성적표 좌측의 QR코드를 성적의 진위를 확인할 수 있습니다. 이 서비스는 인터넷 연결을 필요로 하며 자세한 이용방법은 TOEIC 홈페이지를 참조하시기 바랍니다.

< 앱 설치 및 서비스 이용 방법 >

1. "YBM NET" 앱을 앱스토어에서 검색하거나 우측에 보이는 QR코드를 이용해 설치합니다.
2. "YBM NET" 앱을 실행 한 후 앱 화면 우측 상단의 "성적 원본대조" 버튼을 클릭합니다.
3. 스크린에서 성적표에 인쇄된 "원본확인 QR코드"를 인식하면 성적의 진위확인 가능합니다.

### YBM 앱 다운로드 QR코드



인드라이드용

아이폰용

원본확인 QR코드

Detach here

### LISTENING

Your scaled score is between 400 and 495. Test takers who score around 400 typically have the following strengths:

- They can infer the central idea, purpose, and basic context of *short* spoken exchanges across a broad range of vocabulary, even when conversational responses are indirect or not easy to predict.
- They can infer the central idea, purpose, and basic context of *extended* spoken texts across a broad range of vocabulary. They can do this even when the information is not supported by repetition or paraphrase and when it is necessary to connect information across the text.
- They can understand details in *short* spoken exchanges, even when negative constructions are present, when the language is syntactically complex, or when difficult vocabulary is used.
- They can understand details in *extended* spoken texts, even when it is necessary to connect information across the text and when this information is not supported by repetition. They can understand details when the information is paraphrased or when negative constructions are present.

To see weaknesses typical of test takers who score around 400, see the Proficiency Description Table. [www.toeic.co.kr/table](http://www.toeic.co.kr/table)

### READING

Your scaled score is between 350 and 450. Test takers who score around 350 typically have the following strengths:

- They can infer the central idea and purpose of a written text, and they can make inferences about details.
- They can read for meaning. They can understand factual information, even when it is paraphrased.
- They can connect information across a small area within a text, even when the vocabulary and grammar of the text are difficult.
- They can understand medium-level vocabulary. They can sometimes understand difficult vocabulary context, unusual meanings of common words, and idiomatic usage.
- They can understand rule-based grammatical structures. They can also understand difficult, complex, and uncommon grammatical constructions.

To see weaknesses typical of test takers who score around 350, see the Proficiency Description Table. [www.toeic.co.kr/table](http://www.toeic.co.kr/table)

If your performance is closer to 450, you should review the descriptors for test takers who score around 450.

ABILITIES MEASURED	PERCENT CORRECT OF ABILITIES MEASURED
	0% ————— Your percentage ————— 100% ▲ ← Average
Can infer gist, purpose, and basic context based on information that is explicitly stated in short spoken texts	0% ————— 87 ————— 100% ▲67
Can infer gist, purpose, and basic context based on information that is explicitly stated in extended spoken texts	0% ————— 94 ————— 100% ▲71
Can understand details in short spoken texts	0% ————— 94 ————— 100% ▲84
Can understand details in extended spoken texts	0% ————— 90 ————— 100% ▲81
Can understand a speaker's purpose or implied meaning in a phrase or sentence	0% ————— 87 ————— 100% ▲60

ABILITIES MEASURED	PERCENT CORRECT OF ABILITIES MEASURED
	0% ————— Your percentage ————— 100% ▲ ← Average
Can make inferences based on information in written texts	0% ————— 81 ————— 100% ▲69
Can locate and understand specific information in written texts	0% ————— 79 ————— 100% ▲68
Can connect information across multiple sentences in a single written text and across texts	0% ————— 75 ————— 100% ▲64
Can understand vocabulary in written texts	0% ————— 92 ————— 100% ▲74
Can understand grammar in written texts	0% ————— 90 ————— 100% ▲74

### HOW TO READ YOUR SCORE REPORT:

**Percentile Ranks:** Percentage of the global TOEIC Secure Program test-takers in 2018 through 2020 scoring below your scaled section score.

**Percent Correct of Abilities Measured:** Percentage of items you answered correctly on this test form for each one of the Abilities Measured. Your performance on questions testing these abilities cannot be compared to the performance of test-takers who take other forms or to your own performance on other test forms. The average for each ability is the averaged percentage of items answered correctly by the test-takers of the TOEIC Secure program on this form.

**Note:** TOEIC scores more than two years old cannot be reported or validated.

ETS, the ETS logo, TOEIC and 토픽 are registered trademarks of ETS in the United States and other countries, and used under license in the Republic of Korea by YBM.

\* 기타 우수성 입증자료(Additional documents)는 논문자료, 연구보고서, 상장, 특허 등 연구나 학습과 관련하여 자신의 우수성을 입증할 수 있다고 판단되는 서류를 추가자료로 제출 (기타 우수성 입증자료는 필수제출 서류가 아니며 지원자가 제출이 필요하다고 판단 시 선택제출)

한국섬유공학회지

한국섬유공학회지

## Preparation of Fish-skin-based Conjugated Collagen Fibers and Nonwovens for Wound Dressings

<sup>1</sup>Adv. Fiber and Nonwovens Technol., <sup>2</sup>Industrial Technology, ...

<sup>1</sup>Corresponding Author: ...  
E-mail: m

Received February 1, 2022  
Revised February 19, 2022  
Accepted February 20, 2022

© 2022 The Korean Fiber Society

**Abstract:** Collagen is used in various medical and cosmetic materials as a natural polymer. In order to use it for high-end medical fibers, its mechanical properties must be improved, which can be achieved by conjugating it with fish-skin-based collagen and chitosan. The conjugated collagen fibers can utilize the advantages of the materials and can be applied to make wet-laid nonwovens for wound dressing. In this study, the conjugated collagen fibers were prepared by wet spinning and their surface, optical, and mechanical properties were analyzed based on various compositions of collagen and chitosan. In addition, the wet-laid nonwovens were manufactured with bilayers, designating an inner layer of conjugated collagen fibers and an outer layer of cotton/chitosan spun nonwoven. The characteristics of the wet-laid nonwovens in terms of their liquid-handling properties and the distribution of their pore sizes were investigated. The results thus obtained show that the use of conjugated fibers in wet-laid nonwovens can affect their properties, which can be controlled by adjusting the composition ratio.

**Keywords:** collagen fiber, chitosan fiber, conjugated fiber, wet-spinning, nonwovens, wound dressing, pore size

### 1. 서 론

피부에 상처가 생기면 인체의 출혈을 통해 내부 장기가 손상되거나 2차 감염이 발생할 수 있으므로 상처치유는 지혈, 감염 예방, 상처 단계, 상처 부위를 조직 재생이 이루어진다. 하지만 조직 재생과 함께 손상 부위의 산화, 감염, 출혈 길이, 압력 등 다양한 요소로 부자연되거나 방해를 받을 수 있다[1]. 상처를 빠르게 치료하기 위해 다양한 의료가 사용되며, 이중 창상피복체는 상처 치유를 촉진시키고 상처 부위를 보호하는 동시에 흉터조직 형성을 예방하는 기능을 수행한다. 창상피복체는 콜라겐, 폴리우레탄, 알지네이트, 키토산, 시메틸 셀룰로스 등을 이용하여 용 목적에 따라 다양한 형태로 제품화되고 있다[3,4]. 종래의 창상피복체는 빠른 지혈에 기

능 갖추어져 있어 상처 치료 후 감염 발생률이 높지만, 최근에는 지혈되고 있는 창상피복체는 빠른 지혈 뿐만 아니라 습윤한 환경을 조성시켜 상처 없이 상처 회복할 수 있도록 창상피복체가 습윤한 환경을 조성하게 해서는 흡수력이 높고 배출이 잘 되도록 누르는 압력 없으면서 습도와 수증기를 적절히 조절해야 한다[6]. 창상피복체는 장기간 인체 접촉 접촉 사용되기 때문에 생체 적합성이 높으면서 자극으로 인한 안전해야 한다. 따라서 습윤 환경 조성과 적합성 높고 부해성을 갖는 창상피복체를 만들기 위해 합성 고분자 보다 천연 분자를 활용하는 것이 적합하다.

최근에는 요구 급한 창상피복체용 고분자 중 콜라겐을 이용한 연구와 제품 개발되고 있다[8]. 콜라겐은 인간을 비롯한 동물의 피부, 근육, 연골, 체내에 다량으로 존

재하고 있으며, 콜라겐 분자는  $\alpha$ -X-Y 구조의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드(polypeptide)  $\alpha$ -chain이 삼중나선을 이루고 있다[9]. 콜라겐은 척를 회복하는 업증단계의 단계에서 Type I 콜라겐과 육질(granulation tissue) 형성을 지시해주며, 피부 진피층, 뼈와 세포 사이를 이어주는(matrix) 역할을 통해 피부 조직을 만드는 기저층(stratum corneum)을 받쳐주어 표피의 탄성에 중요한 역할을 수행한다. 이러한 콜라겐은 정제된 중 분성이 저하되며, 소나노부터 정제된 콜라겐은 중 분성 중 발생하는 환경문제 뿐 아니라 광우병, 알리지, 종양 등 문제로 사용이 제한될 수 있다[11]. 이에 따라 돈피 콜라겐 대체하기 위해 어피(fish)로부터 추출한 콜라겐을 하는 연구가 행되었으며, 제품이나 건강식품 등에 활용되고 있다[12]. 그러나 콜라겐의 열적 특성, 기계적 특성, 방수 등에서 돈피 콜라겐보다 부족한 특성을 가지고 있어의 섬유로 활용되기 때문에 가공 후 특성을 향상시키기 위한 연구가 수행되고 있다. 글루타르알데히드 같은 가교제 사용시 세포독성을 유발하여 사용 방법 제한될 수 있다[14]. 이에 따라 가교제 콜라겐 섬유의 기계적 특성을 향상시키기 위해 키토산, 나이트, PV, 고분자를 혼입하여 기계적 특성 향상과 방수에 각 재료의 고유한 특성을 현시하는 연구가 진행되었다[15,16].

그 중, 키토산 콜라겐과 혼합되는 것으로 키토산의 아민기(NH<sub>2</sub>)와 콜라겐의 카복시기(COOH) 수소결합을 통해 안정적으로 섬유를 형성하는 것으로 알려져 있다[17]. 키토산은 새우나 게 등의 갑각류의 껍질에 풍부한 당을 탈아민이 탈화하여 제조되며, 생체적합성, 생체적합성이 우수하며 pH 5 이하에서 이온성 겔을 형성할 수 있다[1]. 또한, 키토산 N-아세틸글루코사민과 글루코사민은 상처치유 효과, 콜라겐 재생을 진시키거나 상처 회복에 도움을 준다[18]. 키토산 콜라겐을 사용하여 복합섬유를 제조하고, 콜라겐의 방사성 선과 키토산 함량이 세포독성으로 하는 것을 제어할 수 있으며, 섬유용 섬유로 활용 시 상부 세균 감염을 막고 보호, 흡수 촉진시킬 수 있다[19]. 선에서는 돈피 콜라겐과 키토산을 이용하여 콜라겐/키토산 복합섬유를 제조했으며, 구성비율 제어를 통해 두 소재의 특성을 동시에 구현하면서

기계적 특성 제어할 수 있다[20]. 본 연구에서는 돈피 콜라겐의 단점을 보완하고 대체하기, 어피 콜라겐과 키토산은 용하여 구성비율에 따라 방사성 선 어피 콜라겐 복합섬유의 특성을 살펴보았으며, 창상피복에 활용하기 위해 다중 습식 직조를 제조하여 수분제어능, 기공의 특성을 확인하였다(Figure 1). 이때, 다중 습식부직. 외층의 용될 이면, 흡수 생체적합성이 높으며 항균을 갖는 면/사스핀. 부직포를 사용하며, 피 직접 닿는 내층으로 콜라겐 복합섬유를 활용하여 상처 부위에서 기능이 발현될 수 있도록 설계하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료

방사용액 제조에 사용되는 가피어 어피 콜라겐(Tilapia collagen; *Oreochromis mo. bicus*)은 동결된 닭상태. 대학교에서 공급받아 사용되었다. 선행연 식동일하는 어피 콜라겐의 주요 아미노산의 구성비율은 hydroxyproline 12.7%, glycine 34.5%, proline 12.0%로 이루어져 있다[2]. 키토산(Liang Aoxing Technology, China)은 20-50 kDa 분량을 가진, 탈아세틸 93.3%인 제품을 구매하여 사용하였다. 0.5 M 아세트산(ER, Daejeon, Korea) 수용액을 제조하여 사용하였다. 용매는 수산. 트롤(97.0%, Jun. Japan)을 에탄올(95.0%, Sam. Korea), 아세톤(99.5%, Chon, Korea) 9:1 혼합용액, 옥해시. wt% 농도로 제조하여 사용하였다. 3단으로 구성된 수세, 모두 에탄올/아세톤 혼합용액을 사용하였다. 습식부직포 제조에 사용한 분. 객으로 에탄올을 사용하였다.

### 2.2. 콜라겐 복합섬유 제조

키토산과 어피 콜라겐 구성 비율에 따른 섬유 특성과 방사성 선을 확인하기 위해, 어피 콜라겐의 특성을 증가시켜 방사용액을 제조하였다. 방사용액은 키토산과 콜라겐 각각 0.5 M 아세트산 용액에 24시간 동등 교반기를 이용해 4 wt% 농도로 용해시킨 후, 구성비율에 따라 혼합시켰다. 혼합된 방사용액은 24.μm 메시필터를 이

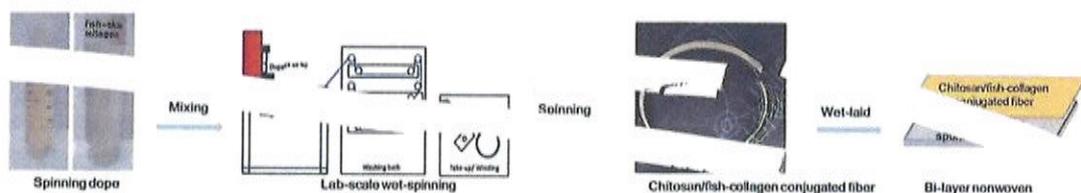


Figure 1. Scheme representation of preparation of bi-layer nonwovens.

**Table 1.** Spinning conditions of the chitosan and the conjugated collagen fibers

Sample	Weight ratio		Spinning rate (rpm)	Flow rate (ml/min)
	Chitosan	Collagen		
CH100	100	0	23	
CH95F5	95	5	23	0.03
CH90F10	90	10	23	0.05
CH80F20	80	20	20	

하여 불순물을 없앴으며, 침분리기(Con. 4R, Ha. Science Indust.)를 15°C에서 20분간 2000 rpm으로 시켜 방사, 100% 습도를 갖는 미세기포를 탈포시켰다.

준비된 방사용액의 방사사기, 기공, 키토산 섬유와 콜라겐 복합섬유를 제조하였으며, 방사 속도의 변화와 방사 속도를 고려하여 니들吐出속도, 방사용액의 유출비에 따라 삼축 방사 명명하였는데 방사조건은 Table 1과 같다.

**2.3. 콜라겐 복합섬유 기반 다층 구조 제조**

제조한 여러 콜라겐 복합, 다기능성 창상피복재로 사용하기 위해 내수성 스펀레이 부직포를 이면기재로 사용하며, 다층 습식, 건조를 제조하며, 면/키토산 스펀레이스 부직포, 한국생물, 연구원에게 유한 단섬유 부직포 파이롯트 라인에 하여 제조되며, 면과 키토산의 구성비율은 90:10이며, 다층 습식 부직포는 외층으로 사용하며, 적층, 키토산 콜라겐 복합섬유는 내층에 직접 닿는 내층 활용을 상처부위에 기능이 발현되도록 하였다. 내층과 외층의 중량비는 1:9로 제조하였는데 내층에 사용된 섬유는 길로틴 절단기를 사용하여 6.35mm 길이를 제어하며, 22µ 절단기 복합섬유는 습식부직포 장비를 이용하여, 에탄올 용액에 분산시켜 10 cm×10 cm 크기로 바인더 없이 다층 구조 부직포를 제조하였다. 제조 다층 습식부직포는 온도 21°C, 습도 50%의 실험실에서 건조시켰다 (Figure 2). 여기서, 면/키토산 스펀레이스 부직포를 CCN, 키토산/콜라겐 복합섬유를 내층으로 하는 다층부직포의 각각의 샘플명을 CH1, CH2 같이 섬유 샘플명 뒤에 N을 붙

여 명명하였다.

**2.4. 여러 콜라겐 복합 섬유의 특성 분석**

여러 콜라겐 복합섬유, 표면과 내부의 형태를 관찰하기 위해 전자 현미경(FE-SEM, SU800, Hitachi, Japan)을 사용하였으며, SEM 이미지에서 섬유들의 직경과 형태를 확인하였다.

복합섬유 형성과정 키토산과 콜라겐 관능기를 관찰하기 위해 위해 위해 푸리 변환 적외선 스펙트럼기(Fourier Transform Infrared, FT-IR, Nicolet, NEXUS, ThermoScientific, Madison, USA)를 사용하였다. FT-IR Attenuated total reflection (ATR) 방법으로 4000 cm<sup>-1</sup> 이하 흡수파장을 관찰하였다.

복합섬유들의 기계적 물성은 단섬유 인장시험기 (FAVIMAT, Textechno Co., Ltd, Any)로 측정하였으며, 20mm gauge length에서 20 mm/min 속도로 인장하여 시험을 실시하였다. 인장실험은 각 시료마다 3회 이상 실시하였으며, 각각의 10개 데이터의 평균값을 취하여 복합섬유의 신도 (elongation at break, %)와 인장강도 (tenacity, g/den)를 계산하였다.

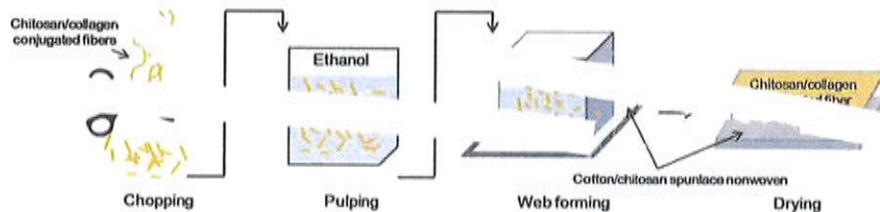
**2.5. 다층 습식부직포의 특성 분석**

다층 습식부직포의 내수성 내층의 표면형태를 관찰하기 위해 전자현미경(Tablet SEM, TM4000PlusII, Hitachi, Japan)을 사용하여 해당 이미지를 촬영하였다.

창상피복재의 수분제어능력을 평가하기 위해 흡수력 (fluid absorption capacity), 투습도 (moisture transmission rate; MVTR), 액체확산 (liquid spreadability) 등을 실험하였다. 흡수력 시험은 BS 26726-1 규격에 맞게 실행하며, 건조시킨 부직포를 5cm×5cm로 자른 후 30°C로 건조 측정하였다. 37±1°C로 증류수에 시료를 넣어 5분 기다린 후, 항온기에서 30분 방치하고 핀셋을 이용해 30초간 매단 후 무게를 측정하였다. 시료는 3회씩 측정하며, 아래의 식 (1)을 이용하여 수력을 계산하였다.

$$\text{Fluid absorption capacity (g)} = (W_2 - W_1) / (5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}) \tag{1}$$

여기서, W<sub>1</sub>: 초기 무게(g), W<sub>2</sub>: 30분 후의 샘플 무게(g)



**Figure 2.** Preparation of the wet-laid nonwovens using the chitosan and the conjugated collagen fibers.

투습도 시험은 B 13726-2 규격에 따라 진행하였다. 투습컵의 아랫면 슬롯(slot)을 고정시료에서 증류수 증기를 채운 후, 5 cm x 5 cm 크기의 시료를 슬롯에 고정시켜서 무게를 측정하였다. 그 후, 투습컵을 37±1 °C, R.H 95% 유지되는 항온습도기에 24시간 놓은 후 투습컵 무게를 측정하였다. 시험을 각 3회씩 측정하여 평균의 식 (2)을 이용하여 투습도를 계산하였다.

$$WV = \frac{(W_2 - W_1) \times 24 \times 10^3}{A \times (P_2 - P_1)} \quad (2)$$

여기서,  $W_2$ 는 무게(g), 시험의 샘플 무게(g) 액체화산성 시료, 산상피복층, 상처부위 삼출물, 화산성을 평가하기 위해, 실험에 사용된 시험 방법에 따라 진행하였다(23.2% 각적, 1% 식염수 (0.9% saline solution)에 congo red 용액의 0.1% 용액하여, 이를 대체하는 시험 색으로 사용한다. 3 cm x 3 cm 크기의 시료를 평평한 표면에 놓아 수평을 주고, 1% 염용액 용액 중앙에 놓은 후, 상온에서 10 분간 방치한다. 이어서 디스 카메라로 촬영하였다. 시험용액, 산상피복된 면적, 미지 분석은 크웨어(Imaging), 용해 시료별 각도 측정하였다.

다층 습식 시료의 기공률, 분포는 크기측정기(MI, C³P-120, USA)를 사용하여 4 cm x 4 cm 크기의 시료를 불포화 상태로 건조시켜, 표면장력이 낮은 G-wick®(Pore materia, Inc) 액을 용액 함침시 기공을 막은 후, 기압을 낮추어 최대 기공률이 측정될 때까지 시료를 통과시켜서 하기로 하여, 기공률, 수분을 측정하여, 결과에 따른 기공 크기를 계산한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 어피 콜라겐 섬유 특성의 분석

Figure 3은 어피 콜라겐 섬유 복합체의 조성비율, 즉 표면과 단단한 EM 이미지이다. 어피 콜라겐의 함량, 가하수로 복합체의 직경, 가하는 확인할 수 있다. 이는 콜라겐 섬유 증가를 방지하는 부정적인 영향을 방지, 균일한 섬유를 위해 적어 큰 섬유를 사용하고 토는 섬유를 증가시켜서 섬유 함량에 영향을 준다. 섬유는 표면을 통해 측정 직경은 100.51.4 μm, CH95F5 54.5 μm, CH90, 69.5±2 μm, CH80F20 74.2.5 μm로 되어있으며, 콜라겐 함량이 섬유, 의 섬유에 큰 영향을 준다. 실험 결과에 따라 콜라겐의 함량 20% 이내는 콜라겐 섬유를 결정하기가 최대 1.5 이내였던 것과 대비되는 것이다. 순수한 콜라겐 섬유와 어피 콜라겐 섬유에서 같은 결과를 보았으며, 어피 콜라겐 섬유의 특성이 방출되는 영향을 주었다. 그러나 섬유는 표면을 비교하여, 상관없이 균일한 섬유를 가지고 있으며, 단단한 기공이 원형의 형상을 나타내어 복합섬유가 단단적으로 제조되었다고 판단된다.

Figure 4는 토탄섬유와 어피 콜라겐 섬유의 주요 특징을 2000-16.00 cm<sup>-1</sup> 부근에서, 약한 흡수 나타내 있는 토탄산의 특징적인 관능기는 15.00 cm<sup>-1</sup>에, H와 -CN = (amide II), 1450 cm<sup>-1</sup>에서 -OH = (관능), 1630 cm<sup>-1</sup>에서 나타나는 =O(Amide I)은 토탄산이 토탄산으로 탈아세틸화되어 제조되었음을 시사하며[26], Amide I은 1240, 1200 cm<sup>-1</sup> 근처에 상대적으로 약한 흡수파장이 나타난다. 콜라겐-1은 30, 1540, 1240 cm<sup>-1</sup> 부근에서, 약한 Amide I, II, 흡수파장을 나타낸다[27,28].

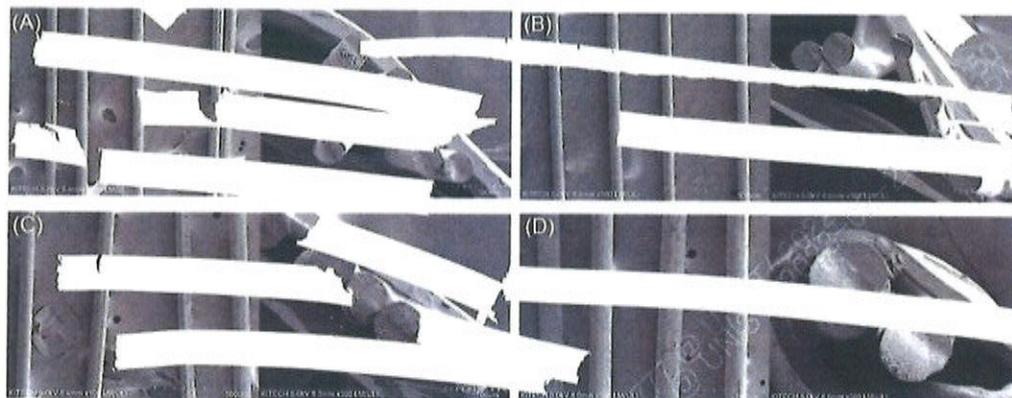


Figure 3. SEM images the chitosan and the conjugated collagen fibers; (A) CH100, (B) CH95F5, (C) CH90F10, and (D) CH80F20.

Article

Effect of Molecular Weight of Polyacrylonitrile Precursor on the Drawing and Microstructure of Carbon Fiber

Yunqiang Sun, Yanyan Wang, Yanyan Wang

College of Textile and Apparel Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; yqsun@jnu.edu.cn (Y.S.); yanyanwang@jnu.edu.cn (Y.W.); yanyanwang@jnu.edu.cn (Y.W.)

Abstract: Polyacrylonitrile (PAN) is the most widely used carbon fiber precursor and methyl acrylate (MA) copolymer is widely used for research and commercial purposes. The properties of PAN-based fibers improve increasingly with the molecular weight increase, but high-molecular-weight materials have some limitations with respect to the manufacturing process. In this study, PAN-based precursor fibers of different molecular weights were prepared and analyzed to identify an efficient carbon fiber precursor manufacturing process. The effects of molecular weight of PAN-MA on its crystallinity and void structure were examined, and precursor fiber content and process optimization with respect to molecular weight were conducted. The mechanical properties of high-molecular-weight PAN-based fibers were good, and the internal structure of the high-molecular-weight material was the best because of the difference in molecular weight and crystallinity. The structural advantages of relatively low molecular weight confirm the findings of this study can help in the manufacturing of precursor fibers and carbon fibers with improved properties.

Keywords: polyacrylonitrile precursor; molecular weight; drawing; microstructure



Citation: Sun, Y.; Wang, Y. Effect of Molecular Weight of Polyacrylonitrile Precursor on the Drawing and Microstructure of Carbon Fiber. Polymers 2022, 14, 2625. https://doi.org/10.3390/polym14132625

Received: 9 June 2022  
Accepted: 27 June 2022  
Published: 28 June 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims for published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Polyacrylonitrile (PAN) fiber has become the most widely used precursor carbon fiber manufacturing material since the 1950s [1]. PAN-based fibers can be produced because of their high carbon yield and low structural, physical, and chemical properties, ease of use, and manufacturing. However, PAN homopolymer and copolymer are not widely manufactured into fibers due to their concerns over processability, thermal stability, and so on. Therefore, research on various copolymers has been conducted to improve the properties of PAN. Methyl methacrylate (MMA) is often used to improve the spinnability and processability of PAN materials and is considered an essential polymer material [7,8]. In addition, various copolymers, including styrene, are used for stabilization in oxidation and carbonization processes, and itaconic anhydride (IA) are used in the manufacturing of commercial carbon fibers [9]. Such copolymers are indispensable in the production of carbon fibers due to their structural properties, and their effects on various additives can be seen in the precursor stage [10]. Materials such as lignin and cellulose have been studied in the context of eco-friendliness and cost reduction, and various studies have been conducted on the effect of these additives [11,12]. Although PAN-based carbon fibers have been studied in various ways in many years, the differences between their mechanical properties and those of other materials continue to motivate research on those properties, including research on

molecular weight or composition, which significantly influences the mechanical properties of carbon fibers [13]. In addition, various fabrication processes related to the spinnability and mechanical properties of carbon fibers have been studied [14,15].

P (AN-MA) copolymer is typically manufactured with 3–6 wt.% MA. The processability typically increases with increasing MA, but the mechanical properties are adversely affected; therefore, MA content lower than 6 wt.% is recommended [10]. The limitations of carbon fibers of P (AN-MA) copolymer pose obstacles to it being commercially mass-produced; however, it is actively researched in research on the theoretical strength and mechanical properties of carbon fibers [16]. The molecular weight and composition of P (AN-MA) precursor fiber has been studied, and these factors have the effects on molecular weight on its mechanical properties [13] and on the mechanical properties, with changes in composition [17,18] and spinning and solidification conditions [19]. Since it is a typical component of PAN precursors, it has been analyzed in detail [20], including rheological effects and the effects of doping treatment [21], on the crystallinity and structure of carbon fibers in the precursor stage significantly affect the mechanical properties of carbon fibers. Structural study and analysis of polymer P (AN-MA) material and an understanding of the microstructural changes that occur in the fiber manufacturing process are required. There has been little research on the drawing process, especially in the PAN precursor fiber manufacturing process, which forms a structure by dispersion and diffusion of solvent in the spinning process, washing and drying, and the drawing process. Few studies have looked at the microstructure involved, and few studies on the internal structural changes and physical property changes that occur during the stretching process have been conducted [22].

In this study to investigate P (AN-MA) behavior under drawing conditions, the changes that occur in the mechanical behavior and properties of P (AN-MA) polymer with changes in molecular weight were analyzed from a microstructural perspective. The PAN copolymer used for fiber spinning was polymerized to obtain various molecular weights, and the molecular weight and composition of the polymerized (AN-MA) material were confirmed through permeation chromatography (GPC) and nuclear magnetic resonance (NMR) analysis to confirm the characteristics of the polymerized material. The polymerized material was spun and collected through wet-spinning process and a dry stretching process, respectively. Changes in the physical properties before and after stretching with changes in the molecular weight of the manufactured fibers were verified. Through image analysis, it was confirmed that there were no regularities before or after stretching of each fiber and other factors affect the mechanical properties. In addition, the crystallinity and void structure of each fiber was analyzed by X-ray diffraction (XRD) analysis. The effects of changes in molecular weight of P (AN-MA) fibers manufactured by the same process on the microstructure of carbon fibers were examined, and structural differences in fibers with different molecular weights were investigated.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials and Polymerization

The PAN copolymer was polymerized by the typically used basic free-radical polymerization process [10]. The materials used were acrylonitrile (AN, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) and methyl acrylate (MA, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Dimethyl sulfoxide (DMSO, Dajun, Cheong, Korea) was used as a solvent and the solvent was used in the polymerization, as well as the doping variation in spinning. Polymerization was conducted using azobisisobutyronitrile (AIBN, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) as an initiator. The composition of the copolymer was polymerized and on a 97:3 ratio. The polymerization was synthesized by DMSO-based solution polymerization, targeting three different molecular weights with the same composition. The effects of molecular weight. The molecular weight was controlled by controlling the amount of the initiator AIBN, and the amount was controlled based on consideration of the polymerization environment. The polymerized material was washed and dried using distilled water

and methanol and then calcined at 100 °C for pulverization. The dried sample was stored in a desiccator until spinning and dried in a vacuum oven before spinning to remove as much moisture as possible.

2.2. Fiber Spinning and Drawing

P(AN-co-MA) precursor fibers were manufactured through spinning, washing, and stretching processes. A dope solution with a concentration of 25 wt% was prepared and used as suggested in previous fiber spinning research [8,22]. DMSO was used as both the dope solvent and the coagulating bath, and the fiber formation conditions were controlled using distilled water as a DMSO ratio of 1:1 to the coagulating bath. After coagulation, the fiber spinning processes were performed in distilled water, and before coagulation and spinning tanks were maintained with pure silver. A washing water tank, the water filter were all rinsed in distilled water for at least 2 h to remove any solvent. After drying, the stored fibers, drum-by-drum thermal stretching was performed, and stretching was performed at a temperature of 130–140 °C in stages. The hot draw ratio was six, and the draw ratio of the entire process was 18. A schematic of the polymerization, spinning, and stretching is shown in Figure 1, and the laboratory-scale equipment used is shown in Figure 2.

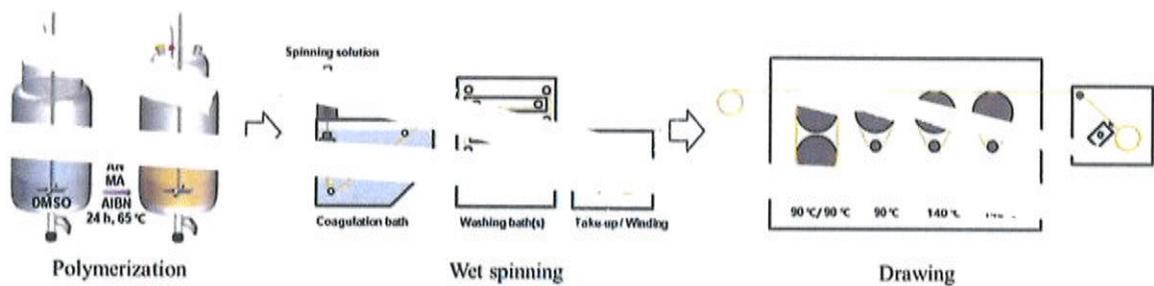


Figure 1. Schematic of the process of wet-spun PAN fiber.



Figure 2. Lab-scale wet-spinning and drawing equipment.

2.3. Characterization

To analyze the chemical structure of the P(AN-co-MA) polymer, 400 MHz <sup>1</sup>H NMR (nuclear magnetic resonance, Bruker Avance DPX-400, Bruker Billerica, MA, USA) analysis was performed by integrating the signals of the H protons of methine (CH), methylene (CH<sub>2</sub>), and methyl (CH<sub>3</sub>) contained in the copolymer. The relative numbers of hydrogen atoms are compared and the following empirical equation (1) was used. The draw ratio was calculated according to the molecular weight of the P(AN-co-MA) polymer, measured using Waters Gel permeation chromatography, Agilent 1260, Santa Clara, CA, USA, to determine the weighted average molecular weight (Mw) of the polymer distribution in PDI). To confirm that the polymer is suitable for use as a spinning solution at high concentrations, P(AN-co-MA) polymers with different

molecular weights were prepared at 25 wt%, and the viscosity was measured using a rotary rheometer (RS G2, TA, New Castle, DE, USA) at room temperature (25 °C) and shear rates ( $\dot{\gamma}$ ) of 0.01–100 1/s.

$$\begin{aligned} \text{Relative mole MA} &= \alpha \cdot \left( \frac{I_{CH_2}}{I_{CH}} \right) \\ \text{Relative mole AN} &= \alpha \cdot \left( \frac{I_{CH_2}}{I_{CH}} \right) - \left( \frac{I_{CH_2}}{I_{CH}} \right) \cdot \text{H NMR} \end{aligned} \tag{1}$$

The surface structure of the fibers was observed using an electron microscope (FE-SEM, Hitachi, Tokyo, Japan), and spinning and spinning conditions were confirmed with the images. Chemical structures and individual segments of polymers were confirmed by Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR, Nicolet 670, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). The microstructure of the fiber was measured through wide-angle X-ray diffraction (WAXD) Discover, Dk, ThermoFisher, USA) and small-angle X-ray scattering (SAXS) (Xeuss2.0, Bruker, Goettingen, Germany) with radiation wavelength of 0.154 nm (Cu K $\alpha$  Measurement of microstructures of fibers through WAXD, SAXS has been conducted in previous studies [24,25]. In particular, crystallinity, crystal size, and crystal orientation in fibers have been measured using a two-dimensional WAXD [27]. In this study, as in previous studies, the microstructure of the fiber was measured using 2D WAXD. Mesoscale structures and microstructure can be measured using SAXS [27,28]. Finally, the linear density and mechanical properties of the fibers were measured using a single fiber tester (FAVIMAT, Fachhochschule, Germany). Measurements were performed at 20 mm/min at a 20-mm gauge length, and tensile tests were conducted in each of the 20 or more experiments.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Polymerization

Table 1 shows the results of the <sup>1</sup>H NMR and GPC analyses of the compositions and molecular weights of the P (AN-MA) copolymers prepared by solution polymerization. The Mw of LPA (LPAN) (300 k (H<sub>2</sub>O)) were higher (31 k and 337 k, respectively), and the Mw of MPAN was lower (221 k). However, all PDI polymers were uniformly polymerized within 2, and the difference in molecular weight was distinct, which is believed to have affected the mechanical properties of the P (AN-MA) polymer and is dependent on the molecular weight. To check whether spinning was possible when comparing spinning solution with a high concentration, P (AN-MA) polymer with a viscosity of the spinning solution prepared at 25 wt% was measured at shear rates of 0.1–90 1/s at RT. At a shear rate of 1/s, the viscosity according to molecular weight was measured as 19.09 Pa·s for LPA, 4.45 Pa·s for MPAN, and 188.2 Pa·s for HPAN. It can be seen in Figure 3 that the viscosity of P (AN-MA) increases rapidly with the molecular weight increase, and although the viscosity of HPAN is high, it is a suitable viscosity for wet spinning. In addition, viscosity increases rapidly in the high-molecular-weight samples due to the nature of the viscosity, which is affected by the molecular weight content.

Table 1. <sup>1</sup>H NMR and GPC analysis of P (AN-MA) copolymers.

P (AN-MA)	NMR Conversion Ratio (mol %)		GPC	
	AN	MA	Mw	PDI
LPAN	97	3	191 k	1.93
MPAN	97.7	2.3	221 k	1.86
HPAN	97	3	337 k	1.91

과총 제                    호

# 상 장

학 회  
학 교

논문  
제목

귀하는 한국과학기술단체총연합회가 제정한  
'제 회 과학기술우수논문상'의 수상자로  
선정되었으므로 이에 상장을 수여합니다.

20. 년 월 일

한국과학기술단체총연합  
회 장



제 . 호

# 표 창 장

학과

위 학생은 재학 중 학업성적이 우수  
하고 품행이 바르고 단정하여 타의  
모범이 되었으므로 이에 상장과 부상을  
수여함

20. 년 월 일

학교 공과대학장

