

차세대원자로 수용성 조사를 위한 설문 방법론

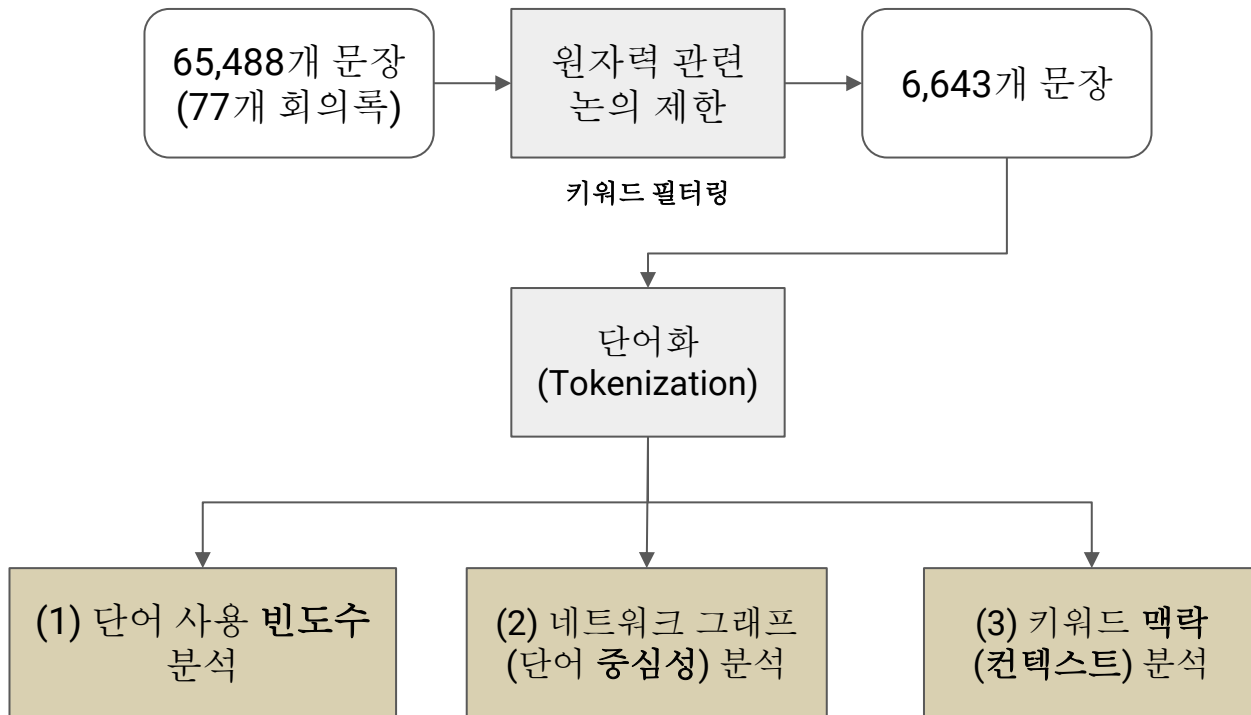
Georgia Tech School of Public Policy 송선빈 박사과정생
Georgia Tech School of Public Policy 안여광 (Brian An) 교수

이해관계 및 정치적 견해에 따른 언어적 차이 분석

청문회 회의록(자연어) 분석

- 대상: 원자력 관련 논의가 포함된 77개 청문회 회의록
- 기간: 23 1월 초~24년 9월 말 (1년 9개월치의 기록)
- 분석 회의록: 과학기술정보방송통신위원회 (20회), 국방위원회(1회), 기후특별위원회(6회), 농림 축산식품해양수산위원회(6회), 문화체육관광위원회(1회), 보건복지위원회(1회), 산업통상자원중소벤처기업위원회(21회), 외교통일위원회(3회), 정부위원회(1회), 행정안전위원회(1회), 환경노동 위원회(10회)

분석 개요



분석 그룹

- 발언자를 소속 조직에 따라 아래와 같이 네 그룹으로 나눠서 분석 진행

| 구분 | 소속 조직 |
|--------------------|--|
| 환경분야 종사자 그룹 | 국립환경과학원, 대한상공회의소(탄소중립실), 대구지방환경청, 서울대학교환경대학원, 산업통상자원부(R&D 전략기획, 원전환경 등), 원주지방환경청, 유진투자증권, 에너지경제연구원, 환경부(기후탄소정책실, 자원순환국), 플랜1.5(민간자문), BNZ파트너스(민간자문), KAIST 녹색성장지속가능대학원 |
| 원자력분야 종사자 그룹 | 산업통상자원부(산업정책실, 에너지정책실), 원자력안전위원회, 한국남동발전, 한국수력원자력, 한국에너지기술평가원, 한국전력거래소, 한국전력공사, 한국전력국제원자력대학원대학교, 한국원자력안전기술원, 한국원자력안전재단, 한국원자력연구원, 한국원자력통제기술원 |
| 야당 | 21, 22대 더불어민주당 국회의원 |
| 여당 | 21, 22대 국민의힘 국회의원 |

(1) 단어 사용 빈도수 분석

과학 보고 사업 중립 기준 정책 그다음 일본 원자력 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기
중립 위해 해리 기준 추진 에너지 안전 환경 관리 영향 관리 시기

환경분야 종사자

안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다
안전 원자력 추진 계획 산업부 규정 중요하다

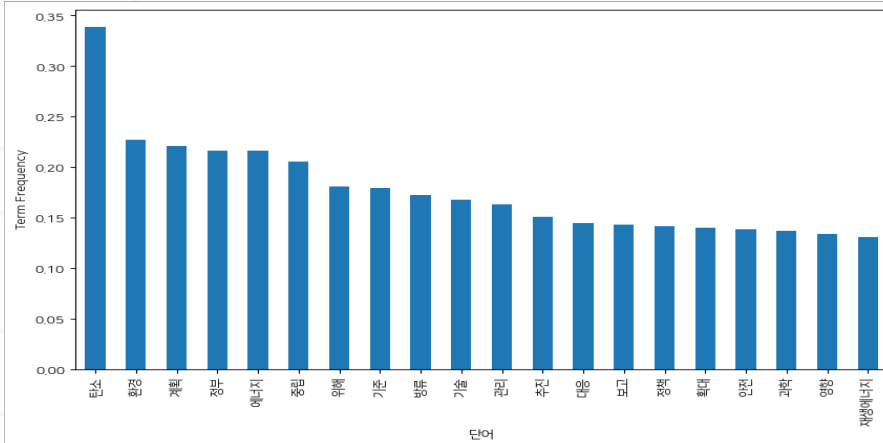
원자력 종사자

평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인
평가 재생에너지 산업부 자다 국가 관리 들다 마이크 위원회 확인

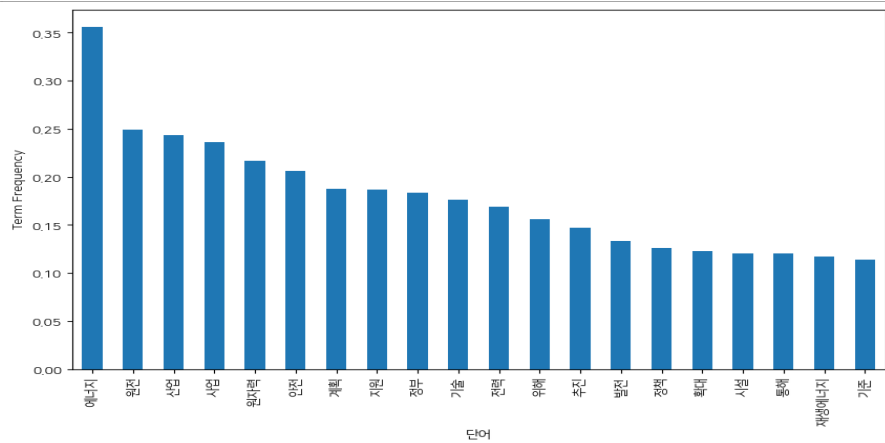
야당(더불어민주당)

지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준
지역 들다 주다 원자력 질의 기준

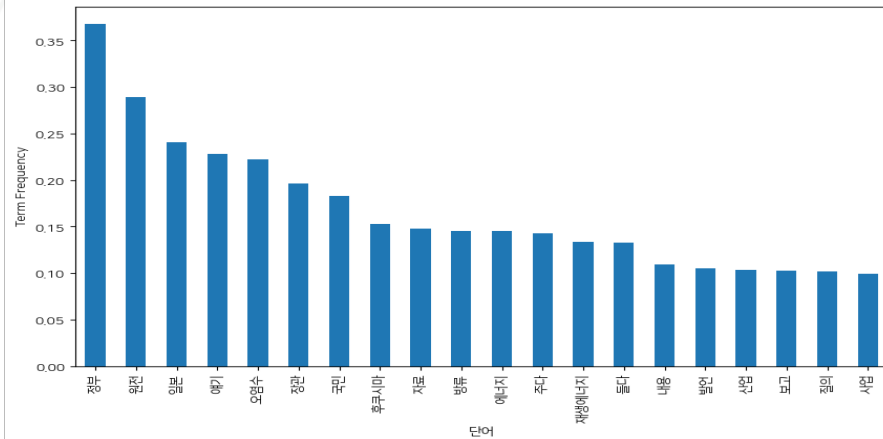
여당(국민의힘)



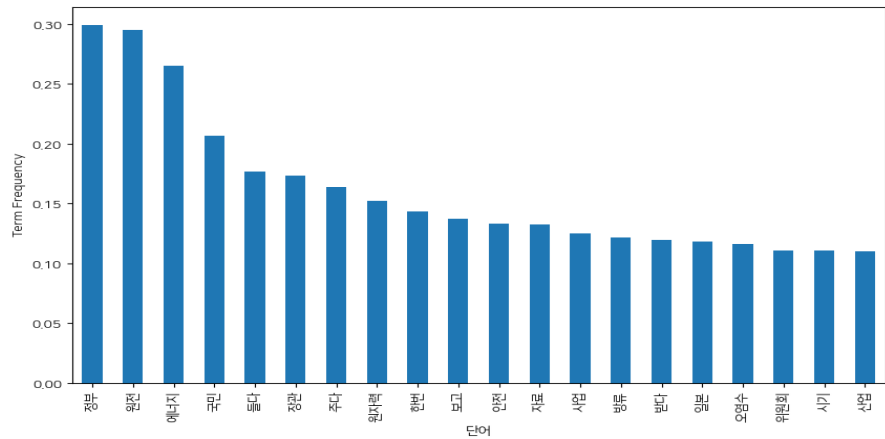
환경분야 종사자



원자력분야 종사자

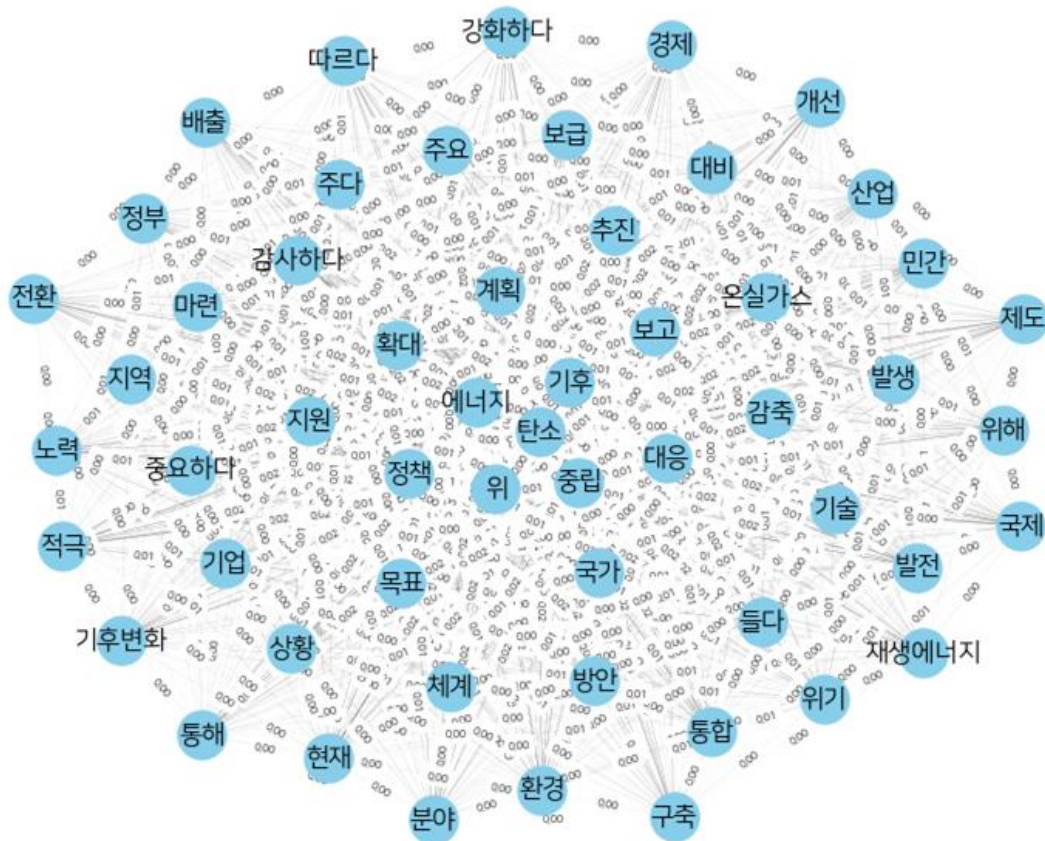


야당(더불어민주당)



여당(국민의힘)

(2) 네트워크 그래프 분석 (단어 중심성)

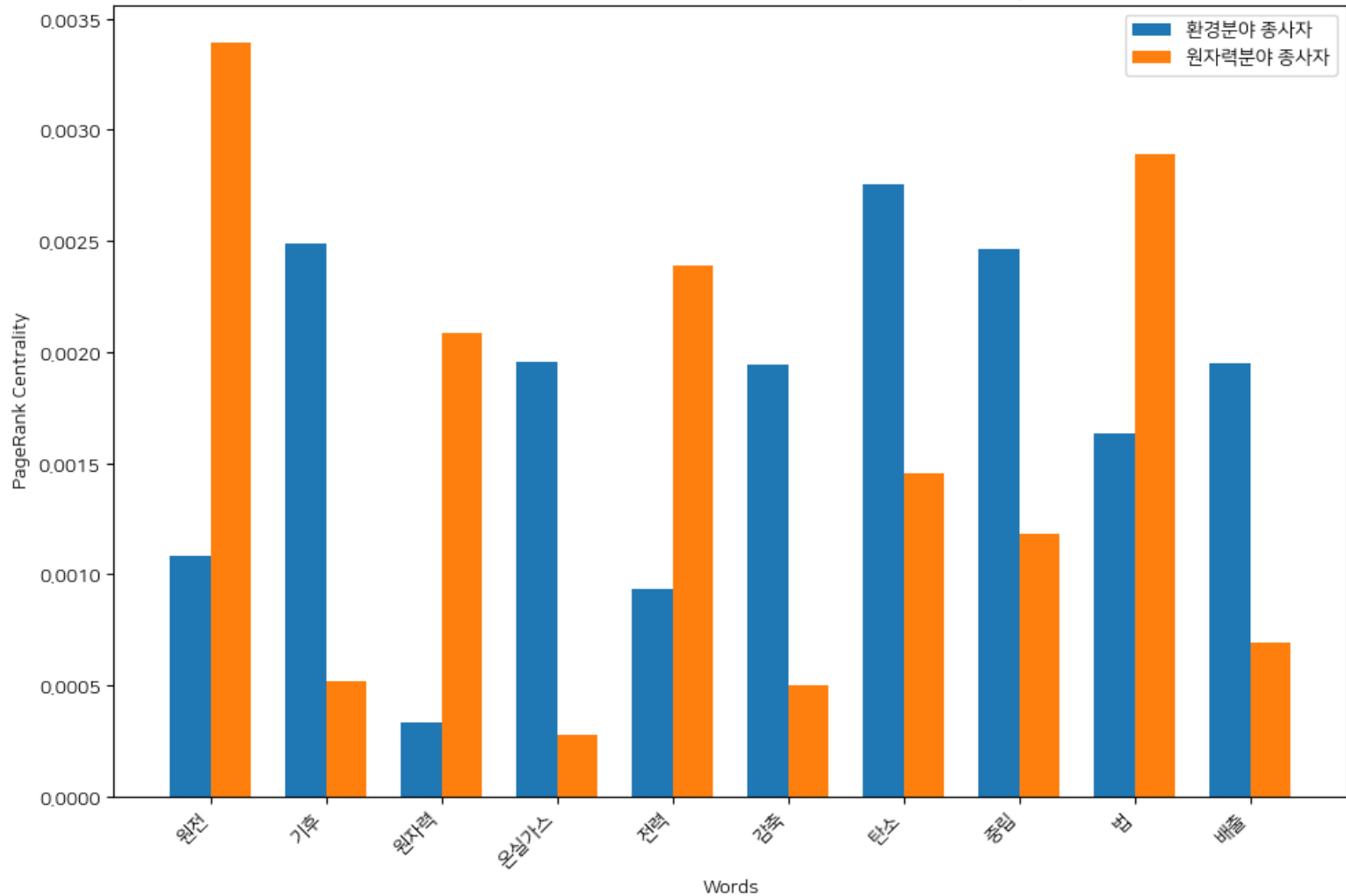


가중 네트워크 그래프 분석:

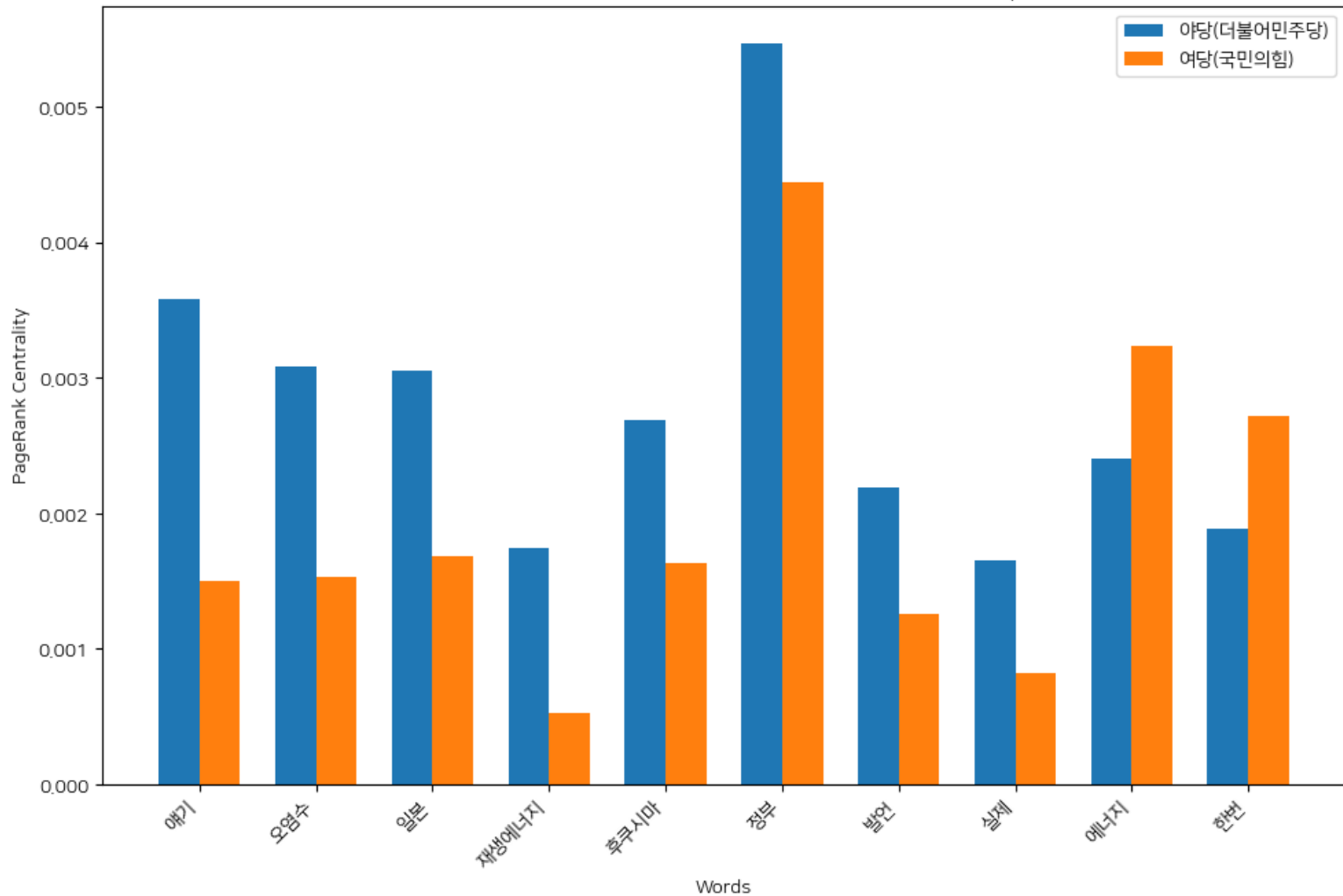
단어의 동시 발생 빈도수를 기반으로 가중 값을 둔 그래프를 구축

페이지랭크 중심성 알고리즘을 통해 구축된 네트워크를 순회하는 과정을 다회 Simulation하여 방문 빈도에 따라 중요한 노드 (node)를 식별

환경분야 종사자 vs 원자력분야 종사자 그래프 중심성(Centrality)



야당(더불어민주당) vs 여당(국민의힘) 그래프 중심성(Centrality)



(3) 키워드 맥락 (컨텍스트) 분석

| 키워드 그룹 | 안전 | 에너지 | 원자력 | 원전 | 전기 |
|---------------|---|--|--|---|---|
| 환경분야 중 사자 | 국민, 계획, 탄소, 정부, 에너지, 환경, 관리, 지역, 아깝다, 우리나라 | 관리, 계획, 아깝다, 기술, 지원, 탄소, 물, 정부, 국민, 환경 | 정부, 점검, 녹색, 방향, 탄소, 관리, 확대, 사업, 주다, 과학 | 관리, 환경, 에너지, 기업, 정부, 기술, 지원, 이렇하다, 재생에너지, 결과 | 계획, 보고, 현재 우리나라, 탄소, 환경, 그러하다, 들다, 받다, 에너지 |
| 원자력 분야 중사자 | 원자력, 방사선, 한 국, 국민, 법, 규제, 관리, 기준, 따르다, 기관 | 확대, 페이지, 노력, 국가, 기업, 경제, 활용, 투자, 지원, 재생에너지 | 안전, 관리, 법, 규제, 기준, 국민, 방사선, 체계, 한국, 국가 | 추진, 활용, 재생 에너지, 지원, 수출, 여러, 세계, 국가, 투자, 노력 | 국민, 정부, 한전, 여러, 재생에너지, 기 준, 협의, 경제, 전기요금, 확보 |
| 야당 | 기술, 관리, 원자력, 한국, 과학기술원, 연구원, 개발, 생명, 진흥, 공단 | 예산, 분산, 전력, 사업자, 활성화, 산업, 전기, 지원, 기 금, 공급 | 기술, 법, 진흥, 안전, 관리, 주식회사, 산업, 연구원, 사업, 만들다 | 사고, 투기, 방류, 오염수, 후쿠시마, 핵, 해양, 처리, 안전하다, 방출 | 태양광, 풍력, 확충, 공급, 탄소, 망, 사업자, 전환, 중립, 출력 |
| 여당 | 원자력, 관리, 과학 기술, 재단, 육성, 사업, 과학기술원, 소관, 특별법, 전기 | 믹스, 산업, 정책, 기술, 전력, 신재생에 너지, 분야, 발전, 공 단, 재생에너지 | 안전, 재단, 기술, 한국, 기금, 과학기술원, 사업, 전 기, 특별법, 소관 | 일본, 처리, 검증, 사고, 과학, 배출, 반대, 분명하다, 기준, 정의용 | 지원, 규정, 통과, 준위, 특별법, 반영, 기금, 소관, 시오, 개선 |

※ 위 표는 각 그룹별 Word2Vec 모델링을 통해 각 키워드를 중심단어로 설정했을때 의미적 벡터 유사성이 제일 큰 10개 주변단어를 출력함

이해 관계 및 정치적 견해에 따른 언어적 차이 분석

- 그룹 간 인식적, 언어적 차이에 대한 분석 결과를 요약하면 아래와 같음

| 분석 | 환경분야 그룹 주요 단어 | 원자력분야 그룹 주요 단어 |
|--------------|-------------------------------|----------------------------------|
| (1) 빈도수 | 탄소, 환경, 후쿠시마 오염수, 재생에너지 | 에너지, 원자력, 안전 |
| (2) 네트워크 중심성 | 기후, 탄소, 재생에너지, 오염수, 일본, 정부 | 원전, 원자력, 전력, 법, 에너지 |
| (3) 키워드 맥락 | 정부, 환경, 탄소, 오염수, 지역 | 규제, 법, 기준, 경제, 투자, 수출, 세계, 과학 |

이해 관계 및 정치적 견해에 따른 언어적 차이 분석

보다 원활한 소통을 위한 제언

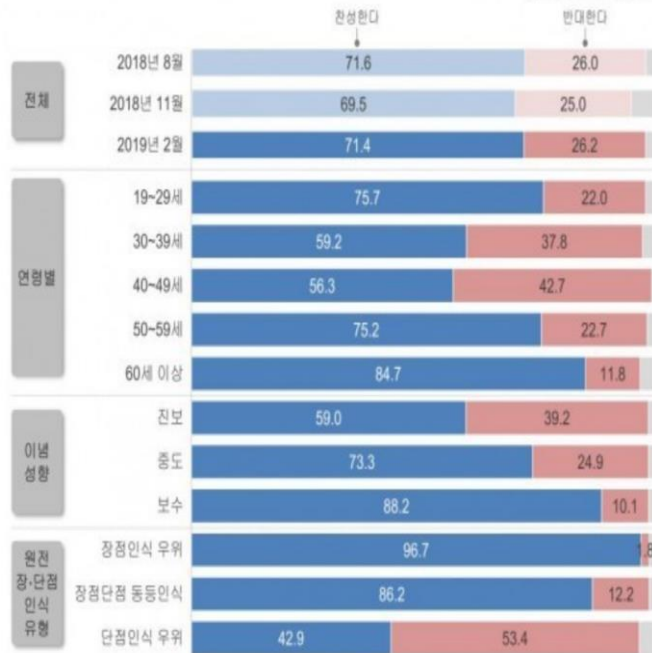
- 인식적, 언어적 차이를 반영, 각 그룹의 가치관과 우선순위를 고려한 소통 필요
- 환경분야 그룹은 “재생에너지,” “환경,” “기후변화” 등의 용어를 주로 사용하며, 원자력 분야 그룹은 “전력,” “원전,” “경제” 등의 용어를 더 많이 사용
- 원자력 분야 그룹은 환경 분야 그룹이 치중하는 용어와 개념에 주목 필요
- SMR은 기존 대형 원전에 비해 기후 변화에 대한 높은 탄력성과 친화성을 갖추
- SMR의 환경적 장점과 기후 변화 대응력을 반영한 소통 전략 및 설문 설계가 찬성과 반대 그룹 간 인식과 언어적 차이를 극복하는 반면 수용성을 포괄적으로 측정하고 이끌어 대안이 될 수 있음

기존 설문 조사

원자력 에너지 사용 찬성과 원자력 에너지, 특히 차세대 원자력 에너지 이해에 기반한 수용성은 별개의 문제

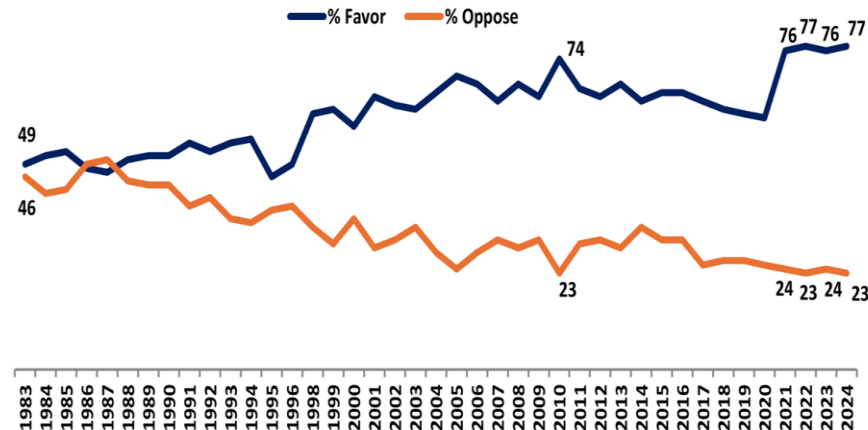
문) 귀하께서는 우리나라에서 전기 생산 수단으로 원자력발전을 이용하는 것에 대해 어떻게 생각하십니까?

[단위 : %, 8월(n=1,000), 11월(n=1,000), 19년 2월(n=1,000)]



Favorability to Nuclear Energy 1983-2024

Overall, do you strongly favor, somewhat favor, somewhat oppose, or strongly oppose the use of nuclear energy as one of the ways to provide electricity in the United States?
(%)

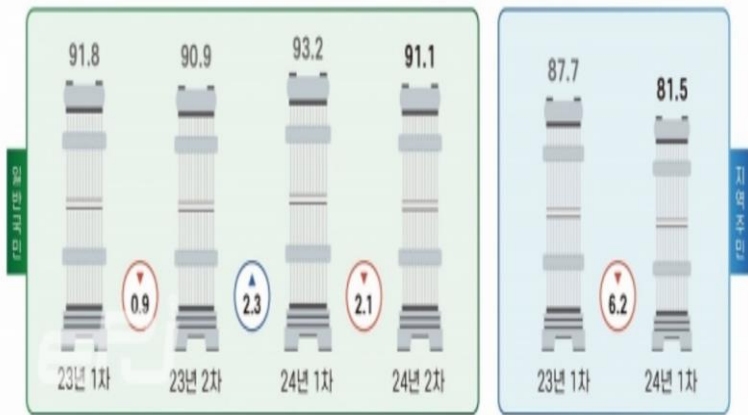


원자력 에너지 사용 찬성과 원자력 에너지, 특히 차세대 원자력 에너지 이해에 기반한 수용성은 별개의 문제

원자력발전 필요성 인식



고준위 방사성폐기물 처분시설 시급성

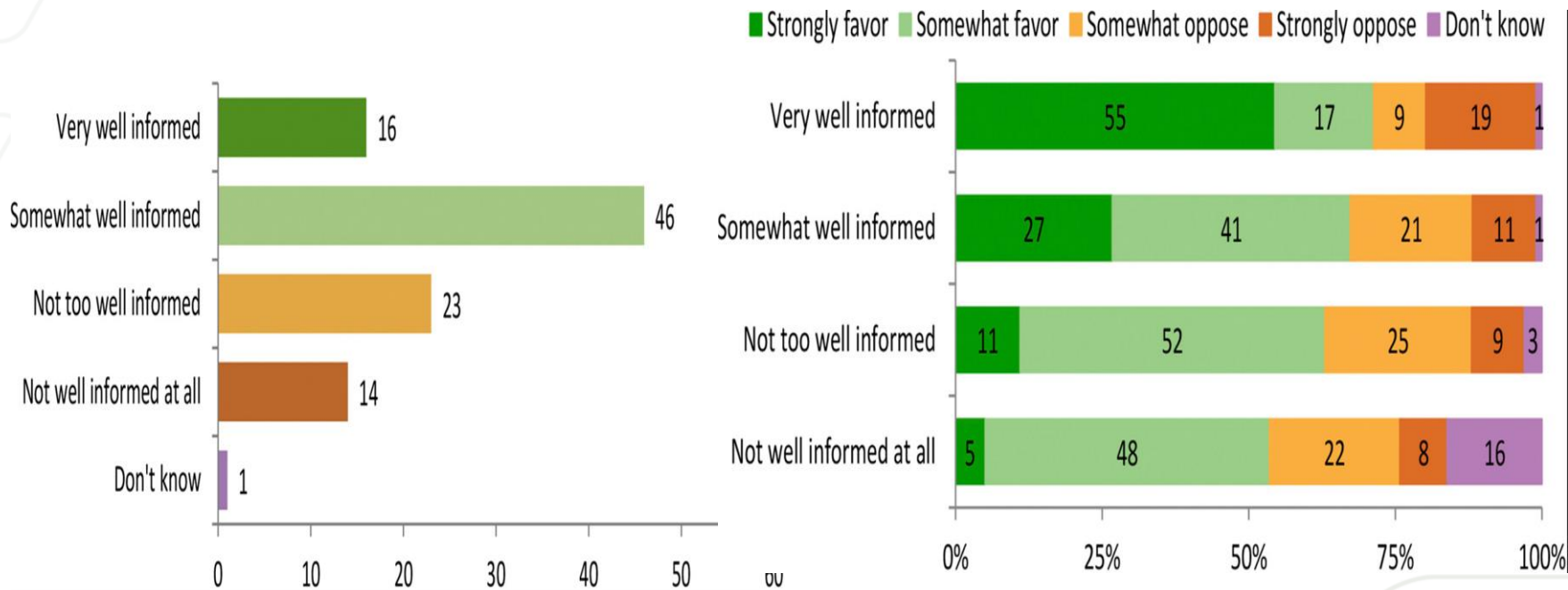


에너지 이용 관련 인식 (1순위 기준)



고준위방사성폐기물 특별 법안
미제정 인지 인식은 16.3%

원자력 에너지 사용 찬성과 원자력 에너지, 특히 차세대 원자력 에너지 이해에 기반한 수용성은 별개의 문제



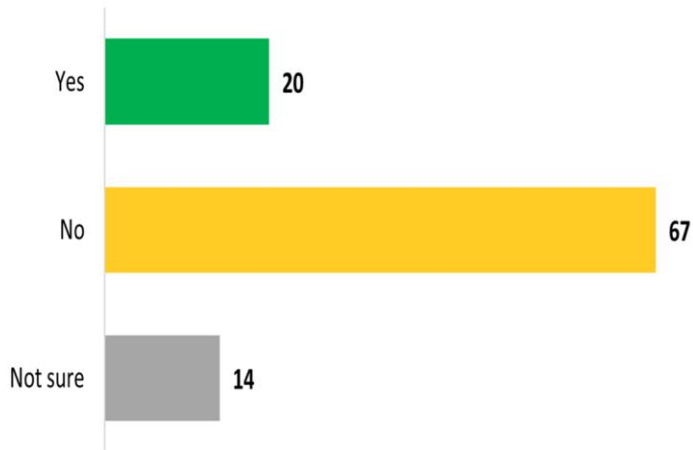
설문문항 워딩과 순서의 중요성 그리고 차세대 원자로에 대한 지식 및 이해 결핍

- *At your own discretion, try to say what is the level of your knowledge in the field of **physical and technical principles of nuclear power plant operation***
No or almost no knowledge (37.4%), basic knowledge (45.7%), advanced knowledge (9.7%), knowledge almost or completely at the level of an expert (1.4%), **no opinion (5.8%)**
- The possibility of using the technology of so-called small nuclear or modular reactors to produce energy from nuclear power is currently being investigated. Have you ever heard of small nuclear or modular reactor technology? **Yes (18.1%), No (72.3%),** Do not know (9.6%)

Nuclear reactor at home? Public acceptance of small nuclear reactors in the neighborhood. Hlavacek et al. (2023) *Frontiers in Energy Research*

설문문항 워딩과 순서의 중요성 그리고 차세대 원자로에 대한 지식 및 이해 결핍

Have you heard anything about advanced-design nuclear power plants called Small Modular Reactors (SMRs)? (%)



Bisconti, A. S. (2023). *Awareness and appeal of small modular reactors (SMRs): Some insights from surveys of the U.S. public and nuclear power plant neighbors*. Bisconti Research, Inc

16. Have you heard anything about advanced-design nuclear power plants called Small Modular Reactors (SMRs)? **Select one answer.**

| | |
|----------|----|
| Yes | 18 |
| No | 67 |
| Not sure | 15 |

Bisconti Research, Inc., & Quest Mindshare. (2024). ***National nuclear energy public opinion survey.***

Online survey of 1,000 nationally representative U.S. adults, April 30-May 2, 2024.

기본지식의 부재함 가운데 찬성/반대의 정도 또는 의견측정하는 기존의 설문방식

| 요인 개념 | 설문 문항 | 평균 | 표준 편차 | 최소 값 | 최대 값 | 신뢰 도 |
|------------|---|------|----------|---------|---------|---------|
| 지식 | -원자력발전은 화력발전보다 경제적이다. | 2.78 | 0.837 | 1 | 4 | 0.741 |
| | -원자력은 잠수함, 진단 및 치료, 품종개량, 식품보존 등에 이용된다. | 2.76 | 0.794 | 1 | 4 | |
| | -원자력발전은 우리나라 전력 생산량의 약 40%를 차지한다. | 2.62 | 0.775 | 1 | 4 | |
| | -원자력발전은 다른 발전방식에 비해 지구 환경보전에 도움이 된다. | 2.50 | 0.762 | 1 | 4 | |
| | -원자력발전소 건설은 정부나 한국 전력공사에서 일방적으로 추진한다. | 2.59 | 0.796 | 1 | 4 | |
| | -어느 정도 위험이 있어도 이익이 되면 과학기술을 이용해야한다. | 2.57 | 0.826 | 1 | 4 | |
| | -원자력발전소의 방사선보다 많은 양의 자연방사선을 받으며 생활한다. | 2.49 | 0.726 | 1 | 4 | |
| 안전 (위험) | -원전주변에 살면 질병에 걸릴 가능성이 높다.(-)* | 2.41 | 0.789 | 1 | 4 | 0.809 |
| | -원자력발전은 주변 환경에 방사능 오염을 일으킨다.(-) | 2.39 | 0.758 | 1 | 4 | |

| 원자력이용 | 지식 요인 | | 안전 요인 | | 신뢰 요인 | | 에너지 요인 | | N | (%) |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|
| | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | | |
| 매우 찬성 | 0.728 | 1.160 | 0.442 | 1.270 | 0.157 | 1.187 | 0.153 | 1.223 | 95 | (7.5) |
| 약간 찬성 | 0.080 | 1.014 | 0.086 | 0.948 | 0.083 | 0.962 | 0.070 | 0.975 | 610 | (54.1) |
| 중립 | -0.261 | 0.839 | -0.150 | 0.866 | -0.070 | 0.990 | -0.069 | 0.962 | 330 | (31.1) |
| 약간 반대 | -0.351 | 0.732 | -0.485 | 1.114 | -0.481 | 0.952 | -0.337 | 0.915 | 76 | (7.3) |
| 매우 반대 | -0.437 | 0.929 | -0.669 | 1.628 | -0.481 | 0.785 | -0.767 | 1.082 | 12 | (1.0) |
| 계 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1,123 | (100.0) |

송하중, 김주경, 고대유, 황원동. (2011).

우리나라 국민들의 원자력발전 수용성에 미치는 영향요인 분석. 한국지방행정학보, 8 (2), 109-132.

원자로 수용성 조사에 있어서 정보와 프레임의 효과

〈표 3〉 측정문항 및 신뢰도

| 요인 | 변수 | 측정문항 | 척도 | 신뢰도 |
|------------|-------------|--|--|------|
| 인구학적 요인 | 성별 | 문SQ1) 귀하의 성별은 어떻게 되십니까? | ① 남성 ② 여성 | |
| | 연령 | 문SQ2) 실례지만 귀하의 우리나라 나이(연세)는 어떻게 되십니까? | 만 () 세 | |
| | 학력 | DQ1. 귀하는 정규교육을 어디까지 받았습니까? 졸업을 기준으로 말 씀해주세요. ① 무학, ② 초등학교 중퇴, 졸업, ③ 중학교 중퇴, 졸업, ④ 고등학교 중퇴, 졸업, ⑤ 대학재학 중, ⑥ 대학 중퇴, 졸업, ⑦ 대학원 재학, ⑧ 대학원 졸업 이상 | | |
| | 가구 소득 | 문SQ3) 귀대 전체의 월평균 총소득은 대략 얼마나 됩니까? 귀하를 포 함한 모든 동거가족의 수입을 포함하여 말씀해 주십시오. | 월 _____ 만원 | |
| | 거주 지역 | SQ3. 귀하가 거주하시는 지역은 어떻게 되십니까? 1. 서울, 2. 부산, 3. 대구, 4. 인천, 5. 광주, 6. 대전, 7. 울산, 8. 경 기, 9. 강원, 10. 충북, 11. 충남(세종시 포함), 12. 전북, 13. 전 남, 14. 경북, 15. 경남, 16. 제주 | | |
| 독립 변수 | 편익인식 | 문1. 다음의 의견들에 대해 어느 정도 동의하는 자를 말씀해 주십시오. 1. 원자력 에너지는 현재 기후변화 문제를 해결하는데 기여할 수 있다. 2. 원자력 에너지는 환경문제 해결에 기여할 수 있다. 3. 원자력 에너지는 가격이 저렴하고 안정적으로 공급될 수 있다. 4. 원자력은 국가 경제발전에 기여한다. | ① 매우 아니다 ② 약간 아니다 ③ 보통 ④ 약간 그렇다 ⑤ 매우 그렇다 | .835 |
| | 위험인식 | 문1) 다음의 의견들에 대해 어느 정도 동의하는 자를 말씀해 주십시오. 5. 원자력 발전으로 인해 개인적으로 생명의 위협을 느낀다. 6. 원자력 발전은 위험한 폐기물을 만들어낸다. 7. 원자력 발전은 사람들의 건강에 해롭다. 8. 원자력 발전소는 위험하다. | | .808 |
| | 원자력 정부신뢰 | 문20. 다음은 인터넷상에서 원자력과 관련된 내용 중 정부, 인터넷, 개인 혹은 자신에 대한 신뢰와 역망에 관한 질문입니다. 진술 문을 읽고 응답해 주십시오. 1. 정부는 원자력 안전규제와 관련해 충분한 역량이 있다. 2. 정부는 원자력 안전과 관련된 사실들을 정확하게 전달한다. 3. 정부는 원전정책 결정시 국민들의 의견을 반영하기 위해 노력한다. 4. 정부는 원전정책에 대하여 공정하게 의사결정을 한다. 5. 정부는 원자력 안전정보를 투명하게 공개하고 있다. 6. 정부의 원자력 안전정보를 원전관련 위협을 통제하는데 충분하다. 7. 정부의 원자력 안전규제는 안전을 확보하는데 적절한 수준이다. 8. 정부가 규제를 통해 원자력 발전소를 신뢰할만한 수준으로 안전하 게 운영하고 있다. 9. 정부의 다양한 규제로 인해 원자력 발전소의 사고 위험이 줄었다. 10. 나는 정부의 원자력 발전소에 대한 안전규제를 신뢰 한다. | ① 매우 아니다 ② 약간 아니다 ③ 보통 ④ 약간 그렇다 ⑤ 매우 그렇다 | .965 |

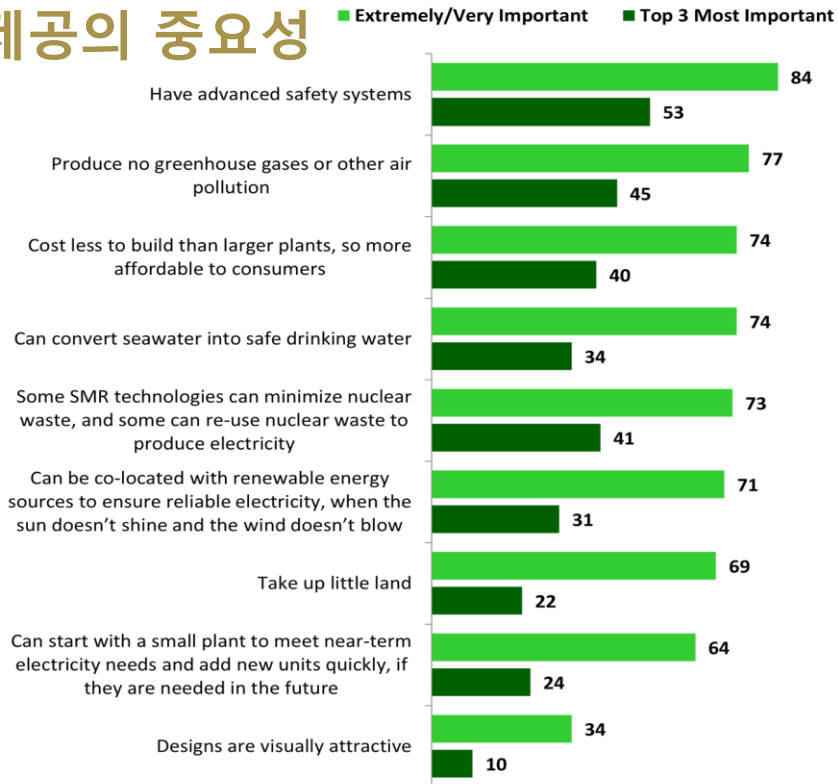
| | | | | |
|------------|-------------------------|---|---|--|
| 원자력 프레임 | 긍정적 프레임 [A집단] | 한국전력에 따르면 1년 동안 우리나라에 요구되는 전기량은 517,771 GWh이다. 이를 생산하기 위해 드는 비용이 원자력 발전 (18조4천5백억 원)은 태양광발전의 1/20, LNG와 석유의 약 1/5로 매우 효율적이다. 뿐만 아니라 이산화탄소의 배출량은 석탄의 1/100, 석유의 1/80, 태양광 1/6로 친환경적 에너지원이라고 할 수 있다. | | |
| | 부정적 프레임 [B집단] | 원자력 발전이 경제적 에너지원이라는 인식이 있지만 원자력 발전에 는 드러나지 않는 비용이 있다. '원전의 드러나지 않는 비용' 보고서에 따르면 사용 후 핵연료 처분비용이 약 72조 원으로 추산되고 원전을 사용한 후 해체비용에 대해서 유럽감사원(ECA) 기준 추정치 약 23조 6000억 원이라는 비용이 있다. | | |
| 인식 유사도 | 기존 원자 력 인식과 의 유사도 | 문26-2. 위 기사는 원자력에 대해 본인이 가지고 있던 기존의 생각과 유사한 방향입니까? | 1. 전혀 유사하지 않다 2. 약간 유사하지 않다 3. 보통이다 4. 약간 유사하다 5. 매우 유사하다 | |
| 집단 구분 | 원자력 입장 | 문2. 귀하는 모든 점을 고려할 때 원자력에 대해서 어떤 입장을 가지 고 있습니까? | 1. 원자력 찬성론자 2. 중립론자 3. 원자력 반대론자 | |
| 종속 변수 | 정 책 수 용 성 | 문3. 우리나라의 실정에 비추어 볼 때, 원자력발전이 어느 정도 필요 하다고 생각하십니까? | ① 전혀 필요없음 ② 별로 필요없음 ③ 보통 ④ 약간 필요함 ⑤ 매우 필요함 | |
| | 후 | 문26-1. 위 기사를 읽으신 후, 우리나라의 실정에 비추어 볼 때 원자 력발전이 어느 정도 필요하다고 생각하십니까? | | |

김근식, 이선우. (2018).

원자력수용성에 대한 메시지 프레임 효과 분석: 긍정/부정 프레임의 영향을 중심으로. 정책분석평가학회보, 28(2), 185-220.

원자로 수용성 조사에 있어서 객관적이고 포괄적인 정보 제공의 중요성

Question: How important to you are the following features of Small Modular Reactors (SMRs)? (%)
Select the three SMR features that are most important to you. (%)



Awareness and Appeal of Small Modular Reactors (SMRs): Some Insights from Surveys of the U.S. Public and Nuclear Power Plant Neighbors. *Bisconti Research, Inc. April - May 2023*

기존 설문 조사 요약

- **질문 방법** : 단순 객관식 (multiple-choice) 질문 방법
- **질문 내용** : 추가 건설 수용 여부, 수용 가능 거리, SMR 열난방 동의 여부, SMR 중요 장점 선택
- **문제점**
 - 설문조사 참여자 내 낮은 SMR 인지도(각 설문 조사자 인지율 20%, 18.1%)
 - SMR 설명 시 비교 대상이 기존 원자력(Large Nuclear power Plant)에 한정됨
- **개선 방향**
 - SMR에 관한 기본 정보 제공
 - 시나리오/특성 비교 설문 조사
 - SMR 설명 시 특성 비교 대상을 석탄, LNG, 재생에너지 등으로 확대

개선 방안

차세대 원자로에 대한 과학적, 객관적 사실에 기반한 설명문 제공 (3분이내로 완독 가능하여야 함)

- **소형 모듈형 원자로**(SMR, Small Modular Reactors)

기존 원자로와 달리 작은 크기로 설계되며, 부품(모듈)별로 생산 후 조립하는 형태의 원자로입니다. 복잡한 현장 건설 과정을 단순화하고, 다양한 장소에 빠르게 설치할 수 있는 유연성을 제공하는 점에서 주목받고 있습니다.

- **경제성**: 공장 생산으로 초기 건설비용 및 기간이 낮아질 수 있으며, 생산 단가가 현재 보다 내려갈 수 있다고 알려져 있습니다. 그러나 기술 초기 단계에서의 경제성은 아직 명확하지 않으며, 대량 생산 체계가 확립되지 않은 상태에서 비용 절감 효과는 미지수입니다.

- **발전 단가**: 대형 원자력에 비하긴 어렵지만 재생에너지와 비슷하거나 저렴하며 화력 에너지에 비해서는 더 저렴합니다.

차세대 원자로에 대한 과학적, 객관적 사실에 기반한 설명문 제공 (3분이내로 완독 가능하여야 함)

- **안전:** 대형 원전과 달리 배관을 사용하지 않고 하나의 용기에 통합되어 있어, 가장 위험한 배관 파손의 우려가 없습니다. 또한, 전기가 차단되더라도 자연 대류나 중력 등 물리 법칙을 이용해 작동하기 때문에 매우 안전합니다. 이로 인해 후쿠시마와 같은 전력 공급 중단으로 인한 사고를 방지할 수 있으며, 자동으로 자체 폐쇄 기능을 갖추고 있어 사람의 실수로 인한 사고 발생 가능성이 매우 낮습니다. 하지만 현재로서는 장기적으로 운영된 적이 없어 데이터가 부족한 것이 현실입니다.
- **탄소배출:** 풍력 태양열 재생에너지와 비슷하거나 더 적은 수준입니다
- **미래 수요:** 에너지 전환 과정에서 탄소 배출을 줄이기 위한 대안으로 주목받고 있습니다. 특히 AI 발전 등으로 미래 전력 수요가 높아지는 전망 속에 구글 등 빅테크 기업들이 SMR 사용 합의를 하는 등 관련 수요가 더욱 커질 전망입니다.

에너지 믹스에 대한 기본 정보 제공

- 에너지원별 특성은 아래와 같습니다.

| 비교 항목 | 석탄 | 원자력 | 차세대 원자로 (소형 모듈 원자로) | 액화천연가스 LNG | 재생에너지 |
|-------------------|--|--|---|--|--|
| 탄소 배출량 (톤/GWh) | 888 | 29 | 20-40* | 499 | 26-85 |
| 가동 기간 | 30년 | 60년 이상 | 60년 이상 | 30년 | 20-30년 |
| 단가 (원/kWh) | 122원 | 51원 | 60-70원 | 179원 | 129원 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> - (초)미세먼지 발생 - 많은 탄소 배출 | <ul style="list-style-type: none"> - 반영구 폐기물 발생 - 중대사고 시 방사능 노출 위험 | <ul style="list-style-type: none"> - 반영구 폐기물 발생 - 중대사고 시 방사능 노출 위험 (기존 원전의 1/1000 수준) | <ul style="list-style-type: none"> - 연료 전량 수입 - 연료 고원가 | <ul style="list-style-type: none"> - 낮은 이용률 (하루 중 15-25%만 발전가능) - 넓은 설비면적 필요 |

참고 *: 차세대 원자로에는 아직 시범 운영 케이스가 없으므로 예상치임.

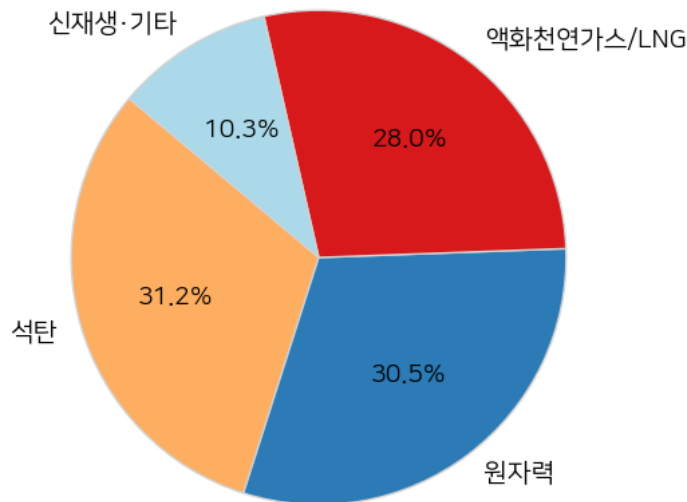
Baseline Information Group

- 현재 한국의 에너지원별 발전 비중 순위
석탄(31.1%),
원자력(30.4%),
액화천연가스/LNG (27.9%),
신재생·기타(10.3%)

귀하는 앞서 제공된 정보에 비추어 봤을 때
앞으로 한국의 전기 발전원이 어떻게 바뀌어야
한다고 생각하십니까? 아래의 막대바를 움직여
퍼센트를 표기해주시기 바랍니다.

(각 에너지원의 총합이 100%가 되어야만 설문이 완료됩니다)

- 위 정보를 고려했을 때, 차세대 원자로 개발에 적극적으로 투자하고 미래 기술에 활용하는 것에 얼마나 중요하다고 생각하십니까?
- 차세대 원자로가 귀하의 주거지역에서 (10km, 50km, 100km) 건설된다면 찬성하시겠습니까?



개선 방안: **Vignette Factorial Design Experiment**

Vignette Factorial Design Experiment란

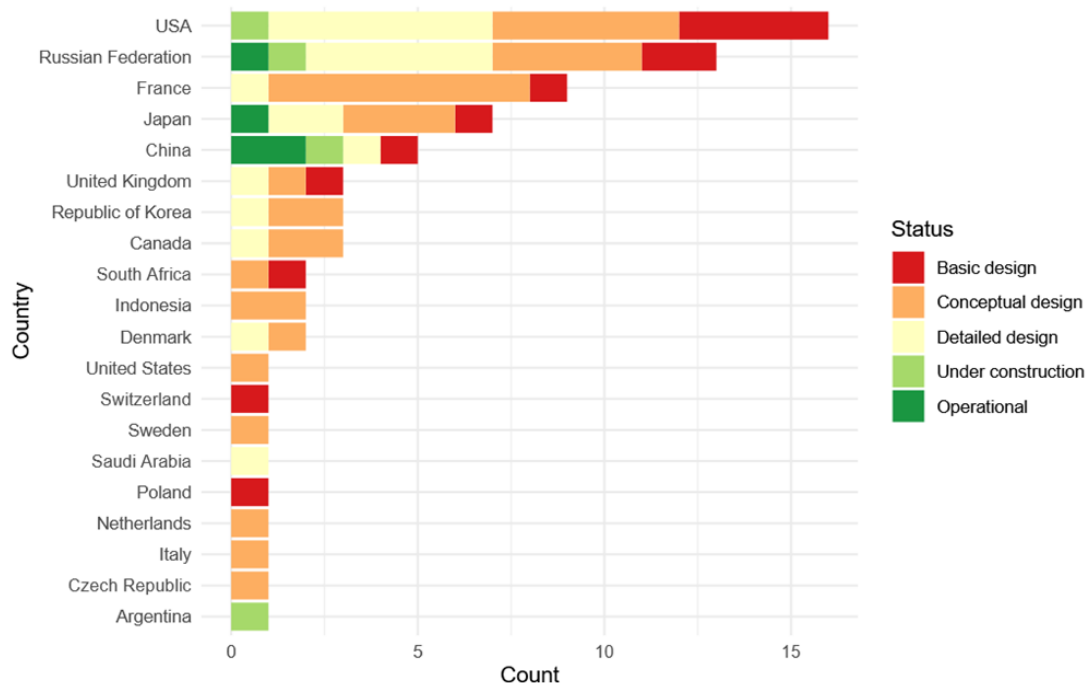
- 피험자에게 가상의 시나리오(Vignette)를 제시하는 연구 방법
- 시나리오의 특성이나 통계를 체계적으로 조정하여 제시하고, 이러한 특성이 피험자의 반응, 태도 또는 인식에 미치는 영향을 분석함
- 각 특성이 참가자의 시나리오에 대한 인식에 미치는 영향을 개별적으로 구분하여 분석이 가능

Vignette: 1) 과학기술 국제경쟁력 우위 확보

- 아래 제공되는 정보는 사실과 객관적인 출처에 입각했음을 알려드립니다.
- 현재 러시아, 미국, 아르헨티나, 영국, 인도, 중국, 프랑스, 캐나다 등 전세계 많은 기술 선진국에서 차세대 원자력인 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactor) 개발에 박차를 가하고 있습니다. 이 기술은 대체로 2030년대에 시장이 형성될 것으로 예상되며, 현재 상용화 직전 단계로 평가됩니다.
- 국제원자력기구 IAEA의 보고서에 따르면 80개의 소형 모듈 원자로 설계가 추진되고 있지만, 상용화에 있어서는 여전히 어려움이 존재합니다. 현재까지 상용화된 소형 모듈 원자로로는 중국과 러시아 등이 보유하고 있으며, 이들 모두 성능 부진과 비용 초과와 같은 이슈를 겪고 있습니다.
- 한국에서는 한국원자력연구원에서 기술을 개발 중이며 2012년 세계 최초로 소형 모듈 원자로 표준설계인가 과정을 마쳤으나 그동안 건설 요청이 없었습니다. 이에 기술을 보완, 개선하여 2028년 두 번째 인가를 준비중에 있고, 이후 2034년 9월에 첫 호기 건설을 목표로 하고 있습니다. 미국, 영국, 러시아, 중국, 일본 등 전 세계 각국에서는 2020년대 후반부터 2030년 초소형 모듈 원자로 준공을 목표로 추진하고 있습니다.

Vignette: 1) 과학기술 국제경쟁력 우위 확보

- 오른쪽 차트는 국제원자력기구(IAEA)의 2024년 소형 모듈 원자로 카탈로그를 기반으로 제작되었으며, 전 세계 주요국가들의 소형 모듈 원자로설계안 개수와 각 진척도를 보여줍니다. 한국은 총 3개의 설계안을 보유하고 있지만 실제 운영중이거나 건설중인 것 (초록색)이 없다는 점에서 후발주자로서 앞서가는 미국, 러시아, 중국, 일본을 추격해야 하는 상황입니다.



Vignette: 1) 과학기술 국제경쟁력 우위 확보

- 미국이 우리나라보다 기술력이 비등하거나 뛰어날 수 있지만 가격이 비싼 편이고, 한국은 대형원전을 설계하고 건설·운전·인허가까지 전 주기적으로 할 수 있는 산업군을 이미 확보했다는 점에서 우리나라도 강점이 있다고 평가됩니다.
- 이러한 세계 원자력 발전소 및 설비시장에서의 한국의 국제 경쟁력 우위는 최근 (2024년 7월) 체코에 한국수력원자력 (한수원)을 주축으로 한 민·관 합동 '팀코리아'가 미국과 프랑스를 물리치고 사업비 30조원 규모의 대형 원전 2기 건설 수주를 따내며 입증한 바 있습니다.
- 차세대 원자력에 있어서도 우리 정부는 '한국형 차세대 원자로 기술개발 및 실증 프로그램 (K-ADRP)'을 통해 차세대 원자로 설계 역량을 보유한 민간기업을 육성하고, 민·관 합동으로 기술개발부터 실증까지 지원하는 약 2조5000억원 규모 대형 프로젝트를 추진할 계획입니다.

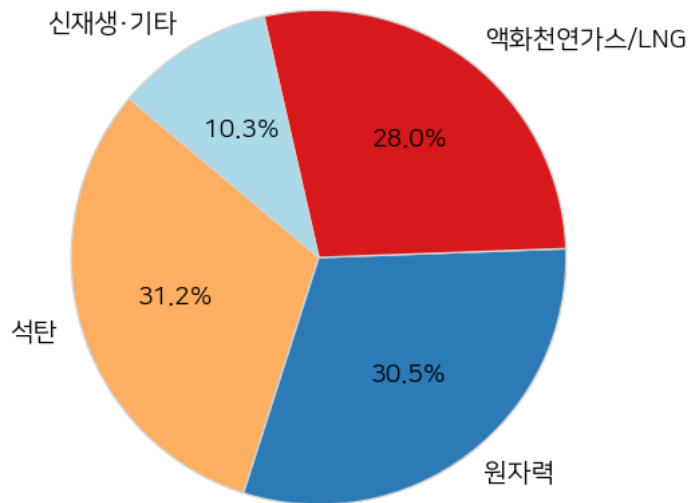
수용성 조사 질문

- 현재 한국의 에너지원별 발전 비중 순위는 석탄(31.1%), 원자력(30.4%), 액화천연가스/LNG (27.9%), 신재생·기타(10.3%) 순입니다.

귀하는 국제 기술경쟁력 우위 확보 관점에서 앞으로 한국의 전기 발전원이 어떻게 바뀌어야 한다고 생각하십니까?

아래의 막대바를 움직여 퍼센트를 표기해주시기 바랍니다.

(각 에너지원의 총합이 100%가 되어야만 설문이 완료됩니다)



- 위 정보를 고려했을 때, 차세대 원자로 개발에 적극적으로 투자하고 미래 기술에 활용하는 것이 얼마나 중요하다고 생각하십니까?
- 차세대 원자로가 귀하의 주거지역에서 (10km, 50km, 100km) 건설된다면 찬성하시겠습니까?

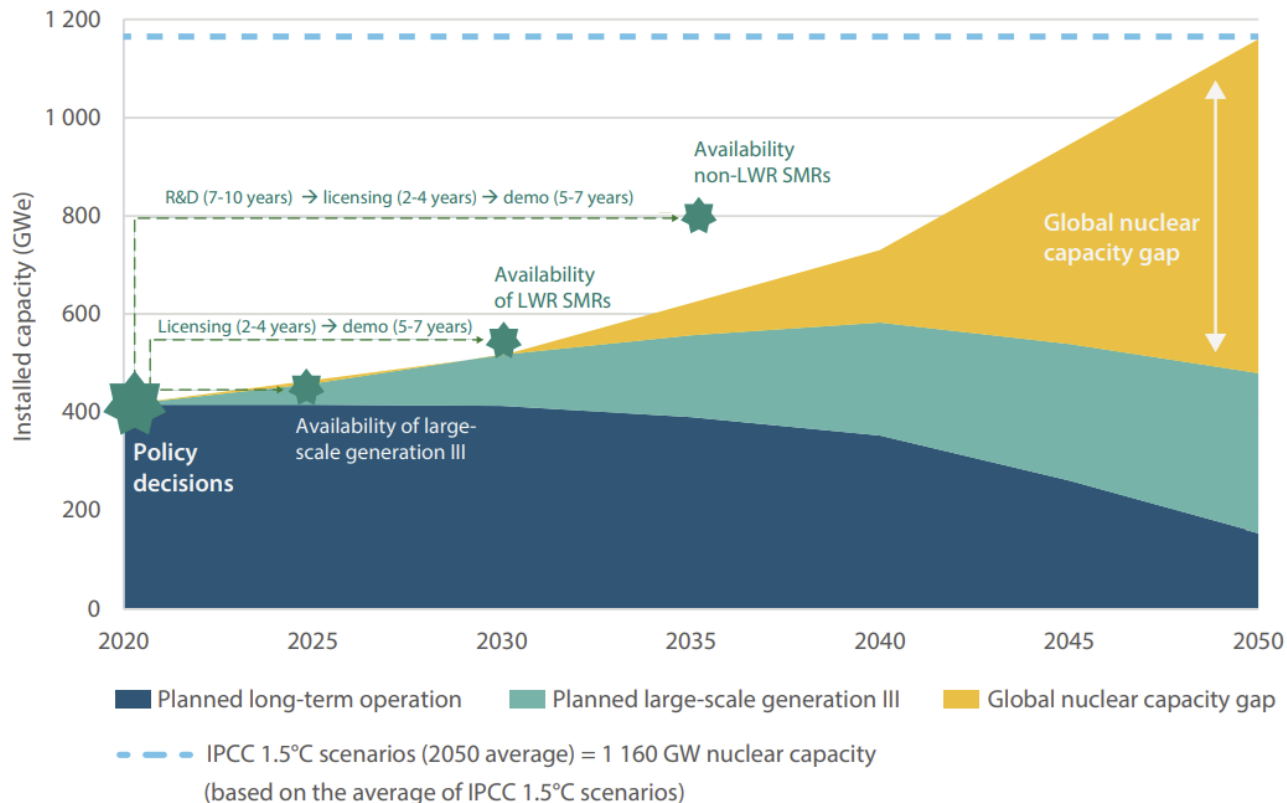
Vignette: 2) 탄소배출 환경 지속성 및 친화성

- 원자력 발전은 탄소 배출이 적은 클린 에너지 (clean energy)로 평가되고 있습니다. 다음 표는 세계원자력협회(World Nuclear Association)에서 발표한 다양한 에너지원의 킬로와트 당 이산화탄소 배출량 (CO_2/kWh)을 요약하여 보여줍니다.

| 에너지원 | 석탄 | 천연가스 | 태양광 | 원자력 | 수력 | 풍력 |
|---------------|-----|------|-----|-----|----|----|
| 배출량 평균(톤/GWh) | 888 | 499 | 85 | 29 | 26 | 26 |

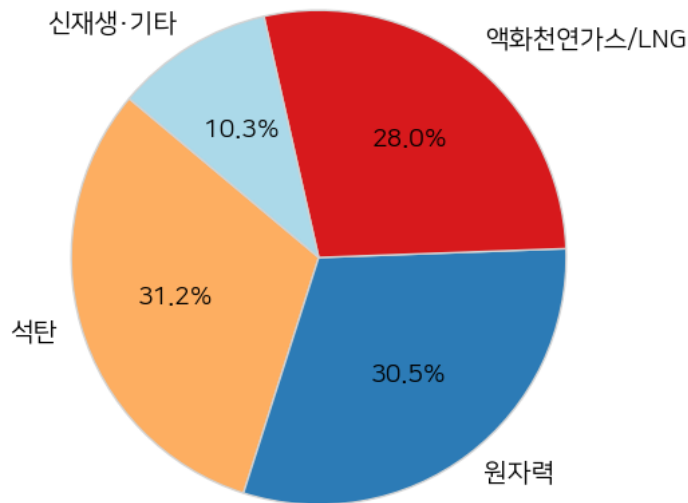
- 원자력의 이산화탄소 배출량은 석탄에 비해 30배 적으며, 태양광과 비교해도 3배 가까이 적으며 신재생에너지 중 탄소배출량이 제일 적은 풍력과 수력에 비슷한 수준으로 추산되고 있습니다.
- 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC: 기후변화 문제에 대처하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔 환경계획(UNEP)이 1988년에 공동 설립한 국제기구)는 1.5도 상승으로 인한 기후 온난화를 막기 위해서 2050년까지의 원자력 에너지의 수급량 가이드라인을 제시한 바 있습니다. 원자력기구(NEA)는 해당 가이드라인을 맞추기 위한 전 세계 원자력 발전 추가 공급분 (global nuclear capacity gap)에서 차세대 원자력인 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactor)가 50%이상을 담당해야 한다고 제안하고 있습니다.

Vignette: 2) 탄소배출 환경 지속성 및 친화성



수용성 조사 질문

- 현재 한국의 에너지원별 발전 비중 순위는 석탄(31.1%), 원자력(30.4%), 액화천연가스/LNG (27.9%), 신재생·기타(10.3%) 순입니다.
- 귀하는 탄소배출 환경 지속성 및 친화성관점에서 앞으로 한국의 전기 발전원이 어떻게 바뀌어야 한다고 생각하십니까?
아래의 막대바를 움직여 퍼센트를 표기해 주시기 바랍니다.
(각 에너지원의 총합이 100%가 되어야만 설문이 완료됩니다)
- 위 정보를 고려했을 때, 차세대 원자로 개발에 적극적으로 투자하고 미래 기술에 활용하는 것이 얼마나 중요하다고 생각하십니까?
- 차세대 원자로가 귀하의 주거지역에서 (10km, 50km, 100km) 건설된다면 찬성하시겠습니까?



Vignette: 3) 기후위기 대응력과 안전성

- 기존의 대형 원자력 발전소는 원자로에서 핵 분열시 생성되는 열의 냉각을 위해 해안가에 위치해야 했던 반면에 차세대 원자로인 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactors)는 다른 냉각재나 더 적은 냉각수로도 열이 냉각되기 때문에 지하에 설치될 수 있습니다.
이러한 융통성 (flexibility) 때문에 주거단지 인근에 위치해도 지진과 쓰나미와 같은 자연재해로부터 안전할 것으로 예상됩니다.
- 지진과 쓰나미가 대형 원자력 발전소의 주된 안전위험요소임을 고려했을 때, 소형 모듈 원자로는 기후 위기로부터의 대응력이 뛰어나며, 복잡하지 않은 공학적 디자인 때문에 운용시 위험도가 대형 원자로에 비해 1,000배나 낮은 것으로 추산되고 있습니다.
- 또한, 재생에너지와 비교했을 때에도 소형 모듈 원자로는 일조량이나 풍속 등 자연 조건에 크게 의존하지 않고 안정적인 전력 생산이 가능하다는 장점이 있습니다.
재생에너지는 기후 변화로 인해 발전량에 변동성이 클 수 있다는 취약점이 있으나, 소형 모듈 원자로는 안정적이고 지속 가능한 에너지원으로서 재생에너지를 보완하며, 장기적으로 탄소 배출 감소와 전력 공급의 균형을 맞추는 데 기여할 수 있습니다.

Vignette: 3) 기후위기 대응력과 안전성

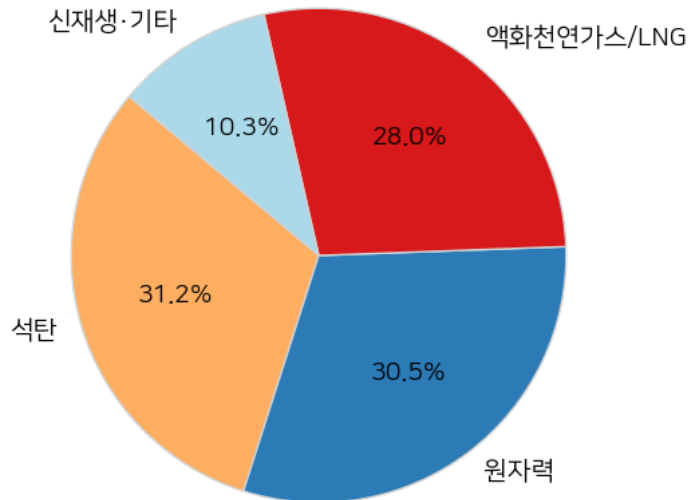
- 또한, 만약의 하나, 응급상황 발생 시, passive safety system이라는 기능을 사용하여 사람의 주관적인 판단이나 오류가 개입할 여지가 없이 원자로 시스템을 자동적으로 차단하고 냉각재로 해결할 수 있는 높은 안전성을 보유하고 있습니다.

수용성 조사 질문

- 현재 한국의 에너지원별 발전 비중 순위는 석탄(31.1%), 원자력(30.4%), 액화천연가스/LNG (27.9%), 신재생·기타(10.3%) 순입니다.

귀하는 기후위기 대응력과 안전성의 관점에서
앞으로 한국의 전기 발전원이
어떻게 바뀌어야 한다고 생각하십니까?
아래의 막대바를 움직여 퍼센트를
표기해 주시기 바랍니다.

(각 에너지원의 총합이 100%가 되어야만 설문이 완료됩니다)



- 위 정보를 고려했을 때, 차세대 원자로 개발에 적극적으로 투자하고 미래 기술에 활용하는 것이 얼마나 중요하다고 생각하십니까?
- 차세대 원자로가 귀하의 주거지역에서 (10km, 50km, 100km) 건설된다면 찬성하시겠습니까?

Vignette: 4) 비용과 경제성

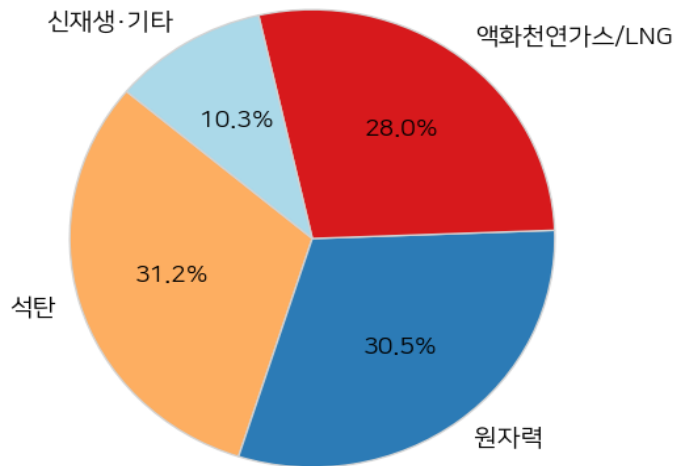
- 기존의 대형 원자력 발전소는 막대한 초기 건설비용과 긴 건설기간이 요구되며, 그에 따라 전력생산 비용이 높아질 수 있는 반면에, 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactors)는 모듈형 설계를 통해 **공장에서 대량으로 제작이 가능하고, 현장에서의 설치 시간과 비용을 대폭 줄일 수 있을 것으로 예상**됩니다. 이러한 융통성 덕분에 보다 **다양한 지역에 설치가 가능**하며, 기술이 성숙해 짐에 따라 대형 발전소에 비해 **초기 투자 비용을 크게 절감**할 수 있습니다.
- 대형 원자로의 경우, 장기간의 건설 기간으로 인해 비용 초과와 예산 불안정성이 발생할 수 있는 반면, 소형 모듈 원자로는 설계의 단순화와 짧은 설치 기간 덕분에 이러한 **경제적 위험을 최소화**합니다.
- 더불어 작은 규모로 인해 **다양한 전력수요에 유연하게 대응할 수 있어 시장 상황에 맞춰 효율적 운영**이 가능합니다.
- 마지막으로, 소형 모듈 원자로의 소형화된 설계는 **유지보수와 운용 비용을 절감**할 수 있는 장점을 제공합니다.

Vignette: 5) 핵 사용후 연료와 환경 영향성

- 차세대 원자로인 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactors)는 기존 원전보다 사용후핵연료를 적게 배출할 것으로 알려져 있습니다. 특히 특정 설계와 냉각재를 사용하는 경우에는 이론상 높은 발전 출력과 함께 적은 핵연료를 배출할 수 있습니다.
- 그러나 소형 모듈 원자로의 사용후 핵연료처리에 관련한 연구는 아직 더 필요한 것으로 알려져 있습니다. 일부 논의에 따르면 차세대 원자로는 훨씬 더 농축된 폐기물을 생산한다고 합니다. 특히 어떤 설계안의 경우 처리하기 어려운 핵연료를 생성할 수도 있기 때문에 되려 관리 및 처분 비용이 증가할 수 있습니다. 더불어 실질적으로는 기존 원전보다 사용후핵연료를 최소 2배에서 30배까지 더 많이 생산한다는 일부 연구 결과도 있습니다.
- 마지막으로, 우리나라에는 현재 사용후핵 연료를 영구 보관할 수 있는 처분장이 없어서 기존의 대형 원자력발전소 내에 임시 저장하고 있습니다. 소형 모듈 원자로는 소규모로 건설되므로 임시 저장시설을 확보하기가 더 어려울 수 있는 만큼, 관련 법안이 제정되어 사용후 핵연료 영구처분 시설이 제대로 갖춰지지 않는 한 제대로 활용하기 어렵습니다.

수용성 조사 질문

- 현재 한국의 에너지원별 발전 비중 순위는 석탄(31.1%), 원자력(30.4%), 액화천연가스/LNG (27.9%), 신재생·기타(10.3%) 순입니다.
- 귀하는 핵 사용 후 연료와 환경 영향성에 관한 관점에서 앞으로 한국의 전기 발전원이 어떻게 바뀌어야 한다고 생각하십니까?
아래의 막대바를 움직여 퍼센트를 표기해 주시기 바랍니다.
(각 에너지원의 총합이 100%가 되어야만 설문이 완료됩니다)



- 위 정보를 고려했을 때, 차세대 원자로 개발에 적극적으로 투자하고 미래 기술에 활용하는 것에 얼마나 중요하다고 생각하십니까?
- 차세대 원자로가 귀하의 주거지역에서 (10km, 50km, 100km) 건설된다면 찬성하시겠습니까?
- 정부의 사용 후 핵 연료 영구처분 시설 관련 법안 마련이 얼마나 시급하다고 생각하십니까?

개선 방안:

Conjoint Experiment

Conjoint Experiment란 ?

- 무작위 실험 방식으로 설문조사 형식을 사용하여 사람들이 제품이나 서비스의 속성에 얼마나 가치를 두는지 측정하는 연구 방법
- 피험자에게 제품이나 서비스의 여러 속성을 다르게 조합한 선택지를 제시하고, 그들이 선호하는 선택지를 기반으로 각 속성의 상대적 가치를 분석함
- 이를 통해 소비자들이 제품이나 서비스에서 어떤 속성이 가장 중요한지 구체적으로 파악 가능

Conjoint Experiment

- 당신이 정책 결정자라면, 장기적으로 전력 공급이 점점 더 부족해지는 상황에서 어떤 공급 방법을 선택하시겠습니까?

| 비교 항목 | 원자력 | 풍력 | 액화천연가스 LNG |
|----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 탄소 배출량 (톤/GWh) | 29 | 26 | 499 |
| 전기 출력량 | 170 MW | 59.4 MW | 1800 MW |
| 건설 비용 | 5-10조 원 | 1700억 원 | 1조 7000억 원 |
| 가동 기간 | 60년 이상 | 20년 | 30년 |
| 단가 (원/kWh) | 51원 | 114원 | 179원 |
| 단점 | - 반영구 폐기물 발생 - 중대사고 가능성(희박) | - 생태 통로 방해 - 희토류 채굴 환경 파괴 | - 연료 전량 수입 - 연료 고원가 |

Thank you !

Sunbin Song (PhD student)

and

Brian An

Assistant Professor

Director of MSPP Program

Co-Director, Center for Urban Research

Georgia Tech School of Public Policy

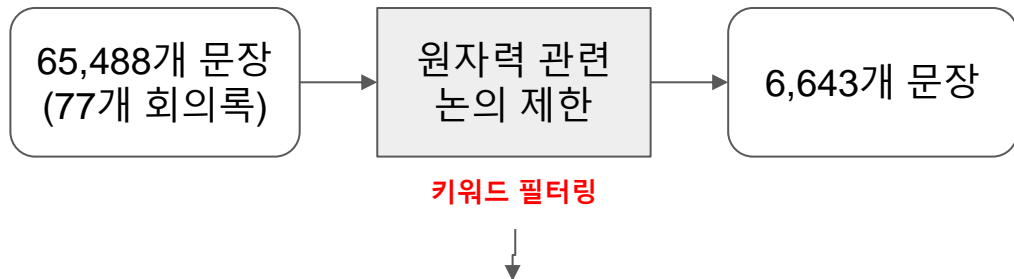
e-mail: yan74@gatech.edu

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/brian-an-phd-77462871/>

or search “brian an, phd”

참조 (Appendix)

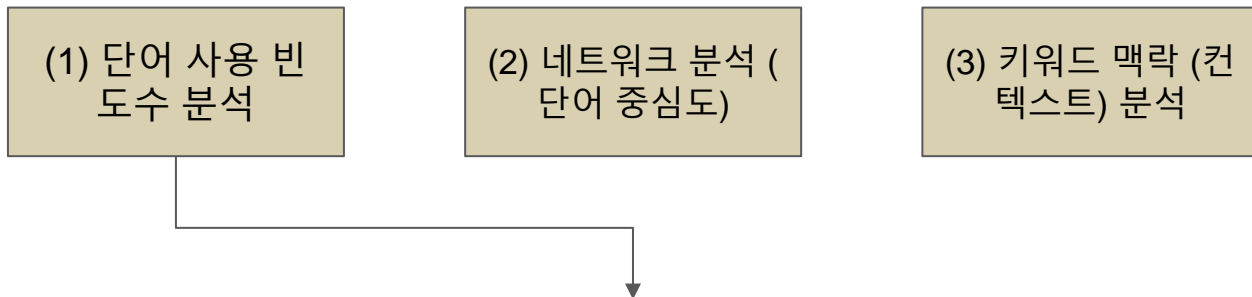
분석 개요(참조)



아래 단어 set으로 필터링:

"원전", "원자력", "핵연료", "핵 연료", "방사선", "방사능", "방사성", "폐기물", "SMR", "발전소", "원자로", "에너지", "융합", "연료", "방폐장", "핵물질", "핵 물질", "핵안전", "핵 안전", "재처리", "핵연구", "핵 연구", "핵기술", "핵 기술", "핵시설", "핵 시설", "핵발전", "핵 발전", "전기", "전력", "전력망", "IAEA", "핵분열", "핵 분열", "핵융합", "핵 융합", "중성자", "감속재", "우라늄", "플루토늄", "핵발전소", "핵 발전소", "핵재료", "핵 재료", "발전량", "전력수급", "전력 수급", "핵에너지", "핵 에너지", "핵사고", "핵 사고", "고속로", "가압경수로", "중수로", "폐로", "사용후핵연료", "안전 관리", "안전관리", "발전효율", "발전 효율", "열출력", "열 출력", "냉각재", "비등수형경수로", "압력용기", "냉각 시스템", "냉각시스템", "중수", "원자로 노심", "원자로노심", "안전 정지", "안전 정지", "발전설비", "비상 정지", "비상정지", "냉각계통", "핵재처리시설", "핵 재처리시설", "핵 재처리 시설"

분석 개요(참조)

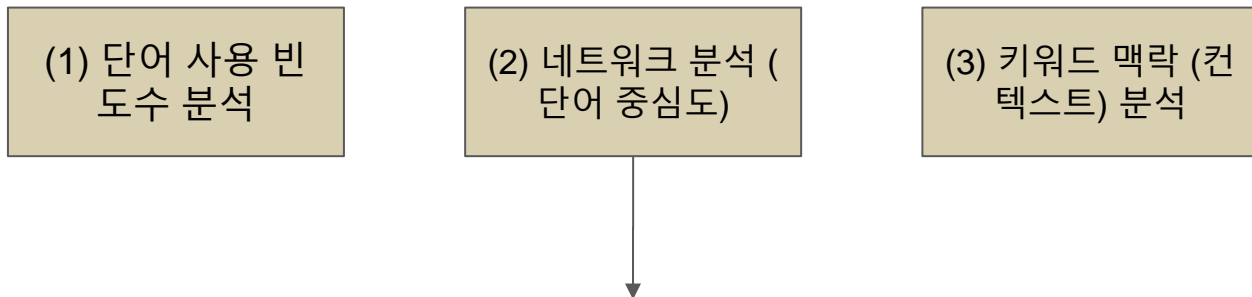


Term Frequency란: 특정 문서 내에서 단어가 등장하는 빈도를 계산하여 그 단어가 해당 문서에서 얼마나 중요한지를 측정하는 알고리즘(다른 그룹에서의 빈도는 고려하지 않고, 단일 그룹 내에서의 사용량을 기반으로 단어의 중요도를 평가함)

워드클라우드 생성 방법:

각 그룹(야당, 여당 등)으로 문장을 분류 → 그룹별 Term Frequency Score 계산
→ 차트화(빈도가 높은 단어일수록 워드클라우드에서 더 큰 크기로 표시)

분석 개요(참조)

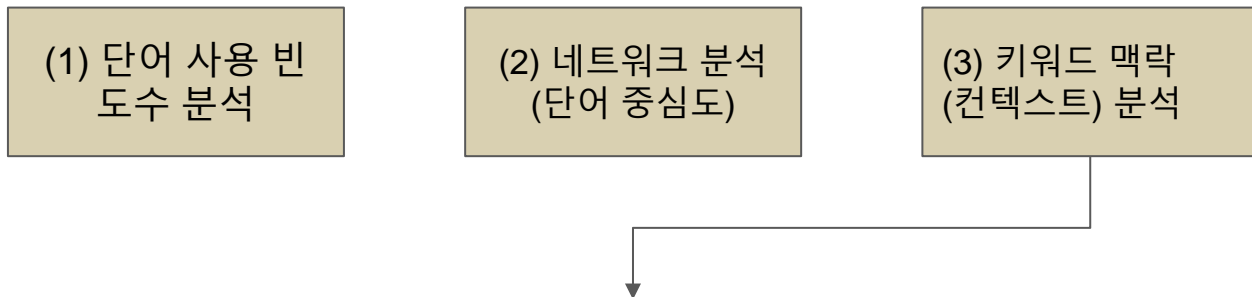


Pagerank Centrality란: 네트워크에서 다른 노드로부터 연결된 수와 연결된 노드들의 중요성을 고려하는 알고리즘

차트 생성 방법:

각 그룹(야당, 여당 등)으로 문장을 분류 → 같은 문장에 사용된 단어로 페어 빈도수 생성 (그룹별) → 빈도수에 따라 무게 값을 준 네트워크(그래프)를 구축 → 네트워크 내 Pagerank Centrality 계산 → 그룹별 중심 단어 Top 50 리스트 업 → 그룹 간 중심도 차이가 가장 큰 10개 단어를 차트화

분석 개요(참조)



Word2Vec이란: 단어를 고차원 벡터로 변환하여 단어 간의 의미적 유사성을 파악할 수 있게 하는 단어 임베딩 기법. 주어진 문맥(주변 단어)을 사용하여 중심 단어를 예측.

예시: 만약 문장이 "원자력 발전소는 안전이 중요하다"일 때, "발전소"와 "중요하다"를 사용하여 "안전"이라는 단어를 예측.

표 생성 방법: 각 그룹별로 Word2Vec 모델을 학습 → 키워드에 대해 그룹별로 가장 유사한 단어들을 출력